

# CAMINHOS DA ILUMINAÇÃO: UMA PROPOSTA VISANDO A INTERDISCIPLINARIDADE ENTRE BIOLOGIA E FÍSICA

**Carina Ferraz Marcos** [carinaferraz23@gmail.com]

*Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Instituto Federal de Santa Catarina, campus Araranguá*

**Felipe Damasio** [felipedamasio@ifsc.edu.br]

*Instituto Federal de Santa Catarina, campus Araranguá*

**Samuel Costa** [samuel.costa@ifsc.edu.br]

*Instituto Federal de Santa Catarina, campus Araranguá*

## 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. 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.

## Introdução

Reflexões acerca das práticas em sala de aula são de fundamental importância, visto que nos dias de hoje os educandos se mostram 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 na escola; salas superlotadas; desrespeito, desordem, entre outros, e por consequência, os educadores se sentem desmotivados por muitas vezes não alcançar seus objetivos educacionais (NUNES, 2017).

No cenário atual, percebe-se que as mudanças e avanços tecnológicos vêm afetando fortemente as escolas, fazendo com que crianças e adolescentes voltem o foco para tudo o que os

dispersa e diverte. A sala de aula deixou de ser 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 um fator preocupante e um grande desafio enfrentado pelos professores atualmente, além de levar ao desinteresse que aumenta proporcionalmente com a idade (DOZENA, 2008).

Do ponto de vista dos alunos, a crítica se dirige ao sistema escolar, ao autoritarismo das relações escolares, a falta de qualidade das aulas, a quantidade de matérias desinteressantes, incompreensíveis e pouco significativas, etc. Os alunos têm sido tratados muitas vezes pelo corpo de servidores da escola como receptores de informação ignorando a contínua construção conjunta do conhecimento (FRANÇA e SOUZA, 2015).

A realidade que os sistemas educacionais têm enfrentado é, em termos gerais, de apatia e conformismo, o que resulta na formação de alunos e educadores pouco reflexivos e questionadores. Sendo assim, torna-se necessário usar metodologias mais eficazes para que os alunos possam construir seus conhecimentos e para que sejam preparados para uma vida social e intelectual, tornando-se cidadãos críticos e conscientes (FRANÇA e SOUZA, 2015).

Para instruir estes jovens a Base Nacional Comum Curricular (BNCC/2018) 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 lhes proporcionar vivências e aprendizagens necessárias para atuarem com autonomia e responsabilidade diante de sua realidade, 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, que muitas vezes não foram instruídos (epistêmica, educacional e metodologicamente) para atuar nesse sentido posteriormente em sala de aula para que possam utilizar estratégias metodológicas que favoreça e estimule o protagonismo dos educandos, bem como que:

evidencie a contextualização, diversificação e a transdisciplinaridade<sup>1</sup> ou outras formas de interação e articulação entre diferentes campos de saberes específicos, contemplando vivências, práticas e vinculando a educação escolar ao mundo do trabalho e a prática social e possibilitando o aproveitamento de estudos e o reconhecimento de saberes adquiridos nas experiências pessoais, sociais e do trabalho (Resolução CNE/CEB nº 3/2018, Art. 7, § 2º).

Com isso, salienta-se a importância da interdisciplinaridade como forma de desenvolver um trabalho de integração dos conteúdos de uma disciplina com outras áreas de conhecimento para que

---

<sup>1</sup> “A transdisciplinaridade trata da inovação de se trabalhar, em ambientes de aprendizagem, dois ou mais conteúdos frente à uma única linha de raciocínio” (RODRIGUES, 2016).

se possa superar a fragmentação de saberes nas disciplinas tradicionais da escola e contribuir com o aprendizado e desenvolvimento do educando. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (2000, p. 21) deve-se compreender a interdisciplinaridade como uma prática escolar que estabeleça “interconexões e passagens entre conhecimentos através de relações de complementaridade, convergência ou divergência”.

A concepção de interdisciplinaridade no ensino surgiu na segunda metade do século passado como um enfoque teórico-metodológico, devido a uma necessidade de superar a fragmentação do conhecimento, principalmente nos campos das ciências humanas e educação (THIESEN, 2008). A utilização da interdisciplinaridade como forma de desenvolver um trabalho de integração entre as disciplinas contribui positivamente para o aprendizado do aluno. Possuindo assim, uma perspectiva educativa. As noções, finalidades, habilidades e técnicas visam favorecer o processo de ensino e aprendizagem, respeitando os saberes dos alunos e sua integração (FAZENDA, 2008).

Para que os professores façam um bom trabalho interdisciplinar é preciso que sejam preparados para isto também nos cursos de licenciaturas, considerando tanto uma formação de profissionais habilitados em conhecimentos específicos quanto com possibilidade de articulações e diálogos de forma interdisciplinar (PURIFICAÇÃO, CATARINO e CARNEIRO, 2020). 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 (AZEVEDO e ANDRADE, 2007).

É senso comum que a educação interdisciplinar está voltada para a formação do indivíduo a partir da capacidade de diálogo entre diversas disciplinas entendendo-se o saber como um todo e não como partes ou fragmentações. Posto isto, 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 se torne dinâmico e vivo, esta pesquisa ressaltará a interdisciplinaridade como processo ensino/aprendizagem aliado à aprendizagem significativa (AZEVEDO e ANDRADE 2007).

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

Como **hipótese** buscou-se embasamento em várias obras relacionadas à evolução. Levando em consideração que a evolução sempre foi tema de muita discussão entre cientistas e leigos. O próprio Charles Darwin (1809-1882) relata em seu livro *A Origem das Espécies* a dificuldade de

imaginar que o olho humano possa ter se formado através da seleção natural por ser tão complexo, mas demonstra que existem muitas gradações, desde um olho singelo e imperfeito a um olho complexo (DARWIN, 2009). 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) elaboração de um texto de 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 um 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*; (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 (MOREIRA, 2004). 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 (DAMASIO e PEDUZZI, 2015).

Logo, a **proposta da pesquisa** se constitui em elaborar uma UEPS que articule os conceitos de evolução, fisiologia da visão e óptica de maneira interdisciplinar entre Biologia e Física, apresentando como evidência da teoria da evolução, a evolução do olho e os diversos tipos de olhos existentes nos seres vivos. Toda abordagem feita de acordo com a epistemologia de Feyerabend e pelos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa.

## **Revisão bibliográfica**

Com o objetivo de demonstrar a relevância dessa pesquisa na área de Ensino de Ciências, visando a interdisciplinaridade entre Biologia e Física uma proposta passível de ser implementada e a falta de materiais didáticos adequados disponíveis para aulas não-tradicionais e expositivas pelos professores, a presente revisão bibliográfica baseou-se nos seguintes indexadores: interdisciplinaridade orientada pela aprendizagem significativa; Física e Biologia na

interdisciplinaridade; olho humano como objeto de estudo e/ou organizador sequencial. Os artigos foram selecionados pelos títulos, leitura do resumo e palavras-chave.

A 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 em 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 Tabela 1 indica a quantidade de artigos selecionados para este estudo (12) e os periódicos nos quais foram publicados. 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. A seguir será feita uma breve descrição sobre as características gerais de cada artigo e sua contribuição para esta pesquisa.

**Tabela 1:** artigos selecionados para revisão bibliográfica.

<b>Periódico</b>	<b>Interdisciplinaridade dentro do aporte teórico da aprendizagem significativa</b>	<b>Física e Biologia na interdisciplinaridade</b>	<b>Olho humano como objeto de estudo e/ou organizador sequencial</b>
RBEF	00	04	02
EPEC	00	01	00
CBEF	00	00	00
ARECT	00	02	00
IENCI	00	01	00
EENCI	00	00	00
FnE	00	00	00
C&E	00	00	00
RBPEC	00	00	00
ASR	02	00	00
<b>Total</b>	02	08	02

#### *Interdisciplinaridade dentro do aporte teórico da Aprendizagem Significativa*

O trabalho de Batista e Salvi (2011) mostra que nos dias de hoje os processos de transformação estão ocorrendo rapidamente, conceitos antes considerados suficientes na resolução de problemas científicos e sociais se tornam alvo de questionamentos, o que nos leva a pensar que o modelo de civilização está em crise. Os autores enfocaram como eixo condutor da análise a

perspectiva pós-moderna, sendo que nesse novo período questiona-se se as teorias, modelos e conceitos existentes são suficientes na resolução de problemas científicos e sociais atuais.

Segundo Batista e Salvi (2011, p. 74), “ensinar e aprender exigem se não novas capacidades, ao menos a percepção de que, sobretudo nos dias atuais, vive-se uma época em que os conhecimentos científicos, técnicos e sociológicos apresentam-se em processo de interação profunda”. A interdisciplinaridade no ensino é uma prática possível de ser implementada e um caminho metodológico que dá origem a um diálogo entre saberes, ressaltando o caráter de integrar conhecimentos que se dão em separado. Os autores propõem que tal concepção proporciona um processo de reconciliação integrativa capaz de preparar significativamente o aluno para a interpretação e ação de/em sua realidade (BATISTA e SALVI, 2011).

Rosa, Shuhmacher e Rosa (2016) em seu trabalho relatam uma experiência em sala de aula. Inicialmente utilizaram o filme *O Dia Depois de Amanhã*, como organizador prévio, para o estudo da teoria do caos, bem como para promover discussões acerca da preservação do meio ambiente. Apoiados na teoria da aprendizagem significativa e propiciando a interdisciplinaridade buscaram abordar o conteúdo específico utilizando apresentação de *slides*. E para os pré e pós-testes fizeram uso de questionários. Nos resultados obtidos após análise e conclusão da referida intervenção pedagógica foi possível perceber indícios de aprendizagem significativa.

Os trabalhos citados podem ser indícios de que é possível promover a interdisciplinaridade e, além disso, pelo número reduzido de artigos encontrados, de que se faz necessário mais pesquisas e propostas nesse sentido, visto que é uma prática possível de ser implementada, superando a fragmentação de conteúdos e preparando o aluno para a sua realidade. Demonstrando a importância dos organizadores prévios para uma construção de ocorrência de real aprendizagem significativa nos estudantes. Nesta pesquisa apresenta-se uma proposta interdisciplinar entre Física e Biologia buscando formas de oportunizar aos educandos uma aprendizagem significativa dos conteúdos propostos.

### *Física e Biologia na Interdisciplinaridade*

A interdisciplinaridade, embora institucionalizada como base da educação nacional na atual legislação, é pouco estudada na pesquisa em ensino de ciências. Com objetivo de compreender como essa noção vem sendo investigada e efetivada no ensino médio pelas pesquisas na área, Mozena e Ostermann (2014), realizaram uma detalhada revisão bibliográfica relacionada a publicação de periódicos voltados para o estudo da interdisciplinaridade no ensino de ciências da natureza. O levantamento foi realizado em 44 revistas nacionais e internacionais WebQualis A1 e

A2 na área de ensino. Com este estudo foi possível observar um aumento no número de pesquisas publicadas ao longo dos anos, porém são pontuais e específicas, mostrando problemas na efetivação da interdisciplinaridade e a necessidade de aprofundamento dessa discussão. Segundo Mozena e Ostermann (2014, p. 195) “com relação ao assunto em nosso país parece residir no professor, enquanto no exterior ainda a preocupação se baseia na efetivação da interdisciplinaridade na sala de aula”.

Villani, Franzoni e Valadares (2008), em seu trabalho analisaram o desenvolvimento de um grupo de licenciandos nas disciplinas de Prática de Ensino de Física e Prática de Ensino de Biologia, na qual os alunos deviam propor um planejamento coletivo e interdisciplinar para um conjunto de aulas a ser ministrado no ensino fundamental da rede pública. As professoras de cada disciplina reuniram os licenciandos e propuseram que o estágio fosse realizado em conjunto por alunos das duas disciplinas. Eles foram divididos em grupos que se reuniam em horários especiais para planejamento das aulas, discussões, avaliações e para questionamentos e troca de ideias entre licenciandos e as professoras orientadoras. Esta análise trouxe relatos dos próprios licenciandos no decorrer da prática do estágio e procurou mostrar a evolução de um dos grupos e as contribuições das professoras.

As professoras responsáveis pelo projeto orientavam os licenciandos sempre de forma positiva (com visitas, sugestões e discussões) e com liberdade para assumirem desafios, sem colocar regras ou dizer o caminho certo a seguir, favorecendo assim, uma real experiência de aprendizado. Do lado dos licenciandos houve bastante dificuldade em virtude da falta de experiência em sala de aula (com alunos) e também diante dessa nova prática de ensino, que os colocou em conflito, pois eram oriundos de diferentes grupos de formação compartimentados e tiveram que romper as barreiras das tradicionais formas de ensino/aprendizagem. Este grupo específico conseguiu realizar um bom trabalho, com liberdade de iniciativas criativas, sob a orientação das professoras. Outros grupos, porém, não obtiveram o mesmo desempenho.

O trabalho de Sodré e Matos (2013) faz uma abordagem do tema alimentação de forma mais abrangente. Partindo da perspectiva sócio-histórico-cultural são explorados aspectos da seleção de alimentos pelos indivíduos, articulando conteúdos científicos aos problemas relacionados aos alimentos. Os autores destacam a importância deste tema tão presente no cotidiano, sendo assim muito pertinente para ser trabalhado também na disciplina de Física, visto que os alimentos são fonte de energia para os seres vivos. Os autores relatam que a relação entre os diferentes saberes contribui para enriquecer o conhecimento cotidiano sobre o tema.

O trabalho de Maldaner, Costa-Beber e Machado (2012) apresenta dados de uma investigação sobre o processo de ensino e aprendizagem desenvolvido a partir de atividade curricular temática interdisciplinar e discutem-se fundamentos teórico-metodológicos de desenvolvimento de situação de estudo na área das ciências da natureza. O trabalho interdisciplinar foi desenvolvido em uma turma de segundo ano do ensino médio, com professoras de Biologia, Física e Química, que desenvolveram uma situação de estudo com o foco em interconverções de energia em processos Biofísicoquímicos com utilização de mapas conceituais.

