



Caminhos da iluminação:

a interdisciplinaridade entre biologia e física em sala de aula

Carina Ferraz Marcos^{1,*}
Felipe Damasio²
Samuel Costa^{2,3}

¹Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Araranguá, SC, Brasil.

²Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Araranguá, SC, Brasil.

³Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Bauru, Bauru, SP, Brasil.

RESUMO

Descreve-se neste trabalho uma proposta didática que tem por objetivo o estudo interdisciplinar entre Biologia e Física, buscando problematizar como a abordagem da evolução dos olhos pode contribuir para um ambiente que fomente a interdisciplinaridade entre essas disciplinas. Para tal, propõe-se uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) que apresenta, como evidência da teoria da evolução, a evolução do olho e os diversos tipos de olhos existentes nos seres vivos, aliando este estudo aos conceitos de óptica e fisiologia da visão abordando, assim, concomitantemente, conteúdos de Física e Biologia. Salientamos, ainda, que esse estudo tem como eixo teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa e a epistemologia de Paul Feyerabend.

Palavras-chave: evolução; óptica; fisiologia da visão; interdisciplinaridade; aprendizagem significativa; Paul Feyerabend

1. Introdução

A Física na Escola tem prestado um relevante serviço aos professores de física publicando diversas propostas didáticas sobre os mais diferentes temas. Entre elas estão as que abordam formação de imagens [1], uso de softwares como Stellarium e Google Earth [2], mapas conceituais colaborativos on-line [3], uso de brinquedos como o “Giro Mágico” [4], atividades interdisciplinares no ensino de termodinâmica [5], entre muitos outros.

Este artigo é oriundo de uma pesquisa que visou, também, contribuir em A Física na Escola com uma proposta didática, uma vez que, especificamente, investigou uma maneira de levar à sala de aula uma abordagem interdisciplinar que envolva física e biologia.

Reflexões acerca das práticas em sala de aula são de fundamental importância, visto que os educandos mostram-se cada vez mais desinteressados no espaço formal de ensino. As escolas do século XXI têm enfrentado vários desafios, dentre eles: falta de interesse e desmotivação dos alunos; desvalorização dos professores; falta de participação das famílias; salas superlotadas; desrespeito, desordem, entre outros e, por consequência, os educadores sentem-se desmotivados por, muitas vezes, não alcançar seus objetivos educacionais [6].

No cenário atual, percebe-se que as crianças e os adolescentes têm o foco voltado para tudo o que os dispersa e

diverte. A sala de aula deixou de ser um local de aprendizagens significativas. Neste contexto, o imediatismo das redes sociais, por exemplo, contribui para que o ambiente escolar se torne maçante e o aprendizado seja deixado de lado. A desmotivação e a falta de perspectiva dos alunos são fatores preocupantes e grandes desafios enfrentados pelos professores, além de levar ao desinteresse que aumenta proporcionalmente com a idade [7].

Para instruir estes jovens, a Base Nacional Comum Curricular [8] ressalta a necessidade de recriação da escola de forma a reconhecer as transformações contemporâneas decorrentes do desenvolvimento tecnológico que atinge diretamente os adolescentes. Cabe às escolas proporcionar-lhes vivências e aprendizagens necessárias para atuarem com autonomia e responsabilidade diante da realidade dos alunos, enfrentando os desafios contemporâneos e tomando decisões éticas e fundamentadas.

É importante reconhecer que, para isso, faz-se necessário (re)pensar a formação dos professores. Muitas vezes, esses profissionais não foram instruídos (epistêmica, educacional e metodologicamente) para que possam utilizar estratégias metodológicas que favoreçam e estimulem o protagonismo dos educandos, bem como, que “evidencie a contextualização, diversificação e a transdisciplinaridade ou outras formas de interação e articulação entre dife-

As escolas do século XXI têm enfrentado vários desafios, dentre eles: falta de interesse e desmotivação dos alunos; desvalorização dos professores; falta de participação das famílias; salas superlotadas; desrespeito, desordem, entre outros e, por consequência, os educadores sentem-se desmotivados por, muitas vezes, não alcançar seus objetivos educacionais

*Autor de correspondência. E-mail: carinaferraz23@gmail.com.

rentes campos de saberes específicos, contemplando vivências práticas e vinculando a educação escolar ao mundo do trabalho e a prática social” (Resolução CNE/CEB nº 3/2018, Art. 7, § 2º).

Salienta-se, ainda, a importância da interdisciplinaridade como forma de desenvolver um trabalho de integração dos conteúdos de uma disciplina com outras áreas de conhecimento para que se possa superar a fragmentação de saberes nas disciplinas tradicionais da escola e contribuir com o aprendizado e desenvolvimento do educando [9], uma vez que, as noções, finalidades, habilidades e técnicas visam favorecer o processo de ensino e aprendizagem, respeitando os saberes dos alunos e sua integração [10].

A interdisciplinaridade pode ser capaz de unir os profissionais do ensino de forma recíproca, para que haja reflexão mútua, em substituição à concepção fragmentária do conhecimento, fazendo com que estes agentes de ensino tenham uma atitude diferenciada diante dos obstáculos educacionais [11]. Posto isso, ciente das dificuldades em lidar com os alunos em sala de aula e visando uma nova forma de trabalhar o conhecimento, para que o ambiente escolar torne-se dinâmico e vivo, esta pesquisa ressalta a interdisciplinaridade como processo ensino/aprendizagem aliado à aprendizagem significativa.

Diante deste cenário a *questão* que a presente pesquisa ocorreu é: *como a abordagem fenomenológica da evolução dos olhos de diferentes seres pode contribuir para promover um ambiente que fomente a interdisciplinaridade entre física e biologia no ensino de ciências?*

Como hipótese buscou-se embasamento em várias obras relacionadas à evolução. Isso levando em consideração que a evolução sempre foi tema de muita discussão entre cientistas e leigos.

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo geral estabelecer uma relação entre evolução e os tipos de olhos nos diferentes seres vivos, abordando o conteúdo de forma interdisciplinar entre as disciplinas de Física e Biologia, estudando óptica, fisiologia da visão e evolução.

A presente pesquisa traçou os seguintes objetivos específicos: (i) elabora-

ção de um texto paradidático para o ensino interdisciplinar entre Biologia e Física aliando os conceitos de fisiologia da visão, óptica e olho como objeto de estudo da evolução; (ii) propor uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) que possibilite a relação de maneira satisfatória entre as disciplinas de Física e Biologia e que contribua positivamente para a construção do conhecimento dos alunos; (iii) construir materiais de divulgação científica, tais como *live* no Instagram e vídeo no YouTube; e, (iv) construção e exploração de uma página na rede mundial de computadores para divulgar o trabalho proposto no projeto e o material didático potencialmente significativo.

Para evitar debilidades nesta pesquisa, a investigação está baseada nas recomendações para pesquisa em ensino de ciências de Marco Antonio Moreira. O autor destaca que a pesquisa deve ser produzida dentro de um marco teórico, metodológico e epistemológico de forma coerente e complementar [12]. Para tal articulação, foi utilizada a epistemologia de Paul Feyerabend, aliada a proposta da Teoria da Aprendizagem Significativa e a metodologia das unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS) de Marco Antonio Moreira, que se mostra em consonância com os referenciais teóricos citados [13].

2. Metodologia

A metodologia da pesquisa consistiu-se em sete etapas: (i) revisão bibliográfica; (ii) apropriação do tema; (iii) construção do material instrucional; (iv) construção da UEPS; (v) divulgação do trabalho em forma de *live* na rede social Instagram e em vídeo no YouTube; (vi) construção e exploração de uma página educativa na rede mundial de computadores; (vii)

redação.

A etapa (i), revisão bibliográfica, foi

restrita aos últimos dez anos, limitando-se aos periódicos indexados com qualis/Capes A e B na área de ensino,

foram eles: *Revista Brasileira do Ensino de Física (RBEF)*, A1; *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (EPEC)*, A1; *Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)*, A2; *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia (ARECT)*, A2; *Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)*, A2; *Experiência em Ensino de Ciências (EENCI)*, B1; *A Física na*

Escola (FnE), B2; *Ciência & Educação (C&E)*, A1; *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)*, A2; *Aprendizagem Significativa em Revista (ASR)*, B2. A quantidade de artigos selecionados para o estudo (12) indicou que é possível constatar a escassez de trabalhos que envolvem a interdisciplinaridade tanto entre Física e Biologia, assim como a mobilização do aporte teórico da aprendizagem significativa, o que justificou o desenvolvimento da pesquisa e a proposta dela oriunda.

