UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS

MARÍLIA FAUSTINO DA SILVA

Compreensão da estrutura de proteínas por estudantes de nível superior, na perspectiva da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird

São Carlos
2012

MARÍLIA FAUSTINO DA SILVA

Compreensão da estrutura de proteínas por estudantes de nível superior, na perspectiva da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Física Aplicada
Opção: Física Biomolecular
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nelma Regina Segnini Bossolan

Versão Corrigida

(Versão original disponível na Unidade que aloja o Programa)

São Carlos
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Biblioteca e Informação do IFSC, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Faustino da Silva, Marília

Compreensão da estrutura de proteínas por estudantes de nível superior, na perspectiva da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird / Marília

Faustino da Silva; orientadora Nelma Regina Segnini Bossolan - versão corrigida -- São Carlos, 2012.

210 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Física Aplicada Biomolecular) -- Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

1. Modelos mentais. 2. Johnson-Laird. 3. Proteínas. 4. Ensino superior. I. Regina Segnini Bossolan, Nelma, orient. II. Título.

Aos meus pais Donizete e Maria de Fátima, com gratidão pela educação, amor e incentivo dedicados a mim. A minha irmã Natália, meu cunhado Tonilan e sobrinha Isadora pelos momentos de lazer e alegria. Aos meus amigos Iara, Laís, Marina, Élide, Rita e Andrey pela compreensão e apoio durante o período de elaboração deste trabalho. Muito obrigada por percorrem esse longo caminho ao meu lado!

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Primeiramente a Deus por me permitir viver tantas alegrias e conquistas nessa vida e por me dar sabedoria e discernimento em minhas decisões;

Aos meus pais, Donizete e Maria de Fátima pela educação, carinho, compreensão e incentivo dedicados a mim com tanto amor durante toda a minha vida;

À Prof^a Dr^a. Nelma R. S. Bossolan, por sua paciência, atenção e confiança, que desde minha iniciação científica até a finalização deste trabalho, tem acreditado no meu potencial, por servir de referência profissional que tanto admiro e respeito, a qual busco me espelhar, e por ter contribuído muito para o meu crescimento científico, intelectual e pessoal;

À Prof^a Dr^a. Leila Beltramini pelo acompanhamento, apoio e atenção durante a realização deste trabalho;

À Educadora Ms. Gislaine Gomes da Costa e aos técnicos dos laboratórios de ensino: Antenor e Jae e à Sueli pela ajuda e apoio durante a coleta de dados do presente trabalho;

Aos técnicos do grupo de Biofísica: José Fernando, Andressa e Bel pela amizade, e atenção;

Aos alunos dos cursos Licenciatura em Ciências e Exatas e Bacharelado em Ciências Físicas e Biomoleculares que participaram deste trabalho, tornando-o possível;

Aos amigos da Coordenação de Educação e Difusão do Centro de Biotecnologia Molecular Estrutural (CBME) bolsistas e ex-bolsistas: Gislaine, Claudinei, Rudison (Rud), Carol (Betânia), Mariana (Cevada), Fábio, Emike, Lígia, Rafaela, Robson, Ruan, Lucas (Ozzy), Barbara, Marina, Patrícia, Ana Paula e Talles, pela troca de experiências, cooperação, e momentos de lazer durante os anos de convívio;

Aos amigos do grupo de Biofísica: Nathalya, Leandro (Bardih), Débora Vieira, Heloísa Ciol, Sinara, Helton, Juliana, Sumária, Ana Isabel, Julio, Zé Luís, Joci, Assuero, Tati, Fábio, Valéria e Paty pelos momentos de lazer, risadas, conversas e contribuições pessoais durante a convivência diária e confraternizações;

Ao Instituto de Física de São Carlos, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Ao CBME, por colocar à disposição os materiais didáticos utilizados durante a realização deste trabalho.

A todas as pessoas que passaram pela minha vida durante os dois anos de realização deste trabalho que eventualmente eu tenha me esquecido de citar aqui.

RESUMO

SILVA, M. F. **Compreensão da estrutura de proteínas por estudantes de nível superior, na perspectiva da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird.** 2012. 211 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

A Biologia Molecular e a Biotecnologia e seus conceitos subjacentes estão inseridos no currículo escolar da educação básica e têm estado presentes na vida cotidiana dos estudantes, envolvendo a análise e tomada de decisão sobre aspectos éticos relacionados à produção e aplicação do conhecimento científico e tecnológico. As explicações de alguns fenômenos e processos relacionados a estes temas estão quase sempre no nível molecular e atômico, que é descrito e explicado com modelos conceituais e físicos, ou até mesmo imagens. À luz da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, as pessoas raciocinam através de modelos mentais, podendo utilizar outras formas de representações mentais como proposições e imagens. Nesse contexto propôs-se diagnosticar entre treze alunos dos cursos de Licenciatura em Ciências Exatas (LCE) e Bacharelado em Ciências Físicas e Biomoleculares (CFBio), ambos cursos da Universidade de São Paulo, quais as representações mentais que esses alunos possuíam sobre o tema proteínas, bem como a contribuição de uma sequência didática utilizando modelos táteis para o ensino e aprendizagem da estrutura e função de proteínas. Para tal, realizamos (a) uma entrevista com os alunos dos cursos mencionados (pré-teste), (b) dois cursos com duração de três dias para cada turma (LCE e CFBio) e (c) uma entrevista com os mesmos alunos transcorrida uma semana após a realização de cada curso (pós-teste). Os dados obtidos foram de três tipos: registros escritos (desenhos e/ ou esquemas); um ou mais modelos táteis montados com materiais de baixo custo; áudio e imagens oriundos das filmagens das entrevistas. Os registros escritos e os modelos táteis de cada aluno foram fotografados e os áudios das entrevistas transcritos, gerando um documento individual que possibilitou uma análise de conteúdo, permitindo a divisão da amostra em duas categorias: alunos modelizadores e não modelizadores, cada uma com subcategorias próprias. A detecção das representações mentais que os alunos possuíam antes e após o curso sinalizou que a contribuição da sequência didática aplicada no curso para o ensino/aprendizagem do tema proteínas foi positiva, promovendo o aumento do número de alunos modelizadores e possibilitando aos mesmos o aumento do nível de complexidade e sofisticação em suas representações externas (modelos táteis e desenhos) e a evolução e esclarecimento de conceitos antes não compreendidos.

Palavras-chave: Modelos mentais. Johnson-Laird. Proteínas. Ensino superior.

ABSTRACT

SILVA, M. F. **Understanding of protein structure by higher education students, under the perspective of Johnson-Laird's mental models theory.** 2012. 211 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

The Molecular Biology and Biotechnology and its underlying concepts are embedded in the curriculum of basic education and have been present in the daily life of students, involving the analysis and decision making about ethical issues related to the production and application of scientific and technological knowledge. The explanations of some phenomena and processes related to these themes are almost always in atomic and molecular level, which is described and explained with physical and conceptual models, or even images. In light of the mental models theory of Johnson-Laird, people reason through mental models and may use other forms of mental representations as propositions and images. In this context we proposed diagnose mental representations that students in higher education had on the subject proteins, as well as the contribution of a didactic sequence using tactile models for teaching and learning the structure and function of proteins. Thirteen students of two undergraduation courses – Teacher education course in Exact Sciences (LCE) and Bachelor in Biomolecular and Physical Sciences (CFBio) - participated of this research. The tools used for data collection were: (a) an interview with the students of the courses mentioned (pre-test), (b) two courses lasting three days for each group (CFBio and LCE) and (c) an interview with the same students made one week after completion of each course (post-test). The data were of three kinds: written records (drawings and/or diagrams), one or more tactile models assembled with low cost materials, audio and pictures from the filming of the interviews. Written records and tactile models of each student were photographed and audio interviews transcribed, generating an individual document that provided a content analysis, allowing the classification of students in two categories: modellers and non-modellers, each one with its own subcategories. The detection of mental representations that students had before and after the course indicated that the contribution of the didactic sequence for the teaching/learning of the subject proteins was positive, increasing the number of students modellers and enables them (a) increase the level of complexity and sophistication in their external representations (drawings and tactile models) and (b) the development and clarification of concepts not previously understood.

Keywords: Mental models. Johnson-Laird. Proteins. Higher education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tabuleiro e cartas do jogo Sintetizando Proteínas.	60
Figura 2 - Molécula de DNA montada com peças do kit "Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA".	60
Figura 3 - Processo de transcrição: formação da molécula de RNAm utilizando-se as peças do kit "Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA".	60
Figura 4 - Disco de aminoácidos.....	61
Figura 5 - Aminoácido glicina montado com as peças do kit "Construindo modelos de aminoácidos e proteínas".....	62
Figura 6 - Montagem da ligação peptídica entre dois resíduos de aminoácidos (indicada pelo círculo azul) utilizando as peças do kit "Construindo modelos de aminoácidos e proteínas".	62
Figura 7 - Posição das peças para a montagem de uma estrutura secundária de proteína, a fita beta, utilizando-se as peças do kit "Construindo modelos de aminoácidos e proteínas".	63
Figura 8 - Posição das peças para a montagem de uma estrutura secundária de proteína, a folha beta, utilizando-se as peças do kit "Construindo modelos de aminoácidos e proteínas". A seta azul indica a peça que representa a ligação de hidrogênio.	64
Figura 9 - Representação de fitas beta através de setas (39).	64
Figura 10 - Organização das cadeias laterais dos aminoácidos na montagem da hélice alfa.	65
Figura 11 - Estabelecimento da primeira ligação de hidrogênio na montagem da hélice alfa.....	66
Figura 12 - Montagem final da hélice alfa.....	66
Figura 13 - Modelo da proteína normal (direita) e da proteína mutante (esquerda).	67
Figura 14 - Modelo tátil de proteína montado com materiais de baixo custo pelo aluno A1 referente à questão 3 do pré-teste.....	82
Figura 15 - Desenho feito pela aluna A2 na resposta 7 do pré-teste para representar o processo de síntese de proteínas.	84
Figura 16 - Esquema feito pela aluna A2 durante a resposta 9 do pré-teste.	84
Figura 17 - Desenho feito pela aluna A2 na resposta 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína. A aluna representou o processo de síntese.	85
Figura 18 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A2 referente à questão 3 do pré-teste.....	85
Figura 19 - Desenho feito pela aluna A3 durante a resposta 4 do pré-teste, representando como ela imaginava que as proteínas estavam organizadas fisicamente.	87

Figura 20 - Modelo tátil em materiais de baixo custo montado pela aluna A3 em resposta à pergunta 3 do pré-teste.	88
Figura 21 - Desenho feito pelo aluno A4 na resposta 2 do pré-teste para representar o funcionamento de um proteína.	92
Figura 22 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A4 referente à questão 3 do pré-teste.	92
Figura 23 - Desenho feito pela aluna A5 na resposta 7 do pré-teste para representar o processo de síntese de proteínas.	94
Figura 24 - Desenho feito pela aluna A5 na resposta 4 do pré-teste para representar o funcionamento de um proteína.	95
Figura 25 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A5 referente à questão 2 do pós-teste, representando a estrutura primária da proteína.	96
Figura 26 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A5 referente à questão 2 do pós-teste, representando aminoácidos e ligações peptídicas.	96
Figura 27 - Desenho feito pela aluna A6 durante a resposta 9 do pré-teste para relacionar quatro palavras: gene, DNA, RNA e proteínas.	100
Figura 28 - Desenho feito pela aluna A6 durante a resposta 2 do pré-teste para representar a estrutura das proteínas.	101
Figura 29 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A6 referente à questão 3 do pré-teste, representando a estrutura primária de proteína.	102
Figura 30 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A6 referente à questão 3 do pré-teste, representando estruturas secundária e terciária de proteína.	102
Figura 31 - Esquema feito pelo aluno A7 na resposta 7 do pré-teste para representar o processo de síntese de proteínas.	105
Figura 32 - Esquema feito pelo aluno A7 na resposta 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína.	107
Figura 33 - a: Modelo tátil proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A7 referente à questão 3 do pré-teste, representando estrutura primária e b: representando estrutura secundária de uma proteína.	107
Figura 34 - Desenho feito pela aluna A8 na resposta 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína	111
Figura 35 - a: Modelo tátil proteína montado com materiais de baixo custo feito pela aluna A8 referente à questão 3 do pré-teste, representando estrutura secundária de uma proteína e b: representando os átomos de uma ligação peptídica.	111

Figura 36 - Esquema feito pela aluna A9 na resposta 7 do pré-teste para representar o processo de síntese de proteínas.	113
Figura 37 - Desenho feito pela aluna A9 referente à questão 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína.	114
Figura 38 - Modelo tátil proteína montado em materiais de baixo custo feito pela aluna A9 referente à questão 3 do pré-teste, para representar a estrutura de uma proteína.	115
Figura 40 - Esquema feito pela aluna A10 referente à questão 7 do pré-teste para representar o processo de síntese de uma proteína.	117
Figura 41 - Esquema feito pela aluna A10 referente à questão 9 do pré-teste para relacionar quatro palavras: DNA, RNA, gene e proteína.....	117
Figura 39 - Desenho feito pela aluna A10 referente à questão 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína.	117
Figura 42 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A10 referente à questão 3 do pré-teste.	118
Figura 43 - Esquema feito pelo aluno A11 referente a questão 9 do pré-teste para representar os processos de transcrição e tradução.....	121
Figura 44 - Esquema feito pelo aluno A11 referente a questão 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína	123
Figura 45 - Modelo tátil de proteína montado com materiais de baixo custo pelo aluno A11 referente à questão 3 do pré-teste.	123
Figura 46 - Modelo tátil de ligação peptídica montado em materiais de baixo custo pelo aluno A11 referente à questão 3 do pré-teste. Da esquerda para a direita bolinhas brancas representam hidrogênio, azul o nitrogênio, rosa oxigênio, bola preta carbono alfa e marrom carbonila.	123
Figura 47 - Esquema feito pelo aluno A12 na resposta à questão 2 do pré-teste, para representar a função de uma proteína.....	127
Figura 48 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno feito pelo aluno A12 referente à questão 3 do pré-teste, para representar a estrutura primária de uma proteína.	128
Figura 49 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno feito pelo aluno A12 referente à questão 3 do pré-teste.	128
Figura 50 - Desenho feito pelo aluno feito pelo aluno A13 na resposta 7 no pré-teste para representar o processo de síntese de proteínas.....	131
Figura 51 - Esquema feito pelo aluno feito pelo aluno A13 na resposta 9 no pré-teste para relacionar quatro palavras: DNA, RNA, gene e proteína.....	131
Figura 52 - Desenho feito pelo aluno feito pelo aluno A13 na resposta 2 no pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína.	132

Figura 53 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A13 referente à questão 3 do pré-teste, representando a ligação peptídica em uma proteína.	133
Figura 54 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A13 referente à questão 3 do pré-teste, representando a estrutura secundária e terciária de uma proteína.	133
Figura 55 - Desenho feito pelo aluno A1 durante a resposta 5 no pós-teste para se referir aos tipos de estruturas de proteínas montadas na intervenção.	139
Figura 56 - Desenho feito pelo aluno A1 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.....	139
Figura 57 - Desenho feito pelo aluno A1 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de um proteína.	140
Figura 58 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A1 referente à questão 2 do pós-teste.	140
Figura 59 - Desenho feito pela aluna A2 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.....	143
Figura 60 - Desenho feito pela aluna A2 na resposta 1 do pós-teste para representar o processo de síntese de proteínas.	143
Figura 61 - Desenho feito pela aluna A2 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de um proteína.	144
Figura 62 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A2 referente à questão 2 do pós-teste.	144
Figura 63 - Desenho feito pela aluna A2 durante a montagem do modelo tátil de proteína na resposta 2 do pós-teste numa tentativa lembrar os grupos funcionais do aminoácido.	144
Figura 64 - Desenho feito pela aluna A3 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de um proteína. O desenho não apresentava legenda e a aluna não esclareceu do que se tratava .	146
Figura 65 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A3 referente à questão 2 do pós-teste.	147
Figura 66 - Desenho feito pelo aluno A4 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.....	149
Figura 67 - Desenho feito pelo aluno A4 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de um proteína.	151
Figura 68 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A4 referente à questão 2 do pós-teste.	151
Figura 69 - Desenho feito pela aluna A5 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.....	153

Figura 70 - Esquema feito pela aluna A5 na resposta 1 do pós-teste para representar as etapas do processo de síntese de proteínas.....	154
Figura 71 - Desenho feito pela aluna A5 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.....	154
Figura 72 - Desenho feito pela aluna A5 durante a resposta 2 do pós-teste para representar estruturas secundárias de proteína.	155
Figura 73 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A5 referente à questão 2 do pós-teste.....	155
Figura 74 - Desenho feito pela aluna A6 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.	157
Figura 75 - Esquema feito pela aluna A6 na resposta 1 do pós-teste para representar o processo da síntese de proteínas.	157
Figura 76 - Esquema feito pela aluna A6 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.	158
Figura 77 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A6 referente à questão 2 do pós-teste.....	158
Figura 78 - Desenho feito pelo aluno A7 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.	160
Figura 79 - Esquema feito pelo aluno A7 na resposta 1 do pós-teste para representar o processo da síntese de proteínas.	160
Figura 80 - Esquema feito pelo aluno A7 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.	161
Figura 81 - Desenho feito pela aluna A8 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.	163
Figura 82 - Desenho feito pela aluna A8 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.....	164
Figura 83 - Modelo tátil proteína montado em materiais de baixo custo feito pela aluna A8 referente à questão 2 do pós-teste.....	164
Figura 84 - Desenho feito pela aluna A9 referente à questão 4 do pós-teste, para representar o funcionamento de uma proteína.	167
Figura 85 - Modelo tátil de proteína feito pela aluna A9 referente à questão 2 do pós-teste.....	167
Figura 86 - Desenho feito pela aluna A10 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.	169
Figura 87 - Esquema feito pela aluna A10 na resposta 1 do pós-teste para representar o processo de síntese de proteínas.	169

Figura 88 - Desenho feito pela aluna A10 referente à questão 4 do pós-teste, para representar o funcionamento de uma proteína.	170
Figura 89 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A10 referente à questão 2 do pós-teste.....	170
Figura 90 - Desenho feito pelo aluno A11 na questão 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.....	172
Figura 91 - Desenho feito pelo aluno A11 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.	173
Figura 92 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno feito pelo aluno A11 referente à questão 2 do pós-teste.....	173
Figura 93 - Desenho feito pelo aluno A12 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais dos aminoácidos.	175
Figura 94 - Esquema feito pelo aluno feito pelo aluno A12 na resposta 1 no pós-teste para representar o processo de síntese de proteínas.	176
Figura 95 - Desenho feito pelo aluno feito pelo aluno A12 na resposta 4 no pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.	177
Figura 96 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A12 na resposta 2 no pós-teste referente à questão 2 do pós-teste.....	177
Figura 97 - Desenho feito pelo aluno A13 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.....	179
Figura 98 - Desenho feito pelo aluno A13 na resposta 4 para representar o funcionamento de uma proteína.	180
Figura 99 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A13 referente à questão 2 do pós-teste, representando aminoácidos polares e apolares.	181
Figura 100 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A13 referente à questão 2 do pós-teste, representando estruturas secundárias de proteína.....	181

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Planejamento pedagógico do curso “Proteínas: conceitos e representações”	49
Quadro 2 - Respostas dos professores sobre quais estratégias e recursos didáticos utilizavam para ensinar o tema proteínas.	75
Quadro 3 - Respostas dos professores sobre as dificuldades dos alunos em entender a relação estrutura/função de proteínas.	76
Quadro 4 - Respostas dos professores sobre o que esperam que os alunos da CFBio e LCE entendam sobre proteínas aos terminarem suas disciplinas e seus cursos.....	77
Quadro 5 - Respostas do aluno A1 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	82
Quadro 6 - Respostas da aluna A2 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.....	85
Quadro 7 - Respostas da aluna A3 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.....	88
Quadro 8 - Respostas do aluno A4 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	92
Quadro 9 - Respostas da aluna A5 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.....	96
Quadro 10 - Respostas da aluna A6 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	102
Quadro 11 - Respostas do aluno A7 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	107
Quadro 12 - Respostas da aluna A8 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	111
Quadro 13 - Respostas da aluna A9 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	115
Quadro 14 - Respostas da aluna A10 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos. ...	118
Quadro 15 - Respostas do aluno A11 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos...	123
Quadro 16 - Respostas do aluno A12 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos...	128
Quadro 17 - Respostas do aluno A13 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos...	133
Quadro 18 - Classificação dos alunos segundo os subtipos da categoria Modelizadores, de acordo com as respostas do pré-teste.	136
Quadro 19 - Classificação alunos segundo os subtipos da categoria Não modelizadores, de acordo com as respostas do pré-teste.	137
Quadro 20 - Respostas do aluno A1 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.....	140
Quadro 21 - Respostas da aluna A2 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	144
Quadro 22 - Respostas da aluna A3 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	147
Quadro 23 - Respostas do aluno A4 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.....	151
Quadro 24 - Respostas da aluna A5 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	155
Quadro 25 - Respostas da aluna A6 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	158
Quadro 26 - Respostas do aluno A7 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.....	161
Quadro 27 - Respostas da aluna A8 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	164
Quadro 28 - Respostas da aluna A9 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.	167
Quadro 29 - Respostas da aluna A10 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos. ...	170
Quadro 30 - Respostas do aluno A11 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos...	173
Quadro 31 - Respostas do aluno A12 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos...	177
Quadro 32 - Respostas do aluno A13 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos...	181
Quadro 33 - Classificação dos alunos segundo os subtipos da categoria Modelizadores, de acordo com as respostas do pós-teste.	184
Quadro 34 - Classificação dos alunos segundo os subtipos da categoria Não modelizadores, de acordo com as respostas do pós-teste.	184
Quadro 35 - Análise da evolução conceitual dos alunos A1 e A2 por meio da comparação do pré-e do pós-teste.	188

Quadro 36 - Análise da evolução conceitual dos alunos A3 e A4 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.	189
Quadro 37 - Análise da evolução conceitual dos alunos A5 e A6 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.	190
Quadro 38 - Análise da evolução conceitual dos alunos A7 e A8 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.	191
Quadro 39 - Análise da evolução conceitual dos alunos A9 e A10 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.....	192
Quadro 40 - Análise da evolução conceitual dos alunos A11 e A12 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.....	193
Quadro 41 - Análise da evolução conceitual do aluno A13 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.	194
Quadro 42 - Estratégias de ensino e materiais didáticos utilizados durante o curso “Proteínas: conceitos e representações”, oferecido aos alunos participantes da pesquisa.	199

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre modelos mentais, representações proposições e imagens.	33
Tabela 2 - Recursos didáticos sugeridos para o ensino de proteínas pelo currículo do Estado de São Paulo.....	41
Tabela 3 - Questões formuladas na entrevista pré-teste.....	51
Tabela 4 - Questões da entrevista pós-teste.....	52
Tabela 5 - Gênero e curso dos sujeitos da pesquisa.	69
Tabela 6 - Disciplinas cursadas pelos alunos da LCE até o momento da intervenção.	70
Tabela 7 - Presença do tema proteínas nas ementas das disciplinas do curso LCE.....	71
Tabela 8 - Disciplinas cursadas pelos alunos da CFBio até o momento da intervenção.....	71
Tabela 9 - Presença do tema proteínas nas ementas das disciplinas do curso CFBio.	72
Tabela 10 - Disciplinas que mais contribuíram para a formação das representações de proteínas dos alunos da LCE, segundo indicação dos mesmos.	73
Tabela 11 - Disciplinas que mais contribuíram para a formação das representações de proteína dos alunos da CFBio.	73
Tabela 12 - Classificação dos alunos quanto às suas representações mentais detectadas no pré-teste.	135
Tabela 13 - Algumas questões do pré-teste que pediam uma resposta escrita.	135
Tabela 14 - Classificação dos alunos quanto às suas representações mentais detectadas no pós-teste.	183
Tabela 15 - Algumas questões do pós-teste que solicitavam uma respostas escrita.	183
Tabela 16 - Comparação entre modelizadores e não modelizadores diagnosticados no pré- e pós-teste.	185
Tabela 17 - Comparação entre as subcategorias detectadas no pré- e pós-teste.....	186

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBME	Centro de Biotecnologia Molecular Estrutural
CENP	Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas
CEPID	Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão
CFBio	Bacharelado em Ciências Físicas e Biomoleculares
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
ICMC	Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
IFSC	Instituto de Física de São Carlos
INBEQMeDI	Instituto Nacional de Biotecnologia Estrutural e Química Medicinal em Doenças Infecciosas
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
IQSC	Instituto de Química de São Carlos
LCE	Licenciatura em Ciências Exatas
SBBq	Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular
SEE-SP	Secretaria Estadual da Educação do Estado de São Paulo
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
1.1 Contexto e Estrutura da dissertação	27
1.2 Definindo modelos	30
1.3 Teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird	31
1.4 Modelos e Modelização no ensino de Ciências	34
1.4.1 Trabalhos utilizando o referencial dos Modelos Mentais de Johnson-Laird no ensino de ciências da natureza	35
1.5 Ensino de biomoléculas: presença do tema no currículo escolar e os recursos didáticos associados.	39
2 DELINEAMENTO DA PESQUISA	47
2.1 Objetivo do trabalho	47
2.2 Sujeitos da pesquisa	47
2.3 Elaboração da sequência didática	48
2.4 Seleção dos tipos e elaboração dos instrumentos de coleta de dados.	50
2.5 Testagem da sequência didática e dos instrumentos de coleta de dados.	52
2.6 Divulgação do curso junto ao público alvo	53
2.7 Forma de tratamento e análise de dados	54
3 DESCRIÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA NO CURSO OFERECIDO	59
3.1 1º DIA	59
3.2 2º DIA	61
3.3 3º DIA	65
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1 Caracterização dos sujeitos da pesquisa	69
4.2 Diagnóstico das representações mentais	80
4.2.1 Pré-teste	81
4.2.2 Pós-teste	139
4.3 Análise global da contribuição do curso para o ensino/aprendizagem do tema Proteínas	187
5 CONCLUSÕES	203
REFERÊNCIAS	205
APÊNDICE	210

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e Estrutura da dissertação

O Centro de Biotecnologia Molecular Estrutural (CBME/CEPID/FAPESP) e o Instituto Nacional de Biotecnologia Estrutural e Química Medicinal em Doenças Infecciosas (INBEQMeDI/INCT/CNPq) fazem parte de projetos de pesquisa, inovação e difusão de Ciências financiados pelas agências de fomento à pesquisa indicadas. O CBME foi instituído em Outubro de 2000 e o INBEQMeDI em janeiro de 2009. Ambos têm como objetivo realizar a pesquisa, o desenvolvimento tecnológico e a educação e difusão em ciências, na área de Biologia Molecular Estrutural e suas aplicações em Biotecnologia. Os projetos em andamento no INBEQMeDI estão voltados ao estudo de proteínas para o desenvolvimento de medicamentos ou vacinas contra algumas doenças negligenciadas como a Doença de Chagas, Malária, Esquistossomose, Leishmaniose e Leptospirose.

A Coordenadoria de Educação e Difusão do CBME-INBEQMeDI vem desenvolvendo um inovador programa de educação e difusão em Biologia Molecular Estrutural, Biotecnologia e Doenças Infecciosas. Esta Coordenadoria desenvolve, produz e avalia materiais pedagógicos para o ensino e divulgação dos temas referidos, destinados a todos os níveis escolares. Dentre os materiais, podem ser destacados os modelos moleculares táteis para montagem de moléculas de DNA, RNA, aminoácidos e proteínas, jogos e softwares abordando algumas das doenças negligenciadas. Desde 2007, essa Coordenadoria apoia turmas de Clubes de Ciências, com a participação de estudantes da 7ª série (8ºano) do ensino fundamental até o 2º ano do ensino médio de escolas públicas, acompanhados por estudantes universitários e educadores.

Em 2009, essa Coordenadoria estabeleceu uma parceria com a Secretaria Estadual da Educação do Estado de São Paulo (SEE-SP), por meio da Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas (CENP), e tem contribuído com a

formação continuada de professores de ciências da natureza do ensino básico, ministrando cursos, transferindo materiais e metodologias de ensino e, quando possível, acompanhando os resultados da aplicação das atividades pelos professores em sala de aula. Desde o início dessa parceria a Coordenadoria de Educação e Difusão já ministrou diversos cursos e oficinas utilizando os recursos didáticos desenvolvidos pelos pesquisadores participantes do CBME-INBEQMeDI. Estima-se que mais de 800 professores da rede pública de ensino já participaram de cursos de formação continuada oferecidos pelo grupo no período de 2009 a 2011 (para maiores informações sobre as atividades desta Coordenadoria, consultar os sites <http://cbme.ifsc.usp.br> ou <http://cbme.usp.br>).

No contexto acima apresentado, insiro-me a partir de 2007, ano de meu ingresso no grupo como bolsista de iniciação científica, quando participei de várias oficinas com professores e alunos da educação básica, utilizando os modelos táteis de DNA e proteínas desenvolvidos pelo grupo. Dentre esses modelos, destaca-se o kit **“Construindo modelos de aminoácidos e proteínas”** (1), um kit de peças plásticas com o qual podem ser montadas, a partir dos aminoácidos, as estruturas primárias e secundárias de uma proteína, aqui referido como kit de aminoácidos. O desenvolvimento e avaliação desse material foi fruto da tese de doutorado de Aparecido Rodrigues da Silva, em 2010 (1), sob orientação da Prof^a Dr^a Leila M. Beltramini (IFSC-USP). O kit de aminoácidos tem sido utilizado em cursos e oficinas para professores e alunos do ensino médio e superior, oferecidos pelo grupo.

Ao acompanhar ou ministrar as oficinas com kit de aminoácidos, notei que, apesar do público conhecer os conceitos relativos ao tema, havia uma dificuldade em utilizar esse conhecimento para montar e utilizar esses modelos táteis. A dificuldade de modelização e a própria representação mental dessas moléculas que o público demonstrava nas oficinas chamou minha atenção, no sentido de tentar compreender melhor esses aspectos do ensino-aprendizagem de proteínas, além de eu perceber que o uso de modelos táteis ajudava na compreensão da estrutura desta classe de moléculas. Assim, procuramos na literatura um referencial que nos ajudasse entender este processo de construção do conhecimento e chegamos ao referencial dos modelos mentais de Johnson-Laird.

Dentro do contexto apresentado, o presente trabalho propôs-se a investigar a contribuição de diferentes recursos didáticos para o ensino e aprendizagem da estrutura e função de proteínas, considerando os tipos de representações mentais de alunos do ensino superior a respeito de proteínas, suas externalizações sob o ponto de vista conceitual e os modelos mentais que estes alunos possuíam sobre o tema.

A dissertação foi dividida nos itens principais: Introdução, Delineamento da pesquisa, Descrição da Sequência Didática Aplicada, Resultados e Discussão e Conclusões. A Introdução abordará o referencial teórico adotado e discorrerá sobre o uso de recursos didáticos no ensino de biomoléculas. No item Delineamento da pesquisa será mostrada a trajetória da pesquisa: definição da questão de pesquisa; sujeitos da pesquisa; elaboração, testagem e aplicação de uma sequência didática sobre o tema proteínas utilizando recursos educacionais táteis, oferecida na forma de um curso; elaboração e testagem das ferramentas de coleta de dados. O item Descrição da Sequência Didática Aplicada apresentará detalhes sobre as estratégias de ensino, recursos didáticos e temas abordados em cada dia do curso oferecido. No item Resultados e Discussão serão apresentados e discutidos os resultados obtidos sob a perspectiva da pesquisa qualitativa e considerando o referencial teórico adotado. E no item Conclusões, serão apresentadas as conclusões chegadas a partir da questão de pesquisa.

1.2 Definindo modelos

Diante do trabalho de Krapas e colaboradores (2), que mapeou e concluiu que, o uso do termo *modelo* no campo da pesquisa em ensino de ciências é frequente, porém assumindo diversos sentidos dentro de um mesmo trabalho, se faz necessário adotar uma definição de tal termo.

Para Gilbert e colaboradores (3) o termo *modelo* pode ser definido como uma representação de um fenômeno, sistema, evento ou processo, que pode ser composto por entidades concretas ou abstrações. Tais autores propõem a seguinte classificação para os modelos: eles podem ser mentais, uma representação cognitiva e particular de um indivíduo; expressos, modelos mentais externalizados por meio de representações concretas, visuais, verbais, gestuais; científicos, modelos expressos que ganharam aceitação da comunidade científica; históricos, modelos científicos produzidos em contextos históricos específicos; curriculares, simplificações de modelos históricos ou científicos; de ensino, criados por professores ou alunos para facilitar a compreensão de modelos históricos, científicos ou curriculares. Dentre os modelos de ensino, os principais utilizados são bidimensionais (2D), tridimensionais (3D), simulações computacionais ou analogias.

Segundo Borges (4), apesar do termo “modelo mental” ser uma terminologia utilizada há mais de 30 anos por diversas áreas do conhecimento, não existe uma definição consensual explícita do que seja um modelo mental.

Tendo em vista a utilização do referencial teórico de Johnson-Laird (5) sobre modelos mentais em pesquisas na área do ensino de ciências da natureza (Biologia, Química e Física), o presente trabalho optou por adotá-lo, considerando que um modelo mental é uma forma de representação analógica de um objeto, fenômeno ou estado das coisas ao qual representa, formado por elementos “tokens” e as relações entre esses elementos que representam um estado das coisas específico (6).

1.3 Teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird

Segundo Moreira (6), as pessoas constroem representações internas, ditas mentais, a partir daquilo que captam do mundo, ou seja, representações mentais são formas de internalizar aquilo que se percebe ou imagina existir no mundo. Nas décadas de 1900-1910 tais representações mentais dividiam os psicologistas em duas escolas de pensamento distintas ‘imagistas’ e ‘proposicionalistas’.

Os imagistas, segundo Johnson-Laird (5), argumentam que as imagens são um tipo diferente de representação mental, e resume suas convergências de pensamento em quatro pontos principais:

- i. Os processos mentais subjacentes à experiência de uma imagem são semelhantes à percepção de um objeto ou imagem.
- ii. Uma imagem é uma representação integrada e coerente, de uma cena ou objeto, sob um determinado ponto de vista, em que cada elemento perceptível ocorre apenas uma vez, todos esses elementos são avaliados simultaneamente e a percepção é como um processo de digitalização.
- iii. Uma imagem é passível de contínuas transformações, aparentemente mentais, tais como rotações ou expansões, em que estados intermediários correspondem às transformações físicas sofridas por um objeto real. Assim, uma pequena alteração na imagem corresponde a uma pequena mudança (de vista) dos objetos.
- iv. Imagens representam objetos. Elas são analógicas no sentido de que as relações estruturais entre as suas partes correspondem às relações perceptíveis entre as partes dos objetos representados. (5)

Já os proposicionalistas argumentam que uma imagem pode ser construída a partir de sua representação proposicional subjacente, porém afirmam que a imagem não introduz nenhuma informação nova, apenas se limita a armazenar informações mais fáceis de manipular. (5)

É nesse cenário que Philip Nicholas Johnson-Laird, nascido em 12 de outubro de 1936, Inglaterra, atualmente professor do Departamento de Psicologia da Universidade de Princeton (7), propôs uma teoria que relaciona os modelos mentais tanto às representações proposicionais quanto às imagens, que são tratadas como uma classe especial de modelos. (5)

Na perspectiva de Johnson-Laird, existem três tipos de representações mentais: os modelos mentais, as representações proposicionais e as imagens (5).

Segundo o autor citado os seres humanos compreendem o mundo através da construção de modelos em suas mentes. Para ele, os modelos mentais

“desempenham uma papel central e unificador na representação de objetos, estados de coisas, sequência de eventos (...) eles permitem que indivíduos façam inferências e previsões, para compreender os fenômenos, tomar decisões tomar e controlar sua execução.” (5)

O entendimento de um fenômeno passa por se conhecer suas causas e resultados, como provocar esse fenômeno, como influenciá-lo e controlá-lo, de que forma ele evolui, como se relaciona com outras coisas e como pode ser sua estrutura. Assim, compreender e saber explicar um fenômeno implica em possuir um modelo mental do mesmo. (5)

Uma das características desses modelos é que eles são incompletos, mais simples do que as entidades que representam e contém elementos que apenas imitam a realidade. Uma vez que esses modelos estão na mente das pessoas, é impossível conhecê-los diretamente, e o próprio fato de se externalizar um modelo, ou seja, torná-lo um modelo expresso, segundo a classificação de Gilbert e colaboradores (3), já o modifica.

Para Johnson-Laird, as pessoas não se utilizam da lógica formal ou do pensamento dedutivo para raciocinar, elas o fazem através da construção de modelos mentais. Por esse motivo, a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird é dita não racionalista. Segundo Borges (4), os modelos mentais representam o contexto de um discurso, de um evento ou situação, os objetos envolvidos e o conhecimento do observador usado para compreendê-los. O raciocínio lógico, à luz da teoria citada acima, é encarado como uma destreza, a habilidade de, a partir de um modelo mental de referência, relacionar possíveis modos alternativos que o evento ou situação modelados possam ser representados, e a partir dessa relação inferir uma conclusão, que classifica os modos alternativos como verdadeiros ou falsos com relação ao modelo de referência. (6)

Segundo Johnson-Laird (5) uma representação proposicional é uma representação mental de uma proposição verbalmente expressável. São sequências de símbolos que correspondem à língua natural, ao qual qualquer representação mental pode ser reduzida, e podem ou não fazer parte de um modelo mental.

A diferença característica entre o conteúdo dos modelos mentais, imagens e representações proposicionais está em sua especificidade. Modelos, assim como imagens, são altamente específicos; um exemplo dessa especificidade é que ao se

imaginar um triângulo, não é possível formar uma imagem de um triângulo em geral, mas apenas um triângulo específico. (5)

As imagens são representações mentais concretas, formas de se “ver” as coisas, os fenômenos, e são a elas que as pessoas recorrem para captar a essência dos seus modelos, detalhes relevantes para os indivíduos que as constroem. Além disso, são consideradas tanto um produto da imaginação quanto da percepção do mundo real, representações internas do ponto de vista particular do indivíduo. (8)

Ainda segundo Moreira e colaboradores (8), para Johnson-Laird algumas pessoas raciocinam com imagens, usando-as em seus modelos, fazendo rotações, translações e expansões, mas nem todas as pessoas utilizam este processo de pensamento.

Partindo-se, por exemplo, da seguinte situação: “o gato está no telhado”. Tal situação pode ser representada com proposições, uma vez que é verbalmente exprimível; como um modelo mental, pensando-se em qualquer gato em cima de qualquer telhado; ou então através de imagens, visualizando mentalmente, por exemplo, um gato preto sobre um telhado vermelho.

A tabela 1 apresenta uma comparação entre modelos mentais, representações proposicionais e imagens.

Tabela 1 - Comparação entre modelos mentais, representações proposicionais e imagens.

Modelos Mentais	Representações Proposicionais	Imagens
Análogos estruturais do mundo	Cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural	Vistas particulares dos modelos mentais

1.4 Modelos e Modelização no ensino de Ciências

Os cientistas, pesquisadores e professores constroem modelos sobre as coisas e os estados das coisas para facilitar sua compreensão e seu ensino. Esses modelos, ditos conceituais (6), são representações precisas consistentes e complexas de estados de coisas, e devem ser compartilhados e aceitos pela comunidade científica.

Segundo Moreira (6), o objetivo do ensino é ajudar, através de modelos conceituais, os alunos a construírem seus modelos mentais sobre as coisas e os estados das coisas de forma adequada, ou seja, em concordância com esses modelos conceituais. Essa relação entre modelos conceituais e modelos mentais não é direta, uma vez que o professor também possui um modelo mental de um modelo conceitual que deseja ensinar aos alunos, e também possui um modelo mental dos modelos mentais que os alunos possuem sobre o tema a ser ensinado. Em uma situação normal de aula, segundo Justi (9), recai sobre o professor a responsabilidade de iniciar o processo de construção de modelos. O processo da construção de tais modelos, a modelização, ou modelação, como chamado por Greca e Santos (10), no ensino de ciências vem sendo foco de discussões nos últimos anos, no sentido de se determinar estratégias didáticas mais adequadas para facilitar a aprendizagem dos conceitos científicos em diferentes níveis de ensino e, segundo as autoras, com abordagens distintas para áreas como Física e Química por exemplo.

Segundo Greca e Santos (10), a modelização no ensino de Química e Física se dá de formas distintas. A modelização de um fenômeno em Física envolve buscar uma solução matemática ou conceitual para um problema ou fenômeno real, descrevê-lo através de objetos ou variáveis, formalizar suas propriedades através de equações, e por último validar o modelo, através da análise da coerência entre o sistema modelado e as informações obtidas sobre ele. Já na Química, e podemos aqui estender para a Bioquímica, para os autores, nos cursos introdutórios de nível universitário, inicialmente é necessário que os alunos consigam modelar a situação ou sistema através da representação pictórica, ou seja, utilizando imagens ou

desenhos que lhes permitam raciocinar e que possa ser expressa simbolicamente, utilizando fórmulas e símbolos para representar o sistema. (10)

Segundo o trabalho supracitado, a modelização na Química (e podemos aqui estender para a Bioquímica) requer a aprendizagem de conceitos, das diferentes formas que esses conceitos podem ser representados, as regras dessas representações, e como tais regras representam as relações entre os conceitos.

1.4.1 Trabalhos utilizando o referencial dos Modelos Mentais de Johnson-Laird no ensino de ciências da natureza

Ao analisarmos trabalhos que utilizaram o referencial dos modelos mentais de Johnson-Laird quanto ao desenho metodológico e à forma de análise dos resultados, percebemos a existência de uma similaridade entre eles. Os trabalhos apresentados a seguir têm basicamente a mesma metodologia de pesquisa, ou seja, baseiam-se na análise qualitativa das externalizações dos alunos (falas, desenhos, textos, modelos táteis), obtidas através de tarefas, atividades, provas ou entrevistas.

No trabalho de Borges (4), o autor identificou os modelos mentais de magnetismo e eletromagnetismo entre pessoas com diferentes níveis de aprendizagem e experiência com eletricidade, dentre elas estudantes da primeira e terceira séries do ensino médio, estudantes do terceiro ano do curso técnico em eletrônica, engenheiros elétricos, professores de física e eletricitas. Tais modelos foram detectados a partir de respostas dadas em entrevistas, o autor os diferenciou de acordo com grau de complexidade, sendo que foram detectados quatro níveis de modelos para eletricidade e cinco níveis para eletromagnetismo. O autor concluiu que a construção de um modelo mental sobre um fenômeno, processo ou sistema novo, baseia-se na forma de como as pessoas percebem o novo, de seu conhecimento prévio e memórias. Portanto, à medida que o conhecimento sobre determinado assunto aumenta, o sujeito tem que revisar seu modelo para adequá-lo ao novo estado das coisas que ele percebe, e essa adequação não é necessariamente acumulativa. Nesse sentido, segundo o autor, toda estratégia de

ensino deve ajudar o aluno a construir modelos mentais melhores, no sentido de serem mais próximos dos científicos, e considerar sua evolução individual.

No trabalho de Moreira e Lagreca (11), os autores tiveram como objetivo investigar os tipos de representações mentais e possíveis modelos mentais que alunos da disciplina de Física Geral I de um curso de engenharia tinham sobre mecânica clássica. Isso foi feito através da análise das externalizações como falas, desenhos e documentos escritos (tais dados foram obtidos através da coleta das atividades instrucionais realizadas no decorrer da pesquisa e de uma entrevista final). Os autores agruparam os alunos em três categorias distintas: os proposicionalistas, alunos que trabalhavam a maioria dos conceitos estudados usando proposições isoladas, não relacionadas a modelos, não interligando conceitos e/ou aspectos da matéria entre si e dando respostas parecidas com cópias do livro-texto; os modeladores proposicionalistas, alunos que fazem uso de proposições através de regras articuladas em modelos mentais, interligando diferentes conceitos e aspectos da disciplina; e os modeladores imagísticos, alunos que faziam uso frequente de imagens, conseguiam explicar e prever corretamente as situações físicas apresentadas.

