

NOÇÃO DE FOTOSÍNTESE: obstáculos epistemológicos na construção do conceito científico atual e implicações para a educação em ciência

Rosiléia Oliveira de Almeida*

* Professora do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas das Faculdades Jorge Amado – FJA. Doutoranda em Educação pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. E-mail: rosi_oliveira@terra.com.br

Resumo: *Analisa como as diversas doutrinas filosóficas manifestaram-se ao longo da construção da noção de fotossíntese, destacando os obstáculos epistemológicos envolvidos no domínio progressivo da racionalidade. Discute resultados de estudos descritivos envolvendo discursos de estudantes sobre a noção de fotossíntese, os quais indicam a persistência, ao longo da escolaridade, de explicações vagas e superficiais sobre a fotossíntese entre os alunos, devido, por um lado, à freqüente abordagem superficial do fenômeno no ensino fundamental, restringindo-se apenas “ao que entra” e “ao que sai” da planta e, por outro lado, à abordagem detalhista e mnemônica da terminologia científica criada para descrever o processo, especialmente no ensino médio, descuidando-se da compreensão dos seus aspectos orgânicos fundamentais do ponto de vista fisiológico, ecológico e evolutivo, bem como da regulação cognitivo-afetiva pelos alunos de seu processo pessoal e coletivo de construção da noção de fotossíntese.*

Palavras-chave: obstáculos epistemológicos; pluralidade filosófica; noção de fotossíntese; educação em ciência.

Abstract: *It analyzes how several philosophical doctrines have evidenced themselves throughout the fashioning of the notion of photosynthesis, calling attention to the epistemological obstacles involved in the progressive rationality supremacy. It discusses results of descriptive studies involving student discourses about the notion of photosynthesis, which indicate the enduring, throughout school life, of vague and superficial explanations about photosynthesis among students, due to on one hand the frequent superficial approach to the phenomenon in the primary school teaching, which restricts itself to “what goes in” and “what comes out” of the plant and, on the other hand, to the detailed and mnemonic approach of the scientific terminology created to describe the process, especially in secondary schooling, understressing the comprehension of its fundamental organic aspects from the physiological, ecological and evolutive points of view, as well as the cognitive-affective regulation by students in their personal and collective photosynthesis notion building process.*

Keywords: epistemological obstacles, philosophic plurality, notion of photosynthesis, science education.

Introdução

Temos como propósito, neste trabalho, inicialmente analisar, com base numa abordagem recorrente na história da construção da noção de fotossíntese, conforme proposto por Bachelard (1996, p. 17), na obra *A formação do Espírito Científico*, publicada em 1938, como as diversas doutrinas filosóficas manifestaram-se ao longo do tempo, destacando os obstáculos epistemológicos envolvidos no domínio progressivo da racionalidade. A noção de recorrência histórica é traduzida pelo autor pela idéia de que “é só com as luzes atuais que podemos julgar com plenitude os erros do passado espiritual”. (p. 22)

Em seguida, discutimos os resultados de três estudos descritivos envolvendo discursos de estudantes relativos à noção de fotossíntese, tendo por base as noções de obstáculo epistemológico, de perfil

epistemológico e de pluralidade filosófica, desenvolvidas por Bachelard em *Filosofia do Não*, livro publicado originalmente em 1940.

O primeiro estudo foi empreendido por Souza e Almeida (2002), envolvendo alunos da 8ª série do ensino fundamental. O segundo estudo refere-se à pesquisa empreendida por Compiani (2003), sendo que analisamos a intervenção de uma professora de 6ª série durante uma situação de interação discursiva, cujo tema era a fotossíntese. O terceiro estudo refere-se a uma intervenção que realizamos junto aos nossos alunos do segundo semestre do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas em que pretendíamos compreender suas concepções sobre a fonte do oxigênio liberado na fotossíntese.

1 O domínio progressivo da racionalidade na construção da noção de fotossíntese

Na história da ciência, uma noção científica é proposta e aceita, durante um determinado tempo, sem questionamento. No entanto, com o tempo, a pesquisa estimulada pelo próprio conceito acaba por evidenciar as limitações das explicações disponíveis, fazendo com que a noção seja retificada.

Ao se efetuar a retrospectiva da construção da noção de fotossíntese, percebe-se, conforme busca evidenciar Bachelard (1991, p. 19) ao estudar o conceito de massa, que “a evolução filosófica de um conceito científico particular é um movimento que atravessa todas [as] doutrinas filosóficas”, na seguinte ordem: animismo, realismo, positivismo, racionalismo clássico, racionalismo complexo e racionalismo dialético.

Segundo Bachelard (1991, p. 19-20), nem todos os conceitos atingiram o mesmo nível de maturidade, sendo que a Biologia seria, em 1940, ano em que *Filosofia do Não* foi originalmente publicado, uma ciência “em que o racionalismo ainda não penetra”. Essa afirmação apressada de Bachelard é facilmente contestável ao se considerar os avanços da racionalidade na Biologia a partir da elaboração da teoria da Seleção Natural por Charles Darwin, conforme explicitado por Canguilhem (1977). Esse autor ressalta que os avanços teóricos e técnicos criaram as condições de possibilidade para que Avery, MacLeod e McCarty determinassem, em 1944, a função do ADN (descoberto em 1869), na hereditariedade e na variação darwiniana:

Compreende-se facilmente que, sem a utilização de técnicas inconcebíveis há meio século, sem o estudo das estruturas cristalinas por difração dos raios X, sem o microscópio eletrônico, sem o emprego dos radioisótopos, teria sido impossível empreender o conjunto de investigações que permitiram por fim localizar nas macromoléculas do ácido desoxirribonucléico a função conservadora e a função inovadora da hereditariedade. (CANGUILHEM, 1977, p. 99).