Para apropriação do tema, etapa (ii), foram lidas e analisadas diversas obras relacionadas ao tema evolução. De Richard Dawkins, biólogo evolucionista autor de vários livros que abordam o tema evolução, foram selecionadas as seguintes obras: *A escalada do monte improvável* (1998); *O gene egoísta* (2007); *A grande história da evolução* (2009). E também obras de outros grandes autores, entre elas: *O espectro de Darwin: a teoria da evolução e suas implicações no mundo moderno*, de Michael Rose (2000); *As aventuras e descobertas de Darwin a bordo do Beagle*, de Richard Keynes (2004); *Charles Darwin a revolução da evolução* de Rebecca Steffoff (2007); *Charles Darwin viajando e Charles Darwin: o poder do lugar* de Janet Browne (2011); *A Origem das Espécies* de Charles Darwin, tradução de André Campos Mesquita (2009); e, *A vida dos vertebrados* (2008), escrito por F. Harvey Pough, Cristine M. Janis e John B. Heiser.

(iii) A construção do material instrucional escolhido foi a elaboração de um texto paradidático para o ensino interdisciplinar entre Biologia e Física, aliando os conceitos de fisiologia da visão, óptica e olho como objeto de estudo

A quantidade de artigos selecionados para o estudo (12) indicou que é possível constatar a escassez de trabalhos que envolvem a interdisciplinaridade tanto entre Física e Biologia, assim como a mobilização do aporte teórico da aprendizagem significativa, o que justificou o desenvolvimento da pesquisa e a proposta dela oriunda

A interdisciplinaridade pode ser capaz de unir os profissionais do ensino de forma recíproca, para que haja reflexão mútua, em substituição à concepção fragmentária do conhecimento, fazendo com que estes agentes de ensino tenham uma atitude diferenciada diante dos obstáculos educacionais

da evolução. O referido texto: *Visão: um sentido físico-biológico* encontra-se na seção seguinte, e traz em seu corpo os seguintes tópicos: A estrutura do olho humano; Luz e visão; Sentido da visão; O sentido da visão em diferentes grupos animais: uma adaptação ao modo de vida; O Olho como objeto de estudo da evolução; Passo a passo da evolução dos olhos.

(iv) A UEPS foi construída para orientar os professores em atividades referentes ao tema. A UEPS é apresentada em seção e sua integralidade está em Apêndice I. A mesma está disponibilizada, juntamente com o material instrucional, na rede mundial de computadores e na página que será discutida adiante no item (vi).

(v) A divulgação do trabalho em forma de *live* ocorreu no dia 09 de julho de 2020, pela rede social Instagram na página do @ifscience, sendo essa página um projeto de pesquisa do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Aranguá, que tem por objetivo desenvolver atividades de divulgação científica no âmbito da formação inicial e continuada de docentes. Nessa *live*⁷, foi divulgada a pesquisa e abordados os conceitos de óptica, evolução dos olhos humanos e os diversos tipos de olhos presentes nos seres vivos. O vídeo produzido² foi compartilhado no canal Cá Bióloga, na plataforma YouTube. Neste vídeo é descrito o passo a passo das evidências evolutivas que levaram à formação dos olhos.

(vi) A construção e exploração de uma página³ na rede mundial de computadores têm como objetivo divulgar o trabalho proposto no projeto, bem como reunir material potencialmente significativo para alunos, professores e pesquisadores que tenham interesse pelo tema. Os elementos desta ferramenta são postagens do material instrucional e a UEPS, apresentada na seção a seguir.

(vii) Na elaboração da redação, foram apresentadas todas as etapas do projeto: revisão bibliográfica, referencial teórico, texto do material instrucional, UEPS, endereço eletrônico da *live* e página na rede mundial de computadores. Foram elencadas, ainda, as perspectivas futuras relacionadas ao projeto.

3. Visão: um sentido físico-biológico

A visão é um sentido complexo que possibilita aos seres vivos perceberem o ambiente no qual estão inseridos. O

ato de enxergar depende do funcionamento de células altamente especializadas denominadas de receptores sensoriais, capazes de captar e responder aos mais diversos estímulos ativados pela presença de luz, como o comprimento de onda luminosa, a intensidade da luz, ambientes claros e escuros, as imagens, a profundidade, entre outros [14].

Por sua complexidade, para a compreensão do sentido da visão, faz-se necessária uma abordagem multidisciplinar. Neste trabalho, foi feita uma abordagem dos conhecimentos importantes na interface física e biológica para que os seres vivos possam perceber o ambiente. Em Física, os conhecimentos estudados são: fontes de iluminação e características da matéria e os fenômenos relacionados à absorção, reflexão e transmissão dos raios luminosos. Em Biologia, serão vistos os conhecimentos sobre a fisiologia da visão, os fenômenos de formação da imagem, sentidos da visão e anatomia comparada. Em seguida, visando contribuir com o estudo do evolucionismo, e com o intuito de trazer um estudo diferente dos apresentados nos livros didáticos da atualidade, será abordado o olho como objeto de estudo da evolução [15].

3.1. Estrutura do olho humano

Os olhos (Fig. 1) constituem um sistema sensorial complexo e desempenham um papel fundamental em nossa interação com o mundo. Esses órgãos são responsáveis pela captação da luz refletida pelos objetos, e funcionam como um sensor. Atuando em conjunto com músculos, que lhes possibilitam movimentos, e com nervos, que levam as informações ao sistema nervoso. Desvendando, assim, as formas, cores e os movimentos do mundo exterior [17].

O globo ocular aloja-se dentro de cavidades ósseas denominadas órbitas, que fazem parte da face. Cada globo ocular compõe-se de três túnicas (túnica fibrosa externa, túnica intermediária vascular

pigmentada e túnica interna nervosa) e quatro meios transparentes (córnea, humor aquoso, cristalino e humor vítreo). A *túnica fibrosa externa* é a esclera, parte branca do olho, composta por fibras colágenas e resistentes. Possui a função de manter a estrutura do olho, dar sustentação e proteção aos traumas e infecções. A parte anterior da esclera, a córnea, é transparente e atua como uma lente convergente [14].

A *túnica intermediária vascular pigmentada* é denominada de úvea. Compreende a íris, a coroide e o corpo ciliar. A íris é a parte visível e colorida do olho, possui músculos capazes de aumentar ou diminuir o orifício central — a pupila, cujo diâmetro varia de acordo com a luminosidade do ambiente de forma a controlar a quantidade de luz recebida pelo olho. A coroide está situada abaixo da esclerótica e é intensamente pigmentada. Esses pigmentos auxiliam na absorção da luz que chega à retina evitando sua reflexão. A função da coroide é nutrir a retina. O corpo ciliar une-se à coroide na parte anterior do olho. Possui como principais funções a acomodação e produção do humor aquoso e produção de colágeno do humor vítreo [18].

A túnica interna nervosa é a retina. Está localizada abaixo da coroide. É formada por neurônios e células da glia. Nella estão presentes dois tipos de fotorreceptores, também chamados de células fotossensíveis: os cones e os bastonetes. Esses fotorreceptores são responsáveis por transformar a luz em impulsos elétricos.

Por sua complexidade, para a compreensão do sentido da visão, faz-se necessária uma abordagem multidisciplinar. Neste trabalho, foi feita uma abordagem dos conhecimentos importantes na interface física e biológica para que os seres vivos possam perceber o ambiente

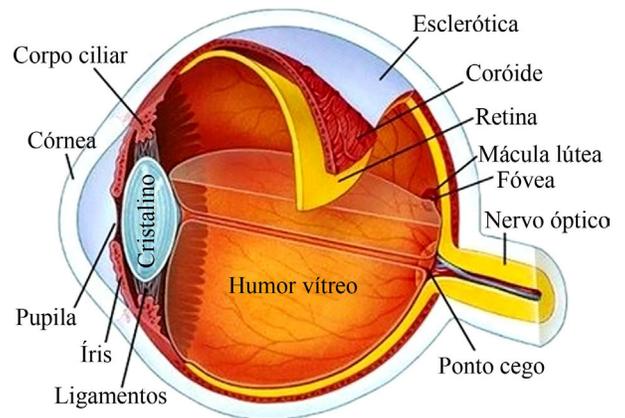


Figura 1 - Representação do olho humano. Fonte: Ref. [16].

cos, que se propagam pelo nervo óptico e chegam ao cérebro, permitindo que ele interprete os estímulos ambientais [17].

