



ENSINO INTERDISCIPLINAR DA FOTOSSÍNTESE: INTERFACES ENTRE A
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA E AS COMUNIDADES DE
INVESTIGAÇÃO

Galina Gulis

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Olavo Leopoldino da Silva Filho

Brasília, DF
Maio de 2022

ENSINO INTERDISCIPLINAR DA FOTOSSÍNTESE: INTERFACES ENTRE A
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA E AS COMUNIDADES DE
INVESTIGAÇÃO

Galina Gulis

Orientador:

Prof. Dr. Olavo Leopoldino da Silva Filho

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade de Brasília, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Dr. Olavo Leopoldino da Silva Filho

Dr. Marcello Ferreira

Dr. Daniel Ordine Vieira Lopes

Brasília, DF
Maio de 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

--

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, o professor Dr. Olavo L. da Silva Filho, e ao professor Dr. Marcello Ferreira, pela paciência permanente, compartilhamento de conhecimentos e apoio.

Gostaria de agradecer à Universidade de Brasília e, em particular, ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF) e respectivos professores, pela ambiência criativa que foi essencial na realização dos meus estudos.

Também gostaria de agradecer à minha família pelo apoio constante e força emocional durante a finalização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

ENSINO INTERDISCIPLINAR DA FOTOSSÍNTESE: INTERFACES ENTRE A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA E AS COMUNIDADES DE INVESTIGAÇÃO

Galina Gulis

Orientador:

Prof. Dr. Olavo Leopoldino da Silva Filho

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade de Brasília (UnB), no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

A divisão dos conceitos e das noções teóricas por componentes disciplinares diferentes é um dos desafios no processo de ensino e aprendizagem nas escolas. Esta dissertação explora uma abordagem interdisciplinar na implementação didática do estudo do processo de fotossíntese nas escolas ou nos cursos técnicos integrados ao ensino médio, tomando por caso de estudo o 2º e o 3º ano de uma turma de física do Instituto Federal de Brasília (IFB) no ano de 2020. A proposta desta dissertação é demonstrar como a interdisciplinaridade pode ser incorporada em sequências didáticas nas aulas presenciais e também nas aulas do ensino remoto sem perda de dinâmica e efetividade no processo de ensino e aprendizagem. A sequência didática e a atividade de ensino remoto foram baseadas nos conceitos principais das teorias psicológicas de Ausubel, Moreira e Vygotsky e das teorias educacionais de Moreira e Lipman para a construção de uma aprendizagem significativa crítica mediada em comunidades de investigação. Para organização e avaliação do processo de aprendizagem, foi adotada uma estratégia baseada em mapas conceituais, a partir das sugestões de Novak. Os resultados obtidos indicam níveis suficientes de aprendizagem dos conceitos estudados acerca o processo de fotossíntese e também a adaptação dos estudantes uma abordagem de ensino e aprendizagem na perspectiva da interdisciplinaridade; além disso, sugerem indícios de adesão positiva à ferramenta do mapa conceitual. Com esses resultados, espera-se que a abordagem apresentada nesta dissertação seja útil para outros profissionais da área educacional, permitindo sua aplicação em diferentes componentes disciplinares e distintos espaços da educação formal.

Palavras-chave: Interdisciplinaridade. Fotossíntese. Aprendizagem Significativa Crítica. Comunidades de Investigação. Ensino de Física.

Brasília, DF
Maio de 2022

ABSTRACT

INTERDISCIPLINARY TEACHING OF PHOTOSYNTHESIS: INTERFACES BETWEEN CRITICAL MEANINGFUL LEARNING AND RESEARCH COMMUNITIES

Galina Gulis

Supervisor:

Prof. Doc. Olavo Leopoldino da Silva Filho

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the Master degree in Physics Teaching.

The attribution of concepts and theoretical notions to different disciplinary areas is one of the challenges in the teaching and learning processes in schools. This dissertation explores an interdisciplinary approach in the didactic implementation of the study of the photosynthesis process in high schools or in technical courses integrated with high schools. This work was implemented in 2020 in Federal Institute (IFB) for the classes of the 2nd and 3^d year of high school physics. The purpose of this dissertation is to demonstrate how interdisciplinarity can be incorporated into the didactic sequence for in-class teaching, as well as for remote teaching, without the loss of dynamics and efficiency in the teaching and learning process. The didactic sequence and the remote learning activity were based on the main concepts of the psychological theories of Ausubel, Moreira and Vygotsky as well as the educational theories of Moreira and Lipman proposed for the construction of critical meaningful learning. To organize and evaluate the learning process, Novak's conceptual map was selected and applied. The obtained results suggest a sufficient level of learning of the studied concepts of photosynthesis and also the students' adaptation to the teaching and learning method from the perspective of interdisciplinarity, as well as positive adherence to the conceptual map tool. With these results, it is expected that the approach presented in this dissertation will be useful for other professionals of education, allowing for its application in different disciplinary areas and distinct spaces of formal education.

Keywords: Interdisciplinarity. Photosynthesis. Critical Meaningful Learning. Teaching of Physics.

Brasília, DF
Maio 2022

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (A) A energia solar serve como uma fonte poderosa de toda a energia química e biológica. Os organismos fotossintéticos utilizam a energia da luz para produzir carboidratos e para liberação do O ₂ pela fotólise de água, os quais vão ser utilizados por organismos heterotróficos. (B) As reações luminosas da fotossíntese geram NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato) e ATP (adenosina trifosfato) ricos em energia e produzem oxigênio, gás mantido na atmosfera, às custas da energia solar. As moléculas NADPH e ATP produzidas nas reações de claro são usadas nas reações de assimilação de carbono, que ocorrem na fase de escuro, para reduzir o CO ₂ e formar carboidrato. Adaptada de Nelson e Cox (2011, p. 742-743).....	12
Figura 2. (A) Representação esquemática da onda longitudinal (por exemplo som), a vibração dela é paralelo à direção de propagação da onda. (B) Representação esquemática da onda transversal (por exemplo luz), a vibração dela é perpendicular à direção de propagação da onda. (C) Representação esquemática de onda eletromagnética.	13
Figura 3. (A) Representação esquemática de espectro da luz visível. (B) Esquema de luz incidente sofrendo reflexão (1), absorção (2) e transmissão (3).....	14
Figura 4. Uma onda é constituída de cristas e vales.	16
Figura 5. Representação esquemática de um raio da luz incidindo e refletindo sobre uma superfície lisa.	18
Figura 6. Representação esquemática do fotossistema nas membranas tilacoides. As moléculas de pigmentos (clorofila) que absorvem fótons e convertem em energia química são associadas ao centro de reação. As outras moléculas de pigmento (clorofila e carotenoide) que absorvem a energia luminosa e transferem ao centro de reação são chamadas antenas.....	19
Figura 7. Questão sobre a relevância do mapa conceitual.....	36
Figura 8. Um exemplo de Mapa Conceitual.	46
Figura 9. Mapa Conceitual Inicial (MCI).....	48
Figura 10. Mapa Conceitual Final (MCF).....	51
Figura 11. Exemplo de Mapa Conceitual Final construído pela professora.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Sequência didática proposta para o ensino e aprendizagem, voltado para o ensino médio, do processo de fotossíntese.....	23
Tabela 2. Performance acadêmica dos(as) discentes dos 2° e 3° anos que participaram da atividade.	33
Tabela 3. Respostas dos(as) alunos(as) dos 2° e 3° anos de questionário.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Impacto do mapa conceitual para o processo de aprendizagem. 36

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Referencial Teórico	4
2.1	Complementaridade das Teorias Psicológicas e Educacionais	4
2.2	Interdisciplinaridade	8
2.3	Mapas Conceituais de Joseph D. Novak	9
3	Fundamentação científica	12
4	Metodologia	21
4.1	Sequência Didática	21
4.2	Descrição da Aplicação da Sequência Didática por meio de Roteiros	28
5	Análise da Aplicação	32
6	Considerações Finais	40
	Referências	42
	Apêndice A	45
	Apêndice B	53
	Produto Educacional	56

1 Introdução

Uma das questões mais emblemáticas do ensino – ao menos na tradição ocidental e, sobretudo, desde a modernidade – é a aparente comodidade do enclausuramento de conhecimentos escolares na lógica divisional dos componentes disciplinares curriculares¹. Essa imobilidade, decididamente incongruente à forma de fato complexa de como são construídos os problemas e os conhecimentos a eles atrelados, leva à compreensão incompleta, ou mesmo à incompreensão, da natureza e de diversas e distintas aplicações dos saberes. Embora possa ser operacionalmente justificável, a adoção de uma abordagem disciplinar para a divisão de conteúdos curriculares implica um apartamento dos conhecimentos, desde a formação dos professores até ao limítrofe da transposição didática, subsidiando a falsa impressão de que os modelos explicativos dos fenômenos e das abstrações (nas ciências naturais ou sociais ou nas humanidades) seguem, por essência, as limitações epistemológicas, teóricas e metodológicas daquilo que um discurso acadêmico pôde historicamente aprisionar sob a convenção de uma disciplina.

É deletéria a ilusão de que cada um dos componentes disciplinares que se pôde convencionar possui *corpus* próprio de articulação de problemas, que aparece desarticulado e, por vezes, independente dos demais. Ela torna excessivamente superficial, em muitos casos, o próprio ensino de cada uma das disciplinas, ou ao menos de alguns de seus tópicos, o que obstaculiza a aprendizagem, principalmente quando os fundamentos daquilo que se ensina em uma disciplina estão mais além de seu escopo ou, ainda, necessitam de construtos de outra. Essa visão hierárquica, em que uma ou mais disciplinas poderiam formar os fundamentos de outra – sem, necessariamente, com ela se articular – traz evidentes prejuízos educacionais. Um dos mais notórios é a dispensa da importante oportunidade de dar roupagem significativa não apenas ao material que se deseja ensinar, mas também ao corpo teórico que lhe serve de fundamentação. Por isso é tão raro encontrar, no modelo educacional brasileiro, um aprendizado integrado que articule vários conceitos e distintas disciplinas.

Para além dessa relação que se estabelece, eventualmente, de maneira vertical (dos fundamentos à aplicação), pode haver ainda uma articulação horizontal entre os conteúdos

¹A presente dissertação baseia-se, em boa medida, no artigo “Ensino Interdisciplinar da Fotossíntese: Interfaces Entre a Aprendizagem Significativa Crítica e as Comunidades de Investigação” (GULIS; SILVA FILHO; FERREIRA; ANDRADE; COSTA, 2021). Ela contém ideias centrais daquele texto, que deriva da mesma pesquisa, apresentando, em alguns casos, transcrições *ipsis litteris*.

envolvidos. Nessa perspectiva, há muita riqueza que poderia advir dos necessários acordos e acomodações conceituais impostos pelas precípuas articulações disciplinares. Em qualquer um dos tipos de articulação, vertical ou horizontal, o que acontece é o reconhecimento da complexidade natural do tema tratado, evitando abordagens excessivamente simplificadoras em uma perspectiva de transposição didática perpassada pela abordagem exclusivamente disciplinar.

No contexto da mitigação desse problema de ensino organizado por áreas, os mais recentes documentos curriculares brasileiros erigiram a interdisciplinaridade como a base da organização da Educação Básica – e, em particular, do Ensino Médio –, inclusive reservando, nas instituições educativas, parte da carga horária anual para os projetos interdisciplinares (BRASIL, 2010; BRASIL, 2012; MOZENA; OSTERMAN, 2014). A interdisciplinaridade, no modelo curricular brasileiro, tem permanecido relevante para contextualização e a articulação entre diferentes áreas do conhecimento, sobretudo para a solução de problemas complexos (BRASIL, 2018a). Nessa mesma direção, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018b) propõe para a educação no ensino médio uma formação geral básica, dividida por áreas de conhecimentos e itinerários integrados, que podem ser baseados numa área específica, na formação técnica e profissional ou nos diferentes projetos. Tais projetos podem sintetizar os conhecimentos, habilidades e competências de diferentes áreas (BRASIL, 2018b).

Essa proposta pode ser implementada pela aplicação de uma noção de interdisciplinaridade que chegou no Brasil por volta dos anos 1960, com os estudos fundantes de George Gusdorf e Hilton Japiassu (SOMMERMAN, 2015). De maneira introdutória, a interdisciplinaridade pode ser concebida como a “interação prolongada e coordenada entre disciplinas acadêmicas, para a resolução de determinado problema complexo [...]” (SOMMERMAN, 2015, p. 208). Na abordagem interdisciplinar escolar, os conceitos mais relevantes das diferentes disciplinas podem ser inter-relacionados com o objetivo de mobilizar um conhecimento mais aprofundado, multifacetado e articulado dos conceitos (MOZENA, OSTERMAN, 2014). Fiorin (2008, p. 38) esclarece também que a interdisciplinaridade “pressupõe uma convergência, uma complementaridade, o que significa, de um lado, a transferência de conceitos teóricos e de metodologias e, de outro, a combinação de áreas”.

Embora pareça não haver resistência declarada no âmbito curricular e das práticas educacionais, não há consistência em uma metodologia – ou num conjunto delas – para a

efetivação de abordagens interdisciplinares em contexto escolar (MOZEN; OSTERMAN, 2014; 2016). Por esse motivo, a presente dissertação se articula em duas dimensões complementares. Em primeiro lugar, tem por finalidade apresentar uma abordagem de ensino do processo de fotossíntese com forte presença de interdisciplinaridade. Para tanto, recorre a um referencial teórico – este mesmo multifacetado – que se baseia na síntese da Teoria de Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, complementada pela Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica, de Marco Antônio Moreira, e modulada pela Teoria Educacional de Matthew Lipman e a Teoria Sociocultural de Lev Vygotsky. Em segundo lugar, busca apresentar uma metodologia que seja suficientemente geral para que possa ser estendida com relativa simplicidade a outras situações de ensino em que a interdisciplinaridade se fizer relevante – com os devidos ajustes e acréscimos didáticos próprios necessários em cada espaço educacional.

Desse modo, para levar a cabo seus objetivos com clareza e efetividade, a presente dissertação se estrutura da seguinte maneira: neste capítulo de Introdução, ela traz a problematização do ensino apenas disciplinar e justificação teórica. No capítulo seguinte, Referencial Teórico, a dissertação discute as diversas bases teóricas sobre as quais o trabalho se sustenta, assim como o relacionamento entre elas. O capítulo três, Fundamentação Científica, descreve os conceitos científicos discutidos na sequência didática e nas atividades de roteiros deste trabalho. Os capítulos seguintes, Metodologia, Análise da Aplicação e Considerações Finais, trazem a discussão sobre os objetivos e a metodologia do produto educacional, análise da aplicação realizada e as considerações finais sobre toda a pesquisa. Proposições acerca do futuro desenvolvimento desta pesquisa são discutidas nas conclusões.