Segundo Canguilhem (1977), o cristal de ADN é um dentre vários outros novos objetos científicos inventados desde o final do século XIX: o extrato celular; o metabolismo intermediário; a energética celular; o

gene da drosófila; a cultura de bactérias mutantes, os quais exigiram o trabalho teórico e técnico, tendo uma existência não como artefatos, mas como objetos não naturais, de uma sutileza estrutural e funcional não imaginável antes de sua invenção. A biologia constituiu seu objeto afastando-se do empirismo claro e positivista ao passar a estudar a vida “no que há de mais próximo da não vida”. (p. 103).

A conquista da racionalidade pela biologia através da criação de um novo objeto representou uma mudança que seguiu os passos dos químicos e físicos. Em 1854, Auguste Laurent já havia afirmado que a química tinha se tornado a ciência dos corpos que não existem. Em 1860, Marcellin Berthelot afirmou que a química cria seu objeto. Em relação à biologia Canguilhem (1977) afirma que:

De Darwin aos nossos dias e, mais precisamente, de 1900 até hoje, as ciências biológicas compreenderam que a maior parte dos problemas por elas formulados no século XIX só podiam ser solucionados através de uma transformação de escala do objeto de estudo, e por uma nova forma de fazer as perguntas. [...] Essa revolução de objeto e esta revolução de óptica não teriam sido possíveis se as ciências físicas não tivessem começado por dar o exemplo. **Foi porque os físicos e os químicos tinham, de certo modo, desmaterializado a matéria, que os biólogos puderam explicar a vida, desvitalizando-a.** O homem investiga agora em preparações laboratoriais o que tinha procurado compreender nos organismos, tal como a natureza lhes oferecia desde tempos imemoriais. De descritivo, o darwinismo tornou-se dedutivo. De vivissectora, a fisiologia tornou-se matemática. O que o olho e a mão não podiam discernir ou perceber foi confiado ao poder dos aparelhos de detecção. (CANGUILHEM, 1977, p. 106, grifo nosso).

A incompletude do conhecimento e os avanços progressivos da racionalidade pela superação de obstáculos epistemológicos são percebidos ao se resgatar historicamente a construção da noção de *fotossíntese*, o que efetuamos neste trabalho com base nas contribuições de Curtis (1977) e Purves et al. (2002).

Até cerca de 300 anos atrás, os naturalistas acreditavam que as plantas extraíam seu alimento do ambiente externo, assim como os animais, sendo que a fonte de nutrientes seria o solo, o que correspondia a uma concepção condizente com o realismo ingênuo, preso às impressões imediatas e a uma apreciação quantitativa grosseira, pois, se a planta tem raízes e depende do solo para manter-se viva e crescer (para aumentar sua massa!), parece evidente que ela se nutre a partir do solo (algo que também tem massa!).

Segundo Bachelard (1991, p. 23-24):

O senso comum despreza a massa das coisas miúdas, das coisas ‘insignificantes’. [...] a massa só é uma *quantidade* se for suficientemente grande. Primitivamente, ela não é, portanto, um conceito de aplicação geral como seria um conceito elaborado numa filosofia racionalista. [...] O espírito pré-científico definiu o conceito de corpos imponderáveis.

Era, portanto, impossível que se admitisse, naquela época, a idéia de que algo “sem massa”, como o ar, pudesse constituir a massa das plantas.

O médico belga Jan Baptista van Helmont (1577-1644) foi quem produziu a primeira evidência experimental de que o solo não é a fonte de alimentação das plantas. Ele plantou um salgueiro num pote de

argila e adicionava apenas água ao pote. Ao fim de cinco anos, o salgueiro tinha ganhado 82 quilos, enquanto a terra perdera somente 3 gramas. Com base nesse resultado, van Helmont concluiu, influenciado por um empirismo claro e positivista, que a matéria da planta provinha da água e não do solo. A construção do conceito envolveu a conduta da balança, em que a objetividade instrumental resultaria num conhecimento claro, simples, seguro e infalível. Essa experiência, em sua simplicidade e continuidade com a experiência imediata, constituiu-se em uma referência necessária e suficiente para legitimar a teoria de que a matéria da planta provinha da água!

No século XVIII, um dos temas que revolucionou o estudo da química foi a queima, sendo que o estudo da fisiologia vegetal teve um papel relevante nas pesquisas então desenvolvidas. Em 1771, o químico inglês Joseph Priestley expôs um ramo de hortelã ao ar, em que ardera uma vela de cera. Verificou, decorridos dez dias, que outra vela podia ser queimada no mesmo ar. Priestley acreditava ter “descoberto acidentalmente um método de restaurar o ar viciado pela queima de uma vela”, conforme relatou. Concluiu, com base no raciocínio lógico, que a vegetação seria o meio que a natureza emprega para “restaurar” o ar. Como extensão desta conclusão, demonstrou que o ar “restaurado” pela vegetação não era, “de modo algum, inconveniente para um camundongo”. Com uma base empirista, estes experimentos permitiram explicar como o ar permanecia “puro” e capaz de manter a vida, apesar da queima de material e da respiração de tantos animais. A medalha recebida por Priestley, em reconhecimento pelas suas pesquisas, traz uma inscrição que evidencia o obstáculo finalista envolvido na construção da noção de fotossíntese: “Por sua descoberta, ficamos seguros de que nenhum vegetal cresce **em vão**... e purifica e limpa nossa atmosfera.” (grifo nosso).

Nos anos subsequentes, os resultados obtidos nos experimentos de Priestley não foram confirmados por outros químicos e nem mesmo por ele próprio, pois predominava no espírito científico da época a concepção empirista que impossibilitava que se percebesse que a luz era importante para o efeito de “restauração” do ar, de forma que não se controlava essa variável nos experimentos.

Foi o médico holandês Jan Ingenhousz (1730-1799) quem evidenciou, ainda numa base empirista, que o processo de purificação do ar só ocorre à luz solar. Concluiu que as plantas, à noite ou à sombra, “contaminam o ambiente que as envolve, exalando ar prejudicial aos animais”. Constatou que somente as partes verdes das plantas “restauram” o ar e que “o Sol, por si só, não tem o poder de fazê-lo sem a cooperação das plantas”. Essa idéia de que a fotossíntese tem o papel de purificar o ar corresponde a um obstáculo representado pelo conhecimento pragmático, que explica os fenômenos em termos utilitários, como uma função designada.

