

CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES DE BIOLOGIA ACERCA DA HISTÓRIA EVOLUTIVA DA CÉLULA EUCARIOTA

CONCEPTIONS OF BIOLOGY STUDENTS ABOUT THE EUKARYOTIC CELL EVOLUTION

José Rodrigues Fernandes do Nascimento Santos¹, Manuel Gustavo Ribeiro², Carolina Nascimento Spiegel³

Instituto de Biologia/ Departamento de Biologia Celular e Molecular /Universidade Federal Fluminense,
jofernandes@id.uff.br, magusribeiro@gmail.com, carolina.spiegel@gmail.com

RESUMO

Este trabalho surgiu da nossa percepção da dificuldade dos estudantes do primeiro semestre de Ciências Biológicas da UFF em compreender conceitos sobre evolução celular, em especial aqueles relacionados aos processos de endossimbiose e respiração celular. É comum a ideia de que a mitocôndria é uma das características universais das células, procariotas ou eucariotas, e que nas células vegetais ocorreu primeiro (em termos evolutivos) a endossimbiose do cloroplasto para que houvesse oxigênio para a mitocôndria realizar respiração celular. Para entender melhor essa dificuldade, investigamos a presença de concepções alternativas ou obstáculos epistemológicos entre os estudantes solicitando-os a responder um questionário, elaborar um mapa conceitual com características universais dos seres vivos e características específicas das células procarióticas e eucarióticas e uma história em quadrinhos contando a origem de mitocôndria e cloroplasto. Por fim, desenvolvemos uma atividade de torneio entre grupos a partir de um *quiz* para mediar a construção dos conceitos científicos.

Palavras-chave: evolução célula, respiração celular, concepção alternativa, obstáculo epistemológico, graduação Biologia

ABSTRACT

This work emerged from our perception of the difficulty the first semester students of Biological Sciences from UFF present in understanding concepts regarding cellular evolution, especially those related to endosymbiosis and cellular respiration processes. It is common the idea that mitochondria is one of the universal characteristics of prokaryotic or eukaryotic cells, and that in plant cells the endosymbiosis of the chloroplast occurred before (in evolutionary terms) so that there was oxygen to the mitochondria to perform cellular respiration. To better understand this difficulty, we investigated the presence of alternative conceptions or epistemological obstacles by asking the students to answer a questionnaire, to elaborate a conceptual map with universal characteristics of living beings and specific characteristics of prokaryotic and eukaryotic cells and a comic about the origin of mitochondria and chloroplast. Finally, we developed a tournament activity between groups in a *quiz* format to mediate the construction of scientific concepts.

Key words: cell evolution, cellular respiration, alternative conception, epistemological obstacle, Biology undergraduation

INTRODUÇÃO

Este trabalho surgiu devido à percepção da dificuldade dos estudantes do primeiro semestre dos Cursos de Bacharelado e Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal Fluminense em compreender alguns conceitos sobre evolução celular, em especial aqueles relacionados aos processos de endossimbiose e respiração celular. Chamava-nos a atenção que muitos alunos, apesar de já trazerem o conhecimento sobre a história evolutiva da mitocôndria (endossimbiose bacteriana), indicavam que a mitocôndria é uma das características universais de todas as células, sejam elas procariotas ou eucariotas. Além disso, outra questão recorrente era que nas células vegetais era importante primeiro ter havido (em termos evolutivos) a endossimbiose do cloroplasto para que houvesse oxigênio para a mitocôndria realizar respiração celular, ignorando as bactérias fotossintetizantes, a própria origem do cloroplasto e também a pressão seletiva do oxigênio na história da mitocôndria, anteriormente discutida. A persistência destes conceitos mesmo após as discussões em sala de aula gerou a hipótese de que provavelmente estávamos lidando com concepções alternativas ou obstáculos epistemológicos.