2 Referencial Teórico

2.1 COMPLEMENTARIDADE DAS TEORIAS PSICOLÓGICAS E EDUCACIONAIS

A Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), de David Ausubel, descreve a aprendizagem significativa como o processo pelo qual uma nova informação estabelece uma relação não arbitrária com conceitos específicos e relevantes já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Esses conceitos são chamados de subsunçores, que se constituem como âncoras para a nova aprendizagem e facilitam a aprendizagem subsequente (AUSUBEL, 2003). A ancoragem, entretanto, se dá de maneira ativa, em que subsunçores e conhecimento novo transformam e se transformam mutuamente, “[...] uma vez que uma estrutura demanda modificações daquilo que se quer nela incorporar para que possa haver adequação, da mesma maneira que, do lado do objeto a ser aprendido, há também resistências hermenêuticas” (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p. 107).

Acrescenta-se, ainda, que a aprendizagem significativa se diferencia, portanto, de uma aprendizagem mecânica, que ocorre sem interação com a estrutura cognitiva do aprendiz e na qual os conceitos são assimilados arbitrariamente. “Assim, estabelecem-se dois polos opostos de um processo que, de fato, vive nas regiões intermediárias, entre uma aprendizagem totalmente significativa e uma aprendizagem absolutamente mecânica” (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p. 107).

Além disso, a aprendizagem significativa é dividida, por Ausubel (1978), em: representacional, de conceitos e proposicional (MOREIRA, 2017). Em um nível mais básico, a aprendizagem representacional é baseada nos significados dos símbolos que são importantes para o indivíduo; a aprendizagem de conceitos, por sua vez, se baseia na estrutura hermenêutica de determinada área conceitual; por fim, a aprendizagem proposicional busca interrelacionar estados de coisas que as proposições representam.

O elemento diacrônico da teoria ausubeliana decorre justamente da possibilidade de enriquecimento da estrutura cognitiva (uma estrutura hierárquica de conceitos, que são representações de experiências sensoriais do indivíduo). O processo diacrônico de assimilação estabelece, assim, conjuntos cada vez mais amplos de subsunçores capazes de induzir uma apreciação progressivamente mais profunda das experiências do indivíduo (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 1999).

No contexto da formulação original da TAS, a despeito de suas diversas vantagens imediatas, o estudante ainda permanece como elemento passivo do processo pedagógico. Talvez excessivamente preocupada com ganhos substantivos nos conteúdos precípuos e imediatos daquilo que se deseja ensinar, a proposta atribui pouca ênfase às dimensões sociais ou interacionistas. Em outras palavras, as críticas que são também fundamentais ao processo educacional usual devem ser, aqui, consideradas.

Como um primeiro passo com vistas a sanar essa situação, Moreira desenvolveu a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica, que propõe ao estudante um papel participativo na construção do conhecimento (MOREIRA, 1999). Assim, a “aprendizagem significativa crítica é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela” (MOREIRA, 2017, p. 8). A aprendizagem significativa crítica é relevante, segundo Moreira, por viabilizar ao indivíduo fazer parte substantiva da sua cultura (na medida que compreende significativamente seus conceitos) sem ser subjugado por ela (tornando-se capaz de se contrapor criticamente a esses conceitos).

Um desenvolvimento ulterior é fornecido por Matthew Lipman (1995). De fato, o autor, partindo de um referencial de Teoria da Educação (SILVA FILHO *et al.*, 2021; SILVA FILHO *et al.*, 2022; FERREIRA *et al.*, 2020; FERREIRA *et al.*, 2021a; FERREIRA *et al.*, 2021b; FERREIRA *et al.*, 2022a; FERREIRA *et al.*, 2022b), distinto daquele da abordagem de Ausubel, mais focada nos processos básicos da aprendizagem, busca fortalecer e aproximar o processo de ensino-aprendizagem da realidade da sala de aula, ao procurar caracterizar adequadamente o próprio conceito de aprendizagem significativa, agora a partir de uma Teoria da Educação.

Nesse sentido, Lipman (1995) sugere tal caracterização a partir das categorias do Pensar, indicadas como sendo: Pensar Crítico (relacionado com as nossas habilidades de julgar, resolver problemas, tomar decisões, e a aprendizagem de novos conceitos); Pensar Criativo (capacidade de acessar outras dimensões do humano, em particular por derivar dos estímulos sensoriais, de caráter assimilativo, ou de invenções, de caráter manipulativo) e Pensar Cuidadoso (relacionado ao planejamento das ações, com base naquilo que o indivíduo valoriza na construção do raciocínio). Juntas, essas categorias formam o Pensamento de Ordem Superior (LIPMAN, 1995).

Lipman vai ainda mais longe ao indicar as habilidades que estariam vinculadas aos diferentes pensares já assinalados. Tais habilidades seriam, segundo Silva Filho et al. (2021a) e Silva Filho e Ferreira (2018), a:

1. *habilidade de raciocínio*: capacidade de haurir conclusões ou inferências a partir de conhecimentos prévios, de modo a garantir coerência e sistematicidade ao discurso;
2. *habilidade de formação de conceitos*: capacidade de identificar vínculos conceituais e estabelecer relações entre conceitos, de modo a formar conceitos mais complexos;
3. *habilidade de investigação*: capacidade de alcançar as soluções dos problemas postos pela realidade, e está fortemente relacionada com a capacidade de adotar o método científico;
4. *habilidade de tradução*: capacidade de compreensão e de reprodução, em sua própria linguagem, de discursos escritos ou falados.

Com isso, a Teoria da Educação de Lipman estabelece uma ponte entre os desígnios de uma Teoria Psicológica e comportamentos concretos em sala de aula (habilidades), inclusive mensuráveis como variável latente. Essa não é uma ampliação trivial da TAS, pois não só caracteriza e concretiza o significado de Aprendizagem Significativa, como também estabelece como mensurável, ainda que como variável latente, o todo do aprendizado. Apresenta, assim, uma solução, ao menos parcial, para um dos grandes problemas da Teoria da Aprendizagem Significativa, que se refere à avaliação da dita aprendizagem em seu aspecto *significativo*.

Lipman (1995) propõe também as chamadas *Comunidades de Investigação* como uma proposta para desenvolver dialogicamente as habilidades mencionadas, assim como uma prática concreta em sala de aula. Tais comunidades podem ser relacionadas diretamente com a perspectiva ausubeliana, uma vez que podem, inicialmente, ser usadas para investigar os conteúdos presentes na estrutura cognitiva dos alunos, utilizando, para tanto, as próprias suposições destes, representando, pois, uma maneira dialógica de levantamento de subsunçores. Estabelece também que o papel dessas comunidades – já com a presença mais ativa e importante do professor – é o de servir, também dialogicamente, como desenvolvidora dos organizadores prévios relativos aos subsunçores já levantados.

Outra dimensão que a abordagem ausubeliana deixa em aberto é aquela que se refere aos processos interacionistas envolvidos na aprendizagem. Lipman tece considerações

consistentes sobre o tema, mas é em Vygotsky que se encontra sua tematização mais profícua. Acrescenta-se que Moreira (1999; 2017) também aponta para essa lacuna na obra ausubeliana.

A partir desta percepção, Moreira propõe a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica, com vistas a introduzir protagonismo ao aprendiz (MOREIRA, 1999), sob uma clara noção de pertencimento e afastamento crítico a um conhecimento cultural. Propõe nove princípios para favorecer a efetivação dessa perspectiva a saber:

- (i) princípio da interação social e do questionamento;
- (ii) princípio da não centralidade do livro de texto;
- (iii) princípio do aprendiz como investigador;
- (iv) princípio do conhecimento como linguagem;
- (v) princípio da consciência semântica;
- (vi) princípio da aprendizagem pelo erro;
- (vii) princípio da desaprendizagem;
- (viii) princípio da incerteza do conhecimento; e
- (ix) princípio da diversidade de estratégias de ensino.

O fundamento teórico de tal perspectiva deve ser buscado em uma teoria que considera tais elementos como fundamentais, como ocorre com domínio da formação conceitual e de suas relações com a linguagem, como a de Vygotsky.

De fato, a despeito de se considerar, em alguma medida, tributário das ideias de Vygotsky, Ausubel manteve-se afastado de diversos fundamentos dessa teorização, sobretudo no que concerne à questão da assimilação pelas trocas sociais. Vygotsky (1988, p. 26) por sua vez, afirma que “[...] as mais elevadas funções mentais do indivíduo emergem de processos sociais”. Declara também que os processos sociais e psicológicos humanos “[...] se firmam por meio de ferramentas, ou artefatos culturais, que medeiam a interação entre estes indivíduos e o meio físico” (p. 28), sendo que a mais fundamental dessas ferramentas é a linguagem.

Assim, para Vygotsky, a linguagem é um elemento transformador da mente dos indivíduos. Na base disso, no âmbito escolar, as relações entre professor e estudante devem

ser construídas em ambiente em que ocorre a comunicação, de modo que o indivíduo interaja com os problemas, assuntos e informações do meio cultural em que está inserido.

Tal abordagem permite a Vygotsky detalhar o processo de aquisição significativa de conhecimentos, lançando mão da noção de Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI). Essa região potencial se define como a distância entre uma zona de desenvolvimento real, na qual o aluno já consegue resolver problemas (agir autonomamente), e uma zona de desenvolvimento potencial, na qual o aluno resolve um problema com a ajuda do professor ou de alunos mais experientes – formulação na qual já se percebe claramente a dimensão sociointeracionista de sua abordagem.

Assim como Ausubel e grande parte dos psicólogos de matriz cognitivista, Vygotsky atribui grande relevância aos conhecimentos prévios dos alunos, que chamou de *conhecimentos espontâneos*. Eles servem para que os alunos construam hipóteses e solucionem problemas, assim como determinam os pensamentos estruturados quanto a um conjunto de habilidades linguísticas e, portanto, mentais.

Lipman, com sua Teoria da Educação, trabalha nessas duas perspectivas psicológicas, que diríamos complementares, e desenvolve um *corpus* que dialoga de maneira natural com a perspectiva de Moreira e Ausubel a respeito da aprendizagem significativa e crítica, na qual o sociointeracionismo de Vygotsky é incorporado de forma mais natural. Lipman o faz explicitando, em termos procedurais ou praxiológicos, e focando na ideia de habilidades, não tratadas na perspectiva de Ausubel, mas delineadas no prisma de Vygotsky. Assim, o amálgama realizado neste trabalho busca, em cada uma das diferentes abordagens teóricas, seus principais focos teóricos e procedurais, na tentativa de construir uma perspectiva teórica que seja tão abrangente e inclusiva quanto pretende ser no horizonte de uma abordagem interdisciplinar.

2.2 INTERDISCIPLINARIDADE

O objetivo geral da pesquisa aplicada e da sequência didática que é o foco deste trabalho é a busca pela aprendizagem do conceito de fotossíntese de forma profunda e ampla, a partir do uso da interdisciplinaridade como uma ferramenta de associação entre seus principais conceitos. Dentre eles, destacam-se aqueles que se apresentam normalmente no

campo das diferentes disciplinas, particularmente na física, na química e na biologia, na etapa do ensino médio.

Segundo Sommerman, a abordagem da interdisciplinaridade adota as seguintes etapas:

[...] integração dos diferentes discursos; criação de uma terminologia comum; ou um quadro conceitual comum (formando pontes entre as disciplinas); formulação de uma metodologia comum, transcendendo ou na interface das epistemologias de diferentes disciplinas; geração de um conhecimento novo (SOMMERMAN, 2015, p. 208).

Tais etapas foram integralmente seguidas no presente trabalho. Foram complementadas, ainda, pelas considerações de Repko (2008), que apresenta os seguintes passos para se desenvolver uma abordagem que objetiva um ensino interdisciplinar:

[...] identificar os conflitos entre os saberes das disciplinas envolvidas e localizar o motivo desses conflitos; criar um fundamento comum entre esses saberes ou insights; utilizar este fundamento comum para integrar os saberes ou insights conflitivos; produzir uma compreensão interdisciplinar do problema e testá-la (REPKO, 2008, p. 247).

Esses são os fundamentos teóricos que sustentam a abordagem interdisciplinar desenvolvida neste estudo. A relevância dessa abordagem não é quantitativa, isto é, abordar mais componentes disciplinares – o que vai ao encontro das propostas teóricas discutidas no tópico anterior. A potencialidade está em associar diferentes componentes, previamente dispostos apenas disciplinarmente, a partir de um eixo temático comum, com integração discursiva, epistemológica, conceitual e metodológica, dirigida, no caso, pelo processo de fotossíntese.

Para concretizar os objetivos de ensino, organizamos o conteúdo em uma estrutura horizontal e vertical, hierarquizados pelos princípios dos mapas conceituais, de Joseph D. Novak – discutidos na seção seguinte.

2.3 MAPAS CONCEITUAIS DE JOSEPH D. NOVAK

A ideia do uso de mapas conceituais como ferramenta didática no processo de educação foi proposta por Joseph D. Novak e colaboradores (1996; 2010). Tais mapas não buscam classificar conceitos, mas relacioná-los e hierarquizá-los (MOREIRA, 2005). Moreira destaca ainda alguns princípios importantes da construção dos mapas conceituais: (a) identificação dos conceitos-chaves; (b) hierarquização dos conceitos, posicionando os mais

gerais no topo do mapa; (c) conexão pelas linhas dos conceitos com palavras-chave; (d) evitação de indicações triviais; (e) busca de simetria na construção do mapa conceitual; (f) não descurar de seu caráter dinâmico; (g) compartilhamento e exame dos mapas criados por diferentes pessoas (MOREIRA, 2005).

Do ponto de vista da interdisciplinaridade, que é o foco deste estudo, um mapa conceitual apropriado deveria ser aquele que permitisse a um(a) docente fazer seu uso não apenas para a disciplina de Física, mas transversalmente a qualquer outra cujo conteúdo corrobore a resolução ou a ressignificação de uma problemática a partir de integração discursiva, uma vez que esse recurso pode abarcar elementos históricos, sociológicos, filosóficos e outros. Com isso, pode, provavelmente, servir igualmente para outras disciplinas na perspectiva de sua articulação com a ciência em geral e com a Física em particular – sobretudo na dimensão propriamente epistemológica.