Segundo Bachelard (1991, p. 21), “a evolução de um conhecimento particular caminha no sentido de uma coerência racional. A partir do momento em que se conhecem duas propriedades de um objeto, tenta-se constantemente relacioná-las”, de forma que “um conhecimento mais profundo é sempre acompanhado de uma

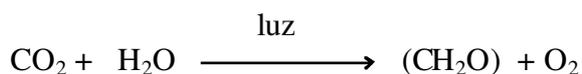
abundância de razões coordenadas” e que “para descobrir os aspectos desconhecidos do real [...] só as teorias são prospectivas”.

A formulação da noção de fotossíntese em bases modernas, ou seja, com o predomínio de um enfoque racionalista clássico, em que se busca evidenciar aspectos desconhecidos do fenômeno, foi influenciada pelos experimentos de Antoine Lavoisier (1743-1794) sobre respiração animal. Lavoisier percebeu que a respiração animal não envolve simplesmente troca de gases, mas sim uma transformação química que se assemelha a uma combustão. A partir de seus estudos, o fenômeno da fotossíntese passou a ser interpretado não mais a partir da experiência imediata e direta, passando a envolver hipóteses sobre a “caixa preta” da fotossíntese, ou seja, sobre como os vários elementos envolvidos no fenômeno se correlacionam.

Com o matemático Laplace (1749-1827), Lavoisier confinou uma cobaia em oxigênio durante 10 horas e mediu o gás carbônico produzido. Também mediu a quantidade de oxigênio consumido por um homem ativo e em repouso. Evidenciou que a combustão de compostos de carbono, com oxigênio, a dióxido de carbono e água, era a verdadeira fonte do calor animal e que o consumo de oxigênio aumenta durante o trabalho físico. Para Lavoisier, a respiração seria simplesmente uma combustão lenta de carbono e de hidrogênio, em tudo semelhante à que ocorre com uma vela ou lamparina acesa; desse ponto de vista, os animais que respiram seriam realmente corpos combustíveis que queimam e são consumidos.

De acordo com as idéias de Lavoisier sobre os gases, Jan Ingenhousz propôs, em 1796, a hipótese de que a planta não trocava simplesmente “ar bom” por “ar ruim”. Sugeriu que a planta, exposta ao sol, absorve o carbono do dióxido de carbono “e se desfaz somente do oxigênio, conservando o carbono para si, como nutrição”.

Nicholas Theodore de Saussure (1767-1845), aplicando os princípios de medidas quantitativas de Lavoisier, mostrou que volumes iguais de CO₂ e de O₂ são trocados durante a fotossíntese, corroborando a hipótese de que a planta retém o carbono. No entanto, demonstrou também que a planta ganhava mais peso do que poderia dar conta o carbono assimilado do dióxido de carbono, ou seja, a matéria seca das plantas apresenta não só o carbono oriundo do dióxido de carbono, mas também outros componentes provenientes das moléculas de H₂O. Esta conclusão permitiu que se chegasse à equação global da fotossíntese:



Por mais de 100 anos houve aceitação tácita de que o oxigênio produzido na fotossíntese era proveniente da molécula de dióxido de carbono, devido à plausibilidade dessa concepção. Esse fato é um bom exemplo do que Bachelard (1996, p. 52) chama de “racionalizações prematuras” que, aparentemente, “nenhuma experiência

nova, nenhuma crítica pode dissolver”. Com a adesão a esse “fato”, cheio de autoridade e poder, constrange-se e imobiliza-se a razão.

Em 1931, C. B. van Niel, investigando a fotossíntese em bactérias fotossintetizantes, verificou que as bactérias sulfurosas produzem carboidratos a partir do dióxido de carbono, mas não produzem oxigênio e sim glóbulos de enxofre.



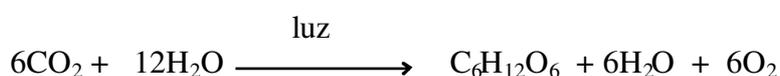
C. B. van Niel extrapolou estes resultados, de forma ousada e especulativa, propondo que, nas algas fotossintetizantes e plantas verdes superiores, era a água a molécula partida e não a de dióxido de carbono, ou seja, **o oxigênio liberado seria proveniente da água**, o que resultou na seguinte equação generalizada, em que H_2A seria uma substância oxidável qualquer.



Nas algas fotossintetizantes e plantas verdes H_2A corresponderia à água.

Em 1937, Robin Hill realizou experimentos com cloroplastos, tendo obtido a produção de oxigênio na ausência de gás carbônico.

Em 1941 a especulação de C. B. van Niel foi corroborada por meio de evidências convincentes obtidas em experimentos com o uso de isótopos mais pesados do oxigênio ($^{18}\text{O}_2$). Num experimento dois grupos de plantas verdes foram preparados para realização de fotossíntese. As plantas de um dos grupos foram supridas com água contendo o isótopo do oxigênio pesado e com dióxido de carbono contendo apenas o isótopo de oxigênio comum (H_2^{18}O , CO_2). As plantas do outro grupo foram supridas com dióxido de carbono contendo o isótopo do oxigênio pesado e com água contendo somente o isótopo de oxigênio comum (H_2O , C^{18}O_2). Constatou-se que apenas as plantas do primeiro grupo liberavam oxigênio com isótopos pesados ($^{18}\text{O}_2$) e, portanto, que todo o oxigênio produzido durante a fotossíntese provém da água. A descoberta de que existem moléculas suficientes de água para explicar todo o oxigênio produzido foi expressa na seguinte equação:



Causou-nos grande surpresa constatar, no livro *A formação do espírito científico*, publicado em 1938, época em que ainda não havia evidências convincentes para a especulação de C. B. van Niel de que o oxigênio produzido na fotossíntese é proveniente da água, que Bachelard estava imerso no espírito de sua época, não tendo o distanciamento necessário para analisar as concepções dos cientistas que lhe foram contemporâneos. Bachelard, ao analisar a opinião de Lavoisier de que a vegetação seria o fenômeno inverso ao da combustão, escreve:

Tais opiniões mostram bem em que nível de generalidade mal definida se desloca o pensamento de um célebre experimentador, quando ele segue os temas característicos da filosofia puramente biológica. No sólido terreno de estudo da matéria inerte, o fenômeno inverso da combustão não é a vegetação, e sim a *redução*: à união do carbono e do oxigênio efetuada na combustão, **opõe-se a separação do carbono e do oxigênio efetuada pela redução**. Mas para uma mentalidade do século XVIII, a vegetação é uma entidade tão primordial que deve ser colocada na base do processo químico fundamental. (BACHELARD, 1996, p. 187).

