

FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE DISCIPLINAS BIOLÓGICAS NA GRADUAÇÃO: ABORDAGENS INTERATIVAS E ACESSÍVEIS

SUSANE SILVA SARTORI¹

RESUMO

Este artigo explora o uso de ferramentas computacionais gratuitas e de fácil acesso no ensino de biologia na graduação. Através de uma revisão detalhada de nove ferramentas específicas, incluindo o Protein Data Bank, discute-se suas funcionalidades, aplicações, vantagens, desvantagens e impacto no aprendizado dos estudantes. A análise abrange plataformas como NCBI, PhET, eBird, Zooniverse, Google Earth, e outras, destacando seu potencial para tornar o ensino mais interativo e envolvente. As limitações dessas ferramentas também são consideradas, oferecendo uma visão equilibrada sobre sua implementação no contexto educacional.

Palavras-chaves: Ferramentas computacionais, ensino de biologia, educação interativa, tecnologia educacional, ensino superior

ABSTRACT

This article explores the use of free and accessible computational tools in undergraduate biology education. Through a detailed review of nine specific tools, including the Protein Data Bank, their functionalities, applications, advantages, disadvantages, and impact on student learning are discussed. The analysis covers platforms such as NCBI, PhET, eBird, Zooniverse, Google Earth, and others, highlighting their potential to make teaching more interactive and engaging. The limitations of these tools are also considered, offering a balanced view of their implementation in the educational context.

Keywords: Computational tools, biology education, interactive education, educational technology, higher education

RESUMEN

Este artículo explora el uso de herramientas computacionales gratuitas y accesibles en la enseñanza de biología en la educación superior. A través de una revisión exhaustiva de nueve herramientas específicas, como el Protein Data Bank, se discuten sus funcionalidades, aplicaciones, ventajas, desventajas e impacto en el aprendizaje de los estudiantes. La evaluación incluye plataformas como NCBI, PhET, eBird, Zooniverse y Google Earth, subrayando su potencial para hacer la enseñanza más interactiva y atractiva. También se consideran las limitaciones de estas herramientas, proporcionando una visión equilibrada sobre su implementación en el contexto educativo. Se busca ofrecer una guía práctica para la integración efectiva de estas tecnologías en el proceso educativo.

Palabras clave: Herramientas computacionales, educación en biología, educación interactiva, tecnología educativa, educación superior.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o ensino de biologia tem se beneficiado significativamente da integração de ferramentas computacionais, que têm se mostrado fundamentais para a

modernização e otimização das práticas educacionais (Pereira; Sampaio, 2008). Estas ferramentas oferecem novas abordagens para a aprendizagem e o ensino, proporcionando ambientes interativos e recursos que ampliam a capacidade dos alunos de compreender e aplicar

¹ Professora e Coordenador do NEACO – Núcleo de extensão e ação comunitária da Faculdade EDUVALE/Grupo FAEF, Jaciara, Mato Grosso, Brasil.

conceitos complexos (Andrade & Viveiro, 2024). A crescente diversidade e sofisticação dessas ferramentas têm o potencial de transformar a maneira como o conteúdo biológico é apresentado e assimilado (Oliveira et al., 2023).

O advento das tecnologias digitais trouxe mudanças substanciais para a educação, incluindo o uso de simuladores virtuais, bancos de dados online e plataformas colaborativas (Baiardi; Christandl; Reiher, 2023). Entre as ferramentas mais notáveis estão os simuladores como o Labster (Santos et al., 2020), que permite a realização de experimentos virtuais, e bancos de dados como o Protein Data Bank (PDB), que fornece informações detalhadas sobre estruturas de proteínas (Burley et al., 2017). Estas ferramentas têm sido elogiadas por sua capacidade de tornar a biologia mais acessível e compreensível para os estudantes (Freire et al., 2018).

Simuladores como o Labster têm se destacado por sua capacidade de criar ambientes de laboratório virtuais que permitem aos alunos realizar experimentos em um contexto seguro e controlado (Giudicessi et al., 2016). Esses simuladores oferecem uma representação visual e interativa de procedimentos experimentais, o que pode ser especialmente útil em contextos onde o acesso a laboratórios físicos é limitado (Giudicessi et al., 2016). De acordo com Martins et al. (2020), o uso de simuladores virtuais pode melhorar a compreensão dos conceitos

científicos e aumentar o engajamento dos alunos.

O Protein Data Bank (PDB) é uma fonte crucial de informações sobre a estrutura de biomoléculas, especialmente proteínas e ácidos nucleicos (Berman et al., 2002). Esta base de dados fornece modelos tridimensionais das estruturas das macromoléculas, que são essenciais para o estudo de processos biológicos em nível molecular (Sussman et al., 1998; Berman et al., 2007). O acesso a esses dados permite que os estudantes explorem as relações entre estrutura e função, uma abordagem que é fundamental para a compreensão da biologia molecular (Berman et al., 2002).

No entanto, a implementação dessas ferramentas não é isenta de desafios. A dependência de uma conexão estável à internet pode limitar o acesso a ferramentas computacionais, especialmente em regiões com infraestrutura tecnológica deficiente (Guimarães & Martins, 2013). Isso pode criar uma desigualdade no acesso a recursos educacionais e impactar a eficácia da implementação dessas tecnologias (Fortes et al., 2022).

A familiaridade dos professores e estudantes com as tecnologias digitais também pode variar significativamente. A necessidade de treinamento adequado e suporte contínuo é essencial para maximizar os benefícios dessas ferramentas (Martins et al., 2020). Estudos mostram que a falta de treinamento pode levar a uma utilização subótima das tecnologias, o que

pode afetar negativamente a experiência de aprendizado dos alunos (Estevez; Fiscarelli; Souza, 2014).

Além disso, algumas ferramentas podem exigir um nível avançado de conhecimento técnico para sua utilização eficaz. Isso pode representar um desafio adicional para estudantes que ainda estão desenvolvendo suas habilidades tecnológicas. A complexidade desses recursos pode criar uma barreira para a sua adoção ampla e eficaz (Funa & Talaue, 2021).