Este trabalho reafirma que estudar uma situação real de forma interdisciplinar pode superar a fragmentação dos conteúdos e conceitos do currículo escolar. A produção de mapas conceituais diferentes, bem como de um mapa metaconceitual<sup>2</sup>, mostrou-se instrumento útil de investigação da situação estudada. Os resultados indicam que por meio do mapa metaconceitual foi possível perceber que alguns significados e sentidos são produzidos em níveis de maior ou menor abstração, por vezes conseguindo estabelecer relações entre os conceitos (MALDANER, COSTA-BEBER e MACHADO, 2012).

Santos e Valeiras (2014) trazem uma proposta de currículo interdisciplinar para licenciatura em ciências da natureza com as seguintes características: três anos iniciais interdisciplinares em termos e conceitos científicos; em cada semestre, disciplinas de educação, seminários e estágios. Com todos estes créditos o aluno poderia atuar como professor de ciências para o ensino fundamental. Para obtenção do diploma de professor do ensino médio o aluno deveria cursar disciplinas específicas de biologia (quarto ano), física (quinto ano) e química (sexto ano), ou seja, o curso permitiria obtenção de quatro diplomas. O trabalho de Santos e Valeiras é de relevante importância, pois se realmente os professores tivessem aulas interdisciplinares durante sua formação, estariam mais aptos a utilizarem esta metodologia ao lecionar suas aulas.

Para discutir assuntos como a formação básica e os fundamentos biológicos e físicos, Drigo Filho (2013), em seu trabalho, ressalta um vasto campo a ser explorado pela física no estudo das moléculas e sistema macromoleculares de interesse biológico. Salientando que um físico precisa reforçar seu conhecimento dos sistemas biológicos e o biólogo deve olhar com maior atenção os fundamentos da Física. Para o autor, a formação interdisciplinar inata na Biofísica molecular, é

---

<sup>2</sup> O mapa metaconceitual é construído a partir de operações metacognitivas com a intenção de tomar consciência do pensamento realizado pelos alunos, que é formado pelas relações conceituais por eles estabelecidas. Pode ser utilizado como instrumento de pesquisa para professores e pesquisadores para que se possa refletir e avaliar o nível de aprendizagem significativa (inter-relacional) atingido pelos estudantes (MALDANER, COSTA-BEBER e MACHADO, 2012).



extremamente importante e esforços devem ser canalizados para fortalecer vínculos entre os diferentes ramos de conhecimento humano.

O trabalho de Rodrigues e Brizola (2019) apresenta um estudo teórico que mostra a influência de radiações e baixa frequência proveniente, principalmente de celulares, e os danos que estes dispositivos podem causar aos sistemas biológicos. Segundo os autores, esse tipo de radiação pode causar variação na bioatividade, podendo ser considerada um agente externo nocivo as pessoas. Este trabalho é um exemplo de como as disciplinas de Física e Biologia podem ser trabalhadas de forma interdisciplinar.

Para expor uma relação entre as leis de escala e a dinâmica de crescimento em estruturas biológicas, Penna e Oliveira (2008) fazem uma breve discussão dos conceitos preliminares nos quais se baseiam as leis de escala aplicadas na Biologia. Para tanto, utilizam a hipótese de similaridade de West com o objetivo de formular uma equação que permita o estudo do crescimento dos organismos em geral. Sendo possível, usando um conjunto de leis gerais, definir o comportamento das variáveis biológicas, conectando-se diretamente a massa do corpo dos organismos. Este estudo exemplifica a interdisciplinaridade entre Física e Biologia.

Nos trabalhos descritos é notável as dificuldades que alguns professores ainda possuem em realizar um ensino interdisciplinar no âmbito das ciências da natureza. Além disso, pode-se perceber a relevância da utilização dos mapas conceituais para construção de conhecimento também no ensino interdisciplinar. Com estes trabalhos foi possível analisar, por meio de alguns exemplos, o potencial da integração entre Biologia e Física para o ensino interdisciplinar, assim como o presente trabalho propõe.

#### *Olho humano como objeto de estudo e/ou organizador sequencial*

Com o objetivo de descrever alguns aspectos da óptica do olho humano, Helene e Helene (2011) iniciaram seu trabalho estudando um sistema visual muito simples de vertebrados primitivos, explicando as estruturas responsáveis pela formação das imagens. Os autores optaram por não estudar o sistema óptico integralmente, mas sim sob a ótica evolucionista. Elencaram os principais elementos ópticos do olho humano, as funções da córnea e suas limitações, e apresentaram a construção de um modelo de olho simples para ilustrar vários aspectos da óptica do olho humano.

Para incentivar o estudo da óptica, o trabalho de Trierweiler e Flemming (2019) traz um experimento para modelar a acomodação do olho humano que pode ser utilizado nas aulas de ciências no ensino fundamental, Biologia no ensino médio e no ensino superior. Os autores

recomendam a construção e manuseio deste sistema simples para que se desenvolva competências e habilidades dos educandos em pesquisar e construir aparatos experimentais, obtendo assim, indícios de uma aprendizagem significativa do estudo da óptica.

O estudo de Helene e Helene é muito relevante para esta pesquisa, pois servirá como fonte de consulta para elaboração da mesma. O trabalho de Trierveiler e Flemming é um exemplo de como a utilização de experimentos em sala de aula são de suma importância para construção do conhecimento dos educandos. Estes trabalhos mostram que apesar de o olho humano ser um objeto de estudo e/ou organizador sequencial promissor, ainda é uma temática pouco explorada dentro da interdisciplinaridade. Sendo assim, tem-se segurança em afirmar que a pesquisa relatada neste trabalho traz características pouco exploradas em pesquisas de ensino em ciências da natureza.

### **Referencial teórico educacional e epistemológico**

O referencial teórico é de suma importância, pois é a partir dele que se pode obter uma base para o desenvolvimento do trabalho. Apesar disso, existem algumas debilidades nas pesquisas em educação em ciências, como trabalhos sem referencial teórico, metodológico e epistemológico, coerente e consistente (MOREIRA, 2004). Para evitar que tais debilidades ocorram, essa pesquisa fundamentar-se-á na Teoria da Aprendizagem Significativa e na epistemologia de Paul Feyerabend, visando assim, uma coerência e complementaridade entre os referenciais epistemológico e educacional (DAMASIO e PEDUZZI, 2016).

O referencial metodológico utilizado fundamenta-se nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) de Marco Antonio Moreira (2011). As UEPS são sequências de ensino direcionadas a aprendizagem significativa de conteúdos escolares, que podem ser utilizadas diretamente em sala de aula para estimular a pesquisa aplicada (DAMASIO e PEDUZZI, 2016).

#### *Teoria da Aprendizagem Significativa*

Aprendizagem significativa é o conceito central da teoria de David Paul Ausubel (1918-2008). Nascido em Nova York, na época em que ele estudava revoltava-se com as humilhações e castigos sofridos na escola. Ausubel dedicou-se então à educação, visando melhorar o aprendizado, pois era contra a aprendizagem mecânica. Tornou-se representante do cognitivismo (abordagem teórica para o entendimento da mente), utilizando a psicologia da aprendizagem significativa (FRANÇA e SOUZA, 2015).

De acordo com Ausubel, o processo de construção do conhecimento deve levar em conta o conhecimento prévio que o aluno traz consigo. O teórico conceitua a disciplina como um processo de valorização dos conhecimentos prévios do discente a partir do qual se possa construir estruturas mentais apoiadas por mapas conceituais<sup>3</sup> que lhe facilitem descobrir e redescobrir novos conhecimentos. A partir disso, há a possibilidade de se apresentar uma aprendizagem prazerosa, eficaz e significativa (FRANÇA e SOUZA, 2015).

Para Ausubel, o conhecimento prévio é o que mais influencia na aprendizagem de novos conhecimentos, caracterizando-se como a variável isolada mais importante para aprendizagem significativa. Os conhecimentos prévios preexistentes na estrutura cognitiva do educando funcionam como ideias-âncora ou subsunçores nas quais novos conhecimentos se ancoram e assim, adquirem significados (TEIXEIRA, XAVIER e DAMASIO, 2017).

Para preparar a estrutura cognitiva do educando e proporcionar condições para que ocorra a aprendizagem significativa, Ausubel propôs a utilização de organizadores prévios. Os organizadores prévios são materiais introdutórios utilizados antes do material de aprendizagem em si. Fornecendo assim, ideias-âncora relevantes no campo conceitual a ser introduzido para mostrar a relacionalidade e a discriminabilidade entre os conhecimentos já existentes e os novos conhecimentos (MOREIRA, 2010).

Se o aprendiz não tiver familiaridade alguma com o material a ser estudado deve-se utilizar um organizador *expositivo* a partir do que o aluno já sabe em outras áreas do conhecimento para que possa servir como ponto de ancoragem inicial. Se a aprendizagem de material for relativamente familiar, pode-se utilizar um organizador *comparativo* para integrar e discriminar as novas informações e conceitos (MOREIRA, 2008).

Os organizadores prévios funcionam como pontes cognitivas fornecendo ideias norteadoras em relação ao campo conceitual que será introduzido. Como organizadores prévios podem ser utilizados filmes, discussões, frases, textos e outros, de maneira introdutória e apresentada antes do material instrucional em um nível alto de generalização e abstração, estes, servirão como ponte entre o conhecimento prévio do educando e os conceitos que se pretende que ele aprenda significativamente (EUZÉBIO, *et al.* 2012).

A teoria de Ausubel enfatiza que existem duas condições para a aprendizagem significativa: o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e o aprendiz deve demonstrar

---

<sup>3</sup> Mapas conceituais são diagramas hierárquicos que procuram refletir relações entre conceitos de uma disciplina ou parte dela (MOREIRA e ROSA, 1986).

predisposição para aprender. Sendo assim, o material deve ser relacionável com a estrutura cognitiva e o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para fazer essa relação de maneira “não-arbitrária, de modo que não seja organizado de qualquer forma e não-litera, sendo fraseado de forma diferente pelo aprendiz” (TEIXEIRA, XAVIER e DAMASIO, 2017, p. 5).

Essa aprendizagem é significativa porque é um conhecimento específico preexistente na estrutura de conhecimentos do educando, o que lhe permite dar significado ao novo conhecimento, mediado pela interferência do próprio sujeito. De acordo com Moreira (2010, p. 2):

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre os conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não-litera e não-arbitrária. Nesse processo os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

Na aprendizagem significativa é o aluno que vai diferenciando progressivamente e, ao mesmo tempo, reconciliando integrativamente os novos conhecimentos em integração com os conhecimentos existentes. Ou seja, *diferenciação progressiva* e *reconciliação integradora* são processos simultâneos da dinâmica da estrutura cognitiva, em que o aprendiz vai organizando sua estrutura cognitiva em determinado campo do conhecimento (MOREIRA, 2010).

Além disso, Ausubel recomendava também a utilização dos princípios da *organização seqüencial* e da *consolidação* como facilitadores da aprendizagem significativa. Para Ausubel é mais fácil para o educando organizar seus subsunçores hierarquicamente, se na matéria de ensino certos tópicos dependam naturalmente dos que o antecedem. E a consolidação refere-se ao domínio do conhecimento prévio antes da introdução de novo conhecimento (MOREIRA, 2010).

Como este trabalho apoia-se na teoria da aprendizagem significativa o texto paradidático e a UEPS foram construídos visando contemplar os princípios preconizados por Ausubel, pois se entende que é viável sua utilização nas aulas de Biologia e Física. Visto que se possibilita aos professores proporcionar aos educandos subsídios relevantes para que desenvolvam uma aprendizagem significativa dos conteúdos propostos (MOREIRA, 2010).

### *Epistemologia de Paul Feyerabend*

Paul Feyerabend, em seus trabalhos, defende um pluralismo epistemológico, ou seja, ele se põe contra um método único de fazer ciência. A partir de suas publicações as ideias de Feyerabend foram muito discutidas, no entanto pouco entendidas. Nascido em Viena no ano de 1924, viveu nos Estados Unidos e na Europa. Orientado de Popper na escola de Economia de Londres, Paul

Feyerabend foi muito criticado após a publicação de seu livro mais importante – *Contra o método*. Seus principais conceitos são o anarquismo epistemológico, o pluralismo metodológico, contrarregra, contraindução e o vale-tudo (DAMASIO e PEDUZZI, 2015).

Segundo Damasio e Peduzzi (2015, p. 99) “o epistemólogo austríaco usou o anarquismo por considerar que a ciência tem muitos traços anarquistas, e ainda por ser uma ideia da qual o racionalismo não oferecia qualquer argumento contrário”. Para justificar o anarquismo epistemológico, Feyerabend argumenta que não existem regras metodológicas científicas universais, métodos fixos e imutáveis não são compatíveis com os resultados de uma pesquisa histórica.

Para Feyerabend, os racionalistas temem o relativismo, pois pode acabar com a superioridade de um pequeno grupo de especialistas, que acreditam que só existe uma verdade e ela deve prevalecer. No relativismo defendido por Feyerabend, as tradições, teorias e ideias são verdadeiras ou falsas dependendo da atribuição de valores de uma tradição específica (DAMASIO e PEDUZZI, 2015).

Feyerabend recomenda que a educação entenda a ciência como uma forma de conhecimento interessante com muitas vantagens, mas que o erro está no fato de os cientistas quererem universalizar as regras e que se tornem para a sociedade como um todo, sem considerar o contexto no qual estão inseridos os alunos. Podendo, com isso, aniquilar culturas inteiras com seu conhecimento se tornando raridade (DAMASIO e PEDUZZI, 2015).

Esta pesquisa sustenta-se na epistemologia de Paul Feyerabend, por este considerar que a ciência não deve ser praticada por seguidores rígidos de padrões estabelecidos, mas sim por pessoas adaptáveis e inventivas, que a escola deve olhar para o futuro e a educação não deve por limites às mentes, insistindo que padrões são árbitros eternos da pesquisa, moralidade e beleza. Ao se abordar a história da ciência, deve-se fazer como sugere a epistemologia de Feyerabend, de forma a mostrar o empreendimento científico multifacetário e plural, longe do entendimento padronizado dos racionalistas. A ciência deve ser ensinada de modo a despertar as capacidades críticas do educando para que ele seja capaz de ver as coisas em perspectiva. Formando assim, pessoas inquisitivas, flexíveis, criativas, inovadoras e tolerantes (SOUZA, DAMASIO e SANTOS, 2019).