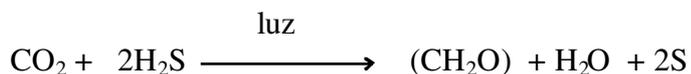
Desde meados do século XX, o conceito geral de fotossíntese não se modificou, mas várias pesquisas ampliaram a compreensão do processo, em bases racionalistas, relativistas e contemporâneas. A noção de fotossíntese se decompôs e passou-se a perceber que o fenômeno é simples apenas em primeira aproximação. Ele é altamente complexo, com muitas sutilezas e variações delicadas.

Conforme afirma Bachelard (1991, p. 30), “numa noção particular, numa noção elementar, o racionalismo se multiplica, se segmenta, se pluraliza”, buscando “captar a estrutura interna” dos fenômenos. Nesse sentido, para Bachelard (1996, p. 38), ao contrário do pensamento pré-científico, que não se fecha no estudo de um fenômeno bem circunscrito, procurando a *variedade*, que leva o espírito de um objeto para outro, o pensamento científico procura a *variação*, ou seja, “liga-se a um objeto particular, tenta objetivar-lhe todas as variáveis, testar a sensibilidade das variáveis. Enriquece a compreensão do conceito e prepara a matematização da experiência.” Essa busca da variação pode ser evidenciado pelos seguintes progressos na construção da noção de fotossíntese:

- A fotossíntese consiste de muitas reações químicas, divididas pelos cientistas em duas etapas. Na primeira etapa a energia luminosa é usada para formar ATP a partir de ADP e para reduzir moléculas transportadoras de elétrons através de várias reações denominadas **reações de claro**. Na segunda etapa, a energia colhida na primeira é usada para reduzir o carbono do dióxido de carbono a um açúcar simples, a glicose. As reações envolvidas nesta segunda fase são denominadas **reações de escuro**, porque não requerem luz diretamente. No entanto, ocorrem somente à luz, pois são dependentes dos produtos das reações de claro.

- As reações da fotossíntese ocorrem dentro de organelas celulares denominadas cloroplastos, existindo cerca de 40 a 50 em cada célula vegetal, cuja estrutura já foi descrita por meio de estudos aos microscópios óptico e eletrônico.
- As teorias físicas sobre a constituição da luz, elaboradas por Isaac Newton (1642-1727) – luz como corrente de partículas, constituída por cores diferentes, do violeta ao vermelho; por James Clerk Maxwell (1831-1879) – luz visível como parte de um vasto espectro contínuo de radiação, o espectro eletromagnético, sendo que as radiações desse espectro propagam-se em ondas; e por Albert Einstein (1905) – luz constituída por partículas de energia chamadas fótons – são altamente significativas para a compreensão da noção científica atual de fotossíntese. Considera-se que essas duas últimas teorias coexistem e se complementam, pois a luz tem propriedades de onda e de partícula. Sabe-se hoje que **somente as radiações situadas no espectro visível têm a propriedade de excitar moléculas**, isto é, de elevar elétrons de um nível de energia para outro, e assim produzir modificações biológicas.
- A luz é capturada nos cloroplastos por um grupo de pigmentos. A clorofila é o principal pigmento envolvido na fotossíntese, absorvendo energia luminosa no violeta, azul e vermelho e refletindo a luz verde, o que torna as folhas verdes. Há muitas espécies diferentes de clorofila, que variam ligeiramente em estrutura molecular e, conseqüentemente, no seu espectro de absorção da luz. Quando os pigmentos absorvem luz, os elétrons são empurrados para um nível de energia superior que, na fotossíntese, causa uma reação química.
- Como nas plantas todas as células fotossintetizantes contêm clorofila *a*, acredita-se que ela esteja diretamente envolvida na transformação da energia luminosa em energia química. Nas plantas superiores existem as clorofilas *a* e *b*, assim como os carotenóides, pigmentos vermelhos, laranja ou amarelos. A clorofila *b* e os carotenóides absorvem luz em comprimentos de onda diferentes daqueles que são absorvidos pela clorofila *a*, e acredita-se que possam transferir energia para a clorofila *a*, estendendo, assim, o âmbito de luz disponível para a fotossíntese.
- Nas **reações de claro** da fotossíntese, a **energia luminosa** é convertida em **energia elétrica** – fluxo de elétrons removidos da água, que se decompõe liberando oxigênio gasoso – e a energia elétrica é convertida em **energia química**, sendo armazenada em moléculas aceptoras de elétrons, ou seja, carregadoras de energia, que serão utilizadas, nas reações de escuro, para a redução do carbono a glicose.