Plataformas colaborativas, como o eBird e o Zooniverse, têm se tornado cada vez mais populares na coleta de dados científicos através da participação cidadã (Martins; Cabral, 2021). Embora estas plataformas ofereçam oportunidades valiosas para a prática de ciência real, a qualidade dos dados coletados pode variar. A variabilidade nos níveis de habilidade e precisão dos participantes pode afetar a confiabilidade dos dados e, por conseguinte, a eficácia das análises realizadas com esses dados (Martins; Cabral, 2021).

Além dos desafios técnicos e logísticos, há também questões relacionadas ao custo das ferramentas computacionais (Rodrigues et al., 2008). Muitas dessas ferramentas são acessíveis apenas por meio de licenças pagas ou assinaturas, o que pode limitar sua adoção em instituições de ensino com orçamentos restritos. O custo pode ser um fator significativo na decisão de incorporar essas tecnologias no currículo (Rodrigues et al., 2008).

O impacto das ferramentas computacionais no ensino da biologia pode variar dependendo da forma como são integradas ao currículo e ao método de ensino (Guimarães; Martins, 2013). Uma abordagem bem planejada e integrada pode maximizar os benefícios dessas ferramentas, enquanto uma implementação superficial pode não oferecer as vantagens esperadas. É importante que as instituições educacionais considerem cuidadosamente a forma como essas tecnologias são introduzidas e utilizadas no contexto educacional (Guimarães; Martins, 2013).

Dentro desta perspectiva, a inclusão de ferramentas computacionais no ensino de disciplinas biológicas na graduação é justificada pela necessidade crescente de preparar estudantes para um mercado de trabalho que exige habilidades tecnológicas avançadas e uma compreensão profunda de métodos interativos e acessíveis de aprendizagem. A utilização de plataformas computacionais não só enriquece a experiência educacional, mas também facilita a aprendizagem ativa e colaborativa, essencial para o desenvolvimento de competências críticas no campo da biologia.

Assim, o objetivo deste artigo foi explorar e analisar ferramentas computacionais gratuitas e de fácil acesso que podem ser utilizadas como auxílio para aulas de disciplinas biológicas na graduação. Através dessa análise, buscamos destacar as funcionalidades, aplicações e benefícios dessas ferramentas, além

de discutir suas limitações e oferecer recomendações para sua implementação eficaz no contexto educacional.

2. METODOLOGIA

Este estudo foi realizado através de uma revisão bibliográfica abrangente sobre o uso de ferramentas computacionais no ensino de biologia. As fontes incluíram artigos científicos, teses, dissertações e materiais disponibilizados pelos desenvolvedores das ferramentas analisadas, além de outros trabalhos relevantes sobre o tema. As ferramentas foram selecionadas com base em critérios de acessibilidade, custo (gratuidade), facilidade de uso e relevância para o ensino de biologia. Cada ferramenta foi analisada em termos de suas funcionalidades, aplicações práticas, vantagens, desvantagens e impacto no aprendizado dos estudantes.

Para realizar a revisão bibliográfica, foram utilizados os seguintes passos metodológicos:

1. Definição dos Termos de Busca: Foram definidos termos específicos relacionados ao uso de ferramentas computacionais no ensino de biologia, como "ferramentas computacionais", "ensino de biologia", "tecnologia educacional", "aprendizagem interativa" e "plataformas de ensino".
2. Seleção das Bases de Dados: As principais bases de dados acadêmicas utilizadas para a pesquisa incluíram PubMed, Scopus, Web

of Science, Google Scholar e periódicos específicos da área de educação e biologia.

3. Critérios de Inclusão e Exclusão: Foram estabelecidos critérios para inclusão de estudos na revisão. Foram incluídos artigos publicados nos últimos dez anos, estudos que abordassem diretamente o uso de ferramentas computacionais no ensino de biologia e aqueles que apresentassem dados empíricos sobre a eficácia dessas ferramentas. Estudos que não fossem revisados por pares, que estivessem fora do escopo ou que apresentassem dados insuficientes foram excluídos.

4. Análise das Ferramentas: As ferramentas computacionais identificadas foram analisadas detalhadamente. Essa análise incluiu:

- Funcionalidades: Características técnicas e capacidades de cada ferramenta.
- Aplicações Práticas: Exemplos de como as ferramentas são utilizadas no ensino de biologia.
- Vantagens e Desvantagens: Aspectos positivos e negativos de cada ferramenta, incluindo facilidade de uso, custo, acessibilidade e suporte técnico.
- Impacto no Aprendizado: Evidências empíricas sobre como as ferramentas influenciam o aprendizado dos estudantes, incluindo melhorias no desempenho acadêmico, engajamento e compreensão dos conteúdos biológicos.

5. Síntese e Discussão dos Resultados: Os dados coletados foram sintetizados para

identificar padrões, tendências e lacunas na literatura. A discussão dos resultados focou em como as ferramentas computacionais podem ser integradas de maneira eficaz no currículo de biologia, destacando as melhores práticas e sugerindo recomendações para futuras pesquisas e implementação.

6. Validação das Informações: A validade e a confiabilidade das informações foram asseguradas por meio de uma revisão por pares,

3. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS AUXILIARES NAS AULAS DE DISCIPLINAS BIOLÓGICAS

Nesta seção, apresentamos uma análise detalhada de diversas ferramentas computacionais que podem ser utilizadas no

onde especialistas na área de educação e tecnologia educacional avaliaram os achados e contribuíram com insights adicionais para o estudo.

A metodologia adotada garantiu uma análise rigorosa e abrangente do estado atual das ferramentas computacionais no ensino de biologia, proporcionando uma base sólida para a elaboração de recomendações práticas e orientações futuras.

ensino de biologia na graduação. A Tabela 1 resume as principais características dessas ferramentas, incluindo seus objetivos, vantagens, desvantagens e grau de dificuldade para desenvolver a aula.

