

Experiências em Ensino de Ciências

Diretrizes para Autores

Todos os artigos são publicados com a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional. Os autores mantêm os direitos autorais sobre suas produções, devendo ser contatados diretamente se houver interesse em uso comercial dos trabalhos. A publicação na IENCI não fornece compensação financeira de qualquer espécie aos autores. Fonte: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/about/submissions>. Acesso em: 14 abr. 2022.

Referência

GUILIS, Galina *et al.* Ensino interdisciplinar da fotossíntese: interfaces entre a aprendizagem significativa crítica e as comunidades de investigação. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 16, n. 3, p. 89-116, 2021. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/974>. Acesso em: 14 abr. 2022.

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

Interdisciplinary Teaching of Photosynthesis: Interfaces Between Critical Meaningful Learning and Research Communities

Galina Gulis, Olavo L. S. Filho, Marcello Ferreira, Vanessa Carvalho de Andrade & Marcos Rogério Martins Costa

Instituto de Física, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil
E-mail correspondente: gulis001@gmail.com

Recebido em: 25/10/2021

Aceito em: 30/11/2021

Resumo:

A divisão dos conceitos e das noções teóricas por componentes disciplinares diferentes é um dos desafios no processo de ensino e aprendizagem nas escolas. Este trabalho explora uma abordagem interdisciplinar na implementação didática do estudo do processo de fotossíntese nas escolas ou nos cursos técnicos integrados ao ensino médio. A proposta deste estudo é demonstrar como a interdisciplinaridade pode ser incorporada na sequência didática nas aulas presenciais e também nas aulas do ensino remoto – este sem perda de dinâmica e eficácia 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 construção de aprendizagem significativa crítica. Para organização e avaliação do processo de aprendizagem, foi selecionado e aplicado o mapa conceitual, de Novak. Os resultados obtidos mostram nível suficiente de aprendizagem dos conceitos estudados do processo de fotossíntese e também a adaptação dos alunos ao método de ensino e aprendizagem na perspectiva da interdisciplinaridade, bem como foi indicado a adesão positiva à ferramenta do mapa conceitual. Com esses resultados, espera-se que a abordagem apresentada nesta pesquisa seja útil para outros profissionais da área educacional, permitindo sua aplicação nos diferentes componentes disciplinares e distintos espaços da educação formal.

Palavras-Chave: Interdisciplinaridade. Fotossíntese. Aprendizagem Significativa. Aprendizagem Significativa Crítica. Comunidades de Investigação.

Abstract

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 work 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. The purpose of this research 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 show 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 research 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. Meaningful Learning. Critical Meaningful Learning. Community of Inquiry.

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 curriculares. 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 alguns de seus tópicos, o que obstaculiza a aprendizagem, principalmente, quando os fundamentos daquilo que se ensina em uma disciplina está mais além do escopo ou, ainda, precisa de constructos de outra. Nessa visão hierárquica, em que uma ou mais disciplinas poderia(m) formar os fundamentos de outra – sem, necessariamente, com ela se articular – traz evidentes prejuízos educacionais. Um dos mais notórios deles 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* (fundamentos à aplicação), pode haver ainda uma articulação *horizontal* entre os conteúdos 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, o presente estudo 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. Em segundo lugar, busca apresentar uma metodologia que seja suficientemente geral para que possa ser estendida com relativa facilidade para outras situações de ensino em que a interdisciplinaridade se fizer relevante – com os devidos ajustes e acréscimos didáticos próprios necessários em cada espaço educacional.

Fundamentação Teórica

A Teoria de Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, descreve a aprendizagem significativa como o processo pelo qual uma nova informação estabelece uma relação não arbitrária com aspectos específicos e relevantes da estrutura já existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Essa estrutura é formada pelos subsunçores, que se constituem como âncoras para a nova aprendizagem e facilitam a aprendizagem subsequente (AUSUBEL, 2003).

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 Teoria de Aprendizagem, 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 devem ser 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 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), 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). Juntos, 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.* (2021) e Silva Filho e Ferreira (2018):

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, sua Teoria da Educação 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 Teoria da Aprendizagem Significativa, 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 se relacionam 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 dos alunos, 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 desenvolvedora 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). Propõe nove princípios para favorecer a efetivação da Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica em sala de aula (MOREIRA, 2017, p. 9), 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 a perspectiva de Vygotsky.

De fato, a despeito de se considerar, em alguma medida, tributário das ideias de Vygotsky, Ausubel manteve-se afastado de diversos fundamentos da teorização vygotkiana, sobretudo no que concerne a 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”. Afirma 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.

