

Na trilha dos Transposons: a proposta de uma atividade lúdica de baixo custo para facilitar a aprendizagem na Genética

On the trail of Transposons: the proposal of a low-cost playful activity to facilitate learning in Genetics

Tras la estela de los Transposones: la propuesta de una actividad lúdica de bajo coste para facilitar el aprendizaje en Genética

Recebido: 13/01/2022 | Revisado: 17/01/2022 | Aceito: 23/01/2022 | Publicado: 24/01/2022

Tiago Maretti Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8971-0647>

Universidade Federal de Alfenas, Brasil

E-mail: tiagobio1@hotmail.com

Marines Marli Gniech Karasawa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8431-0150>

Universidade Federal de Alfenas, Brasil

E-mail: mgniechk@yahoo.com.br

Resumo

No ensino superior, na área de Ciências Biológicas, os tópicos de Genética são abstratos, sendo encarados por muitos alunos como complexos. O tema de elementos móveis (transposons) detém uma grande quantidade de informações e termos novos que devem ser muito bem contextualizados pelos discentes. Para vencermos tais obstáculos, facilitando a aprendizagem do conteúdo, o presente artigo possui como principal objetivo propor, construir e abordar uma atividade lúdica denominada “Na trilha dos Transposons”. Utilizando materiais simples e de baixo custo, o jogo se torna um aliado para a busca do conhecimento, atraindo a atenção do aluno e proporcionando uma aula mais lúdica e didática aplicado no ensino superior dentro de disciplinas de Genética Clássica e Biologia Molecular.

Palavras-chave: Metodologia alternativa; Ensino-aprendizagem; Elementos de transposição; Materiais didáticos; Extensão.

Abstract

In higher education, in Biological Sciences area, Genetics topics are abstract, being seen by many students as complex. The theme of mobile elements (transposons) holds a great deal of information and new terms that must be very well contextualized by students. To overcome such obstacles, facilitating the learning of the content, the main objective of this article is to propose, build and approach a playful activity called “On the trail of the Transposons”. Using simple and low-cost materials, the game becomes an ally in the pursuit of knowledge, attracting the student's attention and providing a more playful and didactic class applied in higher education within the disciplines of Classical Genetics and Molecular Biology.

Keywords: Alternative methodology; Teaching-learning; Transposable elements; Teaching materials; Extension.

Resumen

En la educación superior, en el área de Ciencias Biológicas, muchos estudiantes consideran que los temas de genética son complejos y abstractos. El tema de los elementos móviles (transposones) contiene una gran cantidad de información y nuevos términos que los estudiantes deben contextualizar muy bien. Para superar dichos obstáculos, facilitando el aprendizaje de los contenidos, el objetivo principal de este artículo es proponer, construir y abordar una actividad lúdica denominada “Tras la pista de los Transposones”. Utilizando materiales sencillos y de bajo costo, el juego se convierte en un aliado para la búsqueda del conocimiento, atrayendo la atención del alumno y brindando una clase más lúdica y didáctica aplicada en la educación superior dentro de las disciplinas de Genética Clásica y Biología Molecular.

Palabras clave: Metodología alternativa; Enseñanza-aprendizaje; Elementos de transposición; Materiales de enseñanza; Extensión.

1. Introdução

A genética é uma área das Ciências Biológicas, com foco relacionado a natureza química do material hereditário, ou

seja, o mecanismo de transferência das informações contidas nos genes, compartilhados por meio dos genitores para as progênes de geração em geração (Almici et al., 2021). Barbara McClintock (Figura 1), uma das mais renomadas pesquisadoras do ramo da Genética foi a responsável pela descoberta dos elementos móveis presentes no genoma, denominados transposons. Pelas descobertas sobre os elementos móveis em milho ela foi agraciada com o prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia no ano de 1983 (Borges, 2007).

Figura 1. Barbara McClintock, uma pesquisadora proeminente que descobriu os elementos transponíveis em cromossomos de milho.



Fonte: Wikimedia Commons (2021a). Smithsonian Institution/Science Service; Restored by Adam Cuerden, Public domain, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Barbara_McClintock_%281902-1992%29_shown_in_her_laboratory_in_1947.jpg

Em suas pesquisas, baseadas em dois locos dominantes (*Ds – Dissociação* e *Ac - Ativador*) ligados ao padrão herdável e com instabilidade na pigmentação variada ou em mosaico do pericarpo de milho (*Zea mays ssp. mays*), Barbara McClintock observou por meio do microscópio óptico, eventos de quebra no braço curto do cromossomo 9, descobrindo um complexo mecanismo de movimentação e dinâmica cromossômica que denominou de “elementos controladores”. Após mais estudos, foi atribuído a esses elementos o termo elementos de transposição (Micklos et al., 2005; Watson et al. 2009; Varani et al. 2015). Identificados a mais de 50 anos em plantas de milho (Figura 2), os elementos transponíveis não foram efetivamente compreendidos e permaneceram ignorados por muitos anos. Apenas com o uso de técnicas moleculares, no final da década de 60 e durante toda a década seguinte, é que a relevância dos elementos transponíveis se tornou amplamente aceita (Klug et al., 2010; Pierce, 2012; Griffiths, 2019).