Em outro trabalho, Moreira e Lagreca (12) buscaram identificar o tipo de representação mental (modelos, proposições e imagens) predominantemente usado por estudantes universitários em um curso introdutório de Física, na área de mecânica newtoniana, e possíveis modelos mentais referentes a alguns conceitos físicos utilizados. A metodologia empregada nesse trabalho não difere da utilizada no trabalho citado anteriormente (análise qualitativa de tarefas instrucionais e entrevista). A categorização foi feita de duas formas: com relação à forma de trabalhar dos alunos durante o curso (proposicionalistas, modeladores proposicionalistas e modeladores imagísticos, com 5, 4 e 4 alunos respectivamente) e quanto aos modelos mentais estáveis (cinco modelos mentais distintos). Os autores concluíram que um dos possíveis fatores que dificultavam a formação de modelos mentais pelos alunos¹ sobre conceitos físicos era a forma de ensino, basicamente proposicional, característica de livros-textos utilizados na disciplina de Física Geral. Propomos aqui que o raciocínio dos autores também poderia ser

¹ Em vista do número de proposicionalistas encontrados na amostra.

aplicado em qualquer área em que o aluno aprendesse regras e conceitos isolados, decorasse respostas e imagens sem, de fato, entender ou interligar esses conceitos de forma coerente em um modelo mental explicativo para o fenômeno, processo, situação ou objeto a ser aprendido.

A respeito do conceito de célula, em um trabalho sobre os tipos de representações de célula entre alunos com idade entre 17 e 18 anos, cursando a disciplina de Biologia oferecida em um curso pré-vestibular, Palmero e Moreira (13) concluem que, a partir de externalizações escritas recolhidas pela professora no decorrer da disciplina, através de entrevistas e questionários inicial e final, os alunos apresentaram dificuldades em entender a entidade “célula” e seu papel vital na concepção biológica de vida, além de não terem apresentado uma aprendizagem significativa e coerente com o modelo de célula cientificamente aceito. Uma forma para combater esse problema, proposta pelo autores, seria a aplicação de estratégias de ensino que levassem em conta os resultados de pesquisas como essa no cotidiano escolar, como por exemplo, quais conceitos deveriam ser priorizados quando se deseja ensinar este tema.

Em um trabalho de mesmo tema, Palmero e colaboradores (14) levantaram os modelos mentais sobre células de alunos de um curso pré-vestibular com idade entre 17 e 18 anos. Nesse trabalho, os autores, a partir das produções dos alunos (questionários, provas, mapas conceituais desenhos e entrevistas) classificaram os modelos mentais encontrados em: modelo estrutural- construção de um modelo de estrutura celular, não funcional, caracterizado por uma imagem estática sem estabelecer relações entre a estrutura e função da célula; modelo dual- construção de um modelo de estrutura da célula e outro de seu funcionamento, caracterizado por imagens estáticas, estabelecendo poucas relações entre estrutura e funcionamento da célula; modelo causal discursivo - modelo integrado de estrutura/ função da célula, estabelece relações complexas entre estruturas e processos, caracteriza-se pelo baixo uso de imagens, e quando elas aparecem são simples e estáticas; e causal imagístico- modelo integrado de estrutura/ função da célula, estabelece relações complexas entre estruturas e processos, caracterizadas pelo uso de imagens complexas, dinâmicas e/ ou o uso de várias imagens. Estes autores concluem que seus dados evidenciam que pessoas que trabalham com o mesmo material no mesmo contexto, constroem modelos mentais diferentes que se baseiam

em suas concepções, respostas e ações, tornando a contribuição das pesquisas com modelos mentais relevantes para a área de ensino/aprendizagem.

Em 2006, Moreira e Krey (15) publicaram um artigo que apresentou as dificuldades de universitários, estudantes de engenharia que cursavam a disciplina de física, com relação à Lei de Gauss, sob o referencial dos modelos mentais de Johnson-Laird. Tais dificuldades foram levantadas através da análise das respostas de uma avaliação relativa à Lei de Gauss junto a 74 alunos que compunham a amostra. Esse trabalho concluiu que a maneira com que a Lei de Gauss foi ensinada e a maneira como era apresentada em livros didáticos não favorecia a construção de modelos mentais pelos alunos. Os autores argumentaram que os livros didáticos e algumas aulas sobre o tema deixavam muito a desejar, restringindo a aplicação da lei à resolução de casos específicos, estimulando a aprendizagem mecânica e não a superação das dificuldades pelos alunos. Esses autores sugerem ainda que esse tipo de ensino não leva a formação de modelos mentais, para fazê-lo seria necessário que os alunos estivessem familiarizados com o modelo de linhas de campo e com os conceitos pertinentes a ele, antes de apresentar essas leis na sua forma operacional. Sugerem ainda que as estratégias referentes ao ensino desse tema deveriam priorizar a análise da situação, a formação de hipóteses, a projeção e realização de experimentos e a modelização qualitativa e análise dos resultados para assim ajudar o aluno a formar um modelo mental sobre a Lei de Gauss.

Tauceda e Pino (16) analisaram junto a duas turmas de alunos do 1º ano do ensino médio a relação entre a construção de uma aprendizagem significativa e a utilização de figuras do livro didático. As turmas foram submetidas a uma avaliação prévia, seguida de um bloco de dez horas de aula e posteriormente uma tarefa instrucional que envolvia a elaboração de desenhos. A análise seguiu a categorização proposta por Moreira e Lagreca. (11) O trabalho concluiu que alunos que não utilizaram imagens durante as aulas formaram mais modelos mentais com relação àqueles que usaram. Os autores discutiram que de nada adiantou apresentar figuras de livros didáticos ou de outras fontes de pesquisa sem que seu uso não fosse planejado, no sentido de proporcionar uma oportunidade para que o aluno testasse seu modelo mental, podendo confirmar sua aplicabilidade cognitiva ou implicar em sua revisão. Os autores propuseram uma reflexão sobre o papel que

o material instrucional tem sobre o processo de ensino e aprendizagem, na construção de representações mentais.

Em um trabalho com o objetivo de investigar os modelos mentais de alunos de 16 a 19 anos de idade sobre a natureza particular da matéria, Adbo e Taber (17) avaliaram os desenhos de átomos, sólidos, líquidos e gases de 18 alunos do ensino médio que iriam cursar a disciplina de química inorgânica. Os autores detectaram que o modelo de ensino do átomo (derivado do modelo de Bohr) influenciava os modelos mentais dos alunos, oferecendo uma imagem de um núcleo desproporcionalmente grande e imóvel e enfatizando um modelo planetário do átomo. Os autores indicaram que mudanças nas abordagens de ensino, como por exemplo, dando ênfase nas diferenças entre moléculas, íons e partículas subatômicas, poderiam proporcionar modelos mentais mais consistentes com os modelos conceituais cientificamente aceitos.

1.5 Ensino de biomoléculas: presença do tema no currículo escolar e os recursos didáticos associados.

Um estudo recente de Pedrancini e colaboradores (18) sugeriu que o modo como o ensino de biologia vem sendo organizado e conduzido atualmente não tem obtido muitos êxitos na superação das ideias espontâneas dos alunos sobre os conceitos fundamentais da Biologia Moderna. Segundo Moreira e Lagreca (11), o fato de os alunos não conseguirem construir modelos mentais, ou seja, não conseguirem explicar ou serem capazes de prever um fenômeno de maneira coerente e consistente com os modelos conceituais (científicos) aceitos, evidencia que não ocorreu a aprendizagem de tais conceitos.

Para que isso ocorra se faz necessária a elaboração de situações de aprendizagem com estratégias e recursos de ensino que propiciem ao aprendiz a oportunidade de testar recursivamente tais modelos para que possam aprimorá-los, modificá-los.

Com base nesses argumentos, destacamos a importância de uma aprendizagem sólida, pelos professores de Ciências da Natureza e Biologia, não só dos conceitos específicos relativos à Biologia Moderna, mas também dos conhecimentos didático-pedagógicos inerentes à prática docente. Segundo Anastasiou (19) o docente deve propor estratégias que desafiem ou possibilitem o desenvolvimento das operações mentais, despertando-as, exercitando-as, possibilitando ao aluno vivências pessoais carregadas de sensações. Para tal, o professor deve estudar, selecionar, organizar e propor as melhores ferramentas facilitadoras para que os estudantes se apropriem do conhecimento, o que inclui a seleção e utilização de diversos recursos didáticos.

Os recursos didáticos sugeridos pelos documentos oficiais nacionais tais como ilustrações, animações computacionais ou modelos táteis, podem ser utilizados para representar fenômenos, estruturas e seres vivos que não podem ser observados diretamente. Essas representações oriundas do pensamento humano têm o objetivo de codificar características, atribuir sensações, fazer inferências sobre as propriedades de objetos e fenômenos, reais ou imaginados, e explicá-los (6).

Segundo o PCN+ (20) o ensino de Biologia está organizado em seis temas estruturadores, a saber: Interação entre os seres vivos; Qualidade de vida das populações humanas; Identidade dos seres vivos; Diversidade da vida; Transmissão da vida, ética e manipulação gênica; Origem e evolução da vida.

O tema proteínas e seus conceitos subjacentes estão inseridos no currículo escolar da educação básica e fazem parte principalmente dos temas estruturadores Identidade dos seres vivos e Transmissão da vida, ética e manipulação gênica. Dentre os recursos didáticos sugeridos pelas Orientações Curriculares do Ensino Médio (21) para o ensino desses conceitos destaca-se a análise de esquemas e representações, sejam elas desenhos ou esquemas de processos, uso de livros didáticos, textos científicos e instrumentos ópticos para a visualização de estruturas celulares microscópicas.

O currículo do Estado de São Paulo (22), recentemente implementado², adota os temas estruturadores propostos na diretriz nacional em seu currículo de biologia e acrescenta o tema A receita da vida e seu código: tecnologia de manipulação do

² O novo currículo do Estado de São Paulo foi implementado em 2010.

DNA, no qual o tema proteínas está incluso. O currículo, por meio do caderno do professor, sugere recursos didáticos específicos, bem como estratégias de ensino para alcançar as habilidades propostas em cada situação de aprendizagem. Ao analisar tais documentos, o tema proteínas se faz presente em vários momentos e com diferentes enfoques, ao longo do ensino básico, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 - Recursos didáticos sugeridos para o ensino de proteínas pelo currículo do Estado de São Paulo

Disciplina	Série	Bimestre	Situações de aprendizagem	Estratégias e recursos didáticos sugeridos pelo caderno do professor
Ciências	7 ^a	1 ^o	O que estamos comendo: os nutrientes	Levantamento de conhecimentos prévios a partir do uso de embalagens de alimentos, roteiro de atividade em grupo contendo texto a ser lido e orientações para o trabalho com embalagens; quadro-negro e giz.
Biologia	2 ^a	3 ^o	Do DNA à proteína	Discussão e construção de quadros comparativos a partir do uso de livros didáticos, cópias de texto e quadros. Análise de textos e imagens utilizando retroprojetor transparências para projeção; textos presentes no caderno do professor.
		4 ^o	Como produzir um transgênico?	
Química	3 ^a	3 ^o	A biosfera como fonte de alimentos para o ser humano	Levantamento das ideias dos alunos e discussão sobre o tema a partir de questões e livro didático; e observação de estruturas.

Em um trabalho recente Louguercio e colaboradores (23) mapearam a educação em Bioquímica no Brasil, por meio das publicações de trabalhos sobre a área nos encontros anuais da Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular (SBBq) no período de 1979 a 2005. O referido trabalho diferencia quatro grupos de pesquisa que mais contribuíram para as publicações na área cujos focos de pesquisa se distinguem e são eles: UFRJ, UFRGS, USP e UNICAMP. O grupo da UFRJ tem como foco de seus trabalhos a investigação da ciência como um campo que abrange todos os demais, e não só a área de bioquímica, sendo a escola básica o núcleo de interesse desse grupo de pesquisa. O grupo da UFRGS tem o foco de seus trabalhos voltados tanto às questões de sala de aula quanto à produção científica da área bioquímica. Já os grupos de pesquisa da USP e UNICAMP têm o foco de seus trabalhos voltados para pesquisas educacionais na área que

“privilegiam a utilização de formas alternativas de ensino de bioquímica, quer através dos recursos tecnológicos como o software e a internet, quer pela re-otimização das aulas de laboratório e a aprendizagem em pequenos grupos” (23).

Com relação ao uso de diferentes recursos, podemos pontuar que o uso de ilustrações, por exemplo, requer, por parte do professor, uma atenção especial. Nem sempre são consideradas as dificuldades para a compreensão de representações simbólicas, que requerem dos alunos um treino especial (24). Muitos deles têm dificuldade de imaginar, a partir de figuras representadas no plano, uma estrutura dinâmica em três dimensões (25) e o ensino da Biologia Molecular e Biotecnologia está centrado na compreensão de processos dinâmicos que ocorrem em escalas reduzidas, a nível molecular e atômico, que envolvem esse tipo de abstração.

Alguns trabalhos têm relatado que o uso de materiais de baixo custo, softwares e analogias pode facilitar a aprendizagem de temas relacionados com a abstração molecular, como por exemplo, a estrutura de macromoléculas biológicas como DNA, RNA e proteínas (26-29).

O trabalho de Correia e colaboradores (26) apresentou os dados obtidos a partir de uma intervenção interdisciplinar junto a 20 alunos do ensino médio, em que foram utilizadas três estratégias de ensino para abordagem do tema proteínas sob o ponto de vista químico e biológico: 1) realização de experimentos, 2) leitura de textos com resolução de exercícios e 3) teatralização da síntese de proteínas. Os autores discutiram que a realização de experimentos motivou os alunos para iniciarem a busca por informações através da leitura do texto. Além disso, também foram utilizados o que os autores chamaram de modelos visuais: cliques coloridos e massa de modelar, com o objetivo de elucidar fenômenos moleculares como a desnaturação, interações intramoleculares, responsáveis pela manutenção da estrutura espacial da proteína. Segundo esses autores a representação através de modelos visuais permitiu evidenciar a relação entre a sequência de aminoácidos, a estrutura espacial e a ação biológica das proteínas baseada no modelo chave-fechadura. Tomando como base um texto, foi feita uma teatralização sobre o processo de síntese de proteínas. Os autores concluíram que as estratégias utilizadas motivaram os alunos e quando comparadas as respostas dos questionários aplicados antes e após a intervenção, verificou-se que os alunos

conseguiram estabelecer novas relações (e corretas) entre os conhecimentos da Química e Biologia.

No trabalho de Mello e colaboradores (27), propôs-se a construção de um modelo didático de proteína, utilizando materiais de baixo custo e de fácil aquisição. Esses autores propuseram a representação de proteínas utilizando arame e tampas de garrafa coloridas; segundo os autores, com essa atividade foi possível trabalhar os níveis de enovelamento da proteína e os diferentes tipos de estruturas de proteínas existentes e elas podem contribuir para o entendimento real do conceito de proteína, tornando a aprendizagem estimulante e mais significativa.

No trabalho de Orlando e colaboradores (28), os autores discutiram o desenvolvimento, a aplicação e a avaliação de materiais didáticos construídos com materiais de baixo custo: um tabuleiro de célula animal e vegetal, modelos tridimensionais da membrana plasmática, mitocôndria e núcleo interfásico, um modelo de transcrição e um modelo de célula em papel higiênico. O trabalho relata que a construção dos materiais foi realizada por alunos do ensino médio e supervisionada por alunos de graduação na escola que era o campo de estágio curricular destes últimos; antes da construção desses materiais foram levantadas as concepções dos alunos sobre biologia molecular e celular e ao final das atividades a mesma verificação foi feita. Os autores concluíram que o envolvimento com a construção dos materiais gerou grande interesse e motivação dos alunos pelo assunto.

Um trabalho realizado por Anjos (29), com 26 alunos do ensino médio da rede privada de ensino, visava investigar como o uso de modelos visualizáveis pelo computador interfere na capacidade dos alunos em elaborar modelos explicativos sobre as propriedades físicas das substâncias orgânicas. A partir da captação e da análise do áudio durante a realização das atividades, o autor conclui que o uso de modelos visualizáveis pelo computador aumentou a habilidade dos estudantes em traduzir modelos bidimensionais em tridimensionais, além de ter ajudado a compreender o efeito das estruturas moleculares em propriedades físicas e o conceito de isomeria.

O uso de jogos também pode facilitar a aprendizagem do tema macromoléculas biológicas, como propõe Carvalho (30) em seu trabalho, no qual utilizou um jogo de regras sobre a síntese de várias proteínas com funções

diferentes como a adrenalina, queratina, insulina e glucagon. Com o uso do jogo por alunos do ensino médio, o autor conseguiu captar a evolução dos conceitos formados pelos mesmos a respeito das diferentes funções de proteínas num organismo, do metabolismo e do processo de síntese proteica, contrastando, por exemplo, com a concepção prévia preponderante no grupo de alunos sobre proteínas, vistas predominantemente como 'construtoras' de tecidos, ou seja, com função prioritariamente estrutural. Além disso, o autor relata que o jogo se revelou uma ferramenta atrativa e divertida despertando o interesse do aluno para o tema.

O uso exclusivo de imagens estáticas e ilustrações no ensino e aprendizagem da estrutura e função de proteínas é criticado por alguns autores. Segundo Herman e colaboradores (25) alguns alunos têm mais dificuldades de "rodar" imagens tridimensionais em suas mentes, ou seja, maior dificuldade de inferir estruturas tridimensionais a partir de figuras bidimensionais. Harris e colaboradores (31) destacaram que muitas vezes as imagens apresentadas aos alunos são simplistas, e, ao se representar proteínas através de bolas coloridas, por exemplo, detalhes importantes da sua estrutura são desprezados, dificultando a representação de processos como, por exemplo, a fosforilação de aminoácidos específicos.

Tauceda e Pino (16) sugeriram que nem sempre as figuras melhoram a aprendizagem de alguns conceitos. Essa pesquisa sobre os modelos e representações mentais no estudo do DNA revelou que as figuras do livro didático não proporcionaram muitos benefícios cognitivos uma vez que apareciam descontextualizadas, com símbolos abstratos e não conseguiam representar por si só o processo ou a importância dos fenômenos tratados. Alunos que não tiveram acesso às figuras do livro didático durante a aprendizagem dos conceitos relativos ao DNA tiveram uma melhor compreensão do modelo conceitual que envolve essa molécula, que inclui a relação entre processos biológicos a nível celular e o material genético, como por exemplo, os mecanismos de hereditariedade e o controle da maquinaria da síntese proteica.

Embora as imagens presentes nos livros didáticos possibilitem uma visão geral dos fenômenos ou objetos, elas não mostram os pequenos detalhes necessários para o entendimento/generalização do fenômeno ou objeto de observação. Tauceda e Pino (16) também sugeriram que as imagens presentes nos livros didáticos podem exigir do aluno um alto nível de abstração com relação aos

conceitos nela representados, o que dificulta a compreensão do modelo conceitual a ser ensinado e na construção do modelo mental pelo aluno.

Muitos desses alunos envolvidos nas pesquisas citadas não deram ou darão prosseguimento nos seus estudos e não tiveram ou terão a oportunidade de rever as ‘falhas’ deixadas em seus modelos mentais sobre os diversos temas que envolvem a Biologia Moderna. Assim, o ensino de temas relacionados à estrutura e função de biomoléculas baseado em figuras bidimensionais e imagens estáticas podem restringir a construção dos modelos mentais adequados às necessidades futuras dos cidadãos.

No ensino de Biologia e Bioquímica, pesquisas têm relatado que o uso de modelos táteis pode ajudar a transpor obstáculos relacionados ao ensino desses temas.

O'Dowd e Aguilar-Roca (32) sugeriram que as imagens estáticas, como as imagens bidimensionais anteriormente mencionadas, dificultavam a aprendizagem de conceitos subjacentes a processos biológicos como a transdução de sinal em células. E sugeriram que o uso de materiais de baixo custo que mimetizam as estruturas celulares ajuda os alunos a reforçar o seu entendimento sobre alguns conceitos.

Roberts e colaboradores (33) apontaram que um dos maiores problemas enfrentados pelos educadores que ensinavam estrutura e função de biomoléculas era a dificuldade que muitos estudantes tinham em inferir a estrutura tridimensional a partir de figuras estáticas, diagramas bidimensionais e fotos usadas em livros didáticos ou projetadas em telas nas salas de aula. E mostraram através desse trabalho que o uso de modelo físicos de proteínas aumentou a compreensão de conceitos básicos relacionados à estrutura molecular e função de proteínas por parte dos alunos.

Em um trabalho recente Silva (1) apresentou e discutiu as lacunas existentes nos vários modelos táteis de proteínas disponíveis no mercado. Esses modelos, em geral, não permitem a visualização do sítio ativo das proteínas; em alguns não se pode montar as estruturas primárias e secundárias; outros não permitem um encaixe adequado e rígido e, em sua maioria, são muito complexos para seus manipuladores, além de apresentarem alto custo financeiro. É nesse contexto que o autor desenvolveu um material didático composto de peças plásticas, visando

preencher as lacunas apresentadas pela grande maioria dos materiais disponíveis no mercado, permitindo de forma lúdica, a visualização desta importante classe de biomoléculas, as proteínas.

Esses modelos táteis permitem que o aluno entenda e enxergue melhor aquilo que não pode ser visto, nem tocado. Tais modelos muitas vezes podem se dobrar permitindo a visualização das mudanças conformacionais das proteínas, importantes para o entendimento de suas funções no organismo ou na célula, além de reforçar o caráter dinâmico dos processos biológicos.

2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

2.1 Objetivo do trabalho

Dentro do contexto apresentado, o presente trabalho propôs-se avaliar a contribuição de uma sequência didática utilizando modelos táteis como recursos didáticos para o ensino e aprendizagem da estrutura e função de proteínas, junto a alunos do Ensino Superior, considerando as representações mentais que estes alunos possuem sobre o tema.

2.2 Sujeitos da pesquisa

Participaram dessa pesquisa treze alunos, sendo quatro do curso de Licenciatura em Ciências Exatas (LCE), curso interunidades oferecido pelo Instituto de Física de São Carlos (IFSC), Instituto de Química de São Carlos (IQSC) e Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC), e nove alunos do curso de Bacharelado em Ciências Físicas e Biomoleculares (CFBio), oferecido pelo Instituto de Física de São Carlos (IFSC), ambos cursos da Universidade de São Paulo, campus de São Carlos.

O curso de LCE acontece em período noturno e seus alunos podem optar pela habilitação em Física, Matemática ou Química do ensino médio, além da habilitação para lecionar Ciências para o ensino fundamental. Com isso, é oferecida uma formação integral e interdisciplinar em torno das ciências exatas e da natureza, o que amplia as possibilidades de atuação do futuro professor³.

³ Informações obtidas no site institucional do curso (<http://cursos.ifsc.usp.br/index-ce-curso.php>)

O curso de CFBio acontece em período diurno e tem como base a abordagem molecular dos fenômenos biológicos, com sólida formação em física, biologia molecular e bioquímica. Sobre essa base são introduzidos conceitos de diagnóstico de problemas, modelagem, experimentação e simulação computacional, de forma integrada às aplicações em biotecnologia, como o planejamento e modelagem de fármacos, engenharia genética e de proteínas, biomateriais, nanobiotecnologia, e bioinformática. A integração dessas áreas permite que o bacharel em CFBio atue em grupos multidisciplinares, envolvendo profissionais de áreas correlatas⁴.

Optamos por selecionar alunos que já tivessem estudado o tema proteínas. Esse conteúdo era compreendido pelas disciplinas Biologia III ou Biologia C para LCE, localizada no 5º semestre da grade curricular do curso, e Biologia Molecular e Celular 2 para CFBio, localizada no 4º semestre da grade curricular do curso.

2.3 Elaboração da sequência didática

Uma sequência didática foi elaborada na forma de um curso de extensão universitária, intitulado “**Proteínas: conceitos e representações**”. Ele foi oferecido separadamente para os alunos dos cursos de LCE e de CFBio, com o limite de dez vagas cada curso.

O curso foi planejado para ser oferecido em três encontros, com duração de três horas cada, realizados em dias consecutivos. Os tópicos escolhidos bem como os recursos didáticos e as estratégias de ensino propostos para o curso estão descritos no Quadro 1.

⁴ Informações obtidas do site institucional do curso (<http://cursos.ifsc.usp.br/index-bio-curso.php>)

Dias	Tópico	Material Didático utilizado	Estratégias de ensino	Objetivos	Duração da atividade
1º	O processo da síntese proteica em uma célula eucariótica	Jogo de tabuleiro “Sintetizando Proteínas”	Atividade prática em grupo.	Relembrar os conceitos envolvidos na síntese de proteínas, tais como DNA, RNA, gene, proteínas e aminoácidos.	1h30min
	A molécula de DNA	Kit de peças plásticas “Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA” e “Disco de aminoácidos”	Atividade prática em grupo com a manipulação de modelos tridimensionais		1h15min
2º	A molécula de RNA	Kit de peças plásticas “Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA” e “Disco de aminoácidos”	Atividade prática em grupo com a manipulação de modelos tridimensionais.	Relembrar o processo de transcrição e tradução da síntese proteica.	40min
	Processos de transcrição e tradução	Slides com imagens e animação sobre o processo de tradução	Aula expositivo-dialogada		15min
	Aminoácidos e estrutura primária de uma proteína	Kit “Construindo modelos de aminoácidos e proteínas”	Atividade prática em grupo com a manipulação de modelos tridimensionais	Relembrar grupos funcionais dos aminoácidos, os conceitos de ligação peptídica, estrutura primária, secundária, terciária e quaternária de proteína, visualizar ligações, impedimentos estéricos.	30min
	Estrutura secundária de proteína: folha-beta				1h20
3º	Estrutura secundária de proteína: hélice-alfa	Kit “Construindo modelos de aminoácidos e proteínas”	Atividade prática em grupo com a manipulação de modelos tridimensionais.	Relembrar estrutura secundária, terciária e quaternária de proteína, visualizar ligações, impedimentos estéricos.	1h
	Relação estrutura/ função da proteína	Slides com imagens e animações sobre a relação estrutura/ função	Aula expositivo-dialogada	Relembrar relação entre estrutura e função das proteínas, conhecer um exemplo específico desta relação.	15min
	Inserindo mutações na hélice-alfa	Kit “Construindo modelos de aminoácidos e proteínas”	Atividade prática em grupo com a manipulação de modelos tridimensionais.	Observar efeitos de mutações, prever/discutir modificações estruturais devido às mutações.	1h30min

Quadro 1 - Planejamento pedagógico do curso “Proteínas: conceitos e representações”.

2.4 Seleção dos tipos e elaboração dos instrumentos de coleta de dados.

A presente pesquisa, numa perspectiva qualitativa, envolveu o mapeamento das representações mentais de alunos do ensino superior, à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (5), bem como o ganho conceitual dos alunos com relação ao tema proteínas após a realização de um curso utilizando modelos táteis para o ensino do tema. Considerando que não podemos conhecer diretamente quais os modelos mentais que as pessoas têm, pois estes estão em suas mentes (6), analisamos os modelos expressos dos alunos por meio de suas externalizações, fossem elas verbais, gestuais e pictóricas.

Segundo Lüdke e Andre (34), uma das formas de se obter a informação desejada de forma corrente e imediata é através da entrevista. Gil (35) ressalta que a entrevista é a técnica mais eficiente para a obtenção de dados em profundidade. Segundo Szymanski (36), a entrevista é “um momento de organização de ideias e de construção de um discurso para um interlocutor”. Esse processo é reflexivo, pois nem sempre o conhecimento que o entrevistador deseja conhecer será exposto através de uma narrativa, o que coloca o entrevistado diante de uma organização de pensamentos inédita até mesmo para ele. (37)

Greca e Santos (38), a respeito da coleta de dados a serem analisados sob o referencial de Johnson-Laird, propõe a utilização de instrumentos de coleta de dados variados que permitam a busca de núcleos mais estáveis dentro da estrutura cognitiva do sujeito, tendo em vista o dinamismo inerente dos modelos mentais.

Diante desses argumentos, selecionamos os seguintes instrumentos de coleta de dados: (a) entrevista semi-estruturada, desenvolvida a partir de um roteiro básico, não necessariamente rígido, permitindo que o entrevistador fizesse as adaptações necessárias entre um entrevistado e outro, com gravação de áudio e imagem do entrevistado; (b) registro escrito das respostas às perguntas feitas pelo entrevistador durante a entrevista e (c) representação de estruturas proteicas a partir da construção de modelos táteis utilizando-se materiais de baixo custo oferecidos.

Uma vez escolhidos os instrumentos de coleta dados e considerando que um dos objetivos desse trabalho foi avaliar a contribuição de uma sequência didática com relação a conceitos subjacentes ao tema proteínas, estabelecemos dois momentos diferentes para esta coleta: 1) antes da intervenção, com o objetivo de se levantar os modelos e representações mentais dos alunos, bem como os conceitos relativos ao tema e 2) após a intervenção, com o objetivo de avaliar o impacto da sequência didática proposta com relação a esses modelos e representações e também quanto ao ganho conceitual.

A coleta de dados que antecedeu a intervenção, nomeada aqui de entrevista pré-teste, foi realizada de forma individual com cada um dos alunos inscritos nos dois cursos e ocorreu uma semana antes do início de cada curso. Uma semana após o término de cada curso foi realizada a coleta de dados, aqui nomeada de entrevista pós-teste.

As tabelas 1 e 2 apresentam as questões formuladas nas entrevistas pré- e pós-teste, respectivamente.

Tabela 3 - Questões formuladas na entrevista pré-teste.

Nº	Questão	Tipo de reposta ou ação solicitada
1	Defina uma proteína	Escrita
2	Represente através de esquemas ou desenhos o funcionamento de uma proteína presente, por exemplo, no organismo humano.	Escrita
3	Aqui sobre a mesa temos vários tipos de materiais de baixo custo: massinha, miçanga, fio de <i>nylon</i> , barbante, palito de dente e isopor. Eu gostaria que você escolhesse um ou mais tipos de materiais e representasse um modelo de proteína com esses materiais.	Montagem do modelo de proteína com materiais de baixo custo
4	Como a proteína está organizada fisicamente? Como pode ser sua estrutura?	Oral
5	O que é um aminoácido? Quais grupos funcionais ele possui?	Escrita
6	Qual é a relação que existe entre a estrutura e a função de proteína?	Oral
7	Explique como se dá o processo de síntese de uma proteína. Se preferir pode fazer uma representação.	Oral e/ou escrita
8	Suponha que estamos trabalhando com uma proteína que se localiza na membrana, por exemplo, a membrana plasmática. Que tipo de aminoácidos você esperaria encontrar nessa proteína? Que características químicas esses aminoácidos teriam?	Oral
9	Relacione quatro palavras: proteína, gene, DNA e RNA.	Escrita
10	Em cada um desses cartões está escrito uma função das macromoléculas biológicas. Eu gostaria que você escolhesse um ou mais cartões que você acha que representa a função das proteínas e explicasse o porquê da escolha esse cartão. (Os cartões apresentados foram cinco, com as seguintes funções: Transporte, Movimentos Coordenados, Catálise, Estrutural e Sinalização)	Oral

Tabela 4 - Questões da entrevista pós-teste.

Nº	Questão	Tipo de resposta ou ação solicitada
1	Explique o processo da síntese de proteínas, se preferir pode fazer uma representação.	Escrita
2	Você mudaria alguma coisa no modelo que você montou anteriormente? Como você faria? O que mudaria?	Montagem do modelo de proteína com materiais de baixo custo
3	O aminoácido é composto por quais grupos funcionais? Se você quiser, você pode fazer um desenho.	Escrita
4	Represente através de esquemas ou desenhos o funcionamento de uma proteína presente, por exemplo, no organismo humano.	Escrita
5	Durante o curso a gente montou vários tipos de estrutura de proteína. Você lembra quais foram? Poderia me falar?	Oral
6	Quando montamos a estrutura primária de uma proteína, você lembra como a estrutura se mantinha unida? Quais pecinhas foram utilizadas para ligar os aminoácidos?	Oral
7	Quando montamos a folha beta, como é que estavam dispostos os aminoácidos na estrutura? Você lembra que tipo de ligações ou interações mantinha esse tipo de estrutura?	Oral
8	Quando montamos a hélice alfa, você lembra como estavam dispostos os aminoácidos na estrutura? Você lembra que interações ou ligações mantinham esse tipo de estrutura?	Oral
9	Suponha que estejamos trabalhando com uma proteína que se localiza numa membrana, uma proteína formadora de poros, por exemplo, a porina. Que tipo de aminoácidos você esperaria encontrar na superfície e no canal do poro dessa proteína? Com quais características químicas?	Oral
10	Essa pergunta que eu acabei de fazer (referindo-se à questão 9), estabeleceu uma relação um pouco mais específica entre estrutura e função de uma proteína. Se você tivesse que estabelecer essa relação entre estrutura e função, de maneira mais generalizada, como você faria?	Oral

2.5 Testagem da sequência didática e dos instrumentos de coleta de dados.

A testagem de ideias junto aos sujeitos é encarada, segundo Ludke e André (34), como uma etapa aconselhável de um trabalho. Segundo esses autores, não se deve desprezar a contribuição desses sujeitos para o esclarecimento de pontos obscuros da análise.

Desse modo, a sequência didática descrita no item 2.3 e os instrumentos de coletas de dados indicados no item 2.4 foram previamente testados junto a um público com perfil semelhante ao dos alunos do público alvo, nomeados aqui de

público teste. Essa testagem teve como objetivos principais (a) ajustar as atividades propostas no curso quanto ao tempo estimado para a realização de cada uma, (b) verificar a adequação das estratégias propostas aos tópicos abordados, (c) ajustar o grau de dificuldade empregado na exposição de conceitos e (d) verificar se as questões das entrevistas estavam bem redigidas.

Com a realização da testagem foi possível adequar a intervenção com relação ao tempo, uma vez que no planejamento inicial prevíamos a realização de um curso com duração de cinco dias, com encontros de duas horas. Como a disponibilidade de horários dos alunos de ambos os públicos atingidos por essa pesquisa era restrita, ajustamos o curso para um novo formato com três encontros de três horas cada, oferecidos em dias consecutivos. As estratégias propostas e o grau de dificuldade empregado na exposição de conceitos foram mantidos de acordo com o inicialmente previsto. Com relação aos instrumentos de coleta de dados, notamos que durante as entrevistas, os alunos do público teste se sentiram incomodados com o preenchimento de um questionário escrito, dizendo que era uma situação semelhante a uma “prova”. Assim, apenas algumas questões que pediam respostas escritas foram mantidas, sendo as outras solicitando respostas orais.

2.6 Divulgação do curso junto ao público alvo

A divulgação do curso “**Proteínas: conceitos e representações**” ocorreu em dois dias, durante o período de aula dos alunos, em horários cedidos pelos docentes. Fizemos uma breve exposição, com duração de 15 minutos, na qual apresentamos o objetivo do curso e o contexto do mesmo (dizendo que o trabalho fazia parte de uma pesquisa de mestrado). Nesta oportunidade também foram esclarecidas dúvidas relativas à pesquisa e à forma de coleta de dados. Ao final, foi entregue aos alunos interessados um **Convite/Inscrição para participação na pesquisa** (ver apêndice, p. 210) e uma ficha para preenchimento dos dados pessoais e preferências de data/hora para a realização do curso. Esse convite

esclarecia a participação do aluno na pesquisa. Foi explicado oralmente durante a divulgação do curso, que a utilização dos dados dos alunos (entrevistas e materiais compostos pelos mesmos) estava subordinada à um consentimento de participação dado por cada estudante antes das entrevistas. Não houve seleção dos alunos, pois o número de inscritos em cada curso ficou abaixo do número de vagas oferecido, dez vagas.

2.7 Forma de tratamento e análise de dados

Os dados gerados pelos sujeitos da pesquisa, ao longo de cada entrevista (pré- e pós-teste), foram de três tipos: registros escritos entregues em uma folha de papel, no qual o entrevistado colocou suas respostas escritas, desenhos e/ ou esquemas; um ou mais modelos táteis, montados com materiais de baixo custo fornecidos; áudio e imagens oriundos das filmagens das entrevistas.

Os registros escritos bem como os modelos táteis gerados por cada aluno foram fotografados e os áudios das entrevistas foram transcritos, gerando assim um documento individual que possibilitou uma análise de conteúdo.

Segundo Franco (37) a análise de conteúdo é um procedimento de pesquisa que tem como ponto de partida a mensagem. É por meio da mensagem que o pesquisador consegue estabelecer inferências sobre o autor da mesma, o contexto em que ela foi produzida e as 'teorias' que orientaram a concepção de realidade do autor da mensagem. A mensagem é composta tanto por um conteúdo manifesto, aquele que está explícito no material, quanto por um conteúdo latente, ou seja, aquilo que foi dito nas entrelinhas, que está implícito na fala de quem gerou a mensagem.

Leituras sucessivas do material nos possibilitaram a divisão deste em unidades de análise, compostas por unidades de registro e unidades de contexto.

A unidade de contexto, considerada por Franco (37) como “pano de fundo” que imprime significado às unidades de análise, engloba os dados que caracterizam os informantes. Segundo a mesma autora (37), a unidade de registro “é a menor parte do conteúdo, cuja ocorrência é registrada de acordo com as categorias levantadas”. Neste trabalho, as respostas do pré e pós-teste foram agrupadas de acordo com os temas a que se referiam: “Proteína: estrutura e Síntese”, “Relação estrutura/função” e “Representações”, como forma de sistematização dos resultados.

Em decorrência da utilização do tema como unidade de análise do conteúdo, é necessário analisar e interpretar o conteúdo de cada resposta em seu sentido individual e único. (37) Portanto, após a apresentação das respostas organizadas nos temas adotados, foi apresentada uma análise individual das respostas de cada aluno.

No nível de ensino que os alunos do público alvo se encontravam, esperávamos que ao final das disciplinas Biologia 3 e Biologia Molecular e Celular 1, eles fossem capazes de integrar seus modelos mentais aos modelos conceituais de proteína ou desenvolvê-los, no caso dos que ainda não os possuíssem. Nesse sentido, além de ter a capacidade de visualizar a molécula em suas mentes interagindo com outras substâncias, sofrendo mudanças conformacionais, também seria esperado que eles fossem capazes de definir e integrar conceitos relacionados a ela, ao se depararem com questões como “O que é uma proteína?”, “Para quê ela serve?”, “Do que é formada?”, “Como surge?”, “Como e onde funciona nos organismos?”, “Como elas se diferenciam das outras macromoléculas como os ácidos nucleicos?”.

Com base nesses argumentos, foi pedido que os alunos externalizassem através de fala, escrita e representações (tridimensionais e pictóricas) suas representações mentais sobre o tema proteínas. Por representações tridimensionais entendem-se modelos táteis montados com materiais de baixo custo e por representações pictóricas entende-se qualquer desenho ou esquema feito pelo aluno.

No trabalho de Moreira e Lagreca (11) e Tauceda e Del Pino (16), com base nas externalizações dos alunos, os autores inferiram que os tipos de representações

mentais que os alunos possuíam basicamente se diferenciavam em proposições, imagens ou modelos mentais:

- a. Proposições: regras, palavras ou fórmulas que aparecem isolados, sem sentido e/ou sem interligar conceitos (16);
- b. Imagens: imagens estáticas⁵, sem função explicativa, ou processuais⁶, com pequenas legendas articuladas formando um modelo explicativo para o problema proposto (16);
- c. Modelos mentais: uso de conceitos representados por palavras e/ou símbolos e/ou imagens articulados de forma explicativa e funcional, interligando ideias para explicar um determinado conceito, fenômeno e/ou processo (16).

A categorização adotada por esses autores (11,16) para analisar suas amostras sob o referencial de Johnson-Laird visou classificar os alunos em duas grandes categorias: os modelizadores e os não modelizadores. Os modelizadores foram divididos nas subcategorias Modelizadores Proposicionalistas, Modelizadores Imagísticos e Modelizadores Híbridos; os não modelizadores, em Proposicionalistas, Imagísticos e Híbridos.

Segundo a teoria proposta por Johnson-Laird, por definição, todas as pessoas raciocinam através de modelos mentais, logo, todas as pessoas são modelizadoras. Neste trabalho, o termo modelizador será empregado compartilhando do mesmo significado que o proposto por Moreira e Lagreca. (11) Esses autores dizem que os modelizadores “dão evidência de uma aprendizagem mais significativa, formam modelos mentais mais elaborados, com algum poder explicativo e preditivo, e com alguma congruência com o conhecimento cientificamente aceito”. Já os alunos não modelizadores (proposicionalistas, imagistas e híbridos) não deram indícios dessa aprendizagem significativa, ou seja, não conseguiram explicar, prever, e transferir seu conhecimento.

No presente trabalho adotaremos as subcategorias dos modelizadores conforme definidas por Tauceda e Pino (16) em sua pesquisa:

⁵ Entende-se por imagem estática, o desenho que representa uma “fotografia” de um processo.

⁶ Entende-se por imagem processual, desenhos que indicam etapas diferentes de um processo.

- Modelizadores Proposicionalistas (M.P): alunos que articularam conceitos e proposições em modelos mentais não necessariamente em concordância com modelos cientificamente aceitos, porém funcionais para resolver problemas, prever ou explicar situações e processos.
- Modelizadores Imagísticos (M.I): alunos que faziam uso de imagens mesmo quando isso não era solicitado para explicar ou complementar suas respostas; tais imagens eram coerentes com os conceitos expressos ao longo da entrevista e complementavam ou ilustravam aquilo desejavam explicar.
- Modelizadores Híbridos (M.H): alunos que articulavam imagens e texto, apresentando respostas proposicionais e desenhos processuais.

Para as subcategorias dos não modelizadores, adotaremos as definições propostas por Tauceda e Pino. (16)

- Proposicionalistas (P): alunos que utilizaram proposições soltas e não vinculadas a um modelo.
- Imagísticos (I): alunos que apresentaram imagens sem função explicativas ou incoerentes com os conceitos expressos em outras respostas da entrevista.
- Proposicionalistas e Imagísticos (P.I): alunos que usavam proposições e imagens sem relacioná-las, em uma mesma resposta.

Seguindo a categorização dos autores supramencionados, foi realizado um diagnóstico das representações mentais dos alunos, tanto no pré- quanto no pós-teste, dividindo-os primeiramente entre modelizadores e não modelizadores. Nesse sentido, comparamos a congruência entre os conceitos presentes nas respostas dadas pelos alunos e a representação/integração desses conceitos no modelo tátil montado com materiais de baixo custo (em ambas as entrevistas). Os modelizadores conseguiram integrar os conceitos apresentados ao longo das entrevistas aos modelos táteis montados com material de baixo custo. Já os alunos não modelizadores não interligaram conceitos, em alguns momentos pareciam ter respostas memorizadas e em alguns casos parecia não haver coerência entre os conceitos utilizados na modelagem (na construção do modelo tátil) e os registros captados no restante das entrevistas.

Após esse processo, a subcategorização dos dois grupos também foi adotada, considerando as respostas às questões 1, 2, 7 e 9 do pré-teste e 1, 3 e 4 do pós-teste (respostas escritas, com desenhos, esquemas e textos). Nelas analisamos a frequência com que os alunos utilizavam imagens, desenhos, esquemas, textos e falas, para então, a partir disto, classificá-los em Modelizadores Proposicionalistas, Modelizadores Imagísticos e Modelizadores Híbridos; e dentre os não modelizadores, em Proposicionalistas, Imagísticos e Híbridos.

3 DESCRIÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA NO CURSO OFERECIDO

3.1 1º DIA

No primeiro dia do curso foram utilizados dois materiais didáticos – o jogo de tabuleiro “Sintetizando Proteínas” (30) (Figura 1) e o kit de peças plásticas “Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA” (39) - com o objetivo de relembrar os conceitos envolvidos no processo da síntese de proteínas, tais como DNA, RNA, gene, proteínas e aminoácidos, bem como os processos de transcrição e tradução.

O jogo “Sintetizando Proteínas”, originalmente desenvolvido para alunos do ensino médio, é um jogo de regras para ser utilizado com pelo menos 3 participantes. Cada participante tem como objetivo final a produção de determinada proteína e ao longo do jogo há a possibilidade de utilização de cartas com a função de interromper o processo de síntese pelos jogadores adversários, como as cartas “RNase” e “protease”. Desse modo, o caráter competitivo do jogo mostrou-se estimulante e adequado para “quebrar o gelo” do primeiro encontro do curso. A aplicação dessa atividade durou 1h30min, seguida de um intervalo de 15min.

