

Alfabetização Biológica: uma proposta de modelo com base em níveis e dimensões

Biological Literacy: proposing a model based on levels and dimensions

José Adriano Cavalcante Angelo ^a, Adjane da Costa Tourinho e Silva ^a, Marcelo Tadeu Motokane ^b

^a Rede Nordeste de Ensino (RENOEN), Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão - SE, Brasil; ^b Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCLRP), Universidade de São Paulo (USP), Ribeirão Preto - SP, Brasil.

Resumo. Este artigo apresenta uma proposta teórica para a Alfabetização Biológica, compreendida como a capacidade dos indivíduos de compreender os princípios e conceitos da Biologia de forma inter-relacionada aos aspectos sociais, históricos, filosóficos, culturais, econômicos e tecnológicos, possibilitando transformar a sociedade e solucionar problemas contemporâneos a partir do conhecimento biológico e de métodos científicos. O modelo, desenvolvido por meio de revisão da literatura e análise documental de diretrizes curriculares, organiza a Alfabetização Biológica em cinco níveis de desenvolvimento: Analfabetismo Biológico, Alfabetização Biológica Nominal, Funcional, Estrutural e Multidimensional, baseando-se nas formulações teóricas de Uno e Bybee (1994). Esses níveis são complementados por sete dimensões: Cognitiva, Natureza da Biologia (NdB), Afetiva, Interdisciplinar, Sustentabilidade, Bioética e Carreiras Relacionadas à Biologia, ampliando as dimensões propostas por Semilarski e Laius (2021). Além disso, propõem-se três domínios: Psicológico, Epistêmico e Social, que estruturam as dimensões e fortalecem a integração da Biologia com outras áreas. O modelo serve como ferramenta flexível e abrangente para a criação de currículos, o desenvolvimento de materiais didáticos e a avaliação da Alfabetização Biológica, promovendo uma formação cidadã crítica, ética e reflexiva.

Palavras-chave:

Alfabetização Biológica, Alfabetização Científica, Biologia, Ensino de Biologia, Educação Biológica.

Submetido em

23/10/2024

Aceito em

22/10/2025

Publicado em

24/11/2025

Abstract. This article presents a theoretical proposal for Biological Literacy, understood as the capacity of individuals to comprehend biological principles and concepts in relation to social, historical, philosophical, cultural, economic, and technological aspects, enabling them to transform society and address contemporary problems through biological knowledge and scientific methods. The model, developed through a literature review and documentary analysis of curricular guidelines, organizes Biological Literacy into five levels of development: Biological Illiteracy, Nominal Biological Literacy, Functional, Structural, and Multidimensional Biological Literacy, based on the theoretical framework of Uno and Bybee (1994). These levels are complemented by seven dimensions: Cognitive, Nature of Biology (NoB), Affective, Interdisciplinarity, Sustainability, Bioethics, and Biology-Related Careers Awareness, expanding the dimensions proposed by Semilarski and Laius (2021). In addition, the model proposes three domains: Psychological, Epistemic, and Social, that structure the dimensions, thus strengthening the integration of Biology with other fields. This model serves as a flexible and comprehensive tool for curriculum development, teaching material design, and the assessment of Biological Literacy, promoting critical, ethical, and reflective citizenship education.

Keywords:

Biological Literacy, Scientific Literacy, Biology, Biology Teaching, Biology Education.

Introdução

A Alfabetização Científica pode ser compreendida como um processo de formação científica envolvendo a apropriação de conhecimentos, práticas e valores pelos indivíduos, de maneira que eles sejam capazes de compreender e analisar situações, solucionar problemas, tomar decisões e exercer plenamente a sua cidadania em uma sociedade cada vez mais repleta de

ciência e tecnologia (Chassot, 2003; Laugksch, 2000; J. D. Miller, 1983; Silva & Sasseron, 2021).

Trata-se de um termo estratégico, no sentido de que sua principal função não é definir uma condição específica ou situação, mas sim indicar um objetivo ou delimitar uma meta. Devido a sua natureza estratégica, tal termo é alvo de debates, uma vez que diferentes autores e organizações lutam para que suas próprias interpretações acerca do conceito a ele associado sejam aceitas e adotadas pela comunidade de educação científica (Norris & Phillips, 2009; 2003; Roberts, 2007).

Norris e Phillips (2003) organizaram uma multiplicidade de concepções e de elementos sobre o que é ser alfabetizado cientificamente, considerando dois sentidos. Para os autores, o sentido fundamental da Alfabetização Científica refere-se à capacidade de ler e escrever na perspectiva da Ciência. O sentido derivado da Alfabetização Científica é mais amplo e abrange uma variedade de habilidades e conhecimentos relacionados à Ciência, de maneira a incluir: a capacidade de distinguir o que é e o que não é Ciência, de pensar cientificamente e de usar o conhecimento científico na solução de problemas; a compreensão da ciência e de suas aplicações, levando em conta a Natureza da Ciência e suas relações com a cultura; a avaliação dos benefícios e riscos da ciência; e o uso do conhecimento necessário para participar de questões sociocientíficas.

Roberts (2007; 2010), em um esforço para entender o sentido derivado da Alfabetização Científica, identificou duas perspectivas diferentes, recorrentes na literatura (Osborne, 2023; Silva & Sasseron, 2021; Valladares, 2021). A Visão I, internalista, é direcionada aos produtos e processos da ciência, de forma a proporcionar aos estudantes um entendimento de como a Ciência é estruturada, incluindo o conhecimento proposicional e procedimental, o pensamento metacognitivo e a disposição para as atividades da ciência escolar, estando associada à preparação de futuros cientistas. A Visão II, externalista, está relacionada às situações sociais com componente científico que os estudantes enfrentarão como cidadãos. Esta visão inclui definições de Alfabetização Científica focadas na compreensão da utilidade do conhecimento científico na vida e na sociedade, promovendo a aprendizagem a partir de contextos significativos e adotando uma perspectiva sociocultural dos processos de ensino e aprendizagem e da Ciência.

Mais recentemente, Valladares (2021) descreve a Visão III da Alfabetização Científica, a qual amplia a Visão II, indo além da contextualização social da ciência e buscando maior engajamento social e impacto cidadão. Ela envolve uma abordagem mais transformadora da educação científica, visando não apenas a compreensão e a contextualização da Ciência, mas também a promoção de um maior ativismo social e agência individual e coletiva.

Nessa perspectiva de formação científica, a Biologia desponta como uma Ciência da Natureza que, mesmo estando inter-relacionada aos fenômenos físicos e químicos, possui objeto e metodologias próprios.

Como discutido por Mayr (1996), a compreensão de eventos e processos encontrados no mundo dos organismos vivos não está em qualquer conflito com a explicação físico-química no nível dos átomos e moléculas. Entretanto, há que se considerar que os processos biológicos

são geralmente afetados simultaneamente por múltiplas causas, devido à complexidade de sistemas interagindo com complexos bióticos e ambientes físicos. Em níveis mais elevados de integração, as propriedades dos sistemas que se relacionam não podem ser explicadas por estudo dos seus componentes isolados. Ainda, as diversas causalidades relativas aos fenômenos biológicos envolvem tanto aquelas que são controladas por informações historicamente acumuladas nos genes, as denominadas *causações evolutivas*, quanto aquelas que dependem das propriedades do sistema interativo, as *causações próximas*. Assim, o estudo dos componentes históricos de cada sistema torna-se tão importante quanto o estudo das causalidades próximas.

Essa interação complexa entre múltiplas causas e níveis de organização ressalta a singularidade da Biologia em relação a outras disciplinas científicas. A Biologia, como Ciência, possui especificidades que a distingue de outras disciplinas científicas. Enquanto outras Ciências da Natureza se orientam predominantemente por leis e generalizações invariáveis, a Biologia opera mais no domínio das probabilidades do que dos absolutos, refletindo a complexidade e a diversidade do mundo vivo (Mayr, 1998; Schrödinger, 1945). Esta característica própria da Biologia, juntamente com a sua abordagem multifacetada para entender fenômenos biológicos complexos, tanto do ponto de vista histórico quanto experimental (Cleland, 2020), torna o Ensino de Biologia essencialmente diferente do ensino de outras Ciências. Além disso, a Biologia, com suas particularidades metodológicas e filosóficas, como a importância da probabilidade, teleologia, antropomorfismo, pluralismo, emergência e narração histórica oferece um ambiente rico para os alunos aprenderem sobre a Natureza da Ciência (NdC) e desenvolverem uma compreensão mais ampla da Ciência (Lederman, 2018; Mayr, 1998; McComas, 2015). Portanto, a especificidade da Biologia não só enriquece a educação científica, mas também é crucial para uma compreensão mais completa e integrada da Ciência como um todo.

De acordo com tal percepção, Onel e Durdukoca (2019) argumentam que se torna necessário discutir, além da Alfabetização Científica, as especificidades da Alfabetização Biológica.

Semilarski (2022) enfatiza que o Ensino de Biologia deve objetivar a Alfabetização Biológica em todos os estudantes. Esse aspecto volta a entrar em evidência com a atual crise ambiental instalada, que ameaça a biodiversidade da Biosfera e a própria existência do ser humano e, também, mais recentemente, com a pandemia da Covid-19, que colocou em pauta temas como saúde coletiva e vacinação, dando visibilidade às fragilidades do processo de Alfabetização Biológica das pessoas em várias partes do mundo.

A Alfabetização Biológica pode ser entendida como o desenvolvimento da Alfabetização Científica voltada à Biologia, considerando-se os conhecimentos e epistemologia próprios deste campo disciplinar, bem como a sua função social. Uno e Bybee (1994) consideram que esta se trata de um subconjunto da Alfabetização Científica. Entende-se que uma pessoa alfabetizada biologicamente tem como base a Alfabetização Científica, o que envolve a compreensão de características fundamentais do conhecimento científico, da investigação científica e do valor da ciência (Onel & Durdukoca, 2019). Esse processo de alfabetização não é algo que ocorre pontualmente na escola, tratando-se antes de um contínuo que deve se desenvolver durante toda a vida do indivíduo (Uno & Bybee, 1994).

Indivíduos alfabetizados biologicamente compreendem os princípios e conceitos fundamentais da Biologia, em suas diferentes disciplinas, consideram as características dos conhecimentos e métodos desta ciência, a Natureza da Biologia (NdB), bem como os processos históricos, sociais, filosóficos, culturais, econômicos, ambientais e éticos envolvidos na elaboração e legitimação de seu corpo de conhecimentos e em sua repercussão na sociedade. Além disso, espera-se que desenvolvam funções executivas de controle cognitivo, controle de atenção, tomada de decisão, pensamento crítico, criatividade, expertise e metacognição, a partir do pensamento biológico.

Assim, o processo de Alfabetização Biológica vai além da memorização de termos e definições, se encarregando de suprir a necessidade de ampliar os horizontes da Educação em Biologia (Semilarski, 2022) e possibilitar aos indivíduos a competência em desenvolver estudos autônomos posteriores à escola (Biological Sciences Curriculum Study, 1993; Uno & Bybee, 1994). Essa capacidade de entendimento acerca da Biologia contempla observação, classificação, planejamento e condução de investigações científicas, interpretação de dados e inferências, assim como a compreensão de que o conhecimento biológico é público, empírico, replicável e histórico (Uno & Bybee, 1994).

A Alfabetização Biológica determina a liberdade de analisar opções éticas, socioeconômicas e políticas, que se relacionam com o futuro do meio ambiente e do ser humano e, dessa forma, torna-se fundamental para a formação cidadã, pautada na responsabilidade e solidariedade, devendo partir dos conceitos estruturantes acerca dos sistemas vivos (Veríssimo & Ribeiro, 2001).

Dessa forma, a importância de pesquisar este tema reside na possibilidade de fornecer à comunidade pedagógica e aos elaboradores de currículos, na área de Ensino de Biologia, parâmetros fundamentais que abarquem as diferentes dimensões envolvidas na alfabetização neste campo disciplinar, contribuindo para um ensino mais eficiente rumo à tal alfabetização. Estes parâmetros articulados entre si, em nossa pesquisa, compõem um modelo que pode servir como uma referência para a elaboração de currículos e planos de ensino, bem como de elementos para avaliar o nível de Alfabetização Biológica dos alunos. Isso tem implicações significativas para a formação de cidadãos informados, capazes de tomar decisões sobre questões que envolvem Ciência e tecnologia, relacionadas à Biologia.