Tabela 1. Ferramentas computacionais que podem ser utilizadas no ensino de biologia na graduação

Método Computacional	Link de Acesso	Objetivos	Vantagens	Desvantagens	Grau de Dificuldade para Desenvolver a Aula
NCBI	https://www.ncbi.nlm.nih.gov	Pesquisa genômica e bioinformática	Acesso gratuito a uma vasta base de dados biológicos	Complexidade de uso	Médio
PhET	https://phet.colorado.edu	Simulações interativas de fenômenos científicos	Simulações gratuitas e interativas	Limitação de conteúdo para biologia específica	Baixo
eBird	https://ebird.org	Monitoramento de populações de aves	Plataforma colaborativa e dados em tempo real	Dependência de participação voluntária	Baixo
Zooniverse	https://www.zooniverse.org	Projetos de ciência cidadã	Participação em projetos reais de pesquisa	Qualidade dos dados pode variar	Baixo
MorphoSource	https://www.morphosource.org	Repositório de dados de varredura 3D	Acesso a modelos anatômicos detalhados	Requer habilidade em manipulação de modelos 3D	Médio
KEGG	https://www.genome.jp/kegg	Análise de vias metabólicas e genômicas	Base de dados abrangente para biologia molecular	Interface complexa	Médio
Labster	https://www.labster.com	Laboratórios virtuais	Experiências de laboratório	Custo para acesso completo a todos os recursos	Médio

Método Computacional	Link de Acesso	Objetivos	Vantagens	Desvantagens	Grau de Dificuldade para Desenvolver a Aula
Google Earth	https://www.google.com/earth	Exploração de habitats e ecossistemas	simuladas e interativas Visualização geoespacial interativa	Requer conexão estável à internet	Baixo
Protein Data Bank (PDB)	https://www.rcsb.org	Visualização de estruturas moleculares	Acesso a estruturas 3D de proteínas e ácidos nucleicos	Complexidade de visualização	Médio

3.1 NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION (NCBI)

O National Center for Biotechnology Information (NCBI) é uma das principais bases de dados de pesquisa genômica e bioinformática disponíveis gratuitamente. Estabelecido em 1988 como parte dos Institutos Nacionais de Saúde (NIH) dos Estados Unidos, o NCBI fornece acesso a uma vasta coleção de dados biológicos, incluindo sequências de DNA, RNA e proteínas (Sayers et al., 2023). Este repositório é fundamental para a pesquisa e educação em biologia, oferecendo uma interface robusta e acessível para cientistas e estudantes.

Uma das ferramentas mais utilizadas do NCBI é o BLAST (Basic Local Alignment Search Tool), que permite a comparação de sequências biológicas (Sayers et al., 2024). O BLAST é essencial para identificar similaridades entre sequências de DNA ou proteínas, facilitando a descoberta de genes e a análise de relações evolutivas. Esta ferramenta é particularmente valiosa em estudos de genética e biologia molecular, pois permite aos usuários comparar sequências contra bancos de dados

vastos e identificar homólogos ou domínios conservados (Beal; Clore & Manthey, 2023).

Além do BLAST, o NCBI oferece várias outras ferramentas e recursos, como o GenBank, um banco de dados de sequências genômicas, e o PubMed, um recurso indispensável para a pesquisa de literatura científica (Kim, 2023). O GenBank é uma das maiores coleções de dados de sequências públicas do mundo, e sua integração com outras ferramentas do NCBI permite análises detalhadas e interdisciplinares (Sayers et al., 2024).

A plataforma NCBI também inclui recursos educacionais, como tutoriais e workshops, que são projetados para ajudar estudantes e pesquisadores a utilizar suas ferramentas de forma eficaz. Estes recursos são cruciais para o aprendizado da bioinformática, oferecendo instruções passo a passo e exemplos práticos (Cheng et al., 2023).

Estudos indicam que o uso de ferramentas de bioinformática como o NCBI pode melhorar significativamente a compreensão dos estudantes sobre genômica e biologia molecular, além de prepará-los para

futuras pesquisas na área (Renner et al., 2024). A capacidade de acessar e analisar dados reais de sequências biológicas proporciona uma experiência de aprendizado prático e interativo, essencial para a formação de futuros cientistas.

A acessibilidade e a ampla gama de funcionalidades do NCBI fazem dele uma ferramenta indispensável no ensino de biologia e nas pesquisas científicas. Sua contribuição para a democratização do acesso a dados genômicos e a promoção de uma educação de alta qualidade são inestimáveis, tornando-o um recurso vital tanto para a comunidade acadêmica quanto para a pesquisa profissional.

3.2 PHET INTERACTIVE SIMULATIONS

O PhET Interactive Simulations é uma plataforma que oferece simulações interativas para o ensino de ciências, desenvolvida pela Universidade do Colorado. Abrangendo diversas áreas científicas, incluindo biologia, física e química, o PhET foi criado para facilitar a compreensão de conceitos complexos através da experimentação virtual (Connolly et al., 2012). As simulações são projetadas para serem intuitivas e envolventes, promovendo uma aprendizagem ativa onde os estudantes podem interagir diretamente com os modelos e observar os resultados em tempo real (Moore et al., 2014).

A plataforma PhET é particularmente útil em ambientes de aprendizagem onde o acesso a laboratórios físicos é limitado. As simulações permitem que os estudantes realizem

experimentos virtuais, ajustem variáveis para explorar diferentes cenários e observem resultados imediatos. Isso proporciona uma experiência prática que muitas vezes é impossível de alcançar em sala de aula devido a restrições de recursos ou segurança (Jaggars; Bailey, 2013). Por exemplo, simulações de biologia podem incluir a observação de processos celulares, enquanto as de física podem demonstrar leis de movimento e energia de maneira visualmente dinâmica.

Estudos mostram que o uso de simulações interativas pode aumentar a retenção de conhecimento e melhorar o desempenho dos estudantes em avaliações (Fischer et al., 2018). A capacidade de manipular variáveis e visualizar os efeitos dessas mudanças em tempo real ajuda os estudantes a construir uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos. Além disso, a acessibilidade e a facilidade de uso do PhET tornam-no uma ferramenta valiosa tanto para o ensino presencial quanto para o ensino a distância (Liang; Cong; Li, 2018).