- Nas **reações de escuro**, a energia química gerada pelas reações de claro, armazenada em moléculas aceptoras de elétrons, é convertida em formas apropriadas para armazenamento e transporte, constituindo as estruturas básicas de carbono das quais todas as outras moléculas orgânicas dos sistemas vivos são produzidas, sendo este processo denominado de *fixação do carbono*.
- Tendo em vista as leis da termodinâmica, a fotossíntese tem o papel de manter a organização e a atividade característica dos seres vivos, ao tomar a energia resultante das reações termonucleares que ocorrem no Sol e incorporá-la nos sistemas biológicos, que a liberam de forma menos útil ou menos ordenada. A fotossíntese permite, portanto, que se crie um fluxo contínuo de energia oriunda do Sol através dos sistemas vivos. De acordo com a primeira lei da termodinâmica, quando a energia muda da luz solar para a planta, não há perda de energia. Entretanto, segundo a segunda lei da termodinâmica, a conversão é relativamente ineficiente, pois menos de 4% da energia solar incidente resulta em energia química nas moléculas de açúcares.
- As primeiras formas de vida eram adaptadas para viver num ambiente sem oxigênio livre. Sua energia era proveniente da glicólise anaeróbia, o que teria resultado no acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera. Os primeiros organismos fotossintetizantes foram provavelmente bactérias anaeróbias que usavam o sulfeto de hidrogênio, em vez de água, como fonte de elétrons.



- Há cerca de três bilhões de anos, a evolução dos pigmentos permitiu o surgimento de seres fotossintetizantes que extraíam elétrons da água e que produziam oxigênio como subproduto, o que representou uma mudança significativa no curso da evolução biológica e modificou a composição da atmosfera terrestre. O oxigênio livre era nocivo para as espécies então existentes, no entanto, surgiram espécies para as quais o oxigênio livre passou a ser requisito de existência. Essas espécies passaram a ter vantagens sobre os organismos que não consumiam o oxigênio. Isto porque é possível extrair mais energia das moléculas de carbono por oxidação do que por processos de fermentação, nos quais as moléculas de combustível não são quebradas totalmente. A vantagem adaptativa proporcionada pela obtenção de energia por oxidação possibilitou o desenvolvimento de organismos cada vez mais complexos e cada vez mais ativos.

- O aprofundamento do estudo do processo de fotossíntese permite verificar que surgiram, ao longo do processo evolutivo, rotas bioquímicas específicas particulares em alguns grupos de plantas, de forma que não se pode falar de um processo geral da fotossíntese. O milho, a cana-de-açúcar e outras gramíneas tropicais apresentam uma rota bioquímica que otimiza a fotossíntese em condições de alta temperatura e baixo nível de gás carbônico. Em tais condições, a fotossíntese é inibida em outras plantas, como trigo e arroz. Além disso, muitas plantas armazenadoras de água (cactos, ananás, etc.) utilizam uma rota bioquímica para minimizar a perda de água por transpiração. Elas abrem os estômatos apenas à noite, quando absorvem o gás carbônico, o qual é fixado numa substância (ácido málico). Quando chega a luz do dia ocorre a descarboxilação do ácido málico e o CO₂ é incorporado às reações de escuro da fotossíntese.

Segundo Bachelard (1991, p. 31-32), o racionalismo é uma filosofia que “se compromete sempre e arrisca totalmente em cada experiência”, envolvendo “um esforço de reorganização teórico”, uma “multiplicação íntima” e uma “complicação das noções de base”. Em sua forma mais avançada, o racionalismo dialético, o pensamento “coloca entre parêntesis a realidade”, procurando a sua realização, **forçando a natureza a ir tão longo quanto o nosso espírito**, promovendo uma abertura.

No que se refere à noção de fotossíntese, o racionalismo dialético manifesta-se na confluência da genética, da aplicação das leis da termodinâmica e dos estudos da regulação enzimática nas pesquisas que visam ampliar a eficiência da fotossíntese e, conseqüentemente, a produtividade de alimentos.

2 Pesquisas sobre o ensino do conceito de fotossíntese

Souza e Almeida (2002) resgatam uma série de estudos que apontam dificuldades no ensino da noção de fotossíntese, decorrentes da existência entre crianças e adultos, inclusive professores, de concepções diferenciadas daquelas aceitas na atualidade pela comunidade científica. Entre as dificuldades que as autoras comentam, destaca-se o fato de os estudantes não entenderem **como e por que a água, o ar e a luz do sol são utilizados na produção de alimento**.

As autoras identificaram idéias de estudantes de 8^a série do ensino fundamental sobre o conceito de fotossíntese e as analisaram tendo como uma das categorias¹ a noção de obstáculos epistemológicos, desenvolvida por Bachelard. Foram considerados os obstáculos epistemológicos: o *conhecimento geral*, a *experiência primeira*, o *obstáculo verbal* e o *conhecimento pragmático*. Tais obstáculos manifestaram-se nas seguintes situações:

¹ As autoras também utilizaram categorias de análise do discurso, na versão da escola francesa, cujo emprego não será objeto de discussão no presente trabalho.

Conhecimento Geral

Os alunos apresentavam respostas superficiais, vagas e que, ao mesmo tempo, davam a impressão de que explicavam tudo. Em várias respostas, reagentes eram confundidos com produtos, ou não eram informados todos os reagentes.

Exemplo: “Sim. Fotossíntese é o processo das plantas.”

Obstáculo Verbal

Segundo Bachelard (1996, p. 26), o obstáculo verbal manifesta-se quando uma “falsa explicação [é] obtida com a ajuda de uma palavra explicativa”. O termo *fotossíntese* é visto como obstáculo por trazer uma carga de sentido para cada indivíduo e pelo fato de ser considerada “importante” na linguagem da ciência. Além disso, o termo é amplamente utilizado como sinônimo de *reprodução, energia, respiração, pigmentação da planta, transformação, metamorfose, alimento*, ou, então, associado a frases feitas, como “produção do próprio alimento”.

As autoras comentam que alguns alunos separam, como produtos da fotossíntese, o alimento e a energia. No entanto, falham ao não analisarem essa concepção em termos dos obstáculos epistemológicos e também por irem além das respostas dos alunos, extrapolando-as e interpretando-as de forma arbitrária ao afirmarem que “nesse caso a glicose foi considerada responsável pela energia dada ao vegetal, ao se ligar ao oxigênio, durante a respiração celular”. Resta perguntar: por que os alunos tendem a separar, como produtos da fotossíntese, o alimento e a energia?