## **Metodologia**

A metodologia da pesquisa consiste 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, possui um tópico específico citado anteriormente.

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); *Desvendando o arco-íris: ciência, ilusão e encantamento* (2000); *O relojoeiro cego* (2001); *Deus um delírio* (2007); *O gene egoísta* (2007); *O maior espetáculo da Terra* (2009) e; *A grande história da evolução* (2009). E também obras de outros grandes autores, entre elas: *Darwin: a vida de um evolucionista atormentado*, escrito por Adrian Desmond e James Moore (2000); *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); *A ilha de Darwin* de Steve Jones (2009); *Charles Darwin viagem de um naturalista ao redor do mundo*, tradução de Pedro Gonzaga (2010); *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.

Charles Darwin (2009) em sua obra *A origem das espécies por meio de seleção natural*, publicada em 1859, afirma que os seres vivos competem intensamente pela sobrevivência. Os que sobrevivem darão origem a novos seres vivos, que por sua vez tendem a preservar as características naturais mais favoráveis, e essa variação passa para sua prole hereditariamente. “A este princípio de conservação ou sobrevivência dos mais adequados, chamei-os de *seleção natural*” (DARWIN, 2009, p.117, grifo do autor).

Segundo Rose (2000, p.113) “o darwinismo é mais do que uma grande tradição científica. É também uma das influências mais importantes na vida de quem vive e viveu o mundo moderno.” Michael Rose examina, em seu livro a vida de Darwin e a influência que seu trabalho teve na existência da humanidade.

Rebecca Steffoff (2007) narra, em seu livro, toda a controvérsia causada pelas teorias de Darwin, desde suas publicações até a atualidade. Mesmo sendo parte essencial da ciência e do conhecimento em geral, a autora relata que, como Darwin previra, *A Origem das Espécies* deflagrou um acalorado debate tanto entre os cientistas como entre o público em geral.

Janet Browne (2011) relata em dois volumes a história dos acontecimentos que levaram Charles Darwin a elaborar sua teoria. O volume um, *Viajando*, mostra a vida de Charles Darwin, sua preparação científica e as viagens ao redor do mundo. Segundo Browne (2011, p. 37), “Darwin sentia que era o único que realmente entendia sua teoria ou conseguia ver que ela poderia funcionar como explicação biológica”. O volume dois, *O poder do lugar*, revela a fase mais criativa do autor, seus estudos e resultados, ainda revela a vida em família com seus filhos e a esposa Emma, até os últimos dias de vida do naturalista.

Richard Keynes (2004), pesquisador e bisneto de Darwin, conta em seu livro detalhes da viagem de Charles Darwin, suas anotações e “descobertas”. Dentre outros fatos, Keynes relata que um dos temas favoritos de Charles Darwin, por onde quer que fosse, era a distribuição dos besouros coprófagos que desempenhavam um papel biológico muito importante em países onde havia grande quantidade de herbívoros.

Steve Jones (2009) esclarece detalhes sobre a vida do cientista e descreve outro lado de Darwin ao lançar luz sobre seus trabalhos mais obscuros. Definindo assim, a Grã-Bretanha como o lugar onde de fato Darwin construiu sua fama com seus anos de trabalhos sobre as plantas, animais e pessoas que habitam sua terra natal. Logo após a publicação de seu livro, *A Origem das Espécies*, Darwin se dedicou a um estilo de vida de botânico que, conforme logo descobriu, leva a uma grande diversidade de espécies não relacionadas a um conjunto de hábitos compartilhados.

Charles Darwin (2010) relata, em forma de diário, a jornada de cinco anos de Darwin a bordo do Beagle. O volume um traz os diários de bordo mantidos pelo naturalista, pela África, Brasil e Terra do Fogo. Neste volume Darwin faz breves anotações acerca da história natural e geologia. Descreve ainda, as espécies que encontrou e algumas observações dos seus costumes no meio em que vivem.

Adrian Desmond e James Moore (2000) retratam Darwin como um produto de seu tempo. Desenhando a imagem de um homem em conflito em uma sociedade em mudança. Nesta biografia, os autores tentam conhecer a personalidade de Darwin, suas habilidades para negócios financeiros, sua vida doméstica e sua ciência.

É importante ressaltar que a teoria da evolução dos seres vivos não deve ser creditada só a Charles Darwin. Depois de sua viagem a bordo do Beagle, suas conclusões não foram logo publicadas, Darwin continuou trabalhando em sua teoria por vinte anos (LINHARES e GEWANDSNAJDER, 2014).

Ciente disso, Ricardo Ferreira (2012), descreve um importante fato que por muitos anos ficou fora dos livros sobre evolução. Charles Darwin, ao pesquisar e elaborar a teoria da evolução, não estava sozinho, Henry Walter Bates e Alfred Russel Wallace, com suas pesquisas sobre a evolução dos seres vivos, seguiam na mesma direção.

Em 1858, Darwin recebeu um pequeno manuscrito do cientista inglês Alfred Russel Wallace (1823-1913), intitulado *A tendência das variedades se afastarem indefinidamente do tipo original*. Para surpresa de Darwin, Wallace havia chegado às suas mesmas conclusões. Sabe-se que Wallace realizou suas pesquisas na Amazônia, quando juntamente com Henry Walter Bates (1825-1892) estudavam as borboletas, e demonstraram o papel da seleção natural no fenômeno do mimetismo (FERREIRA, 2012).

Os naturalistas resolveram então publicar suas pesquisas. Ainda em 1858, a instituição científica *Linnean Society of London*, publicou em conjunto um resumo do trabalho de Darwin e o ensaio de Wallace. Muitos cientistas falam em teoria de Darwin-Wallace. Outros destacam o mérito de Darwin por ter apresentado uma imensa variedade de evidências em favor de sua teoria em seu livro, publicado em 1859, *On the origin of species by means of natural selection* (mais conhecido como *A origem das espécies*). No entanto, sabe-se que os naturalistas Bates, Darwin e Wallace se dedicaram às pesquisas que levaram à formulação da teoria da evolução dos seres vivos (FERREIRA, 2012).

Atualmente sabe-se que a teoria aceita para explicar a evolução é a teoria sintética da evolução, também chamada de Neodarwinismo, que trabalham uma síntese entre o darwinismo e o trabalho de Mendel a respeito das mutações nos genes. O cientista contemporâneo mais influente da evolução é Richard Dawkins, crítico do criacionismo e ateu, Dawkins, em seus livros procura defender e corroborar teoria evolução por seleção natural e Charles Darwin (DAWKINS, 2001).

Richard Dawkins (1998) oferece vários argumentos a respeito do processo evolutivo das diversas espécies animais. O autor destaca a evolução gradual dos mais diversos tipos de olhos, existentes nos seres vivos. Revela ainda, que até mesmo Darwin fez concessões teóricas a respeito da evolução de estruturas tão complexas quanto os olhos, e mesmo depois de suas concessões, segundo Dawkins (1998, p. 218), Darwin conclui que há “a dificuldade de crer que um olho tão complexo e perfeito possa ter evoluído através da seleção natural, apesar de insuperável por nossa imaginação, não pode ser considerada real”.

Richard Dawkins (2000) apresenta a ciência como um meio para apreciarmos a natureza. O princípio central deste livro é que a ciência, na sua melhor expressão, deve abrir espaço para poesia.



No sentido de mostrar para as pessoas a natureza da ciência e a beleza que ela pode trazer para suas vidas.

Dawkins (2001) procura desfazer a ilusão do leitor em relação ao criacionismo, mostrando que o darwinismo não é uma teoria do acaso, uma vez que não procura explicar o surgimento dos seres vivos pelo acúmulo de casualidades. Segundo Dawkins (2001, p. 42):

A seleção natural é o relojoeiro cego, cego porque não prevê, não planeja as consequências não tem um propósito em vista. Mas os resultados vivos da seleção natural nos deixam pasmos porque parecem ter sido estruturados por um relojoeiro magistral dando uma ilusão de desígnio e planejamento.

Em 2007, Richard Dawkins, mais uma vez, defende o evolucionismo e usa muitos argumentos para questionar a presença de um design inteligente e a própria existência de Deus. O próprio autor salienta que (2007, p.29): “se esse livro funcionar do modo como pretendo, os leitores religiosos que o abrirem serão ateus quando terminarem”.

Richard Dawkins (2007) mostra os seres vivos como máquinas de sobrevivência construídas pelos genes num processo competitivo que busca construir sempre uma máquina mais eficaz. O autor relata que nós somos máquinas de sobrevivência e os diferentes tipos de máquinas de sobrevivência apresentam grande variação na sua aparência exterior e também nos seus órgãos internos.

Em 2009, Richard Dawkins traça toda trajetória dos nossos ancestrais, descrevendo uma vasta diversidade biológica dos seres vivos que habitam este planeta. São 39 encontros desde o *Homo sapiens* arcaico até as bactérias, passando pelos gibões, tásios, marsupiais, répteis, anfíbios, peixes, protozoários, plantas e fungos. Neste livro, o autor descreve as características gerais dos seres vivos de cada grupo e suas peculiaridades.

Richard Dawkins (2009) preocupou-se em apresentar aos que negam a evolução por seleção natural uma argumentação científica clara e, ao menos para ele, incontestável, de acordo com o autor (2009, p. 18) “a evolução é um fato. Além de qualquer dúvida razoável, além de qualquer dúvida séria, além da dúvida vã, bem informada, inteligente, além de qualquer dúvida, a evolução é um fato”.

Em 2008, F. Harvey Pough, Cristine M. Janis e John B. Heiser abordam diferentes aspectos sobre as mais diversas espécies de vertebrados, entre eles, morfologia, fisiologia, ecologia, filogenética e conservação das espécies viventes, todos eles relacionados entre si. Descrevem ainda,

todo processo evolutivo dos vertebrados e os principais eventos geológicos, climáticos e biológicos que ocorreram ao longo dos milhares de anos.

Todos esses livros supracitados servem de apoio, pesquisa e base teórica para que se possa apropriar-se do tema e compreender cada vez mais a teoria da evolução por seleção natural de forma a subsidiar os argumentos para abordar o assunto na construção dos materiais instrucionais. Visto que a evolução das espécies é um assunto que ainda gera polêmica e debates na ciência e na sala de aula.

(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 da evolução. O referido texto: *Visão: um sentido físico-biológico* encontra-se no Apêndice I, 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 Unidade de Ensino potencialmente Significativa foi construída para orientar os professores em atividades referentes ao tema. A UEPS é apresentada em detalhes na próxima seção e sua integralidade está em Apêndice II. 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, para rede social *Instagram* na página do *@ifscience*, sendo a mesma, um projeto de pesquisa do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, que tem por objetivo desenvolver atividades de divulgação científica no âmbito da formação inicial e continuada de docentes. Nesta *live* foi divulgada a pesquisa e abordados os conceitos de óptica, evolução dos olhos humanos e os diversos tipos de olhos presentes nos seres vivos. A referida *live* (Figura 1.1 e 1.2) está disponível no seguinte endereço eletrônico: <https://www.instagram.com/tv/CCcF3zNHEmK/?igshid=qdo2vvbk2vop>.



Figura 1.1. Divulgação da *live*. Fonte: *Instagram @ifscience*.



Figura 1.2. Print da *live*. Fonte: *Instagram @ifscience*.

O vídeo produzido foi compartilhado no canal Cá Bióloga, na plataforma *YouTube* (Figura 2). Neste vídeo é descrito o passo a passo das evidências evolutivas que levaram a formação dos olhos. O referido vídeo encontra-se disponível no seguinte endereço eletrônico <<https://www.youtube.com/watch?v=wYHJc7C-zwA>>.

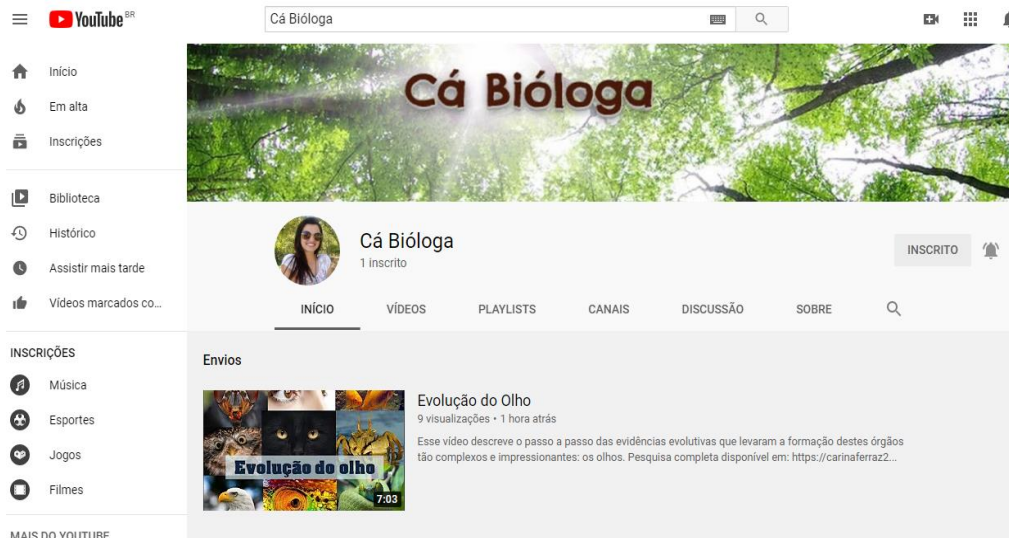


Figura 2. Print do canal Cá Bióloga no *YouTube* com o vídeo postado. Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=wYHJc7C-zwA>

(vi) A construção e exploração de uma página 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. O referido site (Figura 3) encontra-se no seguinte endereço eletrônico: <https://carinaferraz23.wixsite.com/olhos>.



Figura 3. Print do site. Fonte: [carinaferraz23.wixsite.com/olhos](https://carinaferraz23.wixsite.com/olhos).

(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.

### **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 *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas* (UEPS). Propostas por Marco Antonio Moreira, as UEPS são sequências de ensino fundamentadas, principalmente, na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (BRUNELLI, DAMASIO e RAICIK, 2017). São voltadas para a aprendizagem significativa e não-mecânica, podendo ser utilizadas em sala de aula com a intenção de facilitar a aprendizagem significativa do aluno (MOREIRA, 2011).

