

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PAULA DIANA

**FERRAMENTAS DE BIOINFORMÁTICA PARA O ENSINO DA GENÉTICA NA
EDUCAÇÃO BÁSICA**

DOIS VIZINHOS

2025

PAULA DIANA

**FERRAMENTAS DE BIOINFORMÁTICA PARA O ENSINO DA GENÉTICA NA
EDUCAÇÃO BÁSICA**

BIOINFORMATICS TOOLS FOR TEACHING GENETICS IN BASIC EDUCATION

Trabalho de conclusão de curso de especialização apresentado como requisito para obtenção do título de Especialista em Biologia Molecular da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Dr. Leandro Turmena

DOIS VIZINHOS

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

PAULA DIANA

**FERRAMENTAS DE BIOINFORMÁTICA PARA O ENSINO DA GENÉTICA NA
EDUCAÇÃO BÁSICA**

Trabalho de conclusão de curso de especialização
apresentado como requisito para obtenção do título de
Especialista em Biologia Molecular da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Dr. Leandro Turmena

Data de aprovação: 14/04/2025

Daiara Manfio Zimmermann

Doutora

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus Dois Vizinhos*

Andréa Cristina de Moraes Malinverni

Doutora

Escola Paulista de Medicina Universidade Federal de São Paulo – *Campus São Paulo*

Rosangela Maria Boeno

Doutora

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus Dois Vizinhos*

DOIS VIZINHOS

2025

Dedico este trabalho a todos os professores e professoras da educação básica, com a esperança de que ele possa contribuir para a melhoria do ensino e da aprendizagem em nosso país.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não atenderão a todas as pessoas que fizeram parte desta importante fase da minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas de que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Leandro Turmena, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Entender a base da genética reforça o pluralismo democrático, promovendo valores como autonomia pessoal, parentesco e respeito pela variação, e contribuindo para reduzir divisões sociais artificiais. Nesse contexto, esforços para desenvolver currículos de genética em todos os níveis e colaborar com educadores na incorporação de materiais apropriados na sala de aula são essenciais. O conhecimento transmitido não se limita a aspectos técnicos, mas também promove a autonomia pessoal e a participação pública informada. A educação genética oferece uma oportunidade única de integrar conceitos de várias ciências, abordando também as implicações pessoais e sociais das novas tecnologias. Questões de políticas públicas em genética devem ampliar discussões sobre autonomia pessoal, alocação de recursos públicos e a promoção de equidade para mulheres, minorias e pessoas com deficiências, alinhando-se com abordagens inovadoras de "aprendizagem integral", "interdisciplinaridade" e "ciência-tecnologia-sociedade". Com o escopo deste estudo, buscamos fornecer materiais que auxiliem no processo de educação em genética. Este processo deve começar na educação básica e continuar ao longo da vida, além dos ambientes formais de sala de aula. A orientação deve ser interdisciplinar, combinando conteúdo factual de genética básica com tópicos das ciências comportamentais e sociais. Com a implementação dessas abordagens, esperamos contribuir para o desenvolvimento de um público geneticamente alfabetizado, capaz de entender a pesquisa biológica básica, as implicações pessoais e de saúde da genética, e participar ativamente de questões de políticas públicas relacionadas à genética. Este trabalho também busca promover a compreensão dos valores pessoais e perspectivas culturais sobre questões complexas relacionadas à genética. No trabalho apresentado, foram reunidas ferramentas de bioinformática e elaboradas atividades pedagógicas com o objetivo de integrá-las ao plano de aula do ensino de genética. Essas ferramentas e atividades têm o intuito de facilitar a compreensão dos conceitos genéticos, promovendo uma abordagem interdisciplinar e interativa. Além de enriquecer o conteúdo científico, o estudo também visa estimular a reflexão crítica sobre as implicações sociais, éticas e pessoais da genética, preparando os alunos para participarem de forma informada nas discussões sobre as novas tecnologias e suas implicações na sociedade.

Palavras-chave: Genética; Ensino Médio; Educação em saúde Divulgação científica.

ABSTRACT

Understanding the basis of genetics strengthens democratic pluralism, promotes values such as personal autonomy, kinship and respect for variation, and helps to reduce artificial social divisions. In this context, efforts to develop genetics curricula at all levels and to work with educators to integrate appropriate materials into the classroom are essential. The knowledge imparted is not only important in itself, but also promotes personal autonomy and informed public participation. Genetics education offers a unique opportunity to integrate concepts from different sciences and to address the personal and societal implications of new technologies. Public policy issues in genetics should be broadened to include discussions on personal autonomy, the allocation of public resources and ensuring equity for women, minorities and people with disabilities, in line with innovative approaches to 'holistic learning', 'interdisciplinarity' and 'science-technology-society' that synthesise information from different disciplines and connect learning to students' personal lives and culture. The aim of this study is to provide materials to support the process of education in genetics. This process should begin in primary education and continue into adulthood, beyond formal classroom settings. The approach should be interdisciplinary, combining factual content in basic genetics with topics from the behavioural and social sciences. By implementing these approaches, we hope to contribute to the development of a genetically literate public that understands basic biological research, the personal and health implications of genetics, and actively participates in public policy issues related to genetic information. This work also aims to promote an understanding of personal values and cultural perspectives on complex genetic issues. In the work presented, bioinformatics tools have been collected and pedagogical activities have been developed with the aim of integrating them into the genetics teaching curriculum. These tools and activities are designed to facilitate the understanding of genetic concepts by promoting an interdisciplinary and interactive approach. In addition to enriching scientific content, the study also aims to stimulate critical reflection on the social, ethical and personal implications of genetics, preparing students to actively participate in informed discussions about new technologies and their societal implications.

Keywords: Genetics; High School; Health Education; Science dissemination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenho experimental proposto no estudo.....	20
Figura 2 - Atividades para o Ensino de Genética	27
Gráfico 1 - Conjunto diversificado de ferramentas de bioinformática	24

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Seleção de ferramentas e suas funcionalidades	25
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

US – United States

3D – Três Dimensões

AIDS – Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (*Acquired Immunodeficiency Syndrome*)

ASU – Arizona State University

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

CBE – *Cell Biology Education*

COVID-19 – *Coronavirus Disease 2019*

DNA – Ácido Desoxirribonucleico

DNALC – *DNA Learning Center*

GEO – *Gene Expression Omnibus*

GSLC – *Genetic Science Learning Center*

HHMI – *Howard Hughes Medical Institute*

HIV – Vírus da Imunodeficiência Humana (*Human Immunodeficiency Virus*)

MIT – *Massachusetts Institute of Technology*

NCBI – *National Center for Biotechnology Information*

NHGRI – *National Human Genome Research Institute*

OLATCG – *Online Learning and Teaching Center for Genetics*

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

PGED – *Personal Genetics Education Project*

RNA – Ácido Ribonucleico

SBG – Sociedade Brasileira de Genética

STEM – *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*

UCSC – *University of California, Santa Cruz*

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1 Desenho experimental.....	20
3.2 Sistematização de ferramentas de bioinformática	20
3.3 Avaliação de usabilidade e potencial pedagógico	22
3.4 Elaboração de atividades para o ensino da genética.....	22
4 RESULTADOS	24
5 DISCUSSÕES	28
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A genética é uma das áreas fundamentais da biologia, responsável pelo estudo da hereditariedade e da variabilidade dos organismos (Alberts, 2015; Griffiths, 2020). Seu ensino na educação básica desempenha um papel essencial na formação científica dos alunos, permitindo que compreendam desde os princípios básicos da transmissão de características hereditárias até aplicações avançadas, como engenharia genética e terapia gênica. No entanto, diversos estudos apontam dificuldades no ensino dessa disciplina devido à complexidade dos conceitos e à abstração de alguns conteúdos (Chattopadhyay, 2005; Freeman, 2014; Haskel-Ittah, 2020).