Ao analisarem o emprego pelos alunos dos termos respiração e fotossíntese como sinônimos, as autoras equivocam-se ao legitimar o equívoco dos alunos pelo fato de, segundo elas, nos dois processos ocorrer “troca gasosa”.

Exemplo: “Sim, é o processo pelo qual as plantas respiram o gás carbônico e soltam o oxigênio.”

No entanto, a fotossíntese e seu processo inverso, a respiração (celular!), não envolvem simplesmente trocas gasosas, mas sim uma série de reações químicas no interior das células. Essa explicação, cuja origem não foi discutida pelas autoras, resulta de uma tendência empirista de se considerar apenas os aspectos mais evidentes do fenômeno. Outro equívoco é o uso da noção de respiração sem distingui-la da noção de respiração

celular, pois as plantas *não respiram*. Elas realizam, no interior das células, uma série de reações químicas que liberam a energia armazenada nos alimentos, denominada *respiração celular*. O termo respiração é empregado nas plantas como uma analogia ao processo de entrada e saída de gases nos pulmões, realizado pelos animais.

Em uma das respostas, fica evidente que o aluno concebe a fotossíntese não apenas como troca de gases, mas sim como “transformação”. Na interpretação das autoras o aluno tem a concepção de fotossíntese como respiração, o que consideramos equivocado. Vejamos:

“Sim, que a fotossíntese realiza a transformação do gás carbônico para o oxigênio.”

As autoras comentam que o aluno desconsiderou outros reagentes e produtos da fotossíntese, mas não aprofundaram a análise no que se refere a um obstáculo importante na construção do conceito de fotossíntese: a dificuldade de se acreditar que um gás (o oxigênio) é proveniente da água e não de outro gás (o dióxido de carbono), idéia que, no desenvolvimento da noção de fotossíntese, perdurou por mais de 100 anos!

Ainda ao tratarem dos obstáculos verbais, as autoras comentam sobre a existência de dificuldades para se entender as palavras *luz* e *energia* no discurso da ciência. As autoras associam esta dificuldade à incompletude da língua e ao fato de ser inevitável a ocorrência de gestos de interpretação que destoam dos sentidos produzidos e admitidos como adequados pela ciência.

Consideramos que, além de existir o obstáculo verbal no emprego dos referidos termos, há também outro obstáculo importante ligado à concepção, fundada no positivismo da balança ligada à experiência usual, de que *luz e matéria, energia e matéria* não se relacionam. Desta forma, torna-se difícil conceber a fotossíntese como um processo em que existe *conversão de energia luminosa em energia elétrica e desta última em energia química*.

Pragmatismo

A interpretação do fenômeno da fotossíntese, em termos de utilidade, como uma função designada e não como resultante do acaso nos processos evolutivos, foi constatada pelas autoras nas respostas dos alunos. Assim, a fotossíntese teria a função de purificar o ar para os seres humanos ou ajudar na cadeia alimentar.

Dentre os obstáculos definidos como categorias de análise, pelas autoras, inclui-se a *experiência primeira*. No entanto, no texto não se constata a discussão em torno de como esse obstáculo manifestou-se nas concepções dos alunos. Uma discussão que julgamos pertinente em relação a esse obstáculo refere-se ao fato já constatado por Bachelard (1996, p. 36) na sua época, e que hoje se exacerba com o advento da internet, de que

“substitui-se o conhecimento pela admiração, as idéias pelas imagens”. A aprendizagem é apresentada como um processo fácil, instantâneo e que não exige paciência e esforço.

Constatamos que, embora de forma não explícita, as autoras consideram a pluralidade filosófica como constitutiva do ato de conhecer, ao afirmarem que:

Apesar dessa aparente classificação do pensamento quando pensamos em obstáculos epistemológicos de Bachelard, consideramos a impossibilidade de fecharmos seus sentidos neles próprios, ou seja, de não levarmos em conta o seu próprio movimento. Eles têm relações um com o outro. [...] Eles não podem ser entendidos como simples formas classificatórias de pensamento. (SOUZA; ALMEIDA, 2002, p. 105).

Em relação à possibilidade de sobreposição e oscilação das doutrinas filosóficas, Bachelard (1991, p. 43-44) apresenta argumentos, tais como:

Inquéritos psicológicos precisos [...] provariam a existência de curiosas desarmonias mesmo entre os espíritos mais bem formados. Não é certo que todas as noções logicamente claras sejam, do ponto de vista *psicológico*, igualmente claras. O estudo sistemático dos perfis epistemológicos evidenciaria muitas oscilações. (grifo do autor)

Em relação ao pluralismo filosófico, Bachelard (1991) considera que ele ocorre de forma específica para cada noção e para cada espírito particular, em determinado momento de sua trajetória, e que ele aumenta consideravelmente quando se obtém, simultaneamente, de vários espíritos, respostas a uma mesma pergunta a propósito de uma noção.

Uma concepção destoante da noção científica atual de fotossíntese emergiu em uma pesquisa desenvolvida e analisada por Compiani (2003), envolvendo situações de interação discursiva em sala de aula entre uma professora e seus alunos. Em uma das situações transcritas pelo autor, que reproduzimos a seguir, um aluno manifestou-se seguro de sua concepção de que o oxigênio é proveniente do gás carbônico, inclusive dirigindo-se à lousa para explicar sua concepção aos colegas.

Professora – O que a planta retira do solo?

Daniel – A água e os sais minerais.

Professora – (Confirmação da resposta)

(...)

Professora – A glicose produzida sai da planta e vai embora?

Classe – Não, ela circula pela planta.

Rodrigo – Circula pela planta e nunca vai sair?

Jeniffer – Não, ela dá força para o caule, para a folha e perde energia. A planta usa ela, mas se forma de novo. Ela vai usar para dar fruto, flor, crescer e fortalecer.

(...)

Professora – (Qual a origem do oxigênio liberado pelas plantas?)

Rodrigo – Deixa que eu vou explicar tudo. (Sobe na cadeira e começa a falar). Entra bolinha preta (representação do carbono) e vermelhas (representação do oxigênio) e sai bolinhas vermelhas (representação do oxigênio). Ué! E as pretas (carbono) ficam entalada? Ah! Não! Ela sai na glicose.