A partir dessa perspectiva, para Vygotsky, a linguagem é um elemento transformador da mente dos indivíduos. Na base disso, no âmbito escolar, as relações entre professor e aluno devem ser construídas no 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 Proximal (ZDP). Essa zona 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 um aluno 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*. Tais conhecimentos 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 é no horizonte de uma abordagem interdisciplinar.

Do ponto de vista do conteúdo, desejamos demonstrar, a partir do tema de interdisciplinaridade e usando a fotossíntese como conceito-guia, a sinergia dos conceitos que nele compõem e que são, usualmente, abordados nas diferentes disciplinas de física, química e biologia. Para concretizar esse objetivo, organizamos o conteúdo em uma estrutura horizontal e vertical, hierarquizados pelos princípios dos mapas conceituais, de Joseph D. Novak – discutidos na seção mais adiante.

Este trabalho propõe, portanto, uma metodologia pedagógica interdisciplinar que associa a Teoria de Aprendizagem à Teoria Educacional na aplicação nas aulas de ensino médio de escolas públicas. Tem, como finalidade, auxiliar o trabalho de outros docentes e qualificar processos de ensino e aprendizagem.

Interdisciplinaridade

O objetivo geral dessa metodologia didática é a busca pela aprendizagem do conceito de fotossíntese de forma profunda e vasta, a partir do uso da interdisciplinaridade como uma ferramenta de associação de seus conceitos principais. 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 metodologia 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.

Mapas conceituais como ferramentas didáticas

A ideia do uso de mapas conceituais como ferramenta didática no processo de educação foi proposta por Joseph D. Novak (NOVAK; GOWIN, 1996; NOVAK, 2010). Tais mapas não buscam classificar conceitos, mas sim 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 descuidar 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 também em outras disciplinas, 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 questão da 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 do profissional da educação.

A criação de um quadro conceitual comum é igualmente imediata, uma vez que se busque um mapa conceitual fortemente conectado, ou seja, 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, e não apenas uma perspectiva multidisciplinar.

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.

METODOLOGIA

O objetivo geral desta pesquisa é criar o conhecimento profundo do processo de fotossíntese a partir de uma perspectiva interdisciplinar e de um processo de aprendizagem significativa, tendo por recurso metodológico os mapas conceituais. Para tanto, adotamos a seguinte estratégia, que, acreditamos, promove a perspectiva interdisciplinar:

1. primeiramente, 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 desse tópico de estudo;
6. diagnosticar a presença ou ausência dos subsunçores relevantes dos conceitos do 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 procedimentalizada na sequência didática descrita a seguir.

Sequência didática

Esta pesquisa desenvolveu a seguinte proposta de Sequência Didática (SD) para o ensino e a aprendizagem interdisciplinar de processo de fotossíntese no ensino médio. O método de interdisciplinaridade foi escolhido para construir o conhecimento e a aprendizagem mais vasto e profundo do processo de fotossíntese e para demonstrar as relações entre os conceitos e os fenômenos que antigamente foram compartimentados em áreas diferentes no ensino tradicional: física, química e biologia. Essa proposta de SD é baseada nos conceitos principais de: aprendizagem significativa, de Ausubel (1978, 2003); significativa crítica, de Moreira (2017a); e Pensamento de ordem superior, de Lipman (1995); e na construção do ambiente cultural facilitador de interações sociais, da teoria sociointeracionista, de Vygotsky (1988).

A SD foi construída e planejada para ter um total de três aulas consecutivas. A primeira aula foi dedicada para detecção de subsunçores, relativamente ao tema da fotossíntese, nas estruturas cognitivas dos estudantes. Também serviu para explicação do conceito e utilidade de mapa conceitual, de Novak, assim como de suas regras de construção e, de fato, para a construção de um primeiro mapa, chamado Mapa Conceitual Inicial (MCI) pelo aluno (exemplo conforme com o apêndice B). 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 ao mesmo tempo, 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 C) 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*, 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 com o apêndice A).

A terceira aula teve como objetivo a avaliação de aprendizagem e o ensino do processo de fotossíntese. Tal avaliação foi baseada na análise da evolução da construção do mapa conceitual inicial (desenvolvida pelos estudantes na primeira aula) e em relação a um mapa conceitual final (que foi construído pelos estudantes com mediação da professora na segunda aula). 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* dos alunos sobre o método e a ferramenta de aprendizagem. Teve, portanto, o propósito de avaliar o processo de sistematização do conhecimento já desenvolvido.