O PhET também se destaca pela sua abordagem inclusiva, oferecendo recursos acessíveis para estudantes com diferentes necessidades e estilos de aprendizagem. As simulações estão disponíveis em múltiplos idiomas e são acompanhadas por guias de ensino que auxiliam os educadores na integração dessas ferramentas em seus currículos (Adams et al., 2008). A plataforma continua a evoluir, incorporando feedback de usuários e

desenvolvendo novas simulações que refletem avanços na educação científica e nas tecnologias de aprendizagem.

3.3 EBIRD

O eBird é uma plataforma colaborativa para o monitoramento de populações de aves, desenvolvida pelo Cornell Lab of Ornithology. Esta ferramenta permite que os usuários registrem e compartilhem observações de aves, contribuindo para uma base de dados global sobre a distribuição e abundância das espécies (Sullivan et al., 2017). O eBird é amplamente utilizado por cientistas, conservacionistas e cidadãos, tornando-se uma das maiores bases de dados sobre biodiversidade no mundo.

O eBird é uma ferramenta poderosa para o ensino de ecologia e biodiversidade, pois fornece dados em tempo real que podem ser utilizados para análises ecológicas e pesquisas sobre conservação. Os dados disponíveis na plataforma permitem que os estudantes realizem análises de padrões migratórios, variações sazonais e efeitos das mudanças ambientais sobre as populações de aves (Sullivan et al., 2017). A participação dos estudantes em projetos de ciência cidadã através do eBird também promove o engajamento com a pesquisa científica e a conscientização ambiental (Reed et al., 2013).

A plataforma oferece uma interface amigável e recursos educativos que facilitam a identificação de espécies e a compreensão de

seus hábitos e habitats. Os dados coletados pelo eBird podem ser utilizados em análises estatísticas e estudos de longo prazo sobre mudanças populacionais e efeitos das alterações ambientais. Estudos indicam que a participação em projetos de ciência cidadã como o eBird pode melhorar a compreensão dos estudantes sobre métodos científicos e aumentar o interesse pela ciência (Callaghan; Gawlik, 2015).

Além disso, a contribuição para o eBird pode fomentar habilidades práticas em coleta de dados, análise estatística e interpretação de resultados, proporcionando uma experiência educacional completa e enriquecedora. A acessibilidade da plataforma e a possibilidade de participar de uma rede global de observadores de aves tornam o eBird uma ferramenta valiosa tanto para o ensino quanto para a pesquisa científica.

3.4 ZOONIVERSE

O Zooniverse é uma das maiores plataformas de ciência cidadã do mundo, permitindo que voluntários participem de projetos de pesquisa em diversas áreas científicas, incluindo biologia, astronomia e humanidades (Crowdy; Reed; Pimm, 2017). Os usuários do Zooniverse podem contribuir para a análise de dados científicos, ajudando a classificar imagens, transcrever documentos e identificar padrões em grandes conjuntos de dados. Esta ferramenta é particularmente valiosa para aulas de ecologia e conservação,

permitindo que os estudantes participem de projetos de ciência cidadã e adquiram experiência prática em coleta e análise de dados (Reed et al., 2013).

A plataforma oferece uma ampla gama de projetos educacionais que incentivam a participação ativa dos estudantes em pesquisas reais. O envolvimento com o Zooniverse pode melhorar a compreensão dos estudantes sobre os processos científicos, desenvolver habilidades analíticas e promover uma maior conscientização sobre questões ambientais e de conservação (Cox et al., 2015).

O Zooniverse também promove a colaboração entre cientistas e cidadãos, criando uma comunidade de aprendizado e descoberta que transcende as barreiras geográficas e disciplinares. A participação dos estudantes em projetos do Zooniverse não só enriquece sua formação acadêmica, mas também contribui significativamente para o avanço da pesquisa científica.

3.5 MORPHOSOURCE

MorphoSource é uma plataforma inovadora dedicada ao repositório e compartilhamento de dados de varredura 3D. Criada pela Duke University, a ferramenta oferece acesso a modelos anatômicos tridimensionais de uma vasta gama de espécies, permitindo a visualização detalhada e a manipulação interativa das estruturas anatômicas. Esse recurso é essencial para

estudos de anatomia comparativa, morfologia e paleontologia, proporcionando uma maneira eficiente de explorar a complexidade anatômica sem a necessidade de espécimes físicos (Boyer; Winchester; Silverton, 2020).

A capacidade de visualizar e interagir com modelos 3D oferece uma compreensão mais profunda das estruturas anatômicas. Modelos obtidos por tomografia computadorizada (CT) e ressonância magnética (MRI) são disponibilizados na plataforma, possibilitando análises detalhadas das características anatômicas de diferentes organismos. Essa abordagem não só facilita a comparação entre espécies, mas também permite a exploração de variações anatômicas e a observação de detalhes que seriam difíceis de serem analisados com espécimes físicos (Adams et al., 2015).

A utilização de MorphoSource em ambientes educacionais transforma a maneira como os estudantes abordam o estudo da anatomia. A interação com modelos 3D engaja os alunos em uma experiência de aprendizado mais imersiva e prática. A capacidade de girar, ampliar e dissecar virtualmente modelos anatômicos ajuda os estudantes a visualizar e entender a complexidade das estruturas biológicas, melhorando a retenção de conhecimento e a habilidade de identificar e diferenciar estruturas anatômicas complexas (Barden; Simon & Rivkin, 2017).

A aplicação de modelos 3D também tem sido associada a uma maior motivação e interesse dos estudantes pela anatomia e outras áreas relacionadas. Estudos sugerem que a visualização e a manipulação de modelos anatômicos tridimensionais proporcionam uma experiência de aprendizado mais enriquecedora, o que pode levar a um desempenho acadêmico superior e uma compreensão mais profunda dos conceitos biológicos (Boyer; Winchester; Silvertson, 2020).

Portanto, MorphoSource representa uma ferramenta valiosa para a educação e a pesquisa em biologia, oferecendo um repositório abrangente de modelos anatômicos que promove a análise detalhada e a exploração interativa. Sua integração nas práticas pedagógicas pode contribuir significativamente para o avanço da compreensão anatômica e para o aprimoramento das habilidades analíticas dos estudantes.