A bioinformática surge como uma ferramenta inovadora para superar essas dificuldades, possibilitando o uso de recursos computacionais para a análise e interpretação de dados biológicos (Hyland, 2019; Kovarik, 2013; Mcqueen, 2012). A necessidade de novas abordagens pedagógicas para o ensino de genética é amplamente discutida na literatura científica (Dedhia, 2019; Haga, 2006; Pucker, 2019; Smith, 2016). Pesquisas indicam que o modelo tradicional, baseado em aulas expositivas e memorização de conceitos, tem limitações quando se trata de conteúdos complexos, como genética molecular e bioquímica. Dessa forma, estratégias baseadas na aprendizagem ativa, incluindo metodologias investigativas e o uso de tecnologias educacionais, têm demonstrado maior eficácia no engajamento e na compreensão dos estudantes. A bioinformática, ao permitir a análise de sequências genéticas e a realização de simulações, contribui para uma aprendizagem mais concreta e prática (Gehring; 2017; Machluf, 2013; Newman, 2012; Wood-Robinson, 1997).

A integração de ferramentas de bioinformática no ensino de genética representa uma abordagem inovadora e promissora para aprimorar o engajamento, a autoeficácia e o desempenho acadêmico dos alunos do ensino básico (Campbell, 2003; Cummings, 2010). Fundamentada em princípios das teorias construtivista e experiencial de aprendizagem, essa estratégia pedagógica permite aos estudantes construírem ativamente seu conhecimento ao explorar dados reais, formular hipóteses e interpretar resultados, promovendo um aprendizado mais significativo e contextualizado (Bandura, 1997; Jungck, 2010). A utilização dessas ferramentas

fortalece o entendimento dos alunos em sua capacidade de realizar tarefas, incentivando a autonomia e o pensamento crítico.

Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo geral reunir ferramentas de bioinformática de acesso livre para o ensino de genética no Ensino Médio. A partir da revisão da literatura e posterior análise destes recursos, buscou-se identificar as potencialidades e limitações dessas ferramentas, resultando na proposição de diretrizes para a integração curricular e no aprimoramento da compreensão dos alunos na era da genômica (Dougherty, 2009; Oke, 2018; Pettersen, 2021). Para alcançar esse objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram traçados: (1) Sistematizar ferramentas de bioinformática para o ensino de genética, identificando e descrevendo ferramentas de acesso livre adequadas para o Ensino Médio. (2) Avaliar a usabilidade e o potencial pedagógico de ferramentas selecionadas, com base em análises teóricas. (3) Desenvolver modelos de atividades para a integração curricular, propondo estratégias pedagógicas que ampliem e qualifiquem o uso da bioinformática no ensino de genética

Com a implementação de abordagens pedagógicas eficazes e o suporte da instituição, a bioinformática tem o potencial de revolucionar o ensino de genética, promovendo um aprendizado mais acessível, dinâmico e relevante para os alunos (Pevzner, 2009). A formação de cidadãos com letramento genético é fundamental para que possam acompanhar os avanços científicos e tecnológicos atuais e participar ativamente de debates éticos e decisões políticas relacionadas à genética.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A transição do ensino da genética, outrora confinado a livros didáticos e aulas expositivas, para um modelo dinâmico e interativo impulsionado pela bioinformática, representa uma profunda transformação educacional (Mendes, 2022; Moraes, 2021). A literatura científica, um vasto repositório de conhecimento, revela que essa jornada não se resume à mera adoção de ferramentas digitais, mas sim à redefinição do próprio conceito de aprendizado, transformando alunos em exploradores do mundo molecular (Moraes, 2021).

A bioinformática é um campo científico moderno e crescente criado pela intersecção de biologia, ciência da computação e tecnologia da informação para dar suporte ao armazenamento, organização e recuperação de dados biológicos (GEO, 1999; Alsina, 2003; Berman, 2003; Edgar, 2002; Gabriel, 2002; Gatherer, 2020; Hubbard, 2002; Kent, 2002; Sherry, 2001; Stankiewicz, 2002; Venter, 2001). Desenvolvimentos recentes tanto em biologia molecular quanto em tecnologia da informação tornaram os dados biológicos muito mais prontamente disponíveis para cientistas e instituições educacionais, e essa quantidade crescente de dados criou um requisito para o uso de computadores para organizar, analisar e processar tais informações (Wefer, 2008; Wood, 2013).

Um exemplo notável do campo é a conclusão do Projeto Genoma Humano (Gilbert, 2004; Kent, 2002; Venter, 2001). De acordo com este trabalho, o objetivo final do campo bioinformática é permitir a descoberta de novos *insights* biológicos, bem como criar uma perspectiva global a partir da qual princípios unificadores em biologia podem ser discernidos. A bioinformática não está apenas revolucionando a biologia moderna, mas também redefinindo a forma como a pesquisa biológica é realizada e está impactando as práticas industriais e médicas.

Em termos gerais, o campo da bioinformática incorpora três áreas principais: 1) genômica, 2) proteômica e 3) biologia de sistemas (Campbell, 2003; Griffiths, 2020). A genômica inclui dados de sequência de DNA, enquanto a proteômica lida especificamente com a função, formas, interações e abundância de proteínas. A biologia de sistemas é o ramo mais recente e complexo no campo da bioinformática e examina o papel extensivo das interações de proteínas e DNA na função de células, tecidos e órgãos como um todo. Por exemplo, a biologia de sistemas pode descrever

o caminho de enzimas e seus vários metabólitos usando modelos de dados de computador ou pode ilustrar a função cerebral usando imagens de computador. O campo da bioinformática torna as áreas de genômica, proteômica e biologia de sistemas possíveis. As principais pesquisas atuais e aplicações clínicas da bioinformática incluem seu uso para melhorar o diagnóstico e a detecção de doenças, promover o desenvolvimento de vacinas por meio da triagem de bancos de dados para genomas de patógenos e aumentar a compreensão dos processos evolutivos por meio da análise de mutações de sequência de nucleotídeos/proteínas (Campbell, 2003; Griffiths, 2020).

Além desses usos, a educação em bioinformática pode ser amplamente definida como o ensino e a aprendizagem do uso de computadores e tecnologia da informação para reunir, armazenar, analisar, interpretar e integrar dados para resolver problemas biológicos (Magana, 2014). Isso significa que o treinamento e a educação em bioinformática devem abranger conhecimentos e habilidades de biologia, matemática, estatística, física, química, medicina, farmacologia, ciência da computação e tecnologia da informação. No entanto, integrar efetivamente a educação em bioinformática em ambientes educacionais formais e informais tem sido um desafio devido a: 1) sua natureza interdisciplinar; 2) os métodos, perspectivas e culturas díspares de suas disciplinas relacionadas; 3) a falta de uma estrutura de suporte de treinamento integrada; e 4) a falta de colaboração entre agências de financiamento (Chattopadhyay, 2005; Gehring, 2006; Kovarik, 2013; MACHLUF; YARDEN, 2013; Magana, 2014; Wefer, 2008; Wood-Robinson, 1997). Uma justificativa subjacente para o estudo da incorporação de materiais e ideias de bioinformática na educação emerge de uma perspectiva de Ciência, Tecnologia e Sociedade e, mais especificamente, da estrutura de questões sociocientíficas emergentes (Wefer, 2008). A incorporação de tópicos de bioinformática representa uma oportunidade de fornecer perspectivas ricas em conteúdo e sociocientíficas para o currículo de ciências.