A organização do plano de aula para sequência didática proposta foi adaptada da proposta de Ferreira e Silva Filho (2019). No quadro 1, apresenta-se o plano da SD.

Quadro 1 – Sequência didática proposta para ensino e aprendizagem de processo de fotossíntese no ensino médio.

Identificação da SD	
Nível de ensino	Médio (2º ou 3º ano), de acordo com Currículo em Movimento da Educação Básica Ensino Médio ¹
Instituição	Escola privada ou pública, cursos integrados com ensino médio
Natureza	Sequência didática (aulas 1, 2 e 3)
Modalidade	Presencial
Área de conhecimento	Física
Tema da aula	Ondas (2º ano) ou Eletromagnetismo (3º ano)
Tipo predominante	Teórico
Duração prevista	50 minutos/por aula
Título da aula 1	O processo de fotossíntese é fonte de vida
Objetivos Gerais	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; b) Explicação das etapas principais de construção de mapas conceituais; c) Identificação dos subsunçores possíveis para uso no futuro nas aulas seguintes, por meio do estudo de MCI, diálogos com alunos e questionário.
Objetivos específicos	I. Explicar as etapas principais de construção de mapas conceituais; II. Usar a ferramenta como um mapa conceitual no exemplo construído com professor(a); 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; 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; V. Discutir os conceitos gerais do processo de fotossíntese que foram aprendidos antes dessa aula e os estudados durante a primeira aula.
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 (Anexo A, Figura 1).

¹Disponível em: http://paulofreire.se.df.gov.br/ead/pluginfile.php/7088/mod_resource/content/0/5-Curriculo_em_Movimento_-_Ensino_Medio.pdf. Acesso em: 10 set. 2021.

Metodologia	<p>Construção de MCI 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 e <i>data show</i> (projetor).
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	O papel da luz, as reações químicas e as estruturas biológicas no processo de fotossíntese oxigênica
Objetivos gerais	(a) As relações cruciais entre os conhecimentos das áreas previamente separadas no ensino tradicional.
Objetivos específicos	<ol style="list-style-type: none"> I. Demonstrar as relações importantes entre os conhecimentos que, usualmente, são ensinados separados pelas áreas de ciência no ensino tradicional: física, química e biologia. II. Hierarquizar e organizar os conhecimentos novos, assimilando com conhecimento prévio com suporte de construção de um mapa conceitual final (MCF). III. Demonstrar a importância de relações horizontais e verticais do conhecimento assimilado para aprendizagem profunda do processo de fotossíntese.

Conhecimentos	<p>Relações interdisciplinaridades horizontais, primeira camada (1° “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 (2° “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 (3° “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 (Anexo A, Figuras 2-3); • as reações químicas de fases de claro (fotofosforilação e fotólise de água) e escuro (fixação do carbono) (Anexo A, 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) (Anexo A, Figura 1) e as relações entre eles. <p>É importante ressaltar conceitos dos tipos e propriedades do eletromagnetismo (cf. Anexo A). 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>
Metodologia	<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>
Recursos necessários	Quadro branco, marcadores, livros didáticos e <i>data show</i> (projeter).
Proposta de avaliação	Avaliação de aprendizagem na base de construção do MCF, discussões e questionário. Importância de participação do aluno 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	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	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
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 <i>feedback</i> dos alunos sobre o método escolhido para o processo de aprendizagem.
Objetivos específicos	Verificar a eficácia 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 <i>feedback</i> dos alunos sobre o método escolhido para o processo de aprendizagem.
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.
Metodologia	Finalização de construção do MCF permite hierarquizar e relacionar os conhecimentos prévios e novos pelos conceitos de mapa conceitual. Propõe-se a análise de construção de conhecimento na forma de discussão e diálogo.
Recursos necessários	Quadro branco, marcadores, livros didáticos e <i>data show</i> (projektor).
Proposta de avaliação	A análise da evolução do conhecimento entre o mapa conceitual inicial e final, discussões e questionário.
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	<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>
--------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Elaboração própria.

O estudo de aplicação desta abordagem interdisciplinar de aprendizagem significativa e crítica foi desenvolvido no ensino remoto no Instituto Federal de Brasília (IFB), no Curso Técnico em Eventos integrado ao Ensino Médio², no período de 23/11/2020 a 22/01/2021. Contou com 103 alunos inscritos no curso de 2º (57) e 3º (46) ano, 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-19³, as aulas presenciais foram substituídas pelos roteiros 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 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 incluía conteúdos e atividades do componente de Física sobre o tópico *Óptica e Ondas*. Separadamente, outro roteiro de 3º bimestre do 3º ano oferecia conteúdos e atividades de Física sobre o 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 o ensino interdisciplinar proposto 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 implementação dos conceitos de eletromagnetismo, os quais, ainda, não haviam sido 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

² 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.