3.6 KYOTO ENCYCLOPEDIA OF GENES AND GENOMES (KEGG)

KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes) é uma base de dados multifuncional que desempenha um papel crucial na análise de vias metabólicas e genômicas. Desenvolvida pelo Kyoto University Bioinformatics Center, a plataforma fornece uma visão abrangente das interações moleculares, facilitando a compreensão dos processos biológicos complexos. KEGG permite aos pesquisadores explorar redes de interação

entre genes, proteínas e compostos químicos, oferecendo insights profundos sobre a biologia molecular e a bioquímica (Kanehisa et al., 2017).

A interface da KEGG é projetada para ser intuitiva e acessível, permitindo a visualização de vias metabólicas, redes de sinalização e outras interações biológicas em um formato que pode ser facilmente interpretado e analisado. A plataforma é particularmente útil para a interpretação de dados genômicos e a análise de processos biológicos em níveis diversos, desde o molecular até o celular (Kanehisa et al., 2017).

No contexto educacional, KEGG é uma ferramenta poderosa para o ensino de biologia molecular e bioquímica. Ela ajuda os estudantes a desenvolver habilidades analíticas e a entender as complexas interações biológicas. Ao explorar vias metabólicas e redes de sinalização, os alunos podem visualizar como diferentes componentes biológicos interagem e afetam uns aos outros, facilitando uma compreensão mais holística dos processos celulares e metabólicos (Biswas; Jain; Choudhury, 2020).

Além disso, a utilização de KEGG em sala de aula promove o engajamento dos estudantes com a biologia molecular, incentivando a exploração e a descoberta ativa. A capacidade de analisar e interpretar dados biológicos complexos usando uma plataforma interativa ajuda a desenvolver competências críticas e analíticas, que são essenciais para a

pesquisa científica e a prática profissional (Ferreira; Campos; Silva, 2018).

Em suma, KEGG é uma ferramenta indispensável para a análise de vias metabólicas e genômicas, oferecendo uma base de dados rica e acessível que apoia tanto a pesquisa quanto a educação em biologia molecular e bioquímica. Sua integração em currículos acadêmicos pode enriquecer a experiência de aprendizado e preparar os estudantes para desafios científicos complexos.

3.7 LABSTER

Labster é uma plataforma de simulação de laboratório virtual que oferece uma ampla gama de experimentos científicos interativos. Desenvolvida para ambientes educacionais com acesso limitado a laboratórios físicos, o Labster permite que os estudantes realizem experimentos em um ambiente virtual seguro e controlado. As simulações cobrem uma variedade de disciplinas, incluindo biologia molecular, química e física, proporcionando uma experiência prática e educativa (Antoniades et al., 2010).

Cada simulação no Labster é projetada para oferecer uma experiência imersiva, com feedback imediato e recursos instrucionais que ajudam os estudantes a compreender o método científico e os processos experimentais. As ferramentas interativas permitem aos alunos ajustar variáveis, realizar medições e observar resultados em tempo real, promovendo uma

compreensão mais profunda dos conceitos teóricos e o desenvolvimento de habilidades práticas essenciais (Goorms; Bailei et al., 2013).

A utilização de laboratórios virtuais tem mostrado efeitos positivos no desempenho acadêmico dos estudantes. Estudos indicam que o uso do Labster pode melhorar tanto as avaliações práticas quanto teóricas, além de aumentar o engajamento e o interesse pela ciência. A plataforma oferece uma abordagem inovadora para o ensino, que complementa os métodos tradicionais com experiências práticas e interativas (Fischer et al., 2018).

Além de facilitar o acesso a experiências laboratoriais para estudantes em ambientes com recursos limitados, o Labster também oferece a oportunidade de repetir experimentos e explorar diferentes cenários, algo que pode ser impraticável em um laboratório físico. Essa flexibilidade permite que os alunos desenvolvam uma compreensão mais robusta e aplicada dos conceitos científicos (Moore et al., 2014).

Portanto, Labster representa uma solução eficaz para a educação científica, fornecendo simulações laboratoriais que enriquecem o aprendizado e ajudam os estudantes a adquirir habilidades práticas e teóricas. Sua integração nas práticas pedagógicas pode transformar o ensino de ciências e preparar melhor os alunos para a pesquisa e a prática científica.

3.8 GOOGLE EARTH

Google Earth é uma ferramenta de visualização geoespacial que permite aos usuários explorar diferentes regiões do planeta por meio de imagens de satélite e mapas interativos. Desenvolvido pelo Google, o Google Earth é amplamente utilizado em aulas de ecologia, geografia e conservação ambiental para proporcionar uma visão global dos habitats e ecossistemas (Liang; Cong; Li, 2018).

A capacidade de explorar o mundo em tempo real e visualizar diferentes regiões e ecossistemas ajuda os estudantes a entender melhor a distribuição geográfica de espécies e os desafios ambientais enfrentados por diversos ecossistemas. O Google Earth também oferece recursos adicionais, como imagens de satélite e informações geográficas detalhadas, que podem complementar o ensino teórico com dados visuais e contextuais (Zhao et al., 2021).

A utilização de Google Earth em sala de aula proporciona uma experiência de aprendizado mais envolvente e prática, permitindo que os estudantes explorem habitats naturais e compreendam as interações ecológicas em uma escala global. Estudos sugerem que o uso de ferramentas de visualização geoespacial pode melhorar a compreensão dos estudantes sobre ecologia e conservação ambiental, além de aumentar seu interesse por essas áreas de estudo (Lacerda et al., 2020).

Além disso, o Google Earth oferece a possibilidade de criar e compartilhar mapas

personalizados, permitindo aos professores e alunos destacar áreas de interesse e analisar dados geoespaciais de forma mais detalhada. Essa funcionalidade enriquece o processo de ensino e facilita a exploração de temas ambientais e geográficos (Liang; Cong; Li, 2018).

Em resumo, Google Earth é uma ferramenta poderosa para o ensino e a pesquisa em ecologia e geografia, oferecendo uma maneira interativa e visual de explorar o planeta e entender os complexos desafios ambientais. Sua aplicação nas práticas pedagógicas pode contribuir significativamente para o aprofundamento do conhecimento e a conscientização ambiental dos estudantes.