O termo “concepções alternativas”, conforme indicado por Santos (1998 apud OLIVEIRA, 2005), se refere ao “Movimento das Concepções Alternativas” iniciado pelos professores e pesquisadores da educação Jean Piaget e David Ausubel, que afirmavam que a visão de mundo do sujeito, ao se configurar parte ativa e fundamental do processo de construção do conhecimento, deve ser sempre considerada ao se elaborar qualquer estratégia de aprendizagem. Concepções alternativas seriam, portanto, ideias ou visões simplificadas de um fenômeno, que não condizem com os saberes científicos. Mortimer (1996) salienta que as concepções alternativas são fortemente influenciadas pelo contexto do problema a ser investigado, e isso reforça o fato delas serem persistentes a mudanças. De acordo com Pozo e Crespo (2009), um dos grandes problemas do processo de aprendizagem é o fato de que os conhecimentos prévios dos estudantes não se modificam e são assimilados de acordo com seus conhecimentos cotidianos, o que pode gerar essas concepções alternativas. Pode-se concluir, portanto, que a concepção alternativa não é um simples erro, ela é forte e persiste, por isso não é fácil de ser desconstruída, podendo ser considerada um importante obstáculo ao aprendizado.

Já a noção de obstáculo epistemológico foi proposta pelo filósofo francês Gaston Bachelard (1996) para retratar a forma como se daria a construção do conhecimento científico, durante suas investigações sobre o surgimento/amadurecimento da Química como uma ciência, no processo de ruptura com as práticas místicas da Alquimia. Bachelard também utilizou os obstáculos epistemológicos para investigar a Física e, embora não tenha tratado especificamente da Biologia (uma ciência ainda em processo de consolidação quando escreveu seus trabalhos), muitos trabalhos utilizam a epistemologia Bachelardiana para estudar a construção de conceitos biológicos.

Para Bachelard (1996), o obstáculo epistemológico se caracteriza como pontos de resistência ao conhecimento científico que podem causar lentidão, estagnação ou mesmo o regresso deste último. Em sua obra “A formação do espírito científico” (BACHELARD, 1996) Bachelard apresentou alguns tipos de obstáculos: (i) a experiência primeira, (ii) a generalização prematura, (iii) o obstáculo verbal, (iv) o conhecimento unitário e pragmático, (v) obstáculo substancialista e (vi) obstáculo animista (para uma breve descrição desses obstáculos, ver LABATI-TERRA et al., 2014). É importante ressaltar que a superação de um obstáculo epistemológico pode se tornar muito difícil uma vez que, diferente das concepções alternativas, o obstáculo epistemológico é um conceito científico (produzido a partir da desconstrução de um outro conceito científico ou de um conhecimento comum) que pode se enraizar graças ao seu poder explicativo (BROUSSEAU, 2002, GALLI; MEINARDI, 2011, RIBEIRO et al., 2015) e à sua aceitação não apenas por um indivíduo, mas por uma comunidade científica.

Embora tenha se debruçado sobre a investigação epistemológica do desenvolvimento das ciências, Bachelard também apresentava uma profunda preocupação com o ensino de ciências nas escolas, chegando a propor, inclusive, o termo “obstáculos pedagógico”:

“Na educação, a noção de obstáculo pedagógico também é desconhecida. Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão. (...) Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana” (BACHELARD, pp 13, 1996)

Alguns obstáculos à aprendizagem, especialmente de conceitos científicos, podem surgir de definições erradas/deturpadas presentes em livros do ensino médio e do ensino superior e até mesmo em artigos científicos. Definições equivocadas de ácido e base (SILVA et al., 2014) e a utilização indevida ou exagerada da metáfora da guerra para explicar a interação antígeno-anticorpo e o funcionamento do sistema imunológico (LARENTIS et al., 2012) são apenas alguns exemplos.

Diversos trabalhos foram encontrados na literatura que discutem concepções alternativas a respeito dos conceitos de respiração e fotossíntese e as dificuldades em superá-las (SEYMOUR; LONGDEN, 1991; SONGER; MINTZES, 1994; ÇAKIR et al., 2002). Uma das dificuldades reportadas é justamente por estes temas permearem diferentes áreas da Biologia incluindo abordagens bioquímicas, ecológicas, anatômicas, fisiológicas e evolutivas (TRAZZI; OLIVEIRA, 2016). E, justamente por serem considerados temas integradores do ensino de Biologia e Ciências, são importantes investigações sobre os processos de ensino e aprendizagem envolvendo eles. Neste trabalho tivemos como objetivo investigar quais as concepções que os estudantes de primeiro período chegam sobre estes temas e de que forma podem estar dificultando o entendimento do processo de evolução da célula eucariota. Por fim, apresentamos uma proposta pedagógica para tentar amenizar o impacto dessas concepções sobre a construção do conhecimento científico.

