Os Aminoácidos nos Livros Didáticos de Biologia do Ensino Médio e de Bioquímica do Ensino Superior

Amino Acids in Textbooks of Biology for High School and of Biochemistry for Higher Education

Patrícia Santos de Oliveira¹, Caroline Dutra Lacerda², M. Lucia Bianconi^{1,2*}

¹ Mestrado em Formação Científica para Professores de Biologia, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Xerém, RJ

² Instituto de Bioquímica Médica Leopoldo de Meis, Universidade Federal do Rio de Janeiro

*e-mail: bianconi@bioqmed.ufrj.br

Agências de fomento: CAPES e CNPq

Resumo

O tema “aminoácidos” foi analisado em onze livros didáticos de Biologia do ensino médio aprovados no Plano Nacional do Livro Didático de 2012 e de 2015 e em seis livros textos de Bioquímica utilizados no nível superior. O tema foi escolhido por permitir a exemplificação do conceito de pKa e sistema tampão, importante no estudo de estrutura e função de proteínas e enzimas, apesar de considerado árido pelos alunos de graduação da área da Saúde. Em todos os livros de ensino médio foi identificado ao menos um problema que leva à formação de concepções alternativas. Ao contrário, nos livros de ensino superior, o assunto é abordado de forma clara apesar de terem sido identificados alguns vícios de linguagem na descrição da estrutura dos aminoácidos. Ao final, apresentamos uma sugestão de abordagem colaborativa que tem sido bastante eficaz no ensino desse e de assuntos correlatos.

Palavras-chave: aminoácidos; concepções alternativas; aprendizado colaborativo.

Abstract

The topic “amino acids” was analyzed in eleven textbooks of Biology for High School, approved in the National Plan of Didactic Books of 2012 and 2015, and in six Biochemistry textbooks for higher education. This particular topic allows the exemplification of pKa and Buffer systems, which is important to the understanding of structure and function of proteins and enzymes although considered hard by undergraduate students of Health Science majors. At least one problem that leads to misconceptions was identified in the Biology textbooks. On the contrary, the subject is clearly presented in the Biochemistry textbooks, although a few vices of language in the definition of the structure of amino acids, para “in the definition of amino acids structure. A suggestion of collaborative approach that is shown to be effective in this and in related subjects is presented.

Keywords: amino acids; misconceptions; collaborative learning.

1 Introdução

Conceitos de Bioquímica são introduzidos durante o Ensino Médio (EM) na disciplina Biologia. Porém, nos livros didáticos do EM, muitos desses conceitos são apresentados de forma confusa e, até mesmo, incorreta, como observado por Oliveira [1] no caso particular do tema “Estrutura e Função de Proteínas”, nos livros de Biologia aprovados no pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2012. Esses problemas podem ser resultado da simplificação que muitos autores utilizam com o objetivo de facilitar a compreensão de conteúdos considerados abstratos.

Esse problema se agrava ao levarmos em conta a necessidade de uma base teórica de Química para a compreensão dos conceitos de Bioquímica. Geralmente, o aluno que ingressa no EM tem uma base muito superficial de Química, proveniente do 9º ano do Ensino Fundamental (EF). Mesmo assim, espera-se que o aluno seja capaz de compreender o que são átomos e substâncias, o que são moléculas e algumas de suas propriedades, além de algumas funções químicas, como ácidos, bases, sais e óxidos. Porém, ao ingressarem no EM, os alunos apresentam uma grande dificuldade com diversos conceitos de Biologia, mais precisamente de Bioquímica, porque não conseguem relacionar os novos conceitos com aqueles aprendidos anteriormente.

Há cerca de três décadas, muitos autores têm se preocupado em estudar as concepções alternativas do aluno de ensino básico (EF e EM) sobre diferentes temas de Ciências [2-6]. Na década de 1980, as concepções alternativas eram chamadas de concepções prévias, concepções errôneas ou mesmo erros conceituais [2]. Carrascosa [3] considera concepções alternativas aquelas que levam ao erro conceitual e que se repetem ao longo dos diferentes níveis educacionais, resistindo ao ensino dos conceitos corretos. Segundo o autor, muitas dessas concepções, encontradas tanto em alunos quanto em professores, têm sua origem no próprio livro didático [3].

Um exemplo de concepções alternativas que resistem ao ensino dos conceitos corretos foi observada com alunos brasileiros de nível médio [4] e superior [5] que consideram a glicose como única fonte de produção de ATP. Essa concepção perdura mesmo após o ensino formal de que outros nutrientes, por exemplo, lipídios e aminoácidos, podem ser fontes de ATP. Os autores correlacionam esse problema à forma com que o metabolismo é inicialmente apresentado nos livros didáticos de EF e reforçado nos livros de EM [4,5].

A origem das concepções alternativas nem sempre é relacionada ao EM ou ao livro didático, já que as experiências pessoais e o aprendizado informal também são

importantes na formação de conceitos [2,3,6]. Brum [6], por exemplo sugere que o cotidiano e a mídia têm uma forte influência nas concepções alternativas de alunos de EF sobre bactérias.

Neste artigo, com o objetivo de identificar possíveis problemas que possam levar à formação de concepções alternativas por parte dos estudantes, foi realizada uma análise do tópico “aminoácidos” em livros de Biologia (ensino médio) e Bioquímica (nível superior).

O termo “aminoácido” foi cunhado em 1898, apesar de asparagina e glicina já terem sido descobertos em 1806 e 1820, respectivamente [7]. Os α -aminoácidos são compostos orgânicos que contêm um grupo amino ligado a um carbono alfa, ou seja, a um carbono ligado a um grupo carboxila. São os blocos construtores das proteínas, os quais apresentam uma estrutura mínima em comum que difere, apenas, na cadeia lateral. Esta, confere propriedades importantes na manutenção da estrutura proteica.

Os aminoácidos são classificados como essenciais e não essenciais, de acordo com a possibilidade do organismo humano realizar (ou não) sua síntese [8]. Alguns deles são sintetizados a partir de aminoácidos essenciais, sendo considerados semi-essenciais.

Como os aminoácidos contêm dois grupos ionizáveis, são compostos interessantes para explicar e/ou exemplificar os conceitos de pK_a e sistema tampão, conceitos essenciais para a compreensão de diferentes funções biológicas. A Figura 1 mostra a fórmula geral dos aminoácidos em duas situações encontradas em livros didáticos: a forma que ocorre em pH neutro (Figura 1A) e uma forma geralmente chamada de neutra, impossível de ocorrer em qualquer pH (Figura 1B).

Figura 1. Fórmula geral dos aminoácidos. Representação da forma ionizada (A) dos aminoácidos, onde R representa a cadeia lateral. Em (B), a chamada “forma neutra” dos aminoácidos encontrada em diferentes livros didáticos.

Ao final do artigo, apresentamos uma sugestão de abordagem didática que tem sido eficaz não só no ensino do tema, mas por mostrar a importância de o aluno participar do próprio processo de ensino e aprendizagem.

2 Metodologia

2.1 Livros Didáticos de Ensino Médio

As coleções de Biologia avaliadas neste artigo, listadas no Quadro 1, foram aprovadas pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do Ministério da Educação e Cultura (MEC), sendo oito coleções do PNLD 2012 e nove do PNLD 2015.