³ Desde 03/08/2020 e durante todo o processo de aplicação.

foram desenvolvidas tendo o mapa conceitual como ferramenta principal, para 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 nessas turmas, nas disciplinas de biologia, química e física. Os temas e os conceitos foram então incorporados na construção do questionário-guia de MCI e MCF (cf. Apêndices A, B e C), sendo o primeiro usado como ferramenta para o levantamento dos subsunçores efetivamente presentes na estrutura cognitiva dos alunos. Nesse sentido, o MCI foi preenchido no começo das atividades, ainda sem a leitura de seu conteúdo, de modo a revelar o conhecimento prévio dos estudantes. Já o mapa conceitual final (MCF) foi preenchido no final do processo de ensino, evidenciando, assim, a eventual aquisição de novo 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 também abordam os conceitos seguindo-se do mais geral para o mais específico. Também evidencia as relações horizontais entre os conhecimentos que foram divididos anteriormente por áreas diferentes. Esse questionário-guia cria, também, uma situação-problema para que o discente exerça o pensar crítico e criativo na leitura de conteúdo para achar as respostas dessas questões propostas.

De forma geral, a abordagem desenvolveu a autonomia dos alunos no processo de estudo e aprendizagem ao torna-los protagonistas da própria aprendizagem, ao passo que tornou a professora uma guia para os estudantes durante esse processo. Com isso, a docente instruiu os alunos no planejamento de trabalhos autônomos dentro da atividade, guiando, passo a passo, a atividade para a gestão do tempo, o controle da produtividade e a efetividade das ações de seus alunos.

Além disso, as atividades desenvolvidas e aplicadas buscaram construir o ambiente social e cultural de interações entre a professora e os estudantes, mesmo diante das adversidades da pandemia. 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 o método de atividade interdisciplinar demonstrou que os alunos podem construir relações entre os conteúdos, comumente, separados por disciplinas diferentes. Essa atividade aponta, assim, que há inter-relacionamentos nos fenômenos do mundo natural, tanto quanto nos paralelos teóricos e, com isso, indicia que a interdisciplinaridade em seu contexto escolar pode ser efetivada e efetiva no processo de ensino-aprendizagem.

Destaca-se que a avaliação da atividade proposta foi construída na base de autoavaliação dos estudantes (50%) e avaliação da professora (50%). A autoavaliação dos estudantes foi incluída como meio para motivar os estudantes ao desenvolvimento de um pensamento crítico e criativo na participação/avaliação da atividade. A evolução de construção entre o mapa conceitual inicial e o final foi central no processo de avaliação.

Mesmo assim, os alunos que, por diferentes razões, não conseguiram participar na construção de mapas conceituais, mas responderam ao questionário-guia, também foram avaliados – para isso, a avaliação foi baseada na evolução das respostas iniciais e finais na referida atividade. A etapa final da SD foi a aplicação do questionário das opiniões dos alunos sobre o estudo apresentado. As respostas a esse questionário foram incluídas no roteiro e, depois, analisadas pela professora, como apresentado na seção a seguir.

RESULTADOS E REFLEXÕES

Nesta seção, 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 sobre o estudo apresentado. Voltando-se para os dados coletados, verificou-se que, dos 103 estudantes inscritos no curso integrado (2º e 3º anos), 68 estudantes (66%) fizeram a atividade de física do 3º bimestre, de modo que 35 estudantes (34 %) decidiram não participar da referida atividade.

É relevante ressaltar que, dos 68 participantes efetivos na atividade (2º e 3º anos), 52 estudantes (76%) conseguiram construir o MCF. Desse modo, 16 estudantes (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 de pandemia de Sars-Cov-19, foi inviável garantir, de maneira constante, o trabalho dos alunos, que permaneceram todos 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*, do 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.

O acréscimo na capacidade de construir relações conceituais, mensurados pela comparação entre MCI e MCF, foi interpretada como indício de aprendizagem proposicional. 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 N°1 (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 máxima. Já no que se refere aos estudantes do 3º ano, os resultados dos participantes da atividade N° 7 (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 1, a seguir:

Tabela 1 - Performance acadêmica dos(as) discentes dos 2º e 3º anos que participaram da atividade⁴

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: Elaboração própria.