Salienta-se que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre os conhecimentos que o aluno já possui sobre determinado assunto e os novos conhecimentos que ele irá adquirir, essa interação deve ser não-literal e não-arbitrária. Nesse processo os novos conhecimentos adquiridos passam a ter significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ficando mais estáveis, mais claros, com maior estabilidade cognitiva (MOREIRA, 2010).

Sendo assim, a UEPS aqui apresentada foi desenvolvida a partir de alguns aspectos sequenciais, descritos abaixo. Com o auxílio de slides, vídeos e textos a serem discutidos para que a aprendizagem do aluno se construa forma significativa. Ressalta-se que a presente proposta é voltada para utilização com alunos 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 no sítio *Olhos: sentido da visão e evolução*.

#### *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, identificado 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, proposta por Charles Darwin e aceita pela comunidade científica, mas que ainda gera dúvidas entre os leigos, a evolução do olho e os diversos tipos de olhos existentes nos seres vivos, aliando este estudo aos conceitos de óptica da visão.

## *2 Criação de situações iniciais para os alunos externarem seus conhecimentos prévios*

Iniciando o conteúdo é necessário desenvolver estratégias que permitam aos alunos externalizar seus conhecimentos prévios sobre o assunto. Para isso a UEPS (Apêndice II) sugere, em um primeiro momento, que os alunos confeccionem desenhos de diferentes seres vivos que eles conhecem. Em seguida sugere-se a construção de um quadro com os estudantes 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.

## *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. Na hora de elaborar as questões algumas características devem ser levadas em consideração: os alunos devem entender o tópico em pauta como problemas possíveis de modelar mentalmente com os conhecimentos prévios elaborados anteriormente. 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. As situações-problema iniciais são: (i) Como você acha que esses organismos 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 consegue ver o mundo a sua volta? (iv) Como funciona o mecanismo da visão nos seres vivos? (v) O que nos torna capazes de enxergar os objetos? Ressalta-se que não se espera que os alunos respondam essas situações-problema, neste momento.

## *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: diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, consolidação e organização sequencial. Nesta proposta de UEPS optou-se por uma apresentação de slides baseada no texto paradidático (Apêndice 1), abordando de forma interdisciplinar entre Física e Biologia as seguintes questões: (i) Qual a função dos olhos dos animais? (ii) Qual a importância da luz no funcionamento da visão? (iii) Quais as partes da anatomia dos olhos do ser humano? (iv) Quais as contribuições do estudo da óptica geométrica para a compreensão do sentido da visão? Espera-se que no final eles tenham evoluído conceitualmente a respeito do conteúdo.

### *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 a apresentação do documentário *Evolução: olhos, do History Channel*<sup>4</sup>. 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 (Apêndice 1), abordando alguns aspectos como: (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? Essa abordagem irá colaborar para a compreensão da teoria da evolução dos seres vivos por seleção natural.

### *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 sobre *Evolução dos Olhos*, do canal *Cá Bióloga*<sup>5</sup>, no *YouTube*, o referido vídeo descreve o passo a passo das evidências evolutivas que levaram a formação dos olhos. Em seguida, propõem-se, por meio da utilização da plataforma educacional *Kahoot*<sup>6</sup> (ferramenta *on-line* que pode ser utilizada em sala de aula para criação de questionários, pesquisas e *quizzes* baseados em jogos com perguntas de múltipla escolha que permite aos

---

<sup>4</sup> Sugestão 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.

<sup>5</sup> Sugestão de vídeo: CÁ BIÓLOGA. *Evolução dos olhos*. 2020 (7min 3s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=wYHJc7C-zwA&t=43s>>. Acesso em: 12/10/2020.

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

professores e alunos investigar, criar, colaborar e compartilhar conhecimento), que se retomem alguns aspectos gerais das 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.

### *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.

### *8 Avaliação da UEPS*

A aprendizagem significativa é progressiva, 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 os mesmos avaliem as estratégias de ensino empregadas e sua própria aprendizagem.

## **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 o avanço digital e tecnológico, 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 que 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.

A presente 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. Sendo os mesmos: elaboração de um texto de paradidático propondo um ensino concomitante dos conceitos de fisiologia da visão, óptica e evolução do olho humano; propor uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que possibilite a relação de maneira satisfatória entre as disciplinas de Física e Biologia que contribua positivamente para a construção do conhecimento dos alunos; divulgação do trabalho nas redes sociais *YouTube* e *Instagram*; e construção e exploração de uma página na rede mundial de computadores para divulgar o trabalho proposto no projeto e o material didático potencialmente significativo.

Como **perspectiva futura** para a pesquisa pretende-se implementá-la e avaliá-la. O objetivo é levar a ideia para as escolas sugerindo que o material instrucional possa ser analisado, modificado e reconstruído coletivamente por professores das áreas de Física e Biologia visando à interdisciplinaridade de acordo com a diversidade e características dos educandos, da unidade escolar e da comunidade em que estão inseridos.

## 7 Referências

AZEVEDO, M. A. R.; ANDRADE, M. de F. R. **O conhecimento em sala de aula: a organização do ensino numa perspectiva interdisciplinar.** Educar, Curitiba, n.30, p. 235-250, 2007.

BATISTA, I. de L.; Salvi, R. F. **Perspectiva pós-moderna e interdisciplinaridade educativa: Pensamento Complexo, Reconciliação Integrativa e Aprendizagem Significativa.** Aprendizagem Significativa em Revista, v.1(3). 73-84, 2011.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#medio>>. Acesso em: 04/09/2020.

BROWNE, Janet. **Charles Darwin: O poder do lugar.** Janet Browne; tradução Otacílio Nunes. São Paulo: Aracati / Editora Unesc, 2011.

BROWNE, Janet. **Charles Darwin: viajando.** Janet Browne; tradução Gerson Yamagami. São Paulo: Aracati / Editora Unesc, 2011.

BRUNELLI, S. C. H.; DAMASIO, F.; RAICIK, A. C. **A física premiada: Márcia Barbosa, a água e a sala de aula.** Física na Escola. v. 15, n. 2, p. 40-46, 2017.



CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. **Resolução CNE/CEB n. 3 de 21 de novembro de 2018.** Atualiza as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <<http://novoensinomedio.mec.gov.br/resources/downloads/pdf/dcnem.pdf>>. Acesso em: 04/09/2020.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. **A Coerência e a Complementaridade entre a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica e a Epistemologia de Paul Feyerabend.** Investigações em Ensino de Ciências, v.20(3), 61-83, 2015.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. **O pior inimigo da ciência: procurando esclarecer questões polêmicas da epistemologia de Paul Feyerabend na formação de professores.** Investigações em Ensino de Ciências, v.20(1), 97-126, 2015.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. **A formação de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica: uma proposta por meios de episódios históricos de ciência.** Ens. Ci., Campo Grande, v.1, n.1, p. 14-34, 2016.

DARWIN, Charles. **A origem das espécies por meio da seleção natural.** Charles Darwin; tradução André Campos Mesquita. São Paulo: Escala, 2009.

DARWIN, Charles. **Charles Darwin: viagem de um naturalista ao redor do mundo. volume 1. África, Brasil e Terra do Fogo.** Charles Darwin; tradução de Pedro Gonzaga. – Porto Alegre: L&PM, 2010.

DAWKINS, Richard. **A escalada do monte improvável: uma defesa da teoria da evolução.** Richard Dawkins; tradução Suzana Sturlini Couto. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

DAWKINS, Richard. **A grande história da evolução, na trilha dos nossos ancestrais.** Richard Dawkins com a colaboração de Yan Wong; tradução Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.

DAWKINS, Richard. **Desvendando o arco-íris: ciência, ilusão e encantamento.** Richard Dawkins; tradução Rosaura Eichenberg. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

DAWKINS, Richard. **Deus, um delírio.** Richard Dawkins; tradução Fernanda Ravagnani. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

DAWKINS, Richard. **O gene egoísta.** Richard Dawkins; tradução Rejane Rubino. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

DAWKINS, Richard. **O maior espetáculo da Terra: as evidências da evolução.** Richard Dawkins; tradução Laura Teixeira Mota. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.

DAWKINS, Richard. **O relojoeiro cego: a teoria da evolução contra o desígnio divino.** Richard Dawkins; tradução Laura Teixeira Mota. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

DESMOND, Adrian; MOORE, James. **Darwin: A vida de um evolucionista atormentado.** Adrian Desmond & James Moore; tradução Cynthia Azevedo. 3. ed. São Paulo: Geração Editorial, 2000.

DOZENA, A. **Uma breve análise sobre a postura dos alunos em sala de aula: pontos de vista sobre a indisciplina.** Geografia, v. 17, n. 2, p. 111-121, 2008.

DRIGO FILHO, E. **A física no contexto da biologia molecular.** Revista brasileira do ensino de física, v.35, n.1, 2013.

EUZÉBIO, G. J.; SOUZA, M. R.; LIMA, J. B.; MORALES, L.; MACEDO, E. R.; DAMASIO, F. **A física no ensino fundamental tendo a astronomia como organizador prévio.** 4º Encontro Nacional de Aprendizagem significativa, p. 285-290. Garanhuns, PE, Brasil. 23-28 de maio de 2012.

FAZENDA, I. (org). **O que é interdisciplinaridade?** São Paulo: Cortez, 2008.

FERREIRA, Ricardo. **Bates, Darwin, Wallace e a teoria da evolução.** 2. ed. Recife: Cepe, 2012.

FRANÇA, D. M.; SOUZA, R. A. **Aprendizagem Significativa.** Disponível em: <[http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/1575/Aprendizagem\\_Significativa\\_MULTIMEDIOS%20DIDATICOS%20-%20CEPA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/1575/Aprendizagem_Significativa_MULTIMEDIOS%20DIDATICOS%20-%20CEPA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 20/06/2020.

HELENE, O.; HELENE, A. F. **Alguns aspectos da óptica do olho humano.** Revista Brasileira do Ensino de Física, v.33, n.3, 2011.

JONES, Steve. **A ilha de Darwin: Galápagos em um jardim na Inglaterra.** Steve Jones; tradução Janaína Castilho. Rio de Janeiro: Record, 2009.

KEYNES, Richard. **Aventuras e descobertas de Darwin a bordo do Beagle, 1832-1836.** Richard Keynes; tradução Sergio Goes de Paula. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2004.

LINHARES, S.; GEWANDSNAJDER, F. **Biologia hoje - 3.** 2. ed. São Paulo: Ática, 2014.

MALDANER, O. A.; COSTA-BEBER, L. B.; MACHADO, A. R. **Desenvolvimento e aprendizagem de conceitos biofísicoquímicos em uma situação de estudo: mapa conceitual e metaconceitual como instrumentos de investigação.** Alexandria, v. 5, n. 1, p. 85-111, 2012.

SODRÉ, F. C. R.; MATOS, C. R. **Complexificando o conhecimento cotidiano: incluindo a física na problematização da alimentação.** Alexandria. v. 6, n.2, p. 53-79, 2013.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO ESPORTO. **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio.** Brasília: MEC/SEF, 2000.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica.** Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/visaoclasicavisaocritica.pdf>>. Acesso em: 08/09/2020.

MOREIRA, M. A.; ROSA, P. **Mapas Conceituais.** Caderno Catarinense de Ensino de Física. v.3, n.1, p. 17-25, 1986.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Porto Alegre, 2010. Instituto de física – UFRGS.

MOREIRA, M. A. **Organizadores prévios e aprendizagem significativa.** *Revista Chilena de Educacion Científica.* v.7, n.2, p. 23-30, 2008.

MOREIRA, M. A. **Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal.** *Revista Chilena de Educacion Científica.* v.3, n.1, p.10-17, 2004.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS.** *Aprendizagem Significativa em Revista.* v.1, n.2, p.43-63, 2011.

MOZENA, E. R.; OSTERMANN, F. **Uma revisão bibliográfica sobre a interdisciplinaridade no ensino das ciências da natureza.** *Ensaio pesquisa em educação em ciências,* v.16, n.2, p. 185-206, 2014.

NUNES, F. A. **Indisciplina e dispersão na sala de aula: um desafio ao educador contemporâneo.** *Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia.* v. 11, n. 34, p. 77-85, 2017.

PENNA, A. L. A.; OLIVEIRA, F. A. **Leis de escala e a dinâmica do crescimento em estruturas biológicas.** *Revista Brasileira do Ensino de Física,* v.30, n. 3, 2008.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados.** 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

PURIFICAÇÃO, M. M.; CATARINO, E. M.; CARNEIRO, E. N. (org). **A educação no âmbito político e de suas tramas 5.** Disponível em: <<https://www.finersistemas.com/atenaeditora/index.php/admin/api/artigoPDF/33515>>. Acesso em: 04/09/2020.

RODRIGUES, E. P. **Os efeitos da transdisciplinaridade na educação: diálogos entre literatura e matemática.** Disponível em: <[http://www.anpedsul2016.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/11/eixo14\\_EDUARDO-PETERS-RODRIGUES.pdf](http://www.anpedsul2016.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/11/eixo14_EDUARDO-PETERS-RODRIGUES.pdf)>. Acesso em: 25/01/2021.

RODRIGUES, F. G. F.; BRIZOLA, A. **Radiação de baixa frequência e possível influência nociva aos sistemas biológicos.** *Revista Brasileira do Ensino de Física,* v.4, n.3, 2019.

ROSA, R. S.; SHUHMACHER, E.; ROSA, M. J. **O dia depois de amanhã: um filme pode servir de organizador prévio para o estudo da teoria do caos.** *Aprendizagem significativa em revista.* v. 6 (2), p. 49-57, 2016.

ROSE, Michael. **O espectro de Darwin: A teoria da evolução e suas implicações no mundo moderno.** Michael R. Rose; tradução Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed.. 2000.

SANTOS, C. A.; VALEIRAS, N. **Currículo interdisciplinar para licenciatura em ciências da natureza.** *Revista brasileira do ensino de física.* v. 36, n. 2, 2014.