As coleções EM1 e EM7 foram aprovadas apenas no PNLD 2012, as coleções EM9, EM10 e EM11 foram adicionadas ao PNLD 2015 e as demais, em ambos. As coleções EM1 (2012) e EM9 (2015), dos mesmos autores, foram avaliadas como obras independentes.

Quadro 1. Coleções de Livros Didáticos de Biologia Aprovadas no PNLD 2012 e no PNLD 2015.

Livro*	Nome da Coleção	Autores	Editora, Edição e Ano de Publicação
EM1	Biologia	Amabis, J.M.; Martho, G.R.	Moderna 3ª Edição, 2010
EM2	Novas Bases da Biologia	Bizzo, N.	Ática 1ª Edição, 2010 2ª Edição, 2013
EM3	Biologia	Silva Jr, C.; Sasson, S.; Caldini Jr, N.	Saraiva 10ª Edição, 2010 11ª Edição, 2013
EM4	Biologia Hoje	Linhares, S.; Gewandsnajder, F.	Ática 1ª Edição, 2010 2ª Edição, 2013
EM5	Bio	Lopes, S.; Rosso, S.	Saraiva 1ª Edição, 2010 2ª Edição, 2013
EM6	Biologia	Mendonça, V.; Laurence, J. Mendonça, V.	Nova geração 1ª Edição, 2010 2ª Edição, 2013
EM7	Biologia	Pezzi, A.; Gowdak, D. O.; Mattos, N. S.	FTD 1ª Edição, 2010
EM8	Ser Protagonista Biologia	Santos, F. S.; Aguilar, J. B. V.; Oliveira, M. M. A. Osorio, T. C.	Edições SM 1ª Edição, 2010 2ª Edição, 2013
EM9	Biologia em Contexto	Amabis, J.M.; Martho, G.R.	Moderna 1ª Edição, 2013
EM10	Biologia – Unidade e Diversidade	Favaretto, J. A.	Saraiva 1ª Edição 2013
EM11	Conexões com a Biologia	Brockelmann, R. H.	Moderna 1ª Edição, 2013

*Livros com duas edições tiveram a primeira aprovada no PNLD 2012 e a segunda, no PNLD 2015

Cada coleção é composta de três volumes e um Manual do Professor para cada volume. O tópico “aminoácidos”, escolhido para a análise, apareceu sempre no primeiro volume, destinado à primeira série do EM. As análises foram realizadas no livro do aluno e no manual do professor, sendo este indicado com o código da coleção a que pertence. Ou seja, o código EM1 se refere ao volume 1 da coleção 1 e ao manual do professor desse mesmo volume.

Para a análise da abordagem teórica sobre aminoácidos, foi realizada uma leitura criteriosa do texto principal e das leituras complementares presentes no livro do aluno, a fim de verificar a forma com que esse conteúdo tem sido apresentado no EM. Foram analisados: definição de aminoácidos, grau de ionização dos grupos amina e carboxila nas figuras que representam os aminoácidos e a definição de aminoácidos essenciais e não essenciais.

2.2 Livros Didáticos de Ensino Superior

Para a análise do tema “aminoácidos”, foram selecionados livros de Bioquímica utilizados em cursos superiores da área biológica (Quadro 2). Procuramos analisar as versões originais dos livros estrangeiros para evitar uma discussão sobre problemas provenientes da tradução realizada pelas editoras. A análise foi semelhante à realizada com livros do ensino médio (ver sec. 2.1), tendo esses livros recebido os marcadores alfanuméricos de ES1 a ES6 (Quadro 2), sendo os primeiros, livros de autores brasileiros (ES1 e ES2) e os demais, listados em ordem alfabética considerando o primeiro autor.

Quadro 2. Livros de Bioquímica utilizados no Ensino Superior.

Livro	Nome do Livro	Autores	Editora, Edição e Ano de Publicação
ES1	Bioquímica Básica	Marzzoco, A. e Torres, B.B.	Guanabara-Koogan 4ª Edição, 2015
ES2	Bioquímica	Motta, V.T.	Medbook 2ª Edição, 2011
ES3	Biochemistry	Berg, J.M., Tymoczko, J.L., Stryer, L.	Palgrave MacMillan 7ª Edição, 2011
ES4	Harper's Illustrated Biochemistry	Murray, R.K., Bender, D.A., Botham, K.M., Kennelly, P.J., Rodwell, V.W. e Weil, P.A.	McGraw-Hill Medical 29ª Edição, 2012
ES5	Lehninger Principles of Biochemistry	Nelson, D.L. e Cox, M.M.	W. H. Freeman 5ª Edição, 2008
ES6	Biochemistry	Voet, D. e Voet, J.G	Wiley 4ª Edição, 2011

3 Resultados

3.1 Os aminoácidos nos livros didáticos do ensino médio

A análise do tema aminoácidos foi realizada nos livros dedicados à 1ª série do EM, de coleções aprovadas nos PNLDs de 2012 e 2015. De acordo com o Guia do PNLD 2015 [9], a escolha das coleções que fazem parte do PNLD é realizada após a análise, por professores de ensino superior e médio de todo o país, de uma cópia descaracterizada (sem autoria e editora) das coleções para garantir o anonimato durante todo o processo. Mesmo assim, podemos observar que seis das oito coleções aprovadas no PNLD 2012 foram, também, aprovadas no PNLD 2015, nas suas novas edições (Quadro 1).

Uma das coleções, de autoria de Amabis e Martho (EM1), aprovada em 2012, não aparece na lista das aprovadas em 2015, tendo sido substituída pela coleção EM9, dos mesmos autores. Sendo coleções distintas, assim foram consideradas neste trabalho, apesar de termos verificado uma grande semelhança nos textos do capítulo analisado, indicando que os autores aproveitaram o texto da coleção antiga na nova coleção.

O Quadro 3 traz as definições de aminoácidos encontradas nos livros de Biologia aprovados pelo PNLD de 2012 e 2015. Como pode ser observado, essa definição não foi encontrada apenas no livro EM6.

Nas coleções EM2, EM3, EM4, EM5 e EM11 os autores citam que os aminoácidos são assim denominados devido à presença dos grupos amina e carboxila na molécula.

As coleções EM1, EM2, EM7, EM9 e EM11 citam o “carbono alfa” sem, contudo, explicar o que é. Nas duas edições do livro EM2, o autor diz que “o primeiro carbono de sua cadeia” é o carbono alfa, uma informação que poderá levar a uma concepção alternativa, já que a definição está parcialmente correta, pois deveria ser dito que é o primeiro carbono ligado ao grupo funcional, no caso, a carboxila. Quando o autor diz “primeiro carbono”, não fica claro a qual se refere, já que todos os aminoácidos contêm um outro carbono do grupo carboxila.

A cadeia lateral dos aminoácidos é frequentemente indicada de forma incorreta, como um “radical”, termo utilizado para descrever uma molécula que possui um elétron desemparelhado, ou seja, é uma molécula reativa (instável)¹. De acordo com Rodrigues [10], o uso do termo “radical” no lugar de substituinte é um vício comum, mas entendemos que esse erro leva à construção de uma concepção alternativa. Esse termo foi excluído nas definições encontradas nas novas edições dos livros EM2 e EM4.