Definido como sequências móveis com capacidade de recombinar (deslocar) no genoma, os transposons têm sido identificados em todos os organismos (Pierce, 2012; Marques, 2012), desde bacteriófagos, bactérias, fungos, protistas plantas e animais (Snustad & Simmons, 2013). Em muitos genomas, eles são abundantes como é o caso do milho (85%) (Snustad e Simmons, 2013), e em outros vegetais como é o caso da espécie *Utricularia gibba*, os transposons, aparecem em uma escala bem pequena, de 3% (Ibarra-Laclette, 2013). Já, nos seres humanos, eles estão presentes em uma parcela expressiva que varia entre 40% (Snustad & Simmons, 2013) a 45% (Pierce, 2012).

Figura 2. Coloração do pericarpo de milho em mosaico, fenômeno atribuído pelos elementos móveis (transposons).



Fonte: Wikimedia Commons (2021b). Abrahami (2013), CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Transposons.jpg>

Segundo Pierce (2012), a maioria dos elementos transponíveis são capazes de se inserir em muitos locais diferentes no genoma, o que difere do mecanismo da recombinação homóloga. Quando esse fenômeno ocorre, dizemos que ocorreu uma mutação, sendo denominada de mutagênese insercional (Medina & Cacareto, 2015). Com a inserção de elementos móveis ao longo do genoma humano, pode ocorrer o surgimento de doenças, além de promover quebras de fita dupla de DNA ou a alteração na modulação do estado epigenético dos cromossomos, sendo esses dois fenômenos bem menos discutidos na literatura (Belancio et al., 2009).

No ensino superior, principalmente nos cursos de Ciências Biológicas e Biotecnologia, este assunto pode gerar muitas dúvidas, pois apresenta muitos conceitos novos e mecanismos que devem ser muito bem assimilados e compreendidos pelos alunos. Desta maneira, a proposta de metodologias alternativas de ensino como os modelos didáticos para o ensino da estrutura da molécula de DNA (Gniech Karasawa, 2021) e jogos lúdicos para o ensino do código genético (Gonçalves & Gniech Karasawa, 2021a) e do processo de mutação (Gonçalves & Gniech Karasawa, 2021b) se despontam como de grande impacto no processo norteador do ensino e da aprendizagem visto que facilitam a compreensão e assimilação do tema, permitindo que a aprendizagem seja mais cativante e descontraída, despertando o interesse do aprendiz nos discentes, além de integrar o aprender e o brincar (Da Silva & Colombo, 2019; Teles et al., 2020; Vasconcelos et al. 2020; Gonçalves & Gniech Karasawa, 2021a). Outra potencialidade da atividade proposta é a interação entre os alunos facilitando a organização de ideias e tomada de decisões. Assim, o uso de jogos se despontam como uma metodologia com grande impacto no processo de aprendizagem nos alunos. Neste sentido, Trivelato e Silva (2011, p. 116) discutem que:

Fora das salas de aula, é fácil reconhecer o quanto jogos e outras atividades lúdicas motivam e interessam os adolescentes e jovens: *video-games*, RPGs, simuladores, jogos de cartas e de tabuleiro, disputas esportivas etc. são atividades desenvolvidas com prazer e empolgação. Esse envolvimento interessado que os jogos recebem de pessoas de todas as idades é uma das razões que nos fazem olhar para atividades desse tipo, buscando o desenvolvimento de propósitos educacionais.

Na literatura, jogos lúdicos são cada vez mais comuns, de modo que Brão e Pereira (2015) elaboraram um jogo denominado de Biotecnética constituído por 84 cartas com o objetivo de relacionar cartas-conceito às cartas-tema tendo obtido como principal resultado um jogo que facilitou o ensino e a aprendizagem da temática proposta na disciplina de genética. Já,

Da Silva et al. (2019) elaboraram um jogo lúdico abordando as mutações (anomalias cromossômicas estruturais) em uma proposta intitulada “Aventura Mutante”. Através do uso do jogo com os alunos do curso superior, os autores puderam perceber que a atividade proposta permitiu uma maior interação entre os discentes, bem como a contextualização de conceitos sobre mutações, sendo que a atividade foi aprovada pelos alunos e eles usariam essa metodologia de jogos lúdicos em algum momento quando forem docentes nas suas aulas de Genética.

Considerando o supracitado e visando atender a demanda por metodologias alternativas e de baixo custo estamos propondo um jogo lúdico que deverá facilitar o aprendizado e a assimilação de conceitos ligados ao tema sobre elementos móveis no genoma (transposons) com potencial de aplicação nas disciplinas de Genética Clássica e Biologia molecular a turmas de alunos do ensino superior. É importante destacarmos que a abordagem desta atividade deve ser realizada após a explanação do conteúdo em aulas teóricas, assim, por meio do jogo lúdico os alunos poderão sanar possíveis dúvidas.

2. Materiais e Métodos

O material didático, foi elaborado no projeto de extensão “Popularizando a Genética”, na Universidade Federal de Alfenas (Unfal – MG), sob a orientação e supervisão da coordenadora do projeto Profa Dra. Marines Marli Gniech Karasawa.

O material elaborado permite uma abordagem de natureza qualitativa, com potencial uso educacional e tempo médio de aplicação aos alunos estimado em 50 minutos. No Quadro 1, seguinte, estão dispostos o objetivo, os conteúdos e as habilidades que a proposta educacional permite ser trabalhada.