Os cones são especializados em visão colorida de alta precisão e em luminosidade intensa. Nos seres humanos a visão das cores é possível graças ao resultado da ação dos três tipos de cones existentes, detectando o azul, o vermelho e o verde. Algumas espécies de répteis, peixes e aves foram beneficiadas evolutivamente com um tipo de cone a mais, possibilitando uma visão ultravioleta [15]. Os bastonetes não possuem poder de resolução tão bom, no entanto, são mais sensíveis à luz que os cones. Sob luminosidades baixas, a visão depende exclusivamente dos bastonetes. É a chamada visão noturna ou visão de penumbra [19].

A **córnea** é a porção transparente da esclera, que fica na parte da frente do olho. Funciona como uma lente, permitindo a entrada da luz, auxiliando na focalização da imagem. O *humor aquoso* é um fluido que se localiza entre a córnea e o cristalino, preenchendo a camada anterior do olho, possui a função de nutrir a córnea e o cristalino e mantém uma pressão hidrostática conveniente para o olho. O *cristalino* é uma lente biconvexa coberta por uma membrana transparente. Situa-se atrás da pupila e orienta a passagem da luz até a retina. O *humor vítreo* é um fluido viscoso e gelatinoso que preenche a câmara posterior do olho, possui função estrutural, dificultando o deslocamento da retina [14].

3.2. Luz e visão

A luz é o agente físico responsável por sensibilizar nossos órgãos visuais e assim conseguirmos enxergar o mundo ao nosso redor, tanto que quando estamos no escuro não é possível ver os objetos que nos cercam. Desde os primórdios, a espécie humana sentiu a necessidade de buscar por fontes luminosas que substituíssem o Sol quando ele se punha no horizonte. Nos dias de hoje, é quase impossível pensar em viver sem iluminação artificial [20].

Entender como enxergamos o Sol, as estrelas e velas acesas, por exemplo, é fácil, já que possuem luz própria. No

entanto, a questão é: como é possível ver os objetos que não são fontes luminosas? A história da ciência mostra que um consenso na pesquisa não é fácil. Nos primeiros estágios de desenvolvimento da óptica, entre os gregos antigos, várias escolas orientadas por seus pressupostos científicos e filosóficos, competiam entre si com explicações distintas sobre o que é luz e como se entende a visão [21].

Para o grego Leucipo de Mileto (480-420 a.C), a visão ocorria devido às partículas que os objetos emitem aos nossos olhos. Já para o grego Empédocles (490-430 a.C), a visão era resultado da emissão de feixes visuais pelos olhos que interagiam com os objetos para coletar informações e possibilitava a percepção das imagens do mundo ao seu redor [20].

Esses foram os primeiros passos para tentar entender o funcionamento da visão. Hoje sabe-se que as fontes de luz podem ser classificadas em duas categorias: fontes de luz primária, são corpos luminosos que emitem luz, como as estrelas e lâmpadas, e fontes de luz secundária, que são corpos que não emitem luz, apenas refletem a luz do ambiente, sendo chamados de corpos iluminados. A luz emitida pelas fontes de luz ou refletida pelos corpos iluminados chega aos nossos olhos, possibilitando-nos enxergá-los (Fig. 2) [22].

A parte da física responsável pelo estudo da luz e dos fenômenos associados a ela é a óptica. Os estudos de óptica dividem-se em duas partes: óptica física e óptica geométrica. A óptica física concentra seus estudos na natureza ondulatória da luz. Na óptica geométrica, a luz é considerada uma partícula e seus estudos são feitos a partir do conceito de raios de luz, estes são segmentos de reta que indicam a direção e o sentido dos raios luminosos. A compreensão do funcionamento da visão humana é realizada pelo estudo da óptica geométrica, a partir do estudo da propagação dos raios de luz [20].

A óptica geométrica possui como base três princípios fundamentais: (i) *propagação retilínea dos raios luminosos*, pelo qual a luz se propaga em linha reta nos meios transparentes e homogêneos; (ii) *independência dos raios lumino-*

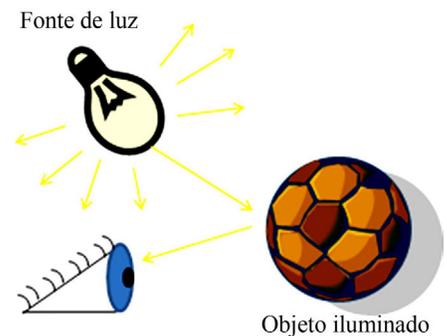


Figura. 2 - Fontes de luz.

...sos, pelo qual a propagação de um raio de luz não interfere na propagação de outro; e (iii) *reversibilidade dos raios luminosos*, pelo qual os caminhos de ida e volta de um raio são idênticos. Ao incidir sobre um corpo a luz pode ser refletida, absorvida ou atravessar o corpo. O fenômeno da reflexão luminosa ocorre quando os raios de luz que chegam até uma superfície retornam ao meio de onde vieram. Se os raios retornarem sem grandes desvios, ocorrerá reflexão regular (Fig. 3), como ocorre em um espelho plano. Se o corpo no qual incidiu for rugoso, ocorrerá a reflexão difusa (Fig. 4) responsável pela visualização dos objetos [23].

A cor que um corpo apresenta depende da luz naquele incidente e da luz que ele reflete difusamente. Por exemplo, a folha de uma árvore é percebida como verde, porque quando é iluminada pela luz branca, praticamente não absorve a frequência correspondente ao verde e reflete a maior parte da onda que se refere a essa cor. Com as outras cores ocorre o oposto: a maior parte é absorvida pela folha e uma pequena parte é refletida [24].

Ao propagar-se, a luz pode atravessar

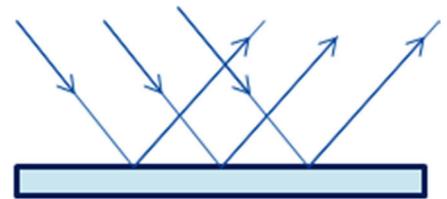


Figura 3 - Fenômeno da reflexão luminosa regular.

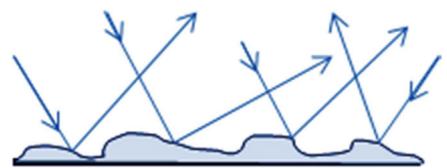


Figura 4 - Fenômeno da reflexão luminosa difusa.

sar alguns materiais. Os materiais transparentes como as lentes, o vidro, o ar, a água pura e outros, permitem a passagem dos raios luminosos possibilitando a visualização nítida dos objetos. Quando um raio de luz passa do ar para água ou do ar para um vidro ou outro meio transparente, o mesmo diminuirá a velocidade. Isso ocorre em virtude do fenômeno de refração da luz, o qual consiste na mudança de velocidade dos raios luminosos quando a luz passa de um meio para outro, ou seja, se o índice de refração do qual o raio de luz vier for menor que o índice de refração que ele incide, os raios de luz curvam-se [25].

O grau do desvio do raio de luz é proporcional à diferença entre os índices de refração. O índice de refração do ar é 1,0003 (por definição utiliza-se 1,00 como no vácuo) e os raios de luz curvam-se assim que o atravessam. A água tem por índice de refração 1,33 e o desvio da luz quando atravessa o limite ar/água dá a impressão de que os objetos que estão abaixo da água encontram-se mais próximos do observador do que realmente estão, por exemplo, um lápis mergulhado parcialmente na água parece quebrado: a imagem da parte mergulhada na água é vista mais próxima de onde realmente está (Fig. 5) [25].