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 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% dos alunos do 2º ano e 8,7% dos(as) alunos(as) do 3º ano conseguiram responder corretamente algumas questões, que são discutidas abaixo, do questionário do MCI. Além disso, esses alunos preencheram o formulário parcialmente, deixando o mapa conceitual inicial incompleto. Mesmo havendo essa ocorrência, isso era esperado, visto que o mapa conceitual inicial tinha a função de servir como um levantamento dos conhecimentos prévios (subsunçores) dos estudantes e, portanto, é previsível que alguns estudantes possam ainda não possuir os conhecimentos necessários para atender essas demandas – 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 são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena?
- quais organelas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena?
- onde acontece a fotossíntese oxígena?
- qual é a partícula de luz envolvida no processo de fotossíntese oxígena?

⁴ As notas no IFB são atribuídas conforme uma menção, a qual considera um intervalo específico. Para menção 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. Esta pesquisa considerou os mesmos intervalos para verificar a performance acadêmica dos participantes.

- quais moléculas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena?
- quais estruturas biológicas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena?

Essas questões, como se pode notar, apresentam conceitos subordinados intermediários e conceitos específicos. Os resultados indicam que os estudantes mostraram grande dificuldade e, portanto, falta de conhecimento específico prévio relativamente ao que se desejava ensinar no que se refere a terminologia e a metalinguagem que especializam os saber nas áreas de conhecimento, em nosso caso biologia, química e 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 oxígena?

Esse fato indica que os estudantes possuem algumas informações gerais sobre o processo de fotossíntese e que esse conhecimento prévio pode servir como subsunçores 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 e que os referidos estudantes se envolveram. Esse questionário foi construído para revelar a opinião dos alunos sobre a eficácia do método, 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 1 - Questão sobre a relevância do mapa conceitual.

O método do mapa conceitual te ajudou no estudo de ondas e no processo de fotossíntese oxigênica?

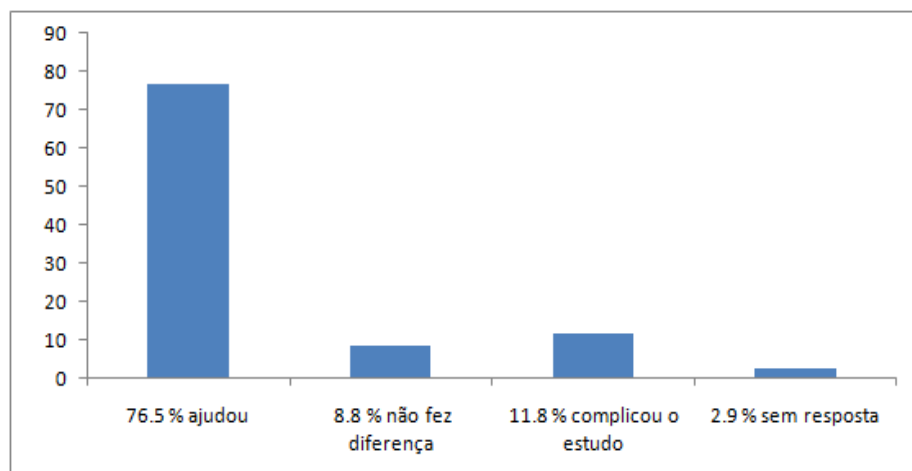
a) ajudou.

b) não fez diferença

c) complicou o estudo

Fonte: Elaboração própria.

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, 11,8% dos alunos anotaram que a construção dos mapas conceituais tornou seu estudo mais complexo, e 2,9 % dos alunos deixaram essa pergunta sem resposta. A representação desse resultado está no gráfico a seguir:

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

Fonte: Elaboração própria.

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 mapa conceitual pode ser utilizado com bastante eficácia 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 sobre o 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 2.

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

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados da Tabela 2 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 apontamento do 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 simples esquecimento de temas previamente estudados. Neste sentido, a abordagem da Aprendizagem Significativa aliada à estratégia interdisciplinar é particularmente indicada para a superação dessa adversidade que se encontram presente tanto nas séries do Ensino Médio quanto nos anos do Ensino Fundamental. Com a estratégia aplicada em nossa SD, os participantes puderam associar conteúdos 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 eficácia do método interdisciplinar, pois acreditamos – e os dados trazidos à luz ratificam – que a interdisciplinaridade potencializa o processo de ensino-aprendizagem ao expor os aprendizes a um 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 (cf. Apêndices B e C). 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 a elas 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.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo 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 de fotossíntese de forma mais profunda e global, incorporando e articulando conceitos e noções de áreas diferentes, que, comumente, são compartimentadas e separadas uma da outra. 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. Portanto, mesmo em condições adversas, a presente abordagem apresentou resultados satisfatórios. Vale destacar que, mesmo antes da pandemia, a BNCC já abria precedente de 20% de ensino básico na forma de ensino à distância (BRASIL, 2018b).