Uma abordagem eficaz para ensinar bioinformática é a utilização de atividades práticas que envolvem ferramentas e bancos de dados reais. Por exemplo, projetos que permitem aos estudantes analisarem sequências de DNA utilizando softwares de bioinformática podem tornar o aprendizado mais significativo e engajador. Além disso, a incorporação de estudos de caso e problemas do mundo real pode ajudar os alunos a verem a relevância da bioinformática e da genética em contextos cotidianos. A

integração da bioinformática e da genética no ensino médio oferece inúmeros benefícios para os estudantes e para a sociedade em geral. Ao aprenderem sobre bioinformática e genética, os estudantes desenvolvem uma compreensão mais profunda dos processos biológicos e das tecnologias utilizadas na pesquisa científica. Isso contribui para uma população mais informada e capaz de tomar decisões embasadas sobre questões científicas e éticas. A análise de dados biológicos requer habilidades de pensamento crítico e analítico. Ao envolver-se em atividades de bioinformática, os estudantes aprimoram essas habilidades, que são transferíveis para outras áreas do conhecimento e da vida cotidiana (Cummings, 2010; Form, 2011; Jungck, 2010; Kovarik, 2013; Wefer, 2008). A exposição precoce à bioinformática e à genética pode inspirar os estudantes a seguir carreiras nas áreas de STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*). Com a crescente demanda por profissionais nessas áreas, essa preparação é essencial para atender às necessidades do mercado de trabalho futuro.

Diversos programas e iniciativas ao redor do mundo têm integrado com sucesso a bioinformática e a genética no ensino médio. O projeto 4273pi (Bain, 2022), desenvolveu recursos educacionais que introduzem a bioinformática nas escolas, reforçando tópicos-chave dos currículos de biologia. Esses recursos são projetados para serem acessíveis e envolventes, permitindo que os estudantes explorem dados reais e desenvolvam habilidades práticas. O *pgEd* (Bain, 2022; Cook, 2022), fundado em 2006 e sediado na *Harvard Medical School*, busca envolver e informar o público sobre os benefícios e as questões éticas, legais e sociais relacionadas à genética pessoal. O projeto desenvolve materiais curriculares online, realiza workshops e colabora com a indústria do entretenimento para disseminar informações precisas sobre genética (Bain, 2022; Cook, 2022). Além disso, o *pgEd* trabalha diretamente com estudantes do ensino médio, utilizando tópicos como diagnóstico pré-natal e os desafios biológicos da colonização de Marte para engajar os alunos.

O Instituto de Genômica da UC Santa Cruz organiza programas para treinar jovens pesquisadores em codificação e bioinformática, incluindo cursos intensivos de curta duração para estudantes de faculdades comunitárias, programas de codificação de verão para novos alunos e programas de mentoria e estágio em pesquisa para estudantes de graduação (Kent, 2002; Casper, 2023). O instituto também colabora com salas de aula do ensino médio para levar experimentação remota a ambientes que normalmente não possuem infraestrutura para tais atividades.

No Brasil, iniciativas têm sido desenvolvidas para integrar a bioinformática no ensino médio. Por exemplo, o estudo de Mendes et al. (2022) (Mendes, 2022) apresentou a plataforma OLATCG, desenvolvida como uma ferramenta de bioinformática para o ensino de genética no ensino médio. A pesquisa, de caráter descritivo com abordagem qualitativa, foi realizada com a participação de nove alunas de uma escola pública federal localizada no Rio de Janeiro. A estratégia didática envolveu procedimentos experimentais *in silico* e sua validação indicou que a utilização da plataforma contribuiu para o aprendizado de temas de genética molecular e filogenia, além de aproximar os alunos da pesquisa científica. Além disso, estudos como o de Moraes e Cezar-de-Mello (2021) (Moraes, 2021) analisaram a percepção dos docentes sobre o uso da bioinformática no ensino de biologia. A pesquisa revelou que, embora os professores reconheçam as potencialidades da bioinformática como recurso didático, muitos não se sentem preparados para utilizá-la devido à falta de formação adequada e infraestrutura nas escolas. A percepção dos docentes sobre o uso da bioinformática é crucial para sua implementação efetiva. Dos respondentes, 56% definiram a bioinformática satisfatoriamente, e a potencialidade dessa ferramenta foi associada à possibilidade de contextualização de temas abstratos, divulgação da área e interdisciplinaridade. No entanto, limitações como falta de experiência dos docentes, currículo engessado e carência de infraestrutura foram apontadas como obstáculos.

No entanto, a implementação da bioinformática no ensino da genética, apesar de seu imenso potencial, enfrenta desafios multifacetados que exigem atenção e ação coordenadas. Os principais obstáculos podem ser categorizados em três áreas cruciais: infraestrutura tecnológica, capacitação de professores e adaptação dos currículos. A disponibilidade de computadores, internet de alta velocidade e softwares de bioinformática varia significativamente entre as escolas, criando um abismo digital. Escolas em áreas rurais ou de baixa renda frequentemente carecem dos recursos básicos necessários para integrar a bioinformática ao ensino. A falta de acesso equitativo à tecnologia pode exacerbar as desigualdades educacionais, privando certos alunos das oportunidades de aprendizado proporcionadas pela bioinformática. Equipamentos de informática e softwares de bioinformática exigem manutenção regular e atualizações frequentes, o que pode representar um desafio para escolas com orçamentos limitados. A obsolescência tecnológica pode tornar os recursos de bioinformática obsoletos rapidamente, exigindo investimentos contínuos em novas

tecnologias. Muitos professores não receberam formação adequada em bioinformática durante sua formação inicial ou continuada. A falta de conhecimento e habilidades em bioinformática pode dificultar a capacidade dos professores de utilizar as ferramentas e plataformas de bioinformática de forma eficaz em sala de aula. Alguns professores podem resistir à adoção de novas tecnologias e metodologias de ensino, preferindo abordagens tradicionais. A resistência à mudança pode impedir a integração da bioinformática ao ensino, limitando o potencial de transformação da educação genética. Muitos currículos de genética ainda não incorporaram os avanços da bioinformática e da genômica. A falta de conteúdo relevante e atualizado pode dificultar a capacidade dos professores de conectar a genética à realidade dos alunos e às aplicações práticas da bioinformática. Há uma escassez de materiais didáticos que integrem a bioinformática ao ensino da genética de forma eficaz. A falta de materiais didáticos inovadores e envolventes pode dificultar a capacidade dos professores de criar experiências de aprendizado significativas para os alunos. É necessária a inserção e debate de questões éticas e sociais, como a privacidade, a discriminação genética e a biossegurança, no currículo.