Uma das principais aplicações do fenômeno de refração é a construção de lentes. As lentes são sistemas ópticos feitos de vidro e materiais sintéticos. Possuem duas faces, uma delas é curva e a outra pode ser curva ou plana. Atualmente, elas são utilizadas para correção dos defeitos da visão, construção de óculos, microscópios, telescópios, etc. Alguns tipos de lentes fazem os raios de luz convergirem a um único ponto depois de a atravessarem, são chamadas de lentes convergentes, por exemplo, as lentes das lupas. Nas chamadas lentes divergentes, os raios incidentes afastam-se uns dos outros após atravessarem, como por exemplo, a lente do olho mágico, instalado em portas (Fig. 6) [24].

3.3. Sentido da visão

O olho humano pode ser imaginado como um sistema óptico formado por uma lente fixa, a córnea, e outra flexível, o cristalino, emergidas em um líquido transparente com índice de re-

fração próximo ao da água formando uma imagem real e invertida. Esse sistema versátil possibilita, em conexão com o cérebro, formar, processar e identificar as imagens dos objetos observados [26].

A luz emitida ou refletida por um corpo chega até os olhos e atravessa partes do globo ocular (córnea, cristalino e meios líquidos). A córnea, membrana transparente na frente do olho, funciona como uma lente convexa-côncava com poder refrativo, possui forma de calota esférica devido à pressão exercida pelo humor aquoso,

é responsável por 80% do processo de formação da imagem sobre a retina, juntamente com o humor aquoso. O cristalino é uma lente biconvexa convergente que possui uma curvatura variável. É formado por várias camadas transparentes e encontra-se preso aos músculos ciliares, que controlam sua curvatura, variando a distância focal [27].

Depois de atravessar a córnea, entrar pela pupila e atravessar a lente, a luz converge para o interior do olho. A imagem chega invertida, na sua porção interna posterior onde existe o revestimento fotossensível, a retina. A sensibilização da retina ocorre quimicamente. A luz convertida em impulsos elétricos envia informações, codificadas através do nervo óptico, ao sistema nervoso central, dando ao indivíduo a sensação da visão [27].

3.4. O sentido da visão em diferentes grupos animais: uma adaptação ao modo de vida

Existem milhões de espécies de seres vivos no planeta. Em cerca de 95% das espécies de animais são encontrados órgãos especializados para detecção da luz. Alguns mais simples, apenas sensíveis à luz, e outros mais complexos, com órgão específico para a visão. As estruturas biológicas mais simples para captação da luz são consideradas precursoras dos olhos mais complexos como os encontrados nos vertebrados [28]. Os olhos dos animais são muito variados em forma, tamanho e percepção; eles adaptam-se ao modo de vida do ser vivo [29].

Os artrópodes possuem os olhos simples e os compostos, sendo que os primeiros não formam imagens, ape-

Uma das principais aplicações do fenômeno de refração é a construção de lentes, usadas no auxílio da correção de deficiências visuais



Figura 5 - Fenômeno da refração.

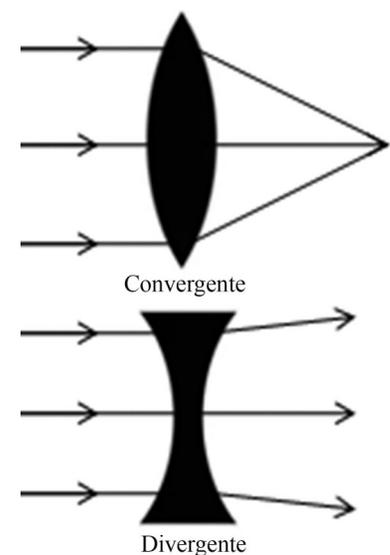


Figura 6 - Lentes.

nas captam diferentes graus de intensidade luminosa, e os últimos, formados por unidades cilíndricas chamadas de omatídeos, formam imagens. A libélula,

por exemplo, possui 30 mil omatídeos, dos quais cada um possui sua própria córnea, que funciona como uma lente, e sua própria retina, que forma pequena parte do objeto. Assim, o conjunto de omatídeos gera a visão total do objeto, como um mosaico [30].

As imagens formadas pelos omatídeos não correspondem ao que os humanos veem, pois, para enxergar com tantos detalhes seriam necessários milhões deles. Os compostos são um tipo de olho muito eficiente e sensível ao movimento, no entanto, podem ser cegos para cenas estáticas. A visão final dos artrópodes, com olhos compostos, é chamada de visão de justaposição, na qual a imagem formada é o posicionamento lado a lado de cada ponto luminoso capturado pelo omatídeo (Fig. 7) [19].

Dentre os vertebrados pode-se encontrar uma grande diversidade de tipos de olhos e em geral são bem desenvolvidos. Possuem uma grande variedade de cones incluindo células com pigmentos sensíveis a comprimentos de ondas desde o vermelho escuro até a luz ultravioleta. O modo como o ser vivo enxerga vai depender da concentração de fotorreceptores e sua disposição na retina [32]. A forma que a imagem é focalizada na retina é diferente para animais aquáticos e terrestres devido ao índice de refração do ar e da água serem diferentes.

Dentro do grupo dos peixes, existem muitas diferenças entre as espécies. A maioria desses animais possuem os olhos nas laterais da cabeça, o que faz com que tenham uma visão circular (Fig. 8), vindo com mais nitidez que os seres humanos. Algumas espécies conseguem enxergar a luz ultravioleta, como as carpas. Já os tubarões não enxergam cores, no entanto, por possuírem muitos bastonetes, sua visão noturna é altamente eficaz, sendo muito importante para o comportamento alimentar desses animais [34].

Entre os anfíbios a visão é bem desenvolvida, a maioria possui olhos similares aos dos peixes, com lentes inflexíveis que se movem para frente e para trás. Algumas espécies são tetracromáticas, ou seja, possuem quatro tipos de cones para identificação das cores, essa é uma característica muito singular em suas células da retina: um tipo de bastonete verde [34].

Os répteis geralmente possuem olhos grandes com pálpebras superiores e inferiores e membrana nictitante, com função de proteger os olhos contra o ressecamento e auxiliar na sua limpeza.

Essa membrana pode ser encontrada também em alguns peixes, anfíbios, aves e mamíferos. A maioria das espécies possui maior número de cones que os anfíbios e possivelmente possuem uma visão mais colorida [34].

Entre os répteis, os camaleões possuem o sistema sensorial mais complexo. Seus olhos podem mover-se de forma independente e cada um possui um campo de visão diferente. Essa movimentação rotacional do bulbo possibilita a visão em 360 graus (Fig. 9). Quando a presa é visualizada ambos os olhos convergem para o mesmo ponto. A visão binocular auxilia na percepção da profundidade, determinando se a presa encontra-se a ou não ao alcance da língua [35].

As aves de rapina possuem a visão adaptada ao voo, sendo a mais aguçada entre os animais. Esse título é creditado devido ao fato de poderem ver sua presa a mais de 1,5 km de distância. Para tanto, sua retina possui um milhão de células fotossensíveis (por mm^2), que aumentam o tamanho da presa em até três vezes. Além disso, elas possuem



Figura 7 - Visão de justaposição dos artrópodes com olhos compostos. Fonte: Ref. [31].

uma visão binocular como os seres humanos, permitindo assim, noção de distância e de profundidade, que permitem calcular manobras e ataques contra as presas. Nas espécies diurnas, há a presença da visão ultravioleta (Fig. 10), que permite detectar a presa pelo rastro de urina deixado no solo, bem como cores diferentes nas plumagens de outras aves, muito importante para atrair as fêmeas durante a reprodução [36].

Os mamíferos evoluíram como animais noturnos, sendo que sua sensibilidade visual (formação de imagens sob pouca luz) era mais importante do que



Figura 8 - Comparativo entre a visão de algumas espécies de peixes com a visão do ser humano. Fonte: Ref. [33].



Figura 9 - Comparativo entre a visão dos camaleões e a dos seres humanos. Fonte: Ref. [33].