METODOLOGIA

Com o intuito de avaliar quantos alunos citariam mitocôndria como característica universal, solicitamos aos alunos (n=48) na primeira aula de Biologia Celular que construíssem um mapa conceitual contemplando as características universais dos seres vivos e as características específicas das células procarióticas e eucarióticas. Esse mapa foi solicitado no início da aula, após uma explicação rápida do que são mapas conceituais, sua importância para o ensino e como são construídos e antes de ser apresentado qualquer conteúdo sobre a disciplina.

A fim de entender as concepções dos alunos acerca da respiração celular, surgimento do oxigênio e da relação com a história evolutiva da mitocôndria e do cloroplasto, solicitou-se que eles respondessem às seguintes questões, por escrito: “O

que você entende por respiração celular?; Quais são os seres que a realizam?"; "Nem sempre existiu oxigênio molecular na atmosfera, como ele apareceu?".

Durante o decorrer da primeira aula da disciplina sobre o tema *Evolução da Célula Eucariótica*, os alunos foram desafiados a responder a mais uma pergunta: "Qual endossimbiose ocorreu primeiro nas células vegetais: bactérias violetas ou cianobactérias?" Esta pergunta foi colocada após terem sido discutidos em uma aula expositiva-dialogada os seguintes temas: importância evolutiva do surgimento da fotossíntese oxigênica na ciclagem de nutrientes, surgimento do oxigênio na atmosfera permitindo posterior formação da camada de ozônio e a repercussão disso nos seres vivos; pressão seletiva das espécies reativas de oxigênio e o "holocausto" das células que não podiam metabolizá-lo, além da curva de tempo da saturação deste gás na atmosfera e ainda a pressão seletiva que exerceu no momento em que se acredita terem surgido as células eucariotas e a endossimbiose da mitocôndria. Após a discussão da resposta e conclusão da aula, foi passado o ato I do filme "A mitocôndria em 3 atos" sobre a origem da mitocôndria (<http://www.youtube.com/watch?v=ReH3ReD0T9M>).

Como trabalho de casa, foi solicitado que os alunos em duplas ou trios fizessem uma História em quadrinhos contando a origem da mitocôndria e dos cloroplastos na célula eucariota. Segue o enunciado da atividade proposta: "Vocês deverão continuar a História em quadrinhos começada pelo Biólogo Larry Gonick - História do Universo em BD, Vol. 1 (GONICK, 2016) contando a origem da mitocôndria e do cloroplasto na célula eucariota. A história de vocês deverá ter 6 quadrinhos e pode conter desenhos ou imagens retiradas da internet".

Um mês depois, foi desenvolvida uma atividade de torneio entre grupos a partir de um *quiz* baseado nas perguntas do questionário e do mapa conceitual, estimulando o debate entre os alunos. Após o *quiz*, foi discutido com a turma o resultado de nossa pesquisa inicial e foram mostradas as nossas tabulações a partir das respostas deles, explicando o que são concepções alternativas e em quais questões foram encontradas. A noção de "obstáculos epistemológicos" foi discutida durante a disciplina de "Métodos da Ciência", que ocorreu concomitante à disciplina de Biologia Celular. Foi também passado um questionário de avaliação das atividades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise dos mapas conceituais foi possível identificar a concepção alternativa de que apesar dos alunos terem conhecimento sobre a história evolutiva da mitocôndria (endossimbiose bacteriana), alguns alunos indicam que a mitocôndria é uma das características universais de todas as células, sejam elas procariotas ou eucariotas. De um total de 48 mapas produzidos, 29 alunos não incluíram a mitocôndria em seus mapas, apesar de sua importância evolutiva, 9 alunos colocaram corretamente como uma característica exclusiva de células eucariotas enquanto que 10 incluíram a mitocôndria como uma característica universal a células eucariotas e procariotas, como pode ser observado na figura 1.