Portanto, este artigo apresenta uma pesquisa teórico-conceitual e tem como objetivos (a) discutir a Alfabetização Biológica a partir de duas perspectivas: a primeira, que a organiza em níveis de desenvolvimento (Biological Sciences Curriculum Study, 1993; Krasilchik, 2019; Uno & Bybee, 1994) e a segunda, que a categoriza em dimensões e seus componentes (American Association for the Advancement of Science, 2011; Semilarski, 2022; Semilarski & Laius, 2021); e (b) propor um modelo de Alfabetização Biológica.

Por fim, o artigo organiza-se em três seções principais, além desta introdução. A primeira, intitulada *Alfabetização Biológica: Níveis e Dimensões*, apresenta os fundamentos teóricos dos níveis de alfabetização e das dimensões propostas na literatura. A segunda seção, *Modelo de Alfabetização Biológica*, expõe a proposta desenvolvida neste estudo, destacando seus fundamentos, estrutura, aplicabilidades e limitações. A seção *Conclusão* retoma os principais achados e implicações do modelo proposto.

Alfabetização Biológica: Níveis e Dimensões

Neste tópico, discutiremos a Alfabetização Biológica a partir de duas perspectivas: uma que a considera em seus níveis (Biological Sciences Curriculum Study, 1993; Krasilchik, 2019; Uno & Bybee, 1994) e outra, mais atual, que a considera em diferentes dimensões e componentes (American Association for the Advancement of Science, 2011; Semilarski, 2022; Semilarski & Laius, 2021). Esta discussão subsidiará a construção de um modelo de Alfabetização Biológica, o qual é apresentado na próxima seção deste artigo.

Optamos por distinguir a perspectiva conceitual da Alfabetização Biológica (nome próprio com iniciais maiúsculas) da processual, alfabetização biológica (com iniciais minúsculas), tendo como referência a discussão apresentada por Silva e Sasseron (2021), no que se refere à discriminação entre Alfabetização Científica como conceito e alfabetização científica como processo.

Adicionalmente, neste estudo, incorporamos a perspectiva CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) como eixo estruturante da proposta, considerando que os conhecimentos biológicos são socialmente situados e historicamente construídos. Esta abordagem, alinhada ao que Sasseron e Carvalho (2008) indicam como um dos eixos formadores da Alfabetização Científica, permite compreender a Biologia como campo que interage com os contextos sociotécnicos, ambientais e culturais nos quais seus conceitos adquirem sentido formativo. Considera-se, assim, que a análise dos níveis e dimensões da Alfabetização Biológica deve contemplar não apenas a compreensão conceitual, mas também a inserção crítica desses saberes em contextos sociotécnicos e ambientais. Tal integração é aprofundada posteriormente na organização das dimensões e domínios do modelo proposto.

Níveis de Alfabetização Biológica

Segundo Uno e Bybee (1994), a Alfabetização Biológica não é um fim único a ser alcançado nas aulas de Biologia, mas um contínuo ao longo do qual uma pessoa constrói e reconstrói concepções, habilidades e valores durante sua vida. A descrição de um modelo de Alfabetização Biológica, com quatro níveis, que os alunos podem alcançar na escola – Nominal, Funcional, Estrutural e Multidimensional – é apresentada pelo Biological Sciences Curriculum Study (1993), por Uno e Bybee (1994) e, posteriormente, amplamente divulgado por Krasilchik (2019) em língua portuguesa¹. Esses níveis são ascendentes e interdependentes.

Uno e Bybee (1994) defendem ser mais apropriado considerar que os indivíduos ocupam diferentes posições ao longo de um contínuo de alfabetização biológica para diferentes conceitos da Biologia, de forma que o papel do professor seja o de mediar os estudantes para

¹ No Brasil, a tradução do termo *Biological Literacy* pode variar de acordo com a perspectiva teórica adotada: Alfabetização Biológica, pelo alinhamento à perspectiva freiriana de alfabetização que se ancora na ideia de codificação e decodificação de signos, a qual se efetiva com a análise crítica de situações e contextos pelos sujeitos alfabetizados (Freire, 2013; Kauano & Marandino, 2022; Krasilchik & Marandino, 2004; Silva & Sasseron, 2021); Letramento Biológico por identificar fenômenos biológicos e as implicações no cotidiano e na cidadania (Feitosa, Medeiros, & Cavalcante, 2021; Medeiros et al., 2024). Em Portugal, e em outros países lusófonos, há a adoção da tradução Literacia Biológica.

um nível mais avançado de alfabetização. Nesse aspecto, Krasilchik (2019) indica que ao final do Ensino Médio, os estudantes devam estar em um nível tal de alfabetização biológica que, além de um domínio conceitual da Biologia, possam pensar de forma autônoma, adquirir e avaliar informações e utilizar os conhecimentos biológicos na sua vida cotidiana.

No primeiro nível, Alfabetização Biológica Nominal, os indivíduos conseguem apenas identificar alguns termos como pertencentes ao domínio da Biologia, sem que cheguem a compreendê-los de fato, ou seja, são incapazes de utilizá-los em outro contexto, como na análise de situações cotidianas, por exemplo. Neste nível, os termos, conceitos e princípios da Biologia não apresentam um significado consistente para os sujeitos, que facilmente constroem concepções errôneas (Uno & Bybee, 1994) e, frequentemente, confundem termos com pronúncias similares ou generalizam inadequadamente categorias biológicas distintas. Por exemplo, é comum a associação indevida entre os termos *gene* e *genoma*, ou o uso de *bactéria* como sinônimo genérico para qualquer microrganismo, independentemente de sua classificação. Assim, trata-se de uma alfabetização superficial que, focada nos termos e conceitos em si mesmos, não envolve relações entre eles e, neste sentido, não gera concepções mais abrangentes.

Essa compreensão da Biologia é ampliada na Alfabetização Biológica Funcional, a qual é, de certa forma, ainda limitada. Neste nível, mesmo sendo capazes de ler, memorizar e definir os termos e conceitos biológicos com precisão, os indivíduos não apresentam uma compreensão sistêmica dos variados conhecimentos. Além de não terem um entendimento amplo da Biologia, os estudantes não se envolvem com a investigação científica, nem desenvolvem interesse pelos fenômenos biológicos, mesmo sabendo de sua importância (Biological Sciences Curriculum Study, 1993). Neste nível, os indivíduos são capazes de manter uma discussão sobre temáticas biológicas (Biological Sciences Curriculum Study, 1993; Uno & Bybee, 1994), mas sem aprofundamento ou análise das circunstâncias.

Um indivíduo com alfabetização biológica em nível Estrutural tem a capacidade de entender esquemas, explicar temas específicos e interconectar conceitos variados da Biologia, além de aplicá-los em contextos novos. Os alunos demonstram estar neste nível “*quando compreendem como os fatos, as explicações e as teorias biológicas foram desenvolvidos, quando são capazes de aplicar informações sobre o assunto a situações novas e quando conhecem e apreciam o significado das informações para a biologia e para si mesmos*” (Uno & Bybee 1994, p. 556, tradução nossa).

A Alfabetização Biológica Estrutural pode ser explicada a partir do processo de crescimento da “*árvore metafórica*” (Uno & Bybee 1994, p. 555, tradução nossa), em que os autores se referem aos métodos e investigações científicas. Nesta metáfora, o tronco da árvore é o Conceito central Evolução. Assim, de forma relacionada ocorre a compreensão dos galhos (que se referem aos diferentes conceitos), das folhas (fatos e fenômenos biológicos) e do próprio tronco. Em tal nível ocorre o entendimento integral dos processos envolvidos no crescimento dessa árvore, ou seja, do seu tronco, galhos e folhas e, ainda, compreende-se a Natureza da Biologia e a investigação científica (Biological Sciences Curriculum Study, 1993; Uno & Bybee, 1994).

Neste nível de alfabetização biológica, é explícita a capacidade de o indivíduo explicar os termos, conceitos e fenômenos biológicos com suas próprias palavras, pois, além conhecer o assunto, ele entende como o conhecimento biológico é produzido e mantém o interesse nas Ciências Biológicas. Aqui, há o desenvolvimento de recursos cognitivos como a atenção executiva e memórias de trabalho e de longo prazo, assim como o funcionamento cognitivo executivo na tomada de decisão, pensamento crítico, pensamento criativo, expertise e metacognição.

O último nível, Alfabetização Biológica Multidimensional, *“representa uma compreensão ampla, detalhada e interconectada de um assunto em biologia”* (Uno & Bybee, 1994, p. 556). Segundo os autores, tal nível leva em conta a influência de questões históricas, sociais, políticas, matemáticas, econômicas, globais e, por vezes, tecnológicas na construção e utilização dos conhecimentos, desenvolvendo-se a capacidade de investigação, coleta de informações e resolução de problemas de ordem biológica ou relacionados à Biologia. Além disso, os conhecimentos Biológicos são relacionados a conhecimentos de outras áreas para analisar problemas reais.

Com o nível Multidimensional, por exemplo, ao tratar sobre os impactos ambientais da produção agropecuária no Cerrado², um indivíduo compreende aspectos relacionados aos processos ecológicos desse tipo de produção, assim como as relações históricas, políticas e econômicas envolvidas no agronegócio, desde questões relativas ao desmatamento, às espécies de animais e plantas cultivadas (e seus transgênicos), os ciclos do fogo, e as relações com o avanço tecnológico e a produtividade no campo, ultrapassando o âmbito apenas da Biologia.

A multidimensionalidade na Alfabetização Biológica pode ser compreendida a partir de duas perspectivas principais: a Integral, abrange diversos aspectos dos conceitos e procedimentos científicos; e a Contextual, amplia a compreensão dos conceitos científicos ao situar o estudo da ciência dentro dos contextos de outras disciplinas, da sociedade e da história. Essas perspectivas são discutidas por Bybee (1997), relacionando-as com a Alfabetização Científica.

Assim, a Alfabetização Biológica Multidimensional, na perspectiva Integral, centra-se na compreensão profunda e estruturada das principais estruturas conceituais da Biologia. Essa perspectiva abrange a capacidade de conectar esses conhecimentos fundamentais de forma integrada, permitindo uma aplicação mais completa e significativa em diversos contextos. Ela enfatiza o desenvolvimento de habilidades para resolver problemas complexos e tomar decisões informadas, baseando-se em uma sólida base de conhecimentos biológicos.

Por outro lado, a Alfabetização Biológica Multidimensional na perspectiva Contextual se concentra em situar o conhecimento biológico dentro de um panorama mais amplo, que inclui a Ciência, a tecnologia e os desafios sociais contemporâneos. Nessa abordagem, os

² O cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando mais de 23% do território brasileiro, o que corresponde a uma área de aproximadamente 2.000.000 km² (Durigan & Ratter, 2016; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019; Ribeiro & Walter, 2008). Na perspectiva fisionômica, adotada pela escola americana para definir uma savana, os aspectos florísticos, estacionais, nutricionais do solo e de disponibilidade de água se relacionam à relação ecológica de herbivoria e, de forma marcante, ao fogo, como elemento de manutenção do gradiente de biomassa (Mistry & Berardi, 2014; Walter, Carvalho & Ribeiro, 2008).

alunos são encorajados a entender como a Biologia interage com outras disciplinas e impacta diretamente questões pessoais e sociais. Essa perspectiva promove uma visão crítica e informada, capacitando os alunos a refletirem sobre o papel da ciência tanto na sociedade quanto em suas próprias vidas.

Bybee (1997) argumenta também que alguns indivíduos são cientificamente e tecnologicamente analfabetos. Esta característica pode se dar pela sua idade, estágio de desenvolvimento ou por algum distúrbio cognitivo. De acordo com a concepção de analfabetismo científico apresentada por Bybee (1997), entendemos que pessoas que estão analfabetas biologicamente não chegam a compreender os conceitos, termos e fenômenos como próprios das Ciências Biológicas.

Vale ressaltar, entretanto, que esses diferentes níveis se relacionam a conteúdos específicos da Biologia, de forma que os indivíduos podem estar em diferentes níveis de Alfabetização Biológica simultaneamente (Uno & Bybee, 1994). Por exemplo, estudantes podem possuir um nível Estrutural em Ecologia de Populações e Funcional em Respiração Celular.