SOUZA, C. F.; DAMASIO, F.; SANTOS, I. M. **A física de foguete, a mulher negra e o ensino de física por meio da vida e obra de Katherine Johnson, protagonista do filme “Estrelas além do tempo”.** Trabalho de conclusão do curso de especialização em educação científica e tecnológica. Instituto Federal de Santa Catarina. Campus Araranguá, 2019.

STEFFOFF, Rebecca. **Charles Darwin: a revolução da evolução**. Rebecca Steffoff; tradução Laura Teixeira Mota. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

TEIXEIRA, A. S.; XAVIER, K. S.; DAMASIO, F. **O ensino de e sobre ciência por meio da série de ficção científica jornada nas estrelas**. Experiências em Ensino de Ciências, v.12, n.5, 2017.

THIESEN, J. da S. **A interdisciplinaridade como um movimento articulador no processo ensino-aprendizagem**. Revista Brasileira de Educação, v.13, n.39, 2008.

TRIERVEILER, G.; FLEMING, J. **Experimento para modelar a acomodação do olho humano**. Revista Brasileira do Ensino de Física, v.41, n.2, 2019.

VILLANI, A.; FRANZONI, M.; VALADARES, J. M.; **Desenvolvimento de licenciandos numa disciplina de prática de ensino de física e biologia**. Investigação em ensino de ciências, v.13, n.2, p. 143-168, 2008.

## APÊNDICE I - Visão: um sentido físico-biológico

### Introdução

A visão é um sentido complexo que possibilita os seres vivos perceber 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. Por meio da visão os seres vivos interagem com o ambiente ao seu redor (NEVES, LOPES e MOZELLI, 2015).

Por sua complexidade, para a compreensão do sentido da visão se faz necessária uma abordagem multidisciplinar, a partir da interação de profissionais da Neurociência, Psicofísica, Bioquímica, Física e Biologia. Neste trabalho foi feita uma abordagem dos conhecimentos importantes na interface Física e Biológica para que os seres vivos possam perceber o ambiente. Em Biologia serão vistos os conhecimentos sobre a fisiologia da visão e evolução dos sistemas visuais, e os fenômenos de formação da imagem, sentidos da visão e anatomia comparada. 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 (LORETO e SARTORI, 2008).

Nesse viés, de forma a contribuir com a compreensão do sentido supracitado esse texto paradidático visa subsidiar o estudo da visão numa perspectiva interdisciplinar entre as disciplinas de Física e Biologia. Inicialmente irá se descrever o olho humano com todas as suas estruturas e respectivas funções. A seguir será apresentado os principais conceitos da óptica geométrica, que faz um estudo da propagação dos raios de luz e suas propriedades, extremamente importante para a compreensão da visão humana (CARNEVALLE, 2012).

Posteriormente irá se apresentar como ocorre o sentido da visão e o modo que os conceitos de Física e Biologia contribuem na compreensão do funcionamento desses órgãos tão complexos, os olhos. Em continuidade, será caracterizado o sentido da visão em diferentes grupos animais, sendo este, uma adaptação ao seu modo de vida (POUGH, JANIS e HEISER, 2008).

Logo após, visando contribuir com o estudo do evolucionismo, e com o intuito de trazer um estudo diferente dos apresentados nos livros didáticos atualmente, será abordado o olho como objeto de estudo da evolução. Descrevendo em seguida o passo a passo da evolução dos olhos humanos, sendo possível tal estudo ao se analisar os diferentes seres vivos que existem nos dias de hoje, desde os mais simples até os mais complexos (DAWKINS, 1998).

## Estrutura do olho humano

Os olhos (Figura 1.1) 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 poderoso sensor. Atuando em conjunto com músculos, que lhes possibilitam movimentos, e com nervos, que levam as informações ao sistema nervoso. Desvendando assim, as formas, as cores e os movimentos do mundo exterior (RAMOS, 2006).

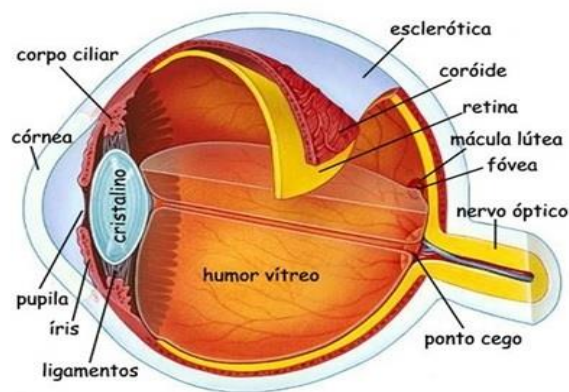


Figura 1.1. Representação do olho humano. Fonte: BERNARDES, 2020.

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) (NEVES, LOPES e MOZELLI, 2015):

A **túnica fibrosa externa** é a esclera, parte branca do olho, é composta por fibras colágenas e resistentes. Possui a função de manter a estrutura do olho, dar suporte, sustentação ao olho e proteção a traumas e infecções. A parte anterior da esclera, a córnea, é transparente e atua como uma lente convergente (NEVES, LOPES e MOZELLI, 2015).

A **túnica intermediária vascular pigmentada** é denominada de úvea. Compreende a íris, a coróide 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 (RAMOS, 2006).

A coróide está situada abaixo da esclerótica e é intensamente pigmentada. Esses pigmentos auxiliam na absorção da luz que chega à retina evitando sua reflexão. É muito vascularizada e possui a função de nutrir a retina. O corpo ciliar une-se a coróide na parte anterior do olho. Possui

como principais funções a acomodação e produção do humor aquoso e produção de colágeno do humor vítreo (CHACALTANA, 2011).

A **túnica interna nervosa** é a retina. Está localizada abaixo da coróide. É formada por neurônios e células da glia. Nela estão presentes dois tipos de fotorreceptores, também chamados de células fotossensíveis: os cones e bastonetes (Figura 1.2). Esses fotorreceptores são responsáveis por transformar a luz em impulsos elétricos, que se propaga pelo nervo óptico e chega ao cérebro, permitindo que o mesmo interprete os estímulos ambientais (RAMOS, 2006).

Os cones são especializados em visão em cores de alta precisão, em luminosidade intensa. A imagem fornecida pelos cones apresenta maior nitidez e riqueza de detalhes. Nos seres humanos a visão das cores é possível graças ao resultado da ação dos três tipos de cones existentes, detectando o azul, vermelho e verde. Algumas espécies de répteis, peixes e aves foram beneficiadas evolutivamente com um tipo de cone a mais, possibilitando uma visão ultravioleta (LORETO e SARTORI, 2008).

Os bastonetes não possuem poder de resolução tão bom, são células de pouca precisão, no entanto são mais sensíveis a luz que os cones. Sob luminosidades baixas, a visão depende exclusivamente dos bastonetes. É a chamada visão noturna ou visão de penumbra (DAWKINS, 1998).

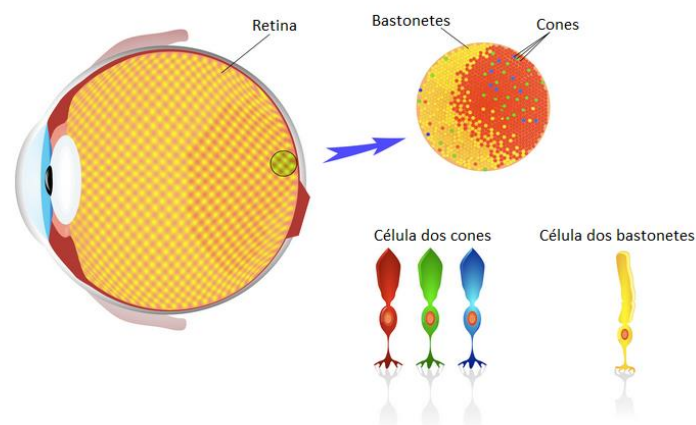


Figura 1.2. Células fotossensíveis na retina: cones e bastonetes. Fonte: BOTELHO, 2014.

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 mantendo 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 mantendo o globo ocular esférico e dificultando o deslocamento da retina (NEVES, LOPES e MOZELLI, 2015).

Ao globo ocular associam-se também estruturas anexas que lhe conferem proteção: as **pálpebras** protegem os olhos e espalham as lágrimas, os **cílios** impedem a entrada de poeira e excesso de luz, os **supercílios** impedem que o suor da testa entre nos olhos, e o **aparelho lacrimal** que produz lágrimas continuamente para lavar e lubrificar os olhos impedindo que os mesmos sequem e atacando bactérias por meio de substâncias específicas (NEVES, LOPES e MOZELLI, 2015).

## **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 substituísse o Sol quando ele se punha no horizonte. Nos dias de hoje é quase impossível pensar em viver sem iluminação artificial (PIETROCOLA, *et al.*, 2016).

Entender como enxergamos o Sol, as estrelas e velas acesas, por exemplo, é fácil, já que possuem luz própria. No entanto, a questão era 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 (PEDUZZI, 2015).

Para o grego Leucipo de Mileto (480-420 a.C), a visão ocorria devido a partículas que os objetos emitiam aos nossos olhos. Já para o grego Empédocles (490-430 a.C), a visão era resultado da emissão de feixes visuais pelos olhos que interagem com os objetos para coletar informações e possibilitava a percepção das imagens do mundo ao seu redor (PIETROCOLA, *et al.*, 2016).

Estes foram os primeiros passos para tentar entender o funcionamento da visão. Hoje se sabe 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 nos possibilitando enxergá-los (Figura 2.1) (CERQUEIRA, 2012).



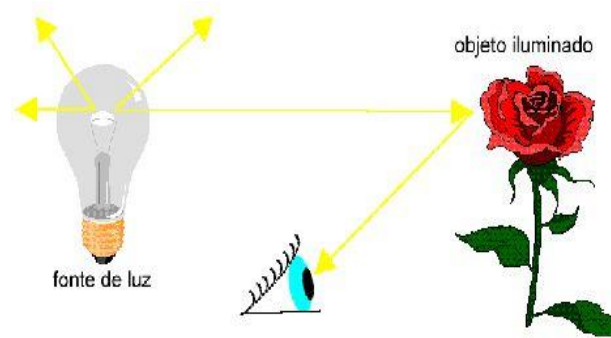


Figura 2.1. Representação do objeto iluminado refletido aos olhos. Fonte: CHAGAS, 2012.

A parte da física responsável pelo estudo da luz e dos fenômenos associados a ela é a óptica. Os estudos de óptica se dividem 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 (PIETROCOLA, *et al.*, 2016).

A óptica geométrica possui como base três princípios fundamentais: (i) *propagação retilínea dos raios luminosos*: a luz se propaga em linha reta nos meios transparentes e homogêneos; (ii) *independência dos raios luminosos*: a propagação de um raio de luz não interfere na propagação de outro e; (iii) *reversibilidade dos raios luminosos*: os caminhos de ida e volta de um raio são idênticos (CARNEVALLE, 2012).

Para corroborar os supracitados princípios tem-se a câmara escura de orifício, que pode ser desde uma caixa até uma sala, com as superfícies internas pretas totalmente fechadas e apenas um pequeno orifício feito em uma das paredes por onde entra a luz. Cada ponto do objeto iluminado reflete a luz em diferentes direções. Alguns desses raios refletidos atingem o orifício da câmara escura projetando na parede uma imagem invertida (Figura 2.2). Tal projeção ocorre também com as máquinas fotográficas atuais e com os olhos dos seres humanos, as imagens obtidas estão de cabeça para baixo e com o lado direito e esquerdo invertidos. Essa câmara escura já era utilizada na Grécia Antiga por artistas para reproduzir paisagens de locais diversos (PIETROCOLA, *et al.*, 2016).

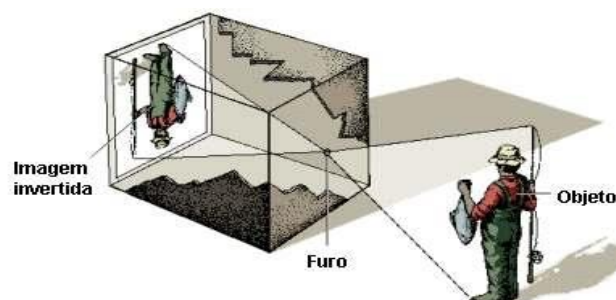


Figura 2.2: representação do funcionamento de uma câmara escura de orifício. Fonte: Fotografia.

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 a uma superfície retornam ao meio de onde vieram. Se os raios retornarem sem grandes desvios, ocorrerá reflexão regular (Figura 2.3), como ocorre em um espelho plano. A reflexão regular é responsável pela formação de imagens refletidas. Se o corpo no qual incidiu for rugoso, ocorrerá uma reflexão difusa (Figura 2.4). A reflexão difusa é responsável pela visualização dos objetos (CARNEVALLE, 2012).

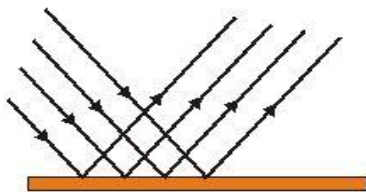


Figura 2.3. Representação esquemática da reflexão luminosa regular. Fonte: *Alfaconnection*.

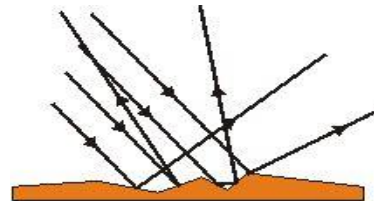


Figura 2.4. Representação esquemática da reflexão luminosa difusa. Fonte: *Alfaconnection*.

A cor que um corpo apresenta depende da luz nele 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 (GEWANDSZNAJDER, 2013).

Ao se propagar a luz pode atravessar 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. Alguns tipos de vidros e outros materiais translúcidos permitem a passagem de parte da luz de tal forma os corpos são vistos sem nitidez através deles (CARNEVALLE, 2012).

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 se curvam (Figura 2.5) (POUGH, JANIS e HEISER, 2008).

O grau do desvio do raio de luz é proporcional a 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 se curvam assim que o atravessam. A água tem por índice de refração 1,33 e o desvio da luz quando atravessa o limite ar/água dão a impressão que os objetos que estão abaixo da água se encontram 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 (Figura 2.6) (POUGH, JANIS e HEISER, 2008).