Figura 10 - Esquema comparativo entre a visão humana e a visão ultravioleta de algumas aves. Fonte: Ref. [36].

a acuidade (formação de imagens mais precisas). A acuidade visual e a visão em cores dos mamíferos são possíveis devido a uma região na retina formada apenas por cones, a fóvea. Os seres humanos possuem três tipos de cones sensíveis às cores: azul, verde e vermelha. Entretanto, a maioria dos mamíferos possui visão monocromática (uma cor) ou bicromática (duas cores) [25]. Os ratos e camundongos, por exemplo, só distinguem tons de verde e azul, sua visão é bicromática (Fig. 11). Por possuírem olhos muito pequenos, não conseguem ver a longa distância. Seus olhos localizados ao lado da cabeça possibilitam-lhes um campo de visão muito grande e podem enxergar imagens diferentes em cada olho.

Os cães são parcialmente daltônicos, não conseguem distinguir os tons de verde e vermelho, sua visão é em tons de cinza, amarelo e azul. À noite, com baixa luminosidade, enxergam em preto e branco. No entanto, possuem uma visão periférica melhor que o ser humano. Os gatos enxergam de maneira semelhante aos cães, tons de verde, amarelo e azul (Fig. 12). Esses animais absorvem luz 8x mais que os seres humanos, por isso durante o dia sua visão é embaçada, funciona melhor à noite, período em que esses animais são mais ágeis [25].

Muitos caçadores noturnos, ao longo do processo evolutivo, desenvolveram uma camada reflexiva atrás da retina, denominada de *tapetum lucidum*. Essa camada contém substâncias com propriedades refletoras que maximizam a quantidade de luz que o olho pode detectar, ou seja, capturar os fótons

que as fotocélulas deixaram escapar. Assim, cada fóton é refletido na direção exata da própria fotocélula que deixou escapar, fazendo com que a imagem não seja distorcida, concedendo ótima visão noturna e um brilho característico de seus olhos [19].

3.5. O olho como objeto de estudo da evolução

Explicar a evolução dos olhos sempre foi um desafio para os biólogos evolucionistas, tanto que Charles Darwin, ao escrever uma obra seminal do evolucionismo, *A origem das espécies*, utilizou o olho para elencar discussões sobre órgãos perfeitos e complexos. Em sua obra, Darwin sugere que existem diversas gradações entre um olho simples até um olho complexo e perfeito, sendo cada um útil ao animal que o possui, ou seja, adaptado ao seu modo de vida. Algumas variações que ocorrem no olho certamente são herdadas, sendo que essas são úteis a determinado animal em diferentes condições de vida [37].

Muitos foram os argumentos con-

trários às ideias de Darwin depois de publicar seu livro, principalmente porque eram desconhecidos os estudos de Gregor Mendel (1822-1866) sobre a hereditariedade. Posto isso, cabe ressaltar que a teoria da evolução por seleção natural não deve ser creditada somente a Charles Darwin, a teoria é, na verdade, uma construção sócio-histórica-cultural e contou com a colaboração de vários cientistas como Alfred Russel Wallace e Henry Bates [38].

Nos dias de hoje, estuda-se a teoria sintética da evolução, que é uma síntese evolutiva moderna, aliando os conhecimentos sobre seleção natural, mutação e herança genética, isolamento geográfico e reprodutivo e deriva genética. Com todo avanço científico e tecnológico, os estudos sobre DNA e a identificação dos genes dos seres vivos, sabe-se que mutações podem ocorrer aleatoriamente alterando a sequência de bases nitrogenadas do DNA. Essas alterações genéticas ocorrem, geralmente, durante a cópia do material genético na divisão celular e podem ser causadas por radiação, substâncias químicas, modificação na posição dos genes, etc. Essas mudanças na sequência de bases nitrogenadas no DNA podem ser suficientes para provocar o aparecimento de novas características. Compreende-se, assim, que as mutações são como a “matéria-prima” para a seleção natural, originando novos ale-



Figura 11 - Comparativo entre a visão dos ratos e camundongos com a visão dos seres humanos. Fonte: Ref. [36].



Figura 12 - Comparativo entre a visão dos cães e gatos com a visão dos seres humanos. Fonte: Ref. [36].

los e variações fenotípicas, ou seja, novas características nas espécies [30].

Estudar a evolução dos olhos é um desafio para os cientistas, uma vez que é difícil ver detalhes em fósseis, uma vez que são órgãos moles demais para fossilizar. No entanto, analisando os seres vivos que existem, é possível observar vestígios oriundos do processo evolutivo. O primeiro tipo de olho a aparecer nos registros fósseis, ainda no período Cambriano⁴, foi o olho composto do extinto artrópode trilobita, por serem constituídos de carbonato de cálcio, facilitando, assim, a fossilização [19].

Durante todo processo evolutivo dos seres vivos, desde os primórdios até os dias de hoje, acredita-se que os olhos evoluíram mais de sessenta vezes independentemente entre os animais. Os primeiros seres vivos procariontes que existiram em nosso planeta não eram capazes de detectar luz, sendo que, em determinado momento, acredita-se que ocorreu uma mutação em um deles, passando, assim, a apresentar tal propriedade. Para os evolucionistas, a referida mutação alterou a opsina, uma proteína que compõe a molécula fotossensível rodopsina, que sofre transformações químicas sob a ação da luz, gerando a visão molecular [39].

Para os cientistas, a opsina modificou a forma de vida dos seres vivos. Isso pode ser creditado ao fato da visão apresentar profundos efeitos sobre a sobrevivência das espécies, uma vez que influencia diretamente em comportamentos vitais, tanto para organismos mais simples, como as águas-vivas, estrela-do-mar, algas e protozoários (que não são capazes de formar imagens ou identificar a direção da luz, possuindo apenas uma leve sensibilidade, percebendo a diferença entre o claro e o escuro o que os auxilia na busca por alimento), quanto para alguns roedores, como os coelhos (que possuem visão periférica que pode chegar a 360 graus, algo extremamente importante para poder enxergar tudo o que ocorre ao redor, alimentar-se, acasalar e proteger-se de predadores). É importante ressaltar que não existem seres vivos mais evoluídos que outros. Cada espécie evoluiu de acordo com suas necessidades de sobrevivência e encontra-se no seu ápice de evolução, adaptando-se ao ambiente e à realidade da qual faz parte [19].

3.6. Passo a passo da evolução dos olhos humanos

O olho tipo câmara encontrado em muitos seres vivos é o mais complexo

de todo reino animal. No entanto, se for aprofundado, cada vestígio das variações ocorridas ao longo dessa caminhada de milhões de anos, é possível compreender como se deu a evolução dos olhos de todos os organismos [19].

Acredita-se que a evolução dos olhos começou ainda no período cambriano, há 500 milhões de anos, época em que as estruturas visuais eram apenas pequenas cavidades com a capacidade de detectar a direção da luz. Ao longo de milhões de anos de transformações, uma série de etapas evolutivas levou à formação deste órgão estruturalmente complexo, denominado de olho tipo câmara [40]. Para que haja uma diversidade de vertebrados com formato variado de olhos, os genes formadores de olhos resultantes do processo evolutivo foram transmitidos para todos os ramos da árvore filogenética de vertebrados.

Inicialmente, existia apenas um pequeno ponto fotorreceptor capaz de captar luz (Fig. 13a), como o existente atualmente nas euglenas, uma alga unicelular. O referido ponto consiste em um aglomerado de proteínas sensíveis à luz,

ligado ao flagelo, que é ativado quando encontra a luz e propicia a movimentação na direção do alimento [41].

O surgimento de um formato côncavo de estruturas fotossensíveis foi o próximo passo evolutivo (Fig. 13b). O desenvolvimento desse permitiu detectar mais facilmente a direção da luz. Atualmente, esse formato é encontrado

em planárias, um platelminto de vida livre. Nesses animais existem ocelos em forma de concha que, apesar de não formarem imagens, possibilitam a percepção da direção e intensidade da luz. Tal habilidade permite, além de buscar alimento, encontrar lugares sombreados que servem como proteção de predadores [42].