As razões para o uso de mapas conceituais na construção de uma abordagem interdisciplinar em Física (ou Ciências) não se limita apenas ao caráter horizontal da organização conceitual, que operacionaliza imediatamente a integração dos conteúdos. Também é relevante o fato de que essa estratégia operacionaliza todas as outras categorias da definição de interdisciplinaridade já mencionadas anteriormente – eis a potencialidade desse recurso na didática.

A criação de um quadro conceitual comum é igualmente imediata, uma vez que se busque um mapa conceitual fortemente conectado, é em que as conexões conceituais se adensam entre os temas de cada uma das disciplinas. Em contraposição, um mapa conceitual é capaz de ser dividido em submapas apartados uns dos outros, indicando que a adoção de uma perspectiva interdisciplinar não abole a possibilidade da disciplinaridade, mas apenas a insere em um contexto mais amplo. Por outro lado, é o caráter de forte conexão que garante à organização da abordagem uma perspectiva, de fato, interdisciplinar.

Em retroalimentação à perspectiva ausubeliana, é possível imaginar que um mapa conceitual assim construído permitirá um número muito maior de possibilidades de acesso ao conteúdo que se deseja ensinar. Com efeito, seu uso pode alargar o conjunto particular de subsunçores envolvidos no assunto, uma vez que podem ser hauridos não apenas da disciplina em questão, mas também das outras conceitualmente envolvidas. Isso implica um aumento expressivo da possibilidade de construção de âncoras cognitivas para o estabelecimento do aprendizado.

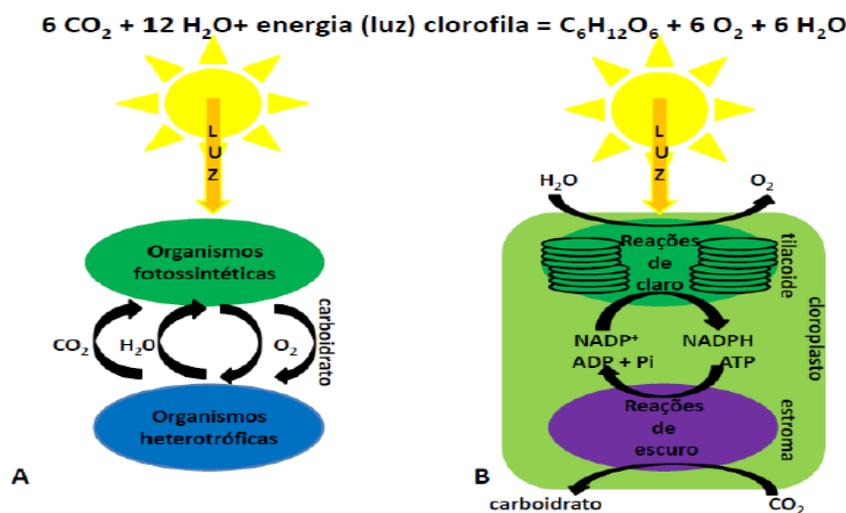
Esta dissertação propõe, portanto, uma metodologia pedagógica interdisciplinar que associa Teorias de Aprendizagem a Teorias Educacionais na aplicação em aulas de ensino médio de escolas públicas e particulares. Tem, como finalidade, qualificar processos de ensino e aprendizagem, refletir acerca da sua efetividade e, a partir de seus resultados, auxiliar o trabalho de outros docentes em demandas equivalentes ou análogas.

3 Fundamentação científica

Este capítulo apresenta a fundamentação científica usada na construção da sequência didática (SD) e nas atividades dos respectivos roteiros, apresentados nesta dissertação. Os principais conceitos discutidos nos livros de David L. Nelson, Michael M. Cox e Herch Moysés Nussenzveig (NELSON, D. L.; COX, M. M, 2011, NUSSENZVEIG, M., 2010) foram adaptados para o nível escolar adequado. O objetivo geral deste estudo teórico dos fundamentos científicos é criar o conhecimento profundo do processo de fotossíntese a partir de uma perspectiva interdisciplinar.

A fotossíntese é um processo de captura de energia luminosa, ou seja, energia solar, pelos organismos fotossintéticos e de conversão desta energia em energias química e biológica. Este processo é fundamental para a manutenção da vida no planeta Terra. A fotossíntese não somente é uma fonte importante de oxigênio, um dos gases cruciais mantidos na atmosfera, mas é a base da maior parte das cadeias alimentares e da energia biológica. De fato, os organismos fotossintéticos absorvem a energia solar e logo depois sintetizam as moléculas de ATP (adenosina trifosfato) e NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato), como mostrado na **Figura 1**.

Figura 1. (A) A energia solar serve como uma fonte poderosa de toda a energia química e biológica. Os organismos fotossintéticos utilizam a energia da luz para produzir carboidratos e para liberação do O₂ pela fotólise de água, os quais vão ser utilizados por organismos heterotróficos. (B) As reações luminosas da fotossíntese geram NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato) e ATP (adenosina trifosfato) ricos em energia e produzem oxigênio, gás mantido na atmosfera, às custas da energia solar. As moléculas NADPH e ATP produzidas nas reações de claro são usadas nas reações de assimilação de carbono, que ocorrem na fase de escuro, para reduzir o CO₂ e formar carboidrato. Adaptada de Nelson e Cox (2011, p. 742-743).



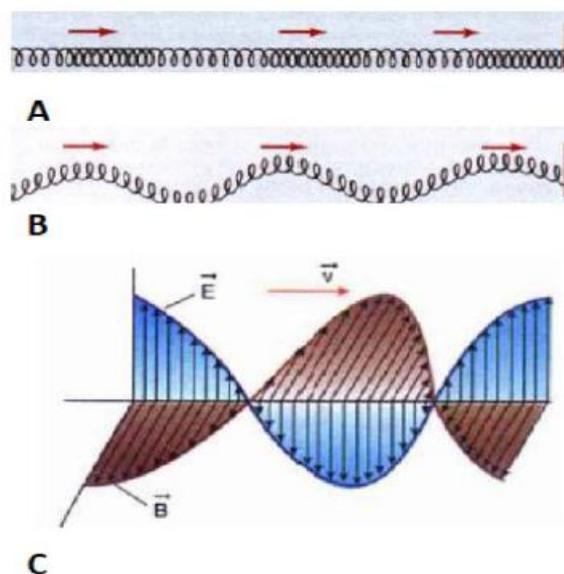
Fonte: a autora.

Essas moléculas, ATP e NADPH, são utilizadas pelos organismos para formar compostos orgânicos a partir de gás carbônico e água. Ao mesmo tempo, durante essas reações químicas, o O_2 é liberado na atmosfera. Heterótrofos aeróbicos, os organismos com respiração aeróbica e que não produzem seu próprio alimento, usam o oxigênio liberado para degradação dos produtos orgânicos em CO_2 e H_2O . Desse modo, o gás carbônico volta para atmosfera de novo e pode ser utilizado pelos organismos fotossintéticos.

É relevante ressaltar que a energia solar fornece não somente a força para a ciclagem contínua de gás carbônico e oxigênio na biosfera, mas a fonte de substratos reduzidos, como a glicose, necessários para os organismos não fotossintéticos.

Além disso, a energia solar é a radiação que se propaga na forma das ondas eletromagnéticas. Ela é composta de vários comprimentos de onda, em que somente uma parte compõe a luz visível. De fato, a onda é uma perturbação que se propaga, no espaço ou em meios materiais, transportando energia. As ondas podem ser classificadas de acordo com a direção de propagação: longitudinal, como, por exemplo, o som, ou transversal, como, por exemplo, a luz. Uma onda longitudinal é uma onda com a vibração paralela à direção de propagação, como mostrado na **Figura 2-A**.

Figura 2. (A) Representação esquemática da onda longitudinal (por exemplo som), a vibração dela é paralelo à direção de propagação da onda. (B) Representação esquemática da onda transversal (por exemplo luz), a vibração dela é perpendicular à direção de propagação da onda. (C) Representação esquemática de onda eletromagnética.

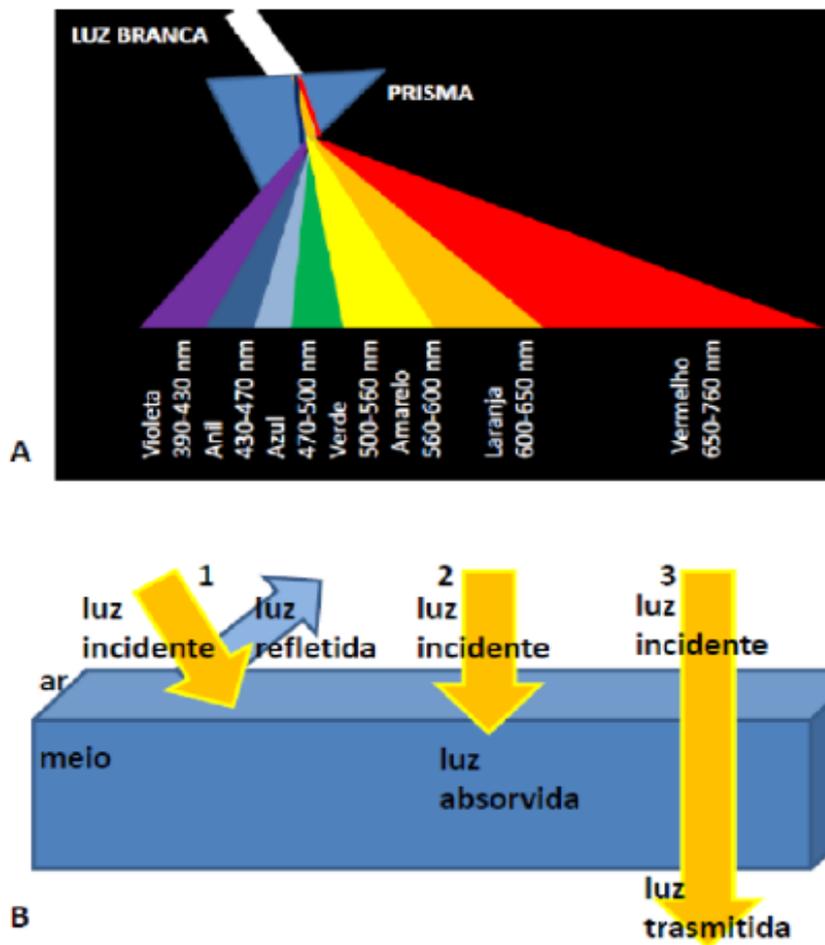


Fonte: Adaptada do Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016, p. 197) e Bonjorno, Ramos e Sampaio (2013, p. 199).

Diferentemente de uma onda longitudinal, transversal é uma onda com a vibração perpendicular à direção de propagação dela (**Figura 2-B**).

As ondas podem ser classificadas (entre outras possibilidades) em mecânicas ou eletromagnéticas. As mecânicas são ondas que se propagam nos meios materiais, como, por exemplo, o som. As eletromagnéticas são resultado dos campos elétrico e magnético, como, por exemplo, nos fenômenos luminosos (**Figura 3**).

Figura 3. (A) Representação esquemática de espectro da luz visível. (B) Esquema de luz incidente sofrendo reflexão (1), absorção (2) e transmissão (3).



Fonte: Adaptada do Máximo, Guimarães e Alvarenga (2016, p. 125, 153, 164).

Vale ressaltar, que as ondas podem ser caracterizadas por grandezas como amplitude, frequência, período, velocidade e comprimento de onda. A amplitude (A) de uma onda é determinada como a distância entre o ponto de repouso dela e o ponto máximo da onda

(crista) (**Figura 4**). A frequência (f) pode ser determinada como número de oscilações (N) de uma onda por intervalo de tempo (t), ou seja:

$$f = N/t. \quad (1.1)$$

Normalmente, o período (T) correspondente ao tempo necessário para uma oscilação completa:

$$T = 1/f. \quad (1.2)$$

É relevante acrescentar, que a frequência de uma onda não depende do meio de propagação, somente da frequência de fonte produtora.

A distância percorrida por uma onda (ΔS) durante um intervalo de tempo (Δt) é chamada a velocidade (v) de propagação de uma onda. Esta relação é representada pela equação

$$v = \Delta S/\Delta t. \quad (1.3)$$

Interessante notar que, se a mesma fonte é colocada em meios diferentes, as ondas produzidas vão ter, em geral, velocidades de propagação diferentes, é a velocidade de propagação depende do meio.

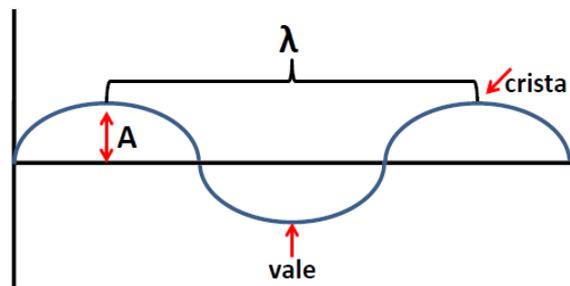
Por último, o comprimento (λ) de uma onda é determinado como a distância entre pontos máximos (cristas) ou pontos mínimos (vales) sucessivos de uma onda (**Figura 4**) e pode ser também caracterizada como a distância que a onda percorre durante um período T , sendo, pois, representada pela equação

$$\lambda = vT, \quad (1.4)$$

ou, como $T = 1/f$, pela equação

$$\lambda = v/f. \quad (1.5)$$

Figura 4. Uma onda é constituída de cristas e vales.



Fonte: a autora.

Um dos exemplos de comportamento ondulatório mais importante é uma onda eletromagnética. A área da física que estuda este tipo de onda é chamada eletromagnetismo. O trabalho mais notável no campo foi realizado na segunda metade do século XIX pelo físico James C. Maxwell. Apoiando-se nas leis experimentais descobertas por Coulomb, Ampère e Faraday e renovando sua concepção. James C. Maxwell estruturou um conjunto de equações que sintetizam todos os conhecimentos sobre eletromagnetismo adquiridos àquela época. A consequência mais importante obtida por meio dessas equações foi a previsão da existência das ondas eletromagnéticas.

É importante ressaltar de novo, que ao contrário das ondas mecânicas, uma onda eletromagnética não necessita de um meio material para se propagar. Como um campo elétrico e um campo magnético podem ser estabelecidos mesmo em um espaço vazio, uma onda eletromagnética poderá se propagar no vácuo.