Em um segundo momento desse primeiro encontro, realizamos uma atividade com o kit “Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA” (Figuras 2 e 3). Para a realização dessa atividade, os alunos se dispuseram em quatro grupos aleatórios. A atividade se iniciou com a montagem de um modelo de molécula de DNA com sequência aleatória, escolhida pelos próprios alunos. Nesse momento foi retomado que a molécula que estava sendo montada era um modelo daquela presente no núcleo da célula do jogo anteriormente trabalhado. Simultaneamente à realização dessa atividade, foram projetados *slides* com a fórmula estrutural dos nucleotídeos, para que os alunos pudessem relacionar a representação das peças à representação simbólica da molécula. Também foi pedido aos alunos que simulassem com as mãos o papel da enzima RNA polimerase e realizassem a transcrição da informação contida naquela molécula de DNA, produzindo uma

molécula de RNA mensageiro (RNAm). Seguiu-se então o processo da transcrição com as peças do kit destinadas à montagem da molécula de RNAm.

Figura 1 - Tabuleiro e cartas do jogo Sintetizando Proteínas.

Figura 2 - Molécula de DNA montada com peças do kit "Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA".

Figura 3 - Processo de transcrição: formação da molécula de RNAm utilizando-se as peças do kit "Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA".

3.2 2º DIA

O segundo dia de curso foi iniciado com a retomada, por cada grupo, da molécula de RNAm montada no encontro anterior. Com o auxílio do disco de aminoácidos (Figura 4) os grupos fizeram a tradução do RNAm em aminoácidos. Nesse momento, apresentamos *slides* com imagens e uma breve explicação sobre o processo de tradução.

Figura 4 - Disco de aminoácidos.

Em seguida os alunos iniciaram a utilização do kit “Construindo modelos de aminoácidos e proteínas” (40), familiarizando-se com o material e sendo estimulados a identificar o quê cada peça poderia representar.

Posteriormente pedimos que eles montassem um aminoácido com aquelas peças (Figura 5). Nesse momento, percebemos que os alunos haviam montado vários aminoácidos tanto do tipo L (levógiro) quanto do tipo D (dextrógiro) e que em quase todas as montagens os alunos não representaram a cadeia lateral com as peças destinadas a esse fim.

Figura 5 - Aminoácido glicina montado com as peças do kit "Construindo modelos de aminoácidos e proteínas".

Seguiu-se uma breve explicação sobre aminoácidos tipo D e L, sua abundância da natureza, bem como a disposição dos grupos funcionais ao redor do carbono alfa, estabelecendo uma relação com o conceito de quiralidade junto aos alunos.

Após a montagem de vários aminoácidos isolados, os alunos foram requisitados a unir os monômeros formados, de forma a representarem as ligações peptídicas (figura 6) para a montagem da estrutura primária da proteína.

Figura 6 - Montagem da ligação peptídica entre dois resíduos de aminoácidos (indicada pelo círculo azul) utilizando as peças do kit "Construindo modelos de aminoácidos e proteínas".

Neste momento fizemos uma representação na lousa de uma ligação peptídica, passo a passo, mostrando quais átomos interagem e a produção de uma molécula de água, ressaltando que essa reação não é espontânea, e envolve a presença de várias moléculas.

Essa etapa do encontro teve duração aproximada de 2h.

Após um breve intervalo de 15min, seguiu-se a oficina com a montagem de uma estrutura secundária de proteína, a fita beta. Os alunos foram instruídos a organizarem os aminoácidos alternando os grupos funcionais carboxila e amina paralelos, em um mesmo plano, e orientando as cadeias laterais em ângulos de cerca de 90° em relação a esse plano (Figura 7).

Figura 7 - Posição das peças para a montagem de uma estrutura secundária de proteína, a fita beta, utilizando-se as peças do kit "Construindo modelos de aminoácidos e proteínas".

Em seguida, a estrutura foi dobrada, adquirindo o formato de folha beta antiparalela, colocando-se as peças representativas das ligações de hidrogênio para a manutenção desta estrutura secundária (Figura 8).

Figura 8 - Posição das peças para a montagem de uma estrutura secundária de proteína, a folha beta, utilizando-se as peças do kit "Construindo modelos de aminoácidos e proteínas". A seta azul indica a peça que representa a ligação de hidrogênio.

Nesse momento os alunos disseram que o modelo montado não se parecia com a imagem que eles possuíam de folha beta, representada na Figura 9. Esta representação da folha beta que utiliza setas é comum em livros didáticos de bioquímica e softwares de visualização de estruturas moleculares. Explicamos que a seta, nesta representação, indica a direção amino – carboxi terminal da estrutura da proteína, respondendo à dúvida levantada pelos alunos. Fizemos desenhos na lousa e mostramos a direção da cadeia utilizando o modelo montado de modo a complementar a explicação.

Figura 9 - Representação de fitas beta através de setas (41).

3.3 3º DIA

Nesse encontro, os alunos tiveram como atividade a montagem do outro tipo de estrutura secundária de proteína, a hélice alfa. Os aminoácidos indicados na atividade foram montados e seguiu-se à montagem da estrutura primária da proteína. Em seguida os alunos foram orientados a ordenar a cadeia polipeptídica formada em formato de espiral (no sentido horário adotando-se como referencial a extremidade amina) e organizando os aminoácidos com as cadeias laterais voltadas para fora dessa espiral (Figura 10).

Figura 10 - Organização das cadeias laterais dos aminoácidos na montagem da hélice alfa.

A primeira ligação de hidrogênio deveria ser colocada entre a carboxila do 1º aminoácido e a amina do quinto aminoácido (Figura 11), tendo as demais ligações que seguir esta regra (Figura 12).

Notamos que os alunos tiveram mais dificuldade na montagem dessa estrutura secundária.

Figura 11 - Estabelecimento da primeira ligação de hidrogênio na montagem da hélice alfa.

Figura 12 - Montagem final da hélice alfa.

Após a montagem da hélice alfa, fizemos uma exposição sobre a relação entre a estrutura e a função de proteínas, usando como exemplo a porina, baseado no material disponível no site <http://www.iq.usp.br/bayardo/softwares/proteina/menu/mainMenu.html>.

Essa primeira parte do encontro teve duração de aproximadamente 1h30min e na sequência foi realizado um pequeno intervalo de 15 min.

Iniciou-se então uma atividade na qual foram apresentadas duas sequências de um gene, uma normal e uma com mutação pontual. A tarefa dos alunos era, por comparação das sequências, identificar essa mutação pontual, a partir da sequência de DNA fornecida. Os alunos tinham que fazer a transcrição da sequência normal e da sequência mutada e compará-las. A seguir, pedimos que os alunos fizessem a tradução de ambas as sequências, utilizando o “Disco de aminoácidos”. Solicitamos que o aluno primeiramente montasse a estrutura secundária da proteína normal, que era uma hélice alfa, e depois inserisse na estrutura os aminoácidos oriundos da mutação. Após esse processo, pedimos aos alunos para realizarem uma comparação entre as montagens. Três dos aminoácidos da cadeia normal foram substituídos por uma Prolinas, o que ocasionou a “quebra” da hélice, modificando a orientação da cadeia (Figura 13). Seguiu-se uma breve discussão sobre as possíveis interferências dessa mutação na estrutura de uma proteína hipotética e o impacto dessa mutação na função desempenhada por essa proteína.

Figura 13 - Modelo da proteína normal (direita) e da proteína mutante (esquerda).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos sujeitos da pesquisa

Essa seção apresenta uma descrição dos sujeitos dessa pesquisa, e tem como objetivo caracterizar o cenário em que os alunos estavam imersos quando ocorreu a intervenção. Assim, se fez necessário caracterizar (a) quais disciplinas que eles julgavam que mais contribuíram para a formação de seus modelos mentais de proteínas, (b) o momento do curso que se encontravam quando participaram da intervenção, e com isso, as disciplinas que haviam cursado cujo tema proteínas fazia parte do conteúdo e, por fim, (c) o ponto de vista dos docentes que ministraram as disciplinas apontadas pelos alunos.

Como já mencionado no item **2.2 Sujeitos da pesquisa**, participaram desta pesquisa treze alunos dos cursos LCE e CFBio, nomeados aqui pelas siglas A1a A13. A tabela 6 mostra a relação entre o gênero, e o curso dos alunos e a sigla que o representa. O símbolo M e F referem-se a alunos do sexo masculino e feminino, respectivamente.

Tabela 5 - Gênero e curso dos sujeitos da pesquisa.

Aluno	Gênero	Curso
A1	M	LCE
A2	F	
A3	F	
A4	M	
A5	F	CFBio
A6	F	
A7	M	
A8	F	
A9	F	
A10	F	
A11	M	
A12	M	
A13	M	

Na tabela 6 apresentam-se as disciplinas que os alunos A1 a A4, representantes do curso de LCE, já tinham cursado até o momento da intervenção. Esses alunos encontravam-se no 3º ano do curso e cursavam as disciplinas correspondentes ao 5º semestre. Nesse grupo, o aluno A1 encontrava-se fora desse perfil e não estava cursando a disciplina de Biologia III, pois anteriormente havia sido reprovado na disciplina de Biologia I, pré-requisito para Biologia III, e no momento em que ocorreu o curso, estava fazendo a disciplina de Biologia I novamente.

Tabela 6 - Disciplinas cursadas pelos alunos da LCE até o momento da intervenção.

Semestre	Código	Disciplinas
1º	SLC0547	Biologia I*
	SLC0548	Introdução aos Estudos da Educação
	SLC0560	Física A*
	SLC0561	Laboratório de Física A*
	SLC0575	Química A*
	SLC0576	Laboratório de Química A*
	SLC0601	Matemática I
2º	SLC0516	Astronomia
	SLC0602	Geometria Analítica
3º	SLC0553	Biologia II*
	SLC0554	Psicologia da Educação*
	SLC0568	Física B*
	SLC0569	Laboratório de Física B*
	SLC0577	Química B*
	SLC0578	Laboratório de Química B*
	SLC0592	Cálculo Diferencial
4º	SLC0588	Introdução às Técnicas Educacionais A
	SLC0593	Cálculo Integral
5º	SLC0519	Didática*
	SLC0559	Biologia III*
	SLC0573	Física C*
	SLC0574	Laboratório de Física C*
	SLC0579	Química C*
	SLC0580	Laboratório de Química C*
	SLC0589	Introdução às Técnicas Educacionais B
	SLC0594	Álgebra linear no IR3

As disciplinas que apresentam o (*) são disciplinas anuais.

As disciplinas do curso LCE que apresentavam o tema proteínas inserido em seus respectivos programas curriculares encontram-se organizadas na tabela 7. A fonte utilizada para as consultas às ementas das disciplinas dos cursos de LCE e CFBio foi o *site* do Sistema Júpiter, que disponibiliza as ementas das disciplinas dos cursos de graduação da USP ([www.https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/](https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/)).

Tabela 7 - Presença do tema proteínas nas ementas das disciplinas do curso LCE.

Disciplina	Tópicos da ementa que abordam o tema proteínas e outros relacionados
Biologia I	Introdução (Carboidratos, lipídeos e proteínas)
Química C	Compostos de carbono representativos: grupos funcionais representativos, forças intermoleculares.
Laboratório de Química C	Testes de solubilidade e identificação de compostos orgânicos.
Biologia III	Aminoácidos, proteínas e enzimas.

A tabela 8 apresenta as disciplinas que os alunos A5 a A13, representantes do curso de CFBio, já tinham cursado até o momento da intervenção. Esses alunos encontravam-se no 2º ano do curso e cursavam as disciplinas correspondentes ao 4º semestre. Os alunos A7 e A12 e a aluna A10 estavam fora do perfil desse grupo, pois eles já tinham cursado a disciplina de Biologia Molecular e Celular 2 e, em virtude de reprovação, a cursavam pela segunda vez.

Tabela 8 - Disciplinas cursadas pelos alunos da CFBio até o momento da intervenção.

Semestre	Código	Disciplinas
1º	FCM0101	Física I
	FFI0711	Panorama da Biotecnologia Moderna
	FFI0751	Microbiologia
	SMA0301	Cálculo I
	SMA0330	Complementos de Geometria e vetores
	SQM0406	Fundamentos de Química estrutural
2º	FCM0102	Física II
	FCM0103	Laboratório de Física I
	FFI0730	Biologia Molecular e Celular I
	SCC0172	Introdução à Programação para Biologia Molecular
	SMA0332	Cálculo II
	SQF0373	Química geral para CFBio
3º	FCM0104	Laboratório de Física II
	FFI0105	Física III
	FFI0305	Introdução à Física Matemática
	SMA0333	Cálculo III
	SQM0423	Bioquímica I
	SQM0455	Química Medicinal
4º	FFI0106	Laboratório de Física III
	FFI0107	Mecânica Clássica I
	FFI0108	Física IV
	FFI0710	Biologia Molecular e Celular II
	SQM0424	Bioquímica II

As disciplinas do curso CFBio que apresentavam o tema proteínas inserido em seus respectivos programas curriculares encontram-se organizadas na tabela 9.

Tabela 9 - Presença do tema proteínas nas ementas das disciplinas do curso CFBio.

Disciplina	Tópicos da ementa que abordam o tema proteínas e outros relacionados
Panorama da Biotecnologia Moderna	Tecnologia do DNA recombinante: manipulando os genes. Genômica Estrutural: de Genes a Novos fármacos. Plantas Transgênicas.
Biologia Molecular e Celular I	O Dogma Central da Biologia Molecular. DNA, RNA, Proteínas: estrutura, forma e informação. Transcrição e tradução de genes: Síntese de RNA e proteínas. Métodos de análise de expressão gênica. Expressão heteróloga.
Bioquímica I	Aminoácidos e Proteínas. Base estrutural das proteínas: aminoácidos. Determinação do ponto isoeletrico de aminoácidos e proteínas. Organização estrutural e conformacional de proteínas. Ligações peptídicas. Níveis estruturais de proteínas. Enovelamento e Dinâmica de proteínas. Proteínas globulares. Proteínas fibrosas. Extração, isolamento, caracterização e quantificação de proteínas. Função de proteínas. Mioglobina e Hemoglobina: Estrutura. Função, Alostерismo e Defeitos Genéticos. Enzimas. Catalisadores biológicos. Co-fatores e coenzimas. Conceitos de sítio ativo e mecanismo de ação. Controle da atividade enzimática. Cinética de enzimas "Michaelianas". Equilíbrio e velocidade de reação. Parâmetros cinéticos. Medidas de velocidade, regulação e inibição. Enzimas Alostéricas. Mecanismos Básicos de Catálise Enzimática. Exemplos de Mecanismos de Catálise Enzimática.
Biologia Molecular e Celular II	Organização interna da célula (subitem: transporte através da membrana.)
Bioquímica II	Aminoácidos-propriedades Gerais (Subitem: Curvas de titulação. Efeito Tampão.). Proteínas (Subitem: Purificação e Fracionamento. Qualificação. Caracterização por eletroforese.).

Como apresentado nas tabelas 6 e 8, quando a intervenção foi realizada junto aos alunos dos cursos LCE e CFBio, eles já tinham estudado o tema proteínas em

seus cursos com intensidade e frequência diferentes, observando-se que os alunos da LCE estudaram o referido tema com frequência menor quando comparados com os alunos da CFBio. Assim, esperou-se que as dificuldades encontradas pelos grupos de alunos e seus desempenhos nas entrevistas pré- e pós-teste fossem diferentes.

Além dessa caracterização das disciplinas cursadas, foi perguntado aos alunos durante o pré-teste quais disciplinas eles achavam que mais haviam contribuído para a formação de suas representações e conceitos sobre o tema proteínas até aquele momento. A partir de suas respostas, entramos em contato com os professores responsáveis pelas disciplinas mais citadas pelos alunos, quatro professores nomeados como: Professor1, Professor 2, Professor 3 e Professor 4.

Os alunos da LCE apontaram as disciplinas de Biologia I e Biologia III como as disciplinas que mais contribuíram para essa questão, como mostra a tabela 10. Ambas as disciplinas foram ministradas pelo mesmo professor (professor 4, conforme Quadro 2).

Tabela 10 - Disciplinas que mais contribuíram para a formação das representações de proteínas dos alunos da LCE, segundo indicação dos mesmos.

Disciplinas mencionadas	Frequência
Biologia I apenas	1
Biologia I e Biologia III	2
Biologia III apenas	1

Já os alunos da CFBio apontaram as disciplinas de Biologia Molecular e Celular I, Biologia Molecular e Celular II e Bioquímica I como as disciplinas que mais contribuíram para a formação de seus modelos mentais de proteína, como mostra a tabela 11.

Tabela 11 - Disciplinas que mais contribuíram para a formação das representações de proteína dos alunos da CFBio.

Quais disciplinas você acha que mais contribuíram para a formação das representações e conceitos de proteínas?	
Disciplinas mencionadas	Frequência
Biologia Molecular e Celular I e Bioquímica I	7
Biologia Molecular e Celular I, Biologia Molecular e Celular II, Bioquímica I e Bioquímica II	2

Para os alunos que estavam no perfil, as disciplinas de Biologia Molecular e Celular I e II foram ministradas, respectivamente, pelos professores 1 e 4 e as disciplinas de Bioquímica I e II foram ministradas pelo professor 3. Para os alunos A7, A10 e A12, que estavam fora do perfil, Biologia Molecular e Celular I e II foram ministradas, respectivamente, pelos professores 2 e 4 e Bioquímica I e II pelo professor 3.

Os professores das disciplinas mencionadas pelos alunos foram procurados e entrevistados com o objetivo de se compreender como as suas disciplinas colaboravam com a formação das representações de seus alunos sobre proteínas. A entrevista feita com os professores foi do tipo estruturada⁷, cujas respostas às questões formuladas foram registradas pelo entrevistador por meio de anotações escritas.

Aos professores foi perguntado (a) quais estratégias e recursos didáticos foram utilizados durante suas aulas, (b) se eles achavam que os alunos tinham dificuldade em aprender a relação entre estrutura e função de proteínas e (c) o que eles julgavam necessário que o aluno soubesse sobre o tema proteínas com relação à sua futura profissão. As respostas a estas questões são apresentadas nos Quadros 2 a 4.

Também foi perguntado aos professores se eles conseguiriam identificar em que momento seu modelo mental de proteína foi formado. Apesar de terem uma formação básica diversificada - o professor 1 é Biólogo, o professor 2 é Agrônomo, o professor 3 é Farmacêutico e professor 4 é Químico -, com exceção do professor 3⁸, eles responderam que foi durante a disciplina de Bioquímica na graduação, cujas aulas eram dadas basicamente de forma expositiva, com o uso de transparências para projeção de imagens e textos.

Como mostra o Quadro 2, os professores utilizaram a aula expositiva como estratégia de ensino para ministrar as aulas relativas às proteínas e, como recursos didáticos, utilizaram projeções com texto e figuras, enfatizando as estruturas e o

⁷ Entende-se por entrevista estruturada aquela que segue um roteiro pré-determinado pelo entrevistador com perguntas feitas de forma similar a todos os entrevistados, indicada para pesquisas de diagnóstico de ideias (33)

⁸ Acredita que seu modelo mental se formara durante o desenvolvimento do seu projeto de Doutorado.

enovelamento de tais moléculas, em ambos os cursos LCE e CFBio. Esse perfil de escolha de estratégias didáticas se assemelha ao detectado pelo trabalho de Viveiro e Campos (42), no qual as autoras levantaram que há um forte predomínio entre professores universitários das áreas de Matemática, Biologia, Física e Química em utilizar a aula expositiva como estratégia de ensino.

Respostas	Quando você ministra a disciplina X qual estratégia de ensino você utiliza para ensinar o tema macromoléculas? E em especial “proteínas”? Quais fatores o levam à escolha dessa estratégia de ensino?
Professor 1, responsável pela disciplina Biologia Molecular e Celular I e II	Utilizou basicamente projeção de figuras e esquemas de funcionamento de proteínas utilizando o programa Power Point ou similar, para ilustrar processos, quando falava de processos celulares a nível molecular. Não utilizou modelos táteis, pois abordou muitas proteínas ao longo da disciplina e como o tempo era restrito, achava que seria mais conveniente utilizar essa estratégia em aulas de laboratório.
Professor 2, responsável pela disciplina Biologia Molecular e Celular I e Biologia III	Utilizou basicamente transparências, com figuras e textos. A opção por esses recursos derivou do fato de a disciplina de Biologia Molecular e Celular I ter sucedido a Bioquímica I para os alunos da CFBio. Assim, ele assumiu que os alunos já tinham os conhecimentos básicos de estrutura de proteínas, obtidos pela Bioquímica I, e os mesmos veriam mais detalhes posteriormente, na disciplina Biologia Estrutural.
Professor 3, responsável pela disciplina Bioquímica I e II	Utilizou projeção de figuras e textos utilizando o programa Power Point ou similar, em aulas expositivas, seguindo a ordem crescente da complexidade das proteínas. O professor disse que buscava enfatizar a diferença entre uma figura de proteína e sua estrutura real e como o tempo influenciava nas mudanças conformacionais da proteína. A opção por tal estratégia e recursos relacionou-se com critérios como praticidade, facilidade (para elaborar/implementar) e tempo (de execução), apontados pelo docente. Ele disse que poderia utilizar modelos moleculares, porém tal atividade tomaria muito tempo da disciplina, considerando que os alunos teriam que manusear o material e isso seria mais adequado em uma aula de laboratório, inexistente na disciplina de Bioquímica 1.
Professor 4, responsável pelas disciplinas Biologia Molecular e Celular I e II e Biologia I e III	Utilizou projeção de figuras e textos utilizando o programa Power Point ou similar, em aulas expositivas, mostrando estruturas de macromoléculas, primeiramente em nível atômico e depois em nível molecular, mostrando o <i>folding</i> da proteína. O professor utilizou o modelo “Manipulando as moléculas da vida: DNA e RNA” nas práticas de laboratório nas disciplinas Biologia Molecular e Celular 1 e Biologia III, seguindo o roteiro que o laboratório possui: primeiramente montaram a dupla fita, identificaram os elementos que constituem a macromolécula e posteriormente realizam o processo de replicação. Com relação aos slides, o professor disse que utilizou figuras para ilustrar a ligação peptídica, as estruturas 1 ^{ária} , 2 ^{ária} e 3 ^{ária} , a organização interna da proteína, a molécula enovelada e processos/interações hidrofílicos e hidrofóbicos. Tal uso desses recursos se deu com o objetivo de visualizar os vários níveis de enovelamento das proteínas, que ele julga um dos maiores problemas da disciplina de Biologia Molecular e Celular I..

Quadro 2 - Respostas dos professores sobre quais estratégias e recursos didáticos utilizavam para ensinar o tema proteínas.

O Quadro 3 mostra as respostas dos professores quando perguntados se achavam que os alunos possuíam dificuldades em aprender a relação estrutura/função de proteínas. De modo geral, os professores associaram a falta de

maturidade do aluno e o pouco tempo que se tem para abordar esse assunto na graduação a essas dificuldades.

Respostas	Você acha que os alunos têm alguma dificuldade em aprender a relação estrutura/função de proteínas? Se sim, quais?
Professor 1, responsável pela disciplina Biologia Molecular e Celular I e II	A dificuldade percebida por ela não é geral, no sentido que está ligada à diversidade de estruturas e funções de proteínas. Devido à existência de proteínas diferentes possuírem a mesma função em alguns casos, e proteína iguais possuírem funções diferentes, ela julga que é necessário que o aluno tenha uma vivência nesse tema, passe mais tempo estudando sobre isso para compreender tais casos. Apesar de sempre tentar estabelecer essa relação entre estrutura e função, nem sempre ela é direta, o que exige tempo de aprendizado, que ela acha que é pouco na graduação.
Professor 2, responsável pela disciplina Biologia Molecular e Celular I e Biologia III	O professor disse que percebia que os alunos da CFBio superestimavam o conhecimento que tinham sobre o assunto, ou seja, achavam que já sabiam como relacionar estrutura de uma proteína a função desempenhada por ela, de forma simples e direta. Com relação aos alunos da LCE percebeu que os alunos aceitavam passivamente aquilo que ele ensinava, sem questionamentos, o que lhe pareceu que eles não conseguiam entender e sim memorizar o assunto.
Professor 3, responsável pela disciplina Bioquímica I e II	O professor disse que a impressão que ele tinha sobre os alunos era que eles acreditavam que a proteína tem uma estrutura estática. Ele afirmou acreditar que a maior dificuldade dos alunos é entender que o tempo influencia na estrutura tridimensional da proteína e nas interações que ela estabelece com outras moléculas, nas mudanças conformacionais, e como elas ocorrem.
Professor 4, responsável pelas disciplinas Biologia Molecular e Celular I e II e Biologia I e III	O professor disse que esse assunto era dado na graduação, porém julgava difícil para o aluno conseguir estabelecer essa relação, uma vez que ela envolve certa maturidade que o mesmo não tem.

Quadro 3 - Respostas dos professores sobre as dificuldades dos alunos em entender a relação estrutura/função de proteínas.

Quando perguntados sobre o que julgavam necessário que o aluno dos cursos de LCE e CFBio soubessem sobre o tema proteínas com relação à sua futura profissão, os professores responderam, de modo geral, que esperavam que os alunos do curso da CFBio tivessem um conhecimento maior e mais detalhado de estrutura e função de proteína do que os alunos da LCE e que esses últimos soubessem que as proteínas tem uma função e relacionassem isso com sua estrutura (Quadro 4).

Respostas	O que, para você, é necessário que o aluno dos cursos LCE e CFBio entenda sobre o tema proteínas, com relação à sua futura profissão?
Professor 1, responsável pela disciplina Biologia Molecular e Celular I e II	<p>Para os alunos da CFBio os alunos devem ter um conhecimento sólido no assunto, seja ele no aspecto bioquímico, ou no aspecto estrutural, pois um curso que trata de eventos que ocorrem a nível molecular, pensando em “bio”, não tem como não pensar em proteínas. Com relação aos alunos da LCE, como o foco é ensinar para as crianças as diferentes funções das proteínas, o aluno deve ter claro o papel funcional da proteína, saber relacionar isso com sua estrutura, os papéis que ela desenvolve, e saber diferenciar de outras moléculas.</p> <p>A respeito da disciplina Biologia Molecular e Celular II especificamente, ela mencionou que é necessário que o aluno conclua a disciplina ciente dos eventos que a célula participa, como ela funciona internamente e como ela se relaciona com as demais, pensando em uma célula eucariótica.</p>
Professor 2, responsável pela disciplina Biologia Molecular e Celular I e Biologia III	<p>Com relação aos alunos da Licenciatura ele julga importante que o aluno tenha uma noção da estrutura tridimensional da proteína, e consiga construir o conhecimento bioquímico, a partir de tal noção. Para o aluno, saber o básico de estrutura é importante, como por exemplo, o que é uma hélice-alfa ou uma folha-beta, e poder relacionar isso com a atividade da proteína. O aluno deve poder falar sobre fenômenos macroscópicos mais ligados ao cotidiano, como por exemplo, porque a clara do ovo fica dura quando ele é cozido; essa e outras coisas são mais importantes para o licenciando saber, do que um aprofundamento em estrutura de proteína. Já com relação aos alunos da CFBio, ele julga fundamental que os alunos conheçam o tema estrutura de proteínas de maneira mais intensa, pois este será seu objeto de trabalho futuramente. Eles estudarão os efeitos de moléculas sobre determinada proteína.</p>
Professor 3, responsável pela disciplina Bioquímica I e II	<p>Este professor disse que a disciplina de Bioquímica é muito importante para a formação do Bacharel em Ciências Físicas e Biomoleculares, pois é na disciplina de Bioquímica I que os alunos têm o primeiro contato com os temas proteína e sua estrutura; desse modo a disciplina tem a função de preparar o aluno, com os conhecimentos básicos para serem capazes de trabalhar com outras proteínas em suas carreiras. Disse ainda que, mesmo que os alunos não sigam carreira acadêmica, ele julga essencial que os alunos compreendam a importância da manutenção da estrutura de proteína para que esta seja funcional.</p>
Professor 4, responsável pelas disciplinas Biologia Molecular e Celular I e II e Biologia I e III	<p>No caso dos alunos da LCE, o professor disse que o tema proteínas aparece de forma muito breve e que o aluno tem que entender a função das proteínas e correlacionar isto com o enovelamento, mas não de forma profunda, porque para os alunos de colegial, esse conteúdo é inaplicável. Já para os alunos da CFBio, o professor julga necessário que eles saibam a estrutura e função das proteínas minimamente em termos de interações físico-químicas, já que estes alunos tem uma formação mais molecular, com foco nas proteínas.</p>

Quadro 4 - Respostas dos professores sobre o que esperam que os alunos da CFBio e LCE entendam sobre proteínas aos terminarem suas disciplinas e seus cursos.

Diante desses dados, traçamos um perfil de conhecimento esperado sobre o tema para os alunos de ambos os cursos. Também caracterizamos os professores 1 a 4 quanto às respectivas formações e estratégias de aula utilizadas.

Perfil dos alunos do curso LCE

O curso de Licenciatura em Ciências Exatas forma professores de Ciências para o Ensino Fundamental e professores de Física, Química ou Matemática para o Ensino Médio, dependendo da habilitação escolhida por cada aluno durante o curso. Até o momento da intervenção, as disciplinas cursadas pelos participantes desta pesquisa incluíam uma abordagem do tema proteínas que tratava de aspectos introdutórios destas macromoléculas (Biologia I), aspectos estruturais e de identificação (Química C) e, de modo um pouco mais aprofundado, aspectos estruturais e funcionais, considerando a ligação peptídica, as estruturas primária, secundária e terciária, e a relação do caráter hidrofóbico/hidrofílico com as suas interações (Biologia III). Apenas no último ano do curso, e para aqueles que optassem pela Habilitação em Química, seria ministrada a disciplina de Bioquímica e Química Orgânica, uma disciplina anual cujo primeiro semestre dedica-se à Bioquímica e então o aluno teria a oportunidade de se aprofundar mais no tema proteínas.

O modo como o tema proteínas aparece na grade curricular da LCE, conforme indicado na tabela 5, de certa forma direciona as abordagens e as expectativas dos docentes que ministram as disciplinas em que o tema está inserido. Para esses professores o aluno de LCE deve conhecer o papel funcional da proteína, saber minimamente relacionar sua estrutura com a função, diferenciar as proteínas de outras moléculas e relacionar a sua estrutura/função a fenômenos macroscópicos observados no cotidiano.

Os recursos didáticos utilizados pelos professores das disciplinas indicadas pelos alunos como as que mais contribuíram para formação de suas representações mentais e conceitos sobre proteínas resumiram-se a textos, figuras e esquemas de estrutura/função de proteínas, e a estratégia utilizada majoritariamente foi a aula expositiva.

Diante do exposto, esperou-se que os alunos, ao iniciarem sua participação nesta pesquisa, fossem capazes de conceituar esta classe de macromoléculas e identificar alguns aspectos estruturais importantes que tivessem relação com sua função, bem como do processo de síntese proteica na célula eucariótica.

Perfil dos alunos da CFBio

O curso de CFBio pretende formar profissionais que atuarão em empresas e laboratórios de Biotecnologia e Biologia Molecular; sendo assim, a formação do aluno é voltada para o entendimento de processos biológicos a nível molecular e celular. Isso implica em uma grande recorrência do tema proteínas ao longo das disciplinas da grade curricular deste curso. Além das disciplinas já cursadas pelos alunos até o momento da intervenção, os alunos ainda estudariam o tema proteínas nas disciplinas Biologia Estrutural e Isolamento e Purificação de Biomoléculas no 6º período, Modelagem e Engenharia de Proteínas e Tecnologia Enzimática no 8º período do curso. A expectativa dos docentes, que ministraram as disciplinas em que o tema estava inserido até o momento da intervenção, esteve relacionada com o perfil do profissional a ser formado nesse curso: eles julgaram essencial que o aluno tenha um conhecimento sólido e aprofundado em estrutura de proteínas.

Os recursos didáticos utilizados pelos professores durante as disciplinas indicadas como as que mais contribuíram para formação das representações mentais e conceitos de proteínas resumiram-se a textos, figuras e esquemas de estrutura/ função de proteínas, e a estratégia utilizada foi aula expositiva. Os professores alegaram que até poderiam utilizar modelos moleculares (táteis) em suas aulas, porém o tempo foi um fator limitante que os impediu de fazê-lo. Devido à recorrência do assunto na grade curricular desses alunos, esperava-se que eles apresentassem uma compreensão clara e detalhada da estrutura química e molecular de aminoácidos e proteínas, da relação entre a estrutura da proteína com sua função biológica e do processo de síntese proteica em células eucarióticas.

4.2 Diagnóstico das representações mentais

O diagnóstico das representações mentais dos sujeitos da pesquisa foi feito a partir dos registros produzidos pelos mesmos no momento anterior ao curso oferecido (pré-teste) e no momento posterior (pós-teste), explicado no item **2.7 Forma de tratamento e análise de dados**. Conforme este item, as respostas dos alunos às questões do pré- e pós-teste foram organizadas segundo os temas abrangidos pelas referidas questões. Desse modo, os temas foram nomeados como segue:

1. **Proteína: estrutura e síntese** (abrangido pelas questões 1, 5, 7 e 9 do pré-teste e 1, 3, 5, 6, 7 e 8 do pós-teste). Este tema compreende os subtemas:
 - a. Definição e estrutura da proteína.
 - b. Composição e estrutura do aminoácido.
 - c. Síntese proteica.
2. **Relação estrutura/ função** (abrangido pelas questões 6, 8 e 10 do pré-teste e 9 e 10 do pós-teste)
 - a. Relação entre a estrutura e a função de uma proteína.
 - b. Exemplos desta relação.
3. **Representações** (abrangido pelas questões 2 e 3 do pré-teste e 2 e 4 do pós-teste)
 - a. Representação do “funcionamento” de uma proteína.
 - b. Modelo representativo de uma proteína construído a partir de materiais de baixo custo.

As respostas dos alunos ao pré e pós-teste foram dispostas em quadros, que serão apresentados a seguir (Quadros 5 a 18). Neles, os textos apresentados em *itálico* referem-se às respostas escritas, os textos apresentados entre aspas (“”), referem-se às respostas orais e os textos com fonte regular sem aspas referem-se às nossas observações sobre as respostas. O número entre parênteses apresentado após a resposta indica a questão a qual a resposta se refere.

As respostas orais e escritas dos alunos, bem como os modelos construídos por eles serão apresentados a seguir de forma individual, para cada aluno. A partir destes dados individuais, foi feita uma breve análise sob o ponto de vista conceitual, ou seja, foi verificado se houve coerência entre as respostas de questões relacionadas entre si e daquelas com os conceitos científicos. Após esta análise individual, as representações mentais detectadas foram classificadas segundo a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird, conforme as categorias propostas por Moreira e Lagreca (11) e Tauceda e Pino (16) (já descritas no item 2.7).

4.2.1 Pré-teste

Nesta seção serão apresentadas as externalizações obtidas dos alunos a partir do pré-teste realizado.

4.2.1.1 Pré-teste do aluno A1

TEMAS
<p>PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE</p> <p>Subtema: Definição/Estrutura de proteína</p> <p><i>Uma cadeia de aminoácidos.</i> (1)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <p>“Não sei por que, mas quando você falou isso eu me lembrei de timina, citosina... Acho que é o máximo que eu posso falar agora.” (5)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p> <p>“Eu vou chutar o que falei da ultima vez... É na célula... Como é que chama o componente celular? Ribossomo? Eu realmente não lembro se é do ribossomo, da alimentação... Não isso daí não é!”. (7)</p> <p><i>DNA produz RNA que por sua vez define a forma e estrutura de uma proteína. O gene define o DNA.</i> (9)</p>
<p>ESTRUTURA / FUNÇÃO</p> <p>Subtema: Relação estrutura/ função)</p> <p>“Ela é uma coisa bem enrolada. Bem enrolada em sim mesma... No formato que precisa né? De acordo com sua característica.” (4)</p> <p>“Estrutura? Ah... Eu acho que a estrutura da proteína altera a função dela. Se você muda os componentes, muda a estrutura, muda a função.” (6)</p> <p>Subtema: Exemplos estrutura/função</p> <p>“Esse daqui, a proteína define a forma estrutural... O componente que ela forma... A membrana, o tecido... Eu acho que dependendo da onde a proteína for estar ou o que ela forma, o movimento que ela tem deve ser coordenado.” (10)</p>
<p>REPRESENTAÇÕES</p> <p>Subtema: Funcionamento</p> <p>“Se eu não me engano tem proteína no tecido muscular, não é? Eu não vou conseguir lembrar mesmo.” (2)</p> <p>Subtema: Modelos</p> <p>“Seriam os compostos que formam a proteína né? Não sei se seriam os aminoácidos. A forma de uma proteína não é exata, ela é muito curvada, se enrola uma na outra. Eu usei o nylon para pegar a base e as bolinhas para fazer o resto. Mais ou menos a forma. A dobra do próprio nylon pode formar ela. Acho que se eu for ficar fazendo vou demorar um pouco.”⁹ (3)</p>

<p>Figura 14 - Modelo tátil de proteína montado com materiais de baixo custo pelo aluno A1 referente à questão 3 do pré-teste.</p>

Quadro 5 - Respostas do aluno A1 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

⁹ O aluno justifica a escolha das miçangas em seu modelo.

A respeito do tema **Proteínas: estrutura e síntese** o aluno A1 definiu proteína como *cadeia de aminoácidos* na resposta 1, mas quando montou o modelo tátil na resposta 3, não soube identificar onde estavam os aminoácidos e nomeou as bolinhas que colocou em seu modelo de colar de contas, como “compostos que formam a proteína” como se pode notar em sua fala durante a montagem do modelo. Notou-se também que o aluno A1 não soube representar o aminoácido e quando perguntado sobre a definição deste, o relacionou com ácidos nucleicos “Não sei por que, mas quando você falou isso eu me lembrei de timina, citosina (...)” (trecho da resposta 5).

Com relação à Síntese proteica, o aluno mostrou não conhecer tal processo, confundindo a obtenção de aminoácidos através da alimentação, com a síntese de proteínas, o que pode ser notado em sua resposta 7 “Eu vou chutar o que falei da ultima vez... É na célula... Como é que chama o componente celular? Ribossomo? Eu realmente não lembro se é do ribossomo, da alimentação... Não isso daí não é!”.

No tema **Estrutura/ Função** de proteínas, as respostas 2 e 10 evidenciaram que o aluno acreditava que a proteína era formadora de estruturas como membranas e tecidos, considerando apenas sua função estrutural, conforme os trechos destacados “Se eu não me engano tem proteína no tecido muscular, não é?(...)” (resposta 2) e “Esse daqui, a proteína define a forma estrutural... O componente que ela forma... A membrana, o tecido...(...)” (resposta 10) .

Considerando o tema **Representações**, na resposta 3 referente à montagem do modelo tátil, o aluno montou um colar de contas (Figura 14) para representar a proteína, porém não conseguiu identificar os aminoácidos, como discutido acima e, na resposta 2 não apresentou nenhum desenho de como imaginava a proteína em funcionamento.

Devemos considerar que este aluno foi reprovado na disciplina de Biologia I o que o impediu de ter cursado Biologia III, disciplina esta na qual o tema proteínas seria retomado e visto com mais detalhes.

4.2.1.2 Pré-teste da aluna A2

TEMA
PROTEÍNA - ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Definição/Estrutura de proteína <i>Proteína macromolécula essencial para manutenção dos organismos. Estão presentes na estrutura das células. Uma fonte protéica é a fonte animal, por exemplo, a carne e etc. (1)</i></p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido <i>"Ai... Grupos funcionais dos aminoácidos eu não sei, mas ele está presente... é... RNA, DNA algo assim? Tem aminoácido acho que no meio... Não sei." (5)</i></p> <p>Subtema: Síntese proteica</p>
<p>Figura 15 - Desenho feito pela aluna A2 na resposta 7 do pré-teste para representar o processo de síntese de proteínas.</p> <p><i>A proteína é sintetizada pela célula animal no interior das organelas, membrana plasmática, por exemplo. (7)</i></p> <p><i>As proteínas estão presentes nos genes. Estes estão presentes no DNA e RNA, onde acontece a transcrição destas. (9)</i></p> <p>A aluna apresentou um esquema (figura 16) para complementar sua resposta.</p> <p>Figura 16 - Esquema feito pela aluna A2 durante a resposta 9 do pré-teste.</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
Subtema: Relação estrutura/função

continua

continuação

"Assim oh, o que eu tenho na cabeça é alguma coisa assim (desenhando). É que eu tenho na cabeça alguma coisa de síntese... Pra onde ela vai, sabe? Mas eu não sei como que ela é representada... Não sei como é que eu represento, representaria..." (4)

Subtema: Exemplos estrutura/função

"Que tipo de aminoácidos? Ué, algum de estrutura. Pra ele estar na membrana plasmática, por exemplo." (8)

"Acho que estrutural... Por exemplo, eles dão manutenção para as células, por exemplo... É... Eu sei o que é mais não sei explicar... Tem alguma coisa apitando para sinalização. Mas eu não sei... Só estrutural mesmo." (10)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

No organismo humano, por exemplo, haverá a síntese das proteínas, através da absorção destas nas células: (2)

Figura 17 - Desenho feito pela aluna A2 na resposta 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína. A aluna representou o processo de síntese.

Subtema: Modelos

Figura 18 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A2 referente à questão 3 do pré-teste.

A aluna alegava não saber montar uma proteína com os materiais, mas ao final da entrevista ela quis voltar a essa questão do modelo, e então disse que quando pensava em proteínas, vinha essa imagem de "cordinhas" na sua cabeça.

Quadro 6 - Respostas da aluna A2 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

A respeito do tema **Proteínas: estrutura e síntese** a aluna A2 definiu proteína como *uma macromolécula essencial para manutenção do organismo* na resposta à pergunta 1. Ela confundiu aminoácidos com ácidos nucleicos como se pode notar através da resposta 5 “Ai... Grupos funcionais dos aminoácidos eu não sei, mas ele está presente... é... RNA, DNA algo assim? Tem aminoácido acho que no meio... Não sei”.

Com relação à Síntese proteica, notou-se que a aluna não soube explicar tal processo, pois na resposta 2 sobre funcionamento da proteína, disse “No organismo humano, por exemplo, haverá a síntese das proteínas, através da absorção destas nas células”, e na resposta 7 a aluna mostrou não conhecer o processo de síntese, o que pode ser notado no trecho *A proteína é sintetizada pela célula animal no interior das organelas, membrana plasmática, por exemplo* (Figura 15). Na resposta 9 a aluna apresentou uma relação confusa entre os termos DNA, RNA, gene e proteína (Figura 16) - *As proteínas estão presentes nos genes. Estes estão presentes no DNA e RNA, onde acontece a transcrição destas* - evidenciando que a mesma não possuía uma compreensão clara do processo da síntese de proteínas e da relação entre os termos DNA, RNA e genes.

A respeito do tema **Estrutura/ Função** a aluna relacionou função de proteínas apenas o seu papel estrutural nas células, apontando a carne como um exemplo de fonte proteica (resposta 1). A aluna também demonstrou desconhecer a estrutura e as propriedades químicas dos aminoácidos, uma vez que mencionou que esperava encontrar “aminoácidos de estrutura” compondo a proteína de membrana, na resposta à pergunta 8.

Com relação ao tema **Representações** ao se pedir para representar o funcionamento de uma proteína, a aluna apresentou um esquema mostrando as etapas do processo de síntese de proteínas (Figura 17), segundo seu entendimento, dizendo que só conseguia imaginar “uma proteína funcionando” por meio deste processo - “É que eu tenho na cabeça alguma coisa de síntese...” (resposta 4), não representando o que fora pedido. Com relação ao modelo tátil montado com materiais de baixo custo, a aluna disse que o que imaginava quando pensava em proteínas eram “cordinhas” (Figura 18), e não soube identificar nada além disso.