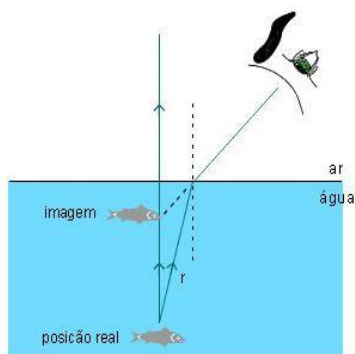


Figura 2.5. Representação esquemática da refração da luz. Fonte: Cultura livre.



Figura 2.6. Devido à refração, um lápis parece quebrado quando mergulhado na água. Fonte: Ciências resumos.

Uma das principais aplicações do fenômeno de refração é a construção de lentes. As lentes são sistemas ópticos feitos de vidro e materiais sintéticos. 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 (Figura 2.7), os raios incidentes se afastam uns dos outros após atravessarem, como por exemplo, a lente do olho mágico, instalado em portas (GEWANDSZNAJDER, 2013).

As lentes possuem duas faces, uma delas é curva e a outra pode ser curva ou plana. As superfícies curvas são geralmente esféricas. As lentes convergentes possuem geralmente as extremidades mais finas que a parte central, as lentes divergentes têm as extremidades mais espessas que a parte central (Figura 2.8) (CARNEVALLE, 2012).

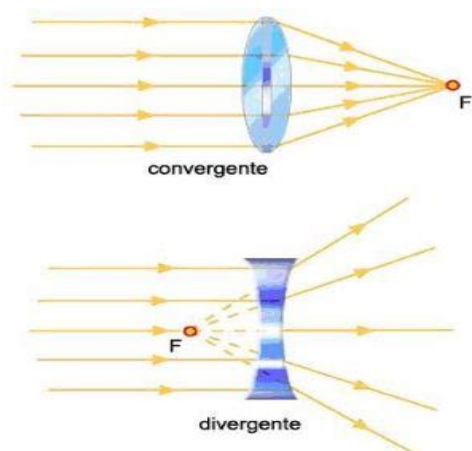


Figura 2.7. Representação esquemática: lente convergente que concentra o raio de luz e lente divergente que espalha o raio de luz. Fonte: Evolução, 2020.

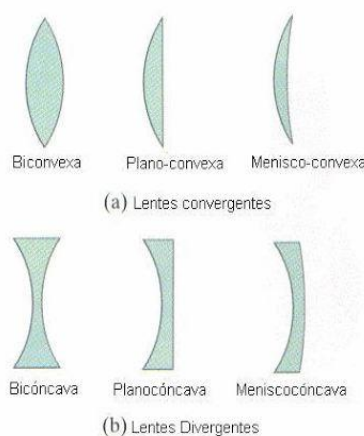


Figura 2.8. Representação esquemática de lentes convergentes (a) e lentes divergentes (b). Fonte: HERNÁNDES, 2020.

## 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, imersas em um líquido transparente com índice de refração 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 (PASSOS, ANDRADE-NETO e LAMAIRE, 2008).

A luz emitida ou refletida por um corpo chega até os olhos, 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 se encontra preso aos músculos ciliares, que controlam sua curvatura, variando a distância focal (SABÁ e EPIPHANIO, 2001).

Depois de atravessar a córnea, entrar pela pupila e atravessar a lente, a luz converge para o interior do olho, que funciona como uma câmara escura de orifício. A imagem chega invertida, na sua porção interna posterior onde existe o revestimento fotossensível, a retina (Figura 3.1). A sensibilização da retina ocorre quimicamente. A luz convertida em impulsos elétricos envia informações codificadas através do nervo óptico, ao sistema nervoso central (Figura 3.2), dando ao indivíduo a sensação da visão (SABÁ e EPIPHANIO, 2001).

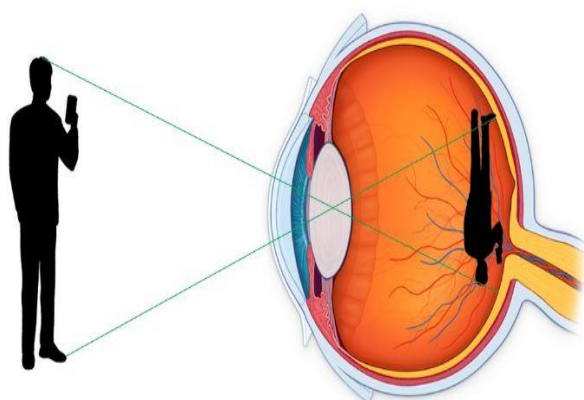


Figura 3.1. Representação esquemática da imagem formada na retina.  
Fonte: FROTA, 2018.

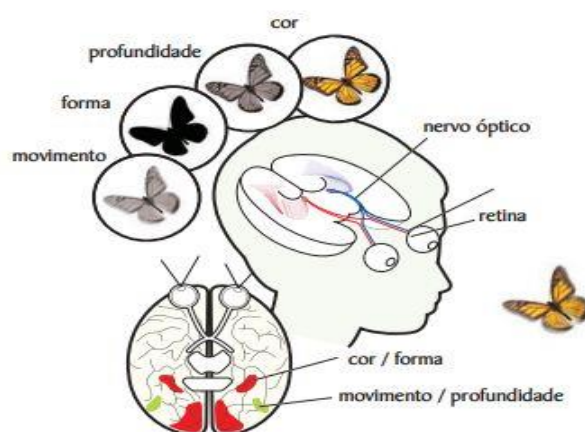


Figura 3.2. Alterações elétricas originadas pela absorção da luz são transmitidas pelo nervo óptico até o encéfalo onde são interpretadas.  
Fonte: Genoma.

## 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 (HELENE e HELENE, 2011).

Os sistemas fotossensíveis podem ser definidos em uma sequência de quatro classes evolutivamente relacionadas, são elas: (I) *fotopercepção não-direcional*: células fotorreceptoras simples, podem ser isoladas, apenas identificam a presença, ausência e intensidade de luz, ocorre com o zooplâncton; (II) *fotopercepção direcional*: células fotorreceptoras acompanhadas de células pigmentadas com capacidade de identificar a direção da luz, ocorre com as planárias; (III) *visão de baixa resolução*: células fotorreceptoras encontram-se organizadas (como uma taça) possibilitando a percepção da luz em diferentes direções simultaneamente, presente em muitos gastrópodes marinhos e terrestres. (IV) *visão de alta resolução*: está relacionada ao avanço da resolução óptica e aumento da diversidade das morfologias oculares, encontrado em cefalópodes, peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos (AUDINO, MARIAN e LOPES, 2015).

Os olhos dos animais são muito variados em forma, tamanho e percepção, eles se adaptam ao modo de vida do ser vivo. O grupo dos invertebrados é bastante diversificado. Muitos possuem apenas sensibilidade aos estímulos luminosos. Já outros, por exemplo, os moluscos podem apresentar desde estruturas simples para captação de luz, como os bivalves, a olhos bem desenvolvidos como ocorre com as lulas e polvos, cefalópodes (AUDINO, MARIAN e LOPES, 2015).

Os artrópodes possuem os olhos simples e os compostos, sendo que os primeiros não formam imagens, apenas captam diferentes graus de intensidade luminosa, e os últimos são formados por unidades cilíndricas chamadas de omatídeos que formam imagens (Figura 4.1). A libélula (Figura 4.2), por exemplo, possui 30 mil omatídeos, o qual 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 (LINHARES e GEWANDSNAJDER, 2014).



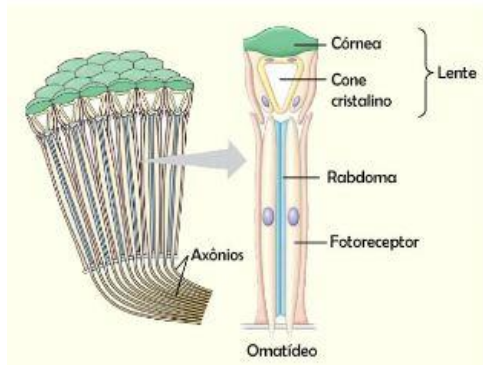


Figura 4.1. Representação do omatídeo. Fonte: Emaze.



Figura 4.2. Olho composto da libélula. Fonte: FURST, 2015.

As imagens formadas pelos omatídeos não corresponde ao que os humanos veem, pois, para enxergar com tantos detalhes seriam necessários milhões de 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 são chamadas de visão de justaposição, na qual a imagem formada é o posicionamento lado a lado de cada ponto luminoso capturado pelo omatídeo (Figura 4.3) (DAWKINS, 1998).

Os trilobitas, artrópodes marinhos extintos, apresentavam um tipo de olho composto formado de carbonato de cálcio, o que permitiu a fossilização destas estruturas e posterior estudo (Figura 4.4). Assim, foi descoberto que os olhos desses animais apresentavam três formas: holocroais, com numerosas lentes pequenas e hexagonais; esquizocroais, com lentes grandes e esféricas e abatocroais, olhos planos com córneas separadas. Os olhos bem desenvolvidos desses animais fizeram parte de seu grande sucesso adaptativo, visto que os fósseis de trilobitas são encontrados em grande quantidade e distribuídos pelo mundo inteiro (TAVARES, 2008).



Figura 4.3. Visão de justaposição dos artrópodes com olhos compostos. Fonte: Emaze.

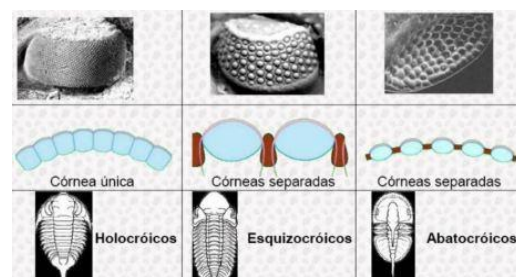


Figura 4.4. Tipos de olhos encontrados em trilobitas. Fonte: TAVARES, 2008.

As moscas são tricomas como os seres humanos, ou seja, possuem três tipos de cones para identificação das cores, no entanto elas enxergam a luz verde, a azul e a ultravioleta, sendo assim elas vêem o “mundo” em cores diferentes (Figura 4.5). Além disso, elas percebem o tempo

diferente dos seres humanos, o que para nós ocorre em um segundo para elas ocorre em câmera lenta. Isso se deve ao fato de que os seres humanos conectam as imagens que são enviadas dos olhos ao cérebro em cerca de 60 flashes por segundo, e as moscas 250. Por isso são tão ágeis para escapar de um mata-moscas, por exemplo (GALLOWAY, 2017).



Figura 4.5. Comparativo entre a visão das moscas e dos seres humanos. Fonte: Incrível (adaptado).

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 (POUGH, JANIS e HEISER, 2008). Apesar de terem o desenvolvimento similar da captação de luz do ambiente em que a luz entra por uma órbita, atravessa a córnea, pupila, lentes e meios líquidos sendo focada diretamente no interior do olho onde existem fotorreceptores especializados, os cones e bastonetes, que absorvem a luz e convertem em impulsos nervosos, o modo como o ser vivo enxerga vai depender da concentração de fotorreceptores e sua disposição na retina (JONES, 2006).

Além disso, 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. A córnea dos olhos dos vertebrados aquáticos e terrestres possui índice de refração de 1,37, desse modo a luz se desvia assim que atravessa a interface ar/córnea. Lembrando que o ar possui índice de refração de 1,0003 (por definição utiliza-se 1,00 como no vácuo) e a água 1,33. Como resultado a córnea de um vertebrado terrestre desempenha um papel muito importante na focalização das imagens na retina. Já com os aquáticos, não ocorre um desvio significativo dos raios luminosos devido ao fato que os índices de refração água/córnea são muito próximos (POUGH, JANIS e HEISER, 2008).

Nos vertebrados aquáticos as lentes (cristalino) são a estrutura mais importante na focalização da luz sobre a retina. Os peixes possuem cristalinos esféricos com alto índice de refração, em que toda a lente se move para frente ou para longe para focalizar objetos que estão a longas distâncias dos peixes. Os mamíferos aquáticos, como as baleias e golfinhos, possuem cristalinos esféricos semelhante aos dos peixes. As lentes dos vertebrados terrestres são achatadas e

são os músculos oculares que modificam a forma dessa lente para focalizar as imagens (POUGH, JANIS e HEISER, 2008).

Dentro do grupo dos peixes, existem muitas diferenças entre as espécies. A maioria desses animais possuem os olhos nas laterais da cabeça fazendo com que tenham uma visão circular (Figura 4.6) e veem 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 (JONES, 2006).



Figura 4.6. Comparativo entre a visão de algumas espécies de peixes com a visão do ser humano. Fonte: Incrível (adaptado).

O *Anableps* (Figura 4.7) é conhecido como peixe de quatro olhos, no entanto, possui apenas dois olhos adaptados ao seu estilo de vida. Cada olho é dividido em duas seções, aéreo e aquático. Esse peixe flutua na superfície da água com a metade inferior de cada olho voltado para baixo d'água. A córnea é dividida em uma zona superior convexa e outra inferior plana. A íris possui duas projeções que dividem a pupila em porção superior, adaptada a visão aérea, e inferior responsável pela visão aquática. As duas metades são divididas por uma faixa de tecido para olhar para cima e para baixo da água, permitindo assim observar seus predadores e presas (RECHI, 2014).

O *Bathylchnopsexilis* (Figura 4.8) possivelmente é o mais notável peixe de quatro olhos. Ele possui um típico olho de peixe voltado para fora em posição normal e uma protuberância secundária, similar um olho adicional, alojado na parede principal voltado para baixo, com lentes bem desenvolvidas e uma retina. Provavelmente é uma adaptação para se defender de possíveis predadores que se aproximem por baixo (DAWKINS, 1998).





Figura 4.7. *Anableps* possui cada olho com estrutura dupla. Fonte: RECHI, 2014.