Um dos resultados de maior repercussão obtido por Maxwell usando suas equações foi a determinação do valor da velocidade de propagação de uma onda eletromagnética. Seus cálculos mostraram que, no vácuo, estas ondas deveriam se propagar com uma velocidade cujo valor é, aproximadamente, $3,0 \times 10^8$ m/s. A importância desse resultado se deve ao fato de que esse valor coincide com a velocidade de propagação da luz no vácuo. Essa concordância levou Maxwell a suspeitar que a luz fosse uma onda eletromagnética. Atualmente, sabemos que a suspeita de Maxwell estava correta: a luz é, realmente, uma onda eletromagnética.

O olho humano só consegue distinguir as ondas que compõem a luz visível ou luz branca. Ao passar por um prisma, a luz branca é decomposta em luzes de sete cores, cada uma

abrangendo determinados comprimentos de onda de 390 até 760 nm (**Figura 3-A**). O fenômeno da separação da luz branca em várias cores é denominado dispersão da luz. Cada cor se desvia com uma frequência diferente, com a cor vermelha sofrendo menor desvio e a violeta sendo a mais desviada de todas.

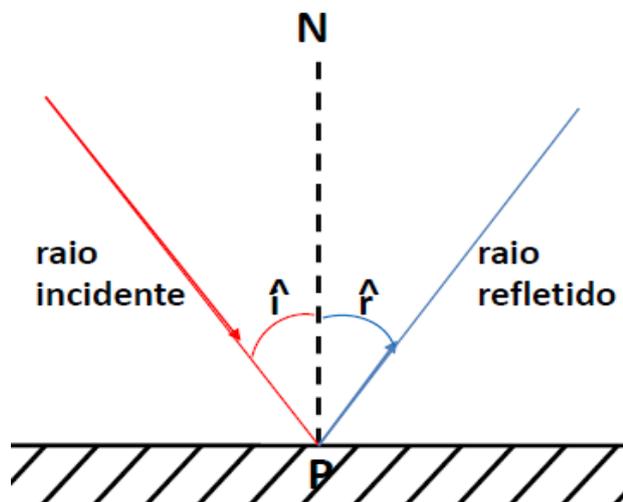
Outro fenômeno luminoso bem conhecido e estudado é a transmissão da luz é um dos fenômenos ópticos quando ela atravessa uma superfície ou objeto, separando-se em três tipos: direta, difusa ou seletiva (**Figura 3-B**). A direta é a transmissão quando a luz atravessa uma superfície ou objeto transparente sem mudança de direção ou qualidade. A difusa acontece quando a luz é desviada em muitas direções depois de atravessar uma superfície semitransparente ou transparente com algum tipo de textura. Todavia, quando a luz atravessa um objeto colorido, acontece a transmissão seletiva. Nessa situação, parte da emissão absorvida e outra parte vai ser transmitida.

A luz só pode ser utilizada na fotossíntese graças à presença de pigmentos especializados que conseguem captar a energia luminosa. Os pigmentos têm a propriedade de absorver apenas alguns comprimentos de onda e refletir os demais (**Figura 3-B**). A absorção é um processo físico muito importante na fotossíntese, pelo qual a luz que incide sobre um corpo e é convertida em energia útil a este corpo. A explicação deste fenômeno demanda a teoria corpuscular da luz, segundo a qual a luz comporta-se como um conjunto de partículas conhecidas como fótons. Os fótons absorvidos são aqueles que apresentam uma quantidade de energia exatamente igual à diferença de energia entre dois ou mais estados excitados dos elétrons. Quando um fóton é absorvido, um elétron na molécula que absorve é elevado para um nível de maior energia. A energia (E) de um único fóton de luz é dada pela equação de Planck, onde h é a constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s), v é a frequência da luz em ciclos/s, c é a velocidade da luz ($3,0 \times 10^8$ m/s) e λ é o comprimento de onda em metros:

$$E = hv = hc/\lambda. \quad (1.6).$$

A cor do pigmento é determinada pelo comprimento de onda refletida. Esse fenômeno óptico da luz está caracterizado pelo processo em que um feixe (ou raio) de luz incide (raio incidente) sobre uma superfície e volta (raio refletido) ao seu meio de origem. Esse fenômeno obedece às leis de reflexão, segundo as quais: (a) o raio incidente, a normal (NP) à superfície refletora no ponto de incidência e o raio refletido estão situados em um mesmo plano e (b) o ângulo de incidência (ângulo i) é igual ao ângulo de reflexão (ângulo r) (**Figura 5**).

Figura 5. Representação esquemática de um raio da luz incidindo e refletindo sobre uma superfície lisa.

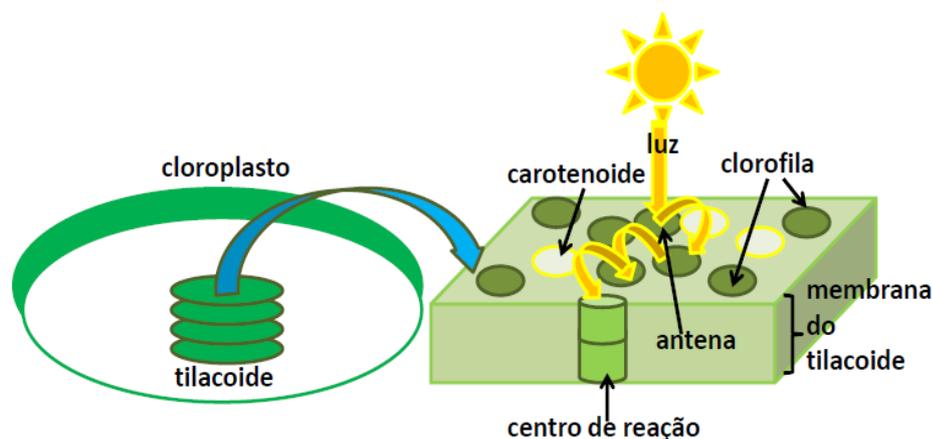


Fonte: a autora.

Um pigmento que reflete a luz verde e absorve com maior eficiência os comprimentos de onda das luzes azul e vermelha é a clorofila. Além da clorofila, existe o pigmento chamado carotenoide, que reflete a luz amarela e desempenha um papel assistente no processo de fotossíntese. As moléculas dos pigmentos fotossintetizantes, nos eucariontes, ficam nas membranas de tilacóides, partes internas dos organelos chamados cloroplastos (**Figura 1-B**).

Os pigmentos fotossintetizantes (carotenoides e clorofilas) presentes nas membranas dos tilacóides estão organizados em conjuntos chamados antenas, funcionando como captadores e transportadores de energia luminosa. Parte das clorofilas, chamadas de centro de reação, são excitadas pela energia da luz transferida pelas antenas e ativadas para conversão de energia luminosa para energia química. Cada antena com seu centro de reação forma um fotossistema (**Figura 6**).

Figura 6. Representação esquemática do fotossistema nas membranas tilacoides. As moléculas de pigmentos (clorofila) que absorvem fótons e convertem em energia química são associadas ao centro de reação. As outras moléculas de pigmento (clorofila e carotenoide) que absorvem a energia luminosa e transferem ao centro de reação são chamadas antenas.



Fonte: a autora.

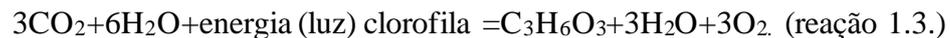
Nos tilacóides acontece primeira etapa - a etapa fotoquímica da fotossíntese, consistindo das reações de claro (em presença de luz): a fotofosforilação (que é a adição de fosfato (Pi) em presença de luz) e a fotólise de água (que é quebra da molécula de água em presença de luz). As reações de claro são representadas pela seguinte reação:



A segunda etapa é a etapa química, que ocorre no estroma do cloroplasto e as reações que ocorrem nesta etapa são chamadas de reações de escuro (sem necessidade direta de luz). Nela há participação do gás carbônico, que recebe o hidrogênio transportado pelas moléculas de NADPH provenientes da fotólise da água. Há formação de carboidratos, em um processo chamado de fixação do carbono, pelo qual este elemento químico passa a integrar as substâncias orgânicas do corpo dos seres vivos. As reações de escuro são representadas pela seguinte reação:



Finalmente, as reações de claro e escuro são sumarizadas pela reação geral da fotossíntese:



Importante destacar, no entanto, que os conceitos adaptados das diferentes áreas científicas e apresentados neste capítulo para construção da SD são divididos pelas aulas, mas não pelas disciplinas ensinadas na escola. Deste modo, o conteúdo está conectado por meio dos níveis horizontais e verticais e no final se materializará na forma concreta dos mapas conceituais construídos por estudantes com supervisão do(a) professor(a). Estes pontos são discutidos na metodologia deste trabalho.

4 Metodologia

O objetivo geral desta pesquisa é criar o conhecimento profundo do processo de fotossíntese a partir de uma perspectiva interdisciplinar e de mediações que visem à aprendizagem significativa, tendo por recurso metodológico os mapas conceituais. Para tanto, adotamos a seguinte estratégia, que, em alusão à teoria, potencializa a perspectiva interdisciplinar:

1. *identificar e localizar* os conflitos entre os conceitos e a terminologia da física, da química e da biologia, envolvidos no estudo da fotossíntese;
2. *desenvolver* uma terminologia harmônica (o processo de fotossíntese);
3. *produzir* uma compreensão interdisciplinar do processo de fotossíntese – adaptado de Repko (2008, p. 247);
4. *identificar* a estrutura conceitual do processo de fotossíntese e organizar tais conceitos, partindo dos mais gerais até os mais específicos;
5. *descobrir* os subsunçores (conhecimento-âncora) desse tópico de estudo;
6. *diagnosticar* a presença ou ausência dos subsunçores relevantes dos conceitos associados ao processo de fotossíntese, pela construção dos mapas conceituais pelos(as) discentes;
7. *construir* os mapas conceituais do processo de fotossíntese e apresentar o conteúdo das aulas;
8. *avaliar* o conhecimento desenvolvido, pelos estudantes, com recurso aos mapas conceituais.

Esta proposta metodológica foi concretizada na sequência didática descrita a seguir.

4.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A seguir, apresentamos a proposta de Sequência Didática (SD) para o ensino e a aprendizagem interdisciplinar de processo de fotossíntese no ensino médio, que se constitui na concretização das diretrizes metodológicas mencionadas anteriormente.

A perspectiva da interdisciplinaridade foi escolhida para construir um conhecimento e uma aprendizagem mais amplos e profundos do processo de fotossíntese e para demonstrar as

relações entre os conceitos e os fenômenos que usualmente são compartimentados em áreas diferentes no ensino tradicional, como a física, a química e a biologia. Essa proposta de SD é baseada nos conceitos principais de: aprendizagem significativa, de Ausubel (1978, 2003); significativa crítica, de Moreira (2017); e Pensamento de ordem superior, de Lipman (1995); e na construção do ambiente cultural facilitador de interações sociais, da teoria sociointeracionista, de Vygotsky (1988). Essas articulações foram apresentadas e mobilizadas em diversos trabalhos na área de ensino de física (SILVA FILHO *et al.*, 2021; SILVA FILHO *et al.*, 2022; FERREIRA *et al.*, 2020; FERREIRA *et al.*, 2021a; FERREIRA *et al.*, 2021b; FERREIRA *et al.*, 2022a; FERREIRA *et al.*, 2022b).

A SD foi construída e planejada para ter um total de três aulas consecutivas, cada qual com a duração de 50 (cinquenta) minutos. A primeira delas foi dedicada à detecção de subsunçores “nas estruturas cognitivas dos estudantes” relativamente ao tema da fotossíntese. Também serviu para explicação do conceito e da utilidade dos mapas conceituais de Novak, assim como de suas regras de construção e, de fato, para a construção de um primeiro mapa, chamado Mapa Conceitual Inicial (MCI) pelos alunos (exemplo conforme o apêndice A, **Figura 8**). Este ponto é relevante, já que se mostrará fundamental para o processo avaliativo posterior.

A segunda aula foi proposta com o objetivo de amalgamar os conhecimentos das diferentes áreas simultaneamente, vinculando-os aos subsunçores detectados na primeira aula. Nesta aula, a professora indica a possibilidade de se aprender o processo de fotossíntese a partir de sua compreensão nas escalas micro e macrosocial. A construção de um Mapa Conceitual Final (MCF) (exemplo conforme com o apêndice B- **Figura 11**) também se iniciou nessa segunda aula; com os direcionamentos da professora, os estudantes organizaram e hierarquizaram os conceitos segundo as habilidades de pensamento propostas por Lipman. Tais procedimentos foram desenvolvidos com o uso das Comunidades de Investigação, como em Silva Filho e Ferreira (2018) e Ferreira *et al.* (2021), que forneceram um ambiente cultural e social rico para a interação entre os estudantes e a professora na forma de discussões, diálogos e questionários mediados pela professora (questionário-guia, conforme o apêndice A).

A terceira aula teve como objetivo a avaliação da aprendizagem e do ensino do processo de fotossíntese. Ela foi baseada na análise da evolução da construção do mapa conceitual inicial (desenvolvida pelos estudantes na primeira aula) em relação a um mapa

conceitual final (que foi construído pelos estudantes com mediação da professora na segunda aula) e contida a análise dos indicadores específicos, tais como o desenvolvimento conceitual, a capacidade de articulação de conceitos e a integração discursiva que poderia levar à solução de problemas. Assim, a terceira aula foi planejada para corrigir eventuais inadequações conceituais que poderiam surgir durante o processo de aprendizagem, assim como para a análise de *feedback* (ou devolutivas) dos alunos acerca do método e da ferramenta de aprendizagem. Teve, portanto, o propósito de avaliar o processo de sistematização do conhecimento já desenvolvido.

A organização do plano de cada aula para a sequência didática proposta foi adaptada da proposta de Silva Filho e Ferreira (2019). Na tabela 1, apresenta-se o plano da SD.

Tabela 1. Sequência didática proposta para o ensino e aprendizagem, voltado para o ensino médio, do processo de fotossíntese.

Identificação da Sequência Didática	
Nível de ensino	Médio (2º ou 3º ano), de acordo com Currículo em Movimento da Educação Básica Ensino Médio ²
Instituição	Escola privada ou pública, cursos integrados com ensino médio
Natureza	Sequência didática (aulas 1, 2 e 3)
Modalidade	Presencial
Área de conhecimento	Interdisciplinar (sobretudo Física, Química e Biologia)
Tema da aula	Ondas (2º ano) ou Eletromagnetismo (3º ano)
Tipo predominante	Teórico
Duração prevista	50 minutos/por aula
Título da aula 1	<i>O processo de fotossíntese é fonte de vida</i>

² Disponível em: http://paulofreire.se.df.gov.br/ead/pluginfile.php/7088/mod_resource/content/0/5-_Currículo_em_Movimento_-_Ensino_Medio.pdf. Acesso em: 10 set. 2021.