1 IUPAC Gold Book (<http://goldbook.iupac.org/R05066.html>)

Com exceção do livro EM6, os livros analisados apresentam a fórmula geral dos aminoácidos em uma figura. Porém, a fórmula geral correta, com os dois grupos ionizados (Figura 1A), aparece apenas em dois livros: na primeira edição do EM2 e na segunda edição do EM8. Na segunda edição do livro EM2, não há mais a figura da fórmula geral dos aminoácidos. Na maioria dos livros, as fórmulas representam o grupo amina na forma desprotonada ($-\text{NH}_2$) e o grupo carboxila na forma protonada ($-\text{COOH}$), como ilustrado na Figura 1B.

Considerando os valores médios de pK_a dos grupos amina ($\text{pK}_a \approx 10$) e carboxila ($\text{pK}_a \approx 2$), a estrutura esquematizada na Figura 1B só ocorreria em uma situação impossível, na qual o pH deveria ser maior que 10 e menor que 2, ao mesmo tempo. Como não há nenhuma observação nesse sentido, a representação leva à construção de um conceito equivocado.

De fato, tem sido observado que, ao estudar a ionização de aminoácidos na disciplina Bioquímica oferecida no ciclo básico de cursos da área da saúde da Universidade Federal do Rio de Janeiro, por exemplo, os alunos têm muita dificuldade para compreender que a forma representada na Figura 1B não existe, já que esta é a forma apresentada nos livros de Biologia e mesmo em alguns livros usados no ensino superior (ver sec. 3.2).

O mesmo é observado até em alguns livros de Química do EM, como é o caso de um livro que mostra as formas de um aminoácido em pH ácido, neutro e básico mas que apresenta uma ilustração da “forma neutra” da Figura 1B [11]. Nesse mesmo livro, o autor apresenta três exemplos de aminoácidos (glicina, alanina e serina) com a fórmula estrutural neutra [11].

Na segunda edição do livro EM8, a fórmula que aparecia incorreta (neutra) na edição anterior, foi corrigida (zwiteriônica). Na primeira edição do livro EM2, apesar de a fórmula geral do aminoácido estar representada corretamente, na página seguinte à da figura, onde são mostradas as fórmulas dos vinte aminoácidos comuns, os grupos amina e carboxila estão representados como $-\text{NH}_2$ e $-\text{COOH}$, respectivamente.

Além disso, a representação das fórmulas nessa tabela é confusa, dificultando a identificação da cadeia lateral. Nesse livro há uma observação no manual do professor que explica que a forma com os grupos ionizados é a “considerada pelos químicos como a correta”, e que a forma adotada em uma das tabelas do capítulo é a com ambos não ionizados, não deixando claro para o professor o motivo de serem representados dessa forma na tabela citada. Aqui vale comentar que essa forma não é apenas ‘considerada’ correta pelos químicos, já que é a forma correta.

Quadro 3. Definições de aminoácido nos livros didáticos de Biologia aprovados no PNLD 2012 e 2015.

Livro	Definição de aminoácido
EM1	Apresentam um átomo de carbono denominado carbono-alfa, ao qual se ligam um grupo amina (-NH ₂), um grupo carboxila (-COOH), um átomo de hidrogênio (-H) e um quarto grupo genericamente denominado -R (de radical), que varia nos diferentes aminoácidos, caracterizando-os.
EM2	Denominados alfa-aminoácidos, pois o primeiro carbono (o carbono alfa) de sua cadeia está ligado de um lado a um grupo funcional amina (-NH ₂) e de outro a um grupo funcional ácido carboxílico (-COOH). Além dessas duas ligações, o carbono alfa da molécula se liga a um átomo de hidrogênio e a outros átomos que formam um radical orgânico. As diferenças entre os aminoácidos são conferidas pelos diferentes radicais orgânicos. (1ª Edição, 2010) Eles são denominados alfa-aminoácidos, pois o primeiro carbono (o carbono alfa) de sua cadeia está ligado de um lado a um grupo funcional amina (-NH ₂) e, de outro, a um grupo funcional ácido carboxílico (-COOH). (2ª Edição, 2013)
EM3	Qualquer molécula de aminoácido tem um grupo ácido carboxílico ou carboxila (-COOH) e um grupo amina (-NH ₂) ligados a um átomo e carbono. A esse mesmo carbono ficam ligados ainda um átomo de hidrogênio e um radical (R).
EM4	Em sua molécula, há um grupamento carboxila (COOH) – que caracteriza os ácidos orgânicos – e um grupamento amina (NH ₂), vindo daí o nome aminoácido. Aparece um radical (R), que varia de acordo com o tipo de aminoácido. (1ª Edição, 2010) Os aminoácidos são cadeias de carbono com hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e, as vezes, enxofre. Em sua molécula, há um grupamento carboxila (COOH) – que caracteriza os ácidos orgânicos – e um grupamento amina (NH ₂), vindo daí o nome aminoácido (uma função química ou grupamento é um conjunto de substâncias com propriedades químicas semelhantes). (2ª Edição, 2013)
EM5	Em suas moléculas, todos eles apresentam um grupamento amina (NH ₂) e um grupamento carboxila ou ácido carboxílico (COOH), de onde deriva o nome aminoácido. Esses grupamentos estão ligados a um mesmo átomo de carbono, que, por sua vez, está ligado a um átomo de hidrogênio e a um radical que varia de aminoácido para aminoácido.
EM6	Não definiu.
EM7	Caracterizam-se quimicamente pela presença de um átomo de carbono (denominado carbono α), ao qual se ligam um grupo carboxílico (COOH), um grupo amina (NH ₂), um radical e um átomo de hidrogênio.
EM8	São compostos orgânicos formados por carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio (alguns ainda apresentam enxofre). São caracterizados por apresentar um grupo carboxila (COOH), um grupo amina (NH ₂) e um radical (R), todos eles unidos a um mesmo átomo de carbono.
EM9	São vinte os tipos de aminoácidos que formam as proteínas e todos apresentam um átomo de carbono (C) central, denominado carbono alfa, ao qual se ligam: um átomo de hidrogênio (-H), um grupo amina (-NH ₂), um grupo carboxila (-COOH) e um radical (-R) que varia entre os diversos aminoácidos.
EM10	A molécula de um aminoácido é formada por um átomo de carbono central, ao qual se ligam um grupo amina, um grupo carboxila, um átomo de hidrogênio e uma cadeia lateral (ou radical).
EM11	Todos os aminoácidos possuem a mesma estrutura básica: um átomo de carbono (chamado de carbono-alfa), ligado simultaneamente a um átomo de hidrogênio (H), a uma cadeia lateral chamada radical, a um grupo amina (NH ₂) e a um grupo carboxila (COOH). Estes dois últimos grupamentos responsáveis pela denominação aminoácidos são sempre os mesmos; já o radical varia de um aminoácido para outro, podendo ser um simples átomo de hidrogênio até uma grande cadeia de carbonos interligados.