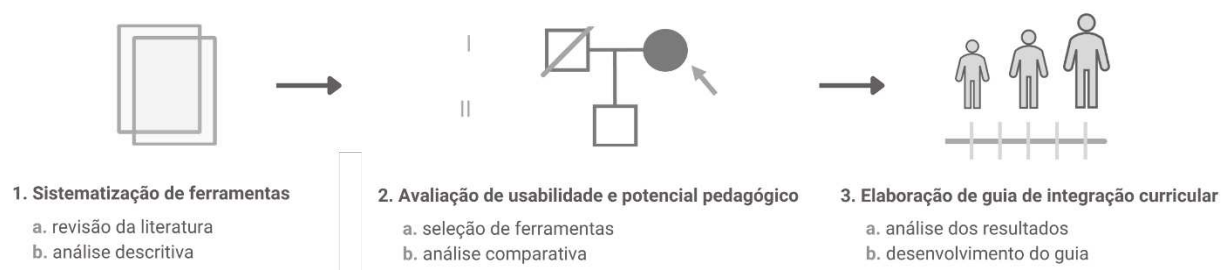
Para superar esses desafios, são necessárias ações coordenadas em diversas frentes. Governos e instituições educacionais precisam investir em recursos tecnológicos para garantir o acesso equitativo à bioinformática em todas as escolas. É essencial oferecer programas de formação continuada que preparem os professores para utilizar as ferramentas e plataformas de bioinformática de forma eficaz. Os currículos de genética precisam ser revisados e atualizados para incorporar os avanços da bioinformática e da genômica. É necessário criar materiais didáticos que integrem a bioinformática ao ensino da genética de forma envolvente e significativa. Incentivar a colaboração entre professores, pesquisadores e profissionais de bioinformática para compartilhar conhecimentos e recursos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Desenho experimental

O desenho experimental apresentado detalha de forma abrangente o processo de pesquisa para atingir os objetivos propostos. Ele abrange desde a revisão da literatura até a construção do guia de integração curricular, demonstrando um planejamento cuidadoso e rigoroso (Figura. 1).

Figura 1 - *Desenho experimental proposto no estudo*



Fonte: Elaborada pela autora (2025)

3.2 Sistematização de ferramentas de bioinformática

A primeira etapa do estudo consistiu em uma revisão sistemática da literatura para identificar e categorizar ferramentas de bioinformática de acesso livre que pudessem ser aplicadas no ensino de genética no Ensino Médio. Para garantir a relevância e a qualidade dos dados coletados, foram definidos critérios de inclusão e exclusão rigorosos.

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO:

- I. **Acesso Gratuito:** As ferramentas deveriam ser de acesso livre, garantindo a viabilidade de implementação em escolas públicas com recursos limitados.
- II. **Relevância Pedagógica:** As ferramentas deveriam auxiliar no ensino de conceitos de genética e biologia molecular, alinhando-se aos objetivos do currículo do Ensino Médio.
- III. **Facilidade de Uso:** As ferramentas deveriam ser intuitivas e de fácil utilização, tanto para professores quanto para alunos, minimizando a necessidade de treinamento extensivo.

- IV. **Disponibilidade de Recursos Educacionais:** As ferramentas deveriam oferecer materiais de apoio, como tutoriais, exemplos de atividades e documentação, facilitando o aprendizado e a aplicação em sala de aula.
- V. **Aplicabilidade ao Ensino Médio:** As ferramentas deveriam ser adequadas ao nível de conhecimento e às necessidades dos alunos do Ensino Médio.
- VI. **Linguagem:** Ferramentas que estivessem disponíveis na língua portuguesa, ou que possibilitassem a tradução de forma simplificada.

CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO:

- I. **Ferramentas Pagas:** Ferramentas que exigissem qualquer tipo de pagamento ou assinatura foram excluídas.
- II. **Ferramentas Complexas:** Ferramentas que exigissem conhecimento avançado em bioinformática ou programação foram excluídas.
- III. **Ferramentas Desatualizadas:** Ferramentas que não fossem atualizadas regularmente ou que apresentassem problemas de compatibilidade foram excluídas.
- IV. **Ferramentas sem suporte educacional:** Ferramentas que não apresentassem nenhum tipo de suporte ao educador, como tutoriais, ou guias de utilização.
- V. **Ferramentas com foco exclusivo em pesquisa:** Ferramentas que apesar de gratuitas, fossem voltadas exclusivamente para a pesquisa, sem nenhuma aplicação didática.

A revisão sistemática da literatura foi conduzida utilizando bases de dados acadêmicas como *PubMed*, *Web of Science* e *Scopus*. A estratégia de busca empregou uma combinação de descritores e operadores booleanos para otimizar a identificação de ferramentas e materiais relevantes. No *PubMed*, a seguinte estratégia foi utilizada: ("*bioinformatics tools*" OR "*computational biology education*") AND ("*high school*" OR "*secondary education*") AND ("*genetics*" OR "*molecular biology*") AND ("*free software*" OR "*open source*"). Essa combinação buscou artigos que mencionassem ferramentas de bioinformática ou educação em biologia computacional, aplicáveis ao ensino médio, focados em genética. Estratégias similares, adaptadas às particularidades de cada base de dados. Adicionalmente, foram explorados os *websites* de instituições de pesquisa e ensino renomadas, como o *National Human Genome Research Institute* (NHGRI) e o *Genetic Science Learning Center* (GSLC), para complementar a busca por recursos relevantes.

A partir da aplicação desses critérios, a revisão sistemática da literatura permitiu a identificação e categorização de ferramentas de bioinformática de acesso

livre, descrevendo suas funcionalidades, aplicações pedagógicas e desafios de implementação no ensino de genética no Ensino Médio. Os dados coletados foram analisados de forma descritiva e, em seguida, visualizados por meio de um gráfico para melhor interpretação. Além disso, as ferramentas e seus atributos foram classificados e organizados em um quadro explicativo, proporcionando uma compreensão mais clara e estruturada dos resultados.

3.3 Avaliação de usabilidade e potencial pedagógico

Na segunda etapa, realizou-se uma avaliação teórica da usabilidade e do potencial pedagógico das ferramentas de bioinformática selecionadas na revisão da literatura. A partir da identificação de um conjunto representativo de ferramentas, considerando a diversidade de funcionalidades e aplicações pedagógicas, procedeu-se à análise crítica de cada uma. Essa análise foi baseada em critérios como interface do usuário, facilidade de navegação, clareza das informações e recursos didáticos disponíveis. Nesse contexto, foram considerados os desafios e as potencialidades de cada ferramenta para o ensino de conceitos genéticos, com base nas informações disponíveis em suas documentações e em estudos prévios. A análise comparativa das ferramentas permitiu identificar aquelas que apresentavam maior potencial para aprimorar a aprendizagem dos alunos, bem como aquelas que apresentavam limitações ou desafios de implementação no contexto escolar, sempre à luz das diretrizes e competências propostas pelos documentos norteadores da educação básica brasileira.