Objetivos Gerais	<p>a) Construção dos primeiros conceitos gerais do processo de fotossíntese: a importância da energia eletromagnética, solar, o processo de conversão de energia solar na energia química e biológica, resultados da fotossíntese e importância deles para os seres vivos;</p> <p>b) Explicação das etapas principais de construção de mapas conceituais;</p> <p>c) Identificação dos subsunçores possíveis para uso no futuro nas aulas seguintes, por meio do estudo de MCI, diálogos com alunos e questionário.</p>
Objetivos específicos	<p>I. Explicar as etapas principais de construção de mapas conceituais;</p> <p>II. Usar a ferramenta como um mapa conceitual no exemplo construído com professor(a);</p> <p>III. Identificar os subsunçores por meio da construção de mapas conceituais dos conhecimentos de física, química e biologia, construídos pelos alunos na primeira parte da aula;</p> <p>IV. Familiarizar os(as) alunos(as) com os conceitos principais do processo de fotossíntese: a energia solar como a fonte elementar de toda a energia química e biológica, as reações luminosas da fotossíntese geram moléculas ricas em energia que servem como combustível para outras reações, às custas da energia solar e importância deles para os seres vivos e para a atmosfera da Terra;</p> <p>V. Discutir os conceitos gerais do processo de fotossíntese que foram aprendidos antes dessa aula e os estudados durante a primeira aula.</p>
Conhecimentos	Os conceitos gerais do processo de fotossíntese: a importância da energia eletromagnética, solar, o processo de conversão de energia solar na energia química e biológica, resultados da fotossíntese e importância deles para os seres vivos e a Terra (Figura 1).
Metodologia	<p>Construção de MCI (cf. apêndice A, Figura 9) por grupos de 3-5 estudantes, com mediação da professora, que servirá como método de identificação dos subsunçores.</p> <p>Discussão dos conceitos gerais do processo de fotossíntese por meio de diálogos com os estudantes ou seus grupos.</p> <p>Discussão das respostas do questionário, que servirá como guia de aprendizagem de novos conceitos.</p>
Recursos necessários	Quadro branco, marcadores, livros didáticos, computador e projetor multimídia.
Proposta de avaliação	Avaliação preliminar: diálogo e questionário. Importância de participação do(a) aluno(a) de modo individual ou em grupo.
Leituras complementares	<p>LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, p.179-192, 2008.</p> <p>NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759.</p> <p>NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica. v. 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.</p>

Referências	<p>MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. Física - Ensino Médio - volume 2. 2. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2016;</p> <p>BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; SAMPAIO, L. A. A. Física: Eletromagnetismo e Física Moderna - Ensino Médio - volume 3. 2. ed.; São Paulo: FTD, 2013.</p> <p>LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2008, p. 179-192.</p> <p>NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759</p> <p>NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica - volume 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.</p>
Título da aula 2	<i>O papel da luz, as reações químicas e as estruturas biológicas no processo de fotossíntese oxigênica</i>
Objetivos gerais	(a) As relações cruciais entre os conhecimentos das áreas previamente separadas no ensino tradicional.
Objetivos específicos	<p>I. Demonstrar as relações importantes entre os conhecimentos que, usualmente, são ensinados separados pelas áreas de ciência no ensino tradicional: física, química e biologia.</p> <p>II. Hierarquizar e organizar os conhecimentos novos, assimilando com conhecimento prévio com suporte de construção de um mapa conceitual final (MCF).</p> <p>III. Demonstrar a importância de relações horizontais e verticais do conhecimento assimilado para aprendizagem profunda do processo de fotossíntese.</p>

<p>Conhecimentos</p>	<p>Relações interdisciplinaridades horizontais, primeira camada (1º “horizonte”), os conhecimentos/conceito gerais: a energia da luz absorvida pela seres fotossintetizantes e usada para dirigir as reações que servem para ciclagem dos gases da atmosfera e produção dos carboidratos; segunda camada (2º “horizonte”) os conhecimentos/conceitos subordinados intermediários: a energia da luz é a energia solar, radiação solar que alimenta as reações de claro e escuro, que acontecem em organismos fotossintetizantes nas organelas celulares especiais chamadas cloroplastos; terceira camada (3º “horizonte”) os conhecimentos/conceitos específicos: a partícula da luz chamada fóton fornece energia para etapa inicial da fotossíntese oxigênica, esta energia solar está absorvida pelos fotopigmentos, clorofilas que se localizam nas tilacóides do cloroplasto e inicial reações de claro, fotofosforilação e fotólise de água e fornecem a energia química na forma das moléculas NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato) e ATP (adenosina trifosfato) para dirigir a reação de escuro, que é a reação de fixação do carbono.</p> <p>Lista dos conhecimentos interdisciplinares no estudo da importância da luz para os organismos vivos, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● as propriedades físicas (dualidade: partícula (fóton) vs. onda eletromagnética) da luz (outros tipos de onda (transversal, longitudinal, mecânicas e eletromagnética) e propriedades (Figuras 2-3); ● as reações químicas de fases de claro (fotofosforilação e fotólise de água) e escuro (fixação do carbono) (Figura 1); Equação geral da fotossíntese: $6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} + \text{energia (luz) clorofila} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$; ● as características das estruturas e moléculas biológicas (cloroplasto, tilacóide e clorofila) (Figura 1 e Figura 6) e as relações entre eles. <p>É importante ressaltar conceitos dos tipos e propriedades do eletromagnetismo (cf. capítulo de Fundamentação Científica). Para desenvolver a interdisciplinaridade, sugere-se discorrer acerca os conceitos de luz, onda, reações químicas e fotoquímicas, bem ressaltar a estrutura da célula, as etapas de fotossíntese e os comportamentos (cloroplasto, tilacóides).</p>
<p>Metodologia</p>	<p>Construção de mapas conceituais finais pelos grupos com 3-5 estudantes, com mediação da professora, que servirá como método para relacionar os subsunçores com novos conhecimentos.</p> <p>Discussão dos conceitos específicos do processo de fotossíntese a partir de diálogos com alunos ou em grupos de alunos.</p> <p>Discussão das respostas de questionário, que servirá como guia de aprendizagem de novos conceitos.</p>
<p>Recursos necessários</p>	<p>Quadro branco, marcadores, livros didáticos, computador e projetor multimídia.</p>
<p>Proposta de avaliação</p>	<p>Avaliação de aprendizagem na base de construção do MCF, discussões e questionário. Importância de participação do aluno individual ou em grupo.</p>
<p>Leituras complementares</p>	<p>LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, p.179-192, 2008.</p> <p>NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759.</p> <p>NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica. v. 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.</p>

Referências	MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. Física - Ensino Médio - volume 2. 2. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2016; BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; SAMPAIO, L. A. A. Física: Eletromagnetismo e Física Moderna - Ensino Médio - volume 3. 2. ed.; São Paulo: FTD, 2013. LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2008, p. 179-192. NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger . 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759 NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica - volume 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.
Título da aula 3	<i>O processo de fotossíntese na interdisciplinaridade dos conhecimentos de física, química e biologia: o processo de fotossíntese na microescala de organismo e na macro escala do planeta Terra</i>
Objetivos gerais	a) Verificação da eficácia do processo de aprendizagem do processo de fotossíntese pelos alunos aplicando sequência didática baseada nos conceitos principais das teorias psicológicas e educacionais. b) Demonstração de união dos conhecimentos antigamente separados pelo ensino tradicional. c) Discussão da importância do processo de fotossíntese na microescala de organismo e na macro escala do planeta Terra. d) Correção dos erros no processo de aprendizagem. e) Análise do feedback dos alunos sobre o método escolhido para o processo de aprendizagem.
Objetivos específicos	Verificar a efetividade do processo de aprendizagem do processo de fotossíntese pelos alunos. Demonstrar, mais uma vez, a união dos conhecimentos antigamente separados pelo ensino tradicional nos eixos verticais e horizontais usando um mapa conceitual final. Discutir a relevância do processo de fotossíntese na microescala de organismo e na microescala do planeta Terra em grupos de 3-5 alunos e apresentar a conclusão final discutida em grupos. Corrigir os erros no processo de aprendizagem. Analisar o feedback (as devolutivas) dos alunos acerca do método escolhido para o processo de ensino.
Conhecimentos	A união dos conhecimentos antigamente separados pelo ensino tradicional. A importância do processo de fotossíntese na microescala de organismo e na macro escala do planeta Terra. Propõe-se a análise de construção de conhecimento na forma de discussão e diálogo.
Metodologia	Finalização de construção do MCF (cf. apêndices A e B) permite hierarquizar e relacionar os conhecimentos prévios e novos pelos conceitos de mapa conceitual.
Recursos necessários	Quadro branco, marcadores, livros didáticos, computador e projetor multimídia.

Proposta de avaliação	A avaliação foi construída usando a análise da evolução do desenvolvimento envolvido na construção do mapa conceitual inicial e a análise de indicadores apresentados nos trabalhos de estudantes, tais como a evolução conceitual, a resolução de problema, a articulação entre conhecimentos, o desenvolvimento complexo de pensamento e a ampliação da crítica.
Leituras complementares	LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, p.179-192, 2008. NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger . 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759. NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica . v. 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.
Referências	MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. Física - Ensino Médio - volume 2. 2. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2016; BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; SAMPAIO, L. A. A. Física: Eletromagnetismo e Física Moderna - Ensino Médio - volume 3. 2. ed.; São Paulo: FTD, 2013. LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2008, p. 179-192. NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger . 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759 NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica - volume 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.

Fonte: A autora.

4.2 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA POR MEIO DE ROTEIROS

Esta abordagem interdisciplinar de aprendizagem significativa e crítica na temática da fotossíntese foi aplicada no ensino remoto no Instituto Federal de Brasília (IFB), no Curso Técnico em Eventos integrado ao Ensino Médio³, no período de 23/11/2020 a 22/01/2021. Contou com 103 alunos inscritos no curso do 2º ano (57 alunos) e do 3º ano (46 alunos), no momento em que as turmas cursavam o 3º bimestre do ano letivo de 2020.

De acordo com o planejamento pedagógico do IFB, ajustado devido à Pandemia de covid-19⁴, as aulas presenciais foram substituídas pelos roteiros (terminologia definida por coordenação de IFB) gerais com conteúdo e atividades de todos os componentes disciplinares estudados. Nessa proposta, cada bimestre deve aplicar um roteiro, totalizando quatro roteiros por ano, os quais devem incluir os conteúdos de todas as disciplinas ofertadas. Esses roteiros foram postados no Moodle® – plataforma adotada pelo IFB para execução de suas atividades

³ Mais detalhes sobre Curso Técnico em Eventos integrado ao Ensino Médio podem ser encontrados no Plano Pedagógico do Curso. Disponível em: <https://www.ifb.edu.br/attachments/article/22990/PPC%20eventos.pdf>
Acesso em: 10 set. 2021.

⁴ Desde 03/08/2020 e durante todo o processo de aplicação.

didático-pedagógicas – ou impressos para os alunos que não tinham acesso à internet. Esses materiais também foram utilizados nos atendimentos *on-line* aos alunos.

O roteiro do 3º bimestre do 2º ano (cf. apêndice A) incluía conteúdos e atividades do componente de Física acerca do tópico *Óptica e Ondas*. Separadamente, outro roteiro de 3º bimestre do 3º ano oferecia conteúdos e atividades de Física acerca do tópico *Eletromagnetismo e Ondas Eletromagnéticas*. Essas atividades do 2º e 3º anos de Física foram acolhidas por este estudo e agremiadas com o título *A importância da luz para a vida na Terra no exemplo do processo de fotossíntese oxigênica*.

Foram desenvolvidas atividades que associavam os conteúdos dos dois roteiros para, assim, realizar abordagem interdisciplinar proposta nesta investigação. Para isso, os conceitos envolvidos no processo de fotossíntese – tradicionalmente separados entre as disciplinas de física, química e biologia – foram integrados e unificados no ensino interdisciplinar aqui proposto, em sintonia com a proposta dos recentes documentos oficiais do MEC. Para tanto, o conteúdo da atividade do 3º ano foi ajustado para a implementação dos conceitos de eletromagnetismo, os quais não haviam sido ainda estudados pelos alunos do 2º ano do Ensino Médio.

O conteúdo e a atividade do roteiro propunham um estudo de ondas, de reações químicas e das estruturas biológicas envolvidas no processo de fotossíntese. Essas atividades foram desenvolvidas tendo o mapa conceitual como ferramenta principal, no sentido de hierarquizar e organizar os novos conhecimentos.

No formato de ensino remoto em que ocorreu, o conhecimento prévio e os conceitos relevantes ao tópico a ser estudado foram, inicialmente, buscados por meio de um diálogo com os professores do IFB que atuavam nas turmas estudadas, nas disciplinas de biologia, química e física. Os temas e os conceitos foram, então, incorporados à construção do questionário-guia de MCI e MCF (cf. apêndice A), sendo o primeiro usado como ferramenta para o levantamento dos subsunçores efetivamente presentes na estrutura cognitiva dos alunos. Nesse sentido, o MCI foi construído no começo das atividades, ainda sem a leitura de seu conteúdo, de modo a revelar o conhecimento prévio dos estudantes. Já o MCF foi construído ao término do processo de ensino, evidenciando, assim, a eventual aquisição de conhecimento. O questionário-guia incluía as instruções de procedimento da atividade proposta e as questões. Os questionamentos foram inseridos em conformidade com as indicações dos professores do IFB.

As nove questões do questionário-guia e sua sequência não somente hierarquizam o conhecimento verticalmente, de cima para baixo, como abordam os conceitos seguindo-se do mais geral para o mais específico. Também se evidenciaram as relações horizontais entre os conhecimentos que foram divididos anteriormente por áreas diferentes. Esse questionário-guia cria, ademais, uma situação-problema para que o discente exerça o pensar crítico e criativo na leitura de conteúdo, com o objetivo de encontrar as respostas para as questões propostas.

De forma geral, a abordagem desenvolveu a autonomia dos alunos no processo de estudo e aprendizagem ao torná-los protagonistas críticos, ao passo que tornou a professora uma guia para os estudantes tal percurso. Para isso, a docente instruiu os alunos no planejamento de trabalhos autônomos no âmbito da atividade sugerida, guiando, passo a passo, a mobilização de conhecimentos e procedimentos necessários, a gestão do tempo, o controle da produtividade e da efetividade das ações de seus alunos.