De modo geral, a Tabela 2 e os Gráficos 2 e 3 sustentam a percepção de eficiência da abordagem interdisciplinar e os Gráficos 4 e 5 confirmam o entendimento global do conteúdo. Nessa perspectiva, a abordagem interdisciplinar adotada pode servir como um modelo de *Estudo por Projetos*, 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 tanto, é preciso fazer novas aplicações da SD proposta com outros componentes curriculares e conteúdos – o que propomos para pesquisas ulteriores.

Em síntese, esta pesquisa demonstra 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 e modos outros de formular e compreender questões sociocientíficas.

REFERÊNCIAS

- 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.
- 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 Figheiera Perpétuo. Petrópolis: Vozes, 1995.
- 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.

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.

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** - Revista dos Estudantes de Física da UnB, 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. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 39-44, 2019.

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.

ANEXO A

Apresentação esquemática dos conceitos importantes estudados na Sequência Didática

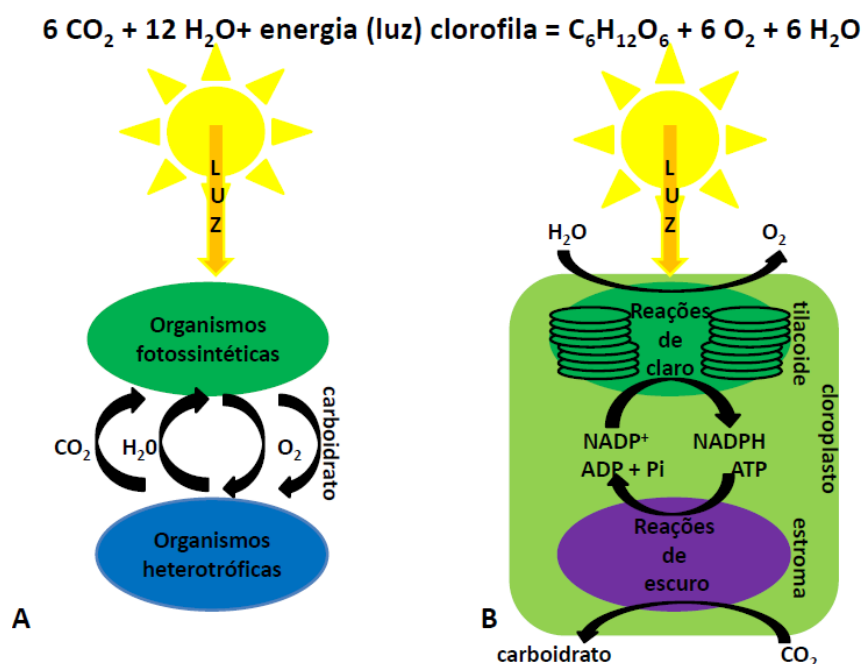


Figura 1. (A) A energia solar serve como uma fonte poderosa de toda a energia química e biológica. Os organismos fotossintéticos utilizam a energia da luz para produzir carboidratos e para liberação do O_2 pela fotólise de água, os quais vão ser utilizados por organismos heterotróficos. (B) As reações 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).