4.2.1.3 Pré-teste da aluna A3

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Definição/Estrutura de proteína <i>Proteínas são macromoléculas orgânicas, formadas por uma longa sequência de aminoácidos, unidas por ligações peptídicas. (1)</i> <i>"Não entendi a pergunta. É pra fazer um desenho de como é a proteína? (...) E se eu não souber? (...) Tá, depois eu volto aqui."(2)</i></p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido <i>"Então, o aminoácido compõe a proteína, eu acho que o conjunto deles forma uma proteína." (5)</i></p> <p>Subtema: Síntese proteica <i>A síntese da proteína se dá por meio da absorção de alimentos, assim a célula "capta" o necessário para realizar os processos necessários para a sobrevivência do organismo. (7)</i> <i>A proteína está presente nos genes do RNA e DNA, juntos eles formam o código genético humano. (9)</i></p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
<p>Subtema: Relação estrutura/função <i>"Elas são assim? Eu imagino assim"¹⁰... Então, eu não sei como elas estão organizadas na célula." (4)</i></p> <div data-bbox="485 1068 1165 1323" data-label="Image"> </div> <p>Figura 19 - Desenho feito pela aluna A3 durante a resposta 4 do pré-teste, representando como ela imaginava que as proteínas estavam organizadas fisicamente.</p> <p><i>"Essa daí tem a relação de estrutura, estrutura é... Sei que ela é usada no sistema imunológico também... Estrutura, sistema imunológico... Ah, eu sabia, mas me fugiu da cabeça, não lembro." (6)</i></p> <p>Subtema: Exemplos estrutura/função</p>

continua

¹⁰ Desenhando uma espiral na folha, ver figura 19.

continuação

"É oral né? De estrutura! Eu acho que sim, se ela está na membrana¹¹... A função dela deve ser... Não sei." (8)

"Transporte, da membrana, uma das funções. Transporte... Porque eu acho que elas transportam a energia necessária para o funcionamento do organismo. E estrutural por causa¹² aquele exemplo da membrana que você tinha falado." (10)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

A aluna não apresentou nenhuma resposta que se enquadrasse nessa categoria.

Subtema: Modelos

A aluna montou um colar de contas, dizendo que cada miçanga representava um aminoácido e que estava representando com bolinhas diferentes e por achar que eles seriam diferentes.

Figura 20 - Modelo tátil em materiais de baixo custo montado pela aluna A3 em resposta à pergunta 3 do pré-teste.

"Então, é porque eu me lembro do desenho, e aí eu lembro que... Não lembro na verdade, tô fazendo por fazer. Não sei, eu tô escolhendo essa igual a essa... E essa daqui, não sei mesmo. (...) Não são os aminoácidos? Eu acho que são os aminoácidos... Depois desse curso eu vou aprender né?... Então... Na verdade acho que tem que ser diferente né? (...) Porque eu acho que não são iguais né? Os aminoácidos... Não sei... Então eu colocaria várias diferentes... Ai, eu não sei." (3)

Quadro 7 - Respostas da aluna A3 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

A respeito do tema **Proteínas: estrutura e síntese** apesar da aluna A3 definir corretamente proteína na resposta 1 - *macromoléculas orgânicas, formadas por uma longa sequência de aminoácidos* - e mencionar ligações peptídicas, notou-se que durante a montagem do modelo tátil (resposta 3), ela demonstrou insegurança com relação à justificativa/escolha do material utilizado para representar a proteína, que pode ser notado no trecho de sua fala durante a montagem do modelo - "Não lembro na verdade, tô fazendo por fazer. Não sei, eu tô escolhendo essa igual a essa¹³... E essa daqui, não sei mesmo. (...) Não são os aminoácidos? Eu acho que são os aminoácidos..."

¹¹ O enunciado da pergunta mencionava um exemplo de proteína de membrana.

¹² A aluna refere-se ao enunciado da questão 8 do pré-teste.

¹³ Referindo-se às miçangas utilizadas em seu modelo do tipo colar de contas.

A respeito da Síntese proteica a aluna demonstra não conhecer tal processo, confundindo-o com a obtenção de aminoácidos através da alimentação, conforme a resposta 7 - *A síntese da proteína se dá por meio da absorção de alimentos, assim a célula “capta” o necessário para realizar os processos necessários para a sobrevivência do organismo* -, além de ter estabelecido uma relação confusa e generalizada entre os conceitos DNA, RNA, proteína e gene - *A proteína está presente nos genes do RNA e DNA, juntos eles formam o código genético humano* (resposta 9).

A respeito do tema **Estrutura/função** a aluna considerava que as proteínas tinham função de transportar energia necessária para o funcionamento do organismo, bem como função estrutural, utilizando como exemplo a informação fornecida pela pergunta 8 (proteína de membrana). A aluna demonstrou que desconhecia a estrutura e propriedades químicas dos aminoácidos por meio da resposta 5 “o aminoácido compõe a proteína, eu acho que o conjunto deles forma uma proteína” e também quando mencionou na resposta 8 que esperava encontrar aminoácidos “de estrutura” na proteína presente na membrana.

Com relação ao tema **Representações** a aluna não apresentou o esquema de funcionamento da proteína, dizendo que depois voltaria naquela resposta e não o fez. Ela mostrou durante a resposta 4 (relativa à pergunta “Como a proteína está organizada fisicamente?”) que não sabia como as proteínas estavam organizadas na célula: ela desenhou uma forma espiral na folha (Figura 19), dizendo “eu não sei como elas estão organizadas na célula”. Com relação ao modelo tátil montado com materiais de baixo custo, a aluna montou um modelo do tipo colar de contas (Figura 20), e disse que não sabia se as miçangas representavam os aminoácidos.

4.2.1.4 Pré-teste do aluno A4

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Definição/Estrutura de proteína</p> <p><i>Uma proteína é um polímero orgânico, formado por monômeros chamados de aminoácidos (possui grupamentos amina e carboxila). (1)</i></p> <p>“Como a gente já fez aqui é um polímero, composto por vários aminoácidos. Se você fosse imaginar primeiro só as ligações seria um aminoácido atrás do outro, e como o pessoal representa, como se fosse uma linha, que é meio complicado. Mais aí seria uma estrutura primária né? Da proteína. Aí ela pode se enrolar assim né? Formar essa faixa e essa faixa formar um espiral, uma estrutura secundária... Como as macromoléculas são bem grandes, bem extensas, daria pra se enrolar bastante, e essa faixa espiralada, consegue formar outro espiral e aí ela fica mais embolada ainda e aí já forma estrutura terciária mesmo dela, e aí nesse caso... Quando, como tem esses radicais, esses grupamentos livres que podem ser qualquer coisa nos aminoácidos, ele normalmente podem ser divididos em polar ou hidrofóbico ou hidrofílico, polar ou apolar né? Ai inverte né? Hidrofílico é polar e hidrofóbico é apolar. Pode ser os dois e eles normalmente se juntam em grupos similares né? Os hidrofóbicos todos se voltam pra dentro da macromolécula e todos os hidrofílicos se voltam pra fora. Por causa disso ele interage bem com água tal.” (4)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <p>“O aminoácido é um monômero da proteína, e ele tem um grupo carboxila ligado nele, que é um grupo ácido né? C,O,O,H¹⁴. Um grupo amina ligado nele também, no mesmo carbono, que é um grupo básico né? A amina, normalmente um hidrogênio na terceira valência dele no carbono e a quarta valência livre é qualquer grupamento orgânico que pode diferenciar que diferencia os aminoácidos um do outro. Seu eu não me engano acho que tem um aminoácido que não tem o hidrogênio ligado no carbono, mas normalmente a ideia é essa, um carbono assimétrico com esses quatro grupos ligados nele.” (5)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p> <p><i>O tipo de proteína (ordem de aminoácidos) é estabelecido por um gene do DNA. Esse gene é expresso no núcleo por um RNA chamado de RNA mensageiro, uma fita de material genético complementar ao gene em questão. Esse RNA mensageiro migra para o citoplasma celular, e com auxílio de ribossomos e de RNA transportadores (que trazem as trincas de bases nitrogenadas, associadas a um aminoácido) vão construindo a proteína. Existe também uma certa trinca de bases que indica a finalização da cadeia, liberando-a do ribossomo.(7)</i></p> <p><i>O DNA é uma fração do DNA que codifica uma proteína. Esse gene é então uma sequência de bases nitrogenadas. O RNA mensageiro, por sua vez, atua como um códon, pois é uma fita de material genético complementar ao material genético em questão. Esse RNA mensageiro migra ao citoplasma onde, com o auxílio do RNA transportador, decodifica a mensagem do RNAm, formando a proteína em questão, pois a sequência de bases do gene está associada a uma sequência de aminoácidos. (9)</i></p>

continua

¹⁴ Ditando letra por letra.

continuação

ESTRUTURA / FUNÇÃO

Subtema: Relação estrutura/função

“A relação entre estrutura e função de proteína? Bom, umas das coisas que eu já falei da estrutura né? É o fato dela, quando tá em estrutura terciária ela ter os grupos polares voltados pra fora da molécula, justamente porque dentro do corpo a gente tá tratando em meios aquosos e por isso vale bem essa estrutura. E aí como função, quando ela tá em função terciária, normalmente é função enzimática de proteína né? Então, ela costuma ter um sítio ativo, um espaço lá, uma região, que se liga em algumas moléculas específicas, pra realizar um trabalho específico, um processo metabólico específico né? E aquele sítio se liga exatamente num tipo de composto pra fazer uma função. Mas... Isso que eu falei da estrutura né? Eu falei que adianta, mas quando é função enzimática de proteína que é a primeira coisa que a gente pensa né? Aí tem outras funções também de proteína, função própria de estrutura, de colágeno que aí já são as cadeias meio extensas e compridas, em vez de ser um glóbulo um emaranhado de proteína toda enrolada nela, é umas estruturas mais lineares, longas e ramificadas pra dar noção de estrutura, ou até função muscular de proteína que também é uma proteína meio que comprida né? Actina e miosina se ligam né? Pra se aproximar uma da outra e fazer a contração, aí dependendo da estrutura, dependendo da função da proteína é melhor ter uma estrutura né? Terciária, secundária, primária, dependendo da função que ela vai ter, cada estrutura funciona melhor.” (6)

Subtema: Exemplos estrutura/função

“Como este tipo de proteína faz parte da membrana, pra ele estar lá dentro, pra ele estar lá no meio da membrana, deve-se esperar que ele, que os aminoácidos tenham os grupamentos apolares ligados neles, porque a membrana é formada de fosfolipídeos e ela tem os dois... As duas fronteiras dela voltada pra fora da célula e pra dentro da célula, são pontas formadas por grupos fosfato, polares, que interagem bem com a parte de dentro e com a parte de fora, mas no meio da membrana é de lipídeos né? Apolar então... Acho que pra proteína ta bem interagida lá no meio, acho que ela, os aminoácidos dela precisam ter grupamentos apolares também.” (8)

“Estrutural tem o colágeno que eu já falei né? E agora eu não to conseguindo me lembrar de outras. Movimentos coordenados, eu não entendi, mas se for movimento, tipo de músculo, então seria a contração muscular né? Actina e miosina que eu já falei. Catálise é... As enzimas em si, qualquer enzima lactase, amilase, qualquer enzima, a maioria das enzimas são proteínas né? E tem função de catálise... E transporte... Acho que a única proteína de transporte que eu consigo me lembrar agora é a hemoglobina que transporta CO₂ e O₂ pelo sangue, pulmão, passa pelo corpo, coração etc... E sinalização eu não me lembro de nenhuma...” (10)

continua

conclusão

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 21 - Desenho feito pelo aluno A4 na resposta 2 do pré-teste para representar o funcionamento de um proteína.

Subtema: Modelos

Figura 22 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A4 referente à questão 3 do pré-teste.

O aluno montou três modelos. No primeiro (colar de contas) cada miçanga representava um aminoácido, seu intuito ao montar este modelo era mostrar que a proteína é um polímero orgânico formada de aminoácidos diferentes, aqui representados pelas cores das diferentes miçangas. Seu segundo modelo, o modelo tridimensional, foi montado para mostrar a ligação peptídica entre dois aminoácidos. A bolinha de isopor representa o carbono assimétrico, a bolinha branca de massinha o hidrogênio, a bolinha azul representa o grupo amina, a bolinha marrom o grupo carboxila e o palito entre essas bolinhas, a ligação peptídica. Quando indagado se poderia montar uma estrutura secundária, montou uma estrutura em hélice, mas disse que não se lembrava do nome e posteriormente afirmou que se lembrava dessa estrutura, pois os slides do professor que ministrou essa matéria eram bastante ilustrativos. (3)

Quadro 8 - Respostas do aluno A4 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

A respeito do tema **Proteínas: estrutura e síntese** o aluno A4 soube definir corretamente proteína o que pode ser notado através da resposta 1 *Uma proteína é um polímero orgânico, formado por monômeros chamados de aminoácidos (possui grupamentos amina e carboxila).* O aluno demonstrou que conhecia a estrutura dos

aminoácidos, porém desconhecia a existência de 20 tipos de aminoácidos diferentes quando mencionou nas respostas 4 e 5 que os radicais poderiam ser quaisquer grupamentos orgânicos, conforme trecho da resposta 4 - “a quarta valência livre é qualquer grupamento orgânico que pode diferenciar, que diferencia os aminoácidos um do outro”.

A respeito da Síntese proteica, o aluno mostrou em suas respostas 7 e 9 conhecer o processo; porém, ao falar sobre o mRNA o aluno sempre frisava que sua sequência era complementar a do gene e não a mesma informação contida no gene, revelando que não possui esses conceitos bem consolidados.

A respeito do tema **Estrutura/função** na resposta 10 o aluno considerou várias funções diferentes que as proteínas poderiam ter: estrutural, dando o exemplo do colágeno; movimentos coordenados, dando o exemplo de proteínas envolvidas com a contração muscular como a actina e miosina; catálise, dando exemplo de enzimas como a amilase e lactase; e de transporte, dando o exemplo da hemoglobina. Ele considerou as propriedades químicas dos aminoácidos relacionando a presença de aminoácidos polares ou apolares ao meio em que estes se encontravam. Porém, o aluno mostrou não ter bem definido o conceito de estrutura primária, secundária e terciária, quando disse na resposta 6 “dependendo da função da proteína é melhor ter uma estrutura né? Terciária, secundária, primária, dependendo da função que ela vai ter, cada estrutura funciona melhor”.

Com relação ao tema **Representações** o aluno exibiu na resposta 2, relativa ao funcionamento da proteína, um desenho (Figura 21) do tipo chave-fechadura para mostrar o sítio catalítico de uma enzima e um desenho processual das proteínas envolvidas na contração muscular. Com relação à montagem de modelos táteis com material de baixo custo, o aluno montou três modelos (Figura 22): um colar de contas, representando a estrutura primária, um tridimensional representando a ligação peptídica entre dois aminoácidos e um tridimensional representando uma estrutura secundária que ele não se recordava o nome (era uma hélice alfa).

4.2.1.5 Pré-teste da aluna A5

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Definição/Estrutura de proteína <i>cadeias de AA ligadas por ligações peptídicas que carrega uma informação transcrita pelo DNA.</i>(1)</p> <p>“Então, a estrutura pode ser primária, quando ela tem uma sequência de aminoácidos e tridimensional, quando ela tem sua conformação tridimensional já... Tem a secundária e a terciária, aí está ligada às partes do enovelamento. Primeiro a secundária, quando ela começa a se dobrar, a terciária ela tem já as interações e a tridimensional, as vezes, que eu já classificada como quaternária já tem outras cadeias já estabelecendo as interações também.”(4)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido “Um aminoácido é como se fosse um monômero, ele é um monômero da proteína e ele tem várias partes funcionais assim a parte funcional dele está ligada a cadeia (parte incompreendida-) não sei se posso me referir assim ela pode ser polar ou apolar está relacionada a carga e ao grupo funcional que tem, pode ser um grupo funcional carboxílico, amino terminal pode ser... Um outro... Não, só pode ser um desses dois.” (5)</p> <p>Subtema: Síntese proteica “Primeiro a síntese de proteína, o primeiro processo vai ser na tradução do código genético. A informação vai estar no DNA e esse DNA vai se abrir, vai vir um RNA mensageiro copiar a informação do DNA no processo de tradução. No segundo processo vai vim a transcrição. Quando esse RNA mensageiro contendo a informação do DNA ele vai ser transcrito na forma de uma proteína pelo ribossomo... O RNA formando uma proteína.” (7)</p>

<p>Figura 23 - Desenho feito pela aluna A5 na resposta 7 do pré-teste para representar o processo de síntese de proteínas.</p> <p>No gene, código genético, contém a informação presente no DNA que é transcrita no RNA para a síntese de proteína. (9)</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
<p>Subtema: Relação estrutura/função “Então, a função dela é estabelecida pela estrutura tridimensional. Só vai desenvolver determinada função se ela estiver na conformação correta. ... Não sei...Porque ela tem uma... A proteína é formada, tem sua sequência, aí ela tem uma chaperona para determinar a conformação dela, aí essa conformação tá na informação da proteína também dentro da informação dela, mas assim específico eu não sei... Não sei explicar.” (6)</p>

continua

continuação

Subtema: Exemplos estrutura/função

“Ah tá! São aminoácidos polares que vão interagir com a parte hidrofílica da proteína da membrana. Então, porque na transmembrânica, por exemplo, vai formar um canal e essa proteína vai ser transportada através desse canal e a face do canal vai ser também hidrofílica da proteína de membrana e vai interagir com as moléculas polares que vão passar por ali, a parte é hidrofóbica vai tá na própria proteína de membrana interagindo na face que ela tá na bicamada.” (8)

“Na catálise tem, por exemplo, as enzimas que são proteínas também e está relacionada às reações a catálise enzimática... Então, vamos supor transporte, têm as proteínas de membrana que são transportadoras elas vão intermediar o transporte do meio extracelular para o meio intracelular de substâncias... É... Então, movimentos coordenados também, eu tenho actina e miosina que são proteínas e elas, no movimento estrutural delas, elas tem um movimento... Que de deslizamento... Não sei se é nesse sentido, que uma desliza sobre a outra através de um estímulo, enfim, e acontece a contração muscular. E estrutural, pode ser, não sei se eu posso falar que o citoesqueleto é uma parte da proteína, não sei, mas tem proteína com função estrutural também, de reconhecimento ou... Do citoesqueleto... Não sei se eu posso falar isso...” (10)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 24 - Desenho feito pela aluna A5 na resposta 4 do pré-teste para representar o funcionamento de um proteína.

“Ela tem várias cadeias, e interage com outras proteínas de membrana”. (2)

continua

conclusão

Subtema: Modelos

Figura 25 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A5 referente à questão 2 do pós-teste, representando a estrutura primária da proteína.

A aluna montou dois modelos, o primeiro em amarelo representa primeiramente a estrutura primária de uma proteína e, ao dobrar o modelo, ela diz que sua proteína é mantida por ligações dissulfeto e também eletrostáticas, interações entre os aminoácidos, e que o enovelamento correto determina a função da sua proteína.

Figura 26 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A5 referente à questão 2 do pós-teste, representando aminoácidos e ligações peptídicas.

Quando foi pedido para a que a aluna montasse um modelo que mostrasse as ligações peptídicas ela optou por dispor miçangas sobre a mesa para representar os aminoácidos e a massinha amarela representa a ligação peptídica que se dá entre uma região amino terminal e uma região carboxi terminal.

Quadro 9 - Respostas da aluna A5 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

A respeito do tema **Proteínas: estrutura e síntese** apesar da aluna A5 definir proteína como “*cadeia de aminoácidos ligadas por ligações peptídicas*” na resposta 1, a aluna mostrou uma definição confusa de aminoácido na resposta 5 “Um aminoácido é como se fosse um monômero, ele é um monomêro da proteína e ele tem várias partes funcionais assim a parte funcional dele está ligada à cadeia (parte incompreendida-) não sei se posso me referir assim, ela pode ser polar ou apolar, está relacionada à carga e ao grupo funcional que tem, pode ser um grupo funcional carboxílico, amino terminal pode ser... Um outro... Não, só pode ser um desses dois”. Além disso, através da resposta 4 - “ (...)Tem a secundária e a terciária, aí está ligada às partes do enovelamento. Primeiro a secundária, quando ela começa a se dobrar, a terciária ela tem já as interações e a tridimensional, as vezes, que eu já classificada como quaternária já tem outras cadeias já estabelecendo as interações também” - aluna mostrou confusão na definição/distinção entre as estruturas primária, secundária e terciária, o que evidenciou ela não ter esses conceitos bem estabelecidos. A respeito da síntese proteica, a aluna confundiu os processos de transcrição e tradução (Figura 23), conforme a resposta 7 - “(...) o primeiro processo

vai ser na tradução do código genético. A informação vai estar no DNA e esse DNA vai se abrir, vai vir um RNA mensageiro copiar a informação do DNA no processo de tradução. No segundo processo vai vim a transcrição (...).”

A respeito do tema **Estrutura/função**, apesar de ter definido aminoácido de maneira confusa (ver resposta 5), a aluna demonstrou conhecer as propriedades químicas dos aminoácidos, como pode ser notado em sua resposta 8, sobre quais aminoácidos seriam encontrados em uma proteína de membrana - “(...)São aminoácidos polares que vão interagir com a parte hidrofílica da proteína da membrana (...) a parte é hidrofóbica vai tá na própria proteína de membrana interagindo na face que ela tá na bicamada”. Quando foi pedido para que a aluna estabelecesse uma relação entre estrutura e função de proteínas, ela deu uma resposta confusa e inconclusiva, quando tentou relacionar a estrutura tridimensional da proteína ao que a aluna chama de sequência (referindo-se à estrutura primária), como se pode notar em sua resposta 6 - “Então, a função dela é estabelecida pela estrutura tridimensional. Só vai desenvolver determinada função se ela estiver na conformação correta. Não sei...Porque ela tem uma... A proteína é formada, tem sua sequência, aí ela tem uma chaperona para determinar a conformação dela, aí essa conformação tá na informação da proteína também dentro da informação dela, mas assim específico eu não sei... Não sei explicar”. Na resposta 10 a aluna considerou que a proteína desempenhava as funções de catálise (dando exemplo das enzimas), transporte (dando o exemplo de proteínas de membrana), movimentos coordenados (dando exemplo da actina e miosina) e estrutural (dando exemplo do citoesqueleto).

Com relação ao tema **Representações**, a aluna exibiu na resposta 2 (relativa ao funcionamento da proteína) um desenho do tipo processual, de proteínas de membrana interagindo entre si (Figura 24). Com relação à montagem de modelos táteis com material de baixo custo, a aluna representou poucos conceitos em suas montagens. Na primeira (Figura 25), montou uma estrutura enrolada e disse que ali havia várias interações ocorrendo, como interações eletrostáticas e pontes de hidrogênio. Porém quando foi pedido que a aluna montasse um modelo que mostrasse alguma interação, como por exemplo, a ligação peptídica, ela dispôs as miçangas designadas como aminoácidos sobre a mesa e utilizou a massinha para representar a ligação peptídica entre os aminoácidos (Figura 26), montando modelo tipo colar de contas. Em ambas as montagens a aluna não relacionou com clareza

as representações feitas aos termos científicos levantados durante a montagem dos modelos.

4.2.1.6 Pré-teste da aluna A6

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Definição/Estrutura de proteína</p> <p><i>Proteína é uma estrutura especializada da célula, proveniente do DNA que realiza inúmeras funções. Um tipo de proteína como a enzima, catalisadora biológica das células presentes desde reações metabólicas até na digestão. Servem para o enovelamento do DNA, seriam as histonas, como fibras de sustentação, seria o colágeno.</i> (1)</p> <p>“Ela pode ser globular, que seria mesmo um glóbulo. Mais ou menos com várias estruturas terciárias enroladas entre si... Quaternária... Entre a estrutura primária, ia ser as ligações peptídicas. Aí depois tem hidrogênio, ligações de hidrogênio, pode ter pontes dissulfeto. E pode ser que tenha um íon no meio da proteína pra estabilizar as cargas e isso pode ajudar na estrutura também, seria força iônica, dipolo. Acho que mais pontes de hidrogênio entre uma estrutura secundária, por exemplo, entre a hélice ou entre as folhas, ou só enrolamento mesmo. É mais ponte de hidrogênio e dissulfeto.” (4)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <p>“Aminoácido seria um conjunto de bases. Adenina, timina, citosina e guanina. E qual? Grupos funcionais seriam os tipos? Tipo: glicina, prolina, não seria isso? É eu sei... Bom, aminoácido é um conjunto de bases.” (5)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p>

continua

continuação

Inicialmente, a síntese protéica inicia-se no DNA. Como ele é uma fita dupla hélice são necessárias um diverso e inúmero aparato enzimático para que a proteína se forme. Primeiro há desenovelamento da fita dupla, a helicase quebra as ligações entre as duas fitas para que outra enzima venha e inicie a transcrição das duas fitas. Uma fita nova é transcrita complementar à outra fita velha. Quem faz a transcrição propriamente dita é a DNA polimerase III (existem outras duas, I e II) durante a transcrição há enzimas que estabilizam a “fita velha” para que não se enovele durante a transcrição, outras que repara caso ocorra mudança de bases. Uma fita é transcrita continuamente, enquanto a outra, por estar invertida, é transcrita descontinuadamente. Após o término da transcrição, a RNA polimerase encarrega-se de pegar uma das fitas novas (bases timina são trocadas por uracila pois agora trata-se de uma fita de mRNA) e começa a tradução há ajuda do tRNA (RNA transportador) e rRNA (RNA ribossômico) para tradução, síntese protéica a partir de mRNA. Após o término da tradução há modificações para que ocorra o funcionamento da nova proteína como adição da cauda de poli A, entre outros. (7)

Figura 27 - Desenho feito pela aluna A6 durante a resposta 9 do pré-teste para relacionar quatro palavras: gene, DNA, RNA e proteínas.

ESTRUTURA / FUNÇÃO

Subtema: Relação estrutura/função

“A estrutura ajuda na função. Dependendo do tipo que ela é formada, ela tem uma função diferente... Ai, a enzima. É... Que nem a enzima tem o... O... Ai desculpa... O sitio de ligação, é bem específico a interação entre a enzima e o substrato. Então ela tem que ter o formato específico para o substrato poder se ligar a ela exatamente, aquele substrato, pra acontecer uma reação.” (6)

continua

continuação

Subtema: Exemplos estrutura/função

“Aminoácidos hidrofóbicos, exatamente quais são eu não lembro... Ao redor, ao redor da proteína. Porque a membrana plasmática ela tem... Por fora ela é apolar e no meio ela é polar. Então seriam os aminoácidos... Se ela é transmembrana, mais ou menos no meio seriam hidrofílicos, e externamente eles poderiam ser hidrofóbicos. Não, mais por dentro seria hidrofóbico e por fora também. Eu também estou pensando na membrana plasmática, que tem as cabeças hidrofóbicas, não, hidrofílicas. E no meio não... Nossa! É cauda apolar e a cabeça é hidrofílica! É, no meio é apolar. Então no meio seriam as cadeias hidrofóbicas, e externamente hidrofílicas” (8)

“A sinalização ela precisa dos açúcares, eles vão ajudar na sinalização também... Movimentos coordenados também por causa do citoesqueleto do... Que nem mitose e meiose tem que ter as fibras do fuso, elas são proteínas. Ah... catálise, as enzimas, para a própria transcrição existe enzimas para fazer a transcrição do DNA, no metabolismo, tem várias enzimas que... Ajudam a... Tem n, tem as enzimas da respiração que nem o exocitases, quinases... Estrutural seria o colágeno da pele? Transporte... Hum... Ah! Hemoglobina!” (10)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 28 - Desenho feito pela aluna A6 durante a resposta 2 do pré-teste para representar a estrutura das proteínas.

O desenho feito pela aluna não representa o funcionamento de nenhuma proteína, mas mostra a estrutura. (2)

continua

conclusão

Subtema: Modelos

Figura 29 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A6 referente à questão 3 do pré-teste, representando a estrutura primária de proteína.

A aluna montou dois modelos. No primeiro, o colar de contas (Figura 29), ela representou uma estrutura primária utilizando cada bolinha de cor diferente para representar o que ela indicou como “base”¹⁵. Quando perguntada sobre onde se localizaria uma ligação peptídica no seu modelo, ela disse que entre as bolinhas, que poderia representá-la com uma bolinha menor que as demais. Ao terminar o colar de contas, ela quis dobrá-lo para montar uma estrutura secundária, então tentou utilizar massinha para representar as interações que ocorrem entre as voltas da estrutura secundária em hélice que segundo a aluna são pontes de hidrogênio e forças de dipolo.

Figura 30 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A6 referente à questão 3 do pré-teste, representando estruturas secundária e terciária de proteína.

Para representar a estrutura secundária, a aluna montou um modelo tridimensional (Figura 30). As espirais em massinha representam hélices alfa, estruturas secundárias mantidas por interações (pontes de hidrogênio e forças de dipolo) representadas em marrom. Ao juntar as duas hélices, disse que o modelo representava uma estrutura terciária.

Quadro 10 - Respostas da aluna A6 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

A respeito do tema **Proteína: Estrutura e Síntese** a aluna definiu proteínas em termos de suas funções, como a de catalisadores biológicos, estrutural (como as histonas, servindo para o enovelamento de DNA) e como fibras de sustentação (colágeno). Pela resposta 7 notou-se que a aluna confundiu os processos de transcrição e replicação, o que fica evidente no trecho *Quem faz a transcrição*

¹⁵ O termo “base” refere-se ao aminoácido, a aluna confundiu os monômeros de proteína e DNA.

propriamente dita é a DNA polimerase III (existem outras duas, I e II) durante a transcrição há enzimas que estabilizam a “fita velha” para que não se enovele durante a transcrição, outras que repara caso ocorra mudança de bases. Uma fita é transcrita continuamente, enquanto a outra, por estar invertida, é transcrita descontinuadamente. Através da análise da resposta 4, a aluna mostrou que conhecia as interações e ligações que mantém a estrutura das proteínas. A respeito da definição de aminoácido, notou-se que a aluna confundiu esse monômero com nucleotídeos o que fica evidente em sua resposta “Aminoácido seria um conjunto de bases. Adenina, timina, citosina e guanina” (resposta 5).

Apesar de não ter definido corretamente o conceito de aminoácido como discutido acima, a aluna demonstrou conhecer suas propriedades químicas, o que pode ser notado ao se analisar a resposta 8 do tema **Estrutura/função**, na qual a aluna considerou aminoácidos hidrofóbicos/hidrofílicos em diferentes posições de uma proteína de membrana. Quando questionada sobre a relação estrutura/função de proteína, a aluna A6 relacionou a função da macromolécula com o formato da mesma, o que pode ser notado através do trecho destacado da resposta 6 “ela¹⁶ tem que ter o formato específico para o substrato poder se ligar a ela exatamente, aquele substrato, pra acontecer uma reação”. Com relação às funções que a proteína desempenhava, a aluna elegeu a sinalização (sem dar exemplos), os movimentos coordenados (fibras do fuso e citoesqueleto), a catálise (dando exemplos de enzimas como exocilases e quinases), a estrutural (colágeno) e o transporte (hemoglobina).

Com relação ao tema **Representações**, a aluna desenhou (Figura 28) estruturas de proteína (tipos de enovelamento – estrutura primária, secundária e terciária) ao invés de representar uma proteína interagindo com outras moléculas. Quanto aos modelos táteis montados pela aluna com material de baixo custo, ela montou inicialmente um colar de contas (Figura 29) e manteve a definição de aminoácidos dada na resposta 5, onde fez confusão com DNA. Ela tentou enovelar esse modelo montado, mas o julgou instável e resolveu montar, com massinha, estruturas secundárias para representar hélices alfa, e, unindo as estruturas, representou uma estrutura terciária (Figura 30).

¹⁶ Referindo-se à enzima.

4.2.1.7 Pré-teste do aluno A7

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
Subtema: Definição/Estrutura de proteína <i>Uma proteína é um polipeptídeo, cujos constituintes básicos são os aminoácidos. Esses são de 20 diferentes tipos com propriedades particulares de cadeia lateral, eles são carregados positivamente quanto negativamente ou não carregados. A sequência da estrutura primária contém as informações necessárias, que faz com que cada proteína seja diferente. Há ainda a estrutura secundária com as fitas β e hélices α e a estrutura terciária é a proteína enovelada, temos também estruturas quaternárias são como arranjos de estrutura terciária. A estrutura terciária (enovelada) contém a informação de sua função espacialmente. (1)</i> “Ela tá organizada por ligações covalentes peptídicas né? Entre os aminoácidos... É... por efeito hidrofóbico, como eu tinha dito, os grupos carregados são expostos e os não carregados apolares são voltados por colapso hidrofóbico pra dentro dela e ela vai se enovelando com essas interações com o ambiente... Qual era o resto da pergunta? ...Pode ser globulares, pode ser lineares não é? Mas o que a gente mais vê é meio globular né? Não chega a ser totalmente globular, elas tem suas imperfeições. Não é uma estrutura fácil de ver.” (4)
Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido “Um aminoácido possui... Ele é composto por um carbono com quatro ligações, sendo que uma é ligada a um hidrogênio covalentemente, uma é um... Uma ponta amina, a outra é uma carboxi... Uma carboxila ligada ao carbono e a gente vai ter uma variação na última que é a cadeia lateral...” (5)

continua

continuação

Subtema: Síntese proteica

Figura 31 - Esquema feito pelo aluno A7 na resposta 7 do pré-teste para representar o processo de síntese de proteínas.

“Dogma central da Biologia... Pronto” (7)

GENE = local no qual há uma informação sobre a sequência de uma proteína.

DNA = conjunto de genes e regiões respectivas com A, T, C e G.

RNA = molécula que transfere a informação do DNA para o núcleo

Proteína = informação traduzida do gene sob a forma de aminoácidos (9)

ESTRUTURA / FUNÇÃO

continua

continuação

Subtema: Relação estrutura/função

“Vou dar exemplo de uma enzima, uma enzima é uma proteína, mas nem toda enzima é proteína, porque a gente tem outros tipos também de enzima. É... se a gente pensasse no formato de um lego... O lego ele tem partes que se encaixam e partes que não se encaixam. É... Se for uma parte que se encaixa, mas que for muito grande, ela não vai entrar. Mas se for muito pequena, ela também não vai encaixar. Tem que ser do tamanho correto pra se acomodar na enzima e ela poder realizar sua função. Então a sua função está relacionada diretamente ao seu formato, que possa acomodar o substrato e possa realizar a reação mais rapidamente. A gente tem as amilases que degradam carboidratos.” (6)

Subtema: Exemplos estrutura/função

“Tive prova essa semana¹⁷ (risos) A gente tem proteínas, ou enzimas, unipasso e multipasso. Unipasso ela vai ter uma região hidrofóbica, que a bicamada apresenta uma parte polar e uma parte apolar no meio dela, pra célula ser permeável. Então pra proteína conseguir ficar na membrana ela tem que ter interação com essa parte hidrofóbica, então ela vai ter diferentes tipos de aminoácidos... Então serão selecionados aminoácidos hidrofóbicos para que consigam interagir com essa parte da membrana, por interações de Van der Waals e hidrofóbica, pra deixar ela... Como eu posso dizer? Estabilizada.” (8)

“Estrutural por causa da actina e miosina que a gente encontra nos músculos e da movimentação através da hidrólise do ATP para que eles sejam movimentados e gera a contração muscular. A catálise né? Pra ajudar a degradar moléculas como glicose e outras coisas e gerar energia pra célula e pra gente né? Transporte... Movimentos coordenados eu não sei se eu posso falar do metabolismo, onde a enzima pode ser fosforilada, uma quinase ou fosfatada, pra ter uma rota metabólica certa. Transporte e sinalização... Temos proteínas de sinalização que são hormônios, que amplificam o sinal às vezes, que dão o sinal que a célula e que o nosso corpo precisa. Eu me lembro de um hormônio, mas não tenho certeza se é uma proteína. Tem epinefrina e glucagon, eu não lembro mas glucagon acho que age no pâncreas e a epinefrina eu não sei. Acho que só esses dois... E transporte... Não... Através de vesículas, temos uma capa proteica que sai do retículo endoplasmática que forma essa capas proteica que forma ela e depois você vai ter uma outra proteína que vai clivar essa proteína para que ela vá pelo complexo de Golgi.” (10)

REPRESENTAÇÕES

continua

¹⁷ Resposta contaminada pela prova.

conclusão

Subtema: Funcionamento

Figura 32 - Esquema feito pelo aluno A7 na resposta 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

“Ela tem uma parte estrutural. Ela pode estar no citoesqueleto da célula, é como se tivesse uma célula aqui (desenhando). E tivesse várias se interconectando. Pra formar a célula em si... O formato. Poderia por umas organelas aqui... Que ela está meio que junto.” (2)

Subtema: Modelos

O aluno montou dois modelos. O primeiro, tipo colar de contas (Figura 48a), era composto por miçangas de cores diferentes que representavam os aminoácidos que possuíam diferentes cadeias laterais, porém o aluno disse que não teria como representar as “pontas” c e n terminal, que dariam o sentido à molécula, essas pontas estariam presentes na ligação peptídica.

Figura 33 - a: Modelo tátil proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A7 referente à questão 3 do pré-teste, representando estrutura primária e b: representando estrutura secundária de uma proteína.

Quando perguntado se poderia montar outros tipos de estrutura ele disse que com a espiral de um caderno poderia montar uma hélice alfa e com massinha poderia montar uma folha beta (Figura 48b). Ele então montou um modelo tridimensional de uma folha beta antiparalela, em que as bolinhas representavam os aminoácidos e a tira vermelha representava um “turn” (volta).

Quando questionado se poderia montar uma hélice alfa, ele pegou o fio de nylon e miçanga e foi dando nós de forma que as bolinhas se alinhassem em hélice. “Os aminoácidos não ficam um do lado do outro certinho. Então vai ter cadeias laterais maiores, que tá representado aqui, tem as menores, como tem diferentes cores, pode ser representado diferentes aminoácidos e tamanho também né? Porque mostra um de cadeia maior, de cadeia menor... Essas coisas assim. E o jeito dele ficar né? De lado exposto. No caso, como é uma proteína, a gente pode pensar que ela vai tá com seus grupos carregados positivamente voltados pro exterior né? Em contato com a água. O efeito hidrofóbico, essas coisas, que fazem que a parte polar, apolar fique voltado pro meio... É isso essas hélices alfa.” (3)

Quadro 11 - Respostas do aluno A7 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Referente ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese**, o aluno definiu proteínas em termos de aminoácidos e falou de estrutura primária, secundária e terciária. Quando perguntado sobre a organização física dessa macromolécula, o aluno mencionou as ligações peptídicas entre os aminoácidos e o colapso hidrofóbico como interações presentes nas proteínas responsáveis pelo seu enovelamento. Ao definir aminoácido na resposta 5, o aluno utilizou os termos “ponta amina” para se referir ao grupo funcional amina e “ponta carboxila” para se referir ao grupo funcional carboxila, termos esses que são normalmente utilizados para se referir às extremidades n-terminal e carboxi-terminal de uma proteína.

A respeito da Síntese proteica, apesar de apresentar um esquema correto sobre as etapas deste processo, incluindo o fenômeno de *splicing* (Figura 31), o aluno confundiu-se ao definir RNA como *molécula que transfere a informação do DNA para o núcleo*¹⁸ (resposta 9), provavelmente querendo dizer citoplasma ao invés de núcleo.

Considerando o tema **Estrutura/Função**, inicialmente o aluno relacionou apenas o formato espacial da proteína à sua função, fazendo analogia ao brinquedo comercial Lego (resposta 6); entretanto, ao responder a pergunta 8 (referente à quais aminoácidos esperaria encontrar na estrutura de uma proteína de membrana), ele afirmou que as propriedades químicas dos aminoácidos interferiam na estabilidade da estrutura da proteína..

Na resposta 10, em que era solicitado ao aluno escolher e justificar entre algumas funções de macromoléculas, quais eram funções de proteína, o aluno indicou as seguintes funções: estrutural, dando o exemplo da actina e miosina, proteínas envolvidas na contração muscular; catálise, dando o exemplo da degradação das moléculas de glicose; transporte, dando o exemplo de vesículas e sinalização, dando o exemplo dos hormônios.

Considerando o tema **Representações** o aluno mostrou dificuldade em representar uma proteína interagindo com outras moléculas/estruturas e fez um desenho estático (Figura 32) da actina e miosina, para representar sua função estrutural na célula (resposta 2, sobre funcionamento de proteínas). Durante a

¹⁸ Grifo nosso.

montagem dos modelos táteis de proteína com materiais de baixo custo, o aluno mostrou que conhecia as estruturas secundárias, folhas beta e hélices alfa, montando de forma coerente modelos nos quais utilizou massinha e miçangas (Figuras 33a e 33b).

4.2.1.8 Pré-teste da aluna A8

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Definição/Estrutura de proteína</p> <p><i>Uma proteína é uma sequência de aminoácidos que se enovela de uma determinada forma e possui uma determinada sequência para cumprir uma função na célula. (1)</i></p> <p>“De muitas maneiras... É como eu fiz ali, numa hélice, ou várias hélices juntas, na verdade uma proteína costuma ser grande, são difíceis proteínas muito pequenas... Então ela tá sempre enovelada, só que formando um formato que sirva pra função dela. Como um tipo de canal, ou uma região mais hidrofóbica.” (4)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <p>“É... Tem um ácido carboxílico e uma amina... E... Um aminoácido é a menor unidade que vai formar a proteína, você junta vários pra formar uma proteína, ele tem carbono, ele pode ser de vários tamanhos, mas sempre uma ponta tem amina e outra tem ácido carboxílico. Ah, nas outras pontas pode ter todos os outros grupos funcionais, pode ter metil, não só um metil, mas pode ter metil e uma cadeia maior de carbonos... Nas outras ligações...” (5)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p> <p><i>O DNA que está no núcleo serve para a síntese de RNAm, determinados trechos do material genético é desenovelado e a fita de RNAm é sintetizada; esse processo é conhecido como transcrição. O mRNA será levado ao citosol e se ligará ao ribossomo para traduzir sequência, cada três códigos da sequência de RNAm representa um aminoácido, o tRNA identifica esse códon e relaciona o aminoácido. Nesse complexo, (mRNA, tRNA, ribossomo) a proteína vai sendo feita através da união de aminoácidos por ligações peptídicas, processo chamado de tradução. Depois dessas etapas a proteína se enovela. (7)</i></p> <p><i>O gene está contido no DNA e servirá de molde para a construção de mRNAs os quais serão traduzidos em proteínas.(9)</i></p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
<p>Subtema: Relação estrutura/função</p> <p>“Ah... A estrutura dela determina a função... Ela precisa ter uma estrutura certa, pra cumprir aquela função, se não... Ah, como eu desenhei aqui, ela precisa ter o tamanho certo, e ter os aminoácidos certos aqui pra interagir com a molécula que ela vai transportar. E aí ela tem que ter essa estrutura se não ela não consegue reconhecer a substância que ela tem que transportar.” (6)</p> <p>Subtema: Exemplos estrutura/função</p> <p>“Ah... Esperaria encontrar nessa região mais perto da membrana, que está em contato com a membrana, aminoácidos apolares, hidrofóbicos. Dependendo da função da proteína e da molécula que ela vai transportar que provavelmente é polar, teriam que ser aminoácidos que interajam com essa substância, com essa molécula, então aqui teria que ser polar e aqui nas pontas também por ela ser transmembrana, pra interagir com o meio aquoso, seria polar também.” (8)</p> <p>“Transporte, porque como eu tinha desenhado, ela ajuda a transportar moléculas pela membrana. Catálise, porque as enzimas que catalisam reações são proteínas, amilase salivar... São proteínas que são enzimas... Acho que só...” (10)</p>

continua

continuação

Figura 34 - Desenho feito pela aluna A8 na resposta 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína

Subtema: Modelos

Figura 35 - a: Modelo tátil proteína montado com materiais de baixo custo feito pela aluna A8 referente à questão 3 do pré-teste, representando estrutura secundária de uma proteína e b: representando os átomos de uma ligação peptídica.

A aluna montou dois modelos, sendo o primeiro um modelo tridimensional de uma hélice alfa (Figura 52a), em que a massinha deu o formato ou posição em que as bolinhas (aminoácidos) estavam posicionadas. Quando perguntada se daria para representar uma ligação peptídica, ela montou o segundo modelo (Figura 52b): dispôs as miçangas sobre a mesa, as bolinhas de cor rosa claro representando os átomos de carbono, as de cor azul escuro, o nitrogênio, as transparentes, hidrogênio, e as de cor rosa escuro, o oxigênio. A ligação peptídica nesse modelo foi representada pela bolinha de cor azul claro.