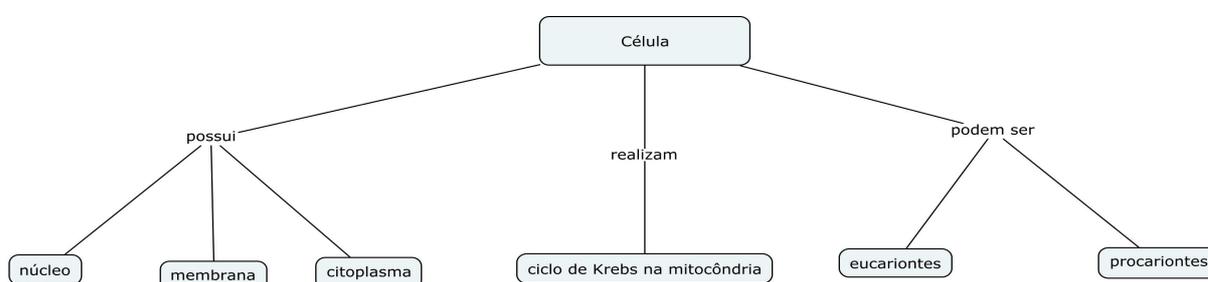


Figura 1 – Exemplo de mapa conceitual mostrando mitocôndria como característica universal.

Através dos dados dos questionários e uma ampla revisão da literatura, diversas hipóteses (não excludentes) surgem para tentar entender as causas desta incongruência. Uma delas está atrelada às concepções identificadas em diversos trabalhos da literatura, tanto de alunos de graduação como de ensino médio de que a respiração aeróbica é a única existente e que todos os seres vivos utilizam o oxigênio durante as reações de respiração (SEYMOUR; LONGDEN, 1991; SONGER; MINTZES, 1994; ÇAKIR et al., 2002). Estes dados da literatura são corroborados pelos nossos questionários, nos quais podemos observar que apenas 20 alunos responderam corretamente o que é respiração celular e 28 (total de 48 alunos) atrelaram a respiração celular à respiração aeróbica. Algumas destas definições podem ser observadas na tabela 1.

Definições incorretas sobre respiração celular	Definições corretas sobre respiração celular
“Obtenção de energia através da liberação de elétrons da molécula de oxigênio”.	“É um mecanismo para produção de energia nos seres vivos. Ex.: animais, vegetais, bactérias e cianobactérias”.
“Trocias gasosas que ocorrem na célula”.	“Mecanismo para obtenção de energia, e é feito por todos os seres vivos”.
“Forma da célula obter energia utilizando a mitocôndria”.	Forma encontrada pela célula para obter energia para as suas funções vitais. Todos os seres vivos fazem respiração celular.

Tabela 1 – Definições corretas e incorretas sobre respiração celular, confeccionadas pelos alunos.

Através da análise dos questionários foi possível observar também a incompreensão do fato de que todos os seres vivos realizam respiração celular. Apenas 15 alunos afirmaram que todos os seres realizam esse processo, enquanto que 33 afirmaram que apenas alguns o fazem. Dentre estes, foram citados os seres aeróbicos, apenas seres mais complexos, animais e humanos, plantas e algumas bactérias. Talvez isto seja apenas uma dificuldade semântica, uma vez que, para evitar a confusão entre os termos, muitos professores utilizam, no ensino médio e no ensino superior, o termo “fermentação” como sinônimo para o processo de respiração anaeróbica. Neste caso, “fermentação” englobaria todo o processo de catabolismo de carboidratos onde não há necessidade de oxigênio (na maioria das vezes descrito como via glicolítica) quando, na verdade, a fermentação engloba apenas a(s) reação(ões) envolvida(s) na reoxidação da molécula de NADH. Ou seja, uma estratégia didática para tentar facilitar a aprendizagem pode causar a má compreensão dos conceitos e é fundamental uma melhor definição desses termos nas aulas para evitarmos confusões.