3.4 Elaboração de atividades para o ensino da genética

A terceira etapa consistiu na elaboração de atividades, baseada na análise dos resultados das etapas anteriores. A metodologia incluiu:

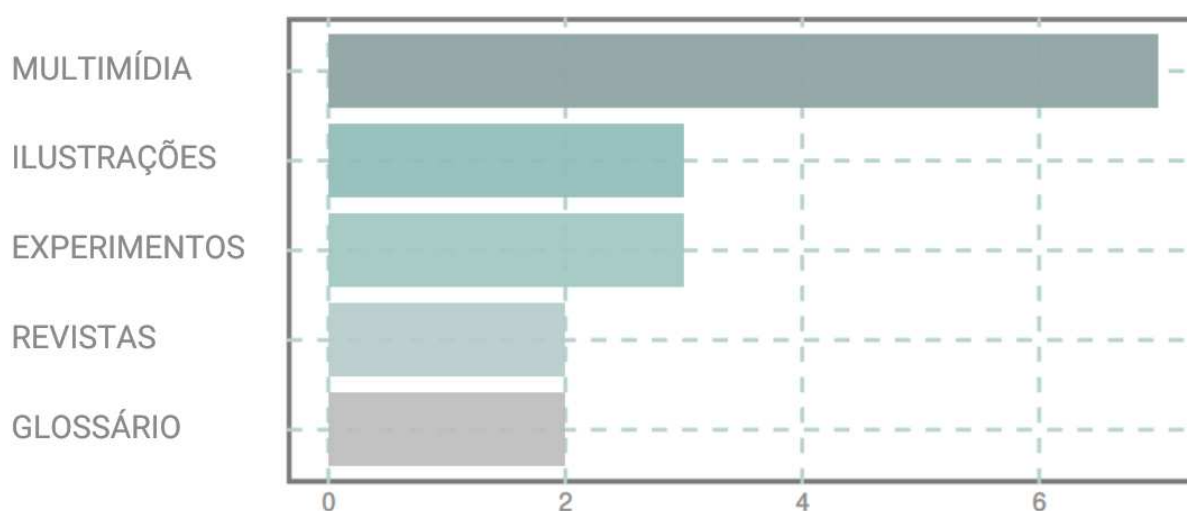
- I. Síntese dos resultados: Identificação das ferramentas mais promissoras.
- II. Estruturação: Organização das informações em seções claras e acessíveis.
- III. Alinhamento com documentos norteadores: Consideração das diretrizes dos PCN (MEC, 1998) e BNCC (MEC, 2017).
- IV. Revisão e formatação: Garantia da clareza e acessibilidade das informações.
- V. Elaboração de atividades e planos de aula: Criação de sugestões adaptadas às necessidades do Ensino Médio.

O material desenvolvido inclui sugestões de atividades, planos de aula e estratégias de avaliação, visando fornecer um recurso prático para integrar ferramentas de bioinformática no ensino de genética, promovendo um ensino dinâmico e interativo.

4 RESULTADOS

A presente revisão da literatura permitiu identificar um conjunto diversificado de ferramentas de bioinformática de acesso livre, especificamente voltadas para o ensino de genética no nível de Ensino Médio. Ao todo, foram reunidas 17 ferramentas, organizadas em diferentes categorias conforme sua aplicabilidade e características pedagógicas. Dentre elas, destacam-se os recursos multimídia (7), que oferecem conteúdos interativos e visuais para o aprimoramento da compreensão de conceitos genéticos; as ferramentas voltadas para a criação e utilização de ilustrações científicas (3), que auxiliam na visualização e representação de estruturas e processos biológicos; e as plataformas destinadas à realização de experimentos virtuais (3), que proporcionam uma abordagem prática e contextualizada de técnicas genéticas. Além disso, foram identificadas revistas digitais nacionais (2), que agregam materiais didáticos variados para o ensino da genética, e glossários especializados (2), desenvolvidos para a descrição e contextualização precisa de termos genéticos e genômicos (Gráfico. 1).

Gráfico 1 - Conjunto diversificado de ferramentas de bioinformática



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

As informações detalhadas referentes a cada uma das ferramentas identificadas, incluindo suas funcionalidades, características pedagógicas e

especificidades técnicas, encontram-se sistematizadas no Quadro 1. Esse quadro apresenta uma descrição pormenorizada dos recursos multimídia, das ferramentas destinadas à criação e utilização de ilustrações científicas, das plataformas de experimentação virtual, das revistas digitais nacionais e dos glossários especializados. Dessa forma, é possível obter uma visão abrangente e comparativa acerca das potencialidades de cada recurso no aprimoramento do ensino de genética, proporcionando subsídios fundamentados para a seleção e utilização desses instrumentos pedagógicos.

Quadro 1 - Seleção de ferramentas e suas funcionalidades

<p>(A) multimídias</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Ask a Biologist</i> (ASU) (https://askbiologist.asu.edu/) Site com artigos, jogos e atividades interativas sobre biologia e genética 2. <i>BLOSSOMS Lesson Video Library</i> (MIT) (https://blossoms.mit.edu/) Videoaulas sobre ciências, incluindo genética e biologia molecular, ministradas por professores renomados 3. <i>Lesson Plans</i> (pgEd) (https://pged.org/) Planos de aula sobre questões éticas e sociais relacionadas à genética 4. <i>Genome: Unlocking Life's Code</i> (https://www.unlockinglifescode.org/) Planos de aula sobre questões éticas e sociais relacionadas à genética 5. <i>Vídeos Informativos (Stated Clearly)</i> (https://www.statedclearly.com/) Vídeos explicativos sobre biologia e genética com animações claras e concisas 6. <i>3D Animation Database (DNALC)</i> (https://dnalc.cshl.edu/resources/animations/) Banco de dados com animações 3D de processos biológicos 7. <i>4273pi project - (Bioinformatics Education Project)</i> https://4273pi.org/ Cursos sobre <i>Big Data</i> para a educação em nível escolar, por meio de bioinformática prática
<p>(B) ilustrações</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>BioRender</i> (https://biorender.com/) Plataforma online para criação de ilustrações científicas 2. <i>Servier Medical Art</i> (https://smart.servier.com/) Biblioteca online com milhares de ilustrações médicas e científicas 3. <i>Coloring with Cell</i> https://www.cell.com/comics livro de colorir que explora o mundo da biologia celular de <i>Sammy the Cell</i>
<p>(C) experimentos virtuais</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>DNA Learning Center (DNALC)</i> (https://dnalc.cshl.edu/)

<p>Plataforma online que oferece experimentos virtuais de biologia molecular</p> <p>2. <i>MEGA (Molecular Evolutionary Genetics Analysis)</i> (https://www.megasoftware.net/) Software para análise de dados genéticos e filogenética</p> <p>3. <i>BioInteractive (HHMI)</i> (https://www.biointeractive.org/) Site com simulações e experimentos virtuais sobre biologia e genética</p>
<p>(D) glossário</p> <p>1. <i>Glossário de Termos Genéticos (NHGRI)</i> (https://www.genome.gov/genetics-glossary) Glossário online com definições claras e concisas de termos genéticos complexos.</p> <p>2. <i>Genetic Science Learning Center (GSLC)</i> (https://learn.genetics.utah.edu/) Plataforma com recursos educacionais sobre genética, incluindo um glossário interativo.</p>
<p>(E) revistas nacionais</p> <p>1. <i>Genética na Escola (Sociedade Brasileira de Genética, SBG)</i> (https://www.geneticanaescola.com/revista) Revista online com artigos e recursos educacionais sobre genética</p> <p>2. <i>O Fantástico Mundo da Genética Humana</i> (https://site.unifesp.br/ucgenetica/) Plataforma com recursos educacionais sobre genética, usando jogos, vídeos, músicas e outros materiais</p>


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A elaboração de atividades dinâmicas a partir das ferramentas identificadas neste estudo está ilustrada na **Figura 2**, que apresenta exemplos detalhados de sua utilização no contexto educacional, enfatizando estratégias pedagógicas que favorecem a integração entre teoria e prática no ensino de genética. A figura destaca abordagens metodológicas que contemplam o uso de recursos multimídia para a exploração de conteúdos interativos e visuais, promovendo o aprofundamento conceitual e a construção ativa do conhecimento por parte dos estudantes. Adicionalmente, são demonstradas práticas envolvendo ferramentas para a criação e utilização de ilustrações científicas, que auxiliam na representação gráfica, estimulando o pensamento crítico e a capacidade de interpretação.