Quadro 12 - Respostas da aluna A8 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

A respeito do tema **Proteína - Estrutura e Síntese** a aluna A8, na resposta 1, define proteína em termos de *sequência de aminoácidos que se enovela de uma determinada forma e possui uma determinada sequência para cumprir uma função na célula*. Porém notou-se através da resposta 5 que a aluna exibiu confusão ao tentar definir aminoácido, atribuindo a esse monômero uma característica do

polipeptídeo - “ele tem carbono, ele pode ser de vários tamanhos, mas sempre uma ponta tem amina e outra tem ácido carboxílico¹⁹ Ah, nas outras pontas pode ter todos os outros grupos funcionais, pode ter metil, não só um metil, mas pode ter metil e uma cadeia maior de carbonos... Nas outras ligações...”. A respeito da Síntese proteica a aluna descreveu o processo de maneira correta (repostas 7 e 9).

A respeito do tema **Estrutura/Função**, a aluna mencionou que o formato e a composição da proteína influenciariam na sua função, como se pode notar no trecho destacado da resposta 6 - “ela precisa ter o tamanho certo, e ter os aminoácidos certos aqui pra interagir com a molécula que ela vai transportar”. A aluna também considerou que as propriedades químicas dos aminoácidos estão relacionadas à função das proteínas, como pode se notar no trecho da resposta 8 - “Dependendo da função da proteína e da molécula que ela vai transportar que provavelmente é polar, teriam que ser aminoácidos que interajam com essa substância, com essa molécula, então aqui teria que ser polar e aqui nas pontas também por ela ser transmembrana, pra interagir com o meio aquoso”. Na resposta 10, a aluna atribuiu às proteínas, as funções de transporte, mencionando o exemplo por ela desenhado de uma proteína de canal, e de catálise, falando da amilase salivar.

A respeito do tema **Representações** a aluna desenhou uma proteína formadora de poro em um desenho processual (Figura 34). Além disso, montou um modelo de proteína representando uma hélice alfa (Figura 35a) e, quando perguntada se poderia representar a ligação peptídica entre dois aminoácidos, ela dispôs as miçangas sobre a mesa (Figura 35b), falando que cada uma representaria um átomo dos grupos funcionais envolvidos na ligação peptídica, representando carbono, nitrogênio e hidrogênio.

¹⁹ Grifo nosso

4.2.1.9 Pré-teste da aluna A9

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
Subtema: Definição/Estrutura de proteína
<p>Uma proteína é um composto de aminoácidos ligados por ligações peptídicas, essa cadeia pode estar linear (proteína primária) ou pode enovelar-se (2ária, 3ária, 4ária). Na proteína primária contém as informações no enovelamento e na 3ária sua função.</p>
(1)
<p>“Eu acho que... Bom eu ia entrar na química, mas é melhor pra mim a física. Acho que pelas ligações peptídicas, as forças de Van der Waals, as interações hidrofóbicas também, elas fazem é... As ligações... Entre os amino... isso na primária. Na secundária os aminoácidos vão se retorcer um pouquinho pra fazer a hélice alfa, com as ligações de hidrogênio né? Agora na terciária eu não lembro...” (4)</p>
Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido
<p>“Bom, o aminoácido pra mim é uma molécula... que ele tem um radical R, que pode ser carregado, não carregado, e também tem os grupos funcionais que seria a parte amina e a parte que seria o ácido carboxílico, o próprio nome já diz é aminoácido.” (5)</p>
Subtema: Síntese proteica

<p>Figura 36 - Esquema feito pela aluna A9 na resposta 7 do pré-teste para representar o processo de síntese de proteínas.</p>
<p>A proteína é sintetizada a partir de um gene localizado no DNA e transcrito pelo RNA. (9)</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
Subtema: Relação estrutura/função
<p>“Segundo o que eu aprendi que foi de uma forma extremamente sucinta é que a função da proteína está intrinsecamente ligada à sua estrutura. Tanto que quando a gente tem febre ela desnatura e perde sua função né? Quando aumenta a temperatura... Da hemoglobina, que são quatro grupos hemes... da estrutura quaternária, a função dele é transporte de gases no organismo, transporte mediante efeito de controle pelo pH também... Não tem a ver com o pH, tem? Mas eu esqueci o nome... Tanto que quando abaixa o pH, tem uma parte relaxada, tem uma parte tensa... Que a parte tensa tem mais afinidade com ácido carboxílico e a parte relaxada com o oxigênio e aí faz um troca bem legal assim...” (6)</p>

continua

continuação

Subtema: Exemplos estrutura/função

“Bom eu acho que na parte de fora tinha que ser hidrofóbico, porque a bicamada no meio... Agora eu estou confundindo... Porque a cabeça... Certo... Suponhamos que seja aquela proteína de canal²⁰ então a parte de fora tinha que ser hidrofóbica e a parte de dentro mais hidrofílica, para a passagem de moléculas que seriam barradas pela bicamada lipídica.” (8)

“A estrutural... Não lembro o nome da proteína... Lignina... Ah, estrutural pode ser o colágeno. A catálise geralmente é proteína, mas não sei... Para mim sempre é proteína, não sei se existe outro tipo de molécula que seja catalítica, acredito que sim, alguns íons são, mas a maioria são proteínas e elas aceleram a reação sem fazer parte da reação química. De transporte tem a hemoglobina, de transporte de gases. Sinalização tem as proteínas de sinalização da bicamada lipídica da membrana e de movimentos coordenados eu chutaria as vesículas que elas têm dentro proteína né? Mesmo... Para mim proteína de canal é proteína de transporte também, que leva uma coisa dentro da outra...” (10)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 37 - Desenho feito pela aluna A9 referente à questão 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

continua

²⁰ A aluna pegou o rolo do fio de nylon para exemplificar sua explicação.

conclusão

Subtema: Modelos

Figura 38 - Modelo tátil proteína montado em materiais de baixo custo feito pela aluna A9 referente à questão 3 do pré-teste, para representar a estrutura de uma proteína.

A aluna disse que imaginava a proteína como vários tubinhos enrolados (Figura 58). Quando perguntada sobre onde estaria a estrutura secundária em seu modelo, ela separou um desses tubos e disse que aquilo representaria a estrutura secundária. Sobre a primária, ela esticou o tubo que estava enrolado. Quando perguntada se poderia representar uma ligação peptídica ela disse que não se lembrava da ligação peptídica.

Quadro 13 - Respostas da aluna A9 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

A respeito do tema **Proteína - Estrutura e Síntese** apesar de definir proteína na resposta 1 como um *composto de aminoácidos ligados por ligações peptídicas* a aluna não mostrou segurança ao definir aminoácidos na resposta 5 “...ele tem um radical R, que pode ser carregado, não carregado, e também tem os grupos funcionais que seria a parte amina e a parte que seria o ácido carboxílico”. Além disso durante a montagem do modelo (resposta 3), ela disse que não sabia representar a ligação peptídica. A aluna mostrou que conhecia as interações químicas entre os aminoácidos quando falou sobre as ligações e interações que mantêm a estrutura da proteína, como pode ser notado no trecho da resposta 4 “*ligações peptídicas, forças de Van der Waals, as interações hidrofóbicas*”. A respeito da Síntese proteica, a aluna fez um esquema para explicar as fases deste processo, mostrando de forma correta as relações entre os termos apresentados no esquema (resposta 7).

A respeito do tema **Estrutura/Função** a aluna indicou, de forma simples, que o formato da proteína estava ligado à sua função, dando o exemplo “...quando a gente tem febre ela desnatura e perde sua função né?...” (resposta 6). Entretanto, ao dar um exemplo da relação estrutura/ função ela citou uma proteína de membrana,

identificando corretamente quais características químicas ela deveria ter para ser funcional (resposta 8). Na resposta 10, em que era solicitado à aluna escolher e justificar entre algumas funções de macromoléculas, quais eram funções de proteína, ela atribuiu as seguintes funções e exemplos: estrutural, exemplificando através do colágeno; catálise, indicando as enzimas de forma geral; transporte, indicando a hemoglobina e proteínas de canal; e sinalização, através do exemplo das proteínas da bicamada lipídica.

A respeito do tema **Representações**, quando se pediu que a aluna representasse uma proteína em funcionamento, ela apresentou um desenho estático da proteína de armazenamento de oxigênio, a mioglobina (Figura 37). A respeito da montagem de modelos táteis, a aluna montou um com massinha, na forma de “tubinho enrolados”, dizendo ser como imaginava uma proteína (Figura 38); no mesmo modelo, ela não representou nenhuma estrutura específica e quando foi pedido para que ela representasse uma ligação peptídica, ela disse que não se lembrava.

4.2.1.10 Pré-teste da aluna A10

TEMA	
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE	
<p>Subtema: Definição/Estrutura de proteína <i>Uma proteína é uma cadeia longa de aminoácidos. (1)</i> <i>“Por ligações... Interações entre os aminoácidos vizinhos, você está falando da estrutura tridimensional? São ligações entre os aminoácidos e interações que um aminoácido pode gerar em cima do outro... Dobramento.” (4)</i></p>	
<p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido <i>“Aminoácido é meio aquela idéia né? De um radical, de um grupo amina, e um grupo carboxila? E outro eu não lembro... Um hidrogênio, um grupo amina, e um grupo carboxila e um radical que vai variando de acordo com cada aminoácido.” (5)</i></p>	
<p>Subtema: Síntese proteica</p>	
<p>Figura 39 - Desenho feito pela aluna A10 referente à questão 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína.</p> <p><i>O tRNA é transcrito do DNA por proteínas e o tRNA é traduzido em proteínas. Apenas os genes do DNA são capazes de serem transcritos em tRNA e existem sequências sinalizadoras dos genes que sofrem as ações de regulares (co-ativadores, co-repressores).</i></p>	
<p>Figura 40 - Esquema feito pela aluna A10 referente à questão 7 do pré-teste para representar o processo de síntese de uma proteína.</p>	
<p>Figura 41 - Esquema feito pela aluna A10 referente à questão 9 do pré-teste para relacionar quatro palavras: DNA, RNA, gene e proteína.</p>	
ESTRUTURA / FUNÇÃO	
<p>Subtema: Relação estrutura/função <i>“Estrutura é o que define a função... A estrutura vai determinar o dobramento que ela vai adquirir e esse dobramento influencia na função. Pra determinados dobramentos você tem determinadas funções.”(6)</i></p>	

continua

continuação

Subtema: Exemplos estrutura/função

“Não sei... Esperaria alguma sequência que indicaria que ela é de membrana, mas isso é clivado... Normalmente de membrana ela adquire estrutura em hélice alfa ou beta hélice né?... Beta, hélice... Acho que é a mais comum, agora quem determina a beta hélice, é uma boa pergunta... Quais aminoácidos são... Eu não sei.”(8)

“Tá... Catálise, que é uma ação enzimática né? Uma aceleração, que é o papel de uma proteína, uma enzima... Transporte, que elas podem coordenar transporte elas podem levar outras estruturas ou, por exemplo, ser proteína de membrana e auxiliar no transporte de sódio/potássio. Estrutural, proteína faz parte de tudo... É estrutura de tudo... Sinalização elas fazem também, são, por exemplo, elas... É... Como posso dizer?... Por exemplo, elas são proteínas de receptores nucleares... Elas participam de sinalizações, não diretamente... E movimentos coordenados, que elas têm movimentos coordenados né? Não são aleatórias... Vagamente... Transporte tem a bomba de sódio/ potássio, agora qual o nome da proteína... Catálise... Tem as digestivas... Peptidase... Sinalização? Uma proteína de sinalização... PPrAlfa... Sinaliza, por exemplo, o processo inflamatório. Estrutural... Não sei dizer e movimentos coordenados acho que todas... Qualquer proteína.”(10)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Não apresentou nenhuma resposta que se enquadrasse nessa categoria.

Subtema: Modelos

Figura 42 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A10 referente à questão 3 do pré-teste.

A aluna representou cada aminoácido de uma cor diferente, com a massinha esticada representou a estrutura primária. Depois disse que representaria as estruturas secundárias e terciárias, com o enovelamento aleatório do modelo (Figura 42).

Quadro 14 - Respostas da aluna A10 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

A respeito do tema **Proteína – Estrutura e Síntese**, a aluna A10 definiu uma proteína de forma sucinta - *Uma proteína é uma cadeia longa de aminoácidos* (resposta 1), e descreveu a estrutura do aminoácido de forma correta “Um hidrogênio, um grupo amina, e um grupo carboxila e um radical que vai variando de acordo com cada aminoácido” (resposta 5). Além disso, quando perguntada sobre como a proteína estaria organizada fisicamente, a aluna mostrou que conhecia as interações químicas estabelecidas entre os aminoácidos, conforme trecho da resposta 4 - “São ligações entre os aminoácidos e interações que um aminoácido pode gerar em cima do outro”.

A respeito da Síntese proteica, apesar de ter feito esquemas com relações corretas entre os termos (Figuras 39 a 41), na resposta 2 a aluna confundiu mRNA

com tRNA - *Apenas os genes do DNA são capazes de serem transcritos em tRNA e existem sequências sinalizadoras dos genes que sofrem as ações de regulares (...).*

Considerando o tema **Estrutura/Função** apesar de ter definido corretamente aminoácido na resposta 5, como já apresentado, a aluna não relacionou as propriedades químicas dessas moléculas à função da proteína, considerando que apenas o formato influencia no desempenho da função da macromolécula mencionada (resposta 6). Quando perguntada sobre quais aminoácidos esperaria encontrar em uma proteína de membrana, ela disse de modo genérico que “Esperaria alguma sequência que indicaria que ela é de membrana” (resposta 8), não estabelecendo relação entre as propriedades químicas dos aminoácidos e a função da proteína. Na resposta 10, em que era solicitado à aluna escolher e justificar entre algumas funções de macromoléculas, quais eram funções de proteína, ela disse que todas as opções eram funções de proteínas, e deu exemplos corretos para a função de transporte (bomba de sódio/ potássio), de catálise (enzimas digestivas, como a peptidase) e de sinalização (PP α , envolvida na sinalização de processos inflamatórios).

A respeito do tema **Representações**, a aluna não apresentou nenhum esquema e suas respostas que pudesse ser relacionado com o funcionamento de uma proteína. Com relação à montagem do modelo de proteína, a aluna fez um cilindro de massinha dobrando-o de forma aleatória e utilizando massinha em cores diferentes, que segundo, ela representavam diferentes aminoácidos e quando perguntada se estava montando a estrutura de uma proteína específica, ela disse que “Não, aleatória, ela não faz nada, é inútil!” (Figura 42).

4.2.1.11 Pré-teste do aluno A11

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
Subtema: Definição/Estrutura de proteína <i>Uma proteína é uma estrutura química organizada e repetida, cujas unidades monoméricas são os aminoácidos (a proteína é o polímero), usada para fins estruturais, energéticos e para aumentar as velocidades das reações químicas dentro da célula (enzimas). (1)</i> “Poderia ser primária, secundária, terciária e é... Às vezes quaternária. Primária é mais assim, a estrutura devida à sequência de aminoácidos. A secundária né? A secundária acho, que é das hélices alfa, acho que é isso. Eu sempre confundo secundária e terciária. Das hélices alfa e folhas betas né? Que vai formar uma estrutura secundária que são as combinações da estrutura primária, e pegando os mais próximos e aí qual o conjunto de elementos próximos que vão ficar próximos, os conjuntos de estrutura primária que vão ficar próximos. Aí pra terciária, aí são os conjuntos de hélices alfa, beta, não sei se eu posso definir assim. Tem os domínios globulares e também, tipo assim, ah, o enovelamento dela, enquanto... Os conjuntos de estrutura terciária que estão próximos, aí realmente você vai vendo o filamento tridimensional da proteína mesmo. E da quaternária, são várias estruturas terciárias assim, só que elas precisam ser repetidas, aí se elas estiverem repetidas você tem uma estrutura quaternária. Igual da mioglobina que tem os quatro... tem o tetrâmero. Assim, ela vai se repetir assim... Precisa falar que é simétrico.” (4)
Subtema: Composição/estrutura do aminoácido “Tem um ácido, um grupo amina... Eu não sei como explicar. É uma estrutura assim: ele combinado consegue gerar ressonância né? Por causa dessa dupla O^{21} , que tem oxigênio mais eletronegativo, daí fica tipo, essa ligação tem o caráter de dupla, justamente por causa da ressonância, que ela alterna entre ligações dupla e simples e isso gera uma ligação forte que faz com que as proteínas sejam estáveis.” (5)
Subtema: Síntese proteica

continua

²¹ Referindo-se ao átomo de oxigênio.

continuação

A síntese de proteína se dá desde a transcrição de DNA. Formando o mRNA, pela DNA helicase, DNA polimerase e um grande conjunto de proteínas que vai percorrendo a cadeia de DNA, e “recortando-a” (para aliviar a tensão da cadeia à medida que o complexo de enzimas percorre) e “colando-a” (DNA polimerase) no final do processo de linearização do DNA para que ele possa ser transcrito (parte por parte vai sendo linearizada e volta a ser dupla hélice, a DNA helicase ou girase alivia a tensão depois de recortada a fita. Depois, o mRNA é empacotado do núcleo e levado para o citoplasma, onde será traduzido pelo ribossomo, que tem subunidades A, P e E começando a tradução pelo sítio A, podendo haver erros na tradução que são reparados por enzimas, porém menos que na transcrição, e indo até o sítio E havendo, logo após a tradução, modificações pós traducionais para a ativação da proteína e/ou para deixar na forma que ela precise ficar até chegar ao seu destino. As enzimas de reparo do DNA fazem desde corte de fragmentos dele para total síntese novamente (já que à complementaridade das duas fitas) até reparos de partes finais que fizeram a cadeia ficar torcida. (7)

O DNA é o material genético responsável pela síntese de mRNA, através da transcrição de genes, partes da molécula de DNA, cujo conjunto forma a cromatina. Feita a síntese do mRNA, este sai do núcleo e é traduzido no citoplasma gerando os aminoácidos da proteína correspondente, formada pela cadeia deles. O próprio ribossomo possui RNA ribossômico e o tRNA (RNA transportador) é o responsável por trazer o mRNA para o citoplasma celular. Genes são formados de códons, sendo que cada códon codificará 1 aminoácido (sequência complementar entre a fita de DNA e RNA) (só muda o T por U). Para elucidar sua explicação, o aluno fez um esquema (Figura 68) do processo de transcrição e tradução. (9)

Figura 43 - Esquema feito pelo aluno A11 referente a questão 9 do pré-teste para representar os processos de transcrição e tradução.

ESTRUTURA / FUNÇÃO

continua

continuação

Subtema: Relação estrutura/função

“Dependendo do enovelamento dela, aí vai... Quais reações ela vai poder catalisar, quais... Não tenho um exemplo assim... Tipo, se ela tem o formato justamente pra pegar dois compostos assim, pra formar um produto... Ou se ela tem a cavidade e as partes polares e apolares certinhas pra catalisar a estrutura com o aminoácido mesmo, vai definir o como ela vai catalisar ou o quanto eficiente ela é ou quais que ela pode meio que puxar meio que pra dentro, assim vendo os apolares e polares. Hum, deixe-me ver... Que vai pra cavidade? Que eu já tinha visto os vídeos de química medicinal²² passando e tipo, quando tinha a cavidade aí ligava aqui, aí depois desfazia a ligação aí quebrava aqui, isso aqui é a proteína, aí mudava a polaridade da proteína, aí vinha pro outro sítio, aí... Só que aqui ficava afastado porque aqui veio pra cá. Tinha umas coisas assim...” (6)

Subtema: Exemplos estrutura/função

“Eu acho que não seriam aminoácidos carregados assim... Se for no meio da membrana assim, aí costuma ser mais apolares mesmo. Por causa da bicamada lipídica, que eles tem. Se for mais no meio da membrana, se for proteína integral de membrana. As partes de fora podem até ser polares assim... Com aminoácidos polares, mas a parte de dentro não pode ser aminoácidos polares... Se não, não teria interação com a membrana. Aquelas que são ancoradas, né? Tipo, pode ser ancorada por ligação covalente, aí eu também acho que não seria carregado. Se fosse ancorada assim com uma ligação com um lipídeo, ou se ela for... tem umas que têm interação eletrostática também... Então precisa ser uma ligação polar entre a membrana e a proteína, aí precisaria de aminoácidos polares.” (8)

“Movimentos coordenados, se isso daí seria um conjunto assim... É que isso seria o impulso elétrico, eu tava pensando que... Se fosse isso catalisa isso, que aí tem, por exemplo, no neurônio, se tiver a proteína né? Uma produzindo os neurotransmissores, uma captando... Seria um conjunto de proteínas assim, cada uma exercendo uma função. Aí fazer transporte assim também, tem uns translocadores das organelas... (trecho incompreendido), tem nas glicoproteínas também... aí tem transporte de lipídeos... A catálise acho que é a que mais tem assim... Tipo a lac-z. Não, isso não é catálise não. Eu não consigo lembrar tão bem assim...” (10)

REPRESENTAÇÕES

continua

²² O aluno refere-se à disciplina obrigatória da grade curricular do curso Química Medicinal que estava cursando no mesmo semestre em que a entrevista fora realizada.

conclusão

Subtema: Funcionamento

Figura 44 - Esquema feito pelo aluno A11 referente a questão 2 do pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína

²³Operon *LacZ* impedimento da síntese de mRNA para β -galactosidase quando há pouca lactose ou quando glicose está presente em concentrações normais.

Síntese ocorre quando a glicose está em níveis baixos e o organismo passa a consumir lactose. (2)

Subtema: Modelos

Figura 45 - Modelo tátil de proteína montado com materiais de baixo custo pelo aluno A11 referente à questão 3 do pré-teste.

O aluno montou dois modelos. O primeiro, tridimensional (Figura 45) foi montado em massinha. Ele fez uma estrutura unindo hélice alfa e folha beta. Quando perguntado se poderia representar apenas a ligação peptídica com os materiais disponíveis, ele montou um modelo com miçangas e palitos sobre a folha, conforme mostra a Figura 46 (os nomes dados às peças foram adicionados à figura para representar o que foi indicado pelo o aluno).

Figura 46 - Modelo tátil de ligação peptídica montado em materiais de baixo custo pelo aluno A11 referente à questão 3 do pré-teste. Da esquerda para a direita bolinhas brancas representam hidrogênio, azul o nitrogênio, rosa oxigênio, bola preta carbono alfa e marrom carbonila.

Quadro 15 - Respostas do aluno A11 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

²³ Transcrição do que o aluno escreveu abaixo do desenho.

A respeito do tema **Proteína – Estrutura e Síntese** o aluno definiu proteína em termos de aminoácidos *Uma proteína é uma estrutura química organizada e repetida, cujas unidades monoméricas são os aminoácidos* (resposta 1). Porém, na resposta 5, o aluno disse que não sabia explicar o que era aminoácido; numa tentativa de definir aminoácido ele mencionou a ressonância presente na ligações peptídicas. A confusão que o aluno apresentou nessa resposta também está presente na resposta 4, a respeito de como a proteína está organizada fisicamente, que pode ser notada no trecho “Eu sempre confundo secundária e terciária. Das hélices alfa e folhas betas né? Que vai formar uma estrutura secundária que são as combinações da estrutura primária, e pegando os mais próximos e aí qual o conjunto de elementos próximos que vão ficar próximos, os conjuntos de estrutura primária que vão ficar próximos. Aí pra terciária, aí são os conjuntos de hélices alfa, beta, não sei se eu posso definir assim. Tem os domínios globulares e também, tipo assim, ah, o enovelamento dela, enquanto... Os conjuntos de estrutura terciária que estão próximos, aí realmente você vai vendo o filamento tridimensional da proteína mesmo”..

Com relação à Síntese proteica, o aluno inicialmente confundiu o processo de transcrição do DNA com o processo de replicação, ao falar, por exemplo, das enzimas deste último processo; entretanto, mostrou compreender as etapas citosólicas do processo (resposta 7).

Considerando o tema **Estrutura/Função**, apesar do aluno apresentar respostas confusas (respostas 6 e 8), notou-se que ele conseguiu relacionar as interações/propriedades químicas dos aminoácidos à função das proteínas, o que pode ser notado no trecho da resposta 8 “Se for no meio da membrana assim, aí costuma ser mais apolares mesmo. Por causa da bicamada lipídica, que eles tem. Se for mais no meio da membrana, se for proteína integral de membrana. As partes de fora podem até ser polares assim... com aminoácidos polares, mas a parte de dentro não pode ser aminoácidos polares... Se não, não teria interação com a membrana.” Na resposta 10, em que era solicitado ao aluno escolher e justificar entre algumas funções de macromoléculas, quais eram funções de proteína, ele atribuiu as seguintes funções e exemplos: movimentos coordenados, dando o exemplo de proteínas que produzem neurotransmissores; transporte, dando o

exemplo das proteínas translocadoras de organelas, e catálise, dando o exemplo errôneo da Lac-z.

A respeito do tema **Representações**, o aluno apresentou na resposta 2, referente ao funcionamento de uma proteína, um esquema processual sobre o mecanismo de regulação da síntese da β -galactosidase (Figura 44). Com relação à montagem do modelo de proteína, primeiro o aluno montou um modelo tridimensional (Figura 45), utilizando massinha, representando uma hélice alfa e uma folha beta unidas. Quando perguntado se poderia representar a ligação peptídica com os materiais disponíveis, ele montou um modelo com miçangas e palitos sobre a mesa (Figura 46), representando apenas alguns átomos dos grupos funcionais envolvidos na ligação peptídica.

4.2.1.12 Pré-teste do aluno A12

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Definição/Estrutura de proteína</p> <p><i>A proteína consiste de uma macromolécula formada por aminoácidos através de ligações peptídicas que podem ter diversas funções como estrutural, catalítica e transporte. (1)</i></p> <p>“Qualquer proteína genérica? Consiste num meio aquoso? Você teria as regiões hidrofóbicas preferencialmente no meio, não é? Hidrofílicas, hidrofóbicas no meio, e as hidrofílicas na superfície, preferencialmente... Pra ela ter função ela tem que estar na estrutura terciária... Pra ter função tem que estar na estrutura terciária.”(4)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <p>“É um ácido, com um radical e uma amina... Que grupos funcionais? Tem vários né? Pode ser um mais simples, que é o hidrogênio, pode ser imidazol, que mais... pode ser um isopropano... Eu to falando... É que tem o formato básico, aí tem as ligações que são os radicais, é essa a pergunta? Os outros grupos? Pera aí... Eu estou meio sonolento... Então, tem a cadeia lateral que pode ter vários né? Tem aminas, pode ter alcoóis... Que eu me lembre, ciclos aromáticos... Ah... Tem vários, não lembro todos assim.” (5)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p> <p><i>Primeiramente, o mRNA interage com o ribossomo a partir dos RNAt's com os aminoácidos correspondentes a cada uma das sequências de 3 nucleotídeos presentes no RNAm interagem com ele no sítio A do ribossomo. Ao ser reconhecido devido a combinação o RNam com o aminoácido passa para o sítio P do ribossomo enquanto que outro RNAt vai para o sítio A. Sendo este o correspondente, liga-se ao primeiro aminoácido, fazendo com que este perca a afinidade pelo RNAt, quando transferidos para o sítio S o RNAt é liberado e decorre-se a síntese continuamente a partir deste ciclo. (7)</i></p> <p><i>A partir de um gene, que consiste de uma sequência de DNA, forma-se, a partir da transcrição, uma sequência complementar de RNA específico chamada de RNA mensageiro que através de sua interação com RNA's ribossomais e transportadores é traduzido para a formação de proteínas. (9)</i></p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
<p>Subtema: Relação estrutura/função</p> <p>“A estrutura dela faz com que os aminoácidos sejam devidamente coordenados para a função dela. Se for pra fazer lise de alguma molécula, de uma ligação... É se for fazer a quebra de uma ligação, se, for para sintetizar, então a estrutura tridimensional coordena de tal forma que se, por exemplo, ela precisa de um... De uma modificação anterior ela faz toda uma coordenação dos seus aminoácidos para que a reação acontece... Aconteça né? E que se torne favorável. Algum exemplo... Vamos ver um exemplo... Por exemplo, a ATPsintase. Por causa da diferença de potencial entre lados dá... Que tem entre a região interna da mitocôndria e o espaço intermembranas, por causa dessa diferença de gradiente de prótons, quando passa um próton, apesar de no sítio catalítico ter equilíbrio entre a formação de ATP e ADP, esse movimento faz com que ocorra uma alteração na conformação do sítio, fazendo com que ele não seja mais... É... Tenha... Como que tinha falado? Tenha afinidade pelo ATP, fazendo com que ele saia.” (6)</p>

continua

continuação

Subtema: Exemplos estrutura/função

“Na região que se encontra exteriormente à membrana teria aminoácidos com radicais de caráter polar, e na região e que ele se encontra mergulhado na membrana, apolar.” (8)

“Bem... Estrutural, estrutural sim é uma das funções das proteínas né? Como, por exemplo, microtúbulos, é filamentos de actina, e filamentos que formam o citoesqueleto as célula. Catálise, seria o favorecimento de uma direção numa reação, o que elas fazem também, são exemplos as enzimas né? O grupo das proteínas chamadas enzimas, que tem a função catalítica, por exemplo, a amilase salivar faz a quebra do amido. Transporte, também é uma função de proteína, por exemplo, as hemoglobinas que transportam oxigênio, mioglobinas também... Mioglobinas fazem armazenamento de oxigênio né? Sinalização, proteína também tem... Um exemplo de sinalização de proteína... Ubiquitina que sinaliza a degradação da proteína. E movimentos coordenados... É... Eu vejo que por exemplo, para fazer a catálise enzimática ela faz a coordenação dos aminoácidos dela para fazer a catálise, mas... por exemplo o flagelo... O que a Nelma²⁴ falou do flagelo? As proteínas do flagelo... esqueci. Mas por exemplo, as extensões numa ameba pra ela se movimentar, é causado pela formação e... Pela construção e desconstrução do citoesqueleto dela que é formado por proteínas.” (10)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 47 - Esquema feito pelo aluno A12 na resposta à questão 2 do pré-teste, para representar a função de uma proteína.

continua

²⁴ O aluno referiu-se à disciplina de Microbiologia oferecida no 5º semestre do curso pela Profª Nelma R. S. Bossolan.

conclusão

Subtema: Modelos

O aluno montou três modelos. O primeiro (Figura 48) representa a estrutura primária dos aminoácidos, em que cada bolinha representa um aminoácido diferente.

Figura 48 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno feito pelo aluno A12 referente à questão 3 do pré-teste, para representar a estrutura primária de uma proteína.

Figura 49 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno feito pelo aluno A12 referente à questão 3 do pré-teste.

No segundo (Figura 49) as bolas brancas representam o nitrogênio e o carbono de uma ligação peptídica e a bola de massinha representa a cadeia lateral do aminoácido. O modelo montado em massinha (modelo menor na Figura 49) representa três estruturas secundárias e concluindo a montagem disse que com mais desses modelos poderia montar uma estrutura terciária.

Quadro 16 - Respostas do aluno A12 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Com relação ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese** apesar do aluno definir proteína em termos de aminoácidos, como se pode notar na resposta 1 - *A proteína consiste de uma macromolécula formada por aminoácidos através de ligações peptídicas* - ele fez uma confusão ao definir aminoácido na resposta 5 - “É um ácido, com um radical e uma amina... Que grupos funcionais? Tem vários né? Pode ser um mais simples, que é o hidrogênio, pode ser imidazol, que mais... pode ser um isopropano...” mostrando ter pouca compreensão a respeito desta estrutura. Quando perguntado sobre como a proteína está organizada fisicamente, o aluno demonstrou na resposta 4 conhecer como as propriedades químicas das cadeias laterais podem influenciar na estabilidade da estrutura da proteína, o que pode ser notado no trecho “regiões (...) hidrofóbicas no meio, e as hidrofílicas na superfície”.

A respeito da Síntese proteica, na resposta 7 o aluno desconsiderou a etapa do processo de transcrição do DNA, iniciando sua explicação do processo a partir da

interação do mRNA com o ribossomo; o aluno mostrou compreensão do processo ao nível molecular, como pode se notar no trecho *Ao ser reconhecido devido a combinação o Rnam com o aminoácido passa para o sítio P do ribossomo enquanto que outro RNAt vai para o sítio A. Sendo este o correspondente, liga-se ao primeiro aminoácido, fazendo com que este perca a afinidade pelo RNAt, quando transferidos para o sítio S o RNAt é liberado e decorre-se a síntese continuamente a partir deste ciclo.*

Considerando o tema **Estrutura/Função** o aluno relacionou a estrutura tridimensional da proteína em termos da “coordenação” dos aminoácidos na estrutura à função desempenhada por ela (resposta 6), além de relacionar corretamente as propriedades químicas dos aminoácidos à função desempenhada pela proteína -“Na região que se encontra exteriormente à membrana teria aminoácidos com radicais de caráter polar, e na região e que ele se encontra mergulhado na membrana, apolar” (resposta 8). Na resposta 10, em que era solicitado ao aluno escolher e justificar entre algumas funções de macromoléculas, quais eram funções de proteína, ele atribuiu as seguintes funções e exemplos: estrutural, exemplificando através dos microtúbulos e fibras de actina que formam o citoesqueleto das células; catálise, utilizando o exemplo da amilase salivar; transporte e armazenamento através da hemoglobina e mioglobina, respectivamente; e sinalização, através do exemplo da ubiquitina.

A respeito do tema **Representações**, na resposta à questão 2, sobre o funcionamento de uma proteína, o aluno não conseguiu representar uma proteína em interação com outras moléculas; seu desenho (Figura 47) representou basicamente o fenômeno macroscópico da ação da proteína escolhida por ele como exemplo, no caso a amilase salivar. Com relação às montagens do modelo de proteína com materiais de baixo custo, o aluno montou três modelos. O primeiro representou a estrutura primária dos aminoácidos, e cada bolinha representou um aminoácido diferente (Figura 48). Além desse modelo, o aluno uniu duas bolinhas de isopor dizendo que representavam o nitrogênio- carbono de cada ligação peptídica, e a massinha ligada a uma das bolinhas representaria o radical; essa representação estava fora de escala, uma vez que o aluno usou bolas de isopor para representar átomos dos grupos funcionais envolvidos na ligação peptídica e bolinha de massinha em tamanho menor para representar a cadeia lateral inteira (Figura 49). O aluno

montou também um modelo em massinha representando uma hélice alfa e uma folha beta unidas, a folha beta sendo representada por uma massinha esticada, como uma tira (Figura 49).

4.2.1.13 Pré-teste do aluno A13

TEMA
PROTEÍNA - ESTRUTURA E SÍNTESE
Subtema: Definição/Estrutura de proteína
<p><i>Proteína é um polímero composto por diversos aminoácidos (com 20 variações) que se agrupam numa ordem pré-estabelecida pela sequência de nucleotídeos do RNA mensageiro e lidos pelos ribossomos. A proteína é “produzida” de modo a ter uma função, dentro ou fora da célula de origem.</i></p>
(1)
<p>“Ela se organiza de forma a privilegiar interações hidrofóbicas entre as partes hidrofóbicas, escondendo do meio aquoso por exemplo, ou o contrário caso ela seja uma proteína de membrana, ela tenta deixar a parte hidrofílica no interior e a parte hidrofóbica em contato com a membrana e de acordo com isso ela vai se espiralando, se enovelando. Quanto às interações, além de favorecer aquelas partes que são mais importantes para a função de fosforilação ou qualquer outra que precise ser deixado um sítio ativo exposto.”(4)</p>
Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido
<p>“É um componente básico da proteína, composto de carbono, hidrogênio, oxigênio e vários outros átomos, nitrogênio e enxofre. Os grupos funcionais são os grupos carboxil, e o grupo amina, mais podem ter grupo sulfúrio e aromático e... Só...” (5)</p>
Subtema: Síntese proteica
<p><i>O DNA sintetiza uma molécula de RNA mensageiro. Este é “lido” por um ribossomo que então sintetiza a proteína de acordo com a sequência de RNAm. Na síntese da proteína, o RNAm se liga às subunidades dos ribossomos e lá ele é “lido”. De acordo com os tripletos de nucleotídeos de mRNA, é trazido, através do RNA transportador uma aminoácido correspondente. Este RNAt se liga ao ribossomo e lá é formada uma ligação peptídica da cadeia já formada anteriormente como o aminoácido que acabou de ser trazido.</i> (7)</p>

<p>Figura 50 - Desenho feito pelo aluno feito pelo aluno A13 na resposta 7 no pré-teste para representar o processo de síntese de proteínas.</p>
Proteína – RNA- DNA- GENE
<p><i>O DNA contém diversas sequências de nucleotídeos. Quando essas sequências são lidas para formarem uma PROTEÍNA, dizemos que essa sequência é um GENE específico. Então esse GENE é transcrito a uma molécula de RNA e este é traduzido à uma proteína:</i> (9)</p>

<p>Figura 51 - Esquema feito pelo aluno feito pelo aluno A13 na resposta 9 no pré-teste para relacionar quatro palavras: DNA, RNA, gene e proteína.</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO

continua

continuação

Subtema: Relação estrutura/função

“De acordo com a estrutura dela, que ela vai ter uma função específica não é? Quando a proteína não é bem enovelada ela pode perder a função. Uma proteína de membrana cuja o enovelamento seja incorreto, ela pode não ser da forma suficiente para entrar dentro da membrana.” (6)

Subtema: Exemplos estrutura/função

“São aminoácidos de cadeia hidrofóbica, localizados na região intermembrana, normalmente eles formam hélices alfa e se alojam no meio da membrana, não só na parte de dentro pra fora, mas também de um lado só.” (8)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 52 - Desenho feito pelo aluno A13 na resposta 2 no pré-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

²⁵ATP-Sintase movida pelo gradiente de prótons na região intermembrana da mitocôndria. Com a entrada de prótons pela subunidade interna à membrana, a subunidade inferior sofre mudança conformacional, que diminui a interação desta com o ATP formado. Após isto, uma nova molécula de ADP mais um grupo fosfato se ligam ao sítio das subunidades α e β e lá formam uma nova molécula de ATP. (2)

continua

²⁵ Transcrição do texto apresentado na figura 81.

conclusão

Subtema: Modelos

O aluno montou três modelos. O primeiro, da esquerda para direita Figura 54, foi o modelo “colar de contas”. O aluno escolheu cores diferentes para representar aminoácidos diferentes, que tem comportamentos químicos diferentes. Quando questionado se poderia representar uma ligação peptídica, o aluno montou o modelo tridimensional em que cada bolinha de isopor (Figura 54 direita) representa um aminoácido e os palitos representam as ligações peptídicas. O modelo tridimensional de massinha (Figura 55) o aluno montou quando foi perguntado se poderia montar um modelo de estrutura secundária específico. Ele montou uma hélice alfa, representado em amarelo, e folhas beta que ele representou de branco e vermelho. Em verde um enovelamento aleatório.

Figura 53 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A13 referente à questão 3 do pré-teste, representando a ligação peptídica em uma proteína.

Figura 54 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A13 referente à questão 3 do pré-teste, representando a estrutura secundária e terciária de uma proteína.

Quadro 17 - Respostas do aluno A13 referente ao pré-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Em relação ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese** aluno definiu proteína em termos de aminoácidos, como se pode observar no trecho da resposta 1 - *Proteína é um polímero composto por diversos aminoácidos (com 20 variações) que se agrupam numa ordem pré-estabelecida (...)* - porém não conseguiu definir com clareza a estrutura de um aminoácido, conforme se observou na resposta 5 - *“É um componente básico da proteína, composto de carbono, hidrogênio, oxigênio e vários outros átomos, nitrogênio e enxofre. Os grupos funcionais são os grupos carboxil, e o grupo amina, mais podem ter grupo sulfúrio e aromático e... Só...”*.

Considerando a Síntese proteica, o aluno mostrou ter compreensão sobre o processo conforme se observou na resposta 7 - *“Na síntese da proteína, o RNAm se liga às subunidades dos ribossomos e lá ele é “lido”. De acordo com os tripletos de nucleotídeos de mRNA, é trazido, através do RNA transportador uma aminoácido correspondente”*.

Considerando o tema **Estrutura/Função** da proteína, o aluno não soube esclarecer esta relação, conforme se observou na resposta 6 - “Quando a proteína não é bem enovelada ela pode perder a função” - nem deu exemplos de função das proteínas na resposta 10. Já na resposta 8, relacionada a que aminoácidos o aluno esperaria encontrar em uma proteína de membrana, demonstrou conhecer a relação entre as propriedades/interações químicas dos aminoácidos com a estrutura da proteína, conforme resposta 8 “São aminoácidos de cadeia hidrofóbica, normalmente eles formam hélices alfa e se alojam no meio da membrana, não só na parte de dentro pra fora, mas também de um lado só”. Na resposta 4, a respeito de como a estrutura da proteína está organizada fisicamente, o aluno também demonstrou conhecer como as propriedades químicas das cadeias laterais dos aminoácidos interferem na função da proteína, como pode ser notado no trecho destacado “Ela se organiza de forma a privilegiar interações hidrofóbicas entre as partes hidrofóbicas, escondendo do meio aquoso por exemplo, ou o contrário caso ela seja uma proteína de membrana, ela tenta deixar a parte hidrofílica no interior e a parte hidrofóbica em contato com a membrana e de acordo com isso ela vai se espiralando, se enovelando.”

A respeito do tema **Representações** o aluno fez um desenho estático sobre o funcionamento da ATPsintase (uma proteína de membrana), com uma explicação associada ao esquema (resposta 2, referente ao funcionamento de uma proteína). Com relação às montagens do modelo tátil de proteína com materiais de baixo custo, o aluno montou três modelos. O primeiro foi do tipo “colar de contas” em que ele escolheu cores diferentes para representar aminoácidos diferentes, com comportamentos químicos distintos (Figura 53). Quando questionado se poderia representar uma ligação peptídica, o aluno montou um modelo tridimensional em que cada bolinha de isopor representava um aminoácido e os palitos representam as ligações peptídicas (Figura 54). Um modelo tridimensional de uma hélice alfa e uma folha beta com massinha foi montado pelo aluno quando se perguntou a ele se poderia representar um modelo de estrutura secundária específico (Figura 55).

Pré-teste: Categorização dos alunos em modelizadores e não modelizadores

Após a análise da coerência entre os conceitos exibidos nas respostas (orais e escritas) e os modelos táteis montados com materiais de baixo custo, pode-se dividir inicialmente os sujeitos da pesquisa em dois grandes grupos: (a) modelizadores - aqui entendidos por alunos que conseguiram aplicar e representar os conceitos expressados através da fala e da escrita de forma coerente e integrada no modelo tátil com materiais de baixo custo e (b) não modelizadores - compreendido pelos alunos que apresentaram representações não articuladas com conceitos científicos. Essa classificação em modelizadores e não modelizadores e seus subtipos foi descrita anteriormente no item **2.7 Forma de tratamento e análise de dados**.

O resultado dessa categorização encontra-se organizado na tabela 12.

Tabela 12 - Classificação dos alunos quanto às suas representações mentais detectadas no pré-teste.

Modelizadores	Não modelizadores
A4, A9, A11, A13, A7, A6, A8, A12	A1, A2, A3, A5, A10

A amostra foi submetida a uma segunda classificação, baseada em suas externalizações correspondentes às questões escritas 1, 2, 7 e 9 do pré-teste (tabela 13).

Tabela 13 - Algumas questões do pré-teste que pediam uma resposta escrita.

Nº	Pergunta
1	Defina uma proteína.
2	Represente através de esquemas ou desenhos o funcionamento de uma proteína presente, por exemplo, no organismo humano.
7	Explique como se dá o processo de síntese de uma proteína. Se preferir pode fazer uma representação.
9	Relacione quatro palavras: proteína, gene, DNA e RNA.

As questões, com exceção da 2, não pedia obrigatoriamente o uso de desenhos ou esquemas, e por esse motivo, foram utilizadas para classificar os modelizadores os não modelizadores em seus subtipos, considerando a quantidade

e tipos de desenhos/esquemas utilizados pelos alunos em suas respostas. Os modelizadores foram classificados em Modelizadores Proposicionalistas (M.P), Modelizadores Imagísticos (M.I) e Modelizadores Híbridos (M.H); os não modelizadores, em Proposicionalistas, Imagísticos e Híbridos.

O Quadro 18 mostra a classificação dos alunos modelizadores de acordo com os tipos de externalizações obtidas a partir das questões 1, 2, 7 e 9 do pré-teste.