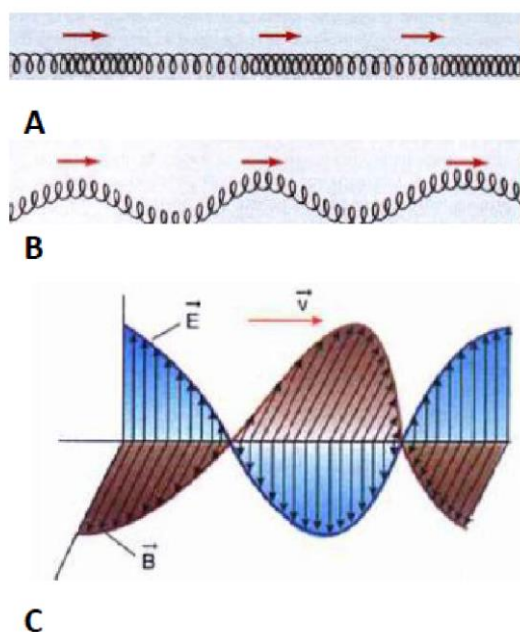


Figura 2. (A) Representação esquemática da onda longitudinal (por exemplo som), a vibração dela é paralelo à direção de propagação da onda. (B) Representação esquemática da onda transversal (por exemplo luz), a vibração dela é perpendicular à direção de propagação da onda. (C) Representação esquemática de onda eletromagnética. Adaptada do Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016, p. 197) e Bonjorno, Ramos e Sampaio (2013, p. 199).

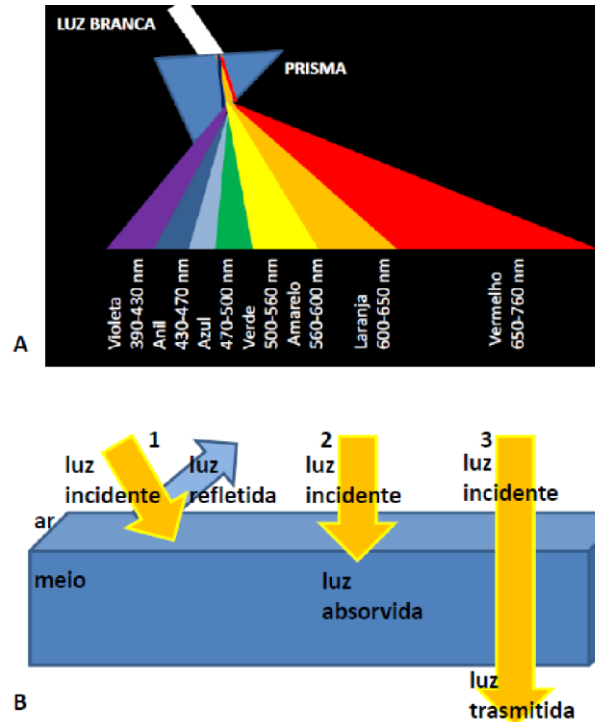


Figura 3. (A) Representação esquemática de espectro da luz visível. (B) Esquema de luz incidente sofrendo reflexão (1), absorção (2) e transmissão (3). Adaptada do Máximo, Guimarães e Alvarenga (2016, p. 125, 153, 164).