O Quadro 1 apresenta os níveis de Alfabetização Biológica discutidos e ampliados, bem como as suas características:

Quadro 1. Níveis de Alfabetização Biológica

Nível da Alfabetização Biológica	Características
Analfabetismo Biológico	Incapaz de compreender algo como pertencente ao domínio da Biologia.
Alfabetização Biológica Nominal	Reconhece termos e conceitos como do domínio da Biologia; Não consegue explicar corretamente conceitos biológicos.
Alfabetização Biológica Funcional	Usa termos biológicos de forma adequada; Define corretamente conceitos biológicos; Memoriza as definições biológicas; Não apresenta aprofundamento e compreensão sistêmica da Biologia.
Alfabetização Biológica Estrutural	Entende os esquemas conceituais da Biologia; Possui conhecimento dos processos e habilidades biológicos; Explica com as próprias palavras os conceitos, procedimentos e fenômenos biológicos; Apresenta domínio integral dos conceitos biológicos.
Alfabetização Biológica Multidimensional	Compreende o lugar da Biologia em relação às outras ciências; Conhece os processos históricos relacionados à Biologia; Conhece a Natureza da Biologia; Entende a relação entre a Biologia, Tecnologia e Sociedade; Relaciona a Biologia com outras ciências; Apresenta domínio conceitual, social, epistêmico e material da Biologia; Aplica o conhecimento biológico na resolução de problemas autênticos.

Níveis da Alfabetização Biológica, adaptado de Biological Sciences Curriculum Study (1993), Bybee (1997), Krasilchik (2019) e Uno e Bybee (1994).

No próximo tópico, serão discutidas as diferentes dimensões da Alfabetização Biológica. Esta discussão se alinha a Bybee (1997), na perspectiva que a Alfabetização Científica incorpora múltiplas dimensões. Dessa forma, podemos afirmar que a Alfabetização Biológica também comporta e incorpora diferentes dimensões na sua definição e na propositura de um modelo.

Dimensões da Alfabetização Biológica

Considerando a Alfabetização Biológica em seus aspectos, é possível compreendê-la a partir de diferentes perspectivas, relacionadas às dimensões Cognitiva, da Natureza da Biologia, Afetiva, Interdisciplinar, da Sustentabilidade e de Carreiras Relacionadas à Biologia (Semilarski, 2022; Semilarski & Laius, 2021), às quais acrescentamos, neste artigo, a dimensão Bioética.

Na Figura 1, estão dispostas as dimensões e os respectivos componentes da Alfabetização Biológica.



Figura 1. Dimensões da Alfabetização Biológica. Elaboração e ampliação pelos autores deste artigo, baseados em Semilarski (2022); Semilarski e Laius (2021) e Uno e Bybee (1994).

Embora o modelo conceitual de Alfabetização Biológica desenvolvido por Semilarski e Laius (2021) tenha sido originalmente articulado visando subsidiar, dentre outras possibilidades, o desenvolvimento futuro de instrumentos de avaliação psicométrica, entendemos que sua utilização pode ser ampliada criticamente para orientar práticas curriculares e pedagógicas. Entretanto, é preciso reconhecer que a aplicação direta e acrítica de modelos construídos sob a perspectiva psicométrica poderia levar à restrição curricular, privilegiando conteúdos e competências facilmente mensuráveis e negligenciando aspectos complexos e subjetivos essenciais à formação integral dos estudantes, como a autonomia ética e o pensamento crítico-reflexivo.

Nesse sentido, neste trabalho, propomos uma adaptação e ampliação cuidadosa e explícita do modelo original, incorporando dimensões como a Bioética, justamente para contemplar também competências e atitudes que vão além do que pode ser mensurado por instrumentos tradicionais, garantindo uma formação em Biologia mais ampla, crítica e humanizadora.

Dimensão Cognitiva

A dimensão Cognitiva envolve o uso da atividade mental em relação à construção do *Conhecimento biológico*, ao entendimento dos *Conceitos centrais*, à aquisição e ao uso de

Habilidades cognitivas na Biologia e à Investigação biológica. Abaixo, descrevemos os componentes de tal dimensão.

O *Conhecimento biológico* possui características e princípios próprios (Poliseli et al., 2013), que podem ser absolutos ou apenas quantitativos: Características conceituais, Propriedades especiais dos organismos vivos e Características metodológicas. As Características conceituais estão pautadas nos conceitos específicos da Biologia, que não são reduzíveis aos conceitos e teorias das ciências físicas; no antiessencialismo³; na teleonomia⁴ e adaptabilidade; na importância das narrativas históricas; na importância de esquemas explicativos; na prevalência de indeterminação de eventos; na falta de importância de leis universais; e na qualidade das ações dos organismos. As Propriedades especiais dos organismos vivos estão pautadas na presença da história herdada de um programa genético; na enorme complexidade, até mesmo nos organismos mais simples; no alto grau de organização; e, em uma não constância de taxas devido à variação evolutiva. Já as Características metodológicas, estão postas a partir da importância da observação, além da experimentação; dos métodos comparativos; assim como a multiplicidade de soluções para um mesmo problema (Mayr, 1996).

Sobre o Conhecimento biológico, McCain (2020) afirma que, embora compartilhe características comuns com outros tipos de conhecimento, este possui particularidades que o tornam único. Para o autor, os conhecimentos da Biologia são obtidos por meio de explicações que, com base em evidências, estabelecem a melhor hipótese para diversos fenômenos biológicos, o que implica que o entendimento biológico depende tanto da aceitação de proposições verdadeiras quanto da habilidade de aplicar modelos biológicos em situações práticas. No entanto, há aspectos específicos na produção e ensino do conhecimento biológico, além das distinções entre seus diferentes tipos, que conferem a esse campo um caráter especial. Assim, o conhecimento biológico é um tipo de conhecimento explicativo de alto nível que envolve a aceitação de hipóteses com base em evidências sólidas, ainda que não absolutamente certas.

Os *Conceitos centrais* referenciam a construção do *Conhecimento biológico* a partir de suas características: propriedades químicas peculiares; mecanismo de regulação próprio; programações genéticas sujeitas à evolução; organização, teleologia e abertura dos sistemas e diferentes delimitações de magnitude, de forma a permitir que os organismos evoluam, se reproduzam, cresçam e se diferenciem, possuam metabolismo e homeostase, respondam à estímulos e se adaptem (Veríssimo & Ribeiro, 2001).

Essa perspectiva de Conceitos centrais da Biologia também é contemplada por Semilarski e Laius (2021). Para as autoras, a evolução, estrutura e função dos seres vivos; o fluxo, a troca e o armazenamento de informações; os caminhos e transformação da matéria e energia e os sistemas são importantes para a educação em Biologia e indispensáveis para a alfabetização

3 A Biologia não lida com essências constantes e separadas, ao contrário: os organismos vivos singularmente distintos constituem populações variáveis, fornecendo material para a seleção natural, adaptação e evolução (Mayr, 1996; Poliseli; Oliveira & Christoffersen, 2013).

4 Para Mayr (1996), a teleonomia sugere a ideia de que os sistemas biológicos apresentam uma finalidade intrínseca: estarem adaptados, sem implicar em uma intenção consciente.

biológica. Nesse aspecto, Burggren et al. (2017) argumentam que o conceito de Evolução é fundamental, e Nascimento e Motokane (2023) afirmam que biodiversidade é um eixo integrador para as Ciências Biológicas.

Com esse mesmo entendimento, o relatório *Vision and Change in Undergraduate Biology Education: a call to action* aponta cinco Conceitos centrais para proporcionar uma melhoria no ensino de Biologia, refletindo na elaboração curricular e contribuindo para a alfabetização biológica dos estudantes, a saber: Evolução; Estrutura e Função; Fluxo, Troca e Armazenamento de Informações; Caminhos e Transformações da Matéria e Energia; e Sistemas (American Association for the Advancement of Science, 2011).

As *Habilidades cognitivas* na Biologia são fundamentais para que os estudantes compreendam, produzam e comuniquem o Conhecimento biológico: Habilidade de Aplicar os Procedimentos da Biologia; Habilidade de Usar Raciocínio Quantitativo da Biologia; Habilidade de Usar Modelagem e Simulação; Habilidade de Explorar a Natureza Interdisciplinar; Habilidade de Comunicação com Outras Disciplinas; Habilidade de Compreender a Relação entre Ciência e Sociedade; Habilidades de tomada de decisão, Resolução de problemas em questões biológicas e ambientais; Pensamento crítico; Pensamento criativo e Criatividade científica (American Association for the Advancement of Science, 2011; Semilarski & Laius, 2021).

A *Investigação biológica*, como componente, é tratada por Lederman (2018) como mais ampla que o método científico. Semilarski e Laius (2021) afirmam que a Biologia usa mais a observação do que as outras Ciências da Natureza, já que em muitas situações o uso da experimentação é inviável e inoperante, e que pessoas alfabetizadas biologicamente podem planejar e realizar investigações em Biologia. Nesse aspecto, Santos et al. (2020) discutem que este componente é essencial para a efetivação da alfabetização científica, seja na investigação da ação educativa do docente (no Ensino de Ciências e Biologia), seja no desenvolvimento de processos investigativos desenvolvido pelos estudantes.

Dimensão da Natureza da Biologia

A compreensão da Natureza da Biologia passa pela compreensão de Natureza da Ciência, a qual pode ser entendida como “[...] um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico” (Moura, 2014, p. 32), considerando suas bases epistemológicas, filosóficas, históricas e culturais (Lederman, 2007; Moura, 2014).

Sobre a Natureza da Biologia, Wandersee et al. (2002, p. 25, tradução nossa) afirmam que o conhecimento biológico “consiste em vários tipos de representações mentais - declarativas e processuais, lógicas e emocionais, experienciais e recebidas, privadas e públicas, semânticas e estruturais, básicas e aplicadas”, e que a Biologia estuda as coisas vivas. Uma alusão ao fenômeno da vida.

Mesmo os seres vivos sendo o principal objeto do conhecimento biológico, o conceito de vida não está livre de controvérsias. O seu entendimento é influenciado por fatores sociais, culturais, dos ambientes informais e da educação formal (Wandersee et al., 2002). Portanto,

a Natureza da Biologia considera os conhecimentos biológicos a partir do fenômeno vida nos seus diversos aspectos (epistemológico, filosófico, histórico, social e cultural).

Na perspectiva de que os conceitos científicos têm seus significados dados a partir da linguagem e de suas práticas teóricas, experimentais e comunicativas, e de que a aquisição de seus significados ocorre na relação com outros conceitos (Emmeche, 1998; Emmeche & El-Hani, 2000), Coutinho et al. (2007) construíram o perfil conceitual de vida a partir das perspectivas do domínio sociocultural, ontogenético e microgenético. Presumindo a polissemia do conceito de vida, os autores identificaram três níveis de compreensão para ele, Externalista, Internalista e Relacional, e concluíram que, por se tratar de um conceito heterogêneo, deve-se admitir que os processos de ensino e de aprendizagem também o sejam.

Segundo Wandersee et al. (2002, p. 29, tradução nossa), os seres vivos se diferenciam dos objetos inanimados por sua “*natureza dinâmica, sintetizadora, organizadora e consumidora de energia*”, constituindo sistemas minimamente complexos, que buscam manter a homeostase para sobreviver, se desenvolver e reproduzir (J. G. Miller, 1973), mesmo sendo formados por elementos inanimados como átomos e moléculas.

Com relação à Natureza da Biologia, Kloser (2012) argumenta que a sua compreensão e aplicação são influenciadas por estudos nos campos da filosofia, sociologia, história e epistemologia. Destaca, entretanto, que não há consenso em uma definição sobre tal conceito. O autor discute o seu significado considerando que ele envolve uma construção contestada e em constante evolução, acompanhando a própria dinâmica da Biologia e o entendimento sobre como o mundo vivo se caracteriza e pode ser estudado, a partir de reflexões acerca dos aspectos do essencialismo, determinismo e ética.

No aspecto do essencialismo, como discutido anteriormente neste artigo, o conhecimento biológico é caracterizado pelo antiessencialismo (Mayr, 1996; Mayr, 2005; Poliseli et al., 2013). Assim, Kloser (2012) sugere que a compreensão da Evolução na unidade e diversidade dos organismos é central para o Ensino de Biologia, especialmente, no que concerne à Natureza da Biologia.

A Natureza da Biologia e o determinismo podem afetar a compreensão do mundo vivo, pois as leis biológicas são mais contingentes e probabilísticas do que propriamente deterministas, como as leis da Física (Kloser, 2012). O autor exemplifica tal concepção ao comparar as Leis de Mendel às Leis de Newton, em que a primeira não apresenta a mesma previsibilidade individual que a segunda.