Modelizadores	Questões do pré-teste				Classificação
	1	2	7	9	
A4	Texto	Desenho	Texto	Texto	M.P
A6	Texto	Resposta não considerada	Texto	Esquema	M.P
A7	Texto	Desenho	Esquema + desenho	Texto	M.I
A8	Texto	Desenho	Texto	Texto	M.H
A11	Texto	Texto + desenho	Texto	Texto + desenho	M.I
A12	Texto	Resposta não considerada	Texto	Texto	M.P
A13	Texto	Texto + desenho	Texto + desenho	Texto+ esquema	M.I

Quadro 18 - Classificação dos alunos segundo os subtipos da categoria Modelizadores, de acordo com as respostas do pré-teste.

Os alunos incluídos nessa categoria caracterizavam-se por conseguir integrar os conceitos de forma explicativa e preditiva, e expressar esses conceitos no modelo tátil montado em materiais de baixo custo. No caso dos modelizadores proposicionalistas (A4, A6 e A12), quando eles tinham opção de escolha, expressavam-se utilizando textos e/ ou esquemas compostos basicamente por palavras e/ ou desenhos com textos atrelados a eles, no sentido de que o desenho ilustrava o que era explicado no texto. E no caso dos modelizadores imagísticos (A7 e A13), os alunos utilizaram, mesmo quando não solicitado, desenhos. Esses desenhos poderiam até conter legendas e palavras atreladas, porém o significado da resposta se centrava no desenho e não no texto que o acompanhava, quando existente. Alguns dos desenhos apresentados eram do tipo processual, ou seja, que representavam etapas do processo biológico a ser explicado.

Com relação ao modelo tátil montado com materiais de baixo custo, de modo geral os alunos modelizadores representaram modelos topológicos²⁶ de estrutura secundária. Foi percebido que, à medida que avançavam no detalhamento molecular do modelo (por exemplo, quando era solicitado que representassem a estrutura primária, ligação peptídica e/ou a estrutura do aminoácido), revelavam-se as falhas conceituais. Isso sugere que eles poderiam não possuir um modelo mental molecular bem estabelecido, o que também foi sustentado pelas respostas do pré-teste (orais e/ ou escritas).

O Quadro 19 mostra a classificação dos alunos não modelizadores em Proposicionalistas (P), Imagístico (I) e Proposicionalistas e Imagísticos (P.I), de acordo com os tipos de externalizações obtidas a partir das questões 1, 2, 7 e 9 do pré-teste.

Não modelizadores	Questões do pré-teste				Classificação
	1	2	7	9	
A1	Texto	Sem resposta	Texto	Texto	P
A2	Texto	Texto + desenho	Texto + desenho	Texto	I
A3	Texto	Sem resposta	Texto	Texto	P
A5	Texto	Desenho + fala	Texto + desenho	Desenho + fala	P.I
A9	Texto	Desenho	Esquema	Texto	P
A10	Texto	Desenho	Texto + esquema	Esquema	P

Quadro 19 - Classificação alunos segundo os subtipos da categoria Não modelizadores, de acordo com as respostas do pré-teste.

Os alunos incluídos nessa categoria caracterizavam-se por definir proteína de forma superficial e apresentar desenhos e palavras isoladas que, em alguns casos, eles próprios não conseguiam explicar o que significavam. Caracterizavam-se por dar respostas curtas e genéricas. A imagem de proteína que prevaleceu é a como descrita pelo aluno A1 - uma estrutura enrolada, desorganizada, caracterizada por tubos ou estruturas enroladas.

²⁶ Entende-se por modelos topológicos de proteínas os modelos que consideram o formato exterior dessa molécula.

Observou-se que as montagens eram do tipo colar de contas e, em alguns casos (A5, A9 e A10), os alunos dobraram aleatoriamente a massa de modelar e disseram que esse seria seu modelo de proteína. A não representação de estruturas secundárias topológicas e de estruturas com mais detalhes moleculares, associada às respostas desconexas e incoerentes a respeito dos modelos montados, indicou que esse alunos poderiam não ter os conceitos biológicos compreendidos e articulados sobre esse tema.

4.2.2 Pós-teste

4.2.2.1 Pós-teste do aluno A1

TEMA
<p align="center">PROTEÍNA - ESTRUTURA E SÍNTESE</p> <p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"A gente fez uma folha primária, fez uma estrutura secundária beta e alfa, fizemos a terciária, a espiral alfa... Pode desenhar? É assim, nós fizemos uma fita simples. Nós fizemos uma estrutura dupla, onde a fitas simples se enrolam desse jeito, nós fizemos a estrutura secundária onde são várias fitas simples uma do lado da outra. Nós fizemos também um espiral, como chama? A fita simples se enrola nela mesma formando um espiral, um tubo. Fizemos também uma terciária tentando enrolar essa aqui, mas era muito pequena." (5)</p> <p>Figura 55 - Desenho feito pelo aluno A1 durante a resposta 5 no pós-teste para se referir aos tipos de estruturas de proteínas montadas na intervenção.</p> <p>"Pela carboxila e amina, dos aminoácidos. Carboxila de um aminoácido e amina do outro. Não, não lembro." (6)</p> <p>"Radical pra cima, radical pra baixo com hidrogênios se alternando. É... Ponte de hidrogênio." (7)</p> <p>"Os aminoácidos, mantinham a ligação carboxila com a amina, os radicais ficavam pro lado de fora da hélice alfa, a ligação de hidrogênio era mantida por ligação de hidrogênio também. A estrutura era formada pela ligação de hidrogênio... É." (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <p>Figura 56 - Desenho feito pelo aluno A1 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.</p> <p>O aluno representou o aminoácido através de um desenho, ressaltando a estrutura piramidal do aminoácido, ele mostra a amina desprotonada (NH_2), a Carboxila (COOH) protonada, e os H e R. (3)</p>

continua

continuação

Subtema: Síntese proteica

Através do DNA é sintetizado o RNA mensageiro utilizando a enzima RNA polimerase. O RNA mensageiro é traduzido pelo ribossomo que traduz os códons que formam o RNA mensageiro. Os ribossomos ligam os códons do RNA mensageiro com os anticódons do RNA transportador, quando isso ocorre o RNA transportador libera o aminoácido para o ribossomo que o liga com o próximo aminoácido que será liberado pelo próximo RNA transportador. Essa cadeia de aminoácido forma uma proteína forma uma proteína de formação primária. A partir dessa forma primária pode se obter diferentes formas secundárias, terciárias ou quaternárias. (1)

ESTRUTURA / FUNÇÃO

Subtema: Relação estrutura/função

"Estrutura e função? Se uma proteína tem a função de prender duas camadas, acho que o formato dela deveria ser algo mais entrelaçado entre as duas. Como uma linha. Mas como a porina, é pra entrar e sair alguma coisa de dentro da célula então ela funciona como um tubo. Então, eu acho que ela tem que ser mais grossa." (10)

Subtema: Exemplos estrutura/função

"Hum, eu me lembro disso. No interior do poro, eu lembro que tinha alguma coisa a ver com acidez tal, quase." (9)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 57 - Desenho feito pelo aluno A1 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

O aluno fez uma representação estática de uma proteína estrutural, o colágeno. (4)

Subtema: Modelos

Figura 58 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A1 referente à questão 2 do pós-teste.

O aluno disse que seu modelo anterior só poderia representar a estrutura primária de uma proteína. Por isso, montou com miçangas dispostas em um fio e massinha, uma estrutura de folha beta, a massinha representaria as pontes de hidrogênio. (2)

Quadro 20 - Respostas do aluno A1 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Com relação ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese** notou-se que o aluno A1 incorporou termos como estrutura secundária, carboxila e amina e radical,

conforme observado nas respostas 5, 6 e 7 do pós-teste, respectivamente. Nas respostas 7 e 8 o aluno retomou os mesmos termos usados pela tutora ao explicar como se fazia a montagem da folha beta e hélice alfa, respectivamente.

A partir da comparação entre respostas do pré- e pós-teste referentes aos grupos funcionais que compõem o aminoácido, percebemos que o aluno A1 conseguiu superar a confusão entre os monômeros de proteína e DNA apresentada no pré-teste (resposta 5), mostrando que após a intervenção passou a conhecer a fórmula estrutural do aminoácido, e a disposição tetraédrica dos seus grupos funcionais ao redor do carbono central, fazendo uma representação tridimensional desse monômero.

A respeito da concepção do aluno sobre a Síntese proteica, comparando-se as respostas obtidas no pré- e pós-teste, o aluno construiu uma explicação do processo, como observado em sua resposta escrita (resposta 1 do pós-teste), mostrando que pode ter havido a formação de um modelo mental sobre o processo de síntese de proteínas que se mostrava ausente a partir da análise da resposta 7 do pré-teste, evoluindo do particular (jogos e atividades) para a generalização.

Com relação ao tema **Estrutura/Função** de proteínas, notamos que o aluno superou a definição inicial de proteína que possuía (questões 6, 8 e 10 do pré-teste), de uma estrutura toda enrolada apenas com função estrutural, na qual ele relacionava de maneira superficial os “componentes” da proteína à sua função, para uma definição mais elaborada, conforme se observou através da resposta 10 - “Se uma proteína tem a função de prender duas camadas, acho que o formato dela deveria ser algo mais entrelaçado entre as duas. Como uma linha. Mas como a porina, é pra entrar e sair alguma coisa de dentro da célula então ela funciona como um tubo”. Nesse trecho, o aluno utilizou o exemplo da proteína porina visto no curso, considerando apenas o ‘formato’ da proteína e não as interações químicas e/ou a composição de aminoácidos, fatores estes que também interferem na relação mencionada.

Com relação ao tema **Representações**, no pós-teste o aluno A1 apresentou um desenho estático mostrando a função do colágeno, ao contrário do pré-teste, quando ele não conseguiu representar uma proteína em funcionamento. A respeito da montagem do modelo tátil de proteína com materiais de baixo custo o aluno, no

pós-teste, apontou uma limitação do modelo por ele montado no pré-teste, dizendo que este só mostrava a estrutura primária. Ele então resolveu montar uma estrutura secundária, dizendo que estava montando uma folha beta, o que evidenciou não só a apreensão dos termos científicos acima sublinhados presentes na fala do aluno, bem como de seus conceitos, uma vez que seu modelo se apresentou correto do ponto de vista científico e coerente com as demais respostas do pós-teste.

4.2.2.2 Pós- teste da aluna A2

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"Foram a primária, a secundária e a terciária. Aí só faltou montar a quaternária porque ela é mais complicada." (5)</p> <p>"A primária, ela é... Só enovelada assim... Ela não é enovelada... Ahhh! Pode corrigir a primeira? Agora que eu lembrei! Unida? Por pontes de hidrogênio e a ligação peptídica." (6)</p> <p>"Vamos supor, se tinha um pra cima assim, e o outro pra baixo, um pra baixo e um pra cima²⁷. Aí dá o enovelamento que eu falei, se dá justamente por isso que eu falei. Não." (7)</p> <p>"Depois que montou lá aquela estrutura, você deu aquela torção²⁸ dele né?. Ligações peptídicas e de hidrogênio." (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> </div> <p>Figura 59 - Desenho feito pela aluna A2 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.</p> <p>A aluna representa o aminoácido com um desenho igual ao montado em seu modelo com um carbono quiral, uma amina ligada a ele e um grupo hidroxila (OH). (3)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> </div> <p>Figura 60 - Desenho feito pela aluna A2 na resposta 1 do pós-teste para representar o processo de síntese de proteínas.</p> <p><i>As proteínas são sintetizadas através das enzimas. (1)</i></p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO

continua

²⁷ Mostrando em seu modelo montado em materiais de baixo custo os aminoácidos com o radical orientado pra baixo e no outro pra cima.

²⁸ Quando a aluna menciona 'aquela torção que você deu' ela se refere às instruções fornecidas durante o curso de proteínas.

continuação

Subtema: Relação estrutura/função

"Não sei, porque ela é formada de aminoácidos e de acordo com aquela sequência de aminoácidos, você vai ter uma função diferente... Ah, por exemplo, a proteína, uma proteína que (está) presente, por exemplo, no sangue, ela vai ter uma sequência de aminoácido ela vai ter uma função diferente de outra que está em um outro esquema, não sei." (10)

Subtema: Exemplos estrutura/função

"Não sei" (9)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 61 - Desenho feito pela aluna A2 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de um proteína.

A aluna fez um desenho estático da hemoglobina. (4)

Subtema: Modelos

Figura 62 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A2 referente à questão 2 do pós-teste.

A aluna montou dois modelos, o da estrutura primária, representado por um fio de massinha. O segundo, um modelo tridimensional de aminoácido, possui um carbono quiral, uma amina e um OH.

Figura 63 - Desenho feito pela aluna A2 durante a montagem do modelo tátil de proteína na resposta 2 do pós-teste numa tentativa lembrar os grupos funcionais do aminoácido.

Quadro 21 - Respostas da aluna A2 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Com relação ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese** observou-se que após a intervenção a aluna A2 incorporou termos científicos, até então não utilizados em

seu vocabulário. Termos como estrutura primária, secundária, terciária e quaternária, ligações peptídicas, hidrogênio e radical foram utilizados pela aluna, como pode ser notado a partir da construção do modelo (resposta 2) e nas respostas 5 a 8. No entanto, o significado desses conceitos pareceu desconexo/incoerente com o modelo apresentado. Nas respostas 7 e 8 a aluna tentou retomar de forma um pouco confusa os mesmos termos usados pela tutora no curso ao explicar como se fazia a montagem da folha beta e hélice alfa, respectivamente.

A respeito da composição/estrutura do aminoácido a aluna mostrou em seu modelo e desenhos (resposta 2 e 3 do pós-teste, respectivamente) que superou a confusão desse monômero com os nucleotídeos de DNA e RNA, evidenciada na resposta 5 do pré-teste. Porém ela não dispôs os grupos funcionais em forma de tetraedro ao redor do carbono central, fazendo apenas uma representação “bidimensional” do aminoácido (Figura 59).

A respeito da Síntese proteica, a aluna pareceu não ter avançado conceitualmente, considerando suas respostas no pré- e pós-teste. Percebeu-se que ela tentou recorrer ao jogo “Sintetizando proteínas” utilizado durante o curso para formular sua resposta sobre o processo mencionado, mas o desenho que ela apresentou, apesar de ser semelhante ao tabuleiro do referido jogo, era desconexo e sem legendas explicativas.

Com relação ao tema **Estrutura/Função** de proteínas, através da resposta 9 e 10, observou-se que a aluna apresentou respostas vagas e generalizadas, revelando suas dificuldades com relação ao tema.

Considerando o tema **Representações** a aluna fez um desenho estático da hemoglobina, conceitualmente incoerente com o modelo científico aceito e com o apresentado nas demais respostas do pós-teste. A respeito da montagem dos modelos táteis com material de baixo custo, a aluna montou dois modelos. O primeiro modelo correspondia a um fio de massinha de modelar e representava a estrutura primária de uma proteína,. No segundo modelo, ela representou um aminoácido, utilizando bolinhas de isopor e de massinha de cores diferentes para representar um carbono quiral, uma amina, um OH e um radical (Figura 62).

4.2.2.3 Pós-teste da aluna A3

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"A primária, a secundária e a terciária. A hélice alfa e a folha beta." (5)</p> <p>"Lembro... Era por pontes de hidrogênio... Quais peças? A gente usou... A gente usou as pontes de hidrogênio, não usou? Então, não sei agora se aquela pecinha pretinha era carboxila. Eu to com carboxila na cabeça, mas to pensando se é isso mesmo. Aí a gente usou: como que chama aquelas pecinhas maiorzinhas... A pergunta era quais pecinhas a gente usou né?... A gente usou pontes de hidrogênio, aquela pecinha pretinha, aí tinha amina e... Amina e um ácido carboxílico acho que era." (6)</p> <p>"Era... Como é que eu posso falar? Era um aminoácido, perto de um aminoácido, perto de um aminoácido... Eu lembro que era paralela né? Tinha uma que ficar do lado da outra e um aminoácido pra cima e outro pra baixo né? Era pontes de hidrogênio também e ligações peptídicas." (7)</p> <p>"Pra fora né? Com os aminoácidos voltados pra fora daquele eixo... Pontes de hidrogênio e ligações peptídicas acho que todos tinha né?" (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <p><i>O aminoácido é composto pelo grupo funcional amina e carboxila.</i> (3)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p> <p>Sem resposta. (1)</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
<p>Subtema: Relação estrutura/função</p> <p>"Bom, estrutura acho que é a forma física da proteína... Então, não sei, mas eu acho que cada estrutura primária, secundária e terciária, tem uma função diferente né?. Por exemplo, a primária ela é mais descoordenada mas, você consegue movimentar mais ela. A hélice alfa já é uma estrutura mais rígida por causa das pontes de hidrogênio, ela é mais difícil de mover. E a folha beta acho que é a mais rígida ainda não é?" (10)</p> <p>Subtema: Exemplos estrutura/função</p> <p>"Então, não sei se ela quebra sei lá, a proteína, e aí ali dentro tem alguma coisa pra absorver sei lá, enzima, num sei essa." (9)</p>
REPRESENTAÇÕES
<p>Subtema: Funcionamento</p> <div data-bbox="612 1677 901 1939" data-label="Image"> </div> <p>Figura 64 - Desenho feito pela aluna A3 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de um proteína. O desenho não apresentava legenda e a aluna não esclareceu do que se tratava</p>

continua

continuação

Subtema: Modelos

A aluna montou dois modelos em massinha, um representando a estrutura primária, apenas um cordão; e o outro uma hélice representando a hélice alfa.

Figura 65 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A3 referente à questão 2 do pós-teste.

Quadro 22 - Respostas da aluna A3 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Com relação ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese** observou-se que após a intervenção a aluna A3 incorporou termos científicos, até então não utilizados, como estrutura primária, secundária, terciária, ligações peptídicas e de hidrogênio em seu vocabulário. Nas respostas 7 e 8 a aluna retomou os mesmos termos usados pela tutora no curso ao explicar como se fazia a montagem da folha beta e hélice alfa, respectivamente. Na resposta 3, sobre a estrutura do aminoácido, a aluna mencionou que o mesmo era composto pelo grupo funcional amina e carboxila o que representou um ganho conceitual com relação à resposta apresentada no pré-teste - “Então, o aminoácido compõe a proteína, eu acho, que o conjunto deles forma uma proteína”. A aluna não respondeu a pergunta relativa à síntese proteica, o que evidenciou que a aluna apresentava dificuldades com relação ao tema.

Com relação ao tema **Estrutura/Função** de proteínas, através da resposta 10, notou-se que apesar de ter utilizado os termos científicos de estrutura primária, secundária e terciária, a aluna não os definiu com clareza, relacionando os tipos de enovelamento mencionados à função desempenhada pela proteína. Através da resposta 9, a respeito de quais aminoácidos se esperaria encontrar em uma proteína de membrana como a porina - “Então, não sei se ela quebra sei lá, a proteína, e aí ali dentro tem alguma coisa pra absorver sei lá, enzima, num sei essa”-, notou-se que a aluna não conseguia relacionar as propriedades químicas dos aminoácidos à função da proteína.

Considerando o tema **Representações** a aluna fez um desenho estático (Figura 64) sem apresentar legenda ou explicação sobre o que fora representado, o que o tornou desconexo com relação ao restante da entrevista, no sentido de que não representava nenhum conceito citado em outras respostas da entrevista. A respeito da montagem dos modelos táteis com material de baixo custo, a aluna montou dois modelos (Figura 65). O primeiro correspondia a um fio de massinha e representava a estrutura primária de uma proteína. No segundo, ela representou uma hélice alfa em massinha de modelar

4.2.2.4 Pós- teste do aluno A4

TEMA
<p align="center">PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE</p> <p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"Primeiro a gente montou uma cadeia de aminoácidos só, depois a gente montou folha beta antiparalela e folha beta paralela, e depois a hélice alfa." (5)</p> <p>"Sempre era através de uma ligação ácido-base, se ligava a parte ácida do aminoácido que era a carboxila, com a parte básica do outro aminoácido, que era a amina. Estava sempre ligado por ai, carboxila-amina, carboxila-amina... Sempre assim. As peças que a gente ligou os aminoácidos eram as próprias pecinhas mesmo, a pecinha carboxila e a pecinha amina." (6)</p> <p>"Os aminoácidos, eles estavam como se fosse nesse esquema que eu fiz aqui né? Um aminoácido como se fosse o esquema que eu fiz aqui. Um aminoácido... Como cada aminoácido dá pra pensar como se fosse um tetraedro né? E se a gente pensar na ponta de cima, como a ponta que tem o radical, um tava com o radical apontando pra cima e outro com o radical apontando pra baixo, e revezando assim, na folha beta. Aí tinha uma ponta dela que fazia uma volta ali né? Isso na antiparalela. Fazia uma volta e depois era a mesma coisa, apontando pra cima, apontando pra baixo, pra cima, pra baixo, e a folhas betas elas interagiam entre si, por pontes de hidrogênio, os grupos, e também as nuvens eletrônicas, lá de amina né? E de carbonila também. Foram as ligações entre os aminoácidos mesmo eram as pontes de hidrogênio entre cada folha, cada faixa assim (gesticulando). Na paralela também, em vez de ter a volta as duas estavam apontando pra mesma direção, mas também era pontes de hidrogênio, entre uma e outra." (7)</p> <p>"É... Os aminoácidos, eles estavam... Se você fosse imaginar um eixo vertical assim, eles estavam contornando esse eixo, formando um espiral mesmo, e todos os radicais, os grupamento diferentes dos aminoácidos estavam sempre apontando para fora desse espiral, então, se fosse imaginar de novo num tetraedro né? (gesticulando) A ponta que tinha o radical era sempre pra fora né? Dando a volta assim. (gesticulando) Também era ponte de hidrogênio, se você imaginar no eixo vertical assim um espiral subindo, eram umas pontes de hidrogênio que ligavam um aminoácido tal com um aminoácido da volta debaixo (gesticulando), sempre ligando com a espiral debaixo, com a volta debaixo." (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <p>O aluno optou por desenhar o monômero. Colocou a amina desprotonada e a carboxila protonada. (3)</p> <div data-bbox="609 1525 1059 1850" data-label="Chemical-Block"> </div>

Figura 66 - Desenho feito pelo aluno A4 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.

continua

continuação

Subtema: Síntese proteica

O processo de síntese de proteínas se inicia com um gene (sequência de bases do DNA), a partir do qual é formada uma fita de RNA mensageiro complementar ao gene. Nesse processo participam algumas proteínas, que abrem a fita de DNA e montam o RNA (nesse caso a polimerase). O RNAm sai do núcleo celular e liga-se a um ribossomo. Então são trazidas trincas de bases nitrogenadas por RNA do tipo transportador, juntamente também com um aminoácido. Ao término da sequência forma-se uma cadeia de aminoácidos que é solta pelo ribossomo e parte para finalidades diferentes. (1)

ESTRUTURA / FUNÇÃO

Subtema: Relação estrutura/função

"Se tivesse que estabelecer a relação estrutura/ função de maneira mais generalizada? É estrutura, tá falando disso que eu falei de ser polar ou apolar ou de ser secundária e terciária? Se for pegar o negócio mais generalizado para trabalhar em escola mesmo, compensa dar a ideia de estrutura terciária e quaternária, assim como estrutura própria de enzima né? A estrutura que a enzima tem que é a estrutura que eu fiz enroladinha aqui. A ideia também da hélice alfa, como também forma um tipo de tudo, podia falar mais ou menos disso, poder formar o tubo, poder formar a fibra, que você forma uma coisa enrolada, comprida, e a folha beta, como ela tem várias fitas assim, ela forma mais ou menos uma paredezinha preenche melhor, e até como fica na membrana quando você vai preencher o recheio dela é mais folha beta né? A hélice alfa parece ser uma coisa mais comprida. Sem generalizar, mas pra ter uma noção tridimensional mesmo da coisa." (10)

Subtema: Exemplos estrutura/função

"Como dentro da célula e fora da célula é um meio hidrofílico, né? Um meio aquoso, nessas regiões teria que ter aminoácidos com radical polar, voltado pra fora, pra interagir bem com o meio aquoso, (gesticulando) tanto voltado pra dentro da célula quanto para o meio né? E na região assim, em toda a volta, em todo o meio, porção assim da proteína, como tá na membrana celular que é de lipídio e fosfolipídio, estaria numa região apolar, na região que tem que ter ali mesmo, então teria que ser aminoácidos apolares, pra interagir bem com essa região. E aí dentro do canal também teria que ser polar né? Para passar as coisas que estão do lado de fora passar para dentro, passa também pelo meio aquoso né? Mas dentro do tubo teria bastante, teria aminoácido polar também." (9)

REPRESENTAÇÕES

continua

conclusão

Subtema: Funcionamento

Figura 67 - Desenho feito pelo aluno A4 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

O aluno repetiu os desenhos feitos no pré-teste, fez dois tipos de representações do funcionamento de uma proteína. A primeira representação, do tipo chave-fechadura, mostra o sítio ativo de uma proteína. A segunda, do tipo processual, evidencia mudanças conformacionais de proteínas envolvidas da contração muscular. (4)

Subtema: Modelos

Figura 68 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A4 referente à questão 2 do pós-teste.

O aluno disse que manteria seus modelos (aminoácido e hélice alfa), mas acrescentaria dois outros modelos. Disse que poderia representar a estrutura terciária da proteína com barbante e com a massinha montou um modelo tridimensional de uma fita beta. (2)

Quadro 23 - Respostas do aluno A4 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Considerando o tema **Proteína - Estrutura e Síntese**, ao se analisar a montagem do modelo e as respostas 7 e 8 do pós-teste, notou-se que o aluno A4 conseguiu diferenciar estruturas secundárias como hélice alfa, folhas beta paralela e antiparalela, o que mostrou que o aluno superou a confusão apresentada por ele no pré-teste com relação à definição desses conceitos. A respeito da estrutura do aminoácido, definida corretamente e representada em três dimensões no pré-teste, no pós-teste o aluno preferiu fazer um desenho da fórmula estrutural do monômero, sem considerar a disposição tetraédrica do carbono central (Figura 66).

A respeito da síntese de proteínas, assim como verificado no pré-teste (respostas 7 e 9), no pós-teste (resposta 1) ele confirmou seu conhecimento do processo; porém, ao falar sobre o mRNA o aluno manteve a ideia de que a

sequência do mRNA é complementar a do gene e não a mesma informação contida no gene.

Com relação ao tema **Estrutura/Função** de proteínas, no pré-teste o aluno fez confusão ao relacionar diferentes funções de proteína a diferentes níveis de enovelamento da proteína (resposta 6 do pré-teste), o que parece ter sido superado através da definição correta desses termos, como notado nas respostas 7 e 8 do pós-teste. No pós-teste, quando perguntado sobre quais aminoácidos se esperaria encontrar na estrutura da porina, uma proteína de membrana (resposta 9 pós-teste), o aluno, assim como na resposta 8 do pré-teste, considerou as diferentes propriedades químicas dos aminoácidos e o meio em que esses se encontrariam, relacionando-os assim com a função da proteína mencionada, o que indica que ele parece ter interligado os conceitos químicos de polaridade e hidrofobicidade ao seu modelo mental de proteína.

Considerando o tema **Representações**, no pós-teste o aluno fez um desenho estático do tipo chave-fechadura e um desenho processual das proteínas atuando na contração muscular (Figura 67), o mesmo desenho apresentado na resposta 2 do pré-teste. A respeito da montagem dos modelos táteis com material de baixo custo, quando perguntado se modificaria alguma coisa nos modelos montados no pré-teste, o aluno disse que manteria seus modelos de aminoácido e hélice alfa e acrescentaria dois outros modelos: um em barbante representando a estrutura terciária da proteína e outro tridimensional em massinha, representando uma fita beta (Figura 68).

4.2.2.5 Pós-teste da aluna A5

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"A gente fez primeiro a estrutura primária, as ligações entre os aminoácidos, a gente fez a hélice alfa, fizemos a folha beta antiparalela e paralela." (5)</p> <p>"Ela se mantém unida pelas ligações peptídicas... Através do carbono, a parte carbono terminal e a parte amino terminal... É uma ligação que vai formar uma parte amida. Aqui tem um carbono que vai se ligar com uma molécula de nitrogênio e sai uma molécula de água." (6)</p> <p>"As cadeias laterais deles estavam ou para cima, ou para baixo. E naquele plano ali da fita, vai formar pontes de hidrogênio entre a parte amino terminal e carbono terminal de um e de outro aminoácido. Então no plano tem as ligações de carbono, e pra cima ou pra baixo as cadeias laterais... De hidrogênio. E no dobramento lá, eu lembro que tinha um aminoácido específico que era prolina acho." (7)</p> <p>"Então, tinha a sequência primária, e aí a minha dúvida, eles se enovelaram no sentido horário, e eles interagiam por pontes de hidrogênio também (gesticulando), só que aí eu não lembro como que era o posicionamento direito da cadeia primária, o que eu lembro é que tinha, por exemplo, o carbono terminal, e depois um próximo aminoácido, quem tava livre era a parte amino terminal, e essa parte amino terminal tinha que ficar pra cima. E depois a gente ia enovelar o resto da cadeia no sentido horário, a partir desse primeiro carbono, da parte amino terminal, era isso... Tinham as pontes de hidrogênio. Tinha interação hidrofóbica ali no meio da ligação." (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <p>"Então, tem uma parte amina, amino terminal, e na ligação peptídica vai formar uma amida não é isso? Tem uma cadeia carbônica... E as cadeias ela vão se diferenciar então... Aí vão aparecer vários grupos funcionais, eles podem ser cíclicos, podem ser um OH, aí enfim, qualquer coisa assim. Tem o carbono, do lado de cá o hidrogênio." A aluna também fez o desenho do aminoácido protonado. Também desenhou o grupo amina e carboxila não protonados e separados. Disse que as cadeias laterais poderiam ser qualquer coisa. (3)</p> <div data-bbox="491 1384 1104 1886"> </div>

Figura 69 - Desenho feito pela aluna A5 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.

continua

continuação

Subtema: Síntese proteica

Figura 70 - Esquema feito pela aluna A5 na resposta 1 do pós-teste para representar as etapas do processo de síntese de proteínas.

A aluna fez um esquema, indicando em que local ocorriam os processos de transcrição (núcleo), tradução (citoplasma) e a síntese de proteínas (citoplasma).

No núcleo, ocorre a transcrição do DNA, através da RNA polimerase que monta uma fita de mRNA, o qual sai do núcleo com a informação da ptn. Uma vez no citoplasma o mRNA é traduzido pelo ribossomo, formando uma cadeia primária de AA. Etapas: (Jogo didático) 1º DNA polimerase. 2º Nucleotídeos de RNA. 3º Saída da carioteca. 4º Ribossomo. 5º AA. 6º Sequência primária de AA. 7º Enovelamento. 8º destinar (1)

ESTRUTURA / FUNÇÃO

Subtema: Relação estrutura/função

"Então, a estrutura e função tá diretamente relacionada. Porque, por exemplo, no transporte, é como essa proteína vai estar estruturada, ela vai determinar especificamente qual substância vai entrar ou sair dentro da célula. É... Se ela tiver uma parte hidrofóbica exposta no citosol ou na parte extracelular, é aquela parte que vai determinar se essa estrutura vai entrar na célula, então tem a relação direta." (10)

Subtema: Exemplos estrutura/função

"Na superfície que interage com a membrana, hidrofóbico. Ela vai se enovelar de tal forma que a parte hidrofóbica vai se voltar pra fora e a parte hidrofílica vai estar voltada para o centro do canal, o que vai permitir a passagem de substâncias hidrofílicas." (9)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 71 - Desenho feito pela aluna A5 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

A aluna fez o desenho de uma proteína de transporte, uma representação estática. (4) "Aqui Marília... Não sei se... A intenção era desenhar um poro formado por várias hélices alfa sabe, elas interagem, tem a interação dentro, quando ela se dobram, mas elas vão interagir lateralmente também. E aqui tem a hélice que interliga uma a outra, então a intenção era essa. Um poro formado por hélices alfa que tem função... É... de transporte."

continua

conclusão

Subtema: Modelos

A aluna disse que sua montagem seria idêntica a do pré-teste e que desta vez ela preferia desenhar. Então desenhou duas folhas beta, paralela e antiparalela (Figura 38). Disse que não sabia desenhar a ligação peptídica e aí resolveu tentar montar um modelo de hélice alfa, enrolando a massinha ao redor de um lápis (Figura 39). Nessa montagem a aluna disse que em cada volta teria 3,6 aminoácidos e que entre cada volta teriam ligações de hidrogênio, e que os radicais se encontram para fora da hélice. (2)

Figura 72 - Desenho feito pela aluna A5 durante a resposta 2 do pós-teste para representar estruturas secundárias de proteína.

Figura 73 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A5 referente à questão 2 do pós-teste.

Quadro 24 - Respostas da aluna A5 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Considerando o tema **Proteína - Estrutura e Síntese**, através das respostas 7 e 8 do pós-teste, a aluna mostrou que se lembrava de detalhes particulares da montagem da hélice alfa e folha beta, mas não evidenciou que havia superado a confusão apresentada pela mesma no pré-teste a respeito dos diferentes níveis de enovelamento de proteína. Através da resposta 3 do pós-teste, em que a aluna desenhou a fórmula estrutural do aminoácido (Figura 69), pode-se notar que ela superou a confusão na definição desse monômero, apresentada na resposta 5 do pré-teste. Na resposta 1 do pós-teste, a aluna recorreu às atividades realizadas no curso, representando o processo de síntese proteica através de um esquema (Figura 70) com etapas do jogo “Sintetizando Proteínas”; nessa resposta a aluna parece ter superado a confusão detectada no pré-teste entre os processos de transcrição e tradução.

A respeito do tema **Estrutura/função** de proteínas, apesar de no pré-teste a aluna ter exibido confusão na definição de aminoácido, ela também demonstrou conhecer as propriedades químicas dos aminoácidos, como hidrofobicidade e polaridade, o que parece ter sido interligado ao seu modelo de forma mais evidente

no pós-teste, quando passou a considerar que as propriedades químicas das cadeias laterais dos aminoácidos e interações interferiam na função da proteína e não só o formato, conforme observado na entrevista do pós-teste (resposta 9 e 10).

Com relação ao tema **Representações** a aluna exibiu na resposta 4 relativa ao funcionamento da proteína, um desenho do tipo estático de um dos exemplos trabalhados no curso, a porina (Figura 71). Com relação à montagem de modelos táteis com material de baixo custo, a aluna pediu para desenhar estruturas, pois sentia dificuldades em montar modelos. Ela desenhou folhas beta paralelas e antiparalelas de maneira correta (Figura 72) e uma hélice alfa representada em massinha de modelar usando um lápis como eixo da hélice (Figura 73). Em ambas as representações, a aluna relacionou com clareza as representações aos termos científicos levantados durante a montagem dos modelos e em outras perguntas da entrevista.

4.2.2.6 Pós-teste da aluna A6

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
Subtema: Estrutura de proteína
<p>"A gente montou a estrutura primária até a estrutura secundária. E a gente montou a estrutura secundária de folha beta pregueada paralela e antiparalela, e hélice alfa. E só." (5)</p>
<p>"Tinha os aminoácidos, era mais ou menos linear, ligados pela ligação peptídica... É, uma peça de amina e uma de carbonila, ácido carboxílico." (6)</p>
<p>"Fazia uma volta (gesticulando). Tinha a estrutura primária, e ela mais ou menos fazia uma volta e interagia. E esses aminoácidos interagiam com esses. (gesticulando) As cadeias de carbonos estavam em zigue e zague... A cadeia lateral era uma pra fora e outra pra dentro. Tipo uma cadeia lateral pra cima e outra pra baixo, uma pra cima e outra pra baixo. Dipolo-dipolo. É... Pontes de hidrogênio." (7)</p>
<p>"Na hélice alfa eles estavam com o hidrogênio pra frente, a cadeia lateral pra fora, e amina pra cima carbono pra baixo. (gesticulando) Ligações de hidrogênio." (8)</p>
Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido

<p>Figura 74 - Desenho feito pela aluna A6 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.</p>
<p>Um aminoácido é composto por um grupo amino, grupo carboxílico e uma cadeia lateral que diferenciara e caracterizará um aminoácido do outro. (3)</p>
<p>A aluna representou a amina protonada e a carboxila desprotonada, cadeia lateral e hidrogênio. (3)</p>
Subtema: Síntese proteica

<p>Figura 75 - Esquema feito pela aluna A6 na resposta 1 do pós-teste para representar o processo da síntese de proteínas.</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
Subtema: Relação estrutura/função
<p>"Bom dependendo da função que no caso, proteínas da membrana, dependendo do que elas carregam, elas têm que ter a mesma característica do que elas carregam. Por exemplo, se a proteína tá dentro do citosol, ela tem que ser polar como o meio, hidrofílica." (10)</p>

continua

continuação

Subtema: Exemplos estrutura/função

"Bom na superfície poderia ser hidrofílico porque a superfície é hidrofílica, só entre ela que teria que ser hidrofóbico, e no canal, aminoácidos mais carregados." (9)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 76 - Esquema feito pela aluna A6 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

A aluna desenhou as proteínas que formam as fibras do fuso durante a mitose, uma representação estática. (4)

Subtema: Modelos

Figura 77 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A6 referente à questão 2 do pós-teste.

A aluna montou um modelo com palitos de dente e bolinhas de isopor, tentou dar a torção de uma hélice no final. Enquanto a aluna estava montando ela falou: "Cada bolinha seria um aminoácido, e o palito seria a ligação peptídica, aí isso daqui seria a estrutura primária... Primária e essa seria secundária, hélice alfa (dando o formato de hélice ao modelo)" (2)

Quadro 25 - Respostas da aluna A6 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Considerando o tema **Proteína - Estrutura e Síntese** na questão 4 do pré-teste, a aluna relacionou o funcionamento da proteína aos seus diferentes níveis de enovelamento, em um desenho, a partir da análise da resposta 5 do pós-teste a aluna indicou que pode ter superado essa confusão. Através da resposta 1, sobre síntese proteica, em que a aluna fez um esquema relacionando os conceitos corretamente (Figura 75), ela mostrou que aparentemente superou a confusão estabelecida na resposta 7 do pré-teste entre os processos de replicação e transcrição. Observou-se que a aluna definiu aminoácido de modo correto (Figura

74) e apesar de não ter considerado a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono central, a aluna os representou de maneira correta, superando a confusão entre os monômeros de proteína e DNA apresentada no pré-teste.

Considerando o tema **Estrutura/função** de proteínas notou-se, através das respostas 9 e 10 do pós-teste, que a aluna conseguiu relacionar interações e propriedades químicas com a função de uma proteína, passando a não considerar apenas o formato como principal fator que interfere na função de uma proteína.

Com relação ao tema **Representações**, no pré-teste a aluna havia feito um desenho apenas evidenciando níveis de enovelamento de uma proteína e não o que fora solicitado. No pós-teste ela representou de fato o que foi pedido, apesar de ser uma representação estática; a aluna mostrou que já conseguia visualizar uma proteína interagindo com outras moléculas, desempenhando sua função (figura 76). Com relação aos modelos táteis montados com materiais de baixo custo, a aluna montou um modelo com bolas de isopor e palitos de dente. (Figura 77) Ela tentou enovelar esse modelo em formato de hélice e disse que cada palito representava uma ligação peptídica e cada bolinha de isopor um aminoácido.

4.2.2.7 Pós-teste do aluno A7

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"Folha beta pregueada antiparalela, paralela. Montamos também a fita de DNA, montamos os aminoácidos, a configuração deles espacial, olhando pra eles, eles seriam L. Acho que só que eu lembro." (5)</p> <p>"Lembro... A folha beta e a hélice alfa... Com as pecinhas que a gente usou. Não entendi a pergunta... Covalentes... Ligação covalente... Você tá perguntando ao amino terminal e carboxi terminal? Então, essas peças que a gente usou. Tinha uma peça pra colocar o radical, uma peça pra colocar o hidrogênio e uma peça de carboxi terminal e amino terminal. Através delas a gente unia o carboxi COO né? E com o NH₃." (6)</p> <p>"Sim. Era... Como era uma folha beta pregueada ela tinha os radicais pra cima... Os radicais dos aminoácidos pra cima e no outro pra baixo, era invertido, um depois do outro. Por isso que chama pregueada. E elas eram planares. Não a estrutura em si, mas tinha uma forma planar... Eram pontes de hidrogênio, ligações de hidrogênio." (7)</p> <p>"Os radicais estavam pra fora da hélice, e também tinha os... Não tinha nada, só tinha os radicais voltados pra fora... Tinha ligações de hidrogênio, do um com o cinco²⁹ se não me engano, e a estrutura é coordenada por isso, não só por isso, mas existe mesmo... Tem interações com o meio também né?." (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> </div> <p>Figura 78 - Desenho feito pelo aluno A7 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.</p> <p>O aluno representou a amina protonada e a carboxila desprotonada, cadeia lateral e hidrogênio. (3)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> </div> <p>Figura 79 - Esquema feito pelo aluno A7 na resposta 1 do pós-teste para representar o processo da síntese de proteínas.</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO

continua

²⁹ Referindo-se a ligação de hidrogênio que em hélices alfa ocorre entre o primeiro e o quinto aminoácido.

continuação

Subtema: Relação estrutura/função

"Não entendi a pergunta... As estruturas secundárias hélice alfa e folha beta pregueada formariam no espaço tridimensional, uma enzima, uma conformação única, que interagiria com o meio, se ela agiria no citosol, seria traduzida no citosol, se fosse na membrana eu falaria da sinalização que tem nelas, membrana, passando no retículo, aparelho de golgi." (10)

Subtema: Exemplos estrutura/função

"Na superfície em contato com a membrana eu esperaria encontrar aminoácidos hidrofóbicos. Até porque senão ia ter uma repulsão e ela não ia ficar estabilizada. No poro eu ia esperar aminoácidos carregados, para fazer interações com a água, deixar ela passar." (9)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 80 - Esquema feito pelo aluno A7 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

O aluno fez uma representação baseada no modelo chave fechadura, levando em consideração apenas o formato da proteína/ substrato. (4)

Subtema: Modelos

O aluno manteve os modelos que havia montado na entrevista anterior (Figura 33a e 33b) (2)

Quadro 26 - Respostas do aluno A7 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Referente ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese**, no pós-teste o aluno retomou o modelo tátil de aminoácidos montado durante o curso para responder as questões, pois ele repetiu a fala da tutora durante as atividades nas respostas referidas (ver respostas de 5 a 8). O aluno representou os aminoácidos de forma correta, conforme desenho da fórmula estrutural do aminoácido (Figura 78), apesar de não considerar a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono central. O aluno não mostrou mudanças observáveis com relação à compreensão do processo da síntese de proteínas, uma vez que no pré-teste exibiu

um esquema e desenhos para explicar o processo e no pós-teste manteve o esquema (Figura 79), de forma mais simplificada, porém representando o processo de maneira correta em ambas as ocasiões.

Considerando o tema **Estrutura/Função** apesar de o aluno ter mostrado na resposta 9 do pós-teste que as propriedades químicas dos aminoácidos interferiam na estabilidade da estrutura da proteína (referente a quais aminoácidos esperaria encontrar na estrutura da porina); quando foi representar uma proteína em funcionamento, ele relacionou apenas o formato espacial da molécula à sua função, fazendo uma representação do tipo chave-fechadura (resposta 4 do pós-teste).

Considerando o tema **Representações** o aluno fez um desenho processual de uma enzima interagindo com seu substrato para representar o funcionamento de proteínas (Figura 80). A respeito da montagem dos modelos de proteína com materiais de baixo custo, quando perguntado ao aluno se modificaria algo em seus modelos ou se faria novos modelos para representar a estrutura de uma proteína, o aluno disse que manteria seus modelos montado no pré-teste.