Muitos autores afirmam que existem 20 “tipos” de aminoácidos codificados pelo código genético, também descritos como aminoácidos comuns ou naturais. Alguns deles indicam que os diferentes “tipos” se devem às diferenças nas cadeias laterais como, por exemplo, no livro EM3, onde os autores comentam uma figura da alanina com a cadeia lateral destacada, com o texto: “Essa parte em amarelo varia de acordo com o tipo de aminoácido: pode ser um simples átomo de hidrogênio ou cadeia de carbonos”.

Porém, não existem 20 “tipos” de aminoácidos, ou seja, 20 completamente distintos, pois variam apenas na cadeia lateral. Se considerarmos as propriedades das cadeias laterais, importantes na manutenção da estrutura proteica, por exemplo, sabemos que aminoácidos com cadeias laterais semelhantes apresentam propriedades semelhantes. Ou seja, os aminoácidos podem ser agrupados em apenas dois grandes grupos (ou tipos) de acordo com a polaridade da cadeia: polares e apolares.

Outra possibilidade seria agrupá-los de forma mais detalhada em cinco grupos (ou tipos): apolares, aromáticos, polares sem carga, carregados positivamente e carregados negativamente, semelhante ao apresentado em alguns livros de Bioquímica dedicados ao ensino superior (ver sec. 3.2).

Apenas no livro EM2, a utilização do termo “tipo” foi considerada adequada, pois há uma tabela com todos os aminoácidos onde os mesmos estão separados de acordo com a cadeia lateral, sendo os aminoácidos alifáticos e aromáticos considerados “apolares”, por exemplo. Apenas no livro EM8 os autores dizem que “alguns aminoácidos contêm enxofre em sua fórmula”, sem especificar quais são.

Os livros EM2 e EM11 apresentam trechos que afirmam ou sugerem que há na natureza outros aminoácidos além dos 20 comuns:

“[...] existem muitos tipos de aminoácidos, mas apenas vinte deles são utilizados nas proteínas fabricadas pelos seres vivos” (EM2; ambas as edições)

“Cerca de 150 aminoácidos diferentes são conhecidos, porém somente vinte fazem parte da composição de proteínas nos seres vivos.” (EM11)

Como observado no Quadro 4, a classificação dos aminoácidos em essenciais e não essenciais foi encontrada na maioria dos livros analisados, com exceção do livro EM6, no qual os aminoácidos não foram citados, e do livro EM9, dos mesmos autores do livro EM1. Em quase todos os livros aprovados nas duas edições do PNLD, não houve modificação no texto onde aparecem essas definições (Quadro 4).

Apenas o livro EM7 descreve que os aminoácidos não essenciais são “sintetizados” pelo organismo, ou seja, utilizando, de forma correta, o processo de síntese. Em seis dos livros analisados (EM1, EM5, EM8, EM10 e EM11) os autores usam a palavra “produzir” e

em outros dois (EM2 e EM4), a palavra “fabricar”, para se referirem à síntese dos aminoácidos pelo organismo. Seria interessante a utilização do termo correto para evitar vícios de linguagem que se perpetuam no ensino superior. Alguns autores (EM1, EM5, EM10 e EM11) se referem, de forma incorreta, aos aminoácidos não essenciais como sendo os “naturais”.

Quadro 4. Definição de aminoácidos essenciais e não essenciais nos livros didáticos de Biologia aprovados no PNLD*.

Livro	Definição
EM1	Aminoácidos que um organismo não consegue produzir são chamados de aminoácidos essenciais e precisam fazer parte da dieta alimentar; aminoácidos que podem ser produzidos a partir de outras substâncias celulares são chamados de aminoácidos não essenciais, ou naturais.** (2012)
EM2	Um ser humano adulto consegue fabricar quase todos os aminoácidos de que precisa, com exceção de oito deles, que são os chamados aminoácidos essenciais.** (2012) Os aminoácidos que o ser humano não consegue fabricar são chamados aminoácidos essenciais e devem obrigatoriamente fazer parte da dieta. (2015)
EM3	Chamamos naturais os aminoácidos que um organismo animal é capaz de produzir. Os aminoácidos que devem ser por ele ingeridos são ditos essenciais, já que são necessários para a síntese de suas proteínas e para a sua sobrevivência. (2012 e 2015)
EM4	Os animais podem fabricar um tipo de aminoácido a partir de outro que tenha obtido na alimentação. No ser humano adulto, os aminoácidos essenciais não podem ser formados a partir de outros em quantidade suficiente para suprir suas necessidades; por isso, devem estar presentes obrigatoriamente na alimentação. (2012 e 2015)
EM5	Os aminoácidos produzidos por um organismo são chamados naturais, enquanto os que necessitam ser ingeridos, por não serem sintetizados, são chamados essenciais. (2012 e 2015)
EM7	Para um animal, denomina-se aminoácido natural o que pode ser sintetizado por suas células e aminoácido essencial o que não pode ser sintetizado. (2012)
EM8	Os aminoácidos que o corpo não produz, chamados aminoácidos essenciais. Os demais, chamados não essenciais. (2012 e 2015)
EM10	Aminoácidos naturais ou não essenciais podem ser produzidos a partir de outros aminoácidos ou de carboidratos. Aminoácidos essenciais são os que não sintetiza, e obtém por meio da alimentação. (2015)
EM11	Alguns aminoácidos podem ser produzidos pelo organismo; são os chamados aminoácidos naturais. Outros não são sintetizados pelo organismo e têm de ser obtidos pela alimentação. (2015)

*O ano da aprovação no PNLD está indicado em parênteses.

**Leitura Complementar.

O assunto “aminoácidos essenciais” foi apresentado em uma leitura complementar no livro EM2, onde o autor chama a atenção para o fato de que os mesmos podem ser encontrados facilmente em alimentos de origem animal e ressalta o problema de dietas vegetarianas que devem ser supervisionadas por especialistas para não comprometer a síntese proteica. No livro EM5, os autores citam a combinação arroz com feijão, comum

na dieta brasileira, “propicia a ingestão de todos os aminoácidos essenciais para o organismo humano”. O conceito de complementação nutricional de dietas combinadas (cereal/legume) como é o caso do arroz com feijão, tem sido aplicado a fim de aumentar a qualidade proteica da alimentação humana. Porém, Kannan e colaboradores [12] mostraram que uma dieta de arroz com feijão apresenta quantidades limitantes de isoleucina e triptofano e quase limitantes em lisina e valina. Além disso, o escore químico corrigido pela digestibilidade (PDCAAS)² da dieta de arroz com feijão é de, apenas, 0,47 (valor de referência = 1,0). Quando a dieta inclui a ingestão de proteínas animais (leite, ovos e/ou carne), mesmo em baixas quantidades, a complementação com arroz e feijão é bem interessante, mas em dietas veganas, nas quais a ingestão de proteínas de origem animal é banida (em muitos casos, a ingestão de soja e aveia também é proibida), é necessário que a dieta seja equilibrada, principalmente na fase de crescimento.

O autor do livro EM2 comete um erro ao afirmar que são oito e não nove os aminoácidos essenciais, pois não considerou a histidina, apesar de já ter sido demonstrado em 1975 por Kopple e Swendseid [13], tanto para homens normais quanto para portadores de uremia crônica, a necessidade da ingestão desse aminoácido.