Além disso, as atividades desenvolvidas e aplicadas buscaram construir um ambiente social e cultural de interações entre a professora e os estudantes, mesmo diante das adversidades contextuais do ensino remoto. Tais interações foram viabilizadas por meio de diversas ações como: elaboração de guias de estudo pela professora; promoção de discussões on-line; interações por meio de mensagens ou grupos de discussões na plataforma virtual Moodle®, dentre outras. Todas essas ações auxiliaram no desenvolvimento de um ambiente favorável para as interações produtivas no processo de aprendizagem de fenômenos complexos.

Também, é necessário destacar que a abordagem interdisciplinar demonstrou que os alunos podem construir relações produtivas, complexificadas e qualificadoras dos conteúdos, usualmente separados em diferentes disciplinas. Essa atividade aponta, assim, para os interrelacionamentos nos fenômenos do mundo natural, tanto quanto nas suas representações teóricas e, com isso, indica que a interdisciplinaridade em seu contexto escolar e no escopo da SD desenvolvida, pode ser tornada concreta e efetiva no processo de ensino e aprendizagem.

Destaca-se que a avaliação da atividade proposta foi construída usando a análise da evolução do desenvolvimento envolvido na construção do mapa conceitual inicial e a análise de indicadores apresentados nos trabalhos de estudantes, tais como a evolução conceitual, a resolução de problema, a articulação entre conhecimentos, o desenvolvimento complexo de pensamento e a ampliação da crítica.

Mesmo assim, os alunos que, por diferentes razões, não conseguiram participar na construção de mapas conceituais, mas responderam ao questionário-guia, também foram avaliados – este caso, a avaliação foi exclusivamente baseada na evolução das respostas iniciais e finais da referida atividade. A etapa final da SD foi a aplicação do questionário de estudo que solicitava as opiniões dos alunos acerca da abordagem desenvolvida. As respostas a esse questionário foram incluídas no Roteiro e, depois, analisadas pela professora, como apresentado no capítulo a seguir.

5 Análise da Aplicação

Neste capítulo, apresentamos a análise do processo de evolução conceitual dos estudantes pela comparação de seus MCI e MCF. Analisamos, igualmente, as respostas dos estudantes ao questionário acerca do estudo apresentado. Voltando-se para os dados coletados, verificou-se que, dos 103 estudantes inscritos no curso integrado (2º e 3º anos), 68 (66%) fizeram a atividade de física do 3º bimestre (portanto, 35 deles (34 %) decidiram não participar da referida atividade).

É relevante ressaltar que, dos 68 participantes efetivos na atividade (2º e 3º anos), 52 (76%) conseguiram construir o MCF, 16 deles (24%) responderam somente às perguntas da atividade, sem construção de mapas conceituais. Isso pode estar relacionado ao fato de alguns alunos terem passado por dificuldades no processo de construção (problemas técnicos e de familiaridade com a plataforma, além de outras de ordem econômica ou psicológica), e, portanto, pode não estar, estritamente, relacionado ao processo de aprendizagem proposto. De fato, dadas as condições da Pandemia de Sars-Cov-19, foi inviável garantir, de maneira constante, o trabalho dos alunos, que permaneceram integralmente em ensino remoto.

Além disso, notou-se a existência de diferentes níveis de acesso às tecnologias digitais necessárias para o cumprimento das atividades (por exemplo, disponibilidade de *software* ou de dados de equipamentos, computador ou celular, dentre outros). Vale ressaltar, entretanto, que o número de alunos que efetivamente participaram de toda a atividade ainda pode ser considerado representativo da turma. Isso decorre, porque houve 66% de participação do total de alunos, e, ao término, 76% dos que participaram conseguiram concluir efetivamente o processo de aprendizagem. A participação ser representativa do grupo, entretanto, não garante, estatisticamente, que a amostra o seja para outros grupos e contextos, o que obviamente só poderia ser atestado a partir de análises pertinentes.

O acréscimo na capacidade de construir relações conceituais, mensurados pela comparação entre MCI e MCF, foi interpretada como indício de aprendizagem significativa, nos moldes desenvolvidos por Ferreira *et al.* (2020) e Ferreira *et al.* (2021), por exemplo. No total, a professora analisou 104 mapas conceituais, sendo 52 MCIs e 52 MCFs. Essa análise foi feita individualmente para cada estudante da disciplina.

Proposta similar foi utilizada com os estudantes que decidiram não construir mapas conceituais e apenas responder às perguntas do mapa (Apêndice A). Assim, para esses estudantes, foi analisada a evolução das respostas antes e depois de terem estudado o conteúdo.

A análise mostrou que, dentre os estudantes do 2º ano, todos que participaram na atividade do roteiro (construindo os mapas conceituais ou somente respondendo às questões), 9,8% obtiveram nota no intervalo de 5,0 a 6,9; 39% no intervalo de 7,0 a 8,9; e 51,2% no intervalo de 9,0 a 10,0. Isso numa escola em que 0 é a nota mais baixa e 10 é a nota máxima⁵. Já no que se refere aos estudantes do 3º ano, os resultados dos participantes da atividade do roteiro (construindo os mapas conceituais ou somente respondendo às questões) demonstram que 0% obtiveram nota no intervalo de 5,0 a 6,9; 48,1%, no intervalo de 7,0 a 8,9; e 51,9 %, no intervalo de 9,0 a 10,0.

Esses resultados serviram, pois, como indício de um ganho considerável no processo de aprendizagem e estão sintetizados na Tabela 2, a seguir:

Tabela 2. Performance acadêmica dos(as) discentes dos 2º e 3º anos que participaram da atividade.

Estudantes	MM (5,0-6,9)	MS (7,0-8,9)	SS (9,0-10,0)
2º	9,8%	39%	51,2%
3º	0%	48,1%	51,9%

Fonte: A autora.

De fato, a utilização de mapas conceituais pode fornecer bons indícios de aprendizagens conceituais e proposicionais. Mais ainda, a comparação de mapas iniciais com mapas elaborados ao final da atividade fornece indícios da ocorrência de processos de diferenciação progressiva e de reconciliação integradora. Nesse sentido, o mapa conceitual pode ser ferramenta efetiva não somente para a avaliação, mas também para o processo de aprendizagem interdisciplinar de fenômenos. Tal ponto é particularmente relevante em

⁵ As notas no IFB são atribuídas e decorrem em uma menção, a qual considera um intervalo específico, para MM, o intervalo é de 5,0 a 6,9; para MS, de 7,0 a 8,9; e para SS, de 9,0 a 10,0. Não houve casos de menções de reprovação. Esta pesquisa considerou os mesmos intervalos para verificar a performance acadêmica dos participantes.

contextos como os apresentados neste trabalho, porque envolvem conceitos consideravelmente complexos para a aprendizagem nas disciplinas, como os conceitos de onda, eletromagnetismo, estrutura celular, dentre outros.

Durante a realização da pesquisa, foi realizado um atendimento aos estudantes para fornecer as ideias relativas à construção do mapa conceitual. Apesar de terem sido fornecidas instruções detalhadas, somente 2,3% e 8,7% dos alunos do 2º ano e do 3º ano, respectivamente, conseguiram responder corretamente algumas questões do questionário do MCI, discutidas mais adiante. Além disso, esses estudantes preencheram o formulário parcialmente, deixando o mapa conceitual inicial incompleto. Mesmo havendo essa ocorrência, isso era esperado, visto que o instrumento tinha a função de servir como um levantamento dos conhecimentos prévios (subsunçores) dos estudantes e, portanto, é previsível que parte deles não possuísse sequer rudimentos que pudessem ser identificados pelo método empreendido – como, inclusive, acontece no ambiente de sala de aula comumente durante a apresentação de novos conceitos/conteúdos.

As questões do MCI nas quais os estudantes apresentaram maior dificuldade foram:

- qual é a fonte de energia?
- quais reações químicas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
- quais organelas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
- onde acontece a fotossíntese oxigênica?
- qual é a partícula de luz envolvida no processo de fotossíntese oxigênica?
- quais moléculas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
- quais estruturas biológicas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?

Essas questões, como se pode notar, apresentam conceitos subordinados intermediários e conceitos específicos. Os resultados indicam que os estudantes apresentam grande dificuldade e, portanto, falta de conhecimento prévio específico ao que se desejava ensinar no que se refere à terminologia e à metalinguagem que especializam os saberes nas áreas de conhecimento, no caso, na biologia, na química e na física.

De outro lado, os estudantes apresentaram menos dificuldades com as respostas aos questionamentos do MCI envolvendo conceitos superordenados e, portanto, mais gerais, como os seguintes:

- qual é o processo de captura de energia solar que ocorre graças ao pigmento?
- quais são os processos importantes que envolvem água e gás carbônico?
- qual processo descreve a função biológica de fotossíntese oxigênio?

Esse fato indica que os estudantes possuem algumas informações gerais sobre o processo de fotossíntese e que esses conhecimentos prévios podem servir como subsunções para novos conhecimentos. Por sua vez, esses resultados indicaram, ainda, que a abordagem deveria seguir uma direção de subordinação, em que os novos conceitos a serem assimilados deveriam estar subordinados a conceitos mais gerais e inclusivos.

Também foi realizado um questionário sobre a atividade proposta neste trabalho em que os estudantes se envolveram. Ele foi construído para revelar a opinião dos alunos acerca da eficácia da abordagem, em particular quanto:

- ao uso dos mapas conceituais como parte da metodologia utilizada;
- à abordagem interdisciplinar no processo de aprendizagem do processo de fotossíntese;
- à importância da luz para os processos biológicos que ocorrem no planeta;
- às dificuldades relacionadas ao fato de terem de estudar “sozinhos”.

Neste sentido, para o primeiro quesito, o questionário incorporou a seguinte pergunta de múltipla escolha:

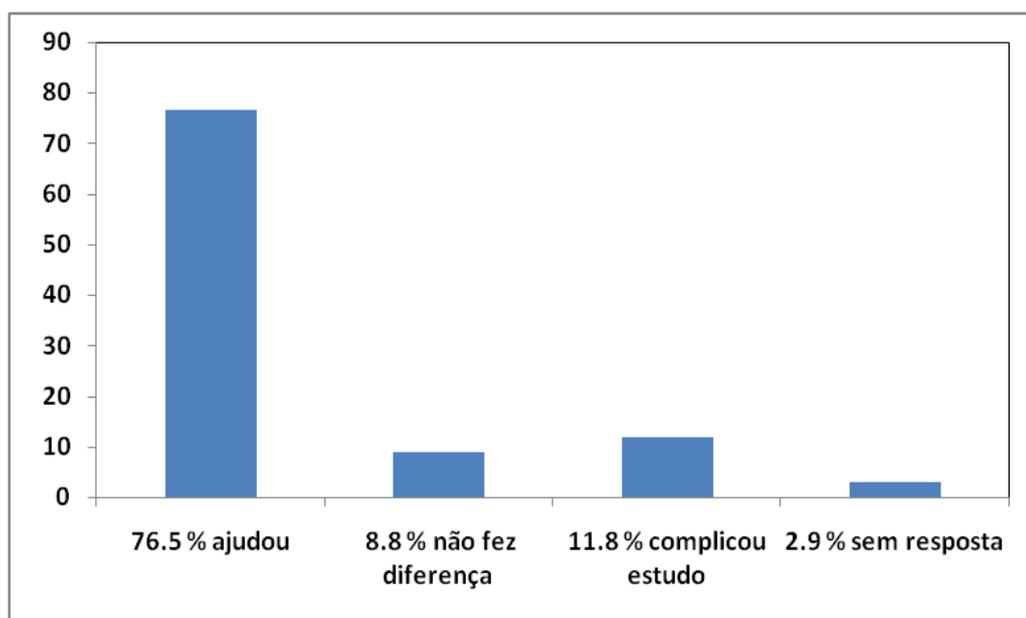
Figura 7. Questão sobre a relevância do mapa conceitual.

O método do mapa conceitual te ajudou no estudo de ondas e no processo de fotossíntese oxigênio?
a) ajudou.
b) não fez diferença
c) complicou o estudo

Fonte: A autora.

Um percentual de 76,5% dos estudantes (2º e 3º anos) respondeu que a construção de um mapa conceitual inicial e outro final ajudou bastante no processo de aprendizagem; 8,8% responderam que a construção dos mapas não fez diferença para eles; já - 11,8% anotaram que a construção dos mapas conceituais tornou seu estudo mais complexo; por fim, - 2,9 % deles deixaram essa pergunta sem resposta. A representação desse resultado está no gráfico 1.

Gráfico 1. Impacto do mapa conceitual para o processo de aprendizagem.



Fonte: A autora.

Como se pode observar no Gráfico 1, a maioria dos estudantes participantes da atividade – aplicada no modelo de ensino não presencial – aprovaram e adotaram a ferramenta

– o mapa conceitual para organizar e estudar os conhecimentos oferecidos na atividade do roteiro. Esse resultado evidencia que o instrumento pode ser utilizado com bastante efetividade não somente como ferramenta útil para o professorado no momento da avaliação, mas igualmente como apoio ao processo de estudo remoto dos estudantes nas condições de Pandemia, de educação remota ou a distância ou mesmo para incentivar o processo de autoinstrução (autodidatismo e independência).

Para refletir a opinião dos estudantes acerca do estudo interdisciplinar da fotossíntese, a seguinte pergunta foi incorporada no estudo: *“Você acha que o estudo do processo de fotossíntese oxigênica é mais eficiente como um efeito interdisciplinar (abordado do ponto de vista física, química e biológica, ao mesmo tempo) ou somente como efeito biológico?”*. As respostas dos estudantes estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Respostas dos(as) alunos(as) dos 2º e 3º anos de questionário.

Questões	Respostas dos(as) alunos(as) do 2º ano		Respostas dos(as) alunos(as) do 3º ano	
	sim	não	sim	Não
<i>Você acha que o estudo do processo de fotossíntese oxigênica é mais eficiente como um efeito interdisciplinar (abordado do ponto de vista física, química e biológica, ao mesmo tempo) ou somente como efeito biológico?</i>	92,7%	7,3%	96,3%	3,7%
<i>Depois do estudo, você compreendeu o papel da luz para a vida na Terra?</i>	95,1%	4,9%	88,9%	11,1%
<i>Você achou que estudar ‘sozinho’ era mais difícil comparado com estudar junto com outros alunos?</i>	90,8%	9,8%	92,6%	7,4%

Fonte: A autora.