4.2.2.8 Pós-teste da aluna A8

TEMA PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Estrutura de proteína "Estrutura primária, estrutura secundária de hélice alfa, folha beta paralela e antiparalela e só." (5) "Peças? A gente usou as peças pra construir os aminoácidos. Da extremidade carboxil e extremidade amina, e ligou." (6) "Nossa eu não vou lembrar... Tinha pontes de hidrogênio." (7) "A gente organizou eles todos com o grupo amina pra cima. E sempre ligava o carbono, o N do quarto aminoácido no carbono do primeiro... Ligações de hidrogênio." (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p>
<p>Figura 81 - Desenho feito pela aluna A8 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.</p> <p>A aluna representou o aminoácido com o ácido carboxílico desprotonado, a amina como NH (desprotonada), R e H. A aluna considerou a disposição tetraédrica dos aminoácidos ao redor do carbono central. (3)</p> <p>Subtema: Síntese proteica <i>A síntese de proteínas começa no núcleo, quando uma enzima abre a fita dupla e uma fita de RNA é sintetizada com base na fita molde de DNA usando nucleotídeos de RNA. Esse RNA precisa ir para o citosol com a ajuda de uma proteína-enzima. Lá ele será usado pelo ribossomo (2 subunidades) para traduzir a sequência de aminoácidos usando para isso o t-RNA que identifica códon-anticódon e contém o aminoácido específico. Quando a fita terminar de ser traduzida a proteína será processada e enovelada, estando assim pronta para exercer sua função na célula.</i> (1)</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
<p>Subtema: Relação estrutura/função "Estrutura função? A estrutura determina a função da proteína. Tem que ter a forma, e tem que ter o encaixe do alvo dela, tipo, com quem ela vai interagir. No caso dessa, teria que ter características apolares ou polares, semelhantes. No caso de algum sinal extracelular ela deveria ter alguma substância ou algum grupo funcional que interagisse, com uma proteína do exterior da membrana. ... No sangue mesmo, no caso do anticorpo. Não, anticorpo não. No caso do tipo sanguíneo, de ter proteínas e ter... Ai, esqueci o nome. Eu esqueci o nome, me ajuda. Eu esqueci. Mas é verdade, tem as proteínas que reconhecem. No caso se você fizer uma transfusão de sangue, sendo um sangue diferente do seu ela vai ter uma fator contra essas proteínas de superfície que tem nessas células e que no seu corpo teria outros tipos de proteína." (10)</p> <p>Subtema: Exemplos estrutura/função "Na superfície, tinha que ter características mais apolares, hidrofóbica, pra interagir com a membrana que também é hidrofóbica. E no interior teria que depender do que seria específico, se era alguma substância apolar ou polar né? Ela tem características semelhantes." (9)</p>
REPRESENTAÇÕES

continua

continuação

Subtema: Funcionamento

A RNA polimerase constrói a fita de RNA com base na fita molde de DNA.

Figura 82 - Desenho feito pela aluna A8 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

A aluna fez uma representação estática da enzima RNApolimerase sintetizando uma fita de RNA a partir do molde de DNA. (4)

Subtema: Modelos

Figura 83 - Modelo tátil proteína montado em materiais de baixo custo feito pela aluna A8 referente à questão 2 do pós-teste.

A aluna montou uma hélice alfa em massinha e um modelo tridimensional de um aminoácido, no qual foram representados os grupos funcionais. (2)

Quadro 27 - Respostas da aluna A8 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

A respeito do tema **Proteína - Estrutura e Síntese**, a aluna A8 citou termos referentes ao modelo tátil de aminoácidos usado no curso, conforme observado nas respostas de 5 a 8 do pós-teste. A aluna mostrou um avanço, com relação ao pré-teste, em que definia o aminoácido em termos de seus átomos, pois apesar de não definir corretamente o grupo funcional amina, apresentou uma representação (Figura 81) mais próxima do modelo científico no pós-teste. Com relação à síntese proteica, a aluna apresentou em sua resposta 1 um termo que não foi trabalhado durante o curso (*proteína-enzima*), provavelmente adquirido por influência de estudo ou de alguma disciplina que cursava à época. Notou-se, ainda, na mesma resposta, que a aluna recorreu ao jogo “Sintetizando proteínas” para explicar o processo referido, quando utilizou o termo “processada” empregado nas cartas do jogo mencionado.

A respeito do tema **Estrutura/Função**, quando perguntada sobre a relação estrutura/função de proteínas no pós-teste, a aluna considerou que as “características” da proteína também influenciariam na função da mesma, como se pode notar no trecho destacado da resposta 10 “(...) A estrutura determina a função da proteína. Tem que ter a forma, e tem que ter o encaixe do alvo dela, tipo, com

quem ela vai interagir. No caso dessa, teria que ter características apolares ou polares, semelhantes”.

A respeito do tema **Representações** a aluna desenhou uma RNAPolimerase em funcionamento, em um desenho estático (Figura 82). A aluna montou um modelo de proteína com materiais de baixo custo representando uma hélice alfa, e, quando perguntada se poderia representar outras estruturas, ela representou um aminoácido em três dimensões utilizando massa de modelar e palitos de dente (Figura 83).

4.2.2.9 Pós-teste da aluna A9

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"A primária, que foi só a sequência de aminoácidos, teve a hélice alfa e a folha beta paralela e antiparalela." (5)</p> <p>"Por ligações peptídicas... A gente usou a parte carboxílica de um e com a amina do outro. Aí fez a ligação." (6)</p> <p>"Um radical pra cima e um radical pra baixo. Ia dobrando e ia juntando amina com carboxila (gesticulando). Não, é com pontes de hidrogênio... Pontes de hidrogênio, ligações de hidrogênio. Ah, e tem as ligações peptídicas dos aminoácidos." (7)</p> <p>"A gente estava organizando uma amina pra cima e uma carboxila pra baixo (gesticulando), daí fazia a ligação do primeiro com o quinto, em sentido horário com uma ligação de hidrogênio, daí ia rodando e ligando. As ligações de hidrogênio, as ligações entre os próprios aminoácidos, também tinha o lance de hidrofóbico, porque geralmente o meio é aquoso, então a parte hidrofílica tinha que ficar pra fora e a parte hidrofóbica tem que ficar pra dentro." (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <p><i>O aminoácido é composto por um grupo carboxila, amina, hidrogênio e carbono quiral.</i> (3)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p> <p><i>A síntese de proteínas inicia-se no núcleo com a transcrição do DNA em RNA, depois da tradução do RNA no ribossomo com a participação de mRNA e tRNA.</i> (1)</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
<p>Subtema: Relação estrutura/função</p> <p>"Por exemplo, da mioglobina³⁰, se ela, a função, é determinada pela estrutura terciária, aí que ela vai ligar com o oxigênio e vai armazenar. Se mudar algum aminoácido, se uma 'querida' prolina tiver ali no meio (risos), se algum aminoácido for mudado, ela já não vai ter mais a conformação correta, que teoricamente tinha que ser correta, altera a estrutura secundária, conseqüentemente a terciária." (10)</p> <p>Subtema: Exemplos estrutura/função</p> <p>"Predominantemente seria os hidrofílicos, porque vai ser o canal de passagem, de facilitação da água, ou de substâncias aquosas. E por dentro, como a camada da membrana é mais hidrofóbica, por causa dos fosfolipídios, da bicamada lipídica, ela seria predominantemente hidrofóbica, pra poder se manter." (9)</p>
REPRESENTAÇÕES

continua

³⁰ O exemplo da mioglobina e hemoglobina, segundo o professor 3, foi trabalhado extensivamente nos meses anteriores, sendo esses tópicos temas da última prova da disciplina de Bioquímica I, para os alunos da CFBio, o que justifica seu frequente aparecimento nas respostas dos alunos.

continuação

Subtema: Funcionamento

Figura 84 - Desenho feito pela aluna A9 referente à questão 4 do pós-teste, para representar o funcionamento de uma proteína.

A aluna manteve o mesmo desenho estático da mioglobina apresentado por ela no pré-teste. (4)

Subtema: Modelos

"Isso aqui eu tinha visualizado aquele formato da proteína terciária, como a gente vê nos livros, que só tubinhos, por isso que eu representei assim. Agora, pra fazer uma proteína melhorzinha mesmo, teria que como a gente viu lá, que seria o carbono, que eu to tentando montar, o aminoácido. Ah o rosinha seria o hidrogênio, o branco seria o radical, o azulzinho seria a carboxila, fazendo o aminoácido levógeno, e o vermelhinho vai ser a amina né? Montar assim o aminoácido, igual lá no kit. Daí fazendo vários desse, daí tinha que fazer ligação, esses dois né? (unindo os dois aminoácidos com um palitinho) E fazer vários pra montar uma cadeia primária. Depois girar em sentido horário, pra fazer a hélice alfa ou então ir dobrando pra fazer a folha beta, tanto paralela, quanto antiparalela. Aí eu montaria minha proteína um pouquinho melhor." A aluna fez a montagem tridimensional de dois aminoácidos e os uniu através de um palito, representando a ligação peptídica." (2)

Figura 85 - Modelo tátil de proteína feito pela aluna A9 referente à questão 2 do pós-teste.

Quadro 28 - Respostas da aluna A9 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Referente ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese**, a aluna A9 retomou o modelo tátil de aminoácidos montado durante o curso para responder as questões 5 a 8, pois ela repetiu a fala da tutora durante as atividades nas respostas referidas. Notou-se através da resposta 3 que, após o curso, a aluna conseguiu definir aminoácido com clareza e de forma correta. Com relação à síntese proteica, a aluna apresentou uma resposta resumida do processo, não muito diferente do foi apresentado no pré-teste, o que poderia indicar que não ocorreram mudanças observáveis em relação a esses conceitos.

A respeito do tema **Estrutura/Função**, quando perguntada sobre a relação estrutura/ função de proteínas, a aluna, diferentemente do que fora dito no pré-teste, mencionou que não só o formato influenciaria na função, porém também considerou que aminoácidos específicos poderiam interferir na função da proteína se colocados em determinados locais de sua estrutura. Ela utilizou como exemplo o aminoácido prolina, que, como visto no curso, muda a orientação da cadeia de aminoácidos quando inserido na estrutura.

A respeito do tema **Representações** a aluna fez o mesmo desenho que fora feito no pré-teste, exemplificando a função da mioglobina em um desenho estático (Figura 84). Além disso, ela montou um modelo tridimensional de proteína, representando os aminoácidos e uma ligação peptídica (Figura 85), sugerindo que a dificuldade/confusão apresentada no pré-teste com relação à estrutura do monômero se extinguiu após o curso.

4.2.2.10 Pós-teste da aluna A10

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"A gente montou o DNA, o RNA, a estrutura primária da proteína. Montamos a folha beta pregueada e a hélice alfa." (5)</p> <p>"Usou o carbono alfa, estrutura primária? O grupo carboxílico só que tinha um hidrogênio faltando, e um grupo amina." (6)</p> <p>"A gente sempre deixou a amina pra cima, e os nossos aminoácidos, a gente organizava um pra dentro e um pra fora (gesticulando)... Pontes de hidrogênio." (7)</p> <p>"A hélice alfa nós colocamos todas as cadeias laterais para um lado. Segurando com a mão direita, ia girando com a mão esquerda, e iam colocando de forma que a amina ficasse pra dentro e ligasse com o grupo carboxílico debaixo. Então todas as aminas ficavam pra dentro e todos os radicais ficavam pra fora. Eram as pontes de hidrogênio também." (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <div data-bbox="587 891 992 1281" data-label="Chemical-Block"> </div> <p>Figura 86 - Desenho feito pela aluna A10 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.</p> <p>A aluna representou o aminoácido através de um esquema mostrando a disposição dos grupos funcionais representados por palavras: ácido carboxílico, grupo amina, cadeia lateral e H. (3)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p> <div data-bbox="539 1496 1040 1662" data-label="Diagram"> </div> <p>Figura 87 - Esquema feito pela aluna A10 na resposta 1 do pós-teste para representar o processo de síntese de proteínas.</p> <p>A aluna fez um esquema mostrando as fases da síntese de proteínas. A <i>proteína é sintetizada por ribossomos (RNA) que associa a cada códon um resíduo de aminoácido que é "trazido" por um tRNA. Os códons são triplas de bases de nucleotídeos (U, C, G e A) e os tRNA possuem um anticódon associado (que se "encaixa" no códon). O DNA é traduzido para tRNA no núcleo da célula levado para o citosol (ou RE) e após a síntese proteica a estrutura primária sofre enovelamento (muda de conformação) e é encaminhada para o local onde é destinada.</i> (1)</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO

continua

continuação

Subtema: Relação estrutura/função

"A cadeia primária vai definir a estrutura, e a estrutura define as relações e interações que a proteína vai fazer ao seu redor. Então dependendo da função e o meio que ela tá inserida, ela tem que ser anfipática, ela tem que ser hidrofóbica, ela tem que ser hidrofílica, ou deixar um sítio ativo exposto, ou não deixar..." (10)

Subtema: Exemplos estrutura/função

"Na superfície esperaria encontrar aminoácidos do tipo hidrofílicos, eles tão interagindo com o meio externo ou com o meio interno né? Nas duas extremidades. No meio eu esperaria encontrar hidrofóbicos, que estão interagindo com lipídios né? Esperaria encontrar é arginina e um outro que eles formam a estrutura da hélice alfa, pra formar o poro. ... Esperaria encontrar os hidrofóbicos." (9)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 88 - Desenho feito pela aluna A10 referente à questão 4 do pós-teste, para representar o funcionamento de uma proteína.

A aluna fez uma representação estática de proteínas estruturais actina e miosina, que segundo ela estariam enoveladas formando 'tubinhos'. (4)

Subtema: Modelos

Figura 89 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pela aluna A10 referente à questão 2 do pós-teste.

A aluna montou um modelo de aminoácido tridimensional no qual foram representados: em marrom, o carbono (que ela chamou de central), em massinha azul grande, o grupo amina, a bolinha azul (hidrogênio) e massinha amarela (o grupo carboxila). Além disso, manteve sua montagem anterior para representar a proteína. (2)

Quadro 29 - Respostas da aluna A10 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Referente ao tema **Proteína- Estrutura e Síntese** observamos nas respostas de 5 a 8 que a aluna retomou o modelo tátil de aminoácidos montado durante o curso para responder as questões, pois ela repetiu a fala da tutora durante as atividades nas respostas referidas. Com relação à definição de aminoácido, assim como no pré-teste, a aluna conseguiu defini-lo corretamente, através de um desenho de sua fórmula estrutural, utilizando palavras para representar os grupos funcionais e considerando a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono

central (Figura 86). A respeito da síntese proteica, em comparação com o apresentado no pré-teste (apenas um esquema), no pós-teste a aluna apresentou um esquema (Figura 87) e um texto explicativo, utilizando a palavra “destinada” utilizada no jogo “Sintetizando proteínas” o que poderia indicar que a aluna recorreu às atividades realizadas durante o curso para responder as questões do pós-teste.

Considerando o tema **Estrutura e Função**, em comparação com o pré-teste através do qual se notou que a aluna não conseguiu relacionar interações e propriedades químicas dos aminoácidos com a função da proteína, no pós-teste, pode-se notar que a aluna conseguiu estabelecer relações entre as propriedades químicas dos aminoácidos e sua estrutura, como se observa no trecho a seguir da resposta 10 - "A cadeia primária vai definir a estrutura, e a estrutura define as relações e interações que a proteína vai fazer ao seu redor. Então dependendo da função e o meio que ela tá inserida, ela tem que ser anfipática, ela tem que ser hidrofóbica, ela tem que ser hidrofílica, ou deixar um sítio ativo exposto, ou não deixar...".

A respeito do tema **Representações**, a aluna apresentou na resposta 4, referente ao funcionamento de uma proteína, um desenho (Figura 88) mostrando as proteínas actina e miosina dizendo: “Elas estão enoveladinhas, formam estrutura de tubos entrelaçados, formam tubinhos. As imagino assim! Não sei desenhar (...) Seriam elas intercaladas, mas tem um padrão né? Eu não sei desenhar um padrão. Formando uma estrutura tubular”. Com relação às montagens do modelo de proteína com materiais de baixo custo, a aluna manteve o modelo montado no pré-teste em que ela utilizou massinha em cores diferentes, que segundo ela representavam diferentes aminoácidos, e fez um cilindro de massinha dobrando-o de forma aleatória. Além disso, quando perguntada se não poderia montar outro modelo, a aluna montou um aminoácido (Figura 89).considerando a disposição tetraédrica dos grupos funcionais, dizendo que talvez estivesse com uma ideia “viciada” do kit (referindo-se ao kit de aminoácidos utilizado durante o curso)

4.2.2.11 Pós-teste do aluno A11

TEMA
PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"Tipo de estrutura? Era... Era... Folha beta antiparalela, folha beta paralela e a hélice alfa." (5)</p> <p>"Era pelas ligações peptídicas... A pecinha era um furinho e um encaixe, assim, eu não lembro qual que era o furinho e qual que tinha o encaixe... Como assim? Tipo radical, C terminal? Acho que era a C terminal que tinha o encaixe e a N terminal que tinha o furinho." (6)</p> <p>"Eu via mais pela orientação do oxigênio assim, uma hora ele tava pra cima e outra hora ele tava pra baixo (gesticulando), um pra cima e outro pra baixo. Aí depois quando virava aqui né? Assim, ah sim... A antiparalela era tudo pra cima e o outro tudo pra baixo... Era ligação de hidrogênio." (7)</p> <p>"Coloca as cadeias laterais pra fora e a parte de dentro fica só com as extremidades, não sei por que eu sempre ficava pensando assim: os radicais estão pra fora, então... Fazia sempre, se você visse, tinha que formar um triângulo no meio (gesticulando)... Era ligação de hidrogênio também." (8)</p>
<p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p>
<p>Figura 90 - Desenho feito pelo aluno A11 na questão 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.</p>
<p>O aluno fez um desenho de um 'aminoácido' colocando a cadeia lateral entre os grupos funcionais amino e ácido carboxílico. (3)</p>
<p>Subtema: Síntese proteica</p> <p><i>Primeiramente, o DNA é transcrito pela RNA polimerase, de modo que a fita é aberta à medida que esta desliza pela cadeia de fita dupla (DNA helicase) e, então o DNA pode ser transcrito formando-se o RNA mensageiro. Este RNA precisa, então, sair do núcleo e ir ao citoplasma, atravessando a carioteca, transportado pelo RNA transportador, de modo que, ao chegar no citoplasma, ocorre, então a síntese de proteínas pelo ribossomo, havendo a tradução dos códons (tripletos de nucleotídeos) em aminoácidos, formando, então, a cadeia proteica, que deve ser, então, processada para executar sua devida função.</i>(1)</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO
<p>Subtema: Relação estrutura/função</p> <p>"Mais geral do que só a propriedade se ela é polar ou apolar? É que mais geral, eu não sei. Eu sei que se tiver vários grupos hidrofóbicos assim, aí dá pra saber que a proteína é transmembrana. Eu não sei é muito geral assim, a resposta é quase igual sabe. Assim, se tiver uma cavidade dentro da proteína, provavelmente é o sítio de catálise da enzima. E se tiver o encaixe perfeito também lá de uma substância, e tiver as ligações certinho. Acho que isso é o mais geral assim, é o encaixe perfeito assim." (10)</p>
<p>Subtema: Exemplos estrutura/função</p> <p>"É dentro hidrofílico e fora hidrofóbico, porque ela tá mergulhada na membrana." (9)</p>

continua

continuação

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 91 - Desenho feito pelo aluno A11 na resposta 4 do pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

O aluno fez uma representação processual da hemoglobina³¹ em seus estados tenso e relaxado, evidenciando mudanças conformacionais que ocorrem na molécula. (4)

Subtema: Modelos

Figura 92 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno feito pelo aluno A11 referente à questão 2 do pós-teste.

O aluno montou um modelo de aminoácido tridimensional no qual foram representados os grupos funcionais. Ao montar o aluno disse "Assim, o branco aqui seria o carbono (apontando para as bolinhas de isopor), aqui seria uma ligação dupla, oxigênio (apontando para a miçanga rosa), nitrogênio (apontando para a miçanga azul), tem que representar uma cadeia maior. Sei que aqui não tá representado o hidrogênio né?" A bola de massinha azul representa o nitrogênio, e a outra massinha azul representava o radical. (2)

Quadro 30 - Respostas do aluno A11 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Referente ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese** observou-se nas respostas de 5 a 8 que o aluno retomou o modelo tátil de aminoácidos montado durante o curso para responder as questões, porém a maneira com que o aluno

³¹ Como mencionado anteriormente, os exemplos de hemoglobina e mioglobina foram vistos na disciplina de Bioquímica I, oferecida no semestre anterior às entrevistas.

formulou as respostas, tanto no pré-teste quanto no pós-teste, foi confusa. Sua representação esquemática de aminoácido na resposta 3 (Figura 90) mostrou que ele não apresentava até aquele momento uma compreensão correta a respeito da estrutura do aminoácido. Sobre a síntese proteica, o aluno pareceu ter superado a confusão entre os processos de duplicação e transcrição apresentada no pré-teste. Entretanto, sua resposta 1 indicou que o aluno, até a realização da entrevista, não tinha tal processo completamente compreendido, por exemplo, quando afirmou que o tRNA transporta o mRNA do núcleo para o citosol.

Considerando o tema **Estrutura e Função**, em comparação com o pré-teste, neste tema o aluno apresentou respostas mais claras e objetivas. No pós-teste notou-se que o aluno conseguiu relacionar as interações/propriedades químicas dos aminoácidos à função das proteínas, o que pode ser notado no trecho da resposta 10 “Eu sei que se tiver vários grupos hidrofóbicos assim, aí dá pra saber que a proteína é transmembrana. Eu não sei é muito geral assim, a resposta é quase igual sabe. Assim, se tiver uma cavidade dentro da proteína, provavelmente é o sítio de catálise da enzima. E se tiver o encaixe perfeito também lá de uma substância, e tiver as ligações certinho.”

A respeito do tema **Representações**, o aluno apresentou na resposta 3 referente ao funcionamento de uma proteína um esquema processual sobre o mecanismo de transporte de oxigênio e gás carbônico, com alguns textos curtos (Figura 91). Com relação à montagem do modelo de proteína com materiais de baixo custo, o aluno montou um modelo de ligação peptídica (Figura 92), porém esse modelo não pode ser considerado correto comparando-se com o modelo científico. O aluno cometeu erros parecidos com o apresentado por ele no pré-teste, montando um modelo com miçangas e palitos sobre a mesa, caracterizado como bidimensional, representando apenas alguns átomos dos grupos funcionais envolvidos na ligação peptídica. É importante ressaltar que o aluno em questão não frequentou o segundo dia do curso, que tratou do processo de tradução, e montagem dos aminoácidos, da ligação peptídica e da estrutura primária e secundária (folha beta) com o kit de aminoácidos.

4.2.2.12 Pós-teste do aluno A12

TEMA
<p align="center">PROTEÍNA- ESTRUTURA E SÍNTESE</p> <p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"Sim. É... Primeiro foi a estrutura primária, depois a gente fez a folha beta pregueada... Ah, espera aí, a gente fez duas folhas beta, talvez seja essas duas que você queira né? Pera aí, você perguntou? Você pediu estrutura? Sim. É... primeiro foi a estrutura primária, depois a gente fez a folha beta pregueada, ah pera aí, a gente fez duas folhas beta, talvez seja essas duas que você queira né? Pera aí, você perguntou? Você pediu estrutura? É acho que são: a sequência desordenada, a folha beta e a hélice alfa." (5)</p> <p>"Pela ligação da carbonila com o grupo amina? Peptídica. O grupo amina e a carbonila. Na verdade, originalmente era um ácido né? Ele liga e fica só na carbonila." (6)</p> <p>"Como é que estavam dispostos? Primeiro a gente dava a posição dele, deixava um pra cima, um pra baixo... Um pra cima, um pra baixo (gesticulando). Aí o... No caso, a gente fez a volta, e ligava eles de tal forma que o radical ficava pra baixo, aqui, e o outro pra cima... Ligações de hidrogênio." (7)</p> <p>"Sim... A gente pegava a ponta N terminal, virando ela positivamente né? (utilizando a mão direita para gesticular) aí pegava o oxigênio da carbonila e ligava no quinto grupo amino, do grupo amino do quinto aminoácido. Aí quando você fazia isso, naturalmente se ajeitava aí você conseguia fazer a ligação de todos os outros aminoácidos... As ligações de hidrogênio." (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <div data-bbox="384 1252 1283 1599"> <p>Carbonila, Amino, e grupos aromáticos (Zin, Imidazol),</p> <p>$\text{C}=\text{O}$ $-\text{NH}$ O $-\text{SH}$</p> <p>CH_3 $-\text{C}-\text{OH}$</p> <p> $=\text{O}$</p> </div> <p>Figura 93 - Desenho feito pelo aluno A12 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais dos aminoácidos.</p> <p>O aluno desenhou vários grupos funcionais orgânicos, mas não desenhou o aminoácido. (3)</p>

continua

continuação

Subtema: Síntese proteica

Figura 94 - Esquema feito pelo aluno A12 na resposta 1 no pós-teste para representar o processo de síntese de proteínas.

O aluno fez um esquema usando apenas palavras mostrando as etapas da síntese de proteínas. (1)

ESTRUTURA / FUNÇÃO**Subtema: Relação estrutura/função**

"Estrutura função de uma maneira mais generalizada?... Estrutura função. Ah tipo, a proteína coordena o caráter do, a forma do... O fato de ela ter aminoácidos polares e apolares faz com que ela se coordene de tal forma que, pra cada meio né? No caso ela tava numa membrana então ela teria interação com um meio apolar, então os apolares ficaram no exterior, caso ela fosse citoplasmática ela estaria com as polares voltadas pra fora, né? Porque aí ela conseguiria se solvatar melhor. Então ela forma uma estrutura tal que tenha menor energia né? Menor energia livre né? Que trata tanto da termodinâmica quanto da entrópica, tanto a energia térmica quanto a entropia. Mas ainda assim presente... Não só tem apolares ou polares de acordo com o meio, porque, como posso generalizar? Eu me perdi... É que dependendo do meio onde ela tá, ela vai ter uma estrutura, tal que a estrutura determine a função. A função que ela fará." (10)

Subtema: Exemplos estrutura/função

"A superfície é a que tá em contato com a membrana? Então, principalmente caráter apolar né?. Se não ela não consegue ficar mergulhada na membrana. Agora, no interior eu imagino que tem que polar né?. Porque como vou precisar de um canal iônico, vai passar íons, então eles têm que ter uma interação, ele tem que interagir com íons e não com moléculas apolares." (9)

REPRESENTAÇÕES

continua

conclusão

Subtema: Funcionamento

Figura 95 - Desenho feito pelo aluno A12 na resposta 4 no pós-teste para representar o funcionamento de uma proteína.

³² *Canal iônico presente na membrana plasmática que devido as interações dos radicais de seus aminoácidos com os íons que tentam atravessá-la, seleciona apenas o íon com carga e tamanho adequados, permitindo sua passagem.*

O aluno fez uma representação estática de uma proteína de membrana. Na legenda ressalta que devido às interações entre os aminoácidos e o substrato (íons), a proteína execerce sua função de selecionar quem atravessa a membrana.(4)

Subtema: Modelos

Figura 96 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A12 na resposta 2 no pós-teste referente à questão 2 do pós-teste.

O aluno montou um modelo de aminoácido tridimensional no qual foram representados corretamente os grupos funcionais e manteve sua montagem anterior para representar a proteína. Enquanto montava o modelo o aluno disse “Você tem a carbonila, carbonila tá certo? C dupla O? A carbonila tá. Ligada ao carbono alfa, que tá ligada ao radical do aminoácido e ao N-H e um hidrogênio aqui.” (2)

Quadro 31 - Respostas do aluno A12 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Com relação ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese** observou-se nas respostas de 5 a 8 que o aluno retomou o modelo tátil de aminoácidos montado durante o curso para responder as questões. Com relação à estrutura do aminoácido, o aluno fez uma representação indicando alguns grupos funcionais orgânicos presentes nas cadeias laterais dos aminoácidos (Figura 93). Quanto à

³² Transcrição do texto escrito pelo aluno na Figura 95.

Síntese proteica, o aluno representou as etapas do processo através de um esquema proposicional (Figura 94). Em comparação com o que foi feito no pré-teste, em que o aluno desprezou a etapa de transcrição, no pós-teste ele mostrou ter incorporado essa etapa ao seu modelo mental de maneira correta.

Considerando o tema **Estrutura e Função**, assim como no pré-teste, o aluno relacionou a estrutura tridimensional da proteína em termos da “coordenação” dos aminoácidos na estrutura à função desempenhada por ela, como pode ser notado no trecho da resposta 10 “O fato de ela ter aminoácidos polares e apolares faz com que ela se coordene de tal forma que, pra cada meio né? No caso ela tava numa membrana então ela teria interação com um meio apolar, então os apolares ficaram no exterior, caso ela fosse citoplasmática ela estaria com as polares voltadas pra fora, né? Porque aí ela conseguiria se solvatar melhor. Então ela forma uma estrutura tal que tenha menor energia né? Menor energia livre né? Que trata tanto da termodinâmica quanto da entrópica, tanto a energia térmica quanto a entropia. Mas ainda assim presente... Não só tem apolares ou polares de acordo com o meio, porque, como posso generalizar? Eu me perdi... É que dependendo do meio onde ela tá, ela vai ter uma estrutura, tal que a estrutura determine a função. A função que ela fará”.

Considerando o tema **Representações** o aluno A12 apresentou um desenho do funcionamento de uma proteína de canal, com um pequeno texto (Figura 95). Ele representou a proteína interagindo com outras moléculas a nível molecular e não mais macroscópico, como havia feito no pré-teste. Com relação à montagem do modelo de proteína com materiais de baixo custo, o aluno disse que manteria os modelos por ele montados no pré-teste e, além disso, montaria um modelo tridimensional de aminoácido (Figura 96), no qual ele representou os grupos funcionais do aminoácido de forma correta, ainda que a representação esquemática feita na resposta 3 não estivesse completa, como já discutido acima.

4.2.2.13 Pós-teste do aluno A13

TEMA
PROTEÍNA - ESTRUTURA E SÍNTESE
<p>Subtema: Estrutura de proteína</p> <p>"Hum... Hélice alfa, a folha beta paralela e antiparalela e a estrutura linear, primária." (5)</p> <p>"Pela ligação peptídica, da carboxila do aminoácido com a amina do próximo aminoácido... Aquela peça do C=O, o carboxil. Com o N-H do outro." (6)</p> <p>"É... Tinha... Entre um e outro um ângulo de 180° e um aminoácido ficava pra baixo e outro pra cima, na linha... Ficava o grupo R pra baixo, e o amino e carboxil que é a ligação peptídica na horizontal e o grupo R pra cima... Era ligação peptídica e só, nessa estrutura linear... Na folha beta era ponte de hidrogênio entre uma fita num sentido e a outra em outro. Entre o grupo amina e grupo carboxil entre duas folhas (gesticulando)." (7)</p> <p>"Eles estavam... Com a cadeia linear... Os grupos R estavam voltados pra fora, e a ligação peptídica no sentido de crescimento da hélice alfa. Ela ocorre na estrutura helicoidal e as pontes de hidrogênio ocorrem entre um grupo amino e um grupo carboxil de voltas consecutivas... Eram pontes de hidrogênio entre as voltas consecutivas." (8)</p> <p>Subtema: Composição/ estrutura do aminoácido</p> <div data-bbox="670 960 989 1209" data-label="Chemical-Block"> </div> <p>Figura 97 - Desenho feito pelo aluno A13 na resposta 3 do pós-teste para representar os grupos funcionais do aminoácido.</p> <p>O aluno fez um desenho de um 'aminoácido', mas não representou a carboxila e sim uma carbonila. (3)</p> <p>Subtema: Síntese proteica</p> <p><i>A síntese de proteínas ocorre quando a célula necessita de tal proteína para uma função específica. Quando ocorre tal necessidade, o DNA é lido e transcrito a uma molécula de mRNA, pela RNA polimerase que desacopla o DNA das histonas às quais está agregado, então a dupla hélice é "aberta" em suas duas fitas de nucleotídeos constituintes e então é lido e transcrito. Após este processo, este mRNA migra para fora do núcleo (em eucariotos) ou simplesmente se liga ao ribossomo (em procariotos). Ao se acoplar ao ribossomo, o mRNA é lido e traduzido pelo ribossomo, a cada três nucleotídeos, a partir do código de iniciação (aminoácido metionina) e cada triplet corresponde a um aminoácido relacionado. Os aminoácidos são levados ao ribossomo por uma molécula de RNA transportador (tRNA) que tem o triplete correspondente ao do mRNA. Após o aminoácido ser levado ao ribossomo, ele forma uma ligação peptídica com o último aminoácido adicionado anterior à ele e então essa cadeia se alonga até que no mRNA apareça um códon de parada, onde a tradução se finaliza. A cadeia de AAs formada se enovela de acordo com a sua composição de AAs hidrofóbicos e hidrofílicos.</i> (1)</p>
ESTRUTURA / FUNÇÃO

continua

continuação

Subtema: Relação estrutura/função

"Seria, por exemplo, se uma proteína tivesse uma cadeia de aminoácidos hidrofóbicos, em certas regiões dela, por exemplo, em uma região que só tem aminoácidos hidrofóbicos, poderia representar que a proteína seria de membrana, provavelmente faria uma hélice alfa, que mesmo contendo todos os aminoácidos hidrofóbicos, seria uma parte polar e outra apolar, pra ficar uma parte em contato com a membrana e outra pra dentro, mas eu acho que não." (10)

Subtema: Exemplos estrutura/função

"Na superfície em contato com a membrana, aminoácidos hidrofóbicos, mas como tem os aminoácidos que ficam pra dentro né? Esses seriam hidrofílicos pra ter a mesma hidrofobicidade que o meio, seriam mais polares." (9)

REPRESENTAÇÕES

Subtema: Funcionamento

Figura 98 - Desenho feito pelo aluno A13 na resposta 4 para representar o funcionamento de uma proteína.

O aluno faz uma representação estática da ação da enzima DNA polimerase durante o processo de replicação de DNA. (4)

continua

conclusão

Subtema: Modelos

Figura 99 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A13 referente à questão 2 do pós-teste, representando aminoácidos polares e apolares.

Figura 100 - Modelo tátil de proteína montado em materiais de baixo custo pelo aluno A13 referente à questão 2 do pós-teste, representando estruturas secundárias de proteína.

Primeiramente, o aluno montou um modelo com aminoácidos hidrofílicos de uma cor e hidrofóbicos de outra. A princípio, eles estavam intercalados na estrutura primária, depois o aluno foi moldando de forma que polares ficavam perto de polares e apolares perto de apolares. Num segundo modelo, o aluno montou uma folha beta em massinha, representando com palitos de dente as cadeias laterais. (2)

Quadro 32 - Respostas do aluno A13 referente ao pós-teste, agrupadas nos temas pré-definidos.

Com relação ao tema **Proteína - Estrutura e Síntese** observou-se nas respostas de 5 a 8 que o aluno retomou o modelo tátil de aminoácidos montado durante o curso para responder as questões, como pode ser notado nessas respostas quando o aluno menciona as peças e a forma como foi montado o modelo de proteína. Com relação à estrutura do aminoácido, o aluno fez um desenho da fórmula estrutural do aminoácido, de forma incompleta, porém considerou a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono central (Figura 97). Em comparação com sua resposta no pré-teste sobre a estrutura do aminoácido, que além de confusa foi incompleta, deve-se considerar que o aluno, após o curso, conseguiu, por meio do esquema, representar de forma mais clara e objetiva esse

conceito. Considerando a síntese de proteínas, assim como no pré-teste, o aluno mostrou que possui os conceitos bem compreendidos.

Considerando o tema **Estrutura/Função** da proteína, assim como no pré-teste, no pós-teste o aluno relacionou as propriedades/interações entre aminoácidos com a estrutura da proteína, como pode ser notado no trecho destacado da resposta 10 “em uma região que só tem aminoácidos hidrofóbicos, poderia representar que a proteína seria de membrana”.

A respeito do tema **Representações** o aluno fez um desenho da enzima DNAPolimerase utilizando um texto para explicá-lo, ao responder a questão 2 referente ao funcionamento de uma proteína (Figura 98). Com relação à montagem do modelo tátil de proteína com materiais de baixo custo, o aluno montou dois modelos. O primeiro modelo foi montado com massinha, onde uma cor representava os aminoácidos hidrofílicos e outra cor, os hidrofóbicos. A princípio, eles estavam intercalados na estrutura primária, depois o aluno foi moldando de forma que polares ficavam perto de polares e apolares perto de apolares (Figura 99). Num segundo modelo, o aluno montou uma folha beta em massinha, representando com palitos de dente as cadeias laterais, mantendo os ângulos entre os aminoácidos, assim como montado durante o curso com o kit de aminoácidos (Figura 100).

Pós-teste: Categorização dos alunos em modelizadores e não modelizadores

Assim como fora feito para os alunos no pré-teste, no pós-teste também se dividiu os alunos em modelizadores e não modelizadores. O resultado dessa categorização encontra-se organizado na tabela 14.

Tabela 14 - Classificação dos alunos quanto às suas representações mentais detectadas no pós-teste.

Modelizadores	Não modelizadores
A1, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13	A2, A3

A amostra foi submetida a uma segunda classificação, baseada em suas externalizações correspondentes às questões escritas 1, 3 e 4 do pós-teste (Tabela 15).

Tabela 15 - Algumas questões do pós-teste que solicitavam uma respostas escrita.

Nº	Pergunta
1	Explique o processo da síntese de proteínas, se preferir pode fazer uma representação.
3	O aminoácido é composto por quais grupos funcionais? Se você quiser, você pode fazer um desenho.
4	Represente através de esquemas ou desenhos o funcionamento de uma proteína presente, por exemplo, no organismo humano.

Essas questões foram utilizadas para classificar os modelizadores e os não modelizadores em seus subtipos, considerando a quantidade e tipos de desenhos/esquemas utilizados pelos alunos em suas respostas. Os modelizadores foram classificados em Modelizadores Proposicionalistas (M.P), Modelizadores Imagísticos (M.I), Modelizadores Híbridos (M.H); os não modelizadores, em Proposicionalistas (P), Imagísticos (I) e Proposicionalistas e Imagísticos (P.I). Além disso, outras respostas nas quais os alunos apresentaram registros escritos como textos ou desenhos também foram considerados na categorização e, nesses casos, foram indicadas na coluna Observações do Quadro 33.

O Quadro 33 mostra a classificação dos alunos modelizadores de acordo com os tipos de externalizações obtidas a partir das questões 1, 3, e 4 do pós-teste.

Modelizadores	Questões do pós-teste				Classificação
Alunos	1	3	4	Obs.	
A1	Texto	Desenho	Desenho	Desenho na resposta 5	M.I
A4	Texto	Desenho (fórmula estrutural)	Desenho	Fala sempre predomina sobre os desenhos	M.P
A5	Texto + esquema	Desenho (fórmula estrutural) + fala	Desenho + fala	Desenho na resposta 2.	M.I
A6	Desenho + Esquema	Fórmula estrutural + texto	Desenho	-	M.I
A7	Esquema	Fórmula estrutural	Desenho	-	M.I
A8	Texto	Fórmula estrutural	Texto + Desenho	-	M.P
A9	Texto	Texto	Desenho	Desenho da resposta 4 igual ao do pré-teste	M.P
A10	Texto + esquema	Desenho	Desenho + fala	-	M.P
A11	Texto	Fórmula estrutural	Desenho + proposição	-	M.P
A12	Esquema + Texto	Fórmula estrutural	Desenho + Texto	-	M.P
A13	Texto	Fórmula estrutural	Desenho + Texto	-	M.P

Quadro 33 - Classificação dos alunos segundo os subtipos da categoria Modelizadores, de acordo com as respostas do pós-teste.

O Quadro 34 mostra a classificação dos alunos não modelizadores em Proposicionalistas (P), Imagístico (I) e Proposicionalistas e Imagísticos (P.I) de acordo com os tipos de externalizações obtidas a partir das questões 1, 3, e 4 do pré-teste.

Não modelizadores	Questões do pós-teste				Classificação
	1	3	4	Obs.	
A2	Desenho	Desenho	Desenho	Desenho na resposta 2	I
A3	Sem resposta	Texto	Desenho	-	P. I

Quadro 34 - Classificação dos alunos segundo os subtipos da categoria Não modelizadores, de acordo com as respostas do pós-teste.

Uma comparação foi feita entre as categorias detectadas no pré- e pós-teste, conforme apresentada na tabela 16.

Tabela 16 - Comparação entre modelizadores e não modelizadores diagnosticados no pré- e pós-teste.

Alunos	Pré-teste	Pós-teste
A1	Não modelizador	Modelizador
A2	Não modelizador	Não modelizador
A3	Não modelizador	Não modelizador
A4	Modelizador	Modelizador
A5	Não modelizador	Modelizador
A6	Modelizador	Modelizador
A7	Modelizador	Modelizador
A8	Modelizador	Modelizador
A9	Não modelizador	Modelizador
A10	Não modelizador	Modelizador
A11	Modelizador	Modelizador
A12	Modelizador	Modelizador
A13	Modelizador	Modelizador

Nesta comparação notamos que dos quatro alunos do curso de LCE (A1 a A4), três foram caracterizados como não modelizadores (A1, A2 e A3) no pré-teste.

Além disso, notamos também que os alunos A1, A5, A9 e A10, que no pré-teste foram diagnosticados como não modelizadores, passaram a ser diagnosticados no pós-teste como modelizadores. E que os alunos que já eram modelizadores no pré-teste, mantiveram-se nessa categoria. As alunas A2 e A3 permaneceram como não modelizadoras; porém ao se comparar suas respostas no pré- e pós-teste, pode-se notar que as alunas adquiriram vocabulário e apresentaram melhora em seus modelos táteis feitos com materiais de baixo custo, porém não o fizeram de forma integrada com os conceitos, o que não as colocou na categoria de modelizadores.

Os alunos A1 e A5, que no pré-teste foram considerados não modelizadores, respectivamente proposicionalista e proposicionalista e imagístico, no pós-teste passaram ambos a ser classificados como modeladores imagísticos.

A tabela 17 mostra uma comparação entre as subcategorias detectadas tanto no pré- quanto no pós-teste.

Tabela 17 - Comparação entre as subcategorias detectadas no pré- e pós-teste.

Alunos	Classificação	
	Pré-teste	Pós-teste
A1	P	M.I
A2	I	I
A3	P	P.I
A4	M.P	M.P
A5	P.I	M.I
A6	M.P	M.I
A7	M.I	M.I
A8	M.H	M.P
A9	P	M.P
A10	P	M.P
A11	M.I	M.P
A12	M.P	M.P
A13	M.I	M.P

Observamos que houve uma predominância dos modelizadores proposicionalistas dentre os alunos considerados modelizadores no pós-teste. Em um trabalho análogo, que buscou investigar os tipos de representações mentais utilizadas por alunos do ensino superior na disciplina de Física Geral, Moreira e Lagreca (11) relacionaram a dificuldade da formação de modelos mentais de conceitos físicos ao ensino livresco e à apresentação do conteúdo de forma basicamente proposicional ao qual os sujeitos foram submetidos. Os autores destacaram que, dentre um grupo de 13 alunos acompanhados, aqueles classificados como modelizadores imagísticos (4 alunos) resolviam bem os problemas colocados e conseguiam explicar e predizer corretamente as situações físicas apresentadas. No presente trabalho os modelizadores imagísticos foram classificados como tal por apresentarem apenas imagens ou imagens correlacionadas a textos ou falas, sendo tênue a distinção entre estes dois tipos de representação. Assim, não se observaram respostas mais elaboradas entre um grupo e outro (M.I. e M.P.), sendo diferente apenas a forma de representação dos conceitos.

4.3 Análise global da contribuição do curso para o ensino/aprendizagem do tema Proteínas

Os registros escritos e orais coletados durante esta pesquisa também permitiram uma análise da evolução de cada aluno com relação à aprendizagem de conceitos e processos relacionados ao tema Proteínas. Resumimos os dados individuais dos alunos apresentados nos itens 4.2 e 4.3, segundo os mesmos temas, procurando observar se houve uma evolução conceitual favorecida pelo curso oferecido. Para isso, comparamos os registros coletados no pré-teste com os do pós-teste, tentando identificar itens como: incorporação de termos novos e corretos às definições apresentadas, definições de conceitos e processos mais completas e/ou detalhadas, recorrência aos recursos didáticos utilizados no curso. Esta análise feita para cada aluno está disposta nos Quadros 35 a 41.