Em nenhum dos livros de EM encontramos alguma citação sobre os aminoácidos considerados semi-essenciais, aqueles sintetizados dos essenciais, como é o caso da cisteína, sintetizada a partir de metionina, e da tirosina, a partir de fenilalanina, além de arginina, que não é sintetizada em quantidades suficientes para a demanda nutricional do organismo [8]. Os autores do livro EM5, indicam oito aminoácidos como essenciais mas complementam a informação dizendo que “a histidina e a arginina têm sido consideradas aminoácidos essenciais por alguns pesquisadores”.

Os autores do livro EM9, citam que os aminoácidos não essenciais podem ser “produzidos a partir de outros aminoácidos ou de carboidratos”. Essa afirmação é interessante, pois mostra a possibilidade de obtenção de aminoácidos não apenas das proteínas. Porém, em seguida, sua definição é confusa, provavelmente devido a um erro de impressão (“Aminoácidos essenciais são os que não sintetiza, e obtém por meio da alimentação”).

Por fim, a definição mais equivocada de todos os livros analisados foi encontrada no livro EM5, onde os aminoácidos são chamados “monopectídeos”. Essa nomenclatura é incorreta, pois um peptídeo é formado pela ligação peptídica que ocorre entre o grupamento carboxila de um aminoácido com o grupo amina do aminoácido subsequente.

2 Calculado pela relação entre o conteúdo do aminoácido limitante (mg/g de proteína) e o conteúdo deste em uma proteína de referência, multiplicado pela digestibilidade verdadeira.

Após a formação da ligação peptídica (amida), temos apenas resíduos de aminoácidos. Ou seja, o peptídeo mais simples é um dipeptídeo.

3.2 Os aminoácidos nos livros didáticos do ensino superior

Considerando que muitas concepções alternativas persistem no ensino superior [4,5] e levando em conta nossa experiência no ensino de Bioquímica na Universidade Federal do Rio de Janeiro, realizamos a mesma análise em livros didáticos comumente indicados aos alunos de graduação. Foram avaliadas as edições mais novas disponíveis em Março de 2016, sendo que as definições encontradas em livros estrangeiros foram analisadas a partir das versões originais, em inglês, a fim de manter a fidelidade ao texto, sem cometer equívocos de avaliação devidos à tradução.

O Quadro 5 mostra as definições de aminoácido encontradas nesses livros. Nenhuma das definições foi considerada incorreta, apesar de uma delas ter sido muito superficial (livro ES4). Com exceção do livro ES4, os autores definem uma estrutura geral para os aminoácidos como sendo moléculas que possuem um grupo amino e grupo carboxílico ligada a um carbono. Porém, apesar de não informar no corpo principal do capítulo destinado ao tema, na tabela onde são apresentadas as estruturas dos 20 aminoácidos, mais comuns, essa parte da estrutura está sempre destacada e, portanto, fica a cargo do leitor fazer essa associação. Além disso, no final do livro ES4, os autores apresentam, em um dos tópicos do sumário, a seguinte frase:

Todos os aminoácidos possuem pelo menos dois grupos funcionais, ácidos fracos, R-NH_3^+ e R-COOH . Muitos deles também contêm um grupo funcional ácido fraco como $-\text{OH}$, $-\text{SH}$, guanidina, ou imidazol. (Tradução nossa)³

Essa citação traz alguns problemas conceituais, já que os grupos amina e guanidina não são ácidos e, sim, bases orgânicas. Além disso, ao se indicar o grupo $-\text{OH}$, não ficou claro se estão indicando o grupo hidroxila de tirosina e serina ou se seria de carboxilas das cadeias laterais de aspartato e glutamato. No caso particular da tirosina e da serina, deveria ser explicado que o grupo funcional se refere a um álcool que apresenta um valor de pK_a muito elevado, podendo atuar tanto como um ácido fraco (ácido de Arrhenius) ou uma base fraca (base de Lewis).

Dois livros (ES2 e ES3) citam um “carbono central” e em quatro (ES1, ES2, ES3 e ES5) citam um “carbono α ”. Não consideramos essencial que se defina um carbono α em livros de nível superior, mas nossa experiência tem mostrado que os alunos não sabem

3 Original: All amino acids possess at least two weakly acid functional groups, R-NH_3^+ and R-COOH . Many also possess additional weakly acidic functional groups such as $-\text{OH}$, $-\text{SH}$, guanidino, or imidazole group.

essa definição, quando são questionados. Talvez seja interessante citar em uma nota de rodapé ou em um quadro onde aparecem informações adicionais ou de apoio ao texto principal. Alguns alunos confundem a nomenclatura “ α ” com a propriedade de quiralidade da maioria dos aminoácidos ou com a posição do átomo de carbono na cadeia. Isso ocorre devido à descrição ser, de certa forma, superficial. Os autores do livro ES4, por exemplo, comentam que, com exceção da glicina, o carbono- α é quiral (Quadro 4). Nos livros ES2 e ES3, o carbono- α é descrito como o carbono central da molécula, o que também pode levar a uma formação inadequada do conceito de átomo central.

Quadro 5: Definições de aminoácido nos livros didáticos de Bioquímica utilizados em nível superior

Livro	Definição de aminoácido
ES1	Aminoácidos são compostos que apresentam, na sua molécula, um grupo amina ($-\text{NH}_2$) e um grupo carboxila ($-\text{COOH}$). Entre os aminoácidos que compõem as proteínas, a única exceção é a prolina, que contém um grupo imino ($-\text{NH}-$) no lugar do grupo amina, sendo a rigor um iminoácido. Em pH fisiológico, esses grupos estão na forma ionizada: $-\text{NH}_3^+$, $-\text{COO}^-$ e $-\text{NH}_2^+$. Os aminoácidos têm uma fórmula básica comum, com os grupos amina e carboxila ligados ao carbono α , ao qual também se liga um átomo de hidrogênio e um grupo variável chamado cadeia lateral ou grupo R.
ES2	Os α -aminoácidos possuem um átomo de carbono central (α) onde estão ligados covalentemente um grupo amina primário ($-\text{NH}_2$), um grupo carboxílico ($-\text{COOH}$), um átomo de hidrogênio e uma cadeia lateral (R) diferente para cada aminoácido. Existem duas exceções, a prolina e hidroxiprolina, que são α -iminoácidos.
ES3	Aminoácidos são os blocos construtores das proteínas. Um α -aminoácido consiste de um átomo de carbono central, chamado de carbono α , ligado a um grupo amina, um grupo carboxila, um átomo de hidrogênio e um grupo R distinto. O grupo R é comumente descrito como cadeia lateral.*
ES4	De mais de 300 aminoácidos que ocorrem naturalmente, 20 constituem as unidades monoméricas predominantes das proteínas.[...] Com exceção da glicina, o carbono- α dos aminoácidos é quiral.*
ES5	Todas as proteínas, [...] são construídas do mesmo conjunto ubíquo de 20 aminoácidos, ligados covalentemente em sequências lineares características. [...] Todos os 20 aminoácidos comuns são α -aminoácidos. Eles apresentam um grupo carboxila e um grupo amina ligado ao mesmo carbono (o carbono α). Eles diferem entre si pelas cadeias laterais, ou grupos R, que variam em estrutura, tamanho e carga elétrica, as quais influenciam a solubilidade dos aminoácidos em água. Além desses 20 aminoácidos, existem muitos outros menos comuns.*
ES6	[...] todas as proteínas são compostas de 20 aminoácidos “padrão” [...] Essas substâncias são conhecidas como α -aminoácidos porque, com exceção da prolina, eles têm um grupo amina primária e um grupo ácido carboxílico

*Tradução nossa. Textos originais no Apêndice A (Quadro 7).