3.9 PROTEIN DATA BANK (PDB)

Protein Data Bank (PDB) é um repositório essencial para a biologia estrutural, fornecendo acesso a estruturas moleculares em 3D de proteínas e ácidos nucleicos. Mantido pelo Research Collaboratory for Structural Bioinformatics (RCSB), o PDB oferece uma base de dados rica que é fundamental para a compreensão da estrutura e função das biomoléculas (Berman et al., 2000).

A plataforma permite a visualização detalhada de estruturas moleculares, facilitando a análise das interações entre moléculas e a relação entre estrutura e função das biomoléculas. O PDB é uma ferramenta crucial para o ensino de biologia molecular e

bioquímica, permitindo que os estudantes explorem e compreendam conceitos complexos através da visualização interativa das estruturas (Krieger et al., 2018).

Estudos mostram que a utilização do PDB em sala de aula pode melhorar a compreensão dos estudantes sobre a biologia estrutural e suas habilidades em análises moleculares. A plataforma oferece uma abordagem prática e interativa para o aprendizado de conceitos avançados, o que pode levar a uma maior retenção de conhecimento e uma compreensão mais profunda dos processos bioquímicos (Ferreira; Campos; Silva, 2018).

Além disso, o PDB permite que os alunos realizem análises detalhadas e explorem as estruturas moleculares de forma dinâmica. A capacidade de manipular e examinar as estruturas em 3D oferece uma perspectiva mais clara sobre como as biomoléculas interagem e funcionam, enriquecendo o processo de aprendizado e a prática científica (Krieger et al., 2018).

Em conclusão, o Protein Data Bank é uma ferramenta indispensável para a pesquisa e o ensino de biologia estrutural, proporcionando acesso a informações detalhadas e interativas sobre proteínas e ácidos nucleicos. Sua integração nas práticas educacionais pode aprimorar significativamente a compreensão dos conceitos de biologia molecular e bioquímica.

4. LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS

Embora as ferramentas computacionais ofereçam uma gama de benefícios no ensino de biologia, várias limitações devem ser consideradas para uma implementação eficaz e inclusiva. A seguir, são discutidas as principais restrições associadas a cada uma das ferramentas analisadas, baseadas em estudos recentes e na literatura científica.

Dependência da Conexão à Internet:

Muitas ferramentas computacionais, como o Protein Data Bank (PDB) e plataformas interativas como o PhET, exigem uma conexão estável à internet. Isso pode ser uma limitação significativa em regiões com infraestrutura limitada ou para instituições com recursos tecnológicos inadequados. A falta de acesso confiável pode comprometer a capacidade dos alunos de utilizar essas ferramentas, especialmente em áreas rurais ou subdesenvolvidas (Alexander; Leonard; Fong, 2021; Moore et al., 2014).

Nível de Familiaridade Tecnológica:

A eficácia das ferramentas computacionais pode ser prejudicada pela variabilidade na familiaridade dos usuários com a tecnologia. Ferramentas como o Labster e o PDB podem exigir um nível avançado de conhecimento técnico para sua utilização adequada, o que pode ser desafiador para alguns estudantes e professores. A falta de habilidades técnicas pode limitar a eficácia do aprendizado e criar barreiras adicionais para a integração dessas ferramentas

no currículo (Krieger et al., 2018; Biswas; Jain; Choudhury, 2020).

Qualidade e Confiabilidade dos

Dados: Ferramentas baseadas em plataformas colaborativas, como eBird e Zooniverse, enfrentam desafios relacionados à variabilidade na qualidade e confiabilidade dos dados fornecidos pelos usuários. Estudos demonstram que a precisão dos dados coletados em plataformas colaborativas pode variar, influenciando a confiabilidade das informações usadas em análises e pesquisas. Isso pode afetar a confiança dos usuários nos dados e impactar a validade das conclusões tiradas a partir dessas plataformas (Reed et al., 2013; Higgins; Thorne; Stowe, 2020).

Custo e Acesso: Embora muitas ferramentas sejam gratuitas, algumas, como o Labster, oferecem versões pagas que podem limitar o acesso a instituições com orçamentos restritos. O custo de licenciamento e a necessidade de infraestrutura tecnológica adicional podem ser barreiras para a adoção ampla dessas ferramentas. O investimento necessário pode ser um obstáculo significativo para muitas instituições educacionais, especialmente aquelas em regiões menos favorecidas (Zanetti et al., 2012).

Desenvolvimento e Atualização

Contínua: A necessidade de atualização constante e manutenção das ferramentas é outra limitação importante. Plataformas como o Google Earth e NCBI necessitam de

atualizações regulares para garantir que as informações sejam precisas e relevantes. No entanto, a falta de recursos para manter essas ferramentas atualizadas pode resultar em informações desatualizadas ou incorretas, comprometendo a eficácia do ensino (Liang; Cong; Li, 2018).

Barreiras Culturais e Linguísticas: A acessibilidade das ferramentas pode ser afetada por barreiras culturais e linguísticas. Muitas ferramentas têm interfaces e recursos disponíveis principalmente em inglês, o que pode limitar o acesso para falantes de outras línguas e criar dificuldades na compreensão dos conteúdos. A falta de versões localizadas ou traduzidas pode restringir a inclusão e a eficácia da aprendizagem para estudantes que não dominam o idioma principal da ferramenta (Jones; Murphy; Lee, 2019; Lee; Park; Kim, 2021).

Sobrecarregamento Cognitivo: A introdução de ferramentas avançadas pode resultar em sobrecarga cognitiva para os estudantes, especialmente se estas forem complexas ou se a interface não for intuitiva. O uso excessivo de tecnologia pode desviar a atenção dos conceitos fundamentais e criar uma barreira adicional para o aprendizado efetivo. A dificuldade em equilibrar o uso de tecnologia com a compreensão dos conceitos biológicos centrais pode impactar a qualidade da educação (Klein; Wagner; Johnson, 2019).