Com o passar do tempo, outras mutações ocorreram fazendo com que a cavidade ocular aumentasse de tamanho e a abertura frontal diminuísse formando um globo. Nesse globo, um lado possui um pequeno ponto de entrada de luz, como um furo de agulha (Fig. 13c), que aumentou a resolução da visão e diminuiu as distorções de entrada e, do outro lado, possui células fotossensíveis

O olho tipo câmara encontrado em muitos seres vivos é o mais complexo de todo reino animal. No entanto, se for aprofundado, cada vestígio das variações ocorridas ao longo dessa caminhada de milhões de anos, é possível compreender como se deu a evolução dos olhos de todos os organismos

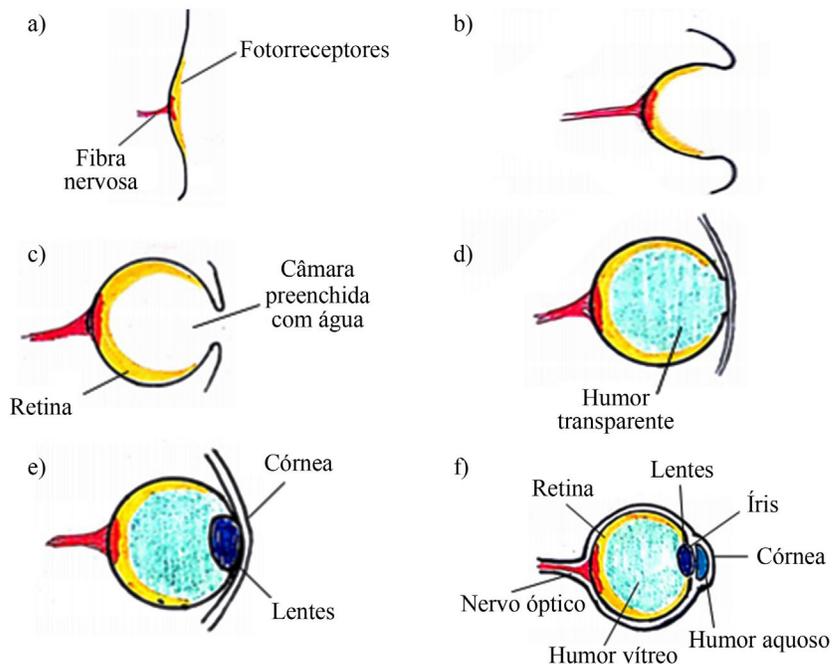


Figura 13 - Passo a passo da evolução do olho a) região de células fotossensíveis b) o formato côncavo c) olho com abertura puntiforme d) fechamento da câmara e) evolução das lentes f) evolução das íris e córneas separadas.

que chamamos de retina. Essa estrutura ocular com abertura puntiforme permite melhor detecção da direção da luz e formação de imagens simples. Esse “olho primitivo” é do tipo câmera, porém mais simples e sem qualquer lente, pode ser encontrado no náutilo, um cefalópode considerado um “fóssil vivo”. Acredita-se que o náutilo utiliza esse “furo de agulha” para melhorar a resolução e o senso de direção [42].

Com o passar de milhares de anos surgiu a lente, atualmente conhecida como córnea. A teoria mais aceita é que ela teria evoluído de células transparentes formadas na frente dos olhos que serviam para prevenir infecções. As adaptações que lentamente continuaram ocorrendo fizeram surgir no interior do globo ocular um líquido que o preencheu, hoje chamado de humor aquoso e humor vítreo. A partir do preenchimento do interior do olho com líquido (Fig. 13d), aperfeiçoou-se a sensibilidade e o processamento da luz. Assim como nas feiticeiras, espécie de peixe mais primitivo pertencendo ao grupo dos ciclostomados, pode-se observar uma córnea primitiva que parece ser uma extensão da pele que protege a entrada dos olhos, como uma pálpebra [18].

No decorrer dos processos evolutivos, as lentes surgiram por adaptações de células epiteliais ricas em proteínas cristalinas (Fig. 13e). Essas proteínas foram formadas na superfície externa do globo ocular e criaram uma estrutura que se mostrou útil para focalizar a luz num único ponto sobre a retina. Essa lente é a chave para a capacidade de adaptação do olho, pois muda de curvatura de acordo com a adaptação à visão de perto e de longe. Essa estrutura de câmera escura, com um furinho central e uma lente, serviu de base para a evolução do olho humano. Ao aperfeiçoar-se, na estrutura dos olhos, surgiram a íris, a esclera e as glândulas lacrimais (Fig. 13f). A evolução concomitante do cérebro, com sua expansão no córtex visual para processar imagens recebidas mais nítidas e coloridas, foi, igualmente, um importante passo para evolução da visão [42].

4. Caminhos da iluminação: UEPS para um ensino interdisciplinar entre biologia e física

Buscando superar uma concepção tradicional de ensinar/aprender, que se baseia na narrativa do professor e aprendizagem mecânica dos alunos, sugere-se a utilização de UEPS. A UEPS

aqui apresentada foi desenvolvida a partir de alguns aspectos sequenciais, descritos abaixo, para que a aprendizagem do aluno construa-se de forma significativa. Ressalta-se que a presente proposta é voltada para utilização com alunos do Ensino Médio, no entanto, é facilmente adaptável ao ensino fundamental. Os materiais necessários para que os professores possam consultar, colocar em prática e adaptar ao seu contexto de ensino, estão disponíveis em *Olhos: sentido da visão e evolução*⁵.

4.1. Definição do tópico específico a ser abordado

Segundo a concepção de desenvolvimento da UEPS, inicialmente define-se o tópico específico a ser trabalhado em sala de aula, identificando todos os aspectos que podem ser inseridos no contexto da matéria de ensino a ser trabalhada com os alunos. A proposta didática a ser abordada aqui será: “Caminhos da iluminação: uma proposta visando a interdisciplinaridade entre biologia e física”. Buscando alcançar os objetivos didáticos, pretende-se apresentar como evidência da teoria da evolução a evolução do olho e os diversos tipos de olhos existentes nos seres vivos, aliando esse estudo aos conceitos de óptica da visão.

4.2. Criação de situações iniciais para os alunos externarem seus conhecimentos prévios

Iniciando o conteúdo, é necessário desenvolver estratégias que permitam aos alunos externalizarem seus conhecimentos prévios sobre o assunto. Para isso, a UEPS (Apêndice I) sugere que, em um primeiro momento, os alunos confeccionem desenhos de diferentes seres vivos. Em seguida, sugere-se a construção de um quadro que resuma o que foi desenhado por eles, classificando os seres vivos citados de acordo com o grupo a que pertencem e suas características da visão. Feito isso, serão levantados alguns questionamentos acerca do conteúdo a ser trabalhado, socializando os conhecimentos prévios dos alunos, salientando que não se espera respostas únicas ou “certas”, mas, sim, uma socialização dialogada do que será discutido posteriormente.

4.3. Proposição de situações-problema

Em um nível introdutório, esta UEPS irá levantar questões que preparam o ambiente para a introdução do conhecimento que será discutido. Tais

perguntas devem levar em conta o conhecimento prévio dos alunos. Para as situações-problema, podem-se utilizar simulações, vídeos, experimentos, etc. Cada professor que irá utilizá-la pode e deve fazer adaptações de acordo com as características da sua turma. Na UEPS desta proposta, sugere-se algumas situações-problema, em nível introdutório, para analisar o conhecimento prévio dos alunos sobre a visão dos seres vivos. Ressalta-se que não se espera que os alunos respondam essas situações-problema neste momento.

4.4. Apresentação do conhecimento a ser abordado

Depois de se discutir as situações-problema, deve-se apresentar o conteúdo a ser abordado, levando-se em consideração a teoria de Ausubel. Nesta proposta de UEPS, optou-se por uma apresentação de slides baseada no texto paradidático abordando de forma interdisciplinar entre física e biologia algumas questões referentes ao tema. Espera-se que no final eles tenham evoluído conceitualmente a respeito do conteúdo.

4.5. Abordagem do tema em nível mais alto de complexidade

Em continuidade, deve-se retomar os aspectos gerais do conteúdo e as situações-problema devem ser expostas em nível mais alto de complexidade. Esse momento propicia o levantamento de algum aspecto específico do conteúdo que está sendo apresentado. Nesta UEPS, optou-se pela apresentação do documentário *Evolução: olhos*, do History Channel⁶. Depois de uma breve discussão sobre os tipos de olhos dos diferentes seres vivos apresentados no documentário, será utilizada a apresentação de slides 2, baseada no texto paradidático. Essa abordagem irá colaborar para a compreensão da teoria da evolução dos seres vivos por seleção natural.