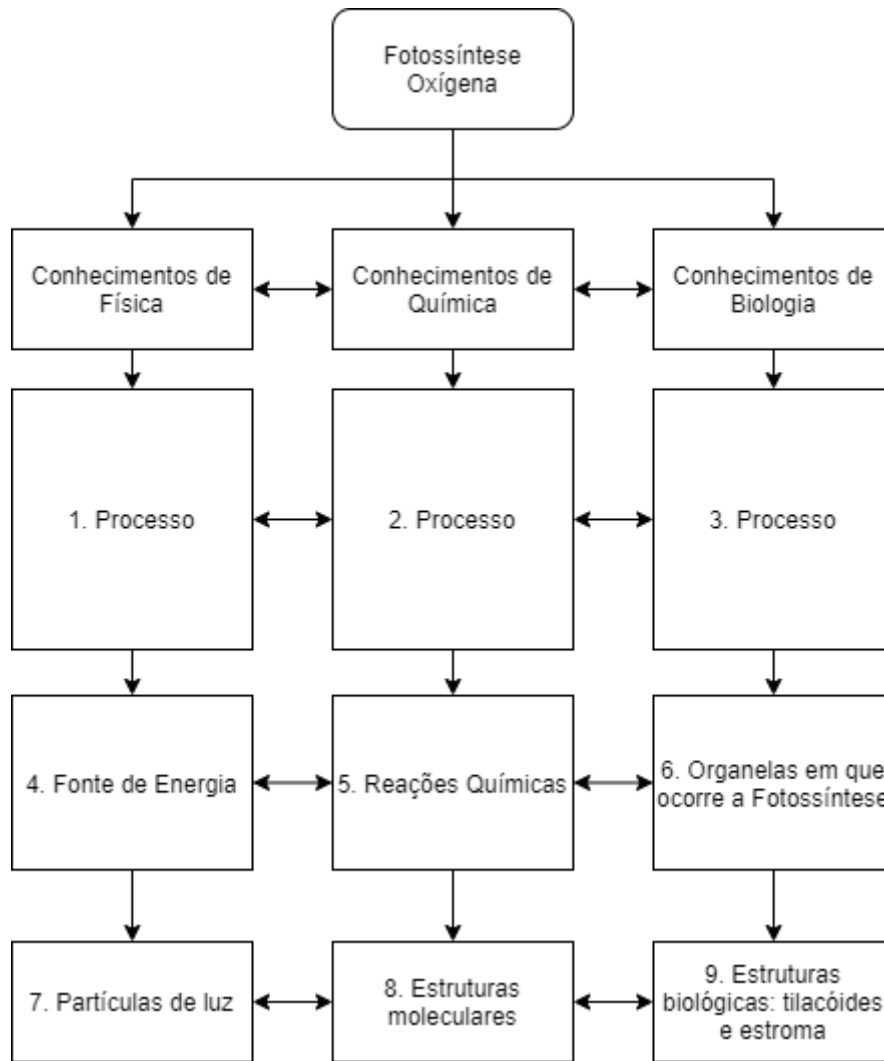
APÊNDICE A

Questionário-guia para estudo e construção de mapa conceitual (inicial e final, os números de questões correspondem os números nas caixas de mapas conceituais (MCI e MCF):

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?

APÊNDICE B

Exemplo de molde de mapa conceitual inicial feito pelo(a) professor(a)

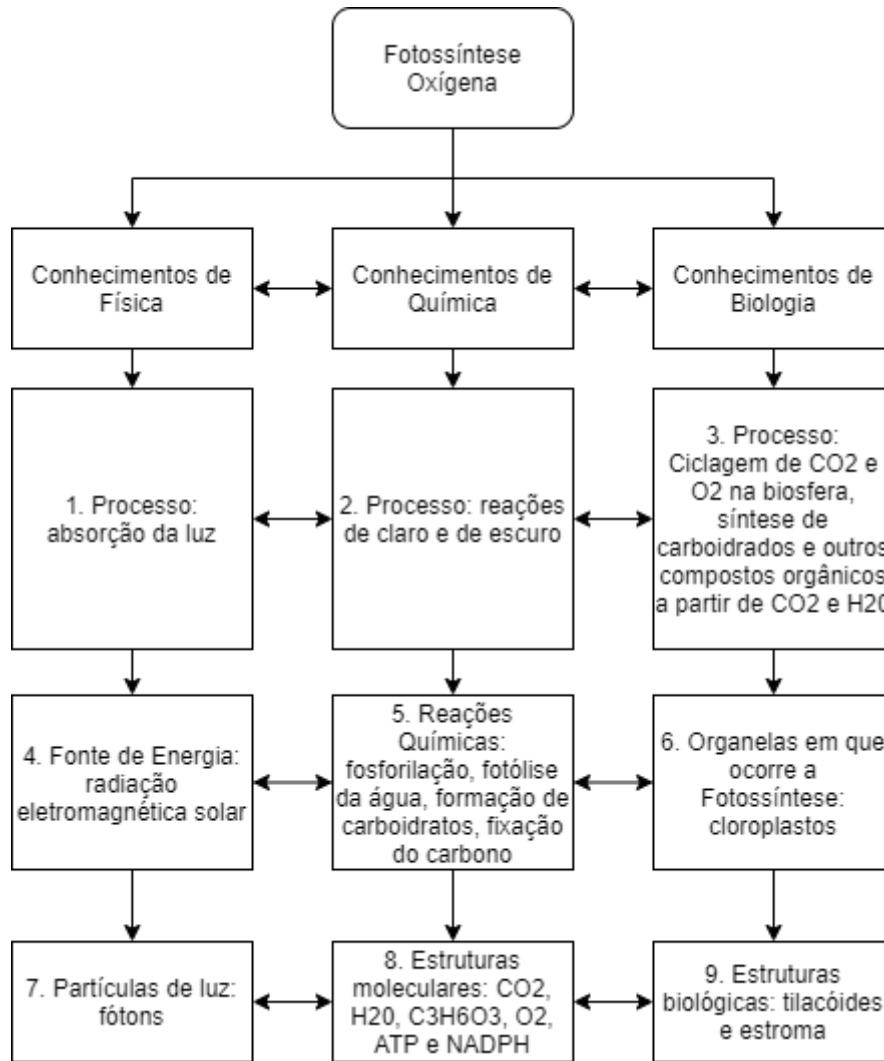


Fonte: Elaboração própria.

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

APÊNDICE C

Exemplo de mapa conceitual final preenchido pela professora



Fonte: Elaboração própria.

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