No aspecto da ética, a Natureza da Biologia apresenta distintos fundamentos morais que se diferenciam nas diversas culturas. As discussões éticas na Biologia vão além dos benefícios que a produção do conhecimento biológico pode trazer para os seres vivos, incluindo os seres humanos. A ética pauta-se nos questionamentos acerca da investigação biológica em si e do direito do pesquisador de intervir em organismos vivos (National Research Council, 2012), considerando os valores sociais e culturais envolvidos.

Sobre a Natureza da Biologia, Santana e Mota (2022) afirmam que o Ensino de Biologia deve propiciar a compreensão de como a Biologia é desenvolvida como Ciência, promovendo a aprendizagem da Natureza da Biologia e a alfabetização científica.

Em uma revisão sistemática de literatura sobre Sequências Didáticas de Ensino por Investigação, Santana e Mota (2022, p. 461) evidenciaram três aspectos da Natureza da Biologia:

as características da prática científica na Biologia, as quais se destacaram as metodologias para investigar as causas últimas ou evolutivas dos fenômenos biológicos; [...]

os recursos para o Ensino por Investigação na Biologia, que demonstraram a grande relevância dos problemas não experimentais; e [...]

a experimentação no ensino de Biologia, revelando pontos de atenção no que diz respeito ao tempo e ao espaço.

Dessa forma, percebemos a necessidade de que a Alfabetização Biológica considere a aprendizagem conceitual a partir da perspectiva de um corpus epistemológico, histórico, filosófico, social e cultural próprio da Biologia, bem como de seus métodos e procedimentos.

Dimensão Afetiva

A dimensão Afetiva da Alfabetização Biológica é composta, segundo Semilarski (2022), pelos *Valores, Atitudes, Crenças e Bioética*. Dessa forma, pessoas alfabetizadas biologicamente devem ter uma atitude positiva em relação à Biologia (Semilarski & Laius, 2021), valorizando-a (Biological Sciences Curriculum Study, 1993; Uno & Bybee, 1994). É importante destacar que, embora a Bioética envolva valores, ela não integra a dimensão Afetiva no modelo aqui adotado, sendo compreendida como uma dimensão autônoma, ampliando criticamente o modelo original que a situava apenas na dimensão afetiva.

A afetividade é entendida como a disposição que a pessoa tem de ser afetada por sensações que, para ela, são agradáveis ou desagradáveis, a partir de fatores fisiológicos, representacionais e de autocontrole através de emoções, sentimentos e paixões (Mahoney & Almeida, 2007).

Esta dimensão da Alfabetização Biológica está centrada no desenvolvimento de atitudes, habilidades e conhecimentos com maior profundidade, de forma a gerar engajamento, por exemplo, em discursos públicos sobre questões sociocientíficas e políticas (Gardner et al., 2016).

O conceito *Valor* é cheio de ambiguidades, variando entre autores e épocas, de forma que pode ser compreendido “*como princípios consensuados, dignos de servirem de orientação para as decisões e comportamentos éticos das pessoas que buscam uma vida digna, respeitosa e solidária numa sociedade justa e democrática*” (Goergen, 2005, p. 989), que direcionam a forma de pensar e agir a partir de questões subjetivas (Seniciato et al., 2006). Aranha (2006) argumenta que os valores são a base das ações humanas e que compõem a práxis educativa, de forma que a educação se torna mais coerente e eficaz com o desenvolvimento de bases axiológicas da educação.

Sobre isso, em uma relação direta com os valores morais, entendidos como um conjunto de normas sociais que organizam as relações interpessoais a partir do que é considerado bem e mal (Aranha, 2006), a Alfabetização Biológica capacita individualmente para a identificação,

avaliação e escolha de princípios na relação com a Biologia, incluindo, o julgamento das intenções e consequências na disseminação de desinformação e *fake news*.

As *Atitudes*, como componente afetivo da Alfabetização Biológica, constituem disposições psicológicas relativamente estáveis que influenciam a forma como os sujeitos percebem, sentem e se engajam com os conhecimentos biológicos. Gardner et al. (2016), ao investigarem o impacto de um curso de Biologia para não-especialistas, enfatizam que tais atitudes atuam como filtros pelos quais os indivíduos acessam e mobilizam conhecimentos biológicos de modo apropriado diante de questões da vida cotidiana, revelando, portanto, seu papel na mediação entre o saber biológico e sua aplicabilidade social.

A partir disso, tomamos Zabala (2014, p. 46) como referência ao afirmar que as atitudes “*são tendências ou predisposições relativamente estáveis das pessoas para atuar de certa maneira. São a forma como cada pessoa realiza sua conduta de acordo com valores determinados*”. Para o autor, a aprendizagem de conteúdos atitudinais relaciona-se à cognição, afetividade e conduta, marcada pelo caráter pessoal, ambiental, contextual, bem como a sua ascendência e coletividade, em um processo de reflexão e identificação. Assim, as Atitudes potencializam os vínculos afetivos, a partir da reflexão sobre os modelos da avaliação de normas e da apropriação e elaboração de conteúdos (Zabala, 2014).

As *Crenças* são uma forma subjetiva de conhecimento manifestada como verdades pessoais (Sinatra et al., 2003; Smith et al., 1995). Elas não dependem da avaliação de evidências objetivas e, ao contrário disso, estão intimamente ligadas ao afeto. Dessa forma, as crenças não são verdades sobre o mundo que se baseiam em critérios epistêmicos do conhecimento (Sinatra et al., 2003).

A relação entre *Crenças* e a Alfabetização Biológica está pautada a partir da avaliação das evidências como um componente indispensável da compreensão da Natureza da Biologia, de maneira inter-relacionada. Sinatra et al. (2003) argumentam que a aceitação de teorias biológicas, como a Evolução, previamente pelos alunos, é importante para que possam compreender cientificamente o assunto, e à medida que desenvolvem níveis mais elevados da Natureza da Biologia, os indivíduos tornam-se mais predispostos a aceitar a teoria evolutiva.

Sobre isso, Semilarski e Laius (2021) afirmam que a Alfabetização Biológica é necessária, pois somente pessoas alfabetizadas biologicamente podem tomar decisões sobre questões sociocientíficas relacionadas à saúde e meio ambiente, justificando-as teoricamente de forma bioética. Destaca-se, nessas questões, a dimensão afetiva (Krasilchik, 2019).

Assim, a Biologia possui uma função crucial no currículo escolar, além da aprendizagem de seus conteúdos, especificamente, no que concerne a preparação dos estudantes para resolver problemas sociais que apresentam aspectos biológicos evidentes, bem como na análise das implicações sociais da Ciência e da Tecnologia (Krasilchik 2019; Silva & Krasilchik 2013).

Dimensão Interdisciplinar

Esta dimensão reflete a característica interdisciplinar da Biologia, pois as situações biológicas são mais amplas que apenas os seus conhecimentos, conceitos, termos, linguagem e metodologia.

A interdisciplinaridade pode ser entendida, a partir de Jantsch (1972) como um axiomático comum a um grupo de disciplinas que se relacionam. Piaget (1972) destaca que a interdisciplinaridade promove a cooperação e intercâmbio real entre disciplinas, resultando em enriquecimento mútuo. Nessa direção, Fazenda (2017) afirma que, mais do que simples integração teórica, a interdisciplinaridade busca promover sintonia e mudança frente a fatos e fenômenos. Segundo a autora, em relação ao Ensino de Ciências, a interdisciplinaridade representa a superação da dicotomia entre ensino e pesquisa, permitindo a compreensão e transformação do mundo ao nosso redor.

Nas disciplinas científicas, a interdisciplinaridade é considerada essencial para a promoção efetiva da Alfabetização Científica, uma vez que requer a compreensão das diversas linguagens e formas de conhecimento que facilitam a interpretação do mundo em que vivemos, permitindo sua aplicação para melhorar a qualidade de vida cotidiana, considerando a interação em seus aspectos físicos, biológicos e sociais (Chassot, 2018; Fazenda, 2011). As colaborações interdisciplinares em relação à Biologia “*são mais bem-sucedidos quando o resultado geral é maior do que a soma de suas partes e quando todos os colaboradores têm um compromisso e se beneficiam desse resultado*” (Burggren et al., 2017, p. 105, tradução nossa).

A esse respeito, Burggren et al. (2017) argumentam que a Biologia está submetida a um ciclo interdisciplinar, de forma que daí podem se originar novos campos disciplinares que se relacionam, a exemplo da Bioquímica que está passando por uma nova reformulação ao se integrar com a nanotecnologia. Outras formas de interações entre a Biologia e outras disciplinas são intuitivas, como, por exemplo, as Engenharias (Burggren et al., 2017). Nesse aspecto, a intuição pode ser entendida como um processo de pensamento automático para a tomada de decisões rápidas, que envolve a integração de informações implícitas, experiências passadas e reações emocionais, a partir de evidências implícitas e heurísticas (Dane & Pratt, 2007).

Há uma diversidade de subcampos das Ciências Biológicas que objetivam o desenvolvimento de processos de Alfabetização Biológica próprios, e todos se relacionam ao Ensino de Biologia (Semilarski, 2022). Esses, entendidos pela *American Association for the Advancement of Science* (2011) como campos interdisciplinares emergentes, têm permitido o avanço científico a partir da mudança na forma de compreender e pensar a Biologia, incluindo campos consagrados e estabelecidos como a Evolução. Dessa forma, a Alfabetização Biológica que considere a dimensão *Interdisciplinar* possibilita aos alunos abordarem questões biológicas cada vez mais complexas.

Como exemplo, consideramos a relação interdisciplinar entre Biologia e Matemática, indispensável na Alfabetização Biológica, demandando que os alunos apliquem habilidades matemáticas a problemas de natureza biológica. Baumgartner et al. (2015) afirmam que,

infelizmente, a falta dessas habilidades para as aulas de Biologia prejudica ambas as disciplinas.

Dessa forma, a promoção da Alfabetização Biológica Multidimensional só pode ser efetivada se esta for interdisciplinar, pois, para compreensão, construção e utilização dos conhecimentos biológicos, torna-se necessário que haja interações de diversas ordens com outras disciplinas.

Dimensão Bioética

A Bioética constitui um campo interdisciplinar que articula reflexões filosóficas, éticas e científicas acerca dos avanços biotecnológicos e suas implicações sociais, ambientais e culturais (Orefice, 2024; Silva & Krasilchik, 2013). Diante dos desafios éticos emergentes das Ciências Biológicas, torna-se necessária sua inclusão explícita em modelos que busquem promover uma Alfabetização Biológica Multidimensional. Neste sentido, a Dimensão Bioética pauta-se como um conjunto integrado de competências que permitem uma compreensão crítica e reflexiva sobre dilemas éticos relacionados à Biologia, favorecendo a formação cidadã e a tomada de decisões fundamentadas (Turgut & Yakar, 2020). Envolve os componentes *Reflexão Filosófica*, *Argumentação Crítica*, *Decisão Responsável* e *Diversidade de Versões*.

A *Reflexão Filosófica* refere-se à capacidade dos estudantes de analisarem criticamente os avanços biotecnológicos e científicos à luz de princípios éticos e filosóficos. Este componente busca fomentar uma compreensão profunda sobre os valores que orientam a produção e a aplicação do conhecimento científico, estimulando discussões sobre dignidade humana, justiça social e respeito ao meio ambiente. Para Orefice (2024), a Bioética constitui um campo de reflexão crítica que visa oferecer à sociedade instrumentos conceituais para avaliar a adequação moral de intervenções biomédicas e científicas, sobretudo diante da crescente imprecisão entre os limites do tecnicamente possível e do eticamente aceitável. Essa perspectiva acentua o caráter filosófico e aberto da Bioética, exigindo juízos éticos fundamentados sobre as consequências das práticas científicas em contextos socialmente complexos. De maneira complementar, Silva e Krasilchik (2013) destacam o potencial da Bioética como instrumento metodológico no Ensino de Ciências, especialmente por sua capacidade de promover o debate sobre temas controversos e de introduzir valores ético-humanistas na formação de estudantes. Para as autoras, a inserção da Bioética no ensino contribui para o desenvolvimento de uma postura crítica, que articula ciência, valores e responsabilidade social, capacitando os alunos a compreenderem as implicações éticas das decisões científicas em múltiplas esferas.