4.6. Retomada das características mais relevantes

Para concluir a unidade, dar-se-á seguimento ao processo de reconciliação integrativa retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão. O próximo aspecto sequencial sugere a apresentação do vídeo *Evolução dos Olhos*, do canal Cá Bióloga⁷, no YouTube; o referido vídeo descreve o passo a passo das evidências evolutivas que levaram à formação dos olhos. Em seguida, propõem-se, por meio da utilização da plataforma edu-

Apêndice

Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS

Caminhos da iluminação: uma proposta visando a interdisciplinaridade entre biologia e física

Objetivo: Apresentar como evidência da teoria da evolução a evolução do olho e os diversos tipos de olhos existentes nos seres vivos, aliando este estudo aos conceitos de óptica da visão.

1. Situação inicial: será entregue para cada aluno uma folha em branco para desenharem, de acordo com seus conhecimentos, diferentes seres vivos. Em seguida, sugere-se a construção de um quadro com os estudantes com os tipos de seres vivos por eles desenhados, separando-os pelas características da visão desses organismos. Neste momento, os alunos serão avaliados pela participação na atividade. Essa atividade inicial ocupará a primeira aula da UEPS.

2. Situações-problema: a partir dos desenhos feitos por eles, levantar situações-problema como: (i) como você acha que esses seres podem ser tão diferentes? (ii) Porque você acha que alguns órgãos, por exemplo, os olhos, semelhantes em vários seres vivos podem ter funcionamento tão diversificado? (iii) Você saberia explicar como a maioria dos seres vivos conseguem ver o mundo a sua volta? (iv) Como ocorre a visão nos seres vivos? (v) O que nos torna capazes de enxergar os objetos? Essas situações que se referem aos conhecimentos explicitados dos alunos serão discutidas em grande grupo com a mediação do(a) professor(a), não precisando chegar a respostas “certas” neste momento.

Em seguida, distribuir cópias individuais do primeiro tópico do material instrucional presente neste trabalho, *A visão: um sentido físico-biológico* (Apêndice I), dar tempo para que os alunos leiam e, logo após, sugerir que se reúnam em pequenos grupos (de até quatro participantes) para elencar tópicos que mais lhes chamaram a atenção. Feito isso, cada grupo irá colocar sua opinião para discussão em grande grupo. Esses tópicos deverão ser entregues para o(a) professor(a) no final da aula. Essa atividade durará de duas a três aulas.

3. Revisão: iniciar a aula com uma revisão, ou seja, uma miniaula expositiva sobre o que foi visto utilizando a apresentação de slides 1. As questões ali colocadas são: (i) qual a função dos olhos dos seres vivos? (ii) Qual a importância da luz no que se refere à visão? (iii) Quais as partes da anatomia dos olhos do ser humano? (iv) Quais as contribuições do estudo da óptica geométrica para a compreensão da visão dos seres vivos? Abrindo espaço para questionamentos dos alunos. Nesta aula, será solicitado previamente aos alunos que tragam seus celulares com um aplicativo *My eye anatomy* disponível para download gratuitamente na Play Store, para que possam ver e analisar as partes do olho humano em 3D. Em seguida, será solicitado que façam um mapa mental em grupo (de até quatro integrantes) do referido assunto discutido em sala de aula. Os mapas de cada grupo deverão ser entregues ao professor que fará a revisão e devolverá aos grupos para possíveis alterações. Na próxima aula, esses mapas deverão ser apresentados ao grande grupo (em painéis, tipo pôster, feito com papel e marcadores). Essa atividade também ocupará de duas a três aulas.

4. Nova situação-problema, em um nível alto de complexidade: para promover uma reconciliação integradora, esta aula iniciará com uma revisão dialogada dos assuntos tratados na aula anterior. Buscando-se problematizar em um nível de complexidade maior, será apresentado aos estudantes o documentário *Evolução: olhos*, da History Channel, será solicitado que os alunos façam breves anotações dos diferentes tipos de olhos citados no documentário para posterior discussão com o grande grupo. Feito isso, utilizar-se-á a apresentação de slides 2. As questões ali colocadas são: (i) como o estudo dos tipos de olhos dos diferentes seres vivos pode contribuir para o estudo da evolução? (ii) Quais as etapas evolutivas levaram à formação do complexo olho tipo câmera? (iii) Quais as variações adaptativas de tipos de olhos em diferentes seres vivos? Em seguida, será solicitado que os alunos construam, em dupla, uma tabela com cada etapa da evolução apresentada, com suas principais evidências e exemplos. Essa atividade deve ser entregue para o professor e está prevista para três aulas.

5. Avaliação somativa individual: as avaliações deverão acontecer por meio de questões abertas que exijam o máximo de transformação no conteúdo abordado, para que os alunos possam expressar livremente sua compreensão. Serão feitas perguntas em que as respostas não possam ser encontradas no material instrucional sem uma reflexão prévia. Em seguida, será solicitado que os alunos construam um esquema que evidencie a aprendizagem significativa. Esta atividade ocupará uma aula.

6. Aula expositiva dialogada integradora final: de forma dialogada, dar-se-á seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, fazendo uma integração das discussões geradas, através de uma nova apresentação dos significados com exposição oral, em seguida, será apresentado o vídeo *Evolução dos olhos*, do canal Cá Bióloga, do YouTube. Nesta aula será solicitado previamente que os alunos tragam seus celulares para participarem de um quiz, em grupos, sobre o tema estudado, na plataforma educacional Kahoot. Num segundo momento, serão revistas as situações-problema buscando mediar a construção de respostas a partir do que for trazido pelos alunos.

7. Avaliação da aprendizagem na UEPS: será feita ao longo de sua implementação, registrando tudo o que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado e com a avaliação somativa individual cujo peso não deverá ser superior a 50%.

8. Avaliação da própria UEPS: sugere-se uma roda de conversa para que os alunos avaliem as estratégias de ensino empregadas na UEPS e avaliem também seu próprio aprendizado. O docente deverá avaliar a UEPS em relação aos resultados de aprendizagem obtidos e, havendo necessidade, reformular algumas atividades.

Total de aulas: 12 a 14.

questões abordadas até o momento, permitindo enxergar o conteúdo todo como uma unidade de ensino. Cabe ressaltar que cada professor pode fazer adaptações em sua prática, em escolas sem acesso à internet sugere-se, nesta etapa, utilização de textos de apoio. Revistas as situações-problema, o professor deve orientar a atividade, sendo mediador das respostas construídas pelos estudantes.

4.7 Avaliação da aprendizagem na UEPS

A avaliação da aprendizagem será realizada durante todo o processo de ensino, com registros de todas as evidências de aprendizagem do conteúdo trabalhado. Haverá também uma avaliação somativa com questões que impliquem a compreensão e que evidenciem captação de significados e capacidade de transferência do que foi estudado. Dentro da UEPS, a avaliação deverá estar baseada nos registros do professor juntamente com a avaliação somativa.

4.8 Avaliação da UEPS

A aprendizagem significativa é pro-

gressiva, a UEPS somente terá êxito se a avaliação do desempenho do aluno fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). Sugeriu-se nessa UEPS, uma roda de conversa com os alunos, para que eles avaliem as estratégias de ensino empregadas e sua própria aprendizagem.

5. Considerações Finais

Um dos grandes desafios da educação nos dias de hoje é conseguir que os alunos se interessem e se atentem pelos conteúdos ensinados em sala de aula, visto que os jogos e as redes sociais têm chamado muito mais atenção dos educandos do que as aulas na escola. Percebe-se assim, que é necessária uma nova postura dos professores ante tal desafio. Os educadores precisam deixar de pensar que o bom professor é aquele que apenas transmite conteúdos e entender que ele é um facilitador da aprendizagem dos alunos. Faz-se necessária, ainda, a utilização de práticas e metodologias diferenciadas para propiciar um ambiente no

qual o aluno possa aprender significativamente.

Este estudo trouxe como proposta a interdisciplinaridade para que haja integração entre as disciplinas substituindo a concepção do ensino fragmentado. Com isso, os profissionais de ensino podem desenvolver um trabalho integrado, contribuindo positivamente para o aprendizado do aluno. Descreveu-se ainda, uma proposta de UEPS que poderá ser utilizada em sala de aula com objetivo de uma aprendizagem significativa crítica dos alunos. Ressaltando que cada professor pode modificá-la de acordo com a sua realidade. Trazendo como aporte teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa e a epistemologia de Feyerabend, esta proposta buscou problematizar a abordagem da evolução dos olhos como forma de contribuir com um ambiente para o ensino interdisciplinar entre Biologia e Física. Com o desenvolvimento da pesquisa, acredita-se ter alcançado os objetivos propostos.

