

## **Fluxo da informação gênica: recurso didático para o ensino de genética com foco na inclusão de estudantes com deficiência visual e auditiva**

*Larissa Aparecida Santos SILVA<sup>1</sup>  
Anna Cláudia Guimarães FREIRE<sup>2</sup>  
Fernanda de Oliveira BUSTAMANTE<sup>3</sup>*

### **Resumo**

Dentre os temas de biologia, o fluxo da informação gênica é considerado um assunto abstrato por envolver processos bastante complexos. Além disso, há poucas estratégias de ensino destinadas a estudantes com deficiência visual, auditiva e surdos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver um modelo didático tridimensional sobre o fluxo da informação gênica, bem como promover a inclusão de alunos com deficiência visual, auditiva e surdos. Além disso, foram desenvolvidos vídeos autoexplicativos com legenda em português. Para a confecção e montagem dos recursos didáticos foram utilizados materiais de baixo custo. Com a utilização do material didático o estudante poderá aprender sobre os três processos do fluxo da informação gênica: replicação, transcrição e a tradução. Para os estudantes com deficiência visual, os educadores poderão auxiliá-los a apalpar e manusear o recurso didático, facilitando a compreensão do ensino e aprendizagem da informação gênica de forma inclusiva.

**Palavras-chave:** Biologia. Surdos. Vídeos.

---

<sup>1</sup> Bióloga pela Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Divinópolis. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6580-1093>

E-mail: [ls9947499@gmail.com](mailto:ls9947499@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutora em Bioquímica e Imunologia. Gestora do Núcleo Ninho - Atendimento em saúde e educação infantil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0641-6694>

E-mail: [annaclaudia.bio@gmail.com](mailto:annaclaudia.bio@gmail.com)

<sup>3</sup> Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas. Professora do Ensino Superior da Universidade do Estado de Minas Gerais unidade Divinópolis. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2826-5217>

E-mail: [fernanda.bustamante@uemg.br](mailto:fernanda.bustamante@uemg.br)

## **Gene information flow: didactic resource for the teaching of genetics with a focus on the inclusion of students with visual and hearing impairment**

*Larissa Aparecida Santos SILVA  
Anna Cláudia Guimarães FREIRE  
Fernanda de oliveira BUSTAMANTE*

### **Abstract**

Among the themes of biology, the flow of gene information is considered an abstract subject because it involves very complex processes. In addition, there are few teaching strategies aimed at visually impaired, hearing impaired and deaf students. Thus, the objective of this work was to develop a three-dimensional didactic model on the flow of gene information, as well as to promote the inclusion of visually impaired, hearing impaired and deaf students. In addition, self-explanatory videos with Portuguese subtitles were developed. Low-cost materials were used for the preparation and assembly of didactic resources. With the use of the didactic material the student will be able to learn about the three processes of the flow of gene information: replication, transcription, and translation. For students with visual impairment, educators can help them feel and handle the didactic resource, facilitating the understanding of the teaching and learning of gene information.

**Keywords:** Biology. Deaf. Videos.

## **Flujo de información genética: recurso didáctico para la enseñanza de la genética con enfoque en la inclusión de estudiantes con deficiencia visual y auditiva**

*Larissa Aparecida Santos SILVA  
Anna Cláudia Guimarães FREIRE  
Fernanda de oliveira BUSTAMANTE*

### **Resumen**

Entre los temas de biología, el flujo de información genética se considera un tema abstracto porque involucra procesos muy complejos. Además, hay pocas estrategias de enseñanza dirigidas a estudiantes con discapacidad visual, auditiva y sordos. Así, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar un modelo didáctico tridimensional sobre el flujo de la información genética, así como promover la inclusión de estudiantes con discapacidad visual, auditiva y sordos. Además, se desarrollaron videos autoexplicativos con subtítulos en portugués. Para la confección y montaje de los recursos didácticos se utilizaron materiales de bajo coste. Con el uso del material didáctico el estudiante podrá aprender sobre los tres procesos del flujo de la información genética: replicación, transcripción y traducción. Para los estudiantes con discapacidad visual, los educadores podrán ayudar a palpar y manejar el recurso didáctico, facilitando la comprensión de la enseñanza y el aprendizaje de la información genética de forma inclusiva.