Já a *Argumentação Crítica* refere-se ao desenvolvimento de habilidades argumentativas que permitem aos estudantes construir e avaliar criticamente diferentes posicionamentos diante de questões bioéticas controversas. Nesse processo, destaca-se a importância da habilidade em fundamentar argumentos com evidências científicas e princípios éticos sólidos, respeitando a diversidade de opiniões e contextos culturais. Conforme Gutierrez (2015), a integração de questões bioéticas no ensino promove discussões mais elaboradas, com maior variedade de explicações e aprofundamento conceitual por parte dos estudantes,

favorecendo a argumentação fundamentada. Sadler e Zeidler (2005) complementam essa perspectiva ao afirmarem que o exercício argumentativo é central para o desenvolvimento da Alfabetização Científica e Moral, na medida em que permite articular conhecimento científico, valores e tomada de decisão em contextos reais e controversos.

A *Decisão Responsável* refere-se à capacidade dos estudantes de tomar decisões fundamentadas e eticamente sensíveis diante de dilemas sociocientíficos. Envolve o uso integrado do conhecimento biológico, de princípios éticos claros e da consciência sobre as consequências sociais e ambientais das decisões, favorecendo posicionamentos socialmente responsáveis. Os resultados de Turgut e Yakar (2020) evidenciam que o fortalecimento dos valores bioéticos, da empatia e da Alfabetização Científica contribui para decisões mais críticas, sensíveis e embasadas por parte de futuros professores de Ciências. Segundo Reiss (2008), indivíduos eticamente maduros são capazes de reconhecer diferentes quadros éticos, ponderar riscos e benefícios e tomar decisões normativamente fundamentadas, capacidades que compreendemos como expressão de uma maturidade bioética.

Por fim, a *Diversidade de Visões* compreende a capacidade de reconhecer, analisar e valorizar diferentes perspectivas éticas e culturais relacionadas às questões bioéticas. Esse componente favorece o respeito mútuo e a compreensão das distintas formas de interpretar dilemas morais, destacando a relevância do diálogo intercultural e interdisciplinar no Ensino da Biologia. De acordo com Silva e Krasilchik (2013), a Bioética atua como mediadora de conflitos de valores no Ensino de Ciências, contribuindo para a formação da cidadania ativa ao promover o convívio com a divergência e a reflexão ética sobre temas controversos. Já a Declaração Universal sobre Bioética e Direitos Humanos da UNESCO (2005) reafirma que o reconhecimento da diversidade cultural constitui um elemento essencial da dignidade humana, estabelecendo o pluralismo ético como princípio estruturante da Bioética contemporânea.

Assim, embora interdependentes, os quatro componentes aqui propostos cumprem funções formativas distintas e complementares. A *Reflexão Filosófica* aprofunda a compreensão dos fundamentos éticos que sustentam a ciência e o ensino biológico; a *Argumentação Crítica* desenvolve a competência discursiva para dialogar e sustentar posições em contextos controversos; a *Decisão Responsável* habilita os estudantes para agir com responsabilidade ética diante de dilemas concretos; e a *Diversidade de Visões* amplia o repertório cultural e ético, promovendo o respeito à pluralidade de valores. Juntos, esses componentes contribuem para a Alfabetização Biológica Multidimensional comprometida com a formação de sujeitos éticos e participativos.

Dimensão da Sustentabilidade

A Alfabetização Biológica deve ter como uma de suas dimensões a *Sustentabilidade*, de forma que pessoas alfabetizadas biologicamente desenvolvam comportamentos e tomem decisões responsáveis em relação à preservação do meio ambiente (Semilarski & Laius, 2021), considerando os impactos que o ser humano causa à Natureza.

A dimensão Sustentabilidade, neste modelo, está ancorada na abordagem CTSA, o que implica compreender os fenômenos ecológicos não apenas como processos naturais, mas como construções sociais mediados por Ciência e tecnologia. Tal perspectiva é coerente com o entendimento de que a Alfabetização Biológica, ao integrar os fundamentos da Alfabetização Científica, deve incluir a análise crítica dos impactos das práticas humanas, técnicas e políticas sobre os sistemas vivos.

Conceitualmente, a sustentabilidade é entendida como um desenvolvimento que respeita as necessidades ambientais de forma a garantir às gerações futuras a possibilidade de também atender as próprias necessidades. Jeronen et al. (2017) enfatizam que as necessidades das gerações atuais e futuras incluem a conservação do meio ambiente natural, o que envolve aspectos ecológicos, econômicos e sociais. Dessa forma, no ensino e aprendizagem dessa dimensão, os aspectos ecológicos se referem a tudo o que é natural, incluindo todos os seres vivos e as questões relacionadas à vida (Jeronen et al., 2017).

A discussão sobre os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável envolve a reconciliação de três imperativos: o ecológico, o social e o econômico, que são fundamentais para a garantia da capacidade de carga biofísica global, manutenção da biodiversidade, desenvolvimento de sistemas democráticos e atendimento das necessidades básicas em todo o mundo para a promoção de ações efetivas de educação e políticas sustentáveis (Dale & Newman, 2005).

Jacobi (2003) argumenta que o conceito de desenvolvimento sustentável contempla questões econômicas, aspectos biofísicos e componentes sociopolíticos, que referenciam a interpretação do mundo. Para o autor, o desenvolvimento sustentável não se limita a questões de ajustes ecológicos de questões sociais, mas envolve uma forma de pensar a sociedade que considere viabilidade econômica e ecológica, pois *“reporta-se à necessária redefinição das relações entre sociedade humana e natureza, e, portanto, a uma mudança substancial do próprio processo civilizatório, introduzindo o desafio de pensar a passagem do conceito para a ação”* (Jacobi, 2003, p. 194).

Nessa perspectiva, a *Sustentabilidade*, como uma dimensão da Alfabetização Biológica, se importa com o desenvolvimento de uma consciência crítica (Oliveira et al., 2019) às questões sociais, culturais e ambientais (Semilarski & Laius, 2021).

Segundo Dale e Newman (2005), a Alfabetização em Desenvolvimento Sustentável é baseada nas alfabetizações ambiental e ecológica, de forma a apreciar a inter-relação entre os sistemas humano e natural. Estes sistemas são interdependentes e devem ser considerados simultaneamente nas questões relativas ao meio ambiente. Para as autoras, sua epistemologia perspectiva os sistemas humano e natural como coevolucionários. Dessa forma, a Alfabetização em Desenvolvimento Sustentável pode ser observada a partir da aquisição de habilidades críticas, que fornecem uma estrutura sólida nos processos da educação biológica, refletindo a natureza das relações socioecológicas. Portanto, a interdisciplinaridade e as habilidades são parte integrante da alfabetização, epistemologia e pesquisa do desenvolvimento sustentável.

Nesse aspecto, a teoria e o pensamento de sistemas adaptativos complexos desempenham um papel fundamental na Alfabetização em Desenvolvimento Sustentável. Esses sistemas, compostos por componentes interligados e interações dinâmicas não são homogêneos e cada elemento conhece apenas informações locais (Dale & Newman, 2005; Rescher, 1998). Sistemas ecológicos e sociais humanos são exemplos desses sistemas, de forma que a civilização humana é um superorganismo, em evolução e crescimento, coadaptável com a biosfera (Bar-Yam, 1997; Dale & Newman, 2005).

Assim, é a partir da perspectiva da Alfabetização Biológica que os saberes da Biologia, com suas especificidades, se pautam nessa relação. Esta dimensão é tratada principalmente a partir da Ecologia e seus desdobramentos na Educação Ambiental e no Ensino de Biologia, de maneira interdisciplinar.

Dimensão de Carreiras Relacionadas à Biologia

O Ensino de Biologia, no Século XXI, deve considerar a relação entre a Alfabetização Biológica com a sensibilização para escolhas profissionais que se relacionem à Biologia, desde o nível celular, até o ambiental. Dessa forma, estudantes alfabetizados biologicamente desenvolvem maior compreensão dos diferentes campos de estudos biológicos.

Considera-se que o professor de Biologia deve estar familiarizado com as novas profissões e as competências próprias, de forma que seus alunos não percam oportunidades de carreira por falta desse conhecimento (Gerard et al., 2019; Semilarski, 2022; Semilarski & Laius, 2021; Šorgo & Špernjak, 2020).

A alfabetização biológica dos estudantes ainda na Educação Básica é importante para o desenvolvimento de sua autopercepção, de atitudes positivas em relação à Biologia e da sensibilização para a escolha de carreiras (Dorfner et al., 2018; Semilarski, 2022). Esse ponto de vista é compartilhado com a American Association for the Advancement of Science (2011), ao afirmar que este é o melhor momento para se concentrar na aprendizagem dos alunos e atraí-los tanto para carreiras relacionadas, quanto para estudar Biologia e entender o mundo em que vivem.

Segundo a American Association for the Advancement of Science (2011), experiências práticas como feiras de ciências e aulas em laboratório ou oportunidades de pesquisa são atividades que atraem os estudantes para a carreira científica, bem como para dedicarem-se à pesquisa como bolsista, ajudando-os a solidificar o interesse em Biologia, ou se não escolhem a carreira, consegue reconhecer as importâncias dessas.

Por fim, essa dimensão apresenta-se como indispensável na contemporaneidade, pois o rápido desenvolvimento da biotecnologia, o cenário de crise ambiental instalada, a demanda por produção de alimentos para uma população humana em crescimento, as questões relativas a saúde humana em nível global e o negacionismo científico difundido em diversas mídias, demandam a sensibilização e interesse dos estudantes para as carreiras relacionadas à Biologia e às pesquisas científicas biológicas, ambientais, da saúde e agrícolas.

Modelo de Alfabetização Biológica

Partindo da perspectiva de Alfabetização Biológica como um contínuo em desenvolvimento durante a vida das pessoas, que se organiza em níveis ascendentes de domínio da Biologia (Biological Sciences Curriculum Study, 1993; Krasilchik, 2019; Uno & Bybee, 1994), e em sua relação com diferentes dimensões (Semilarski, 2022; Semilarski & Laius, 2019), elaboramos um modelo de Alfabetização Biológica, apresentado na Figura 2, seguido de sua descrição, peculiaridades, avanços, aplicabilidades, questões e limitações.

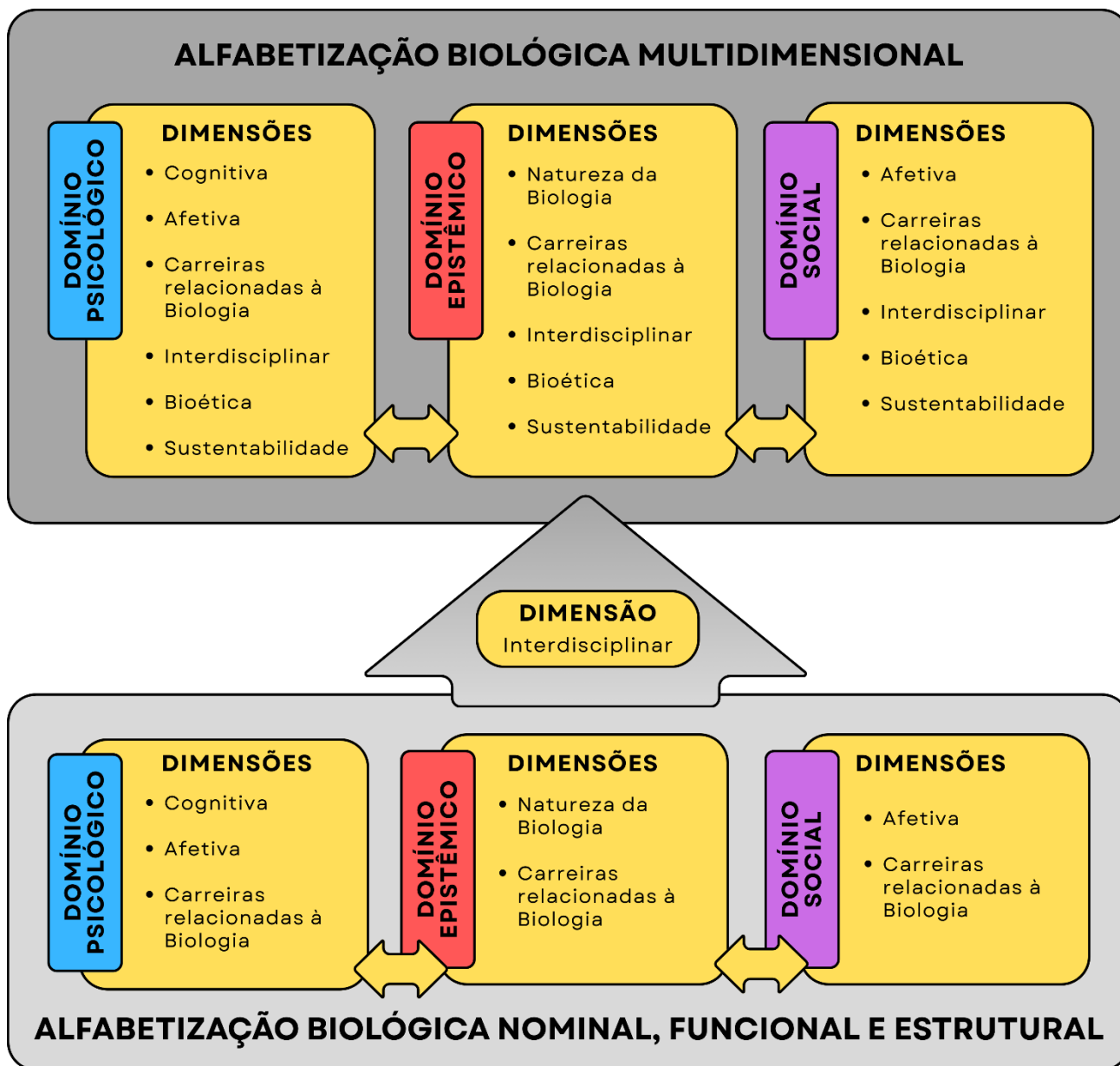


Figura 2. Modelo de Alfabetização Biológica. As dimensões Cognitiva, Afetiva, da Natureza da Biologia e de Carreiras Relacionadas à Biologia se articulam nos domínios Psicológico, Epistêmico e Social, contribuindo para os níveis Nominal, Funcional e Estrutural. A dimensão Interdisciplinar atua como elemento de transição, viabilizando o avanço para o nível Multidimensional. As dimensões Bioética e Sustentabilidade apresentam natureza integralmente multidimensional e mantêm relações com os três domínios formativos.