Ainda no âmbito das práticas pedagógicas, a figura evidencia o emprego de plataformas de experimentação virtual, que possibilitam a realização de simulações laboratoriais e experimentos computacionais em ambiente virtual, permitindo aos alunos vivenciarem procedimentos científicos que, muitas vezes, seriam inviáveis no contexto escolar tradicional. Essa abordagem amplia as possibilidades de experimentação e consolida a compreensão dos princípios genéticos e genômicos.

Figura 2 - Atividades para o Ensino de Genética. **(A)** Caça-Palavras Genético: atividade com termos de glossário. **(B)** Tour Virtual pelo Genoma: atividade com animações para explorar o genoma humano, incluindo o "CineClube genético" com vídeos, debates e resenhas. **(C)** Analisando o DNA de fósseis: atividade com simulação de eletroforese para comparação de DNA e análise de DNA fóssil e relações evolutivas entre diferentes espécies. Fonte elaborado pela autora (2025)

A



ATIVIDADE

Caça-Palavras Genético

Talking Glossary of Genetics
(National Human Genome Research Institute | NHGRI)

<https://www.genome.gov/genetics-glossary>

(A) Crie um caça-palavras com termos do glossário

(B) Elaboração de um dicionário genético colaborativo.


Como integrar no plano de aula:

I. Tema: "Caça-Palavras Genético"

II. Apresente o glossário e demonstre como usá-lo

III. Atribua termos específicos para cada aluno(a) pesquisar. Em seguida, peça aos alunos(as) que compartilhem suas descobertas e

B



ATIVIDADE

Tour Virtual pelo Genoma

DNALC
(DNA Learning Center)

<https://dnalc.cshl.edu/>

(A) Animações para explorar o genoma humano

(B) CineClube genético com vídeos, debates e resenhas.


Como integrar no plano de aula:

I. Tema: "Tour Virtual pelo Genoma"

II. Selecione animações relevantes para o tema da aula

III. Exiba as animações e explique os conceitos.

C



ATIVIDADE

Analisando o DNA de fósseis

DNALC
(DNA Learning Center)

<https://dnalc.cshl.edu/>

(A) Simulação de eletroforese para comparação de DNA

(B) Análise de DNA fóssil e relações evolutivas entre diferentes espécies

Como integrar no plano de aula:

I. Tema: "Analisando DNA de fósseis"

II. Introduza o DNALC e demonstre como utilizar as simulações.

III. Peça aos alunos(as) que relatem seus resultados e expliquem os princípios científicos por trás dos procedimentos.

5 DISCUSSÕES

Este trabalho se dedicou a uma análise exploratória teórica de ferramentas de bioinformática e recursos didáticos nacionais, com o intuito de identificar potenciais aplicações no ensino da genética na educação básica brasileira. O escopo da pesquisa se concentrou no levantamento e na avaliação de recursos digitais e materiais didáticos, visando fornecer um panorama abrangente das possibilidades de aplicação desses recursos em sala de aula. A análise realizada não apenas identificou o potencial da bioinformática como recurso didático inovador, mas também permitiu uma reflexão crítica sobre as implicações pedagógicas de sua utilização. A elaboração de simulações e experimentos virtuais para o contexto do ensino, evidenciada por exemplos como a "*Tour Virtual pelo Genoma*" e a "Análise de DNA", sugere que a bioinformática pode ser uma ferramenta poderosa para promover a contextualização do aprendizado e a conexão com a realidade dos alunos. A identificação de abordagens lúdicas, como a "*Análise de DNA de Fósseis*", reforça a importância de considerar o aspecto motivacional no ensino da genética. A literatura demonstra que a utilização de jogos e simulações interativas pode despertar o interesse dos alunos e facilitar a assimilação de conceitos complexos, tornando o aprendizado mais significativo e prazeroso (Shaffer, 2017; Martins, 2020; Wightman, 2012; Cummings, 2010).

A literatura científica corrobora o potencial da bioinformática como recurso didático para o ensino da genética. a utilização de ferramentas de bioinformática pode auxiliar na visualização de conceitos abstratos e na promoção do aprendizado ativo (Gatherer, 2020). Além disso, a utilização de simulações e experimentos virtuais pode contribuir para o desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico e resolução de problemas. No entanto, é importante ressaltar que a utilização de ferramentas de bioinformática no ensino da genética exige uma formação adequada dos professores. A formação continuada de professores é fundamental para garantir a utilização eficaz dessas tecnologias em sala de aula (Silva, 2023). Além disso, é necessário que os professores compreendam os fundamentos da bioinformática e sejam capazes de adaptar as ferramentas e os recursos disponíveis para as necessidades de seus alunos. Ainda, a utilização de ferramentas de bioinformática no ensino da genética

pode contribuir para a democratização do conhecimento científico. Uma vez que a ciência deve ser acessível a todos, e a bioinformática pode ser uma ferramenta poderosa para tornar a genética mais acessível e compreensível para os alunos (Gilbert, 2004).

Em contrapartida, a utilização exclusiva de materiais didáticos e científicos em idiomas estrangeiros em sala de aula representa um desafio significativo para o processo de ensino-aprendizagem. Para muitos estudantes, a necessidade de traduzir e interpretar conceitos complexos em uma língua não nativa pode gerar frustração, desinteresse e uma barreira significativa ao aprendizado efetivo. Essa limitação não apenas dificulta a assimilação do conteúdo em si, mas também pode comprometer o desenvolvimento do senso crítico e da capacidade de engajamento com o material, restringindo o acesso pleno ao conhecimento e potencialmente perpetuando desigualdades no processo educativo.

Deste modo, a análise dos recursos nacionais, por sua vez, demonstrou a necessidade de valorizar a produção científica e didática brasileira. A revista "Genética na Escola", por exemplo, oferece artigos e experimentos que exploram temas relevantes da genética, incentivando a leitura e a pesquisa científica. "*O Fantástico Mundo da Genética Humana*" complementa essa abordagem, apresentando conceitos genéticos de forma acessível e divertida, utilizando personagens e cenários que despertam o interesse dos alunos.

Apesar do potencial da bioinformática e dos recursos didáticos nacionais, a implementação dessas tecnologias no ensino da genética no contexto do ensino público brasileiro enfrenta desafios significativos. A falta de acesso à internet e a carência de equipamentos de informática em muitas escolas representam um obstáculo considerável para a utilização de ferramentas de bioinformática. A falta de formação específica para o uso de ferramentas digitais e a falta de tempo para o planejamento de aulas que integrem a bioinformática podem dificultar a adoção dessas tecnologias. A cultura escolar tradicional, muitas vezes resistente a mudanças, pode dificultar a adoção de metodologias inovadoras. A desigualdade social no Brasil pode agravar os desafios da implementação da bioinformática, uma vez que alunos de escolas públicas de áreas periféricas podem ter menos acesso a recursos tecnológicos e a uma educação de qualidade. A manipulação de dados genéticos, mesmo em simulações, levanta questões éticas e de privacidade que devem ser

consideradas. Garantir que os recursos digitais sejam acessíveis para alunos com deficiência é um desafio que não pode ser ignorado.