**Palabras clave:** Biología. Sordos. Los Vídeos.

## Introdução

Dentre os conteúdos ministrados na área de ciências, o ensino de biologia molecular e genética costuma gerar muitas dificuldades para os estudantes, uma vez que são áreas relativamente abstratas e complexas (SILVA; ANTUNES, 2017). De acordo com Campos et al. (2003) o ensino destes conteúdos costuma ocorrer de forma teórica e tradicional, dificultando a compreensão pelos estudantes. Além disso, acrescenta-se o excessivo conteúdo ministrado por meio de aulas expositivas dialogadas durante o ensino-aprendizado, que não contempla as diferentes habilidades e inteligências, podendo dificultar a aprendizagem (FILHO; ALLE; LEME, 2018), uma vez que os alunos podem perder o interesse por considerar o conteúdo muito complexo e monótono.

O desenvolvimento da genética enquanto ciência aconteceu em meados do século XIX por meio dos estudos de Mendel que foram ratificados independentemente por Hugo De Vries, Carl Correns e Erich Tschermak-Seyssenegg. Já a biologia molecular ganhou notoriedade a partir da publicação sobre a estrutura do DNA feita por Watson e Crick na revista *Nature* em 1953 (GRIFFITHS et al, 2016), ampliando sua atuação no meio científico (FRANCISCO, 2005). Dentre os diversos temas estudados em genética e biologia molecular, destaca-se o fluxo da informação gênica, o qual apresenta um certo grau de complexidade e abstração em seu processo de ensino e aprendizagem (AQUINO; SANTOS, 2018).

O fluxo da informação gênica é dividido em duplicação, transcrição e tradução (GRIFFITHS et al, 2016), e é um processo fundamental para os seres vivos (DORNELLES, 2020), pois o DNA é o responsável por armazenar e transmitir as informações genéticas dos seres vivos. A partir do DNA são sintetizados os diferentes tipos de RNA que atuam na síntese de proteínas (ALBERTS et al, 2017) e no silenciamento gênico (ZOTTI et al, 2018). Essas últimas são essenciais para o crescimento celular, manutenção das células e atuam de diferentes formas (WATSON et al, 2015). O conteúdo sobre o fluxo da informação gênica é considerado um tema complexo, pois envolve a participação de diversas moléculas simultaneamente (FREITAS et al, 2020). Assim, seu ensino requer muita agilidade dos professores para despertar a atenção dos alunos, especialmente estudantes com deficiência visual, auditiva e surdos, os quais podem ter dificuldade ainda maior para compreender temas abstratos.

Segundo dados do Censo Escolar de 2019, divulgado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), o número de estudantes com deficiência teve

um aumento de 34,4% em relação ao ano de 2015, totalizando 1,3 milhão de alunos regularmente matriculados com algum tipo de deficiência. Apesar de uma parcela significativa da população em idade escolar possuir algum tipo de deficiência, as estratégias envolvendo o ensino especial são mínimas ou inexistentes. Segundo as Diretrizes Nacionais para Educação, os sistemas de ensino devem matricular todos os alunos, cabendo às escolas organizarem-se para o atendimento aos educandos com necessidades especiais (BRASIL, 2001). “A inclusão educacional é um direito do aluno e requer mudanças na concepção e nas práticas de gestão, sala de aula e de formação de professores, para que se efetive o direito de todos à escolarização” (PAPA et al., 2015, p. 1). Dessa forma, a inclusão escolar visa que os alunos com deficiência partilhem do mesmo espaço social educacional que os demais alunos (SILVA et al, 2017). Ainda, segundo Carneiro (2007), a educação especial precisa assegurar que todos os estudantes com deficiência tenham acesso à escola, removendo os obstáculos que impedem que esses alunos assimilem os conhecimentos.

Assim, os professores podem realizar adaptações ao meio no qual o aluno está inserido, reavaliando seus métodos e estratégias de ensino de modo a desenvolver as habilidades individuais de cada estudante, contribuindo positivamente para a vida escolar deles. O professor é o estimulador da sala de aula e assume, parcialmente, a responsabilidade de buscar os mecanismos, estratégias e condições alternativas para um ambiente de ensino e aprendizagem adequado e inclusivo. Além disso, os educadores devem desenvolver métodos para despertar a atenção e interesse dos alunos (NOBRE; SILVA, 2014). Segundo Rocha et al (2017), os alunos são os sujeitos de seus processos de aprendizagem, sendo os professores os mediadores na interação dos estudantes com os objetos de conhecimento.