Quadro 1. Objetivo, conteúdos e as habilidades que a proposta educacional permite ser trabalhada aos discentes.

Competências	Descrição
Objetivo	Proposta de um jogo para facilitar o ensino do tema sobre Transposons aplicado nas disciplinas de Genética Clássica e Biologia Molecular, no ensino superior.
Conteúdos abordados	Transposons (elementos móveis).
Habilidades	Utilizando uma atividade lúdica, este material visa potencializar a capacidade de aprendizado dos discentes, possibilitando, uma maior interação entre professor e aluno, além de permitir o convívio e a tomada de decisões em grupo.

Fonte: Autores (2021).

2.1 Materiais necessários

Para a execução desta prática, o professor necessitará de um projetor multimídia (Data show), para projetar o tabuleiro do jogo com as informações contidas na Figura 3. Além disso, será necessário, impressora para imprimir e tesoura para recortar as cartas do jogo (Figuras 5, 6, 7 e 8). O dado, deverá ser confeccionado a partir da impressão, recorte e colagem do modelo disposto na Figura 4. Este será utilizado para definir o avanço no caminho das casas no tabuleiro do jogo. As cartas que compõem o jogo, após serem impressas e recortadas deverão ser utilizadas pelo professor junto aos alunos (Figuras 5, 6, 7 e 8). Nelas, estão categorizadas perguntas: básicas, intermediárias e avançadas e, as cartas situações, estas, para algum tipo de movimentação especial no jogo (positiva ou negativa).

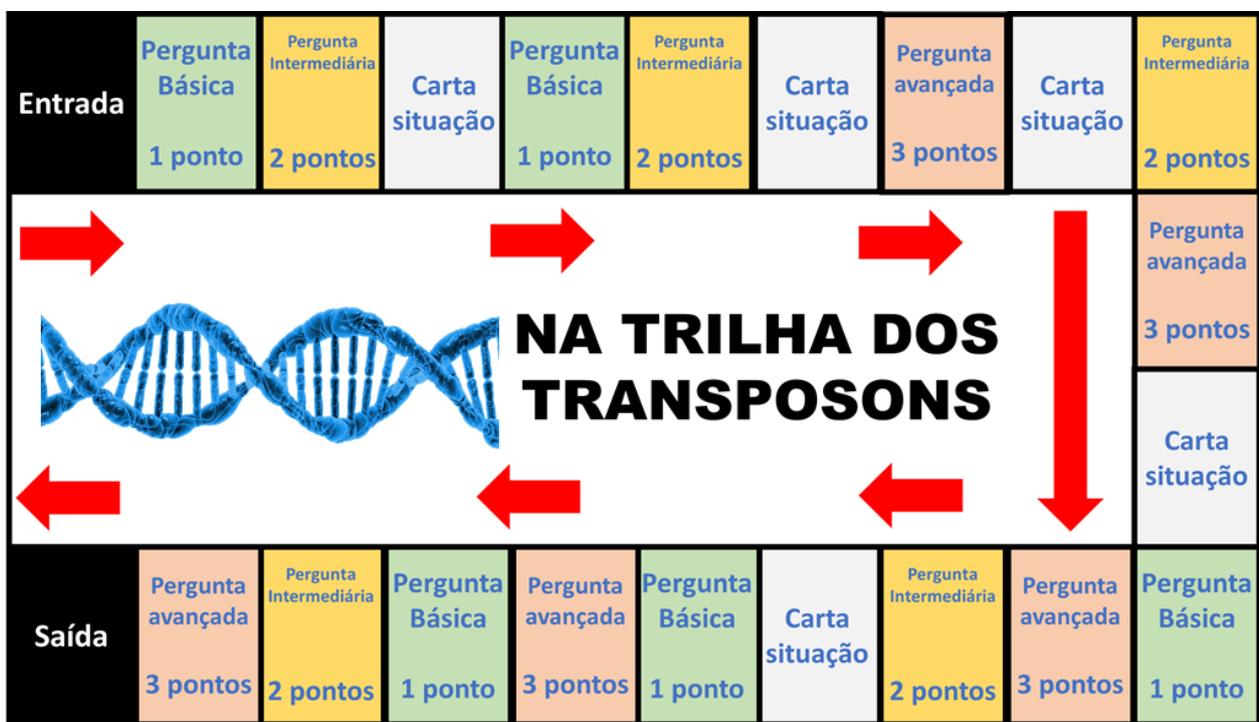
2.2 Regras e jogabilidade

Antes do jogo iniciar, o professor deve dividir a turma em grupos de alunos de 5 integrantes no máximo e projetar a Figura 3 utilizando um Data Show, recortar e montar o dado (Figura 4), imprimir e recortar as cartas (Figuras 6, 7 e 8). A ordem de jogada dos grupos deve ser escolhida através de sorteio. O primeiro grupo lança o dado, fazendo sua movimentação no tabuleiro. O objetivo do jogo é marcar o maior número de pontos, para isso, os alunos devem responder corretamente o maior número de perguntas. As perguntas foram elaboradas em uma ótica por níveis de dificuldade, ou seja, uma carta de

pergunta básica, avalia se o aluno compreendeu assuntos gerais da matéria, com pontuação de 1 ponto. As cartas intermediárias, possuem um nível mais específico, que ao acertá-la, o grupo ganha 2 pontos. Já as perguntas avançadas, desafiam os alunos, com um aprofundamento maior do assunto sendo mais complexas, o que demanda maior raciocínio e aplicação do conteúdo abordado, com valor de 3 pontos.

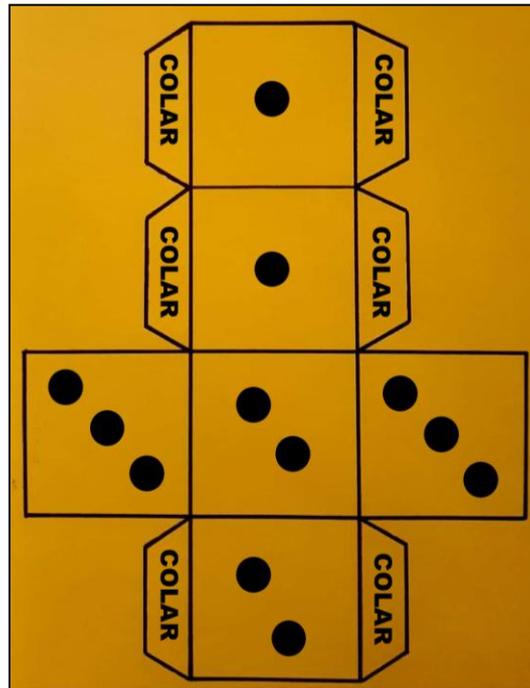
As perguntas possuem um tempo para serem respondidas pelos alunos, sendo ele: 1 minuto para perguntas básicas, 2 minutos para perguntas intermediárias e até 3 minutos para perguntas avançadas. Se a equipe não responder no tempo estipulado de cada carta, ela perde a jogada, passando a vez para a próxima equipe. Vence a equipe que somar o maior número de pontos, respondendo todas as perguntas corretamente e chegando no final do tabuleiro (trilha).

Figura 3. Tabuleiro do jogo “Na trilha dos Transposons”. Projetar a imagem via Data Show, ou se preferir, fica a cargo do professor imprimir e recortar em um tabuleiro físico em tamanho ampliado para a realização da atividade lúdica.



Fonte: Autores (2021) e Figura do ácido desoxirribonucleico (DNA) por Wikimedia Commons (2022) - Kadumago (2020), CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>>.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/%C3%81cido_desoxirribonucleico_%28DNA%29.png

Figura 4. Dado para a condução do jogo (Imprimir, recortar e montar o dado colando-se as suas extremidades).



Fonte: Autores (2021).

Figura 5. Cartas de nível básico. (Imprimir e recortar).

<p>1) Quais são os principais tipos de elementos de transposição encontrados em bactérias?</p> <p>Elementos IS (Sequências de Inserção), os elementos Tn3 e os Transposons compostos.</p>	<p>2) No genoma dos seres humanos, segundo dados de Snustad e Simmons (2013), uma parcela de mais de 40% é formada por elementos de transposição (elementos móveis). De acordo com esse dado, qual da alternativa abaixo, apresenta apenas transposons encontrados nos seres humanos?</p> <p>a) transposons Tn3 e Copia. b) elementos nucleares intercalados longos (LINE) e elementos nucleares intercalados curtos (SINE) c) elemento Sigma e Gipsy. d) Elemento Ac e Ds. e) Elementos P e Elementos IS.</p>
<p>3) O que basicamente consiste em uma Sequência de inserção (IS)?</p> <p>De maneira básica, uma Sequência de inserção (IS), consiste em genes que codificam uma enzima denominada transposase, que detém em suas extremidades sequências repetidas e invertidas (Marques, 2012).</p>	<p>4) Qual o papel da enzima transposase na transposição de um elemento móvel?</p> <p>Essa enzima permite atuar na mobilidade do elemento transponível ao longo de todo o genoma.</p>
<p>5) Um transposon composto é aquele que possui:</p> <p>a) duas IS de mesmo tipo, que estão próximos a alguns genes, conferindo-se resistência a antibióticos (Marques, 2012). b) uma IS de mesmo tipo, que ficam próximas a alguns genes, sendo esses geralmente conferindo mutações. c) uma IS, com tipos diferentes que conferem apenas resistência ao antibiótico tetraciclina. d) não possui nenhuma IS e não é capaz de se movimentar no genoma. e) apenas uma IS sem capacidade móvel no genoma.</p>	

Fonte: Autores (2021).

Figura 6. Cartas de nível intermediário. (Imprimir e recortar).

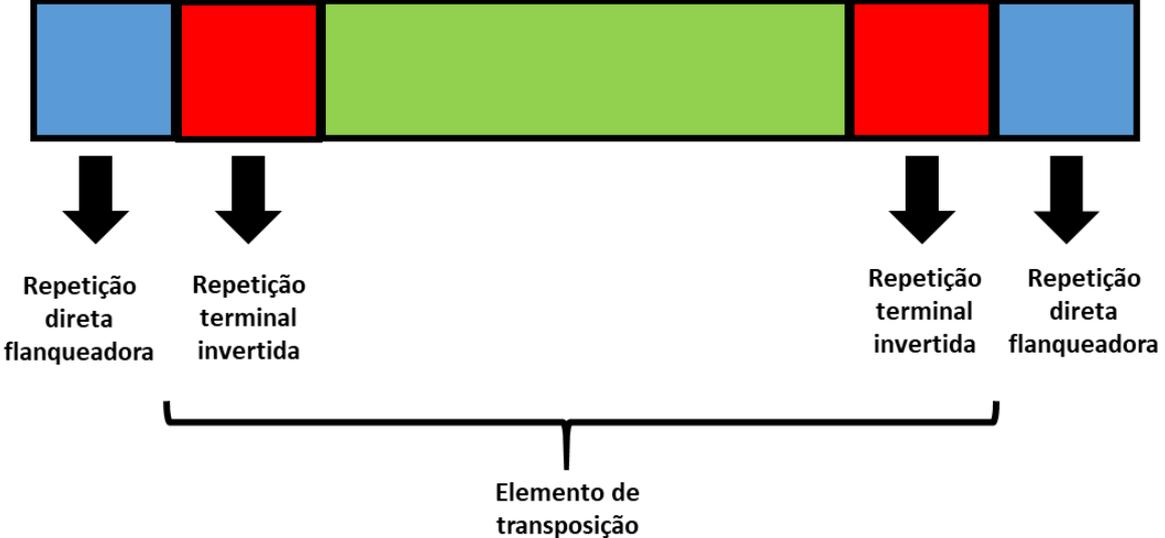
<p>1) Explique quais são as contribuições dos elementos móveis para a evolução dos genomas, tanto eucarióticos como procarióticos?</p> <p>Em eucariotos, como exemplo a moscas das frutas (<i>Drosophila melanogaster</i>), os elementos móveis podem causar mutações e rearranjos cromossômicos, nas plantas, são responsáveis pela plasticidade fenotípica. Já em procariotos, como as bactérias, os transposons proporcionam a resistência de antibióticos, o que interfere no processo de engenharia genética, devido a sua capacidade de copiar, transpor e reconduzir outros segmentos de DNA. (Snustad e Simmons, 2013)</p>	<p>2) Em transposons de DNA, o mecanismo de transposição pode ser replicativo ou não replicativo, explique cada um desses mecanismos.</p> <p>Em uma transposição replicativa, uma cópia nova do elemento de transposição é inserida em um novo local, e a cópia antiga permanece no local original, aumentando o número de cópias do elemento de transposição.</p> <p>Na transposição não replicativa, o elemento de transposição sai do local antigo e se insere em um local novo, não formando cópias.</p>
<p>3) Explique a principal diferença entre um transposon de DNA e um retrotransposon.</p> <p>A principal diferença está no mecanismo de transposição. Em um transposon de DNA, não ocorre a formação de um RNA. Já no retrotransposon, o elemento de transposição forma um RNA intermediário, que por meio da enzima transcriptase reversa volta novamente a ser transformar em uma sequência de DNA (Pierce, 2012).</p>	<p>4) Em seres humanos, e em alguns mamíferos, quais os principais tipos de elementos de transposição encontrados?</p> <p>Nos seres humanos e alguns mamíferos, existem 4 tipos de transposons, divididos em duas classes. Na primeira classe existem os retrotransposons que são os elementos nucleares intercalados longos (LINEs), os elementos nucleares intercalados curtos (SINEs) e os elementos semelhantes a retrovírus. Na segunda classe, temos os transposons de DNA.</p>
<p>5) Explique como é o funcionamento dos genes Ac e Ds na geração de padrões mosaico (variegado), incolor e púrpura no pericarpo (aleurona) do milho.</p> <p>Segundo Pierce (2004; 2013), os elementos Ac, são aqueles que possuem a enzima transposase e podem se mover no genoma. Já o elemento Ds, são elementos Ac que possui uma ou mais deleções, que inativa o gene que codifica a enzima transposase. Assim, os elementos Ds, podem se transpor somente na presença de elementos Ac.</p> <p>Um alelo que codifica a coloração dos grãos de aleurona em milho é denominado de C e o seu alelo c a ausência desse pigmento. Se o grão de milho possui genótipo cc terá coloração incolor (cor amarela ou branca). Já o que possui os alelos Cc ou CC será colorido, na cor púrpura.</p> <p>Um elemento móvel Ds que se transpõe influenciado por um elemento Ac, e se insere em um alelo C, fazendo com que este perca a sua capacidade de produzir pigmento púrpura e se torne incolor ou amarelo.</p> <p>No caso de grãos variegados (mosaico), estes ocorrem na medida que o elemento Ds é transposto (sai do alelo C), restaurando a capacidade de apresentar pigmentação. Assim, durante o desenvolvimento, o grão de milho aparecerá com faixas de coloração incolores (amarelas) na qual o elemento transponível Ds permanece no alelo C, perturbando sua capacidade gênica em expressar coloração, resultando em coloração incolor (ou amarela). A coloração púrpura ocorre, onde o elemento Ds deixaram do alelo C, restaurando sua capacidade de pigmentação e como resultado, o grão de milho se torna variegado (mosaico), possuindo tanto a cor incolor (amarela) e púrpura.</p>	

Fonte: Autores (2021).

Figura 7. Cartas de nível avançado. (Imprimir e recortar).

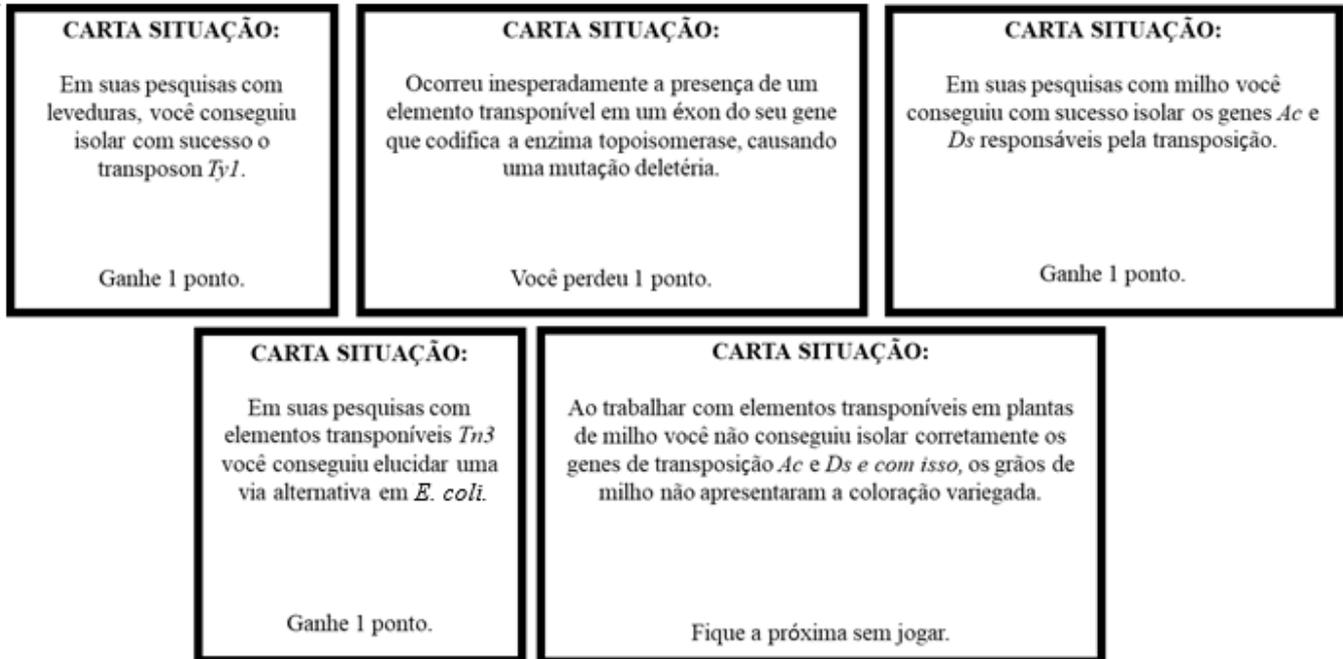
<p>1) Explique como ocorre o processo de regulação de um transposon?</p> <p>Segundo Marques (2012), os transposons podem ser regulados por meio de vários eventos, como mecanismos transcricionais, pós-transcricionais ou catalítico, Eles também podem ser controlados durante o processo de replicação, através da metilação.</p>	<p>2) Explique como os transposons possuem aplicações na área da Biologia molecular?</p> <p>Na Biologia Molecular, os transposons podem ser úteis nos estudos de filogenia para estimar a evolução das espécies, na análise dos genomas e podem ser utilizados na manipulação genética de procariontos (bibliotecas mutantes por meio de interrupção gênica, por conterem marcas de resistência a antibióticos) (Marques, 2012).</p>
<p>3) Como é denominado o evento mutacional de inserção de um transposon nas proximidades ou dentro de um gene? Sendo ele regulador, promotor ou estrutural no genoma?</p> <p>Esse fenômeno pode ser definido como uma mutagênese insercional (Medina e Cacareto, 2015).</p>	<p>4) Os elementos <i>IS1</i> e <i>Tn3</i> são elementos transponíveis formados por _____ e são encontrados em _____:</p> <p>a) RNA, leveduras. b) RNA, plantas. c) DNA, humanos. e) DNA, bactérias.</p>

5) Você foi desafiado pelo seu professor, para representar por meio de um esquema, um elemento de transposição que possui características típicas. Vá até a lousa, e represente esse elemento utilizando um esquema simplificado (nomeie suas estruturas).



Fonte: Autores (2021).

Figura 8. Cartas situação. (Imprimir e recortar).



Fonte: Autores (2021).

3. Resultados Esperados e Discussão

Como um método alternativo pedagógico de ensino, a atividade lúdica proposta no presente artigo, permite abordar e discutir com os alunos de maneira cativante o aprendizado, facilitando a assimilação e contextualização de conceitos chave, tais como: transposons de DNA, retrotransposons, transposição replicativa, transposição não replicativa, enzima transposase, transposons em bactérias, eucariotos (em plantas, leveduras e no homem), abordar os benefícios e malefícios dos elementos móveis em plantas e animais, além de destacar a importância dos elementos móveis para a evolução dos genomas, onde neste último caso, por exemplo, os elementos móveis que possuem sequências regulatórias, podem se recombinar em outros genes, promovendo a alteração da expressão gênica (Pierce, 2012). Por fim, outro ponto de destaque da atividade proposta é o trabalho em grupo, o que de acordo com Gniech Karasawa (2021) proporciona uma maior interação e cooperação entre os discentes.

Na literatura, Campos Junior et al. (2010) desenvolveram um jogo baseado em Dominós, para abordagem do assunto sobre mutações aplicado na disciplina de Genética. Segundo os autores, o material criado, permitiu facilitar a aprendizagem da temática proposta, além de simplificar a demonstração dos cromossomos bem como os diferentes tipos de mutações estruturais. Os autores ressaltaram ainda que, o uso do jogo contribui de maneira profícua entre o professor e o aluno, tanto na construção do jogo, quanto no ato do aprendizado em sala de aula.

Já, Araújo e Leite (2020), desenvolveram e aplicaram um jogo didático-digital, baseado em perguntas, intitulado “O Caminho das Ervilhas” na disciplina de Genética, aos alunos do curso de Ciências Biológicas do IFPI-Campus Floriano. O jogo teve com foco diversos assuntos da genética tais como: conceitos introdutórios sobre o processo de divisão celular, 1ª e 2ª Leis de Mendel, Probabilidade, Sistema ABO, Fator RH e interação gênica. Como principal resultado deste estudo, os autores verificaram que a prática do jogo permitiu auxiliar no processo de assimilação dos conteúdos, favorecendo dessa maneira com a prática pedagógica do professor, além de permitir a contextualização da teoria na prática.

Com base nos resultados obtidos pelos autores supracitados, esperamos que a presente proposta metodológica seja capaz de facilitar e instigar a aprendizagem dos alunos, tornando a apreensão do conhecimento uma tarefa lúdica e prazerosa.

Além de todos os benefícios citados, a prática do jogo e de gamificações, podem ser muito úteis no cotidiano universitário e escolar, pois serve como meio de promover a interação entre os alunos e o professor, desmistificando a disciplina de Genética, considerada tediosa e complexa, e, ainda, permite ao professor trabalhar o conteúdo de uma forma alternativa e inovadora (Gonçalves & Gniech Karasawa, 2021a). E por ser uma atividade realizada em grupo, o jogo proposto permite promover a interação e a tomada de decisões dos alunos, tarefa essa de grande importância nos dias de hoje.

4. Considerações Finais

O material didático apresentado representa uma atividade que servirá como uma metodologia de ensino promotora do conhecimento, tirando a monotonia das aulas promovendo a vontade de aprender dos alunos, além de permitir a aprendizagem de temas complexos.

Como sugestões de trabalhos futuros, no intuito de facilitar a aprendizagem dos discentes, o professor poderá propor outras atividades de ensino aplicadas em diversos tópicos em Genética, como por exemplo, a proposta de modelagem tridimensional, utilizando materiais simples e de baixo custo na criação e uso de modelos didáticos, como é o exemplo da montagem da molécula de DNA tridimensional, conforme proposta por Gniech Karasawa (2021), jogo em formato de um Bingo que contemple o código genético (Gonçalves & Gniech Karasawa, 2021a), e jogos em tabuleiro sobre o tema de mutações (Gonçalves & Gniech Karasawa, 2021b).

Agradecimentos

À Pró reitoria de extensão (PROEXT), à Universidade Federal de Alfenas (Unifal - MG) pelo apoio ao projeto de extensão “Popularizando a Genética”, coordenado pela Prof^a Dr^a Marines Marli Gniech Karasawa e a toda a equipe que fez parte deste projeto. Também são dignos de agradecimento, os revisores pelas sugestões e preciosas contribuições.

Referências

- Almici, M. S., Silva, H. A., De Melo, J. A. M., Karsburg, I. V., De Oliveira, A. J., De Oliveira, T. C., Alves, C. F., & Da Silva, A. P. R. (2021). 1º Lei de Mendel: o lúdico como estratégia metodológica no ensino de genética. In Da Silva, C. D. D. (Org.). *Pesquisa e desenvolvimento de abordagens para o ensino de ciências biológicas* (pp. 109-116). Campina Grande: Editora Amplla.
- Araújo, M. S., & Leite, A. S. (2020). *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 11(6), 514-529. https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Araujo-7/publication/344822068_O_caminho_das_ervilhas_recurso_didatico_no_ensino_da_genetica_mendeliana/links/5f91dae2a6fdccfd7b775420/O-caminho-das-ervilhas-recurso-didatico-no-ensino-da-genetica-mendeliana.pdf
- Belancio, V. P., Deininger, P. L., & Roy-Engel, A. M. (2009). LINE dancing in the human genome: transposable elements and disease. *Genome medicine*, 1(10), 97. <https://doi.org/10.1186/gm97>
- Borges, J. C. (2007). Uma mulher extraordinária. *Revista Ciência Hoje*. <https://cienciahoje.org.br/coluna/uma-mulher-extraordinaria/>
- Brão, A. F. S., & Pereira, A. M. T. B. (2015). Biotecnética: Possibilidades do jogo no ensino de genética. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 55-76. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen14/REEC_14_1_4_ex826.pdf
- Campos Junior, E. O., Pereira, B. B., Luiz, D. P., Moreira-Neto, J. F., Arantes, C. A., Bonetti, A. M., & Kerr, W. E. (2010). Dominó de mutações cromossômicas estruturais. *Revista Genética na Escola*, 5(2), 30-33. https://7ced070d-0e5f-43ae-9b1c-aef006b093c9.filesusr.com/ugd/b703be_404d0f9f487249cd9158d4592af7de56.pdf
- Da Silva, L. K. T. M., Lima, H. H., França, H. A. B., & ARAÚJO, S. P. (2019). Aventura Mutante: uma proposta educacional para o ensino de genética. *Revista Vivências em Ensino de Ciências*, 3(1), 123-135. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/vivencias/article/view/243825/34102>
- Da Silva, S. F., & Colombo, A. V. (2019). Jogos: Uma Proposta Pedagógica no ensino da Microbiologia para o Ensino Superior. *Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia*, 13(45), 110-123. <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/1801>
- Gniech Karasawa, M. M. Criação e uso de modelo didático da molécula de DNA com materiais de baixo custo. *Research, Society and Development*, 10(8), 1-11. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17383>
- Gonçalves, T. M. (2021). A guerra imunológica das células contra os patógenos: a proposta de um modelo didático tridimensional de baixo custo para simulação da resposta imune celular mediada por linfócitos TCD8+. *Brazilian Journal of Development*, 7(1), 4854-4860. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-329>

Gonçalves, T. M. & Gniech Karasawa, M. M. (2021a). Bingo do código genético: um jogo lúdico de baixo custo para facilitar a aprendizagem do tema na disciplina de Genética. *Research, Society and Development*, 10(9), 1-11. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17575>

Gonçalves, T. M. & Gniech Karasawa, M. M. (2021b). “MUTA-AÇÃO: A proposta de um jogo lúdico sobre mutações e síndromes genéticas nas disciplinas de biologia molecular e genética clássica. *Revista Arquivos do Mudi*, 25(1), 44-65. <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/56371>

Griffiths, A.J.S., Wessler, S.R., Carol, S.B., & Doebley, J. (2016). *Introdução a genética*. 11ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Ibarra-Laclette, E., Lyons, E., Hernández-Guzmán, G., Pérez-Torres, C. A., Carretero-Paulet, L., Chang, T. H., Lan, T., Welch, A. J., Juárez, M. J., Simpson, J., Fernández-Cortés, A., Arteaga-Vázquez, M., Góngora-Castillo, E., Acevedo-Hernández, G., Schuster, S. C., Himmelbauer, H., Minoche, A. E., Xu, S., Lynch, M., Oropeza-Aburto, A., ... Herrera-Estrella, L. (2013). Architecture and evolution of a minute plant genome. *Nature*, 498(7452), 94–98. <https://doi.org/10.1038/nature12132>

Klug, W. S., Cummings, M. R., Spencer, C. A., & Palladino, M. A. (2010). *Conceitos de Genética*. (9a ed.). Artmed.

Marques, M. V. (2012). *Biologia Molecular e Genética Bacteriana*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética.

Medina, R. D. F., & Cacareto, C. M. A. (2015). Instabilidades Genéticas e Doenças Humanas. In Cacareto, C. M. A., Monteiro-Vitorello, C. B., & Van Sluys, M. A. (Org.). *Elementos de Transposição: Diversidade, evolução, aplicações e impacto nos genomas dos seres vivos* (pp. 141-168). Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ.

Micklos, D. A., Freyer, G. A., & Crotty, D. A. (2005). *A Ciência do DNA*. (2a ed.). Artmed.

Pierce, B. A. (2004). *Genética: Um Enfoque Conceitual*. Guanabara Koogan.

Pierce, B. A. (2012). *Genética essencial: conceitos e conexões*. Guanabara Koogan.

Pierce, B. A. (2013). *Genética: Um Enfoque Conceitual*. (3a ed.), Guanabara Koogan.

Snustad, D. P., & Simmons, M. J. (2013). *Fundamentos de Genética*. (6a ed.), Guanabara Koogan.

Teles, V. S., & De Souza, J. S., (2020). O lúdico no ensino de genética: proposição e aplicação de jogo didático como estratégia para o ensino da 1ª lei de Mendel. *Revista Insignare Scientia*, 3(2), 311-333, <https://periodicos.ufrs.edu.br/index.php/RIS/article/view/11397/7486>

Trivelato, S. F., & Silva, R. L. F. (2011). *Ensino de Ciências*, Cengage Learning.

Varani, A. M., Carvalho, L. C. B., Zerillo, M. M., Monteiro-Vitorello, C. B. (2015). Elementos de Transposição: Classificação e Mecanismos de Mobilização. In Cacareto, C. M. A., Monteiro-Vitorello, C. B., & Van Sluys, M. A. (Org.). *Elementos de Transposição: Diversidade, evolução, aplicações e impacto nos genomas dos seres vivos* (pp. 11-42). Editora FIOCRUZ.

Vasconcelos, J. F., Bobrowski, V. L., Carlan, F. A., Lemke, C. S., & Lopes, L. S. (2020). Genética: Sabe, Passa ou Repassa? Jogo didático sobre a herança da cor da pele. *Revista Insignare Scientia*, 3(5), 413-423.

Watson, J. D., Myers, R. M., Caudy, A. A., & Wikowski, J. A. (2009). *DNA Recombinante: Genes e Genomas*. (3a ed.), Artmed.

Wikimedia Commons (2021a). *Barbara McClintock for Women's History*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e9/Barbara_McClintock_for_Women%27s_History_Month.jpg

Wikimedia Commons (2021b). *Transposons*. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Transposons.jpg>

Wikimedia Commons (2022). *Ácido Desoxirribonucleico (DNA)*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/%C3%81cido_desoxirribonucleico_%28DNA%29.png