Jedsley – Produz gás carbônico e glicose.

Na seqüência, a professora legitima a explicação do aluno, pois sua intervenção apenas a reestrutura com o esclarecimento de que “cada bolinha representa um átomo diferente”.

Professora – Cada bolinha representa um átomo diferente, os quais chamamos de elementos químicos.

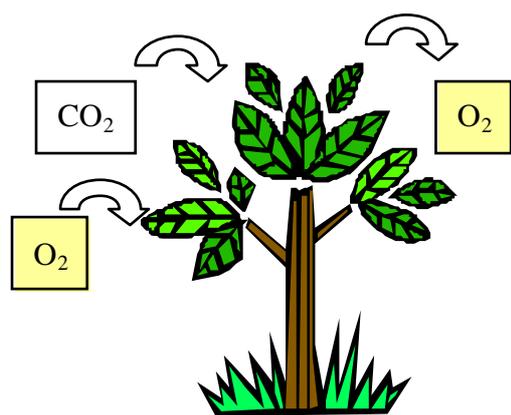
Classe - Tá saindo as mesmas bolinhas?

Rodrigo – Tá, mas tá juntado diferente.

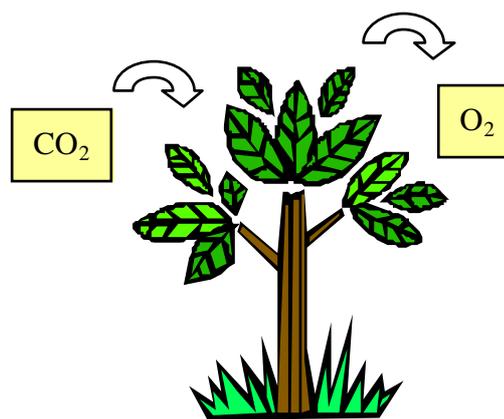
Constatamos que o pesquisador, ao analisar a atuação da professora na interação discursiva sobre fotossíntese, considerou que a mediação da professora “garantiu um bom desenvolvimento e discussão em sala”, não questionando sua atitude legitimadora da concepção do aluno de que o oxigênio provém do gás carbônico.

Souza e Almeida (2001 apud ALMEIDA, 2004) afirmam que estudantes do ensino fundamental, ao lerem textos originais de cientistas que pensaram a fotossíntese, notaram limites no próprio conhecimento e, também, uma certa incompletude na ciência, quando evidenciaram falhas no conhecimento dos próprios cientistas. Em relação à fonte do oxigênio liberado na fotossíntese, consideramos que o estudo retrospectivo da construção da noção atual de fotossíntese pode ser uma estratégia didática efetiva.

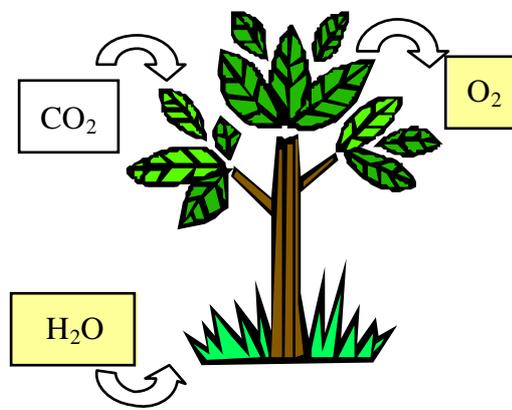
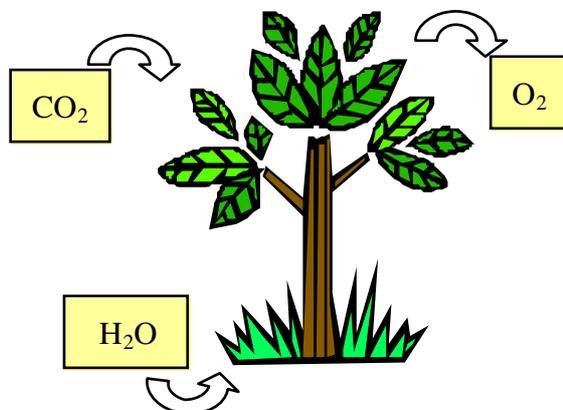
Em uma intervenção que realizamos com estudantes do segundo semestre do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas constatamos um pluralismo de concepções em relação à fonte de oxigênio liberado na fotossíntese. Foram construídas coletivamente com os alunos e registradas na lousa as seguintes representações, as quais apareceram na seguinte ordem:



1 - Concepção de que a planta purifica o ar retendo o dióxido de carbono e de que o oxigênio liberado é proveniente do próprio ar, ou seja, ele apenas passa pela planta.

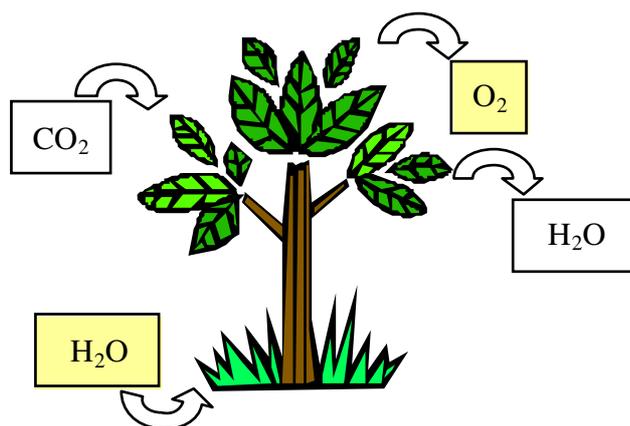


2 - Concepção de que o dióxido de carbono é a fonte do oxigênio liberado pela planta.