Há ainda a confusão entre respiração e trocas gasosas, dada pela própria confusão do termo em diferentes contextos. Isto pode ser um problema ainda maior na língua portuguesa, onde “respiração” (em inglês, *breath*) é a “função pela qual os organismos vivos absorvem oxigênio e expõem gás carbônico” (FERREIRA, 2010). O termo “respiração celular” (em inglês, *respiration*) guarda pouca ou nenhuma relação com aquele vocábulo (exceto pelo fato de as moléculas CO₂ e O₂ estarem presentes em alguns dos processos de obtenção de energia pelas células), embora seja um conceito-chave das Ciências Biológicas. A história das Ciências está repleta de exemplos de palavras usadas para explicar um determinado processo e que permanecem sendo associadas, como analogias, a fenômenos diversos graças ao seu caráter ilustrativo. O fato de a linguagem não acompanhar o desenvolvimento das ciências (dentre outros fatores, devido à ausência de linearidade na construção do conhecimento científico, i.e., à existência de rupturas) pode levar ao surgimento do que Bachelard chamou de obstáculo verbal (Bachelard, 1996).

Outra questão que pode ser levantada é que dificilmente os alunos discutem como ocorre a respiração aeróbica em bactérias. Ou seja, um outro problema a mais identificado em nosso trabalho, além dos diferentes já listados na literatura (ver tabela feita por ÇAKIR et al., 2002) é o de a respiração aeróbica só ser possível dentro da

mitocôndria. Normalmente o processo bioquímico da respiração é apenas abordado nas células eucariotas de animais, tanto no ensino médio como na graduação.

Em relação ao surgimento do oxigênio molecular na atmosfera, apenas 9 do total de 48 alunos coloram que surgiu a partir fotossíntese oxigênica das bactérias. Parte dos alunos deixaram esta questão em branco (10), ou atribuíram ao processo de fotossíntese, não especificando de qual ser vivo (12). Outros atribuíram outras explicações tais como fusão nuclear, reações químicas, erupção vulcânica ou ainda resultados da acumulação de produtos da respiração aeróbica. Nesta última resposta podemos perceber, mais uma vez, a presença do obstáculo verbal.

Outra observação a partir dos questionários foi a de que boa parte dos alunos afirmou que a endossimbiose de cianobactérias teria ocorrido primeiro que a das bactérias violetas (21 do total de 48 respostas). Em geral estas respostas justificaram que primeiro tem que surgir o oxigênio na célula para a mitocôndria poder utilizá-lo. Cinco alunos deixaram em branco ou afirmaram não saber e 22 colocaram ser a endossimbiose da bactéria violeta a primeira a ter ocorrido.

Em relação a análise das Histórias em Quadrinhos produzidas em duplas pelos estudantes foi comumente observada concepções teleológicas a respeito da endossimbiose da mitocôndria e do cloroplasto. Os alunos associam a endossimbiose da mitocôndria ocorreu porque havia a necessidade de resolver o problema das espécies reativas do oxigênio, corroborando com outro trabalho que já havia identificado concepções teleológicas entre estudantes do primeiro período (RIBEIRO et al., 2015). Outra explicação teleológica observada que apresenta ainda outra concepção errônea é a de que o cloroplasto teria surgido primeiro, para que pudesse ter oxigênio no meio e então surgisse a mitocôndria pudesse usar esse gás para realizar respiração celular, ignorando a presença do gás proveniente das bactérias fotossintetizantes.

Este trabalho teve como maior objetivo identificar os principais problemas encontrados, mas nos preocupamos também em tentar discutir os resultados com os alunos a fim de tentar amenizar o impacto dessas concepções sobre a construção do conhecimento científico. Dessa forma foi desenvolvido um *quiz* baseado nas perguntas do questionário e do mapa conceitual, estimulando o debate entre os alunos. Dentre as opções das respostas estavam presentes as concepções alternativas apresentadas por eles, encontradas ao longo das atividades. Posteriormente, foi discutido com a turma o resultado de nossa pesquisa inicial e explicado o que são concepções alternativas e obstáculos epistemológicos e os principais problemas encontrados. Foi também passado

um questionário de avaliação deste projeto. Com a avaliação das atividades pelos alunos, percebeu-se que tiveram grande participação e aceitação da turma, com 24 alunos tendo considerado “muito bom”, 22 “bom” e 2 “regular”.

A partir deste trabalho e da leitura dos trabalhos na literatura, percebemos que teremos que melhor nos debruçar sobre este tema, provavelmente trabalhando-o de forma integrada com outras disciplinas como bioquímica e fisiologia a fim de poder levar a mudanças conceituais destes conceitos pelos alunos (ÇAKIR et al., 2002) para que não se perpetuem entre os futuros professores e profissionais (SANDERS, 1993).

CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou entender melhor a existência destas concepções alternativas e possíveis obstáculos epistemológicos que permeiam o ensino de evolução da célula e que provavelmente outras disciplinas como a bioquímica e a fisiologia enfrentarão. A partir da identificação destas concepções, poderemos pensar em estratégias para desconstruí-las de forma mais integrada e trabalhando de forma dinâmica e participativa com os alunos.

REFERÊNCIAS

- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996
- BROUSSEAU G. Epistemological obstacles and problems in mathematics. In Balacheff N, Cooper M, Sutherland R, Warfield V (Edition and translation). **Theory of didactical situations in mathematics**. New York: Kluwer Academic Publishers, p.79-98, 2002.
- ÇAKIR, O.S., GEBAN, O., YURUK, N. Effectiveness of conceptual change Text oriented instruction on students' understanding of cellular respiration concepts. **Biochemistry and molecular biology education**, v. 30(4), p. 239-243, 2002.
- GALLI, L. M. G., MEINARDI, E. N. The Role of Teleological Thinking in Learning the Darwinian Model of Evolution. **Evolution: Education and Outreach** v. 4, p. 145-152, 2011.
- GONICK, L. **História do universo em quadrinhos, - volume 1: do big bang até o surgimento do homem**. Ed Xenos, 1ª edição, p. 52, 2016
- LABATI-TERRA, L., LARENTIS, A. L., ATELLA, G. C., CALDAS, L. A., RIBEIRO, M. G. L., HERBST, M. H., ALMEIDA, R. V. Identificação de obstáculos epistemológicos em um artigo de divulgação científica - entraves na formação de professores de ciências? **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 13(3), p.318-333, 2014.

LARENTIS, A. L., RIBEIRO, M. G. L., PAIVA, L. M. C., CALDAS, L. A., HERBST, M. H., MOURA, M. V. H., ... ALMEIDA, R. V. Obstáculos epistemológicos entre pós-graduandos de Bioquímica. **Ciências & Cognição**, v. 17(2), p. 76-97, 2012

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências** v. 1(1), p. 20-39, 1996.

OLIVEIRA, S. S. Concepções alternativas e ensino de biologia: como utilizar estratégias diferenciadas na formação inicial de licenciados. **Educar em Revista** v. 26, p. 233-250, 2005.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RIBEIRO, M. G. L., LARENTIS, A. L., CALDAS, L. A., GARCIA, T. C., TERRA, L. L., HERBST, M. H., ALMEIDA, R. V. On the debate about teleology in Biology: the notion of “teleological obstacle”. **História, Ciência e Saúde Manguinhos**, v. 22(4), p. 1321-1333, 2015.

SANDERS, M. Erroneous ideas about respiration: the teacher factor. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, p. 919–934, 1993.

SANTOS, M. E. V. M. **Mudança conceitual na sala de aula: um desafio epistemologicamente fundamentado**. Lisboa: Livros Horizonte, 1998.

SEYMOUR, J.; LONGDEN, B. **Respiration - that's breathing isn't it?** Volume 25, Journal of Biological Education, 1991.

SILVA, L. A., LARENTIS, A. L., CALDAS, L. A., RIBEIRO, M. G. L., ALMEIDA, R. V., HERBST, M. H. Obstáculos Epistemológicos no Ensino-Aprendizagem de Química Geral e Inorgânica no Ensino Superior: Resgate da Definição Ácido-Base de Arrhenius e Crítica ao Ensino das “Funções Inorgânicas”. **Química Nova na Escola**, v. 36(4), p. 261-268, 2014.

SONGER, C.; MINTZES, J., **Understanding cellular respiration: An analysis of conceptual change in college biology**. Volume 31. Journal of Research in Science Teaching, 1994.

TRAZZI, P.S. da Silva; OLIVEIRA, I.M. O processo de apropriação dos conceitos de fotossíntese e respiração celular por alunos em aulas de biologia. **Ensino Pesquisa Educação em Ciências**. V.18 (1), p. 85-106, 2016