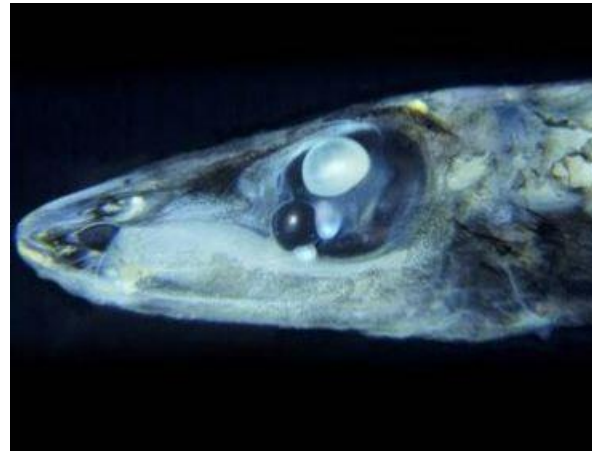


Figura 4.8. *Bathylchnopsexilis* possui um olho em posição normal e outro olho similar voltado para baixo. Fonte: DIAS, 2011.

O sentido da visão fora da água é mais fácil de ser utilizado. Devido ao fato de que a luz é transportada no ar com menos perturbações do que na água, no entanto, no ar, a superfície do olho deve ser sempre lubrificada e mantida livre de partículas. Para isso os tetrápodes possuem pálpebras e glândulas lacrimais, permitindo assim, independência do meio aquático. 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 e uma característica muito singular em suas células da retina: um tipo de bastonete verde (POUGH, JANIS e HEISER, 2008).

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 (HAUZMAN, 2014).

Os olhos dos répteis, em geral, possuem uma estrutura bastante similar, no entanto, o grupo das serpentes é bem diversificado. As serpentes estão muito bem distribuídas em todas as regiões da Terra e seu sistema visual é uma exceção, apresentando muitas variações que apontam para adaptações ecológicas. Algumas espécies possuem a visão sem brilho e opacas, já outras, caçadores noturnas, possuem receptores infravermelho localizados na fosseta loreal, que auxiliam na localização do alimento. Esse tipo de adaptação nos sentidos torna sua presa iluminada (Figura 4.9) (HAUZMAN, 2014).



Figura 4.9. Comparativo entre a visão das serpentes com a visão dos seres humanos. Fonte: Incrível (adaptado)

Entre os répteis, os camaleões possuem o sistema sensorial mais complexo. Seus olhos podem se mover de forma independente e cada um possui um campo de visão diferente. Essa movimentação rotacional do bulbo possibilita a visão em 360 graus (Figura 4.10). Quando a presa é visualizada ambos os olhos convergem para o mesmo ponto. A visão binocular auxilia a perceber a profundidade, determinando se a presa se encontra ou não ao alcance da língua (SILVA, 2020).



Figura 4.10. Comparativo entre a visão dos camaleões e a dos seres humanos. Fonte: Incrível (adaptado).

Os olhos da maioria das aves são grandes, em algumas espécies são tão grandes quanto o dos seres humanos, sendo que seu encéfalo é deslocado dorsocaudalmente e em muitas espécies o globo ocular encontra-se na linha mediana do crânio. Em relação à estrutura, são semelhantes a qualquer outro vertebrado, mas a forma varia de uma esfera achatada até ao que se aproxima de um formato tubular (POUGH, JANIS e HEISER, 2008).

As aves de rapina (Figura 4.11) 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  $\text{mm}^2$ ), que aumenta o tamanho da presa em até três vezes. Além disso, elas possuem 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 (Figura 4.12), 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 (MARTINS, 2019).

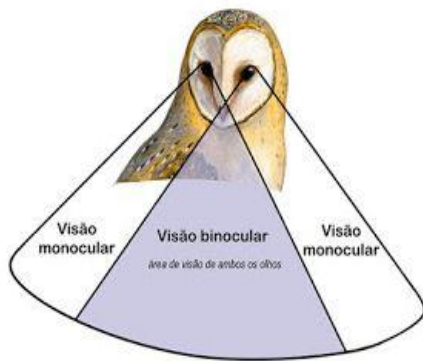


Figura 4.11. Esquema da visão binocular das aves de rapina. Fonte: MARTINS, 2019.

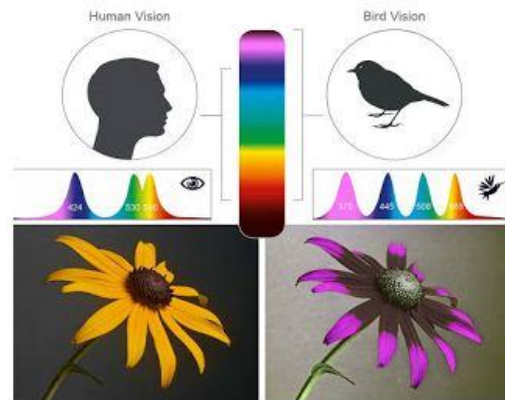


Figura 4.12. Esquema comparativo entre a visão humana e a visão ultravioleta de algumas aves. Fonte: MARTINS, 2019.

Os mamíferos evoluíram como animais noturnos sendo que sua sensibilidade visual (formação de imagens sob pouca luz) era mais importante do que 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 as cores azul, verde e vermelha. Entretanto, a maioria dos mamíferos possui visão monocromática (uma cor) ou bicromática (duas cores) (POUGH, JANIS e HEISER, 2008). Os ratos e camundongos, por exemplo, só distinguem tons de verde e azul, sua visão é bicromática (Figura 4.13). Por possuírem olhos muito pequenos, não conseguem ver a longas distâncias. Seus olhos localizados ao lado da cabeça, os possibilita um campo de visão muito grande e podem enxergar imagens diferentes em cada olho.



Figura 4.13. Comparativo entre a visão dos ratos e camundongos com a visão dos seres humanos. Fonte: Incrível (adaptado).

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 (Figura 4.14). Estes 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 (POUGH, JANIS e HEISER, 2008).



Figura 4.14. Comparativo entre a visão dos cães e gatos com a visão dos seres humanos. Fonte: Incrível (adaptado).

Muitos caçadores noturnos (Figura 4.15) ao longo do processo evolutivo desenvolveram uma camada reflexiva atrás da retina, denominada de *tapetum lucidum* (Figura 4.16). 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, mas vindo do lado oposto, fazendo com que a imagem não seja distorcida e concedendo ótima visão noturna e um brilho característico de seus olhos (DAWKINS, 1998).

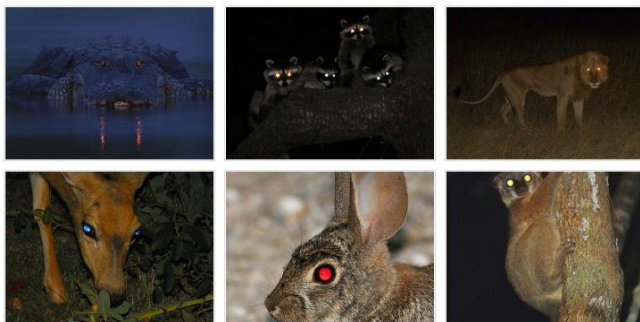


Figura 4.15. Animais com *tapetumlucidum*. Fonte: Random Factoid.



Figura 4.16. *Tapetum lucidum*, camada refletora atrás da retina de alguns animais. Fonte: FAZOLATO, 2015.

## 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 a obra seminal do evolucionismo *A origem das espécies* utilizou o olho para elencar discussões sobre órgãos perfeitos e complexos. Nas palavras de Darwin (2009, p. 162):

Parece absurdo de todo ponto – o confesso espontaneamente – supor que o olho com todas as suas inimitáveis disposições para acomodar o foco a diferentes distâncias para admitir quantidade variável de luz e para a correção das aberrações da esférica e cromática, pode ter-se formado por seleção natural.

Darwin, em sua obra, 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 se essas são úteis a determinado animal em diferentes condições de vida, então dificuldade de crer que um olho perfeito e complexo pode ser formado por seleção natural deve ser superada (DARWIN, 2009). Muitos foram os argumentos contrários às ideias de Darwin depois de publicar seu livro, principalmente porque eram desconhecidos os estudos Gregor Mendel (1822-1866) sobre a hereditariedade.

Posto isto, cabe ressaltar que a teoria da evolução por seleção natural não deve ser creditada somente a Charles Darwin, a teoria é uma construção sócio-histórica-cultural e contou com a colaboração de vários cientistas como Alfred Russel Wallace e Henry Walter Bates. Ambos publicaram em conjunto suas pesquisas sobre a evolução dos seres vivos na instituição científica *Linnean Society of London* em 1858 (FERREIRA, 2012).

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 alelos e variações fenotípicas, ou seja, novas características nas espécies (LINHARES e GEWANDSZNAJDER, 2014).

Estudar a evolução dos olhos é um desafio para os cientistas, uma vez que é difícil ver detalhes em fósseis, devido serem órgãos moles demais para fossilizar. No entanto, analisando os seres vivos que existem atualmente é possível observar vestígios oriundos do processo evolutivo (DAWKINS, 1998). O primeiro tipo de olho a aparecer nos registros fósseis, ainda no período Cambriano<sup>7</sup>, foi o olho composto do extinto artrópode trilobita, por serem constituídos de carbonato de cálcio, facilitando assim, a fossilização (TAVARES, 2008).

---

<sup>7</sup>O período Cambriano se iniciou 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 se estendiam sobre extensas áreas continentais e eram abundantes em trilobitas e moluscos entre outros.

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 existiam em nosso planeta não eram capazes de detectar luz, sendo que em determinado momento se acredita que ocorreu uma mutação em um deles que passou 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 (OLIVEIRA, 2013).

Para os cientistas a opsina modificou a forma de vida dos seres vivos. Isso pode ser creditado ao fato de a 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 de apenas possuem uma leve sensibilidade, percebendo a diferença entre o claro e o escuro os auxiliando na busca por alimento, quanto para alguns roedores, como os coelhos, possuem visão periférica que pode chegar a 360 graus, extremamente importante para poder enxergar tudo o que ocorre ao redor, se alimentar, acasalar e se proteger de predadores (DAWKINS, 1998).

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 a realidade a qual faz parte. Podemos tomar como exemplo a retina: a espécie humana que possui suas células fotossensíveis na direção oposta à abertura dos olhos isso resulta em um ponto cego, esse local que não possui nenhuma célula fotossensível, pois o nervo óptico perfura a retina para alcançar a camada fotossensível na parte de trás. Já os cefalópodes, mesmo apresentando olhos semelhantes aos olhos humanos, evoluíram de forma independente e apresentam uma retina na mesma direção que os permite enxergar sem o ponto cego (HARVEY, 2015).

### **Passo a passo da evolução dos olhos humanos**

O olho tipo câmera 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 (DAWKINS, 1998).

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 transformações foram ocorrendo, uma série de etapas evolutivas levou à formação deste órgão estruturalmente complexo, denominado de olho tipo câmera (ROSSETTI, 2018). 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 (Figura 5.1), como o existente atualmente nas euglenas, uma alga unicelular (Figura 5.2). 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 (KARDOUDI, 2015).

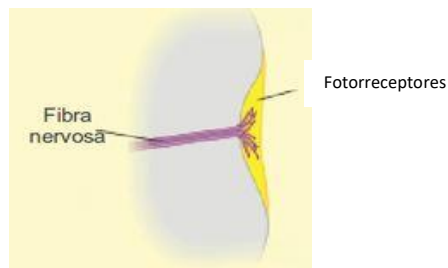


Figura 5.1. Região de células fotorreceptivas. Fonte: COSTA, 2020 (adaptado).



Figura 5.2. Estrutura fotorreceptora da euglena. Fonte: ROSSETTI, 2018.

O surgimento de um formato côncavo de estruturas fotorreceptivas foi o próximo passo evolutivo (Figura 5.3). O desenvolvimento desse permitiu detectar mais facilmente a direção da luz. Atualmente, esse formato é encontrado em planárias (Figura 5.4), um platelminto de vida livre. Nesses animais existem ocelos em forma de concha, que apesar de não formar imagens possibilita a percepção da direção e intensidade da luz. Tal habilidade permite além de buscar alimento, a encontrar lugares sombreados que servem como proteção de predadores (HARVEY, 2015).

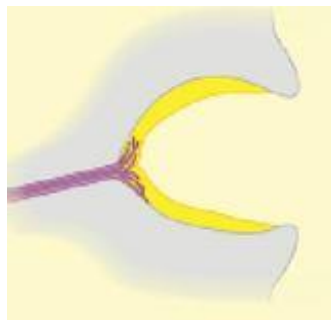


Figura 5.3. O formato côncavo permite a percepção da direção da luz. Fonte: COSTA, 2020 (adaptado).

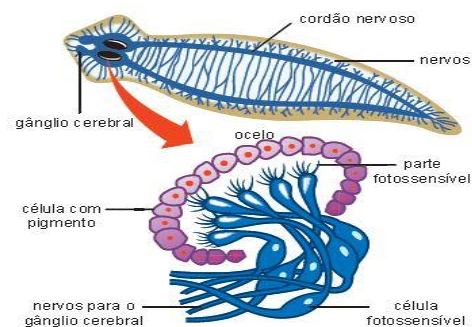


Figura 5.4. Sistema nervoso da planária e um ocelo (ampliado). Fonte: LINHARES e GEWANDSZNAJDER, 2014.

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 (Figura 5.5), que aumentou a resolução da visão e diminuiu as distorções de entrada, e do outro lado, células fotossensíveis que chamamos de retina. Esse “olho primitivo” é do tipo câmera, porém mais simples e sem qualquer lente, podendo ser encontrado no náutilo (Figura 5.6), 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 (HARVEY, 2015).

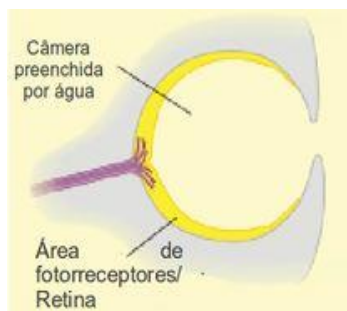


Figura 5.5. Olho com abertura puntiforme permite melhor detecção da direção da luz e formação de imagens simples. Fonte: COSTA, 2020 (adaptado).



Figura 5.6. Náutilo possui olho simples, tipo câmera sem lente. Fonte: Museu da ciência Universidade de Coimbra.

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 (Figura 5.7). A partir do preenchimento do interior do olho com líquido se aperfeiçoou a sensibilidade e o processamento da luz. Assim como nas feiticeiras (Figura 5.8), 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 (CHACALTANA, 2011).