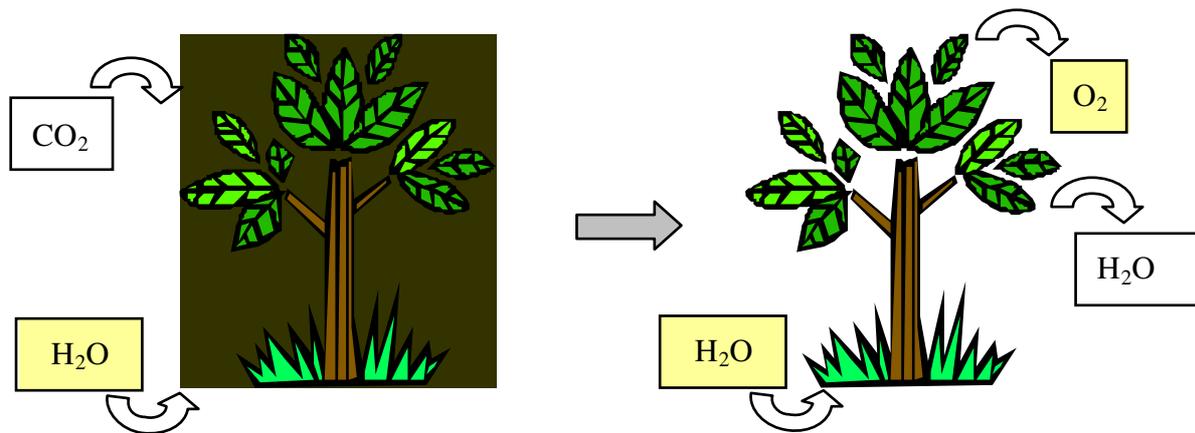


3 - Concepção de que o oxigênio liberado pelas plantas é proveniente tanto do dióxido de carbono quanto da água, havendo ou não combinação dos átomos de moléculas das duas substâncias.

4 - Concepção de que o oxigênio liberado pelas plantas é proveniente da água, que é completamente consumida no processo.



5 - Concepção de que o oxigênio liberado pelas plantas é proveniente da água, mas que o processo de fotossíntese também tem como um dos produtos a água.



6 - Concepção de que há plantas que apresentam a característica diferenciada de absorver o dióxido de carbono durante a noite e de armazená-lo para consumo no dia seguinte, como uma forma de reter água pela diminuição da abertura dos estômatos.

A predominância entre os alunos das três primeiras respostas é uma evidência da dificuldade que têm de imaginar que um líquido é fonte de um gás!

Verificamos que este obstáculo é menos contundente quando a pergunta referia-se a plantas e animais aquáticos. Neste caso, constatamos, em uma situação interativa envolvendo alunos de outra turma do segundo semestre do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, que é difícil para os alunos conceberem que há gases dissolvidos na água. Com base nessa dificuldade e extrapolando as conclusões às quais chegaram relativas às plantas terrestres, a água foi considerada a fonte do oxigênio liberado pela fotossíntese! Mas o que mais nos causou surpresa foi constatar que a maioria dos alunos considerava que os peixes, ao respirarem, retiram o oxigênio diretamente das moléculas de água. Assim, o oxigênio consumido pelos peixes não corresponderia às moléculas de O_2 dissolvidas na água.

Considerações finais

Nos três estudos analisados, constatamos que os alunos atribuem explicações vagas e superficiais ao se referirem à noção de fotossíntese. Consideramos que tais explicações se mantêm ao longo da escolaridade, devido, por um lado, à freqüente abordagem superficial do fenômeno no ensino do tema, restringindo-se apenas

“ao que entra” e “ao que sai” da planta e, por outro lado, à abordagem detalhista e mnemônica da terminologia científica criada para descrever o processo, especialmente no ensino médio, descuidando-se da compreensão de seus aspectos orgânicos fundamentais do ponto de vista fisiológico, ecológico e evolutivo, bem como da regulação cognitivo-afetiva pelos alunos de seu processo pessoal e coletivo de construção da noção de fotossíntese. Em ambos os casos, o pensamento se satisfaz apenas com o acordo verbal das definições, mais ou menos profundas, imobilizando-se.

Neste sentido, Bachelard (1996, p. 24) delimita a tarefa mais difícil da educação científica: “colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer enfim à razão razões para evoluir”. Dar conta desta tarefa exige de nós, educadores, uma atitude reflexiva sobre o nosso próprio ato de conhecer, nos questionando em que medida temos proporcionado, à nossa própria razão, razões para evoluir...

Referências

- ALMEIDA, Maria José P. M. de. **Discursos da ciência e da escola: ideologia e leituras possíveis**. Campinas: Mercado de Letras, 2004.
- BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BACHELARD, Gaston. As diversas explicações metafísicas de um conceito. In: _____. **A filosofia do não**. Tradução por Joaquim José Moura Ramos. 5. ed. Lisboa: Editorial Presença, 1991. p. 19-38.
- BACHELARD, Gaston. A noção de perfil epistemológico. In: _____. **A filosofia do não**. Tradução por Joaquim José Moura Ramos. 5. ed. Lisboa: Editorial Presença, 1991. p. 39-48.
- CANGUILHEM, Georges. Sobre a história das ciências biológicas depois de Darwin In: _____. **Ideologia e racionalidade nas ciências da vida**. Lisboa: Edições 70, 1977. p. 91-106.
- COMPIANI, Maurício. A dinâmica discursiva nas salas de aula de ciências. In: ENCONTRO INTERNACIONAL LINGUAGEM, CULTURA E COGNIÇÃO: REFLEXÕES PARA O ENSINO, 2, Belo Horizonte, 2003. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte, 2003. 12 p.
- CURTIS, Helena. Como as plantas capturam energia do sol. In: _____. **Biologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Kooogan, 1977. p. 122-137.
- PURVES, William K. et al. Fotossíntese: energia do sol. In: _____. **Vida: a ciência da biologia**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002. p. 136-153.
- SOUZA, Suzani Cassiani de; ALMEIDA, Maria José Pereira Monteiro de. A fotossíntese no ensino fundamental: compreendendo as interpretações dos alunos. **Ciência & Educação**, Piracicaba, v. 8, n. 1, p. 97-111, 2002.