Descrição e peculiaridades

O modelo aqui proposto avança no campo da Alfabetização Biológica ao discutir a perspectiva de níveis propostos pela Biological Sciences Curriculum Study (1993) e Uno e Bybee (1994), relacionando-os com as dimensões propostas por Semilarski e Laius (2021), além de incorporar uma nova dimensão e um novo nível. Além disso, propõe-se três domínios: Psicológico, Epistêmico e Social, que estruturam as dimensões e tornam a integração da Biologia com outras áreas mais eficiente.

A principal contribuição do modelo aqui proposto consiste especificamente nessa articulação, que qualificam diferentes formas de conhecimento e aplicação da Biologia, de forma a oferecer subsídios concretos para orientar o currículo, o ensino em sala de aula e as pesquisas no Ensino de Biologia.

Para organizar de maneira estruturada as múltiplas dimensões propostas, estabelecemos três grandes domínios formativos, que dialogam entre si e abrangem as principais competências cognitivas, éticas e sociais envolvidas no desenvolvimento dos estudantes. Cada domínio foca em aspectos distintos, mas complementares, da formação em Biologia, refletindo a complexidade do conhecimento científico, suas implicações pessoais e seu impacto social.

O Domínio Psicológico refere-se a atividade mental de construção do conhecimento, entendimento de conceitos, aquisição e uso de habilidades, relacionado com fatores fisiológicos, representacionais e de autocontrole, no que concerne à Biologia; o Domínio Epistêmico à construção e estabelecimento do conhecimento científico, neste caso, o biológico; e o Domínio Social à compreensão crítica das relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, bem como da análise de aspectos históricos, culturais e éticos associados à Biologia, incluindo a valorização da memória etnobiológica, a promoção da cidadania científica e a reflexão sobre questões de diversidade, como a étnico-racial e de gênero.

No Domínio Psicológico, estruturam-se as dimensões Cognitiva, Afetiva, Carreiras relacionadas à Biologia, Bioética e Sustentabilidade, as quais contribuem para o desenvolvimento de funções cognitivas, disposições emocionais e habilidades individuais envolvidas na aprendizagem da Biologia. A dimensão Cognitiva é fundamental neste domínio, pois mobiliza características conceituais, propriedades especiais dos organismos vivos, características metodológicas, conceitos centrais, habilidades cognitivas e a investigação biológica necessária à compreensão e aplicação dos conteúdos biológicos, englobando também o desenvolvimento de habilidades como raciocínio lógico, pensamento crítico, criatividade e metacognição (AAAS, 2011; Uno & Bybee, 1994). A dimensão Afetiva amplia esse aspecto ao considerar a influência dos valores, atitudes e crenças na aprendizagem, ressaltando o papel do engajamento, da motivação e da valorização do conhecimento biológico para o envolvimento ativo do estudante (Gardner et al., 2016; Zabala, 2014). A dimensão de Carreiras, por sua vez, estimula o autoconhecimento vocacional e o reconhecimento de potencialidades pessoais na escolha de trajetórias profissionais ligadas à Biologia. A Bioética, no domínio psicológico, mobiliza competências de julgamento moral e empatia, importantes para a internalização de valores éticos que orientem atitudes

conscientes diante de dilemas contemporâneos (Turgut & Yakar, 2020). Por fim, a dimensão da Sustentabilidade, neste domínio, promove o desenvolvimento de competências pessoais como o pensamento sistêmico, o senso de responsabilidade e a tomada de decisão crítica diante de problemas socioambientais, articulando aspectos cognitivos e disposições emocionais para ação cidadã (Silva & Sasseron, 2021).

No Domínio Epistêmico, articulam-se as dimensões da Natureza da Biologia, de Carreiras Relacionadas à Biologia, Bioética e Sustentabilidade, as quais se voltam à compreensão da Biologia enquanto corpo sistematizado de saberes científicos. A dimensão da Natureza da Biologia é central neste domínio por explicitar as bases epistemológicas, metodológicas, históricas e filosóficas das Ciências Biológicas, promovendo a compreensão da Biologia como uma ciência probabilística, contextual e interdisciplinar (Kloser, 2012; Lederman, 2018; Mayr, 1996). A dimensão de Carreiras relacionadas à Biologia contribui ao permitir que os estudantes compreendam os diferentes campos de atuação e produção de conhecimento biológico, favorecendo a apropriação crítica das práticas científicas e suas implicações epistemológicas (Šorgo & Špernjak, 2020). A Bioética, neste domínio, exige o domínio conceitual da Biologia e a compreensão de suas fronteiras ético-científicas, desenvolvendo a habilidade de avaliar criticamente a legitimidade e os limites da produção científica frente aos valores humanos (Orefice, 2024; Reiss, 2008). Já a Sustentabilidade, sob a ótica epistêmica, envolve a capacidade de integrar o saber biológico a processos complexos de produção e transformação ambiental e social, com base em evidências científicas e princípios sistêmicos (Dale & Newman, 2005).

No Domínio Social, articulam-se as dimensões Afetiva, Carreiras Relacionadas à Biologia, Bioética e Sustentabilidade, contribuindo para a compreensão crítica e reflexiva sobre a inserção social e cultural dos conhecimentos biológicos. A dimensão Afetiva promove o desenvolvimento de atitudes e valores essenciais para o engajamento cívico e moral diante de questões biológicas socialmente relevantes. A dimensão de Carreiras Relacionadas à Biologia sensibiliza os estudantes quanto às diversas possibilidades profissionais e acadêmicas no campo biológico, ampliando suas percepções sociais sobre o papel da ciência na sociedade contemporânea. A dimensão Bioética fornece instrumentos conceituais e argumentativos para análise crítica de questões sociocientíficas complexas, fortalecendo a tomada de decisões responsáveis e éticas. Por fim, a dimensão da Sustentabilidade mobiliza competências globais e interculturais para o enfrentamento responsável e ético de questões ambientais e sociais, reforçando a cidadania crítica e o compromisso coletivo com o meio.

Neste aspecto, tanto o Domínio Psicológico, com as dimensões Cognitiva, Afetiva, e de Carreiras Relacionadas à Biologia, quanto o Domínio Epistêmico, com a dimensão da Natureza da Biologia e de Carreiras Relacionadas à Biologia, assim como o Domínio Social, com as dimensões Afetiva e de Carreiras Relacionadas à Biologia, são suficientes para a Alfabetização Biológica nos níveis Nominal, Funcional e Estrutural.

Neste ponto, compreende-se que a Alfabetização Biológica Multidimensional envolve uma visão interconectada da Biologia e o desenvolvimento contínuo do aprendizado ao longo da vida. Para alcançar esse nível, torna-se essencial a atuação da Dimensão Interdisciplinar, pois é ela que articula os processos históricos, epistêmicos, sociais, tecnológicos, materiais,

culturais, econômicos e políticos envolvidos na construção dos esquemas conceituais e no domínio dos principais conceitos biológicos.

A Biologia possui um caráter interdisciplinar de maneira a se beneficiar intelectual e pragmaticamente de outras disciplinas, incluindo medicina, química, engenharia, matemática, ciências sociais, artes e humanidades, visto que é *“uma disciplina que é fundamentalmente moldada por suas atividades interdisciplinares”* (Burggren et al., 2017, p. 2, tradução nossa).

Compreendemos, portanto, que uma perspectiva interdisciplinar na Alfabetização Biológica é requisito para uma melhor compreensão conceitual, por fomentar a criação de redes que contemplam tanto os processos psicológicos, quanto a relação da Biologia com outros contextos. Portanto, é a partir dessa passagem para outros contextos, que compreendemos a importância do desenvolvimento da Dimensão Interdisciplinar para a promoção da Alfabetização Biológica Multidimensional discutida anteriormente.

Nesse contexto, a dimensão da Sustentabilidade tem sua construção a partir do conjunto das outras dimensões, figura-se em comportamentos e atitudes que considerem o conhecimento sobre as Ciências Biológicas e diversas habilidades, na relação dos seres humanos com o ambiente e na preservação da Natureza. Segundo Dale e Newman (2005), a relação do desenvolvimento sustentável com os processos educacionais que possuem uma ampla flexibilidade metodológica, permite que se adapte a sistemas de valores diversos.

Semilarski e Laius (2021) afirmam que a dimensão da Sustentabilidade envolve competências globais, definidas como uma capacidade multidimensional de examinar questões em nível local e global, bem como intercultural, para a interação respeitosa e a tomada de decisões responsáveis e ambientalmente sustentáveis.

Esse cenário implica considerar que a dimensão da Sustentabilidade, por sua natureza, é multidimensional: há indissociabilidade entre (a) os conhecimentos biológicos, (b) a capacidade de pensar de modo reflexivo, produtivo e avaliativo os aspectos econômicos, (c) a habilidade de desenvolver criativamente soluções únicas para processos tecnológicos que não gerem novos impactos ambientais, (d) monitoramento analítico das experiências e (e) análise reflexiva sobre decisões sociopolíticas e interculturais.

Já a dimensão Bioética, em função de sua própria natureza interdisciplinar, articula-se com as dimensões Cognitiva e Afetiva, e com os domínios Epistêmico e Social, pois exige conhecimentos científicos sólidos associados à capacidade crítica e filosófica para lidar com questões morais, éticas e culturais relacionadas aos avanços científicos e tecnológicos na Biologia.

Portanto, o modelo de Alfabetização Biológica aqui descrito é notável por sua abordagem interdisciplinar e multidimensional, de maneira a reconhecer a importância da integração de uma variedade de dimensões – Cognitiva, da Natureza da Biologia, Afetiva, de Carreiras Relacionadas à Biologia, Interdisciplinar, da Sustentabilidade e Bioética – a diferentes níveis de desenvolvimento e domínios.

Avanços e Aplicabilidades

Este modelo de Alfabetização Biológica avança ao promover uma integração multidimensional dentro do campo da Alfabetização Científica, permitindo uma compreensão mais holística e interconectada de múltiplas dimensões do conhecimento biológico para o Ensino de Biologia. Essa compreensão é fundamental para que os estudantes possam aplicar o conhecimento biológico na resolução de problemas autênticos, que envolvem aspectos éticos, socioeconômicos e políticos.

Além disso, os avanços desse modelo incluem o novo nível Analfabetismo Biológico, ampliando a concepção original proposta por Uno e Bybee (1994), e a introdução explícita da dimensão Bioética, complementando criticamente o modelo de Semilarski e Laius (2021).