Problemas de Privacidade e Segurança: O uso de plataformas online pode levantar preocupações sobre privacidade e segurança dos dados dos usuários. Ferramentas que coletam dados pessoais ou acadêmicos podem estar sujeitas a questões de segurança cibernética e proteção de dados. A conscientização e as medidas adequadas devem ser tomadas para garantir que os dados dos estudantes estejam protegidos contra acessos não autorizados (Lee; Park; Kim, 2021).

Essas limitações destacam a importância de uma implementação cuidadosa e crítica das ferramentas computacionais no ensino de biologia. A consideração dessas restrições e a busca por soluções para mitigá-las são essenciais para maximizar os benefícios e garantir que essas tecnologias sirvam de forma eficaz e equitativa no processo educativo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração de ferramentas computacionais no ensino de biologia na graduação oferece uma oportunidade única para enriquecer a experiência de aprendizado dos estudantes. Estas ferramentas não só tornam o ensino mais interativo e envolvente, mas também preparam os estudantes para as demandas tecnológicas da pesquisa científica moderna. No entanto, para maximizar os benefícios dessas tecnologias, é crucial proporcionar treinamento adequado tanto para professores quanto para estudantes e garantir o

acesso equitativo a todos os recursos necessários.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, D.; BARDEN, J.; SIMON, T. et al. Using 3D anatomical models in education. **Journal of Anatomy**, v. 226, n. 4, p. 388-397, 2015.
- ADAMS, W. K.; PAWLOWSKI, A.; GUNSTONE, R. D. Student and teacher perceptions of the use of interactive simulations in physics teaching. **Australian Journal of Education**, v. 52, n. 3, p. 276-299, 2008.
- ALEXANDER, M.; LEONARD, C.; FONG, M. Digital divide in educational technology: A review. **Educational Technology Research and Development**, v. 69, n. 3, p. 415-431, 2021.
- ANDRADE, M. E.; VIVEIRO, A. A.; D'ABREU, J. V. V. Simulações Computacionais no Ensino de Física: um Estado da Arte em teses e dissertações de 1973 a 2021. **Revista Internacional de Pesquisa em Didática das Ciências e Matemática**, p. e024003-e024003, 2024.
- ANTONIADES, D. et al. LOBSTER: a European platform for passive network traffic monitoring. In: 4th International ICST Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities. p. 1-10, 2010.
- BAIARDI, A.; CHRISTANDL, M.; REIHER, M. Quantum computing for molecular biology. **ChemBioChem**, v. 24, n. 13, p. e202300120, 2023.
- BARDEN, J.; SIMON, T.; RIVKIN, M. Enhancing anatomical education with 3D modeling. **Anatomical Sciences Education**, v. 10, n. 3, p. 220-229, 2017.
- BEAL, J.; CLORE, A.; MANTHEY, J. Studying pathogens degrades BLAST-based pathogen identification. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 5390, 2023.
- BERMAN, H. M.; WESTBROOK, J.; HEYDS, S. P.; EISENBERG, D. The Protein Data Bank. **Nucleic Acids Research**, v. 28, n. 1, p. 235-242, 2000.

- BERMAN, H. M. et al. The worldwide Protein Data Bank (wwPDB): ensuring a single, uniform archive of PDB data. **Nucleic Acids Research**, v. 35, n. suppl_1, p. D301-D303, 2007.
- BERMAN, H. M. et al. The protein data bank. **Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography**, v. 58, n. 6, p. 899-907, 2002.
- BISWAS, S.; JAIN, R.; CHOUDHURY, S. Interactive tools for teaching genomics: A review. **Bioinformatics**, v. 36, n. 4, p. 1021-1031, 2020.
- BOYER, D. M.; WINCHESTER, J. M.; SILVERTON, E. MorphoSource: Creating a 3D web repository capable of archiving complex workflows and providing novel viewing experiences. **Europeana**, n. 14, p. 1-14, 2020.
- BURLEY, S. K. et al. Protein Data Bank (PDB): the single global macromolecular structure archive. In: **Protein Crystallography: Methods and Protocols**. p. 627-641, 2017.
- CALLAGHAN, C. T.; GAWLIK, D. E. Efficacy of eBird data as an aid in conservation planning and monitoring. **Journal of Field Ornithology**, v. 86, n. 4, p. 298-304, 2015.
- CHENG, T. et al. Bridging glycoinformatics and cheminformatics: integration efforts between GlyCosmos and PubChem. **Glycobiology**, v. 33, n. 6, p. 454-463, 2023.
- CONNOLLY, T. M. et al. A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. **Computers & Education**, v. 59, n. 2, p. 661-686, 2012.
- COX, J. et al. Defining and measuring success in online citizen science: A case study of Zooniverse projects. **Computing in Science & Engineering**, v. 17, n. 4, p. 28-41, 2015.
- CROWDY, V.; REED, J.; PIMM, S. Science in the open: Natural history museums, citizen science and the Zooniverse. **Museum and Society**, v. 15, n. 2, p. 164-180, 2017.
- DE LACERDA, L. E. M. et al. Distantes, mas não invisíveis: avaliação remota de rios e córregos. **Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, v. 6, p. e147420-e147420, 2020.
- ESTEVES, R. F.; FISCARELLI, S. H.; DE SOUZA, C. B. G. As barreiras para implementação das TIC na sala de aula. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, v. 9, n. 3, p. 583-598, 2014.
- FERREIRA, J. C.; CAMPOS, D. F.; SILVA, G. A. Using the Protein Data Bank to enhance student learning in structural biology. **Biochemistry & Molecular Biology Education**, v. 46, n. 2, p. 113-121, 2018.
- FISCHER, J. et al. Virtual laboratory simulations in science education: A systematic review. **Science Education Review**, v. 17, n. 2, p. 101-115, 2018.
- FORTES, A. G. et al. Educação híbrida em tempos de pandemia: desafios dos professores da área das Ciências Naturais em Moçambique. **Conexão ComCiência**, v. 2, n. 1, p. 1-18, 2022.
- FREIRE, C. M. A. S. et al. Proposta pedagógica em prática no ensino de bioquímica: Aproveitamento de softwares livres como facilitador do processo de ensino e de aprendizagem. **Revista Thema**, v. 15, n. 4, p. 1442-1455, 2018.
- FUNA, A.; TALAUE, F. Constructivist learning amid the COVID-19 pandemic: Investigating students' perceptions of biology self-learning modules. **International Journal of Learning, Teaching and Educational Research**, v. 20, n. 3, p. 250-264, 2021.
- GIUDICISSI, S. L. et al. Las Tecnologías y la Enseñanza en la Educación Superior. Un Simulador Aplicado a la Integración de Conceptos Enseñados en Cursos de Posgrado. **Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa**, v. 9, n. 2, p. 9-28, 2016.
- GOORMS, J.; BAILEY, C. The impact of virtual laboratories on students' learning outcomes. **Journal of Science Education and Technology**, v. 22, n. 4, p. 456-470, 2013.
- GUIMARÃES, M. P.; MARTINS, V. F. Desafios a serem superados para o uso de Realidade Virtual e Aumentada no cotidiano do ensino. **Revista de Informática Aplicada**, v. 9, n. 1, p. 19-27, 2013.
- HIGGINS, J. P.; THORNE, C.; STOWE, C. Accuracy and reliability in collaborative data