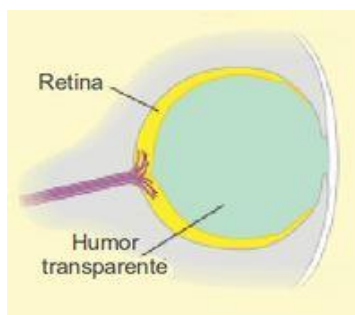


Figura 5.7. Fechamento da câmara e evolução do humor transparente. Fonte: COSTA, 2020 (adaptado).



Figura 5.8. Feiticeira possui olhos primitivos recobertos por pele. Fonte: CARLOS, 2020.



No decorrer dos processos evolutivos as lentes surgiram por adaptações de células epiteliais ricas em proteínas cristalinas (Figura 5.9). 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 capacidade de adaptação do olho, pois muda de curvatura como adaptação à visão de perto e de longe. Essa estrutura de câmara escura, com um furinho central e uma lente, serviu de base para a evolução do olho humano (HARVEY 2015).

Ao se aperfeiçoar, na estrutura dos olhos, surgiram a íris, a esclera e as glândulas lacrimais (Figura 5.10). A evolução concomitante do cérebro, com sua expansão no córtex visual para processar imagens mais nítidas e coloridas recebidas, foi igualmente, um importante passo para evolução da visão (HARVEY 2015).

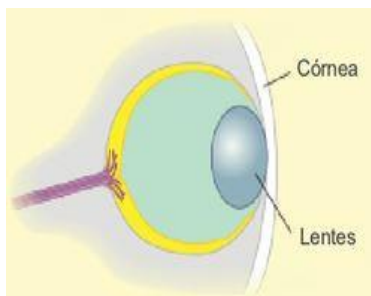


Figura 5.9. Evolução das lentes. Fonte: COSTA, 2020 (adaptado).

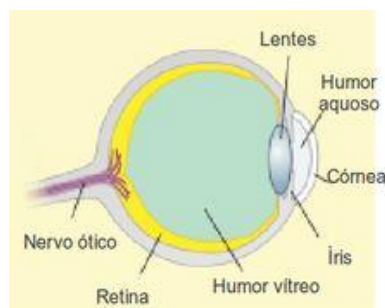


Figura 5.10. Evolução da íris e córnea separada. Fonte: COSTA, 2020 (adaptado).

## Considerações finais

Este texto paradidático trouxe um estudo interdisciplinar entre Biologia e Física abordando os conceitos de fisiologia da visão e óptica, visto que para entender a complexidade do sentido da visão faz-se necessária a interconexão de vários conhecimentos. Descreveu-se ainda como ocorre o sentido da visão de vertebrados e invertebrados e os diferentes tipos de olhos presentes nos seres vivos, sendo tal característica relacionada ao modo de vida de cada espécie.

Posteriormente, contribuindo com o estudo do evolucionismo, foi apresentado o olho como objeto de estudo da evolução. Mostrou-se ainda o passo a passo da evolução dos olhos humanos, sendo tal estudo possível ao se analisar as espécies que existem atualmente.

Este estudo mostra-se bastante relevante pois são abordados conceitos sobre evolução dos olhos relacionando a óptica da visão, diferente do que se é visto nos livros didáticos nos dias de hoje. Possibilitando assim, aos professores de Biologia e Física trabalharem com este texto na sala de aula interdisciplinarmente enriquecendo suas aulas e tornando possível a construção de um aprendizado significativo para os educandos.

## Referências

AUDINO, J. A.; MARIAN, J. E. A. R.; LOPES, S. G. B. C. **Síntese do conhecimento da diversidade dos sistemas visuais em *Mollusca*, com ênfase em *Bivalvia***. Revista da Biologia. v.14, n.1, p. 24-32, 2015.

ALFACONNECTION. **Reflexão da luz**. Disponível em: <<https://www.alfaconnection.pro.br/fisica/luz/fenomenos-basicos/reflexao-da-luz/>>. Acesso em: 13/04/2020.

BERNARDES, L. **Olhos**. Disponível em: <<https://www.todoestudo.com.br/biologia/olhos>>. Acesso em: 28/03/2020.

BOTELHO, H. **Daltonismo: entenda essa outra forma de ver o mundo**. Disponível em: <<https://webjornalunesp.wordpress.com/2014/09/01/entenda-o-daltonismo-um-outro-jeito-de-ver-o-mundo/>>. Acesso em: 31/03/2020.

CARLOS, J. **Peixes**. Disponível em: <<http://peixes2010.blogspot.com/p/agnatos.html>>. Acesso em: 31/03/2020.

CARNEVALLE, M. R. **Jornadas.cie**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

CERQUEIRA, E. **Atlas ilustrado do corpo humano**. 1. ed. São Paulo: Ciranda cultural, 2012.

CIÊNCIAS RESUMOS. **Refração da luz**. Disponível em: <<https://www.cienciasresumos.com.br/fisica/reflexao-e-refracao-da-luz/>>. Acesso em: 13/04/2020.

CHACALTANA, F. C. **Bioquímica do humor aquoso e do humor vítreo**. Disponível em: <[https://www.ufrgs.br/lacvet/restrito/pdf/flor\\_humor\\_aquoso\\_vitreo.pdf](https://www.ufrgs.br/lacvet/restrito/pdf/flor_humor_aquoso_vitreo.pdf)>. Acesso em: 20/03/2020.

CHAGAS, C. Como é possível enxergarmos? Disponível em: <<http://cadernosdefisicadononoanomiraflores.blogspot.com/2012/11/como-e-possivel-enxergarmos.html>>. Acesso em: 13/04/2020.

COSTA, D. A. **Evolucionismo: a teoria chave**. Disponível em: <<http://origensinfoco.blogspot.com/2012/04/fascinante-evolucao-do-olho.html>>. Acesso em: 31/03/2020.

CULTURA LIVRE. **Refração da luz**. Disponível em: <<https://culturalivre.com/refracao-da-luz-lei-de-snell-o-que-e-refracao-reflexao-total/>>. Acesso em: 13/04/2020.

DARWIN, Charles. **A origem das espécies por meio da seleção natural**. Charles Darwin; tradução André Campos Mesquita. São Paulo: Escala, 2009.

DAWKINS, Richard. **A escalada do monte improvável: uma defesa da teoria da evolução**. Richard Dawkins; tradução Suzana Sturlini Couto. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

DIAS, Z. **Evolução do olho 2**. Disponível em: <<http://ventosdouniverso.blogspot.com/2011/12/olho.html>>. Acesso em: 26/03/2020.

EMAZE. **Olho composto**. Disponível em: <<https://app.emaze.com/@AQTQQQWT#2>>. Acesso em: 31/03/2020.

- EVOLUÇÃO. **Lentes esféricas.** Disponível em: <[http://grupeeolucao.com.br/livro/Fisica3/lentes\\_esfricas.html](http://grupeeolucao.com.br/livro/Fisica3/lentes_esfricas.html)>. Acesso em: 13/04/2020.
- FAZOLATO, N. **Por que os gatos enxergam no escuro?** Disponível em: <<http://universogatos.blogspot.com/2015/06/por-que-os-gatos-enxergam-no-escuro-e.html>>. Acesso em: 02/04/2020.
- FERREIRA, Ricardo. **Bates, Darwin, Wallace e a teoria da evolução.** 2. ed. Recife: Cepe, 2012.
- FOTOGRAFIA. **A câmara escura e o surgimento do daguerreótipo.** Disponível em: <<http://artefotografica15.blogspot.com/p/a-camara-escura-e-o-surgimento-do.html>>. Acesso em: 17/07/2020.
- FROTA, R. **Visão cromática.** Disponível em: <<https://medium.com/@rafaelfrota/vis%C3%A3o-crom%C3%A1tica-db5159dc890f>>. Acesso em: 28/03/2020.
- FURST, O. **Livro negro – libélulas! Belas, mas assassinas brutais.** Disponível em: <<http://bibocaambiental.blogspot.com/2015/06/libelulas-belas-mas-assassinas-brutais.html>>. Acesso em: 31/03/2020.
- GALLOWAY, R. **Porque é tão difícil pegar uma mosca?** Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-41310571>>. Acesso em: 11/07/2020.
- GENOMA. **Como são estes olhos que vêem.** Disponível em: <[https://genoma.ib.usp.br/sites/default/files/parte2\\_20\\_35.pdf](https://genoma.ib.usp.br/sites/default/files/parte2_20_35.pdf)>. Acesso em: 24/03/2020.
- GEWANDSZNAJDER, F. **Ciências: material e energia.** 1. ed. São Paulo: Ática, 2013.
- HARVEY, J. *The evolution of the human eye.* 2015. (4min 43s). Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=qrKZBh8BL\\_U&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?v=qrKZBh8BL_U&feature=emb_logo)>. Acesso em: 15/03/2020.
- HAUSMAN, E. **Ecologia e evolução do sistema visual de serpentes *Caenophidia*: estudos comparativos da morfologia retiniana e genética de opsinas.** São Paulo, 2014. 185 f.
- HELENE, O.; HELENE, A. F. **Alguns aspectos da óptica do olho humano.** Revista Brasileira do Ensino de Física, v.33, n.3, 2011.
- HERNÁNDEZ, P. **Lentes.** Disponível em: <<http://curso2012fisica.blogspot.com/p/4-ano-reflexion-y-refraccion-de-la-luz.html>>. Acesso em: 13/04/2020.
- 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.
- JONES, K. **A visão dos peixes.** Disponível em: <[http://www.katembe2.com/wp-content/uploads/2018/11/visao\\_dos\\_peixes.pdf](http://www.katembe2.com/wp-content/uploads/2018/11/visao_dos_peixes.pdf)>. Acesso em: 11/07/2020.
- KARDOUDI, O. **Como os olhos evoluíram de pequenos buracos para órgãos complexos?** 2015. Disponível em: <<https://gizmodo.uol.com.br/evolucao-olhos/>>. Acesso em: 14/03/2020.
- LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F. **Biologia hoje 2.** 2. ed. São Paulo: Ática, 2014.
- LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F. **Biologia hoje 3.** 2. ed. São Paulo: Ática, 2014.

LORETO, E. L. S.; SARTORI, P. H. S. **Simulação da visão das cores: decodificando a transdução quântica-elétrica.** Caderno Brasileiro do Ensino de Física. v. 25, n.2, p. 266-286, 2008.

MARTINS, R. **Como as aves enxergam.** Disponível em: <<http://bemestaranimalvet.blogspot.com/2019/06/como-as-aves-enxergam.html>>. Acesso em: 01/04/2020.

MUSEU DA CIÊNCIA UNIVERSIDADE DE COIMBRA. **Luz e visão.** Disponível em: <<http://www.museudaciencia.org/index.php?module=content&option=museum&action=exhibition&id=7>>. Acesso em: 29/03/2020.

NEVES, M. L. R. C.; LOPES, P. M.; MOZELLI, S. **Biologia.** 1. ed. Belo Horizonte: Educacional, 2015.

OLIVEIRA, F. G. **Aspectos anatômicos do olho e neuroquímicos da retina do mocó (*Kerodonrupestris*).** Natal, 2013. 178 f: il.

PASSOS, E. C.; ANDRADE-NETO, A. V.; LAMAIRE, T. **Comportamento ótico do olho humano e suas ametropias.** Caderno de física da UEFS, v. 6, n. 1 e 2, p. 7-18, 2008.

PEDUZZI, O. Q. L. **A relatividade einsteniana: uma abordagem conceitual e epistemológica.** Disponível em: [https://be37fb0e-ff6f-47d2-bea9-9e97e816116d.filesusr.com/ugd/7d71af\\_0203f7a8e27240ed90645f16ebe5d67c.pdf](https://be37fb0e-ff6f-47d2-bea9-9e97e816116d.filesusr.com/ugd/7d71af_0203f7a8e27240ed90645f16ebe5d67c.pdf) >. Acesso em 29/10/2020.

PIETROCOLA, M.; POGIBEM, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos, 2.** 1. ed. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados.** 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

RAMOS, A. **Fisiologia da visão.** Disponível em: <[http://sites.unifoa.edu.br/portal/plano\\_aula/arquivos/04054/Fisiologia%20da%20visao%20-%20MODULO%20I.pdf](http://sites.unifoa.edu.br/portal/plano_aula/arquivos/04054/Fisiologia%20da%20visao%20-%20MODULO%20I.pdf)>. Acesso em: 24/03/2020.

RANDOM FACTOID. **Mammalian night vision (tapetum lucidum).** Disponível em: <<http://www.randomfactoid.com/home/mammalian-night-vision-tapetum-lucidum>>. Acesso em: 02/04/2020.

RECHI, E. **Tralhoto, peixe quatro olhos (*Anableps anableps*).** Disponível em <<http://www.aquarismopaulista.com/anableps-anableps/>>. Acesso em: 27/03/2020.

ROSSETTI, V. **A origem evolutiva do olho.** Disponível em: <<https://netnature.wordpress.com/2018/11/22/a-origem-evolutiva-do-olho/>>. Acesso em: 22/11/2018.

SABA, M. M. F.; EPIPHANIO, I. D. V. **Abrindo o Olho: dissecando o olho de boi para entender a óptica do olho humano.** Física na Escola, v.2, n.2, 2001.

SILVA, L. C. S. **Anatomia dos répteis.** Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/download/repteis/Anatomia%20dos%20repteis.pdf>>. Acesso em: 13/07/2020.

TAVARES, P. K. **Trilobita (*arthropoda*) registrado na formação Ponta Grossa, devoniano da bacia do Paraná: preservação de aparelho digestivo piritizado.** Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/30413/Monografia%20Patricia%20Koniarski%20Tavares.pdf>>. Acesso em: 02/04/2020.

## APÊNDICE II - 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, logo após sugerir que se reúnam em pequenos grupos (de até quatro participantes) para elencar tópicos que mais lhe 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 a 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 exemplo. 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 esta aula será solicitado previamente que os alunos tragam seus celulares para participarem de um *quis*, em grupos, sobre o tema estudado, na plataforma educacional *Kahoot*. Num segundo momento, serão revistas as situações-problema buscando mediar a construção de respostas por meio dos alunos.

**7. Avaliação da aprendizagem na UEPS:** será feita ao longo de sua implementação, registrando tudo o que se 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.