A inclusão do nível Analfabetismo Biológico é uma ampliação crítica do modelo original de Uno e Bybee (1994). Tal inclusão permite um enquadramento mais preciso daqueles indivíduos que apresentam limitações cognitivas severas ou dificuldades significativas de aprendizagem, impossibilitando a compreensão mesmo básica dos conceitos biológicos. Essa distinção é relevante porque evita que esses sujeitos sejam erroneamente categorizados no nível Nominal, onde ainda é possível a aprendizagem conceitual básica. Portanto, a distinção do Analfabetismo Biológico garante uma categorização mais adequada e favorece o desenvolvimento de intervenções educacionais específicas, promovendo uma educação biológica mais inclusiva e sensível à diversidade cognitiva dos estudantes.

Já a inclusão da dimensão Bioética traz contribuições significativas ao ensino e currículo em Biologia, ao favorecer uma formação integral, crítica e humanizadora. Isso possibilita que os estudantes desenvolvam autonomia ética e maior capacidade crítica para enfrentarem dilemas morais e sociocientíficos em contextos acadêmicos, profissionais e pessoais. Desta forma, a presença da Bioética no currículo contribui ativamente para formar cidadãos mais conscientes e eticamente responsáveis, capazes de tomar decisões fundamentadas e comprometidas com o bem-estar coletivo e ambiental.

Assim, o modelo apresenta uma via de aplicabilidade prática, ao propiciar uma perspectiva teórico-conceitual da utilização do conhecimento biológico em situações reais e contextualizadas. Em relação às abordagens mais tradicionais do Ensino de Biologia, que se limitam a aulas com conteúdos desvinculados da realidade dos estudantes, o modelo propõe uma abordagem mais dinâmica e significativa, que estimula o pensamento crítico e reflexivo.

Dessa forma, ao promover uma compreensão ampla e interconectada da Biologia, o modelo contribui para a formação de cidadãos capazes de tomar decisões informadas sobre questões científicas e tecnológicas, que afetam diretamente o Meio Ambiente e o ser humano. Permitindo a análise de opções éticas, socioeconômicas e políticas relacionadas ao conhecimento Biológico, o modelo favorece o desenvolvimento de competências globais e de sustentabilidade, que são essenciais para o enfrentamento dos desafios da contemporaneidade.

Além disso, o modelo proposto pode servir como referência para a elaboração de currículos e planos de ensino, além de avaliar o nível de Alfabetização Biológica dos estudantes, podendo ser aplicado tanto na Educação Básica quanto na superior, orientando práticas pedagógicas

e pesquisas no Ensino de Biologia. Tal abordagem, proporciona aos discentes uma compreensão funcional da Biologia enquanto ciência, incluindo conhecimento consistente com o das comunidades científicas e uma percepção das características e dimensões da Biologia.

Para os formuladores e pesquisadores de currículo, essa abordagem pode auxiliar na reflexão acerca dos elementos envolvidos na promoção da Alfabetização Biológica, fornecendo um arcabouço para a integração do conhecimento científico aos diversos contextos da Biologia nos processos educativos.

Questões e Limitações

A adoção e implementação deste modelo apresenta algumas questões e limitações, que vão desde a formação dos professores de Biologia até as curriculares na escola.

A primeira, se pauta nos desafios da Educação em Biologia, no que concerne a necessidade de desenvolver competências para estudos autônomos envolvendo conteúdos biológicos após a conclusão do Ensino Médio o que é característico dos níveis mais altos da Alfabetização Biológica.

Outro ponto que merece atenção é o de como avaliar de forma eficaz os diferentes níveis de alfabetização biológica e as múltiplas dimensões categorizadas? Pela multiplicidade de elementos que compõem o modelo, a atividade docente de avaliação da aprendizagem pode necessitar de melhor acurácia e instrumentos para o docente.

Algumas questões relevantes precisam ser respondidas em futuras pesquisas e no desenvolvimento do campo da Alfabetização Biológica, especialmente no que tange à sua aplicabilidade prática e curricular.

De que forma os currículos escolares e os planos de ensino podem incorporar todas as dimensões e níveis deste modelo de forma a garantir a alfabetização biológica dos estudantes da Educação Básica, tendo como exemplo o contexto brasileiro, com o compromisso assumido na Base Nacional Comum Curricular (Brasil 2018, p. 537) de *“formação dos jovens para o enfrentamento dos desafios da contemporaneidade, na direção da educação integral e da formação cidadã”*?

Para isso, a formação docente, assumida nas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial em Nível Superior de Profissionais do Magistério da Educação Escolar Básica (DCN) e os Projetos Pedagógicos de Curso (PPC) das diferentes Instituições de Ensino Superior (IES), contemplam os conhecimentos necessários para a promoção da Alfabetização Científica e Alfabetização Biológica na Educação Básica?

Por fim, as limitações estão pautadas (a) na complexidade de implementação deste modelo, pois a necessidade de abordar múltiplas dimensões e níveis de desenvolvimento pode ser comprometida pela qualidade da formação dos docentes, bem como sua experiência; e (b) na limitação em termos de recursos disponíveis e tempo didático na escola em aulas de Biologia, para a aplicação de forma eficaz em diferentes contextos educacionais. Além disso, (c) a avaliação da promoção da Alfabetização Biológica dos estudantes pode ser um desafio, uma

vez que requer instrumentos e formação adequados para medir as diferentes competências e habilidades envolvidas; e (d) a articulação entre os conteúdos biológicos e os temas socioambientais, incluindo da saúde, pode exigir uma abordagem crítica e reflexiva, que nem sempre é favorecida pelas práticas pedagógicas tradicionais das outras disciplinas escolares.

Conclusão

Neste artigo, propomos um modelo de Alfabetização Biológica, entendida como um ramo da Alfabetização Científica que se refere às Ciências Biológicas, e que se desenvolve ao longo da vida dos indivíduos, de forma a possibilitar a compreensão dos princípios e conceitos biológicos, considerando níveis e dimensões. Os níveis expressam o desenvolvimento contínuo e ascendente do domínio da Biologia. As dimensões são compostas por componentes que expressam as competências e habilidades necessárias para a promoção da Alfabetização Biológica. E os domínios são categorias formativas amplas que estruturam e integram essas competências psicológicas, epistêmicas e sociais, favorecendo uma formação em Biologia crítica, reflexiva e cidadã.

Partimos da compreensão que cada área do conhecimento, incluindo a Biologia, possui métodos próprios de alfabetização que devem ser integrados ao seu ensino. Portanto, a Alfabetização Biológica deve estar integrada ao Ensino de Biologia.

As contribuições deste trabalho se dão na medida em que oferecemos um referencial teórico e prático para subsidiar as atividades docentes de Biologia na escola, bem como o desenvolvimento de pesquisas no campo do Ensino de Biologia. Acreditamos que o modelo proposto pode auxiliar na elaboração de currículos, planos de ensino, materiais didáticos, estratégias pedagógicas e avaliações que visem à Alfabetização Biológica dos estudantes, considerando os diferentes níveis, dimensões e contextos educacionais. Além disso, o modelo pode favorecer a articulação entre os conteúdos biológicos e os temas socioambientais, incluindo da saúde, que são relevantes para a formação cidadã e para o enfrentamento dos desafios globais da contemporaneidade.

Por fim, reconhecemos as limitações e os desafios que envolvem a implementação e a avaliação deste modelo, que demandam uma formação docente adequada, recursos didáticos disponíveis, tempo didático suficiente e uma abordagem crítica e reflexiva que nem sempre é estimulada pelas práticas pedagógicas tradicionais.

Este modelo enfatiza que a Alfabetização Biológica não é um estado estático, mas um processo contínuo de aprendizado ao longo da vida, que é influenciado por uma variedade de fatores contextuais e individuais. Além disso, destaca a necessidade de uma abordagem interdisciplinar para a educação biológica, reconhecendo que a Biologia é uma disciplina que é fundamentalmente moldada por suas interações com outras disciplinas.

O modelo reconhece a importância da sustentabilidade, enfatizando a necessidade de comportamentos e atitudes que considerem o conhecimento biológico e diversas habilidades, na relação dos seres humanos com o Meio Ambiente e na preservação da Natureza. Portanto, este modelo oferece uma estrutura abrangente e flexível para a promoção da Alfabetização

Biológica, na propositura curricular, na sala de aula e na pesquisa em Educação e Ensino de Biologia.

Nesse sentido, estudos futuros poderão explorar a aplicação empírica do modelo proposto em contextos educacionais diversos, analisando sua efetividade na estruturação de currículos, na elaboração de materiais didáticos e na avaliação diagnóstica e formativa da Alfabetização Biológica. Além disso, investigações poderão examinar a recepção do modelo por docentes da Educação Básica, bem como sua adaptação a diferentes níveis de ensino e realidades socioculturais, contribuindo para o aprimoramento teórico-metodológico e para sua consolidação como referencial no campo da Educação em Ciências, com ênfase especial no Ensino de Biologia.

Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe do Setor de Periódicos, vinculado à Divisão de Apoio ao Leitor (DIALE) da Biblioteca Central (BICEN/UFS), pelo apoio na recuperação de literatura especializada, inclusive por meio da Rede COMUT (Comutação Bibliográfica), essencial à fundamentação deste artigo.

Referências

- American Association for the Advancement of Science. (2011). *Vision and change in undergraduate biology education: A call to action* (C. A. Brewer & D. Smith, Eds.).
<https://nabt.org/files/galleries/Vision-and-Change-Final-Report.pdf>
- Aranha, M. L. de A. (2006). Os valores. In *Filosofia da educação* (2ª ed., pp. 118-127). Moderna.
- Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of complex systems*. Addison-Wesley.
- Baumgartner, E., Biga, L., Bledsoe, K., Dawson, J., Grammer, J., Howard, A., & Snyder, J. (2015). Exploring phytoplankton population growth to enhance quantitative literacy: Putting vision & change into action. *The American Biology Teacher*, 77(4), 265-272. <https://doi.org/10.1525/abt.2015.77.4.6>
- Biological Sciences Curriculum Study. (1993). *Developing biological literacy: a guide to developing secondary and post-secondary biology curricula*. Kendall/Hunt Publishing Company.
- Brasil. (2018). *Base Nacional Comum Curricular - Ensino Médio*. Ministério da Educação.
https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf
- Burggren, W., Chapman, K., Keller, B. B., Monticino, M., & Torday, J. S. (2017). Interdisciplinarity in the biological sciences. In R. Frodeman, J. T. Klein, & R. C. S. Pacheco (Eds.), *The Oxford handbook of interdisciplinarity* (2ª ed., pp. 101-113). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198733522.013.9>
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Heinemann.
- Chassot, A. (2003). Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. *Revista Brasileira de Educação*, (22), 89-100. <https://doi.org/10.1590/S1413-24782003000100009>
- Chassot, A. (2018). *Alfabetização científica: Questões e desafios para a educação* (8ª ed.). Unijuí.
- Cleland, C. E. (2020). Is it possible to scientifically reconstruct the history of life on Earth? In K. Kampourakis & T. Uller (Eds.), *Philosophy of science for biologists* (pp. 193-215). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108648981.011>
- Coutinho, F. Â., Mortimer, E. F., & El-Hani, C. N. (2007). Construção de um perfil para o conceito biológico de vida. *Investigações em Ensino de Ciências*, 12(1), 115-137.
<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/480>