Recebido em: 31 de Março de 2022

Aceito em: 17 de Junho de 2022

Notas

¹Live disponível em: <https://www.instagram.com/tv/CCcF3zNHEmK?igshid=qdo2vvbk2vop>.

²Vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wYHJc7C-zwA&t=8s>.

³Site disponível em: <https://carinaferraz23.wixsite.com/olhos>.

⁴O período Cambriano iniciou-se em torno de 542 e terminou há 488 milhões de anos. Foi marcado por uma “explosão de vida”. Os primeiros animais com partes duras e mineralizadas surgiram nesse período. No Cambriano, os mares rasos estendiam-se sobre extensas áreas continentais e eram abundantes em trilobitas e moluscos, entre outros [19].

⁵Disponível em <https://carinaferraz23.wixsite.com/olhos>

⁶Sugestão do documentário: SUPER DOCUMENTÁRIOS. Evolução: Olhos (History Chanel). 2015 (44min 48s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=w3F-KeWkaOo&t=3s>>. Acesso em: 12/08/2019.

⁷Sugestão de vídeo: CÁ BIÓLOGA. Evolução dos olhos. 2020 (7 min 3s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=wYHJc7C-zwA&t=43s>>. Acesso em: 12/10/2020.

⁸Dicas de como utilizar o Karrot nas aulas: DEPROFPRAPROF. Karrot: como usar nas aulas presenciais ou on-line. 2019 (10 min 7s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=6MWUMYmAlmo>>. Acesso em: 01/09/2020.

Referências

- [1] F.M. Laburú, O.H.M. Silva, C.E. Laburú, A Física na Escola **19**(2), 23 (2021).
- [2] R.L. Nogueira, T.A.S.M. Sampaio, A Física na Escola **19**(2), 28 (2021).
- [3] P.M.S. Roma, C.M.S. Roma, A Física na Escola **19**(2), 39 (2021).
- [4] R.V. Fernandes, O.H.M. Silva, A Física na Escola **19**(1), 69 (2021).
- [5] J.S. Azevedo, F.N. Monteiro Júnior, A Física na Escola **18**(2), 42 (2020).
- [6] F.A. Nunes, Id on Line: Revista Multidisciplinar e de Psicologia **11**, 77 (2017).
- [7] A. Dozena, Geografia **17**, 111 (2008).
- [8] Brasil, *Base Nacional Comum Curricular* (MEC/Semtec, Brasília, 2018).
- [9] Brasil, *Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio* (MEC/SEF, Brasília, 2000).
- [10] I. Fazenda (org) *O Que É Interdisciplinaridade?* (Cortez, São Paulo, 2008).
- [11] M.A.R. Azevedo, M. Andrade, Educar **30**, 235 (2007).
- [12] M.A. Moreira, Revista Chilena de Educacion Científica **3**, 10 (2004).
- [13] F. Damasio, L.O.Q. Peduzzi, Investigações em Ensino de Ciências **20**, 61 (2015).
- [14] M.L.R.C. Neves, P.M. Lopes, S. Mozelli, *Biologia* (Educação, Belo Horizonte, 2015).
- [15] E.L.S. Loreto, P.H.S. Sartori, Caderno Brasileiro do Ensino de Física **25**, 266 (2008).

- [16] L. Bernardes, *Olhos*. Disponível em <https://www.todoestudo.com.br/biologia/olhos>, acesso em 28/03/2020.
- [17] A. Ramos, *Fisiologia da Visão*. Disponível em: http://sites.unifoa.edu.br/portal/plano_aula/arquivos/04054/Fisiologia%20da%20visao%20-%20MODULO%20I.pdf, acesso em 24/03/2020.
- [18] F.C. Chacaltana, *Bioquímica do Humor Aquoso e do Humor Vítreo*. Disponível em https://www.ufrgs.br/lacvet/restrito/pdf/flor_humor_aquoso_vitreo.pdf, acesso em 20/03/2020.
- [19] R. Dawkins, *A Escalada do Monte Improvável: Uma Defesa da Teoria da Evolução* (Companhia das Letras, São Paulo, 1998).
- [20] M. Pietrocola, A. Pogibem, R. Andrade, T.R. Romero, *Física em Contextos* (Editora do Brasil, São Paulo, 2016).
- [21] L.O.Q. Peduzzi, *A Relatividade Einsteiniana: Uma Abordagem Conceitual e Epistemológica*, Disponível em https://be37fb0e-ff6f-47d2-bea99e97e816d.filesusr.com/ugd/7d71af_0203f7a8e27240ed90645f16ebe5d67c.pdf, acesso em 29/10/2020.
- [22] E. Cerqueira, *Atlas Ilustrado do Corpo Humano* (Ciranda cultural, São Paulo, 2012).
- [23] M.R. Carnevalle, *Jornadas* (São Paulo: Saraiva, 2012).
- [24] F. Gewandsznajder, *Ciências: Material e Energia* (Ática, São Paulo, 2013).
- [25] F.H. Pough, C.M. Janis, J.B. Heiser, *A Vida dos Vertebrados* (Atheneu, São Paulo, 2008).
- [26] E.C. Passos, A.V. Andrade-Neto, T. Lamaire, Caderno de Física da UEFS **6**, 7 (2008).
- [27] M.M.F. Saba, I.D.V. Epiphany, Física na Escola **2**(2), 16 (2001).
- [28] O. Helene, A.F. Helene, Revista Brasileira do Ensino de Física **33**, 3312 (2011).
- [29] J.A. Audino, J.E.A.R. Marian, S.G.B.C. Lopes, Revista da Biologia **14**, 24 (2015).
- [30] S. Linhares, F. Gewandsznajder, *Biologia Hoje* (Ática, São Paulo, 2014).
- [31] Emaze, *Olho Composto*. Disponível em <https://app.emaze.com/@AQTQQWT#2>, acesso em 31/03/2020.
- [32] K. Jones, *A Visão dos Peixes*. Disponível em http://www.katembe2.com/wp-content/uploads/2018/11/visao_dos_peixes.pdf, acesso em 11/07/2020.
- [33] Incrível. *Como os Animais Enxergam o Mundo*. Disponível em <https://incrivel.club/admiracao-curiosidades/como-os-animais-enxergam-o-mundo-142210/>, acesso em 06/07/2020.
- [34] E. Hausman, *Ecologia e Evolução do Sistema Visual de Serpentes Caenophidia: Estudos Comparativos da Morfologia Retiniana e Genética de Opsinas*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2014.
- [35] L.C.S. Silva, *Anatomia dos Répteis*. Disponível em <http://www.conhecer.org.br/download/repteis/Anatomia%20dos%20repteis.pdf>, acesso em 13/07/2020.
- [36] R. Martins, *Como as Aves Enxergam*. Disponível em <http://bemestaranimalvet.blogspot.com/2019/06/como-as-aves-enxergam.html>, acesso em 01/04/2020.
- [37] C. Darwin, *A Origem das Espécies Por Meio da Seleção Natural* (Escala, São Paulo, 2009).
- [38] R. Ferreira, *Bates, Darwin, Wallace e a Teoria da Evolução* (Cepe, Recife, 2012).
- [39] F.G. Oliveira, *Aspectos Anatômicos do Olho e Neuroquímicos da Retina do Mocó (Kerodonrupestris)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.
- [40] M. Rose, *O Espectro de Darwin: A Teoria da Evolução e Suas Implicações no Mundo Moderno* (Jorge Zahar Ed., Rio de Janeiro, 2000).
- [41] O. Kardoudi, *Como os Olhos Evoluíram de Pequenos Buracos Para Órgãos Complexos?* Disponível em <https://gizmodo.uol.com.br/evolucao-olhos/>, acesso em 14/03/2020.
- [42] J. Harvey, *The Evolution of the Human Eye*. Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=qrKZBh8BL_U&feature=emb_logo, acesso em 15/03/2020.