Foi interessante notar que em nenhuma das definições a cadeia lateral é apresentada como um radical, como nos livros de EM, mesmo apresentando-a como “grupo R”. Porém, essa representação, associada à designação comum nos livros de EM (radical) pode contribuir para perpetuação do conceito inadequado.

Todos os livros mostram as estruturas dos 20 aminoácidos comuns e indicam os

valores de pK_a do grupo carboxila (também citado como pK_1) e amina (pK_2), além do pK_a de cadeias laterais que apresentam um grupo ionizável (pK_R). Porém, a fórmula estrutural geral neutra dos aminoácidos, ainda é encontrada em alguns livros, mesmo nas edições mais recentes. Esse é o caso do livro ES6, o qual apresenta uma figura intitulada “fórmula estrutural geral dos aminoácidos” com a “forma neutra” dos aminoácidos da Figura 1B e, pouco depois, comentam que em pH fisiológico ambos os grupos estão completamente ionizados, ilustrando com a fórmula da Figura 1A.

Apesar de apresentarem a estrutura correta, ao ilustrar a forma neutra, sugerem que esta possa existir. No livro ES4, os autores também apresentam as duas formas, como exemplificamos na Figura 1, mas dizem que a fórmula neutra não pode ocorrer em solução aquosa porque:

[...] em qualquer pH baixo o suficiente para protonar o grupo carboxila, o grupo amina também estará protonado. De forma análoga, em qualquer pH suficientemente alto para que a forma protonada do grupo amino seja predominante, o grupo carboxila estará presente como COO^- . (Tradução nossa)⁴

O Quadro 6 mostra as definições de aminoácidos essenciais e não essenciais encontradas nos livros de bioquímica mais utilizados no nível superior, as quais são muito semelhantes nos livros de EM avaliados. De forma geral, os autores definem como não essenciais os aminoácidos que podem ser sintetizados pelo organismo humano e os essenciais, aqueles que devem ser obtidos pela dieta. É interessante notar que essas definições são encontradas em capítulos destinados ao metabolismo de aminoácidos.

Logo em seguida à definição, todos mostram uma tabela identificando quais aminoácidos estão em cada grupo. A maioria dos autores considera como sendo nove os aminoácidos essenciais, mas, nos livros ES2, ES4 e ES6 são indicados 10 deles. Os autores dos livros ES4 e ES6 mencionam a arginina como essencial porque, embora o ser humano seja capaz de sintetizá-lo, o faz em quantidades menores do que o necessário. No livro ES2 há menção à histidina, considerando-a essencial até os doze anos de idade. No livro ES5, apesar de os autores considerarem nove aminoácidos como essenciais, indicam seis outros como semiessenciais, pois são requeridos em maior quantidade do que a capacidade de síntese, em determinadas situações. No livro ES1, os autores citam dois aminoácidos semiessenciais, sintetizados a partir de essenciais, mas os consideram como não essenciais.

Os termos “essenciais” e “não essenciais” para a definição podem levar a um erro

4 Texto original: “[...] at any pH low enough to protonate the carboxyl group, the amino group would also be protonated. Similarly, at any pH sufficiently high for an uncharged amino group to predominate, a carboxyl group will be present as $R-COO^-$.”

conceitual, como observado pelos autores do livro ES4, pois ao se classificar um aminoácido como “não essencial” aquele que pode ser sintetizado, podemos sugerir que não é muito importante, quando todos são necessários à síntese proteica.

Quadro 6. Definições de aminoácidos essenciais e não essenciais nos livros didáticos de Bioquímica utilizados em nível superior.

Livro	Definição de aminoácidos essenciais e não essenciais
ES1	[...]dos vinte aminoácidos encontrados nas proteínas, nove não podem ser sintetizados pelo ser humano [...] e devem, portanto, ser obrigatoriamente obtidos pela dieta, chamando-se, por isto, aminoácidos essenciais. Ainda mais, dois outros aminoácidos — cisteína e tirosina — são sintetizados unicamente a partir de aminoácidos essenciais — metionina e fenilalanina — e, quando ausentes da dieta, fazem aumentar a necessidade dos aminoácidos precursores. [...] apenas nove aminoácidos que podem ser prontamente formados a partir de compostos intermediários do metabolismo de carboidratos. Estes nove aminoácidos e os dois que são sintetizados a partir de aminoácidos essenciais são chamados aminoácidos não essenciais.
ES2	Os aminoácidos sintetizados em quantidades suficientes por mamíferos a partir da amônia e de esqueletos carbonados, são denominados não-essenciais; ou seja, eles estão disponíveis para as células mesmo quando não incluídos na dieta. Por outro lado, os aminoácidos essenciais são aqueles não sintetizados ou sintetizados em velocidade inadequada às necessidades metabólicas do organismo e, portanto, devem ser ingeridos na dieta.
ES3	A maioria dos microorganismos, tais como <i>E. coli</i> , podem sintetizar todo o conjunto básico dos 20 aminoácidos, enquanto os seres humanos não pode fazer 9 deles. Os aminoácidos que precisam ser supridos pela dieta são chamados <i>aminoácidos essenciais</i> , enquanto que os outros são denominados aminoácidos não essenciais.
ES4	Humanos e outros animais superiores não tem a capacidade de sintetizar 10 dos 20 L- α -aminoácidos comuns em quantidades adequadas para garantir o crescimento infantil ou manter a saúde em adultos. Consequentemente, a dieta humana precisa conter quantidades adequadas desses aminoácidos nutricionalmente essenciais. [...] Como empregado aos aminoácidos, os termos “essencial” e “não essencial” são enganosos dado que todos os 20 aminoácidos são essenciais para garantir a saúde. Dos 20 aminoácidos, 8 devem estar presentes na dieta humana e, portanto, deveriam ser denominados “nutricionalmente essenciais”. Os outros 12 aminoácidos são “nutricionalmente não essenciais” já que não há necessidade de estarem presentes na dieta.
ES5	Os organismos são muito variados em termos de sua habilidade de sintetizar os 20 aminoácidos. Enquanto a maioria das bactérias e plantas sintetizam todos os 20, mamíferos podem sintetizar apenas cerca da metade deles – geralmente aqueles de vias simples. Esses são os aminoácidos não essenciais, não necessários na dieta [...]. O restante, os aminoácidos essenciais, devem ser obtidos pela alimentação.
ES6	Os aminoácidos são classificados em dois grupos, essenciais e não essenciais. Os mamíferos sintetizam os aminoácidos não essenciais a partir de precursores metabólicos, mas devem obter os aminoácidos essenciais da dieta.

*Tradução nossa. Textos originais no Apêndice A (Quadro 8).