Uma das formas de reduzir as dificuldades de ensino e aprendizagem dos estudantes, inclusive estudantes com alguma deficiência, é por meio da utilização de recursos didáticos (SOUZA, 2007). Ainda, de acordo com Souza (2007, p.111) “Recurso didático é todo material utilizado como auxílio no ensino aprendizagem do conteúdo proposto para ser aplicado, pelo professor, a seus alunos”, sendo que os recursos didáticos podem ser produzidos com materiais de baixo custo (CERQUEIRA; FERREIRA, 2017), como por exemplo massa de modelar, resíduos recicláveis e gesso (CECCANTINI, 2006). A aplicação de recursos didáticos no processo de ensino e aprendizagem é importante para que o aluno consiga compreender o conteúdo trabalhado, desenvolva sua criatividade, coordenação motora e habilidade de

manusear objetos diversos utilizados pelo professor (SOUZA, 2007). Além disso, os recursos didáticos podem ser adaptados pelo educador de acordo com a necessidade do estudante, possibilitando a integração do aluno com os temas desenvolvidos nas aulas (NASCIMENTO; CAMPOS, 2018). Segundo Krasilchik (2008), o uso de recursos didáticos nas aulas pode suprir algumas lacunas que o método tradicional proporciona. Portanto, os modelos didáticos podem proporcionar aos estudantes um aprendizado mais dinâmico e assim alcançar uma melhor aprendizagem. Adicionalmente, o recurso didático pode proporcionar uma reestruturação das práticas e assim fugir do tradicionalismo, que pode possuir um papel negativo na aprendizagem dos estudantes (PAVAN et al, 1998)

Dessa forma, com o intuito de facilitar a compreensão dos mecanismos envolvidos no fluxo da informação gênica, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de recursos didáticos para facilitar e promover o ensino e aprendizagem do referido tema no ensino de genética, de forma a incluir estudantes com deficiência visual, auditiva e surdos. Foram desenvolvidos um material didático tridimensional e quatro vídeos autoexplicativos sobre o tema. Os vídeos produzidos foram publicados no aplicativo YouTube, visando facilitar a confecção do modelo didático e entendimento dos processos do fluxo da informação gênica pelos estudantes e educadores. Todos os vídeos possuem legendas em português com o intuito de facilitar o entendimento por estudantes com deficiência auditiva.

## **Metodologia**

### **Confecção dos materiais**

Para a confecção e montagem dos recursos didáticos foram utilizados materiais de baixo custo e fácil obtenção, como massa biscuit, tinta guache, pincel, cola quente, ímã, lascas de metal, pequenas esferas de pérola artificial, pedra no formato de navete, usada em bordados de utensílios, palitos de picolé e arame fino. Os materiais foram escolhidos visando facilitar a sua reprodução.

O modelo didático desenvolvido neste trabalho apresenta estrutura tridimensional, para que os processos de replicação, transcrição e tradução estudados possam ser mais bem compreendidos pelos estudantes, incluindo estudantes com deficiência visual, auditiva e surdos, uma vez que propicia o contato com as peças. Segundo Landinho (2019), o uso de recursos

táteis proporciona, principalmente para alunos com deficiência visual, a compreensão de novos conhecimentos. Além disso, todas as peças possuem legendas, facilitando a identificação.

### **Núcleo celular**

O núcleo celular é responsável por várias funções celulares, como o controle de atividades celulares e o armazenamento das informações genéticas. Além disso essa estrutura é encontrada em todas as células eucarióticas e está ausente nas células procarióticas (GRIFFITHS et al, 2016) e foi representada por um pedaço de papelão cortado no formato arredondado na dimensão de 20 cm de diâmetro e pintado com tinta guache na cor azul. A peça foi exposta a um ambiente ventilado por uma hora para secagem (Figura 1).

### **Citoplasma**

O citoplasma é o espaço intracelular onde se encontra o núcleo celular e algumas organelas, desenvolvendo também várias funções como o armazenamento de substâncias químicas que são fundamentais para a manutenção da vida. Essa estrutura é encontrada nas células eucarióticas e nas células procarióticas e corresponde a região interna da célula (GRIFFITHS et al, 2016). O citoplasma foi representado por um pedaço de isopor arredondado cortado ao meio e pintado na cor verde com dimensão aproximada de 70 cm de diâmetro. A peça foi exposta a um ambiente ventilado por trinta minutos para secagem da tinta (Figura 2).