Os resultados da Tabela 3 indicam uma percepção de maior eficiência da abordagem interdisciplinar na perspectiva dos estudantes. Para a pergunta: *“Depois do estudo, você compreendeu o papel da luz para a vida na Terra?”*, a maioria dos estudantes entende que o método aplicado auxiliou na apreensão dos conteúdos relacionados ao fenômeno da fotossíntese. Já para a pergunta *“Você achou que estudar ‘sozinho’ era mais difícil comparado com estudar junto com outros alunos?”*, os estudantes indicam que sentem dificuldade em estudar de forma autônoma e isoladamente.

De um lado, essas respostas demonstram a importância para os estudantes da atmosfera de aprendizagem coletiva. Em outras palavras, há, aqui, o elemento sociológico como potencializador da eficiência na aprendizagem. Por outro lado, esse retorno evidencia que há uma falha no processo de ensino desses estudantes, pois eles não foram preparados para um processo de aprendizagem que envolvesse mais fortemente a autoinstrução. Vale notar que o índice diminuiu, ainda que pouco significativamente, ao se passar do 2º ao 3º ano, o que pode indicar que há certo avanço nas séries – mesmo assim, isso não implica em ganhos substantivos na questão da autonomia instrucional, quando se analisa o todo das duas séries.

Ao mesmo tempo, este estudo apontou um problema comum no ensino que é o esquecimento (ou o esmaecimento) de temas previamente estudados, como fazem notar diversas perspectivas cognitivistas. Neste sentido, a abordagem da Aprendizagem Significativa aliada à estratégia interdisciplinar é particularmente indicada para a superação dessa adversidade que se encontra presente tanto nas séries do Ensino Médio quanto no Ensino Fundamental. Com a estratégia aplicada em nossa SD, os participantes puderam associar conteúdo de disciplinas diferentes, bem como reforçar conceitos já aprendidos.

Acrescenta-se, ainda, que, mesmo com quase completa ausência dos conhecimentos prévios acerca do processo de fotossíntese – e isso robustecido pelas condições de estudo remoto em contexto de Pandemia –, os estudantes mostraram níveis suficientes de performance acadêmica. Esse resultado satisfatório pode ser mais um indicador de efetividade do método interdisciplinar, pois acreditamos – e os dados trazidos à luz ratificam – que a abordagem da interdisciplinaridade potencializa o processo de ensino-aprendizagem ao expor os aprendizes a maior número de eventuais âncoras cognitivas.

Com isso, entende-se que a forma como o tema da fotossíntese foi reconstruído discursivamente, em dimensão interdisciplinar, auxiliou na obtenção desses resultados. Além disso, ao fazer a abordagem assentar sobre a perspectiva teórica da Aprendizagem Significativa, foi possível identificar ganhos explícitos, segundo o referencial teórico adotado, pois foram encontrados nos mapas conceituais escritos pelos estudantes evidências consistentes da aprendizagem de distintos e diversos conteúdos das três disciplinas (biologia, química e física) que exploram a temática da fotossíntese. Ao mesmo tempo, o uso das Comunidades de Investigação e dos processos dialógicos imanentes foi capaz de desenvolver a organização prévia e a integração dos subsunçores levantados, assim como desenvolver as habilidades específicas que são consideradas por Lipman (1995) como concretizadoras do

processo de aprendizagem significativa. Todos esses procedimentos, juntos, alicerçaram a estratégia didático-pedagógica da SD proposta, favorecendo uma forte interação social dos estudantes, mesmo em um formato de ensino remoto.

6 Considerações Finais

Esta dissertação visou trazer à luz uma abordagem interdisciplinar de ensino e aprendizagem significativa crítica em comunidades de investigação, utilizando, para tanto, o processo de fotossíntese. Abordou-se o ensino desse tema de forma mais profunda e global, incorporando e articulando conceitos e noções de áreas diferentes, que, usualmente, são compartimentadas e separadas. Buscou-se, ainda, na interpretação dos conceitos complexos e teóricos da vida cotidiana dos estudantes, elementos para se construir o processo de ensino e aprendizagem com apoio de seus conhecimentos prévios.

Essa abordagem interdisciplinar se baseou na sequência didática que se efetivou em atividades no ensino remoto, em decorrência da Pandemia de covid-19, em duas turmas (2º e 3º ano) do IFB, apresentando, mesmo em condições adversas, resultados satisfatórios. Vale destacar que, mesmo antes da pandemia, a BNCC já abria precedente de 20% de ensino básico na modalidade a distância (BRASIL, 2018b).

De modo geral, a **Tabela 3** sustenta a percepção de efetividade da abordagem interdisciplinar e confirma o entendimento global do conteúdo. Nessa perspectiva, essa adoção pode servir como um modelo de estudo por projetos ou problemas, que faz parte de um modelo de ensino aderente à BNCC. Isso implica em uma estratégia que pode ser aplicada no Ensino Médio a partir de outros temas transversais, com diferentes tópicos e disciplinas envolvidos. Para garantir a transponibilidade do arranjo desenvolvido, aplicado e avaliado neste estudo, é preciso fazer novas aplicações da SD proposta com outros componentes curriculares e conteúdos – o que propomos para pesquisas ulteriores.

Em síntese, esta dissertação corrobora a importância de abordagens que potencializam e amplificam os saberes e suas articulações. A perspectiva interdisciplinar reinstitucionaliza e qualifica o discurso epistemológico, teórico e metodológico de incursão disciplinar, viabilizando a exploração científica em comunidades reais e a aprendizagem significativa e crítica. Nas ciências naturais, o tema da fotossíntese é ilustrativo e exemplar desse tipo de incursão, porque mobiliza problemáticas sensíveis, acessíveis e capazes de iluminar outros modos de formular e compreender questões sociocientíficas.

A partir das realizações do presente trabalho, pode-se vislumbrar diversos desdobramentos relevantes para o ensino interdisciplinar de ciências. Uma dessas possibilidades é o desenvolvimento de ferramentas computacionais para levantamento e organização de subsunçores, etapa crucial na abordagem relativa à TAS. De fato, foi

publicado, recentemente, um trabalho (SILVA FILHO; FERREIRA, 2022) justamente relacionado com a etapa de levantamento e análise de subsunções (mas sem sua organização).

Referências

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational Psychology: a cognitive view**. 2. ed. New York: Holt, Rinehart e Winston, 1978.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimento: uma perspectiva cognitiva**. 1. ed. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica (DCNGEB)**. Brasília: 2010.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio (DCNEM) e Bases da Educação Nacional (LDB)**. Brasília: 2012.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio (DCNEM) e Bases da Educação Nacional (LDB)**. Brasília: 2018a.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília: 2018b.

BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; SAMPAIO, L. A. A. **Física: Eletromagnetismo e Física Moderna - Ensino Médio - volume 3**. 2. ed.; São Paulo: FTD, 2013.

GULIS, G.; SILVA FILHO, O.; FERREIRA, M.; ANDRADE, V. C.; COSTA, M. R. M. Ensino interdisciplinar da fotossíntese: interfaces entre a aprendizagem significativa crítica e as comunidades de investigação. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 3, 2021.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. P. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, pg. 1-13, 2020 (e20200057). Recuperado de <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0057>.

FERREIRA, M.; COUTRO, R. V. L.; SILVA FILHO, O. L.; PAULUUCI, L.; MONTEIRO, F. F. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, pg. 1-13, 2021a (e20210157). Recuperado de <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0157>.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L. Ensino de física: fundamentos, pesquisas e novas tendências. **Plurais Revista Multidisciplinar**, v. 6(2), pg. 9-19, 2021b. Recuperado de <https://doi.org/10.29378/plurais.2447-9373.2021.v6.n1.12199>.

FERREIRA, M.; NOGUEIRA, D. X. P.; SILVA FILHO, O. L.; COSTA, M. R. M.; SOARES NETO, J. J. A WebQuest como proposta de avaliação digital no contexto da aprendizagem significativa crítica em ciências para o ensino médio. **Pesquisa e Debate em Educação**, v. 12(1), pg. 1–32, 2022a (e35023). Recuperado de <https://doi.org/10.34019/2237-9444.2022.v12.35023>.

FERREIRA, M; SILVA, A. L. S.; SILVA FILHO, O. L.; PORTUGAL, K. O. Atividade Experimental Problematizada (AEP): asserções praxiológicas e pedagógicas no ensino experimental das ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n.1, p. 308-322, 2022b. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/2676>.

FIORIN, J. L. Linguagem e interdisciplinaridade. **Alea**, v. 10, n. 1, p. 29-53, jan.-jun. 2008.

LIPMAN, M. O. **O Pensar na Educação**. 2. ed. Tradução de Ann Mary Figueira Perpétuo. Petrópolis: Vozes, 1995.

LOPES, S. **Bio** - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2008, p. 179-192.

MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. **Física** - Ensino Médio - volume 2. 2. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2016.

MOZENA, E. R.; OSTERMAN, F. Uma revisão bibliográfica sobre a interdisciplinaridade no ensino das ciências da natureza. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 16, n. 2, p. 185-206, 2014.

MOZENA, E. R.; OSTERMAN, F. A interdisciplinaridade na legislação educacional, no discurso acadêmico e na prática escolar do ensino médio: panaceia ou falácia educacional? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 92-110, 2016.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária LTDA, 1999.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de educação Científica**. 2005. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/> Acesso em: 22 out. 2021.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996. Tradução de Learning how to learn. Ithaca. Nova Iorque: Cornell University Press, 1984.

NOVAK, J. D. **Learning, Creating, and Using Knowledge**: concept maps as facilitative tools for schools and corporations. 2. ed. Nova Iorque: Routledge, Taylor & Francis Group, 2010.

NUSSENZVEIG, M. **Curso de física básica** - volume 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.

REPKO, A. F. **Interdisciplinaridade Research**: process and theory. Los Angeles/Londres: Sage, 2008.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. Teorias da aprendizagem e da educação como referenciais em práticas de ensino: Ausubel e Lipman. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 104-125, 2018.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 39-44, 2019.

SILVA FILHO, O. L. et al. Normatividade e descritividade em referenciais teóricos na área de ensino de Física. **Pesquisa e Debate Em Educação**, v. 11, n. 1, p. 1-33, e32564, 2021.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. Modelo teórico para levantamento e organização de subsunçores no âmbito da Aprendizagem Significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Aceito para publicação em 21 de janeiro de 2022.

SOMMERMAN, A. **Objeto, Método e Finalidade de Interdisciplinaridade**. In: PHILIPPI Jr. A.; FERNANDES, V. (org.). Práticas de interdisciplinaridade no ensino e pesquisa. Barueri: Manole, 2015, p. 165-212.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. Tradução de Monica Stahel M. da Silva. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1988.

Apêndice A

As atividades de roteiro foram divididas em atividade para o 2º ano e atividade para o 3º ano. Elas diferem apenas na ênfase dada à questão das ondas eletromagnéticas, uma vez que o tema do Eletromagnetismo não havia ainda sido exposto aos alunos do 2º ano. Neste apêndice, apresentamos o roteiro de atividades para o 2º ano. O roteiro de atividades para o 3º ano não será apresentado.

ATIVIDADE DO ROTEIRO DO 2º ANO

Para mais detalhes e informações veja:

- Capítulo 7 (pg. 191-217) do MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz; Física - Ensino Médio - volume 2. 2 ed.; Editora Scipione: São Paulo, 2016;
- LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed.; Editora Saraiva: São Paulo, p.179-192, 2008.
- Atenção: Leia com muito cuidado o texto abaixo, preencha os mapas conceituais* (inicial e final) e responda as questões dessa atividade! Além disso, se identificam no trabalho e nomeiam o arquivo com seu nome também. Não copiam do livro, do roteiro ou de outros alunos.
- A avaliação dessa atividade é a evolução atingida entre os mapas conceituais: o mapa conceitual inicial (importante: antes de leitura do roteiro) e o mapa conceitual final (importante: feito depois de leitura).
- *Veja a explicação do que é um mapa conceitual abaixo!

Plano de trabalho:

- a. Preencha o mapa conceitual inicial (**Figura 9**) antes da leitura do roteiro. Esse passo é baseado no estudo da fotossíntese no 1º ano de biologia do Ensino Médio. Não tenha receio ao preenche-lo; esse passo é realizado somente para aprimorar a eficiência do roteiro.
- b. Leia o roteiro.
- c. Preencha o mapa conceitual final (**Figura 10**) após a leitura do roteiro.
- d. Responda ao questionário de estudo.

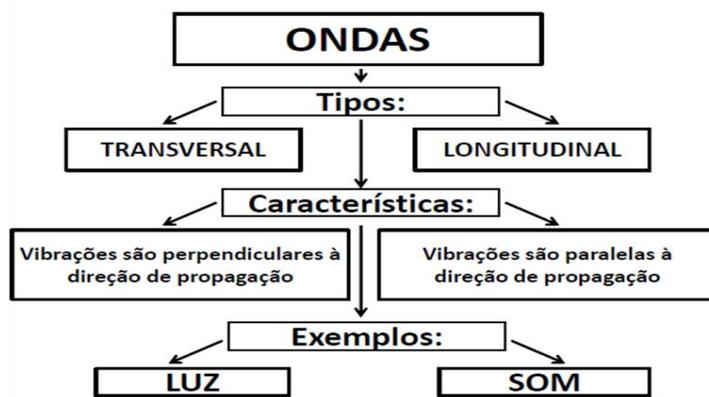
- e. Envie os arquivos: o mapa conceitual inicial, o mapa conceitual final e as respostas do questionário de estudo(3 arquivos em total).

Vamos começar!

Por favor, leia sobre o conceito de mapa conceitual!

O uso de mapas conceituais no ensino foi proposto pelo pesquisador americano Joseph. J. Novak. De acordo com Novak e outros educadores, um mapa conceitual é capaz de hierarquizar e sistematizar o conhecimento dos conceitos complexos para um ensino efetivo e uma aprendizagem profunda. A construção de um mapa conceitual inclui as seguintes etapas: procure as palavras-chaves que estão associados com a terminologia mais complexa, coloca eles dos mais gerais até os mais específicos (de cima para baixo, em ordem de hierarquia) e conecta com setas as palavras-chaves relacionadas (veja a **Figura 8**).

Figura 8. Um exemplo de Mapa Conceitual.



Fonte: A autora

a. Primeiro passo!