Aluno		Definição de proteína	Estrutura do aminoácido	Síntese proteica	Relação estrutura/função	Desenho funcionamento	Modelo tátil
A1	Pré-teste	Definiu proteína como <i>“cadeia de aminoácidos”</i>	Confundiu aminoácido com ácidos nucleicos.	Confundiu a obtenção de aminoácidos essenciais através da alimentação, com a síntese de proteínas.	Considerou apenas a função estrutural da proteína, relacionando-a com tecido muscular.	Sem resposta.	Colar de contas.
	Pós-teste	Incorporou termos como estrutura secundária, carboxila, amina e radical.	Representação correta de aminoácido com a fórmula estrutural, disposição tetraédrica dos grupos funcionais, superou confusão com DNA.	Consegue explicar o processo, explicando as etapas de forma correta e sem recorrer aos jogos e modelos apresentados no curso.	Consegue dar outros exemplos de função de proteína, retoma exemplo do curso.	Desenho estático mostrando a função da proteína colágeno.	Folha beta com nylon, miçangas e massinha.
A2	Pré-teste	Definiu proteína como <i>“uma macromolécula essencial para manutenção do organismo”</i>	Confundiu aminoácido com ácidos nucleicos.	Não conhece o processo de síntese.	Considerou apenas a função estrutural da proteína, relacionando-a com a carne.	Desenho desconexo.	Cordinhas na cabeça, massinha enroladas em cordão.
	Pós-teste	Incorporou termos como estrutura primária, secundária, terciária e quaternária, ligações peptídicas e de hidrogênio e radical.	Representa os grupos funcionais amina, carboxila e R, de maneira bidimensional, supera a confusão com DNA.	Tentou recorrer ao jogo através de um desenho, mas esse pareceu desconexo.	Tentou falar de uma proteína presente no sangue, mas as respostas foram generalizadas e desconexas.	Desenho estático da hemoglobina, fora de escala e com erros conceituais.	Estrutura primária, como um cordão de massinha e aminoácido tridimensional com bolas de isopor, massinha e palitos.

Quadro 35 - Análise da evolução conceitual dos alunos A1 e A2 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.

Aluno		Definição de proteína	Estrutura do aminoácido	Síntese proteica	Relação estrutura/função	Desenho funcionamento	Modelo tátil
A3	Pré-teste	<i>“macromolécula formada por aminoácidos”</i>	<i>“o aminoácido compõe a proteína, eu acho que o conjunto deles forma uma proteína.”</i>	Confundiu a obtenção de aminoácidos essenciais através da alimentação, com a síntese de proteínas.	Proteínas têm função de transportar energia necessária para o funcionamento do organismo e função estrutural	Não apresentou no esquema de funcionamento da proteína.	Colar de contas
	Pós-teste	Incorporou termos como estrutura primária, secundária, terciária e quaternária, ligações peptídicas e de hidrogênio e radical.	A aluna respondeu de forma escrita que o aminoácido é composto por amina e carboxila.	Não respondeu	Não consegue relacionar com clareza estrutura e função de proteínas.	Apresentou um desenho sem legendas e não explicou o que significava.	Hélice alfa em massinha.
A4	Pré-teste	<i>“Uma proteína é um polímero orgânico, formado por monômeros chamados de aminoácidos (possui grupamentos amina e carboxila)”</i> .	Representação correta de a.a. Porém diz que os radicais podem ser quaisquer grupamentos orgânicos.	Conhecia o processo, porém, ao falar sobre o mRNA o aluno sempre frisa que sua sequência é complementar a do gene e não a mesma informação contida no gene	Considerou várias funções de proteína, mas parece não ter bem definido o conceito de estrutura primária.	Desenho do tipo chave-fechadura para mostrar a o sítio catalítico de uma enzima e um desenho processual das proteínas envolvidas na contração muscular	Colar de contas Ligação peptídica tridimensional Hélice alfa
	Pós-teste	Conseguiu diferenciar estruturas secundárias entre hélice alfa, folhas betas paralelas e antiparalelas.	Desenho da fórmula estrutural do monômero, sem considerar a disposição tetraédrica do carbono central.	Manteve a ideia de que a sequência do mRNA é complementar a do gene e não a mesma informação contida no gene.	Considerou as diferentes propriedades químicas dos aminoácidos e o meio em que esses se encontrariam, relacionando-os com a função da proteína mencionada.	Mesmo desenho apresentado no pré-teste.	Modelo em barbante representando estrutura terciária da proteína. Modelo tridimensional em massinha, representando uma fita beta.

Quadro 36 - Análise da evolução conceitual dos alunos A3 e A4 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.

Aluno		Definição de proteína	Estrutura do aminoácido	Síntese proteica	Relação estrutura/ função	Desenho funcionamento	Modelo tátil
A5	Pré-teste	<i>“cadeia de aminoácidos ligadas por ligações peptídicas”.</i>	Não soube definir com clareza.	Confundiu os processos de transcrição e tradução	Confusão na definição de estrutura primária, secundária.	Desenho processual, sem legenda (desconexo).	Colar de contas Dobramentos aleatórios.
	Pós-teste	Lembrou-se de detalhes da montagem da hélice alfa e folha beta, mas não evidenciou superou a confusão apresentada no pré-teste a respeito dos diferentes níveis de enovelamento de proteína.	Desenhou a fórmula estrutural do aminoácido corretamente.	Recorreu às atividades realizadas no curso, representando o processo de síntese proteica através de um esquema com etapas do jogo “Sintetizando Proteínas” na ordem correta.	Passou a considerar que as propriedades químicas das cadeias laterais dos aminoácidos e interações interferiam na função da proteína e não só o formato.	Desenho do tipo estático da porina.	Montagem de uma hélice alfa utilizando um lápis como eixo, e desenhos de folhas betas paralelas e antiparalelas de maneira correta.
A6	Pré-teste	Definiu proteínas em termos de suas funções, (catalisadores biológicos, estrutural)	Confundiu aminoácido com ácidos nucleicos.	Confusão nos processos de transcrição e replicação do DNA	Relaciona a função da proteína apenas ao formato da mesma.	Desenho estático que não representava o que foi pedido	Colar de contas Hélices alfa
	Pós-teste	Superou confusão entre estruturas primárias e secundárias, dando exemplos de maneira correta.	Desenhou a fórmula estrutural do aminoácido corretamente apesar de não ter considerado a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono central.	Fez um esquema relacionando os conceitos corretamente, ela mostrou que aparentemente superou a confusão estabelecida no pré-teste entre os processos de replicação e transcrição.	Conseguiu relacionar interações e propriedades químicas com a função de uma proteína, passando a não considerar apenas o formato como principal fator que interfere na função de uma proteína.	Desenho das proteínas que formam as fibras do fuso durante a mitose, uma representação estática.	Hélice alfa com palitos de dente e bolinhas de isopor.

Quadro 37 - Análise da evolução conceitual dos alunos A5 e A6 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.

Aluno		Definição de proteína	Estrutura do aminoácido	Síntese proteica	Relação estrutura/ função	Desenho funcionamento	Modelo tátil
A7	Pré-teste	Soube definir corretamente proteína.	Definição incorreta de aminoácido; uso de termos “ponta amina” para se referir ao grupo funcional amina e “ponta carboxila”	Esquemas de síntese (correto aparentemente).	Relaciona a função da proteína apenas ao formato da mesma.	Desenho estático actina e miosina formando citoesqueleto.	Colar de contas Hélice alfa Folha beta
	Pós-teste	Nenhuma mudança detectada.	Desenhou a fórmula estrutural do aminoácido corretamente apesar de não ter considerado a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono central.	Manteve o esquema do processo de forma correta e mais simplificada.	Relaciona às propriedades químicas dos aminoácidos à estabilidade da estrutura da proteína.	Desenho processual de uma enzima interagindo com seu substrato.	Manteve modelos do pré-teste.
A8	Pré-teste	<i>“sequência de aminoácidos que se enovela de uma determinada forma e possui uma determinada sequência para cumprir uma função na célula”</i>	Não soube definir aminoácido com clareza.	Explicou processo de síntese corretamente.	Relacionou o formato e as características da proteína à função desempenhada pela mesma.	Desenho processual proteína de canal.	Modelo atômico da ligação peptídica Hélice alfa
	Pós-teste	Retomou o modelo tátil de aminoácidos montado durante o curso para responder as questões de 5 a 8.	Desenhou a fórmula estrutural do aminoácido considerando a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono central, representou o grupo amina com um NH.	Recorreu ao jogo “Sintetizando proteínas” para explicar o processo, quando utilizou o termo “processada” empregado nas cartas do jogo mencionado.	Manteve a relação estabelecida no pré-teste.	Desenho estático da RNAPolimerase em funcionamento.	Modelo tridimensional do aminoácido e modelo de hélice alfa.

Quadro 38 - Análise da evolução conceitual dos alunos A7 e A8 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.

Aluno		Definição de proteína	Estrutura do aminoácido	Síntese proteica	Relação estrutura/ função	Desenho funcionamento	Modelo tátil
A9	Pré-teste	<i>“composto de aminoácidos ligados por ligações peptídicas”</i>	Não soube definir aminoácido com clareza.	Esquema com etapas do processo utilizando conceitos ligados corretamente.	Relaciona a função da proteína apenas ao formato da mesma.	Desenho estático da mioglobina/ hemoglobina.	Tubinhos enrolados sobre a mesa (Dobramentos aleatórios)
	Pós-teste	Retomou o modelo tátil de aminoácidos montado durante o curso para responder as questões de 5 a 8.	Definiu aminoácido com clareza e de forma correta.	Manteve resposta resumida, sem explicar as etapas do processo.	Considerou que aminoácidos específicos poderiam interferir na função da proteína se colocados em determinados locais de sua estrutura, retomou o exemplo da prolina no meio da hélice alfa trabalhado no curso.	Manteve o desenho de pré-teste.	Aminoácido tridimensional em massinha e ligação peptídica entre dois aminoácidos.
A10	Pré-teste	<i>Uma proteína é uma cadeia longa de aminoácidos</i>	Definiu aminoácido de forma correta.	Esquema com etapas do processo utilizando conceitos ligados corretamente.	Não conseguiu relacionar interações e propriedades químicas dos aminoácidos com a função da proteína.	Desenho do processo de síntese não representando o que fora solicitado.	Estrutura colorida enrolada sobre si mesma. (Dobramentos aleatórios).
	Pós-teste	Nenhuma mudança detectada.	Desenhou a fórmula estrutural do aminoácido considerando a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono central, representou grupos funcionais através de palavras.	Esquema e um texto explicativo, utilizando a palavra “destinada” utilizada no jogo “Sintetizando proteínas”.	Conseguiu estabelecer relações entre as propriedades químicas dos aminoácidos e sua estrutura.	Desenho estático da actina e miosina.	Aminoácido tridimensional em massinha.

Quadro 39 - Análise da evolução conceitual dos alunos A9 e A10 por meio da comparação do pré- e do pós-teste

Aluno		Definição de proteína	Estrutura do aminoácido	Síntese proteica	Relação estrutural/ função	Desenho funcionamento	Modelo tátil
A11	Pré-teste	<i>“Uma proteína é uma estrutura química organizada e repetida, cujas unidades monoméricas são os aminoácidos”</i>	Não sabia explicar com clareza o que era aminoácido.	Confundiu o processo de transcrição do DNA com o processo de replicação.	Conseguiu relacionar as interações/ propriedades químicas dos aminoácidos à função das proteínas.	Esquema processual sobre o mecanismo de regulação da síntese da β -galactosidase.	Modelo atômico da ligação peptídica em miçangas e palitos e folha beta e hélice alfa em massinha.
	Pós-teste	O aluno formula as respostas de forma confusa.	Não soube definir aminoácido com clareza.	Superou a confusão entre os processos de duplicação e transcrição apresentada no pré-teste.	Manteve a relação entre interações/propriedades químicas dos aminoácidos e função das proteínas.	Esquema processual sobre o mecanismo de transporte de oxigênio e gás carbônico, com alguns textos curtos.	Manteve praticamente a mesma montagem do pré-teste o modelo atômico da ligação peptídica.
A12	Pré-teste	<i>“A proteína consiste de uma macromolécula formada por aminoácidos através de ligações peptídicas”</i>	Não soube definir aminoácido com clareza.	Desconsiderou a etapa do processo de transcrição do DNA, ele iniciou sua explicação do processo a partir da interação do mRNA com o ribossomo; explicando a nível molecular o processo.	Relacionou a estrutura tridimensional e função da proteína à coordenação dos aminoácidos na estrutura. Relacionou as propriedades químicas dos aminoácidos à função desempenhada pela proteína.	Desenho representou basicamente o fenômeno macroscópico da ação da proteína escolhida por ele como exemplo, no caso a amilase salivar.	Modelo colar de contas em miçangas. Modelo tridimensional de aminoácido bolinhas de isopor, hélice alfa unida a folha beta em massinha.
	Pós-teste	Nenhuma mudança detectada.	Representação de alguns grupos funcionais presentes nas cadeias laterais dos aminoácidos, porém quando montou o modelo tátil, fez de maneira correta.	Incorporou a etapa de transcrição, em um esquema proposicional das etapas do processo.	Manteve a relação estabelecida no pré-teste.	Recorreu ao exemplo utilizado no curso, de uma proteína de cana, apresentando um desenho estático e um pequeno texto.	Manteve modelos do pré-teste e montou um modelo tridimensional do aminoácido de forma correta em massinha.

Quadro 40 - Análise da evolução conceitual dos alunos A11 e A12 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.

Aluno		Definição de proteína	Estrutura do aminoácido	Síntese proteica	Relação estrutura/ função	Desenho funcionamento	Modelo tátil
A13	Pré-teste	<i>“Proteína é um polímero composto por diversos aminoácidos (com 20 variações) que se agrupam numa ordem pré-estabelecida pela sequência de nucleotídeos do RNA mensageiro e lidos pelos ribossomos. A proteína é “produzida” de modo a ter uma função, dentro ou fora da célula de origem.”</i>	Não conseguiu definir com clareza a estrutura de um aminoácido.	Consegue explicar o processo, explicando as etapas de forma correta.	Sem resposta	Desenho estático sobre o funcionamento da ATPsintase, uma proteína de membrana.	Modelo colar de contas em miçangas. Modelo tridimensional em bolinha de isopor e os palitos representam as ligações peptídicas. Hélice alfa e folha beta em massinha foi montado.
	Pós-teste	Nenhuma mudança detectada.	Desenho da fórmula estrutural do aminoácido, de forma incompleta, porém considerou a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono central.	Possui os conceitos bem estabelecidos.	Relacionou as propriedades/ interações entre aminoácidos com a estrutura da proteína.	Desenho estático da enzima DNApolimerase utilizando um texto para explicar o seu desenho.	Modelo tridimensional em massinha, evidenciando radicais de aminoácidos polares e apolares e folha beta tridimensional em massinha.

Quadro 41 - Análise da evolução conceitual do aluno A13 por meio da comparação do pré- e do pós-teste.

A respeito da definição de proteínas, no pré-teste a maioria dos alunos as definiu em termos de aminoácidos e/ou ligações peptídicas (A1, A3, A4, A5, A9, A10, A11, A12). Esse tipo de definição, chamada de estrutural, foi observada por Carvalho (30) ao se analisar as respostas dadas por alunos do ensino médio de escolas públicas e particulares quando pedido para que eles definissem proteína. Os alunos A7, A8 e A13 também apresentaram a definição do tipo estrutural, complementando a resposta dada com informações sobre o enovelamento da proteína. A aluna A2 definiu proteína de maneira generalizada, como uma “macromolécula que dá manutenção para o organismo”. Essa tendência em definir proteína de forma genérica também foi observada por Carvalho (30). A aluna A6 definiu proteínas em termos de suas funções, categoria também presente na amostra de Carvalho. (30).

Notamos a partir das respostas do pós-teste que os alunos A1, A2 e A3 haviam incorporado termos científicos às respostas relacionadas com a definição de proteína. Os alunos A4 e A6 mostraram no pós-teste que superaram a confusão entre estruturas primárias e secundárias. Os alunos A8 e A9 retomaram o modelo de aminoácidos para responder às questões do pós-teste, recorrendo a detalhes da montagem das estruturas primária e secundária. Nenhuma mudança foi detectada nas respostas dos alunos A10, A12 e A13.

Com relação à estrutura do aminoácido, no pré-teste os alunos A1, A2 e A6 confundiram aminoácidos com ácidos nucleicos. Os alunos A3, A4, A5, A7, A8, A9, A11, A12 e A13 não souberam definir com clareza quais grupos funcionais os aminoácidos possuíam. A única aluna que conseguiu definir com clareza esse conceito foi a aluna A10. Já no pós-teste, observamos que os alunos que confundiam o monômero de proteína com DNA superaram tal confusão e que os demais, com exceção das alunas A2 e A3, conseguiram representar corretamente o aminoácido, fosse através do desenho de sua fórmula estrutural ou de resposta escrita.

Com relação ao processo de síntese proteica, no pré-teste percebemos que a aluna A2 não conhecia o processo, e os alunos A1 e A3 indicavam a obtenção de aminoácidos somente através da alimentação, sem relacioná-la com a síntese de

proteínas intracelular. A aluna A5 confundiu os processos de transcrição e tradução e os alunos A6 e A11 confundiram o processo de síntese de proteínas com o processo de replicação do DNA. Os alunos A4 e A12 explicaram o processo de forma incompleta enquanto os alunos A7, A8, A9, A10 e A13 mostraram compreender o processo pois suas respostas foram corretas. Já no pós-teste, o aluno A1 conseguiu explicar o processo de maneira correta e sem recorrer às atividades realizadas durante o curso. As alunas A2 e A3 mostraram que ainda não possuíam os conceitos relacionados ao processo bem estabelecidos. O aluno A4 manteve a mesma resposta apresentada no pré-teste; A6, A11 e A12 conseguiram explicar de forma correta e completa o referido processo e os alunos A7, A8, A9, A10 e A13 mantiveram suas respostas.

Considerando a relação estrutura/função de proteínas, no pré-teste os alunos A1 e A2 associaram a proteína apenas à função estrutural, dando como exemplo tecidos ou a carne. A aluna A3 estabeleceu uma relação generalizada entre estrutura e função de proteína - *“Proteínas têm função de transportar energia necessária para o funcionamento do organismo e função estrutural”*. Os alunos A4 e A5 consideraram várias funções de proteína, mas pareciam não ter bem definido o conceito de estrutura primária e secundária. Já os alunos A6, A7, A9 e A10 relacionaram a função da proteína apenas ao formato da mesma, evidenciando a utilização do modelo chave-fechadura. O aluno A13 não relacionou nenhuma função à estrutura da proteína e os alunos A8, A11, A12 conseguiram relacionar as interações/propriedades químicas dos aminoácidos à função das proteínas. No pós-teste, com exceção das alunas A2 e A3, que não conseguiram relacionar com clareza a estrutura de uma proteína à sua função, e dos alunos A8, A11 e A12 que mantiveram a relação estabelecida no pré-teste, os demais alunos (A1, A4, A5, A6, A7, A9, A10 e A13) conseguiram estabelecer relações entre as propriedades químicas dos aminoácidos e a estrutura da proteína.

Considerando os desenhos feitos pelos alunos sobre o funcionamento de uma proteína, no pré-teste, os alunos A1, A2, A3, A5, A6 e A10 apresentaram desenhos desconexos e/ou não desenharam o que fora solicitado. Os alunos A7, A9, A11, A12 e A13 apresentaram desenhos do tipo estático, ou seja, que não davam a noção de processo, diferentemente da aluna A8 que apresentou um desenho do tipo processual. Já no pós-teste, as alunas A2 e A3 que apresentaram desenhos

desconexos e conceitualmente errados, os alunos A4 e A9 mantiveram o desenho apresentado no pré-teste e os alunos A1, A5, A6, A8, A12 e A13 apresentaram desenhos estáticos; já os alunos A7 e A11 apresentaram desenhos do tipo processual.

Considerando os modelos montados pelos alunos no pré-teste, os alunos A1 e A3 montaram apenas o modelo do tipo colar de contas. Os alunos A2, A9 e A10 montaram um modelo com torção aleatória (caracterizado por um modelo tridimensional em massa de modelar sem estrutura definida). Os alunos A4, A5, A6, A7, A12 e A13 montaram mais de um tipo de modelo. Os alunos A8 e A11 montaram um modelo caracterizado por miçangas e palitos dispostos sobre a mesa; as bolinhas representavam um átomo representativo de cada grupo funcional e o palito/massinha, a ligação entre eles. Vale ressaltar que no pré-teste apenas o aluno A4 montou o modelo de aminoácido de forma correta, considerando a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono alfa. No pós-teste, os alunos A1 e A3 montaram um modelo tridimensional de estrutura secundária e os alunos A2, A4, A5, A8 e A13 montaram mais de um tipo de modelo. A aluna A6 montou apenas o modelo tridimensional de hélice alfa e os alunos A7 e A11 mantiveram a mesma montagem do pré-teste. O aluno A12 também manteve as montagens do pré-teste e adicionou um modelo tridimensional em massa de modelar do aminoácido, feito de forma correta e respeitando a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono central. As alunas A9 e A10 montaram apenas o modelo de massa de modelar do aminoácido de forma correta. Assim, observamos que os alunos que montaram o aminoácido de forma correta no pós-teste foram A8, A9, A10 e A12 e nenhum aluno repetiu a montagem do tipo torção aleatória observada do pré-teste.

Após a utilização dos modelos moleculares de DNA, RNA e proteínas durante o curso, observamos no pós-teste que os modelos de proteína montados pelos alunos com materiais de baixo custo eram mais complexos e apresentavam mais conceitos envolvidos e explicados durante a montagem. Além disso, o fato dos alunos não terem montado nenhum modelo de torção aleatória no pós-teste pode ser justificado pela aprendizagem de estruturas específicas ocorridas durante o curso.

Essa melhora conceitual medida através de pré- e pós-teste associada ao uso de modelos moleculares táteis também foi observada por outros pesquisadores.

Jittivadhna e colaboradores (43), a partir da utilização de modelos moleculares de DNA e de proteína junto a 498 alunos, dentre eles, alunos do ensino médio e ensino superior, concluíram que os alunos tiveram uma reação positiva ao uso dos modelos uma vez que a utilização proporcionou maior entendimento sobre o assunto, medido por questionários (pré- e pós-teste).

Roberts e colaboradores (33), num trabalho realizado com 24 alunos de ensino superior cursando a disciplina de bioquímica, desenvolveram o tema proteínas utilizando modelos moleculares táteis e softwares de visualização molecular, utilizando pré- e pós-testes para avaliar o conhecimento e o impacto das ferramentas utilizadas. Os autores concluíram que a utilização de modelos moleculares táteis proporcionou melhoria nas respostas dos alunos com relação ao vocabulário e ao raciocínio empregado na resposta. Além disso, quando os alunos foram expostos a uma pergunta mais complexa no final da unidade e tiveram que escolher quais ferramentas mais os ajudariam a responder à pergunta, 16 dos 21 alunos escolheram a combinação de modelos físicos e visualização molecular computacional. Apenas cinco alunos optaram por utilizar apenas modelos físicos e nenhum aluno escolheu apenas a visualização molecular computacional.

Além da análise de evolução conceitual dos alunos ao longo da pesquisa, também procuramos analisar a contribuição dos recursos didáticos utilizados no curso, identificando nas falas e/ou citações dos alunos os momentos em que eles recorreram a essas atividades e/ou recursos.

O Quadro 42 apresenta os tópicos, estratégias de ensino e recursos didáticos elaborados e aplicados durante os três dias de duração do curso, como já apresentado no item **3 Descrição da sequência didática aplicada no curso oferecido**.

Dias	Tópico	Material Didático utilizado	Estratégias de ensino
1º	O processo da síntese proteica em uma célula eucariótica	Jogo de tabuleiro “Sintetizando Proteínas”	Atividade prática em grupo.
	A molécula de DNA	Kit de peças plásticas “Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA” e “Disco de aminoácidos”	Atividade prática em grupo com a manipulação de modelos tridimensionais
2º	A molécula de RNA	Kit de peças plásticas “Construindo as moléculas da vida: DNA e RNA” e “Disco de aminoácidos”	Atividade prática em grupo com a manipulação de modelos tridimensionais.
	Processos de transcrição e tradução	Slides com imagens e animação sobre o processo de tradução	Aula expositivo-dialogada
	Aminoácidos e estrutura primária de uma proteína Estrutura secundária de proteína: folha-beta	Kit “Construindo modelos de aminoácidos e proteínas”	Atividade prática em grupo com a manipulação de modelos tridimensionais
3º	Estrutura secundária de proteína: hélice-alfa	Kit “Construindo modelos de aminoácidos e proteínas”	Atividade prática em grupo com a manipulação de modelos tridimensionais.
	Relação estrutura/ função da proteína	Slides com imagens e animações sobre a relação estrutura/ função	Aula expositivo-dialogada
	Inserindo Mutações na hélice-alfa	Kit “Construindo modelos de aminoácidos e proteínas”	Atividade prática em grupo com a manipulação de modelos tridimensionais.

Quadro 42 - Estratégias de ensino e materiais didáticos utilizados durante o curso “Proteínas: conceitos e representações”, oferecido aos alunos participantes da pesquisa.

Considerando o tópico de O processo da síntese proteica em uma célula eucariótica, cuja estratégia de ensino escolhida foi a utilização de um jogo didático “Sintetizando proteínas”, podemos destacar a resposta do pós-teste da aluna A5 (ver Quadro 24), que mencionou as etapas do jogo, o que indica que esta atividade a teria ajudado a organizar/apreender os conceitos relativos ao processo biológico mencionado. Vale destacar que no pré-teste a aluna apresentava confusão na distinção dos processos de transcrição e tradução.

A respeito do tópico A molécula de DNA, para o qual se utilizou o kit de peças plásticas representativas dos ácidos nucleicos como recurso, destacamos a fala do aluno A7³³, sobre sua opinião acerca das atividades desenvolvidas neste tópico - *“Eu achei muito bacana porque a gente começou com a estrutura de DNA, e fomos passando pelas etapas de transcrição, tradução, a gente conseguiu montar, foi*

³³ Fala registrada na entrevista pós-teste, porém não transcrita no Quadro 26.

surgindo dúvidas, as pessoas foram tirando, ver como é que está organizado no espaço, isso também é uma dúvida que fica na nossa cabeça, e com essas regrinhas você pega e fala “não, é assim” eu pelo menos, acho que aprendi mais”. Neste caso o aluno não mencionou diretamente o material didático mas fez referência a ele quando disse que “a gente conseguiu montar” (no caso, um modelo tridimensional).

Considerando os tópicos Aminoácidos e estrutura primária de uma proteína, Estrutura secundária de proteína: folha-beta e Estrutura secundária de proteína: hélice-alfa, para os quais foi utilizado o kit de peças plásticas de aminoácidos, podemos destacar os modelos táteis montados pelas alunas A8 e A9.

No pré-teste a aluna A8 havia montado um modelo de aminoácido baseando-se em átomos dos grupos funcionais presentes no monômero. No pós-teste, ela representou corretamente os grupos funcionais e considerou a disposição tetraédrica dos grupos funcionais ao redor do carbono alfa, conforme procedimento feito durante o curso. Também destacamos o modelo montado pela aluna A9. No pré-teste essa aluna apresentou um modelo em massinha, que ela mesma chamou de “tubinhos enrolados” e nós pós-teste, a aluna apresentou um modelo tridimensional de aminoácido e a seguinte fala “*Isso aqui*³⁴ *eu tinha visualizado aquele formato da proteína terciária, como a gente vê nos livros, que só tubinhos, por isso que eu representei assim. Agora, pra fazer uma proteína melhorzinha mesmo, teria que como a gente viu lá, que seria o carbono, que eu to tentando montar, o aminoácido. Ah o rosinha seria o hidrogênio, o branco seria o radical, o azulinho seria a carboxila, fazendo o aminoácido levógeno, e o vermelhinho vai ser a amina né? Montar assim o aminoácido, igual lá no kit. Daí fazendo vários desse, daí tinha que fazer ligação, esses dois né? (unindo os dois aminoácidos com um palitinho) E fazer vários pra montar uma cadeia primária. Depois girar em sentido horário, pra fazer a hélice alfa ou então ir dobrando pra fazer a folha beta, tanto paralela, quanto antiparalela. Aí eu montaria minha proteína um pouquinho melhor”*. Nesse trecho podemos notar que ela citou o material didático utilizado durante o curso, sugerindo que as atividades que envolviam este material ajudaram-na a representar o aminoácido e as estruturas secundárias (folha beta e hélice alfa) de forma mais próxima às representações cientificamente aceitas.

³⁴ Referindo-se ao modelo montado por ela no pré-teste.

A respeito do tópico “Relação estrutura/função da proteína” cujos recursos didáticos escolhidos para abordagem do assunto foram imagens e animações (vídeos) sobre a relação entre a estrutura e a função da porina, uma proteína formadora de poros na membrana plasmática, notamos que a atividade se fez importante para os alunos, como se observou na resposta do pós-teste do aluno A12. Este aluno, ao representar o funcionamento de uma proteína (ver Quadro 31, resposta 4), escolheu uma proteína de canal, com função similar à porina.

A respeito do tópico “Inserindo Mutações na hélice-alfa”, cujo desenvolvimento dependeu da utilização do kit de aminoácidos, podemos destacar na fala da aluna A9 que a atividade a ajudou a entender como as cadeias laterais e sua disposição no espaço interferem na estrutura de uma proteína. Sua resposta apresentada no pós-teste sobre a relação estrutura/função de proteína foi: “Por exemplo, da mioglobina³⁵, se ela, a função, é determinada pela estrutura terciária, aí que ela vai ligar com o oxigênio e vai armazenar. Se mudar algum aminoácido, se uma ‘querida’ prolina tiver ali no meio (risos), se algum aminoácido for mudado, ela já não vai ter mais a conformação correta, que teoricamente tinha que ser correta, altera a estrutura secundária, consequentemente a terciária”. A atividade propunha a montagem de uma hélice alfa ‘normal’ de uma parte da hemoglobina e sua ‘mutante’, com a inserção de uma mutação de três iminoácidos prolina no meio da cadeia.

Salvo as alunas A2 e A3, que não conseguiram definir com clareza o conceito de aminoácido, o processo de síntese proteica e a representação de funcionamento de uma proteína, notamos que as estratégias e recursos utilizados no curso favoreceram uma melhoria no vocabulário dos alunos, ajudaram a esclarecer algumas dúvidas conceituais e a melhorar a compreensão com relação aos seguintes tópicos: diferentes níveis de enovelamento de estruturas de proteína; processos de transcrição e tradução, bem como a diferenciação entre síntese proteica e replicação do DNA; estabelecimento de relações entre as propriedades químicas dos aminoácidos e a estrutura da proteína, superando a ideia que somente o formato influencia na função da proteína (modelo chave-fechadura); representação

³⁵ O exemplo da mioglobina e hemoglobina, segundo o professor 3, foi trabalhado extensivamente nos meses anteriores, sendo esses tópicos temas da última prova da disciplina de Bioquímica I, para os alunos da CFBio, o que justifica seu frequente aparecimento nas respostas dos alunos.

de uma proteína em funcionamento, através de desenhos, tornando-os mais complexos; construção de modelos táteis de proteína com materiais de baixo custo mais complexos e sofisticados, envolvendo mais conceitos na montagem e explicação do modelo.

5 CONCLUSÕES

Considerando o objetivo do trabalho apresentado no item 2.1 e os resultados obtidos neste trabalho, apresentaremos a seguir algumas conclusões:

- Os tipos de representações mentais dos alunos sobre “proteínas” levantadas nas entrevistas pré- e pós-teste permitiram a classificação dos alunos entre modelizadores e não modelizadores. A partir da comparação dessas entrevistas, concluímos que as atividades ajudaram os alunos a tornar seus modelos táteis de proteína mais complexos e sofisticados, apresentando mais conceitos a nível molecular e atômico, uma vez que na entrevista pós-teste detectou-se um aumento no número de alunos considerados modelizadores e, nos dois casos que mantiveram-se como não modelizadores, notamos ganhos com relação ao vocabulário e melhora nas montagens dos modelos táteis com materiais de baixo custo.
- Com relação ao ganho conceitual observado, sugerimos que as estratégias utilizadas no curso favoreceram uma melhoria no vocabulário dos alunos e ajudaram a esclarecer dúvidas com relação a vários tópicos, como por exemplo: os diferentes níveis de enovelamento de estruturas de proteína; a diferença entre os processos de transcrição e tradução, superando a confusão entre síntese proteica e replicação do DNA; o estabelecimento de relações entre as propriedades químicas dos aminoácidos e a estrutura da proteína, superando a ideia que somente o formato da proteína influencia em sua função (modelo chave-fechadura). Notamos também que as representações de uma proteína em funcionamento, através de desenhos, tornaram-se mais complexas e sofisticadas.
- Os recursos didáticos utilizados durante o curso oferecido, com destaque para os kits de peças plásticas para montagem de moléculas, tiveram uma contribuição positiva junto aos alunos da amostra, evidenciada pelas falas de muitos alunos, que mencionavam os materiais utilizados ao explicarem uma ideia, conceito ou processo.
- O bom nível de conhecimento com relação a determinados conceitos e o número maior de alunos classificados como modelizadores observados entre os alunos do curso da CFBio, quando comparados com os alunos da LCE,

pode ser explicado, em parte, pela maior ocorrência de disciplinas contendo o tópico Proteínas presentes na grade curricular da CFBio.

Nesse contexto, a sequência didática aplicada e a utilização dos materiais didáticos elencados tiveram uma contribuição positiva no processo de ensino-aprendizagem do tema Proteínas entre os alunos participantes da pesquisa, uma vez que: promoveram o aumento do número de alunos modelizadores; possibilitaram aos mesmos o aumento do nível de complexidade e sofisticação em suas representações externas (modelos táteis e desenhos) e a evolução e esclarecimentos de conceitos antes não compreendidos.

REFERÊNCIAS

- 1 SILVA, A. R. **Desenvolvimento e avaliação de modelos representativos para a construção de aminoácidos e de estruturas de proteína**. 2010. 166 p. Tese (Doutorado em Física Aplicada a Biologia Molecular) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- 2 KAPRAS, S. QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Revista Investigação no Ensino de Ciências**, v.2, p. 185-205, 1997.
- 3 GILBERT, J. K.; BOULTER, C.; ELMER, R. Positioning models in science education and in design and technology education. IN: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. (Eds). **Developing models in science education**. Dordrecht: Kluwer, 2000. p. 3-17.
- 4 BORGES, A. T. Como evoluem os modelos mentais. **Ensaio** - pesquisa em educação em Ciências, v. 1, n. 1, p. 85-125, 1999.
- 5 JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1983. 513p.
- 6 MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.1, n.3, p 193-232, 1996.
- 7 JOHNSON-LAIRD, P. Curriculum Vitae. Disponível em: <http://psych.princeton.edu/psychology/research/johnson_laird/cv.pdf>. Acesso em: 15 Mai 2012.
- 8 MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M.; PALMERO, M. L. R. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 3, p. 36-56, 2002.
- 9 JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 24, n. 2, p. 173-184, 2006.

10 GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 31-46, 2005.

11 MOREIRA, M. A.; LAGRECA, M. C. B. Representações mentais em alunos de mecânica clássica: três casos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 3, n. 2, p. 83-106, 1998.

12 MOREIRA, M. A.; LAGRECA, M. C. B. Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de física geral na área de Mecânica clássica e possíveis modelos mentais nessa área. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 202-215, 1999.

13 PALMERO, M. L. R.; MOREIRA, M. A. Modelos mentales de la estructura y el funcionamiento de la célula: dos estudios de casos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 2, p. 121-160, 1999.

14 PALMERO, M. L. R.; ACOSTA, J. M.; MOREIRA, M. A. La teoría de los modelos mentales de johnson-laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 3, p. 243- 268, 2001.

15 MOREIRA, M. A.; KREY, I. Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de gauss em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de johnson-laird. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 353-360, 2006.

16 TAUCEDA, K. C.; PINO, J. C. D. Modelos e outras representações mentais no estudo do DNA em alunos do ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 2, p. 337-354, 2010.

17 ABDO, K.; TABER, K. S. Learners' mental models of the particle nature of matter: a study of 16-year-old swedish science students. **International Journal of Science Education**, v.31, n. 6, p. 757-786.2009 DOI: 10.1080/09500690701799383

18 PEDRANCINI, V. D.; NUNES, M. J. C.; GALUCH, M. T. B.; MOREIRA, A. L. O. R.; RIBEIRO, A. C. Ensino e aprendizagem de biologia no ensino médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 2, p. 299-309, 2007.

19 ANASTASIOU, L. G. C. **Processos de ensinagem na universidade:** pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 8. ed. Joinville: UNIVILLE, 2009.

20 BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Pcn+ ensino médio:** orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, 2002. 244p.

21 BRASIL. Ministério da Educação. Secretária de Educação Básica. **Orientações curriculares do ensino médio:** ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, 2006. 135 p.

22 SÃO PAULO (Estado) Secretaria da Educação. **Currículo do estado de São Paulo:** ciências da natureza e suas tecnologias. São Paulo, 2010.

23 LOUGUERCIO, R.; SOUZA, D.; PINO, J. C. D. Mapeando a educação em bioquímica no brasil. **Ciência & Cognição**, v. 10, p. 147-155, 2007.

24 KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de biologia**. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

25 HERMAN, T; MORRIS, J; COLTON, S.; BATIZA, A.; PATRICK, M.; FRANZEN, M.; GOODSSELL, D. S. Exploring protein structure/function using physical models. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 34, n. 4, p. 247–254, 2006.

26 CORREIA, P. R. M.; DAZZANI, M.; MARCONDES, M. E. R.; TORRES, B. B. A bioquímica como ferramenta interdisciplinar: vencendo o desafio da integração de conteúdos no ensino médio. **Química Nova na Escola**, n. 19, 2004.

27 MELLO, J. M.; DAGOSTIN, M. M. A.; DAGOSTIN, A. L. A.; KADOWAKI, M. K.; BRANCALHÃO, R. M. C. Modelo didático para a construção da estrutura da proteína. 2007. Disponível em: http://www.mudi.uem.br/arqmudi/volume_11/numero_02/MODELO-DIDATICO.pdf. Acesso em: 10 mai 2011.

28 ORLANDO, T. C.; LIMA, A. R.; SILVA, A. M.; FUZISSAKI, C. N.; RAMOS, C. L.; MACHADO, D.; FERNANDES, F. F.; LORENZI, J. C. C.; LIMA, M. A.; GARDIM, S.; BARBOSA, V. C.; TRÉZ, T. A. Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para abordagem de biologia celular e molecular no ensino médio por

graduandos de ciências biológicas. **Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular**, n. 1, 2009.

29 ANJOS, E. I. **Modelos mentais e visualização molecular: uma estratégia para ensinar química orgânica**. 2004. 120p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto de Física, Instituto de Química, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

30 CARVALHO, J. C. Q. **Avaliação do impacto do jogo "sintetizando proteínas" no processo de ensino-aprendizagem de alunos do ensino médio**. 2009. 234 p. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada a Biologia Molecular) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

31 HARRIS, M. A.; PECK, R. F.; COLTON, S.; MORRIS, J.; CHAIBUB NETO, E.; KALLIO, J. A combination of hand-held models and computer imaging programs helps students answer oral questions about molecular structure and function: a controlled investigation of student learning. **CBE Life Sciences Education**, v. 8, n. 1, p. 29-43, 2009.

32 O'DOWD, D K.; AGUILAR-ROCA, N. Garage demos: using physical models to illustrate dynamic aspects of microscopic biological processes. **CBE Life Sciences Education**, v. 8, n. 2, p. 118–122, 2009.

33 ROBERTS, J. R.; HAGEDORN, E.; DILLENBURG, P.; PATRICK, M.; HERMAN, T. Physical models enhance molecular three-dimensional literacy in an introductory biochemistry course. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 33, n. 2, p. 105–110, 2005.

34 LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986. 99p.

35 GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

36 SZYMANSKI, H. Entrevista reflexiva: um olhar psicológico sobre a entrevista em pesquisa. In: SZYMANSKI, H. (Org) **A entrevista na pesquisa em educação: prática reflexiva**. Brasília: Plano Editora, 2002.

37 FRANCO, M. L. P. B. **Análise de conteúdo**. 2. ed. Brasília: Líber Livro Editora, 2005, 79p.

38 GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Algumas metodologias para o estudo de modelos mentais. IN: SANTOS, F. M. T.; GRECA, J. M. **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2006. p. 391-428.

39 FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Leila Maria Beltramini; Ana Paula Ulian de Araújo; Luciano Douglas dos Santos Abel. **Modelo tridimensional para representar molécula ou parte de molécula de ácido nucléico e kit**. PI0301512-2. 16 mai 2003.

40 UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Leila Maria Beltramini; Aparecido Rodrigues Silva. **Construindo moléculas de aminoácidos e proteínas**. PI0802082-5. 19 mai 2008.

41 VOET, D.; VOET, J. G. **Bioquímica**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 251p.

42 VIVEIRO, A. A.; CAMPOS, L. M. L. Estratégias de ensino na formação de professores de ciências: investigando alguns aspectos da prática docente. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS - ENPEC, 7., 2009, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis, 2009. Disponível em: <http://www.foco.fae.ufmg.br/pdfs/597.pdf> . Acesso: 22 ago 2012.

43 JITTIVADHANA, K.; RUENWONGSA, P.; PANIJPAN, B. Beyond textbook illustrations: hand-held models of ordered dna and protein structures as 3D supplements to enhance student learning of helical biopolymers. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 38, n. 6, p. 359–364, 2010.

APÊNDICE

Convite/Inscrição para participação na pesquisa

Você está convidado a participar da pesquisa **COMPREENSÃO DA ESTRUTURA DE PROTEÍNAS DE ESTUDANTES DE NÍVEL SUPERIOR NA PERSPECTIVA DOS MODELOS MENTAIS**. A pesquisa faz parte do projeto de mestrado de Marília Faustino da Silva, aluna do Programa de Pós-Graduação em Física - opção Física Aplicada - Biomolecular (IFSC-USP), com financiamento das instituições CAPES, CNPq (INCT) e FAPESP.

Para participar dessa pesquisa você deve ser aluno(a) do sexto semestre do curso de Licenciatura em Ciências Exatas ou quarto semestre do curso Bacharelado em Ciências Físicas e Biomoleculares, ambos oferecidos pela Universidade de São Paulo, campus de São Carlos, e sua participação não é obrigatória.

Os objetivos deste estudo são entender quais são os modelos mentais que você e alguns de seus colegas de curso têm sobre a estrutura e o funcionamento de proteínas, oriundos do ensino pelo qual foram submetidos durante sua trajetória escolar até o presente momento, e qual é a contribuição do material **“Construindo modelos de aminoácidos e proteínas”** para o ensino do tema mencionado.

Sua participação nesta pesquisa consistirá em participar de um curso que será integralmente filmado, sob o título **“Proteínas: conceitos e representações”**, com duração de doze horas, no qual você fará uso do material mencionado anteriormente bem como responderá questionários e entrevistas antes, durante e depois do curso.

A pesquisa não oferecerá riscos ou desconfortos a você, pois o(a) respeitaremos e o(a) deixaremos a vontade para se expressar quando e como quiser. Um dos benefícios que esta pesquisa poderá lhe proporcionar é a aprendizagem significativa do tema Estrutura e Função de proteínas, que é muito importante para o desenvolvimento de sua profissão seja como Professor de Ciências ou Bacharel em Ciências Físicas e Biomoleculares. Além disso, forneceremos um certificado de 20 horas acadêmico-científicas aos participantes que forem a todos os encontros.

Realizaremos três encontros durante uma semana a ser definida, nos quais você realizará atividades lúdicas como jogos, manipulação de modelos táteis e dinâmicas diferenciadas com a mestrande Marília Faustino da Silva, sob a orientação da Profª Dra. Nelma Regina Segnini Bossolan. Ambas estarão disponíveis para o esclarecimento de qualquer dúvida antes e durante o curso da pesquisa.

Você tem total liberdade em recusar a participar ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma em sua relação com o pesquisador ou à instituição e sem prejuízo ao seu cuidado.

As informações coletadas durante a pesquisa, incluindo suas falas, ou sua imagem serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação, de forma que os dados divulgados não possibilitarão sua identificação.

Se você está interessado em participar dessa pesquisa coloque seus dados abaixo.

Nome completo: _____

Email: _____

Tel: _____ Cel: _____

Disponibilidade de horários

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta