



“Sintetizando Proteínas”, o jogo: proposta e avaliação de uma ferramenta educacional

“Synthesizing Proteins”, the game: Proposal and evaluation of an educational tool

Julio Cesar Queiroz de Carvalho^{1*}, **Nelma Regina Segnini Bossolan²**

*e-mail: jcqcarmo@usp.br

^{1*} Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências
Universidade de São Paulo – USP

^{2*} Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP
Agência de fomento: Fapesp, Capes.

Resumo

Jogos didáticos têm sido recomendados pelas diretrizes curriculares para o ensino de Biologia, pois estimulam e valorizam as atividades em equipe e propiciam o desenvolvimento espontâneo e criativo dos alunos. O estudo de temas como proteínas e de suas relações entre DNA e RNA, pela complexidade e elevado nível de abstração, pode ser facilitado pelo uso de materiais e estratégias diversificadas. Nesse contexto foi desenvolvido o jogo “Sintetizando Proteínas”, dirigido ao ensino médio, que, por favorecer o reconhecimento, a utilização e a interpretação de um modelo explicativo e representativo de um sistema biológico por parte dos alunos, pode auxiliar na aquisição das competências voltadas para a investigação e compreensão científica e tecnológica. O jogo é composto por um tabuleiro que traz o desenho de uma célula eucariótica em corte, cuja dinâmica envolve o uso de cartões representativos de estruturas e processos bioquímicos.

Palavras-chave: proteínas, jogos, material educacional

Abstract

Educational games have been recommended by curriculum guides for biology teaching because they stimulate and promote group activities and foster spontaneous and creative development of students. The use of materials and diversified teaching strategies can facilitate the study of topics such as proteins and their relationship to DNA and RNA, which have some complexity and require a high level of abstraction. In this context we developed the game “Synthesizing Proteins”, aimed at high school. The game promotes student recognition, use and interpretation of a meaningful and representative model of a biological system and can assist in developing the skills necessary for research, and scientific and technological understanding. The game comprises of a board containing a drawing of a eukaryotic cell, and cards representing cell structures and biochemical processes involved in protein synthesis.

Keywords: proteins, games, educational tool

Ficha da atividade desenvolvida

Título: Jogo “Sintetizando Proteínas”.

Público alvo: Alunos do ensino médio.

Disciplinas relacionadas: Biologia, Química.

Objetivos educacionais: Localizar a ocorrência da síntese proteica em uma célula eucariótica; identificar as estruturas e organelas envolvidas no processo da síntese proteica; compreender a estrutura de uma proteína e a importância do seu papel biológico; estabelecer relações entre DNA, RNA e proteína de modo a compreender o dogma central da biologia.

Justificativa de uso: O jogo de tabuleiro ora proposto configura-se em uma ferramenta de uso coletivo em sala de aula, que pode estimular o aprendizado colaborativo e auxiliar na construção dos modelos mentais de processos que envolvem moléculas e organelas celulares. Os assuntos abordados pelo jogo fazem parte do tema estruturador “Identidade dos seres vivos”, indicado no PCN+ de Biologia (Brasil, 2002). O caráter lúdico do jogo também pode estimular o desenvolvimento espontâneo e criativo dos alunos. O jogo pode ser reproduzido e multiplicado por meio de impressão, tornando-se, desse modo, de fácil acesso.

Conteúdos trabalhados: Papel biológico das proteínas, estrutura das proteínas, síntese de proteínas em células eucarióticas, estrutura do DNA e RNA, estrutura e organização da célula eucariótica, função das organelas celulares.

Materiais utilizados: Jogo “Sintetizando Proteínas”; o jogo pode ser substituído por cópias impressas do tabuleiro e das cartas (materiais suplementares), mais canetas para retroprojektor e lápis-borracha.

Link de acesso aos materiais: A versão eletrônica do jogo está disponível no link <http://eic.ifsc.usp.br/playercbme/interatividade/jogosintese/sintetizando.html>. O jogo também faz parte do conjunto de kits da Experimentoteca do Ensino Médio do CDCC-USP, onde mais informações estão disponíveis no link http://www.cdcc.sc.usp.br/experimentoteca/medio_biologia.html



1 Introdução

Os jogos ganharam bastante espaço dentro do Ensino de Ciências nas últimas décadas devido o seu papel no desenvolvimento cognitivo dos alunos. No âmbito de seu caráter coletivo, em que o jogo promove a competição, desenvolve habilidades como “compreender melhor, fazer melhores antecipações, ser mais rápido, cometer menos erros ou errar por último, coordenar situações e ter condutas estratégicas” [1].

No contexto do Ensino de Biologia, o jogo é sugerido pelos Parâmetros Curriculares Nacionais [2] como uma estratégia para a abordagem de temas em Biologia, pois o mesmo, assim como a brincadeira, estimula e valoriza as atividades em equipe, desenvolvendo competências no âmbito das relações interpessoais. Além disso, também propicia o desenvolvimento espontâneo e criativo dos alunos.

Em especial, o estudo do tema proteínas (estrutural e funcional), bem como as relações entre DNA, RNA e proteína (dogma central da biologia molecular) em sala de aula, por sua complexidade, elevado nível de abstração e consequente dificuldade de compreensão por parte dos alunos, tem sido alvo de pesquisas e investigação em ensino de Biologia, uma vez que constitui a base para a compreensão de temas como “código genético”, “hereditariedade”, “organismos geneticamente modificados” ou “uso terapêutico de células tronco”, por exemplo.

As pesquisas têm demonstrado a preocupação em transformar a sala de aula em um ambiente propício à construção do conhecimento e mais do que isso, de uma forma lúdica e significativa para os alunos. Dessa forma, a área de recursos instrucionais, no que se refere à proposição e avaliação de jogos, tem crescido bastante nas últimas décadas e com ela as diferentes formas de abordagem dos conceitos em Biologia frente ao “absolutismo” dos livros didáticos. Há vários trabalhos, nacionais e internacionais, que relatam o desenvolvimento e o uso de jogos simbólicos e jogos de regras para o ensino de biologia celular e molecular. Os jogos simbólicos podem incluir atividades hands-on, referentes à manipulação de modelos físicos representativos de moléculas ou processos bioquímicos [3-32], e jogos de representação do tipo RPG – Role Playing Game [33-35]. Os jogos de regras, além de possuir um caráter simbólico, incluem regras pré-determinadas e competição [36-40].

Nesse contexto, apresentamos o jogo “Sintetizando Proteínas”, alvo de investigação de uma pesquisa mais ampla que buscou a avaliação de seu impacto no processo de



ensino-aprendizagem de alunos do ensino médio. Esse jogo, desenvolvido pelo Centro de Biotecnologia Molecular Estrutural (CBME/CEPID/FAPESP) em parceria com o Centro de Divulgação Científica e Cultural de São Carlos (CDCC/USP), teve por objetivo colaborar na aquisição de competências voltadas para a investigação e compreensão científica e tecnológica, propostas pelos PCN+ para o ensino de Biologia [2], uma vez que pode favorecer o reconhecimento, a utilização e a interpretação de um modelo explicativo e representativo de um sistema biológico por parte dos alunos.

Os conceitos e processos tratados no jogo também podem contribuir na aquisição das habilidades indicadas para o tema “DNA - a receita da vida e seu código”, do currículo do Estado de São Paulo para a área de Biologia, a saber:

... reconhecer as semelhanças e diferenças entre o DNA e o RNA; relacionar os diferentes tipos de RNA ao processo de síntese de proteínas; descrever o processo de síntese de proteínas por meio de texto ou esquemas explicativos; reconhecer a existência de um código genético universal, por meio do qual a sequência de bases do DNA é traduzida em uma sequência de aminoácidos na proteína [41].

2. Proposta educacional

2.1 O jogo “Sintetizando Proteínas”

Este jogo é composto por um tabuleiro contendo o desenho de uma célula eucariótica animal em corte (Figura 1); cartas representativas das proteínas a serem formadas (Figura 2), contendo uma situação-problema; peças de tabuleiro representativas dos componentes do jogo (Figura 3), como RNA mensageiro, estrutura primária da proteína e proteína processada; cartas contendo instruções necessárias para o cumprimento de cada etapa do jogo e que são responsáveis pela dinâmica do mesmo (Figura 4); acompanha também materiais adicionais como: 4 canetas hidrográficas coloridas (amarela, vermelha, verde e azul), um lápis borracha e um apontador.

O tabuleiro, como mostrado na figura 1, compõe-se de um desenho representativo do corte de uma célula eucariótica animal, com os nomes característicos de cada organela, ou região, estampados no mesmo, didaticamente desenvolvido e adaptado para cumprir com os propósitos do presente jogo. O jogo é dividido em 5 etapas devidamente numeradas no tabuleiro, para a orientação dos participantes (com exceção da etapa 1, que ocorre no núcleo da célula) (Figura 1a). A primeira etapa, no núcleo da célula, corresponde ao processo de transcrição, portanto de formação do RNA mensageiro; a



segunda etapa corresponde à saída do RNA mensageiro do núcleo para o citosol; a terceira, o processo de tradução, culminando com a formação da estrutura primária de cada proteína; a quarta etapa ‘processar proteína’ é representada de modo único e simplificado, simbolizando processos como o enovelamento da molécula, adição de substratos, entre outros; a quinta e última etapa correspondendo ao endereçamento da proteína ao local aonde ela irá “atuar”.

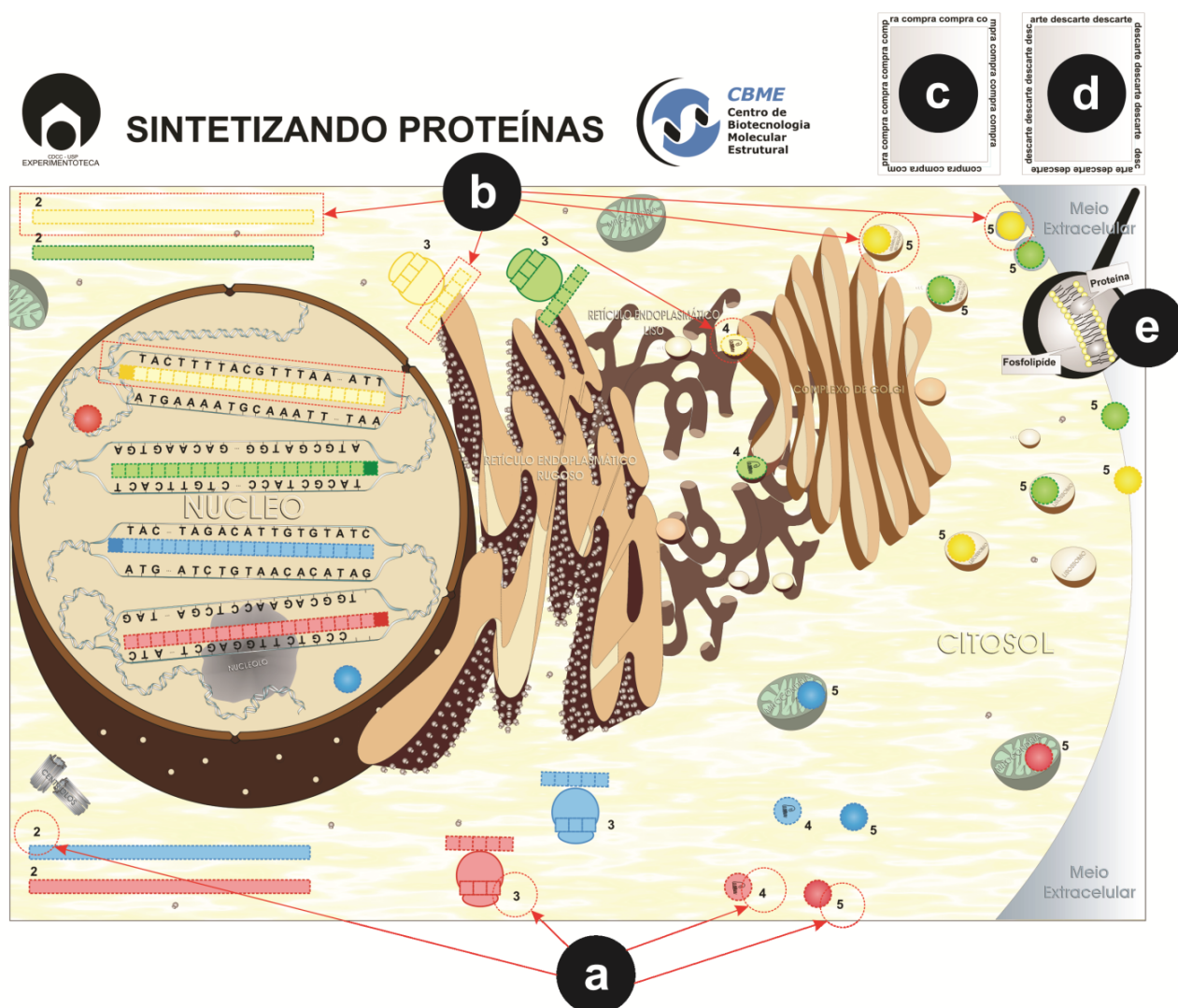


Figura 1. Desenho representativo do tabuleiro, parte integrante do jogo “Sintetizando Proteínas”; (a) – numeração correspondente de cada etapa do processo de síntese de proteína, sendo que a etapa 1 ocorre no núcleo e não apresenta numeração (etapa 1 – transcrição; etapa 2 – transferência do RNA mensageiro para o citosol; etapa 3 – tradução; etapa 4 – processamento protéico; etapa 5 – endereçamento da proteína); (b) – região destinada às peças, dependendo da etapa; (c) – região destinada ao monte de compras; (d) – região destinada ao descarte de cartões; (e) visão detalhada da membrana plasmática.

Servindo como um guia, cada uma das etapas descritas acima é representada por um desenho estampado no tabuleiro que tem o mesmo formato das peças utilizadas pelos participantes, a fim de que cada participante ou grupo saiba onde deve colocar cada peça,

de acordo com a etapa vigente (Figura 1b).

OBJETIVO: ADRENALINA

a A SITUAÇÃO

Você ganhou um cachorrinho de aniversário e resolveu dar uma volta no bairro com ele. Ao se aproximar de uma casa na qual você sabia que havia um cachorro enorme e bravo, percebeu que o portão estava aberto e que a fera já estava se preparando para sair.
Para fugir ou mesmo enfrentar o perigo, você precisa aumentar a sua capacidade de **trabalho muscular** através da ação da **adrenalina**.

b O MECANISMO

As moléculas de adrenalina são continuamente produzidas em certas células das **glândulas adrenais** (localizadas próximo aos rins) e lá ficam armazenadas em **grânulos**. Elas são sintetizadas através de uma série de reações catalisadas por enzimas, sendo uma delas a **tirosina hidroxilase**. Quando as moléculas de adrenalina são liberadas, por indução de uma situação de ameaça, caem na corrente sanguínea e chegam até os tecidos onde atuam.

c SEU OBJETIVO

Sintetizar uma molécula de **tirosina hidroxilase** e destiná-la ao citosol. Isto possibilitará que diante de uma situação de perigo, como por exemplo, o cachorro bravo que se aproxima, você tenha adrenalina para ativar o chamado **mecanismo de luta e fuga**.

Figura 2. “Carta-Objetivo”. A mesma possui 3 seções: (a) “A situação”; (b) “O mecanismo” e (c) “Seu objetivo”.

Além do tabuleiro, o jogo possui 61 cartas representativas dos objetivos, denominadas “cartas-objetivo” (Figura 2), a serem cumpridos por cada aluno ou grupo durante o desenvolvimento do jogo, que tem como objetivo final a síntese de uma proteína específica. Essas cartas apresentam três seções: “A situação”, em que a proteína a ser formada é inserida em um contexto ligado ao cotidiano dos alunos, na forma de uma situação-problema, de forma que a resolução desse “problema” depende da síntese dessa determinada proteína (Figura 2a); “Mecanismo”, que descreve de forma bastante sintética e simples o mecanismo biológico por meio do qual a proteína em questão se formará, detalhando etapas do processo e intermediários de reação (Figura 2b); “Seu Objetivo”, baseado na situação-problema e no mecanismo biológico, indicando qual proteína deverá ser formada e para onde deve ser encaminhada quando atingir a quinta etapa do jogo (Figura 2c).

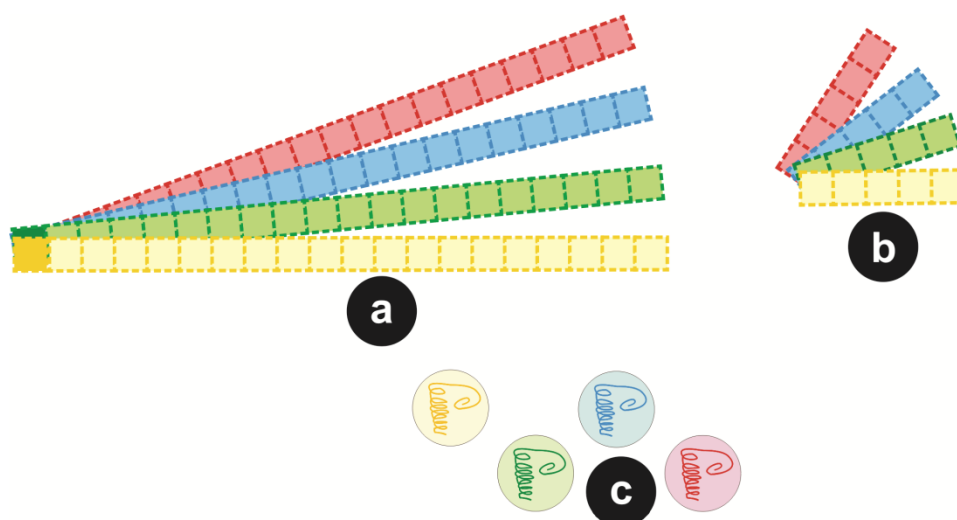


Figura 3. Peças de tabuleiro representativas de estruturas bioquímicas, apresentada em quatro cores diferentes na versão impressa. (a) RNA mensageiro; (b) Estrutura primária da proteína e (c) Proteína processada.

Para cada etapa do jogo há peças de tabuleiro, representativas de estruturas bioquímicas específicas (Figura 3). A primeira peça é uma fita quadriculada (com 20 quadrados), representando o “RNA mensageiro”, sendo o primeiro quadrado, colorido, destinado à “RNA polimerase” e os demais quadrados à escrita dos nucleotídeos correspondentes. Essa peça participa da 1ª e 2ª etapas (Figura 3a). A segunda peça é uma fita quadriculada (com 5 quadrados), representando a estrutura primária da proteína a ser formada, em que os quadrados destinam-se à escrita dos aminoácidos correspondentes. Essa peça é utilizada na 3ª etapa (Figura 3b). A terceira é um círculo colorido representativo da proteína após seu processamento, utilizado na 4ª e 5ª etapas, com o desenho de uma proteína em forma de “P” (Figura 3c). Essas peças “caminham” pelo tabuleiro em regiões específicas, representadas pelos mesmos formatos e desenhos no tabuleiro, mostradas na figura 3b.

Por fim temos as cartas responsáveis pela dinâmica do jogo, denominadas “cartas-ação” (Figura 4), uma vez que são elas que permitem aos participantes avançar pelas etapas, como veremos a seguir. Com o intuito de aperfeiçoar o processo, as cartas apresentam duas opções de ação separadas pela conjunção “OU”, indicando alternância ou exclusão, de forma que dependendo da etapa que o participante ou grupo estiver, poderá escolher a opção que lhe for conveniente. Apenas duas cartas, “RNase” e “protease”, não oferecem essa opção, e possuem ações paralelas ao processo, podendo destruir parte do que outro participante já construiu.

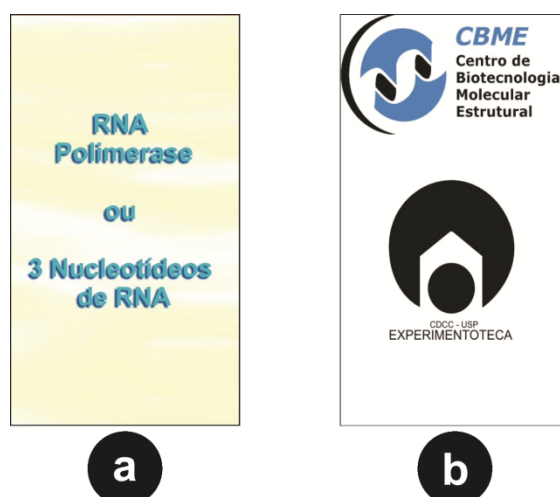


Figura 4. ‘Carta-ação’. (a) A parte interna do cartão, com duas opções de ação, separadas pela conjunção “ou”; (b) Verso do cartão com os logotipos do CBME e do projeto Experimentoteca do CDCC/USP (Centro de Difusão Científica e Cultural da Universidade de São Paulo).

2.2 Dinâmica do jogo

2.2.1 Procedimentos preliminares

O número máximo de participantes (ou grupos) do jogo é 4 e por isso todas as peças e cartas do jogo, com exceção das ‘cartas-ação’, vêm em 4 cores: vermelho, azul, verde e amarelo.

Cada participante ou grupo deverá escolher uma das cartas-objetivo, de acordo com a cor que assim o desejar e retirar o material correspondente à cor de sua escolha (fita do RNA mensageiro, fita da estrutura primária da proteína e círculo representativo da proteína processada). Cada participante ou grupo lê em voz alta o conteúdo de sua carta-objetivo, a fim dos outros participantes tomarem conhecimento de todas as proteínas a serem formadas, seus mecanismos biológicos e onde atuarão dentro da célula.

2.2.2 A primeira rodada

Um dos participantes embaralha o maço de cartas-ação e em seguida distribui cinco cartas para cada participante, depositando o restante das cartas na região destinada ao maço de compras, com as informações viradas para baixo. O mesmo participante que embaralhou e distribuiu dá início ao jogo. O mesmo verifica se entre as cartas em suas mãos existe uma com a opção “RNA polimerase”, que só precisa ser apresentada uma única vez. Em caso negativo, o participante não poderá prosseguir, escolhendo uma das cartas para descartar, depositando-a na região do tabuleiro destinada a este propósito e

passando a vez ao participante à sua direita. Em caso positivo o mesmo estará habilitado a prosseguir e havendo cartas com “n nucleotídeos de RNA” poderão fazer associações com outras cartas similares, somando-se as quantidades de nucleotídeos envolvidas, desde que reserve uma das cartas para a efetuação do descarte.

2.2.3 Demais rodadas

As demais rodadas seguem a seguinte sequência de ações: 1) compra de cartas – no início de cada rodada, cada grupo poderá comprar até 3 cartas, desde que não ultrapasse 5 em sua mão. 2) Utilização das cartas – o número de cartas que o participante da vez poderá associar para efetuar suas ações corresponde ao número de cartas que estiver em sua mão, menos uma. 3) O descarte – após o participante ter efetuado suas ações, o mesmo deverá escolher uma, dentre as cartas que restaram em sua mão, e descartá-la, depositando-a na região do tabuleiro destinada a esta finalidade.

2.2.4 As cartas-coringa

Dentre as cartas-ação que os participantes poderão associar para completar as etapas até cumprir seus objetivos dentro do jogo ora proposto, destacam-se duas delas que tem o objetivo, ao ser apresentada, não de proporcionar ao participante da vez um avanço nas etapas do processo, mas como um “trunfo” a ser usado contra outros participantes, atrasando-os. Uma delas denomina-se “RNase”, que tem o “poder” de fazer com que o participante escolhido apague metade dos nucleotídeos que já havia sido escrito na fita do RNA mensageiro, na 1ª etapa. A outra carta, denominada “Protease”, ao ser apresentada a um dos participantes, faz com que o mesmo tenha que apagar metade dos aminoácidos já escritos na fita da estrutura primária da proteína, na 3ª etapa.

Essas cartas só têm “validade” nas etapas indicadas anteriormente, ou seja, a partir do momento que um participante já estiver na 2ª etapa, os mesmos estarão “imunes” à ação da RNase. Da mesma forma, a “protease” só poderá ser apresentada a participantes que estiverem na 3ª etapa; uma vez avançados para 4ª etapa estarão “imunes” a sua ação.

2.2.6 Finalizando o jogo

O jogo poderá ser finalizado de duas formas: quando o primeiro dos participantes



atingir a 5ª e última etapa ou somente quando o último participante o fizer.

A partir de um desses eventos, cada participante lê novamente seu objetivo para os demais estudantes, abrindo-se uma sessão de discussão a respeito do que aconteceria com a célula, e conseqüentemente ao organismo, se uma daquelas proteínas a serem formadas não fosse expressa. Nesse caso, se ressaltaria a importância da proteína na resolução da situação-problema descrita em cada carta-objetivo. Pode-se também abordar o fato de que os processos de síntese das diferentes proteínas em nosso organismo ocorrem simultaneamente, além disso, a comparação entre as proteínas abordadas no jogo pode levar os alunos a perceberem sua diversidade de funções e importância para o organismo.

3 Avaliação do jogo por professores do ensino médio

Após criarmos o protótipo do jogo, o mesmo foi apresentado a grupos de professores de Biologia do ensino médio para que fosse avaliado como uma ferramenta de ensino-aprendizagem. O jogo foi introduzido como uma atividade no contexto de um curso de extensão oferecido pelo CBME, cuja proposta foi a introdução de temas relacionados à Biologia Molecular e Biotecnologia. Trinta e quatro (34) professores de Biologia do Ensino Médio participaram de três edições do curso, respondendo a um questionário avaliativo após realizarem a atividade com o jogo. Os resultados identificados a partir da análise das respostas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Pré-avaliação do jogo, realizada por 34 professores de Biologia participantes de cursos de extensão oferecidos pelo Centro de Biotecnologia Molecular Estrutural (CBME/CEPID/FAPESP).

Q	Aspectos Avaliados	%E	%MB	%B	%R	%I
1	Quanto ao design do tabuleiro e materiais.	67,6	29,4	2,9	0,0	0,0
2	Quanto à clareza das regras do jogo.	35,3	32,4	20,6	11,8	0,0
3	Quanto à complexidade e nível das informações abordadas no jogo.	44,1	38,2	17,6	0,0	0,0
4	O jogo enquanto um estimulador do raciocínio reflexivo, fazendo contextualizações.	64,7	29,4	5,9	0,0	0,0
5	O jogo enquanto um estimulador da curiosidade, fazendo-os conhecer onde as proteínas são formadas, como atuam e sua importância.	61,8	23,5	14,7	0,0	0,0
6	O jogo enquanto um facilitador do conhecimento, no caso do processo de síntese de proteínas.	61,8	35,3	2,9	0,0	0,0
7	Quanto ao nível de interação entre os participantes.	67,6	29,4	2,9	0,0	0,0

Legenda: **E** = excelente; **MB** = muito bom; **B** = bom; **R** = regular; **I** = insuficiente.



O jogo foi satisfatoriamente avaliado pelos professores com relação à apresentação, adequação da linguagem e conceitos utilizados, estimulação do raciocínio, criatividade e interação. No entanto, com relação à clareza das regras, 20,6% consideraram o jogo “bom” e 11,8% o consideraram “regular” (Tabela 1).

Em resposta à 8ª questão (“Na sua opinião, levando-se em conta o tempo médio de duração do jogo e o tempo disponível, o jogo é aplicável em sala de aula? Comente e dê sugestões”), 41,2% dos professores avaliaram o jogo como aplicável, sem mencionar qualquer tipo de ressalva. Já para 8,8% dos professores, o jogo não era aplicável em sala de aula devido ao tempo disponível para as aulas de Biologia ser insuficiente, sugerindo que o mesmo fosse aplicado em atividades extraclasse. Metade dos professores alegou ser aplicável desde que levássemos em consideração certos aspectos e/ou sugestões como:

1. a explicação das regras deveria ser feita em uma aula, devido à sua complexidade, e o jogo, trabalhado em outra aula;
2. que o jogo fosse aplicado em aulas duplas e com auxílio de um monitor;
3. que o jogo fosse aplicado em atividades extraclasse ou à título de revisão, após o estudo do conteúdo, devido ao tempo de aula ser insuficiente;
4. as regras precisariam ser apresentadas de forma mais clara;
5. a quantidade de alunos por jogo não poderia ser muito grande.

As sugestões indicadas pelos professores foram consideradas na redação da versão final das “instruções” do jogo e das “orientações ao professor”.

4 Conclusão

Neste estudo, segundo relato de professores de Biologia, o jogo “Sintetizando proteínas” foi considerado uma ferramenta didático-pedagógica adequada, ainda que um pouco complexa, necessitando de certos ajustes referentes à aplicabilidade do mesmo em sala de aula. Estes ajustes, bem como outros, foram considerados quando da aplicação do jogo com um grupo de alunos de duas escolas do ensino médio, mostrando-se adequados à estratégia utilizada. A pesquisa da qual este jogo faz parte, “Avaliação de seu impacto no processo de ensino-aprendizagem de alunos do ensino médio” [42], mostrou que o mesmo contribuiu de modo positivo na compreensão e formação dos conceitos relacionados.



Referências

- [1] Macedo L. Os jogos e a sua importância na escola. *Cad Pesqui* 1995; 93: 5-10.
- [2] Brasil, Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.
- [3] Banta L. DNA – How sweet it is!. *Am Biol Teach* 1997; 59(8): 511-512.
- [4] Ash V. The report card comment generator: a model to help explain the relationship between genes and alleles. *J Biol Educ* 2001; 35(2): 100-1001.
- [5] Templin MA, Feters MK. A working model of proteins synthesis using Lego® building blocks. *Am Biol Teach* 2002; 64(9): 673-678.
- [6] Beltramini LM, Araújo APU, Oliveira THG, Abel LDS, Silva AR, Santos NF. A new three-dimensional educational model kit for building DNA and RNA molecules. *Biochem Mol Biol Educ* 2006; 34(3):187-193.
- [7] Atkins T, Roderick J. Demonstration: genetic jewelry. *Am Biol Teach* 2006; 68(6): 80-85.
- [8] Baker WP, Jones CB, Hull E. Modeling protein domain function. *Sci Act* 2007; 44(2): 43-46.
- [9] Seipelt RL. Cookie-ases: interactive models for teaching genotype-phenotype relationships. *Am Biol Teach* [periódicos na internet]. 2006. acesso em 10 de outubro de 2008. Disponível em: <http://www.nabt.org/sites/S1/index.php?p=318>.
- [10] Turner HM. Simulation and demonstration: the nature of enzymes and how they are denatured. *Am Biol Teach* 2007; 69(3): 142.
- [11] Rothhar R, Pittendrigh BR, Orvis KS. The Lego® analogy model for teaching gene sequencing and biotechnology. *J Biol Educ* 2008; 40(4): 166-171.
- [12] Beltramini LM, Araújo APU. Estudos de aminoácidos utilizando discos giratórios. Biblioteca Nacional, n. registro 249795, 2002. Acesso em 06 de fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.bn.br/portal/index.jsp?plugin=FbnBuscaEDA&radio=CpfCnpj&codPer=74696874834>.
- [13] Beltramini LM, Abel LS, Carvalho JCQ, Araújo APU. Polígono de nucleotídeos um método de estudo. Biblioteca Nacional, n. registro 249990, 2002. Acesso em: 06 de fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.bn.br/portal/index.jsp?plugin=FbnBuscaEDA&radio=CpfCnpj&codPer=26568709840>.
- [14] Biermann CA. The protein a cell built (and the house Jack built). *Am Biol Teach* 1988; 50(3): 162-163.
- [15] Brinner B. Of molecules and models. *Sci Sco* 1992; 15(7): 14-17.
- [16] Corn J, Pittendrigh BR, Orvis KS. Genomics analogy model for educators (GAME): from jumping genes to alternative splicing. *J Biol Educ* 2004; 39(1): 24-26.
- [17] FAPESP. 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. BR n. PI 0301512 (A), 15 jun. 2005.

[18] FAPESP. Richard Charles Garratt; Luciano Douglas dos Santos Abel. Modelo topológico tridimensional conceitual para representação de estrutura ou parte de estrutura protéica e kit. BR n. PI 0300610-7 (A2), 19 fev. 2003.

[19] Fink PA. An interactive 3D model of protein synthesis. *Am Biol Teach* 1990; 52(5): 274-275.

[20] Fletterick RJ, Argetsinger B, Matela R. Protein molecule model. US 4,378,218, 29 mar. 1983.

[21] Kirkpatrick G, Orvis K, Pittendrigh B. A teaching model for biotechnology and genomics education. *J Biol Educ* 2002; 37(1): 31-35.

[22] Mensch DL, Rubba PA. A study of large hands-on protein synthesis models in a biology class. *School Sci Math* 1991; 91(4): 164-168.

[23] Nelson A, Goetze J. Modeling protein folding applying it to a relevant activity. *Am Biol Teach* 2004; 64(4): 287-289.

[24] Nicholson BH. Models representing molecular structure. US 3,841,001, 15 out. 1974.

[25] Pigage HK. The central dogma in action. *Am Biol Teach* 1991; 53(7): 436-437.

[26] Rode GA. Teaching protein synthesis using a simulation. *Am Biol Teach* 1995; 57(1): 50-52.

[27] Rogerson AC, Cheney Junior RW. A physical model illustrating protein synthesis on the ribosome. *Am Biol Teach* 1989; 51(1): 29-31.

[28] Santos NF, Beltramini LM. Células organelas virtuais e estruturas moleculares tridimensionais ao alcance das mãos. *C H* 2004; 35(207): 56-59.

[29] Sprehn JL. Protein building blocks: a concrete model for an abstract thought. *Sci Teach* 1993; 60(7): 22-25.

[30] UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (BR/SP)/FAPESP. Leila Maria Beltramini; Aparecido Rodrigues da Silva. Unidades representativas de aminoácidos e kit educacional compreendendo as mesmas. BR n. PI 0802082-5 (A2), 19 mai. 2008.

[31] Asmus EG. Protein structure. *Am Biol Teach* 2007; 59(1): 38-43.

[32] Araujo-Jorge TC, Cardona TS, Mendes CLS, Henrique-Pons A, Meirelles RMS, Coutinho CMLM, Aguiar LEV, Meirelles MNL, Castro SL, Barbosa HS, Luz MRMP. Microscopy images as interactive tools in cell modeling and cell biology education. *Cell Biol Educ* 2004; 3(3): 99-110.

[33] Stencel J, Barkoff A. Protein synthesis: role playing in the classroom. *Am Biol Teach* 1993; 55(2): 102-103.

[34] Clements LAJ, Jackson KE. Protein synthesis – an interactive game. *Am Biol Teach* 1998; 60(6): 427-429.

[35] Crowther DT, Landon J, Jacobitz K. Protein potluck: doing tasteful science. *Am Biol*



Teach 1997; 59(2): 108-112.

[36] Willmott CJR. Revision bingo. Biochem Mol Bio Educ 2001; 29(5): 193-195.

[37] Pavan OHO. Jogos didáticos: evoluindo-genética. In: Cauê M, Alves OL, organizadores. Conhecimento científico e vida cotidiana. São Paulo. Terceira Margem; 2003.

[38] Davies G, Nuggets. Stories, fun and games: teaching genetics in primary school. J Biol Educ 2005; 40(1): 31-31.

[39] Lewis A, Peat M, Franklin S. Understanding protein synthesis: an interactive card game discussion. J Biol Educ 2005; 39(3): 125-130.

[40] Beltramini LM, Abel LS, Carvalho JCQ. Suporte didático para o estudo de aminoácido. Biblioteca Nacional, n. registro 271.177, 2002. Acesso em 6 de fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.bn.br/portal/index.jsp?plugin=FbnBuscaEDA&radio=CpfCnpj&codPer=74696874834>.

[41] São Paulo. Secretaria da Educação. Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas tecnologias / Secretaria da Educação; coordenação geral, Maria Inês Fini; coordenação de área, Luis Carlos de Menezes. – 1. ed. Atual. – São Paulo: SE, 2011.152 p.

[42] Carvalho JCQ, Bossolan NRS. Avaliação do impacto do jogo “Sintetizando Proteínas” no processo de ensino-aprendizagem de alunos do ensino médio. Dissertação de mestrado [Física Aplicada – opção Biomolecular]. Universidade de São Paulo: Instituto de Física de São Carlos. 2009.

Agradecimentos

O desenvolvimento do jogo “Sintetizando Proteínas” bem como os cursos oferecidos a professores para sua avaliação foram realizados com recursos da FAPESP, no âmbito do CEPID. A avaliação do jogo junto aos professores foi parte da dissertação de mestrado de Julio Cesar Queiroz de Carvalho, realizado no Programa de Pós-Graduação em Física do IFSC-USP, com bolsa obtida junto à CAPES.