Por favor, veja o mapa conceitual inicial (MCI, **Figura 9**) e preencha o espaço vazio (respondendo as questões abaixo) sem ler o conteúdo do roteiro! Recado importante! Não tenha receio ao realizar esta tarefa! Esse primeiro mapa conceitual (mapa conceitual inicial)

vai ser parte da sua avaliação (na comparação futura com um mapa conceitual final (**Figura 10**), quando você já terá lido o conteúdo do roteiro).

Questionário para o mapa conceitual inicial:

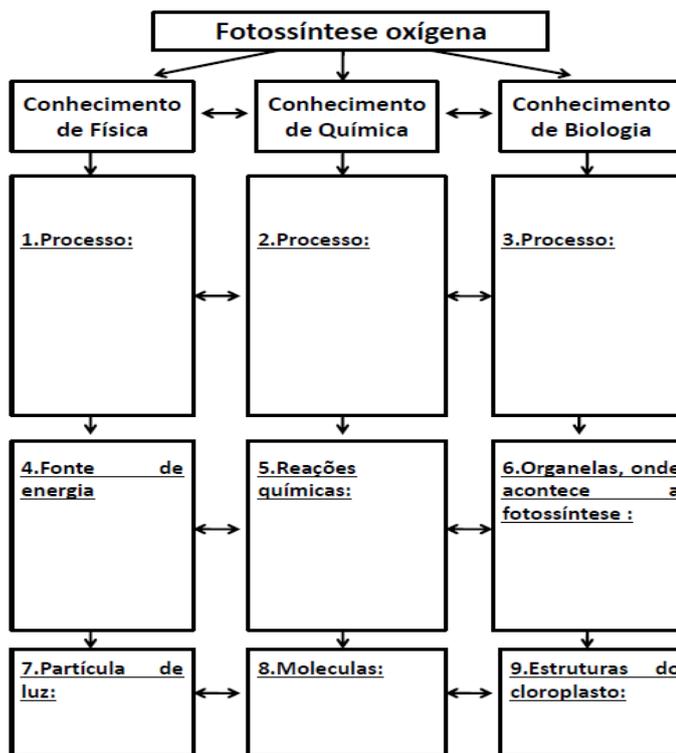
- 1 Qual é o processo de captura de energia solar que ocorre graças ao pigmento?
- 2 Quais são os processos importantes que envolvem água e gás carbônico?
- 3 Qual processo descreve a função biológica de fotossíntese oxigênica?
- 4 Qual é a fonte de energia?
- 5 Quais reações químicas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
- 6 Quais organelas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica? Onde acontece a fotossíntese oxigênica?
- 7 Qual é a partícula de luz envolvida no processo de fotossíntese oxigênica?
- 8 Quais moléculas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
- 9 Quais estruturas biológicas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?

b. Segundo passo!

Leia com cuidado o texto abaixo!

A fotossíntese oxigênica é um processo fundamental para a manutenção da vida em nosso planeta. Esse processo é a base da maior parte das cadeias alimentares, uma fonte importante de oxigênio, um dos gases cruciais, mantidos na atmosfera e uma fonte valiosa da energia biológica. Para ocorrer fotossíntese, é necessária a presença de um pigmento verde, a clorofila, que é a molécula mais abundante nos cloroplastos de seres fotossintetizantes.

Figura 9. Mapa Conceitual Inicial (MCI).



Fonte: A autora.

O processo de fotossíntese utiliza a energia solar, como a fonte de energia, e transforma ela para energia química e biológica. Os organismos fotossintéticos captam a energia solar e formam ATP (adenosina trifosfato) e NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato), que são usados como fonte de energia para sintetizar carboidratos e outros compostos orgânicos a partir de CO_2 e H_2O ; simultaneamente, eles liberam O_2 na atmosfera. Heterótrofos aeróbicos (humanos, p. ex., assim como plantas durante períodos escuros) usam o O_2 formando desse modo para degradar os produtos orgânicos ricos em energia da fotossíntese em CO_2 e H_2O , gerando ATP. O CO_2 retorna à atmosfera, para ser usado novamente pelos organismos fotossintéticos (Cf. **Figura 1** no corpo do texto).

Assim, a energia solar fornece a força propulsora para a ciclagem contínua de CO_2 e O_2 na biosfera, fornecendo também os substratos reduzidos - combustíveis como a glicose - dos quais dependem os organismos não fotossintéticos (**Figura 1**).

O que é a energia solar?! A energia solar é a radiação que se propaga na forma das ondas eletromagnéticas (mais detalhes foram dados no roteiro para o 3º ano). A radiação solar é composta de vários comprimentos de onda, somente uma parte dela é a luz visível.

O que é a onda?! A onda é uma perturbação que se propaga, no espaço ou em meios materiais, transportando energia. As ondas podem ser classificadas para sua natureza em ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas. As ondas mecânicas são ondas que se propagam nos meios materiais (como, por exemplo, o som). As ondas eletromagnéticas são resultado de combinação de campo elétrico e magnético, exemplo-luz (mais detalhes no roteiro do 3º ano). Também, as ondas podem ser classificadas de acordo com a direção de propagação: transversal (luz) ou longitudinal (som) (**Figura 2**).

O olho humano só consegue distinguir os que compõem a luz visível ou luz branca. Ao passar por um prisma, a luz branca é decomposta em luzes de sete cores, cada uma abrangendo determinados comprimentos de onda (**Figura 3**).

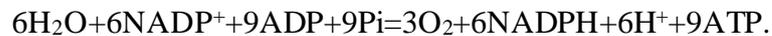
A luz só pode ser utilizada na fotossíntese graças à presença de pigmentos especializados que conseguem captar a energia luminosa. Os pigmentos têm a propriedade de absorver (o processo físico muito importante na fotossíntese, pelo qual a luz que incide sobre um corpo é convertida em energia, **Figura 3**) apenas alguns comprimentos de onda, refletindo os demais (**Figura 3**). A cor do pigmento é determinada pelo comprimento de onda refletida.

Um pigmento que reflete a luz verde a absorver com maior eficiência os comprimentos de onda das luzes azul e vermelha é a clorofila. As moléculas dos pigmentos fotossintetizantes, nos eucariontes, ficam nos tilacoides, partes internas, dos organoides, chamados cloroplastos (**Figura 6**).

Os pigmentos fotossintetizantes presentes nos tilacoides estão organizados em conjuntos chamados complexo antena, funcionando como captadores de energia luminosa. Parte de clorofilas, chamadas de centro de reação, são excitadas pela energia da luz, liberam elétrons (partículas negativamente carregadas, estudo no 3º ano) que são transferidos para substânciasceptoras de elétrons. Cada complexo-antena com seu centro de reação forma um fotossistema (**Figura 6**). Aqui (cloroplasto, tilacoides) acontece primeira etapa - a etapa fotoquímica da fotossíntese, as reações de claro (em presença de luz): a fotofosforilação (que

é a adição de fosfato em presença de luz) e a fotólise de água (que é quebra da molécula de água em presença de luz).

As reações de claro são representadas pela seguinte reação:



A segunda etapa é a etapa química, em que as reações químicas ocorrem no estroma do cloroplasto, são reações de escuro (sem necessidade direta de luz) (**Figura 6**). Nela, há participação do gás carbônico, que recebe o hidrogênio transportado pelas moléculas de NADPH provenientes da fotólise da água. Há formação de carboidratos, fixação do carbono, pois este elemento, presente no ambiente abiótico, passa a integrar as substâncias orgânicas do corpo dos seres vivos.

As reações de escuro são representadas pela seguinte reação:



Finalmente, as reações de claro e escuro são sumarizadas pela reação geral da fotossíntese:



c. Terceiro passo!

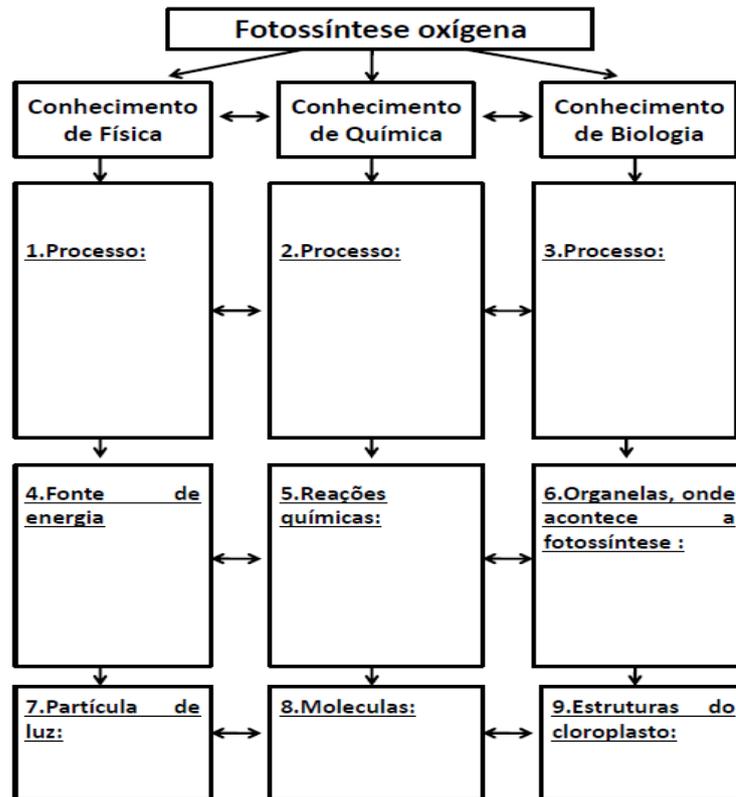
Preenche o mapa conceitual final (MCF, **Figura 10**) depois da leitura do roteiro, baseado nas respostas de questionário do mapa conceitual final!

Questionário para o mapa conceitual final:

- 1 Qual é o processo de captura de energia solar que ocorre graças ao pigmento?
- 2 Quais são os processos importantes que envolvem água e gás carbônico?
- 3 Qual processo descreve a função biológica de fotossíntese oxigênica?
- 4 Qual é a fonte de energia?
- 5 Quais reações químicas são envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
- 6 Quais organelas são envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica? Onde acontece a fotossíntese oxigênica?
- 7 Qual é a partícula de luz envolvida no processo de fotossíntese oxigênica?

- 8 Quais moléculas são envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
- 9 Quais estruturas biológicas são envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?

Figura 10. Mapa Conceitual Final (MCF).



Fonte: A autora.

d. Quatro passo!

Responda o questionário de estudo!

- 1 O método de mapa conceitual te ajudou no estudo de ondas e de processo de fotossíntese? Escolha somente uma resposta: (a) Ajudou muito, (b) ajudou, (c) não fez nenhuma diferença e (d) complicou o estudo.
- 2 Depois do estudo, você entende melhor o papel da luz para vida na Terra! Sim ou Não!
- 3 Você acha que o estudo do processo de fotossíntese é mais eficiente como um efeito interdisciplinar (abordado do ponto de vista física, química e biologia, no mesmo tempo)

ou somente como efeito somente biológico (somente ponto de vista da biologia)? Sim ou Não?! Porque (explique)?

- 4 Você achou o estudo sozinho mais difícil comparando com os estudos junto com outros alunos? Sim ou Não? Porque (explique)?

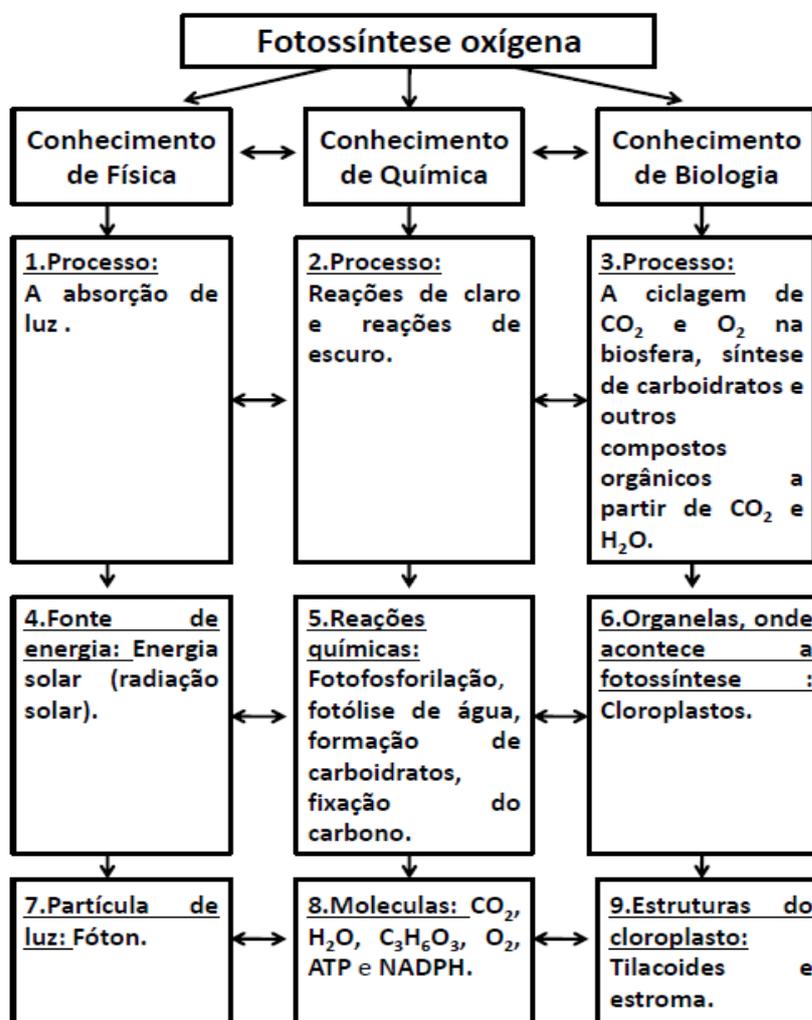
e. Quinto passo!

Envie os arquivos: o mapa conceitual inicial (**Figura 9**), o mapa conceitual final (**Figura 10**) e as respostas do questionário de estudo (3 arquivos no total).

Apêndice B

Uma das tarefas importantes do processo de aplicação da sequência didática era a elaboração de um Mapa Conceitual Final (MCF) para que, por comparação com o Mapa Conceitual Inicial (MCI), fosse possível avaliar o aprendizado dos estudantes. Na **Figura 11**, apresentamos o MCF construído pela professora, como forma de comparar com aqueles apresentados pelos estudantes.

Figura 11. Exemplo de Mapa Conceitual Final construído pela professora.



Fonte: A autora.

Obs.: Os números de caixas de mapa conceitual correspondem aos números de questões do questionário.