Para superar esses desafios, é fundamental investir em políticas públicas que garantam o acesso à internet e a equipamentos de informática em todas as escolas. Além disso, é necessário investir na formação continuada de professores, oferecendo cursos e oficinas que abordem o uso de ferramentas de bioinformática no ensino da genética. A criação de plataformas digitais com recursos educativos gratuitos e de fácil acesso pode auxiliar os professores na elaboração de planos de aula inovadores. A utilização de metodologias ativas, como a aprendizagem baseada em projetos e a sala de aula invertida, pode tornar as aulas mais dinâmicas e envolventes. É importante ressaltar que a implementação da bioinformática no ensino da genética deve ser acompanhada de uma reflexão crítica sobre o papel da tecnologia na educação. A tecnologia não deve ser vista como uma solução mágica, mas sim como uma ferramenta que pode auxiliar na construção de um aprendizado mais significativo e transformador. A análise teórica realizada neste trabalho revelou o vasto potencial das ferramentas de bioinformática e dos recursos didáticos nacionais para o ensino da genética na educação básica brasileira. No entanto, a implementação eficaz dessas tecnologias exige um esforço conjunto de educadores, gestores públicos e pesquisadores.

Ao superar os desafios e investir em melhorias, pode-se transformar a bioinformática em uma importante ferramenta, para democratizar o conhecimento em genômica e tornar o seu o aprendizado mais acessível e significativo para todos(as) os alunos brasileiros. O futuro do ensino da genética reside na capacidade de integrar as novas tecnologias com as melhores práticas pedagógicas, criando um ambiente de aprendizado inovador, inclusivo e transformador.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bioinformática, inegavelmente, configura-se como um paradigma inovador para a didática da genética na educação básica. A sua implementação faculta aos estudantes a imersão em dados genômicos autênticos, transcendendo a mera apreensão memorística e promovendo a construção de um entendimento epistêmico dos conceitos genéticos. A manipulação de dados verídicos não apenas consolida o aprendizado, mas também fomenta o desenvolvimento de competências analíticas e tecnológicas indispensáveis no contexto da sociedade contemporânea.

Não obstante, a transposição da bioinformática para o âmbito curricular defronta-se com desafios multifacetados. A capacitação docente, nesse ínterim, emerge como um alicerce basilar, exigindo a implementação de programas de formação continuada que habilitem os educadores a manejar as ferramentas bioinformáticas com expertise. Ademais, o aporte em infraestrutura, materializado em laboratórios equipados e conectividade de alta velocidade, é crucial para assegurar a democratização do acesso a essa abordagem pedagógica inovadora.

A bioinformática, outrossim, propicia um ambiente propício ao desenvolvimento de habilidades transversais, como o raciocínio crítico e a resolução de problemas. A análise de dados genômicos complexos instiga os estudantes a formular hipóteses, interpretar resultados e elaborar conclusões fundamentadas em evidências empíricas. A literacia digital, por sua vez, é aprimorada mediante a utilização de softwares e plataformas online que desvelam os meandros da genética.

O impacto da bioinformática transcende os limites da sala de aula, preparando os estudantes para um futuro em que a biotecnologia e a genômica assumem papéis preponderantes. A familiaridade com as ferramentas bioinformáticas pode abrir portas para carreiras em áreas como pesquisa biomédica, medicina personalizada e desenvolvimento de terapias gênicas de ponta.

A inclusão e a acessibilidade devem nortear a implementação da bioinformática no ensino de genética. É imperativo assegurar que todos os estudantes, independentemente de suas necessidades especiais ou dificuldades de aprendizado, tenham acesso a recursos e ferramentas adaptadas. A adoção de *softwares* com interfaces intuitivas, legendagem e audiodescrição pode converter a bioinformática em uma experiência inclusiva e enriquecedora para todos.

Em perspectiva futura, vislumbra-se um cenário em que a bioinformática se consolida como componente integrante da didática da genética, revolucionando a forma como os estudantes aprendem e interagem com a ciência. A colaboração sinérgica entre educadores, pesquisadores e formuladores de políticas será indispensável para superar os desafios e maximizar o potencial dessa abordagem pedagógica inovadora. Ao investir na formação docente, na infraestrutura e na criação de recursos educacionais de excelência, podemos garantir que a bioinformática se torne um instrumento poderoso para democratizar o conhecimento genético e preparar os estudantes para os desafios do século XXI.

REFERÊNCIAS

(US), N. C. F. B. I. Gene Expression Omnibus (GEO) [Internet]. Bethesda (MD). 1999.

ALBERTS, B. **Molecular biology of the cell**. Sixth edition. ed. New York, NY: Garland Science, Taylor and Francis Group, 2015. 1 volume (various pagings) p. 9780815344322 (hardcover)9780815344643 (paperback).

ALSINA, J.; GORSK, D. H.; GERMINO, F. J.; SHIH, W. *et al.* Detection of mutations in the mitogen-activated protein kinase pathway in human melanoma. **Clin Cancer Res**, 9, n. 17, p. 6419-6425, Dec 15 2003.

BAIN, S. A.; PLAISIER, H.; ANDERSON, F.; COOK, N. *et al.* Bringing bioinformatics to schools with the 4273pi project. **PLoS Comput Biol**, 18, n. 1, p. e1009705, Jan 2022.

BANDURA, A. **Self-efficacy : the exercise of control**. First edition. ed. New York, New York: W.H. Freeman and Company, 1997. ix, 604 pages : illustrations (black and white) p. 9780716726265071672626297807167285040716728508.

BERMAN, H.; HENRICK, K.; NAKAMURA, H. Announcing the worldwide Protein Data Bank. **Nat Struct Biol**, 10, n. 12, p. 980, Dec 2003.

BRASIL. **Ministério da Educação**. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais*. Brasília, 1998. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencias.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2025.

BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular: educação é a base*. Brasília: **Ministério da Educação**, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em: 29 mar. 2025.

CAMPBELL, A. M.; HEYER, L. J. **Discovering genomics, proteomics, and bioinformatics**. San Francisco: Benjamin Cummings, 2003. xvi, 352 p. p. 9780805347227 (pbk.)0805347224 (pbk.).

CHATTOPADHYAY, A. Understanding of genetic information in higher secondary students in northeast India and the implications for genetics education. **Cell Biol Educ**, 4, n. 1, p. 97-104, 2005.

CUMMINGS, M. P.; TEMPLE, G. G. Broader incorporation of bioinformatics in education: opportunities and challenges. **Brief Bioinform**, 11, n. 6, p. 537-543, Nov 2010.

DEDHIA, M.; KOHETUK, K.; CRUSIO, W. E.; DELPRATO, A. Introducing high school students to the Gene Ontology classification system. **F1000Res**, 8, p. 241, 2019.

DOUGHERTY, M. J. Closing the gap: inverting the genetics curriculum to ensure an informed public. **Am J Hum Genet**, 85, n. 1, p. 6-12, Jul 2009.

EDGAR, R.; DOMRACHEV, M.; LASH, A. E. Gene Expression Omnibus: NCBI gene expression and hybridization array data repository. **Nucleic Acids Res**, 30, n. 1, p. 207-210, Jan 01 2002.

FORM, D.; LEWITTER, F. Ten simple rules for teaching bioinformatics at the high school level. **PLoS Comput Biol**, 7, n. 10, p. e1002243, Oct 2011.

FREEMAN, S.; EDDY, S. L.; MCDONOUGH, M.; SMITH, M. K. *et al.* Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. **Proc Natl Acad Sci U S A**, 111, n. 23, p. 8410-8415, Jun 10 2014.

GABRIEL, S. B.; SCHAFFNER, S. F.; NGUYEN, H.; MOORE, J. M. *et al.* The structure of haplotype blocks in the human genome. **Science**, 296, n. 5576, p. 2225-2229, Jun 21 2002.

GATHERER, D. Reflections on integrating bioinformatics into the undergraduate curriculum: The Lancaster experience. **Biochem Mol Biol Educ**, 48, n. 2, p. 118-127, Mar 2020.

GEHRING, K. M.; EASTMAN, D. A. Information fluency for undergraduate biology majors: applications of inquiry-based learning in a developmental biology course. **CBE Life Sci Educ**, 7, n. 1, p. 54-63, 2008.

GILBERT, J.; NETLIBRARY, I. **The RoutledgeFalmer reader in science education**. London ; New York: RoutledgeFalmer, 2004. x, 278 pages : illustrations.

GRIFFITHS, A. J. F.; DOEBLEY, J. F.; PEICHEL, C. L.; WASSARMAN, D. A. **Introduction to genetic analysis**. Twelfth edition. ed. New York, NY: W.H. Freeman & Company/Macmillan Learning, 2020. xix, 796 pages p. 978131911478713191147849781319114770131911477697813191148171319114814.

HAGA, S. B. Teaching resources for genetics. **Nat Rev Genet**, 7, n. 3, p. 223-229, Mar 2006.

HASKEL-ITTAH, M.; DUNCAN, R. G.; YARDEN, A. Students' Understanding of the Dynamic Nature of Genetics: Characterizing Undergraduates' Explanations for Interaction between Genetics and Environment. **CBE Life Sci Educ**, 19, n. 3, p. ar37, Sep 2020.

HUBBARD, T.; BARKER, D.; BIRNEY, E.; CAMERON, G. *et al.* The Ensembl genome database project. **Nucleic Acids Res**, 30, n. 1, p. 38-41, Jan 01 2002.

HYLAND, K.; GARBER, K.; DASGUPTA, S. From helices to health: undergraduate medical education in genetics and genomics. **Per Med**, 16, n. 3, p. 211-220, May 01 2019.

JUNGCK, J. R.; DONOVAN, S. S.; WEISSTEIN, A. E.; KHIRIPET, N. *et al.* Bioinformatics education dissemination with an evolutionary problem solving perspective. **Brief Bioinform**, 11, n. 6, p. 570-581, Nov 2010.

KENT, W. J.; SUGNET, C. W.; FUREY, T. S.; ROSKIN, K. M. *et al.* The human genome browser at UCSC. **Genome Res**, 12, n. 6, p. 996-1006, Jun 2002.

KOVARIK, D. N.; PATTERSON, D. G.; COHEN, C.; SANDERS, E. A. *et al.* Bioinformatics education in high school: implications for promoting science, technology, engineering, and mathematics careers. **CBE Life Sci Educ**, 12, n. 3, p. 441-459, 2013.

MACHLUF, Y.; GELBART, H.; BEN-DOR, S.; YARDEN, A. Making authentic science accessible-the benefits and challenges of integrating bioinformatics into a high-school science curriculum. **Brief Bioinform**, 18, n. 1, p. 145-159, Jan 2017.

MACHLUF, Y.; YARDEN, A. Integrating bioinformatics into senior high school: design principles and implications. **Brief Bioinform**, 14, n. 5, p. 648-660, Sep 2013.

MAGANA, A. J.; TALEYARKHAN, M.; ALVARADO, D. R.; KANE, M. *et al.* A survey of scholarly literature describing the field of bioinformatics education and bioinformatics educational research. **CBE Life Sci Educ**, 13, n. 4, p. 607-623, 2014.

MCQUEEN, J.; WRIGHT, J. J.; FOX, J. A. Design and implementation of a genomics field trip program aimed at secondary school students. **PLoS Comput Biol**, 8, n. 8, p. e1002636, 2012.

MENDES, A. C. O.; SILVA, A. P. D.; BARBOSA, L. M. V.; OLIVEIRA, M. D. F. A. D. OLATCG: FERRAMENTA DE BIOINFORMÁTICA PARA O ENSINO DE GENÉTICA NO ENSINO MÉDIO. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, 10, n. 3, p. e22061, %10/%03 2022.

MORAES, I.; CEZAR-DE-MELLO, P. O que pensam os docentes sobre o uso da bioinformática no ensino de biologia. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, 14, 08/24 2021.

NASSAR, L. R.; BARBER, G. P.; BENET-PAGÈS, A.; CASPER, J. *et al.* The UCSC Genome Browser database: 2023 update. **Nucleic Acids Res**, 51, n. D1, p. D1188-D1195, Jan 06 2023.

NEWMAN, D. L.; CATAVERO, C. M.; WRIGHT, L. K. Students fail to transfer knowledge of chromosome structure to topics pertaining to cell division. **CBE Life Sci Educ**, 11, n. 4, p. 425-436, 2012.

OKE, M.; AGBALAJOBI, R.; OSIFESO, M.; MUHAMMAD, B. *et al.* Design and implementation of structural bioinformatics projects for biological sciences undergraduate students. **Biochem Mol Biol Educ**, 46, n. 5, p. 547-554, Sep 2018.

PETTERSEN, E. F.; GODDARD, T. D.; HUANG, C. C.; MENG, E. C. *et al.* UCSF ChimeraX: Structure visualization for researchers, educators, and developers. **Protein Sci**, 30, n. 1, p. 70-82, Jan 2021.

PEVZNER, P.; SHAMIR, R. Computing has changed biology--biology education must catch up. **Science**, 325, n. 5940, p. 541-542, Jul 31 2009.

PUCKER, B.; SCHILBERT, H. M.; SCHUMACHER, S. F. Integrating Molecular Biology and Bioinformatics Education. **J Integr Bioinform**, 16, n. 3, May 30 2019.

SHERRY, S. T.; WARD, M. H.; KHOLODOV, M.; BAKER, J. *et al.* dbSNP: the NCBI database of genetic variation. **Nucleic Acids Res**, 29, n. 1, p. 308-311, Jan 01 2001.

SMITH, M. K.; WOOD, W. B. Teaching Genetics: Past, Present, and Future. **Genetics**, 204, n. 1, p. 5-10, Sep 2016.

STANKIEWICZ, P.; LUPSKI, J. R. Genome architecture, rearrangements and genomic disorders. **Trends Genet**, 18, n. 2, p. 74-82, Feb 2002.

VENTER, J. C.; ADAMS, M. D.; MYERS, E. W.; LI, P. W. *et al.* The sequence of the human genome. **Science**, 291, n. 5507, p. 1304-1351, 02 16 2001.

WEFER, S. H.; SHEPPARD, K. Bioinformatics in high school biology curricula: a study of state science standards. **CBE Life Sci Educ**, 7, n. 1, p. 155-162, 2008.

WOOD, L.; GEBHARDT, P. Bioinformatics goes to school--new avenues for teaching contemporary biology. **PLoS Comput Biol**, 9, n. 6, p. e1003089, 2013.

WOOD-ROBINSON, C.; UNIVERSITY OF LEEDS. CENTRE FOR STUDIES IN SCIENCE AND MATHEMATICS EDUCATION. LEARNING IN SCIENCE RESEARCH, G. **Understanding the genetics of the cell : A. The discussion task.** Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, 1997. ([Young people's understanding of, and attitude to, 'The New Genetics'] working paper 3