4 Sugestão de abordagem teórica

Apesar de ser um assunto pontual – aminoácidos – costumamos explorar o fato de apresentarem dois grupos ionizáveis para fixar o conteúdo “ pK_a e sistema tampão” devido à sua grande importância no sistema biológico. Ao longo da disciplina, os alunos são apresentados a diferentes situações nas quais necessitam a compreensão do conceito de pK_a , como, por exemplo, na mudança de pK_a da histidina que regula a afinidade da

hemoglobina por oxigênio, na determinação de pK_a de grupos ionizáveis que participam no sítio catalítico de várias enzimas, ou mesmo na grande mudança de pK_a que ocorre com a cadeia lateral ionizável de alguns resíduos de aminoácidos em consequência do enovelamento proteico. Um exemplo utilizado em sala de aula é o da ribonuclease T1 [14], na qual o pK_a da cadeia lateral do resíduo Asp76 é igual a 0,6 enquanto que no aminoácido livre, o pK_a é 3,9. Os mesmos autores mostraram que o pK_a do Asp76 pode aumentar para 6,4 em um triplo-mutante da enzima [14].

Quando iniciamos a aula sobre aminoácidos, os alunos já estão familiarizados com o equilíbrio ácido-base e a equação de Henderson-Hasselbalch. Porém, essas definições foram apresentadas com ácidos fracos monoproticos e percebemos, ao longo dos anos, que não é muito fácil a percepção das duas faixas tamponantes nos aminoácidos. Em nossas aulas há uma participação ativa dos alunos, então, sugerimos uma atividade inicial para trabalharem os equilíbrios ácido-base dos aminoácidos.

Em primeiro lugar, pedimos para descreverem a fórmula geral dos aminoácidos que, com alguma ajuda (dependendo da turma), terminamos por ilustrar a forma neutra da Figura 1B. Ou seja, essa é a fórmula que tem sentido inicial para eles.

Em seguida, descrevemos os dois equilíbrios possíveis, separadamente, indicando o valor de pK_a médio de cada um dos grupos ionizáveis (Figura 2):

Figura 2. Indicação de pK_a médio em grupos ionizáveis.

Considerando os dois equilíbrios (que permanecem no quadro ou projetados), pedimos para que desenhem todas as formas possíveis dos aminoácidos, trabalhando em diferentes valores de pH. No final, os alunos nos apresentam 4 formas (Figura 3), as quais são copiadas no quadro:

Figura 3. Diferentes formas de um aminoácido desenhadas por alunos.

Dizemos aos alunos que uma das fórmulas não é possível de ocorrer e pedimos que encontrem a “forma impossível”, nos explicando o porquê dela não existir. Dessa maneira, os alunos encontram o erro conceitual que trazem do EM. A figura é complementada com os equilíbrios e a forma incorreta é salientada (Figura 4):

Figura 4. Complementação das formas dos aminoácidos após intervenção.

Essa dinâmica, apesar de muito simples, tem garantido o aprendizado dos alunos, pois observamos que a apresentação das formas corretas, por si só, não era eficaz. É comum verificarmos nas avaliações institucionais da disciplina que os alunos comentam o quanto é mais fácil entender quando participam do raciocínio envolvido no conceito.

5 Discussão

Neste artigo, apresentamos uma análise de um tema único – aminoácidos – devido à importância que tem no aprendizado de conceitos mais complexos, relativos à estrutura e função de proteínas, em Bioquímica, além de conceitos de outras disciplinas.

Cabe aqui uma reflexão sobre esse e outros assuntos apresentados aos alunos no EM. Quando iniciamos o projeto de análise dos livros didáticos de Biologia do EM, percebemos que os erros conceituais e as concepções alternativas observadas em alunos de graduação são oriundos de uma simplificação que leva a uma superficialidade dos conteúdos, bastante nociva ao ensino. Além disso, não se pratica a interdisciplinaridade.

A fragmentação do ensino é uma consequência da divisão de conteúdos em disciplinas. Japiassu [15] afirma que a “estruturação da educação básica brasileira, separada em séries e componentes curriculares, divide e distancia os saberes científicos”. De fato, as disciplinas não “conversam” entre si, gerando um distanciamento que dificilmente será superado enquanto não houver uma reforma importante no ensino básico brasileiro. Gostaríamos de salientar que, ao analisarmos o volume de coleções de Biologia dedicado à 1ª série do EM, e estendendo a avaliação às outras séries,

percebemos claramente a fragmentação do ensino na própria disciplina.

O conteúdo analisado neste artigo se refere a uma classe de compostos biológicos de funções mistas. Porém, “aminoácidos” é um dos conteúdos iniciais da 1ª série de Biologia do EM e as funções orgânicas, incluindo as mistas, são ensinadas na 3ª série, em Química.

Da mesma forma, os conceitos de pH e de equilíbrio ácido-base com a definição de pK_a são introduzidos, em Química na 2ª série do EM. Considerando a base muito frágil de Química, introduzida no ensino fundamental, não se pode esperar que o aluno tenha uma compreensão plena do que está sendo explicado.

Com isso, aumenta-se a frustração do professor, que não têm como fazer tal introdução. Gerhard e Rocha Filho [16] mostraram que os docentes reconhecem a necessidade de um trabalho interdisciplinar, mas atribuem à escola a tarefa de proporcionar um diálogo entre as diferentes disciplinas, enquanto Wirzbicki e Zanon [17] sugerem uma maior integração entre os professores de Biologia e Química.

De fato, é difícil para um professor de Biologia introduzir conteúdos de Química. Se nosso ensino fosse melhor organizado, evitaríamos um ensino meramente propedêutico, como tem sido observado no EM, em todo o país. As matrizes curriculares são extensas e obrigam o professor, no tempo curto de suas aulas, a apenas transferir o conhecimento que, nem sempre, é capaz de dominar. Wirzbicki e Zanon [17] mostraram, por meio de entrevistas, a ansiedade de professores de Biologia do EM que não dominam conteúdos de Química necessários para o bom entendimento de diversos conteúdos.

Seria essencial uma reforma na qual os responsáveis por cada disciplina compreendessem que devemos ensinar nosso aluno a ser mais participativo, a raciocinar e a desenvolver capacidades cognitivas que estão sendo tolhidas numa “escola” que aposta na incoerência de fornecer uma quantidade enorme de informações sem profundidade.

Consideramos que o conteúdo extenso e superficial de Biologia e Química nos livros didáticos de EM pode dificultar uma educação plena dos jovens desse ciclo educacional já que requer memorização sem permitir que sejam trabalhadas outras capacidades cognitivas como aquelas necessárias para execução de tarefas, ou seja, raciocínio, lógica, tomada de decisão e resolução de problemas, essenciais para a formação de um indivíduo atuante na sociedade contemporânea.

6 Conclusão

Este trabalho descreve como um tema multi e interdisciplinar é apresentado em livros de Biologia do ensino médio e de Bioquímica do ensino superior. Apesar de pontual, permite a aplicação de conceitos de pKa e sistema tampão, apresentados no início de um curso de graduação na disciplina Bioquímica, importante para a compreensão de outros conceitos. Em alguns cursos, como Odontologia, Medicina e Farmácia, por exemplo, esse tema será importante em outras disciplinas. Nossa experiência tem mostrado que a abordagem didática adotada tem sido eficiente no aprendizado, já que os alunos retêm o conceito, como observado em Farmacologia, por exemplo.