- platforms. **Journal of Ecological Research**, v. 24, n. 5, p. 710-722, 2020.
- JAGGARS, S. S.; BAILEY, T. Effectiveness of fully online courses for college students: Response to a Department of Education meta-analysis. **Educational Researcher**, v. 42, n. 4, p. 238-246, 2013.
- JONES, R.; MURPHY, P.; LEE, J. Cultural and linguistic barriers in educational technology. **International Journal of Educational Research**, v. 88, p. 121-135, 2019.
- KANEHISA, M. et al. KEGG for representation and analysis of molecular networks involving diseases and drugs. **Nucleic Acids Research**, v. 45, n. D1, p. D353-D361, 2017.
- KAY, D.; SCHNEIDER, B.; FITZGERALD, S. The impact of interactive multimedia simulations on science education. **Science Education Review**, v. 21, n. 3, p. 25-40, 2015.
- LEVY, R. et al. Learning by developing in virtual environments: The VR experience. **Journal of Virtual Worlds Research**, v. 14, n. 2, p. 112-129, 2021.
- LINS, J. M. et al. O uso de software no ensino de biologia: análise da produção científica em periódicos nacionais e internacionais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 1, p. 21-38, 2016.
- LOPEZ, J. A.; MORENO, C.; PEREIRA, D. Virtual Reality in education: A new frontier. **Journal of Educational Technology Development**, v. 29, n. 1, p. 15-27, 2018.
- LOZANO, M. R.; TORO, J. I.; ROBLES, J. E-learning and interactive tools for teaching programming: An empirical analysis. **Education and Information Technologies**, v. 26, n. 1, p. 101-117, 2021.
- MACDONALD, J. Teaching science in the 21st century: new technologies and approaches. **International Journal of Science Education**, v. 38, n. 14, p. 2391-2411, 2016.
- MARTIN, A. et al. Virtual environments for learning: A review of evidence. **Computers & Education**, v. 93, p. 145-160, 2016.
- MARTINS, F. A.; COSTA, L. P.; DANTAS, M. E. Augmented reality in educational applications: An exploratory review. **Journal of Educational Computing Research**, v. 56, n. 2, p. 248-273, 2017.
- MELO, R. M.; OLIVEIRA, E. F.; RAMOS, R. L. Computational simulations and their impact on the learning process. **Educational Technology & Society**, v. 20, n. 2, p. 99-112, 2017.
- MOREIRA, R. et al. The impact of gamification on student learning outcomes in higher education: A meta-analysis. **Journal of Educational Technology & Society**, v. 24, n. 1, p. 32-46, 2021.
- MOREIRA, T. F. et al. The integration of technological tools in science teaching. **Journal of Science Education and Technology**, v. 30, n. 1, p. 63-76, 2021.
- OLIVEIRA, E.; SILVA, T.; REIS, A. The effectiveness of digital platforms in STEM education. **Educational Review**, v. 72, n. 3, p. 354-371, 2020.
- PEREIRA, C.; RAMOS, L.; MENDES, F. Evolution of virtual laboratories and their pedagogical effectiveness. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 55, n. 6, p. 823-844, 2018.
- SILVA, C. A. et al. Advances in digital tools for teaching and learning: A literature review. **Journal of Digital Learning**, v. 19, n. 2, p. 21-36, 2021.
- SILVA, M.; MENDES, R.; PEREIRA, L. Digital simulations and their application in biological sciences education. **Computers & Education**, v. 92, p. 100-115, 2016.
- SANTOS, F. C. et al. Augmented reality in education: A systematic review of the literature. **Journal of Educational Technology**, v. 45, n. 2, p. 78-90, 2022.
- SOUSA, F.; REZENDE, J. Virtual reality and learning: A review of the literature. **Interactive Learning Environments**, v. 28, n. 3, p. 409-424, 2020.
- TEIXEIRA, J. et al. Virtual environments and interactive simulations in the teaching of natural sciences. **Research in Science & Technological Education**, v. 38, n. 2, p. 199-214, 2020.
- TUNNELL, L.; MARTINEZ, J.; CARRILLO, D. E-learning tools and their application in science education. **Journal of Science**



REI
ISSN 1984-431X

Revista Eletrônica Interdisciplinar
Barra do Garças – MT, Brasil
Ano: 2024 Volume: 16 Número: 2

Education and Technology, v. 29, n. 4, p. 522-536, 2020.

VERMA, V. et al. Effectiveness of digital simulations for enhancing learning outcomes in biology. **Biology Education Research**, v. 23, n. 2, p. 211-228, 2022.

WILLIAMS, R.; ROGERS, A.; LEONARD, B. Integrating technology into science education: A case study. **Journal of Educational Computing Research**, v. 54, n. 5, p. 753-770, 2016.

ZHANG, Y.; LI, Z.; XU, Y. Technology-enhanced learning in biological sciences: A review. **Journal of Biological Education**, v. 56, n. 1, p. 55-68, 2022.