- Dale, A., & Newman, L. (2005). Sustainable development, education and literacy. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 6(4), 351-362. <https://doi.org/10.1108/14676370510623847>
- Dane, E., & Pratt, M. G. (2007). Exploring intuition and its role in managerial decision making. *Academy of Management Review*, 32(1), 33-54. <https://doi.org/10.5465/amr.2007.23463682>
- Dorfner, T., Förtsch, C., Germ, M., & Neuhaus, B. J. (2018). Biology instruction using a generic framework of scientific reasoning and argumentation. *Teaching and Teacher Education*, 75, 232-243. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2018.07.003>
- Durigan, G., & Ratter, J. A. (2016). The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. *Journal of Applied Ecology*, 53(1), 11-15. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12559>
- Emmeche, C. (1998). Defining life as a semiotic phenomenon. *Cybernetics & Human Knowing*, 5(1), 3-17.
- Emmeche, C., & El-Hani, C. N. (2000). Definindo vida. In C. N. El-Hani & A. A. P. Videira (Eds.), *O que é vida? Para entender a biologia do século XXI* (pp. 31-56). Relume Dumará.
- Fazenda, I. C. A. (2011). *Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: Efetividade ou ideologia?* Edições Loyola.
- Fazenda, I. C. A. (2017). *Interdisciplinaridade: História, teoria e pesquisa*. Papirus.
- Feitosa, A. A. M., Medeiros, F. V. G. de, & Cavalcante, C. A. M. (2021). Educação científica na era da pós-verdade: a fragilização dos conhecimentos biológicos. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, 5(1). <https://doi.org/10.5335/rbecm.v5i1.11733>
- Freire, P. (2013). *Educação e mudança*. Paz e Terra.
- Gardner, G. E., Bonner, J., Landin, J., Ferzli, M., & Shea, D. (2016). Nonmajors' shifts in attitudes & perceptions of biology & biologists following an active-learning course: An exploratory study. *The American Biology Teacher*, 78(1), 43-48. <https://doi.org/10.1525/abt.2016.78.1.43>
- Gerard, A., Noblin, S., Hashmi, S. S., Bean, A. J., Bergstrom, K., Hurst, C. B., Mattox, W. & Stevens, B. (2019). Undergraduate student perceptions and awareness of genetic counseling. *Journal of Genetic Counseling*, 28(1), 27-39. <https://doi.org/10.1007/s10897-018-0284-y>
- Goergen, P. (2005). Educação e valores no mundo contemporâneo. *Educação & Sociedade*, 26(92), 983-1011. <https://doi.org/10.1590/S0101-73302005000300013>
- Gutierrez, S. B. (2015). Integrating socio-scientific issues to enhance the bioethical decision-making skills of high school students. *International Education Studies*, 8(1), 142-151. <https://doi.org/10.5539/ies.v8n1p142>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). *Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: Compatível com a escala 1:250.000*. Série Relatórios Metodológicos, v. 45. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101676.pdf>
- Jacobi, P. (2003). Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. *Cadernos de Pesquisa*, (118), 189-206. <https://doi.org/10.1590/S0100-15742003000100008>
- Jantsch, E. (1972). Towards interdisciplinarity and transdisciplinarity in education and innovation. In L. Apostel, G. Berger, A. Briggs & G. Michaud (Eds.), *Interdisciplinarity: Problems of teaching and research in universities* (pp. 97-121). OECD Publications Center.
- Jeronen, E., Palmberg, I., & Yli-Panula, E. (2017). Teaching methods in biology education and sustainability education including outdoor education for promoting sustainability – A literature review. *Education Sciences*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.3390/educsci7010001>
- Kauano, R. V., & Marandino, M. (2022). Paulo Freire na educação em ciências naturais: Tendências e articulações com a alfabetização científica e o movimento CTSA. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 22(e35064), 1-28. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u521548>
- Kloser, M. (2012). A place for the nature of biology in biology education. *Electronic Journal of Science Education*, 16(1), 1-18. <https://ejrsme.icrsme.com/article/view/10994>
- Krasilchik, M. (2019). *Prática de ensino de biologia* (4ª ed.). Edusp.
- Krasilchik, M. & Marandino, M. (2004). *Ensino de ciências e cidadania*. Moderna.

- Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education*, 84(1), 71-94. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200001\)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C)
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell, K. Appleton, & D. Hanuscin (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). Routledge.
- Lederman, N. G. (2018). *Nature of scientific knowledge and scientific inquiry in biology teaching*. In K. Kampourakis & M. J. Reiss (Eds.), *Teaching biology in schools: Global research, issues, and trends* (pp. 216-235). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315110158-18>
- Mahoney, A. A., & Almeida, L. R. de. (2007). A dimensão afetiva e o processo ensino-aprendizagem. In L. R. de Almeida & A. A. Mahoney (Eds.), *Afetividade e aprendizagem: contribuições de Henri Wallon* (pp. 15-24). Loyola.
- Mayr, E. (1996). The autonomy of biology: The position of biology among the sciences. *The Quarterly Review of Biology*, 71(1), 97-106. <https://doi.org/10.2307/3037832>
- Mayr, E. (1998). *This is biology: The science of the living world*. Harvard University Press.
- Mayr, E. (2005). *Biologia, ciência única*. Companhia das Letras.
- McCain, K. (2020). What is biological knowledge? In K. Kampourakis & T. Uller (Eds.), *Philosophy of science for biologists* (pp. 36-54). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108648981.004>
- McComas, W. F. (2015). The nature of science & the next generation of biology education. *The American Biology Teacher*, 77(7), 485-491. <https://doi.org/10.1525/abt.2015.77.7.2>
- Medeiros, F. V. G. de, Feitosa, A. A. M., Ribeiro, F. A., & Cavalcante, A. C. M. (2024). Letramento biológico: vinculando conhecimentos científicos à cidadania. *Revista DoCentes*, 9(28), 30-38. <https://revistadocentes.seduc.ce.gov.br/revistadocentes/article/view/1065>
- Miller, J. D. (1983). Scientific literacy: A conceptual and empirical review. *Daedalus*, 112(2), 29-48. <http://www.jstor.org/stable/20024852>
- Miller, J. G. (1973). The nature of living systems. *The Quarterly Review of Biology*, 48(1, Part 2), 63-91. <https://doi.org/10.1086/407588>
- Mistry, J., & Berardi, A. (2014). *World savannas*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315839523>
- Moura, B. A. (2014). O que é natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(1), 32-46. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v7i1.237>
- Nascimento, L. A. do, & Motokane, M. T. (2023). A recontextualização do discurso sobre biodiversidade em um curso de formação para professores de ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 25. <https://doi.org/10.1590/1983-21172022240133>
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87(2), 224-240. <https://doi.org/10.1002/sce.10066>
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2009). Scientific literacy. In D. R. Olson & N. Torrance (Eds.), *The Cambridge handbook of literacy* (pp. 271-285). Cambridge University Press.
- Oliveira, J. V. de, Faria Lopes, S. de, Barboza, R. R. D., Trovão, D. M. de M. B., Ramos, M. B., & Alves, R. N. (2019). Wild vertebrates and their representation by urban/rural students in a region of northeast Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 15(1), 1-23. <https://doi.org/10.1186/s13002-018-0283-y>
- Onel, A., & Durdukoca, S. F. (2019). Identifying the predictive power of biological literacy and attitudes toward biology in academic achievement in high school students. *International Online Journal of Educational Sciences*, 11(2), 214-228. <https://doi.org/10.15345/iojes.2019.02.014>
- Orefice, C. (2024). Towards a definition of bioethics as a discipline. In I. Cambra-Badii, E. Busquets-Alibés, N. Terribas-Sala & J. E. Baños (Ed.), *Bioethics: Foundations, applications and future challenges* (pp. 3-18). CRC Press.

- Osborne, J. (2023). Science, scientific literacy, and science education. In N. G. Lederman, D. L. Zeidler, & J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. 3, pp. 785-816). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780367855758-30>
- Piaget, J. (1972). The Epistemology of Interdisciplinary Relationships. In L. Apostel, G. Berger, A. Briggs, & G. Michaud (Eds.), *Interdisciplinarity: Problems of teaching and research in universities* (pp. 127-139). OECD Publications Center.
- Poliseli, L., Oliveira, E. F. de, & Christoffersen, M. L. (2013). O arcabouço filosófico da biologia proposto por Ernst Mayr. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 6(1), 106-120.
<https://doi.org/10.53727/rbhc.v6i1.246>
- Reiss, M. (2008). The use of ethical frameworks by students following a new science course for 16–18 year-olds. *Science & Education*, 17(8-9), 889-902. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9070-6>
- Rescher, N. (1998). *Complexity: A Philosophical Overview*. Routledge.
- Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (2008). As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In S. M. Sano, S. P. de Almeida, & J. F. Ribeiro (Eds.), *Cerrado: ecologia e flora* (pp. 151-213). Embrapa Informação Tecnológica.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. A. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). Routledge.
- Roberts, D. A. (2010). Competing visions of scientific literacy: The influence of a science curriculum policy image. In C. Linder, L. Östman, D. A. Roberts, P. O. Wickman, G. Ericksen, & A. MacKinnon (Eds.), *Exploring the landscape of scientific literacy* (pp. 11-27). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203843284>
- Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 112-138.
<https://doi.org/10.1002/tea.20042>
- Santana, A. J. S., & Mota, M. D. A. (2022). Natureza da biologia, ensino por investigação e alfabetização científica: uma revisão sistemática. *Revista Educar Mais*, 6, 450-466.
<https://doi.org/10.15536/reducarmais.6.2022.2735>
- Santos, L. D. dos, Angelo, J. A. C., & Silva, J. Q. (2020). Letramento científico na perspectiva biológica: Um estudo sobre práticas docentes e educação cidadã. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 474-496.
http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen19/REEC_19_2_11_ex1707_341F.pdf
- Sasseron, L. H., & Carvalho, A. M. P. de. (2008). Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. *Investigações em Ensino de Ciências*, 13(3), 333-352. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/445>
- Schrödinger, E. (1945). *What is life?* Macmillan.
- Semilarski, H. (2022). *An assessment of biology learning and an evaluation of biology self-perceptions by upper secondary school students related to biological literacy* [Doctoral dissertation, University of Tartu]. University of Tartu DSpace. <https://hdl.handle.net/10062/83198>
- Semilarski, H., & Laius, A. (2019). A complex instrument for measuring the components of gymnasium students' biological literacy. In *Proceedings of EDULEARN19 Conference* (pp. 6285-6293).
<https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.1504>
- Semilarski, H., & Laius, A. (2021). Exploring biological literacy: A systematic literature review of biological literacy. *European Journal of Educational Research*, 10(3), 1181-1197.
<https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.3.1181>
- Seniciato, T., Silva, P. G. P. da, & Cavassan, O. (2006). Construindo valores estéticos nas aulas de ciências desenvolvidas em ambientes naturais. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 8(2), 119-131. <https://doi.org/10.1590/1983-21172006080202>
- Silva, P. F. da, & Krasilchik, M. (2013). Bioética e ensino de ciências: o tratamento de temas controversos - dificuldades apresentadas por futuros professores de ciências e de biologia. *Ciência & Educação (Bauru)*, 19(2), 379-392. <https://doi.org/10.1590/S1516-731320130002000010>

- Silva, M. B. e, & Sasseron, L. H. (2021). Alfabetização científica e domínios do conhecimento científico: Proposições para uma perspectiva formativa comprometida com a transformação social. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 23. <https://doi.org/10.1590/1983-21172021230129>
- Sinatra, G. M., Southerland, S. A., McConaughy, F., & Demastes, J. W. (2003). Intentions and beliefs in students' understanding and acceptance of biological evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 510-528. <https://doi.org/10.1002/tea.10087>
- Smith, M. U., Siegel, H., & McInerney, J. D. (1995). Foundational issues in evolution education. *Science & Education*, 4(1), 23-46. <https://doi.org/10.1007/BF00486589>
- Šorgo, A., & Špernjak, A. (2020). Biology content and classroom experience as predictors of career aspirations. *Journal of Baltic Science Education*, 19(2), 317-332. <https://doi.org/10.33225/jbse/20.19.317>
- Turgut, D., & Yakar, Z. (2020). Does teacher education program affect on development of teacher candidates' bioethical values, scientific literacy levels and empathy skills? *International Education Studies*, 13(5), 80-93. <https://doi.org/10.5539/ies.v13n5p80>
- UNESCO. (2005). *Declaração universal sobre bioética e direitos humanos*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000146180>
- Uno, G. E., & Bybee, R. W. (1994). Understanding the dimensions of biological literacy. *BioScience*, 44(8), 553-557. <https://doi.org/10.2307/1312283>
- Valladares, L. (2021). Scientific literacy and social transformation. *Science & Education*, 30(3), 557-587. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2>
- Veríssimo, A., & Ribeiro, R. (2001). A biologia no contexto da educação em ciências. In A. Veríssimo, A. Pedrosa, & R. Ribeiro (Eds.), *Ensino experimental das ciências* (pp. 155-163). Departamento do Ensino Secundário. http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Programas/CE_Programa/publicacoes_repensar.pdf
- Walter, B. M. T., Carvalho, A. M. de, & Ribeiro, J. F. (2008). O conceito de savana e de seu componente Cerrado. In S. M. Sano, S. P. de Almeida, & J. F. R. Ribeiro (Eds.), *Cerrado: Ecologia e flora* (pp. 19-46). Embrapa Informação Tecnológica.
- Wandersee, J. H., Fischer, K. M., & Moody, D. E. (2002). The nature of biology knowledge. In K. M. Fischer, J. H. Wandersee, & D. E. Moody (Eds.), *Mapping biology knowledge* (pp. 25-37). Kluwer Academic Publishers.
- Zabala, A. (2014). *A prática educativa: Como ensinar*. Penso.