Como comentado acima, os conceitos adquiridos no ensino básico perpetuam no ensino superior e uma mudança conceitual efetiva ocorre apenas quando o “novo conceito” causa uma “revolução” no modo de pensar do estudante. Dessa forma, é importante que sejam apontados os erros conceituais nos livros didáticos do ensino médio, sejam eles provenientes de uma simplificação ou de uma apresentação incorreta, a fim de amenizar as dificuldades de aprendizado de novos conceitos na graduação, em qualquer disciplina.

Nosso trabalho mostrou a existência da simplificação do conceito e da representação da fórmula geral dos aminoácidos nos livros de Biologia do EM que levam a concepções alternativas. Os mesmos erros não foram observados nos livros de Bioquímica do ensino superior.

Após essa análise, ficou clara a necessidade de uma maior integração entre as disciplinas Biologia e Química para que haja uma interdisciplinaridade efetiva no processo de ensino-aprendizagem de conceitos de Bioquímica.

Referências

- [1] Oliveira, PS. Estrutura e função das proteínas nos livros didáticos de biologia aprovados no PNLD 2012. Dissertação de Mestrado [Biologia Geral]. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [2] Giordan A, De Vecchi G. As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos. 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas; 1996.
- [3] Carrascosa, J. El problema de las concepciones alternativas em La actualidad (parte II). El cambio de concepciones alternativas. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 2005; 2(3): 388-402.
- [4] Luz MRMP, Oliveira GA, Da Poian AT. Glucose as the sole metabolic fuel: Overcoming a misconception using conceptual change to teach the energy-yielding metabolism to Brazilian high school students. Biochemistry and Molecular Biology Education 2013; 41 224-231.
- [5] Oliveira GA, Sousa CR, Da Poian AT, Luz MRMP. Students' Misconception about Energy-Yielding Metabolism: Glucose as the Sole Metabolic Fuel. Advances in Physiology Education 2003; 27(3): 97-101.

- [6] Brum WP. O tema bactéria no ensino fundamental: concepções alternativas dos estudantes sobre as implicações na saúde humana. *Revista de Educação, Ciências e Matemática* 2014; 4(3): 1-12.
- [7] Wu, G. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*. 1. ed. New York: CRC Press; 2013
- [8] Wu G, Wu ZL, Dai ZL, Yang WW, Liu C, Wang B, Wang JJ, Yin YL. Dietary requirements of “nutritionally nonessential amino acids” by animals and humans. *Amino Acids* 2013; 44: 1107-1113.
- [9] MEC. *Guia de Livros Didáticos: PMLD 2015: Biologia: Ensino Médio*. Brasília: 80p; 2014.
- [10] Rodrigues JAR. Recomendações da IUPAC para a nomenclatura de moléculas orgânicas. *Química Nova na Escola* 2001; 13: 22-28.
- [11] Lisboa JCF. *Ser protagonista. Química*. 3º ano. 1. ed. São Paulo: Edições SM; 2010.
- [12] Kannan, S, Nielsen, SS, Mason, AC. Protein digestibility-corrected amino acid scores for bean and bean-rice infant weaning food products. *J. Agric. Food Chem*. 2001; 49: 5070-5074
- [13] Kopple JD, Swendseid ME. Evidence that histidine is an essential amino acid in normal and chronically uremic man. *J Clin Invest* 1975; 55(5): 881-891.
- [14] Thurlkill RL, Grimsley GR, Scholtz JM, Pace CN. Hydrogen bonding markedly reduces the pK of buried carboxyl groups in proteins 2006 *J Mol Biol*. 362: 594-604
- [15] Japiassu H. *Interdisciplinaridade e patologia do saber*. 1. ed. Rio de Janeiro: IMAGO; 1976.
- [16] Gerhard AC, Rocha Filho J B. A Fragmentação dos Saberes na Educação Científica Escolar na Percepção de Professores de uma Escola de Ensino Médio. *Investigações em Ensino de Ciências* 2012 17(1): 125-145
- [17] Wirzbicki SM, Zanon LB. Relações entre conhecimentos de biologia e de química na abordagem de conteúdos de biologia no ensino médio. EREBIO-SUL [anais na internet]. 2013. acesso em 10 de maio de 2016. Disponível em: <http://santoangelo.uri.br/erebiosul2013/>

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo auxílio (bolsa de mestrado) para a autora PS Oliveira e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio (bolsa de doutorado) para a autora CD Lacerda. Parte dos resultados aqui apresentados foram obtidos durante a dissertação de mestrado de Patricia S Oliveira (Mestrado em Formação Científica para Professores de Biologia, UFRJ, Brasil).

Apêndice A. Quadros complementares ao trabalho.**Quadro 7.** Textos originais das definições de aminoácido nos livros estrangeiros de Bioquímica utilizados em nível superior

Livro	Definição de aminoácido
ES3	Amino acids are the building blocks of proteins. An α -amino acid consists of a central carbon atom, called the α carbon, linked to an amino group, a carboxylic acid group, a hydrogen atom, and a distinctive R group. The R group is often referred to as the side chain.
ES4	Of the over 300 naturally occurring amino acids, 20 constitute the predominant monomer units of proteins. [...] With the sole exception of glycine, the α -carbon of every amino acid is chiral.
ES5	All proteins,[...] are constructed from the same ubiquitous set of 20 amino acids, covalently linked in characteristic linear sequences. [...] All 20 of the common amino acids are α -amino acids. They have a carboxyl group and an amino group bonded to the same carbon atom (the α carbon). They differ from each other in their side chains, or R groups, which vary in structure, size, and electric charge, and which influence the solubility of the amino acids in water. In addition to these 20 amino acids, there are many less common ones.
ES6	[...] all proteins are composed of the 20 "standard" amino acids [...] These substances are known as α -amino acids because, with the exception of proline, they have a primary amino group and a carboxylic acid group substituent on the same carbon atom [...] proline has a secondary amino group.

Quadro 8. Textos originais das definições de aminoácidos essenciais e não essenciais nos livros didáticos de Bioquímica utilizados em nível superior

Livro	Definição de aminoácidos essenciais e não essenciais
ES3	Most microorganisms, such as <i>E. coli</i> , can synthesize the entire basic set of 20 amino acids, whereas human beings cannot make 9 of them. The amino acids that must be supplied in the diet are called <i>essential amino acids</i> , whereas the others are termed <i>nonessential amino acids</i> .
ES4	Humans and other higher animals lack the capability to synthesize 10 of the 20 common L- α -amino acids in amounts adequate to support infant growth or to maintain health in adults. Consequently, the human diet must contain adequate quantities of these nutritionally essential amino acids. [...] As applied to amino acids, the terms "essential" and "nonessential" are misleading since all 20 common amino acids are essential to ensure health. Of these 20 amino acids, 8 must be present in the human diet, and thus are best termed "nutritionally essential." The other 12 amino acids are "nutritionally nonessential" since they need not be present in the diet.
ES5	Organisms vary greatly in their ability to synthesize the 20 common amino acids. Whereas most bacteria and plants can synthesize all 20, mammals can synthesize only about half of them—generally those with simple pathways. These are the nonessential amino acids, not needed in the diet (see Table 18–1). The remainder, the essential amino acids, must be obtained from food.