### **Bases nitrogenadas e nucleotídeos**

As bases nitrogenadas são compostos químicos e são representadas por adenina, guanina, citosina, timina e uracila (ALBERTS et al, 2017). Cada uma das bases nitrogenadas foi construída em biscuit, com formato e cor específicos (Quadro 1). A base nitrogenada adenina foi inicialmente modelada no formato de um retângulo que, posteriormente, com o auxílio de uma espátula, foi recortado da sua base um triângulo, resultando no seu formato específico e pintada na cor rosa claro. Para que a cor da adenina fosse rosa claro, foi misturado tinta guache rosa e branco. Para representar a timina e uracila, foram moldados dois triângulos isósceles pintados com tinta guache amarela e azul, respectivamente. Para diferenciar ainda mais as bases timina e uracila, a peça representando a uracila passou pelo processo de texturização, através da adição de areia à tinta guache. Tal diferenciação pode ser notada através do tato.

Para representar as bases citosina e guanina foram elaborados, dois triângulos escalenos pintados com tinta guache verde claro e roxa, respectivamente. Para diferenciar ainda mais as bases guanina e citosina, foi adicionada cola quente na peça representando a guanina, modificando sua textura, a qual pode ser percebida através do tato. Todas as peças elaboradas (Quadro 1) foram expostas a um ambiente ventilado por, aproximadamente, dois dias para a secagem. As legendas das peças uracila e guanina foram representadas na cor branca, devido a cor escura das tintas azul e roxa.

Os nucleotídeos são compostos por uma das bases nitrogenadas citadas anteriormente, um açúcar pentose e um agrupamento fosfato. Os nucleotídeos do DNA possuem uma base nitrogenada, que pode ser adenina, timina, guanina ou citosina, o açúcar desoxirribose e o fosfato (Figura 3A). Já os nucleotídeos do RNA possuem uma das bases nitrogenadas adenina, guanina, citosina ou uracila, o açúcar ribose e um fosfato (Figura 3B) (ALBERTS et al, 2017). O fosfato foi confeccionado em forma de esfera e na cor branca do próprio biscoito. Os açúcares desoxirribose e ribose foram confeccionados no formato de pentágono e pintados com tinta guache preta e verde claro, respectivamente. Para diferenciar ainda mais o açúcar desoxirribose da ribose, a peça representando a ribose passou pelo processo de texturização, através da adição de areia na tinta guache verde claro. Essa diferenciação é perceptível pelo tato. As bases nitrogenadas seguiram as mesmas cores e formatos demonstrados na Tabela 1. Os três tipos de peças: fosfato, açúcar e base nitrogenada foram unidos por palitos de dente, resultando no formato final do nucleotídeo (Figura 3). Após a modelagem de todos os nucleotídeos, os mesmos foram expostos a um ambiente ventilado por aproximadamente dois dias, para secagem.

## **Fitas do DNA**

O ácido desoxirribonucleico, DNA, é um composto orgânico presente no núcleo das células eucarióticas, composto por duas fitas antiparalelas e complementares e sua função é carregar a informação genética dos organismos (GRIFFITHS et al, 2016). As fitas do DNA foram confeccionadas usando massa biscoito e pintadas com tinta guache na cor rosa claro. Para a construção das fitas, primeiro foram desenvolvidas duas tiras no comprimento de 12cm. Em seguida, suas pontas foram coladas, e a estrutura foi rotacionada, criando o formato de uma hélice (Figura 4A).



Para que ocorra a duplicação do material genético, são formadas forquilhas de replicação ao longo de todo o DNA (GRIFFITHS et al, 2016). Assim, para a confecção da forquilha de replicação, as pontas das duas fitas foram coladas somente nas extremidades, deixando uma abertura no centro da molécula para que as bases nitrogenadas sejam coladas com cola quente (Figura 4B). Para representar o produto final do processo de duplicação foram desenvolvidas duas fitas de DNA, representando a fita nova na cor azul e a fita antiga na cor rosa claro. Suas pontas foram coladas, criando o formato de uma hélice (Figura 4C). As fitas de DNA foram expostas a um ambiente ventilado por dois dias para secagem.

### **DNA polimerase, helicase e primase**

Para que ocorra a duplicação do DNA diferentes enzimas atuam. A enzima helicase promove o rompimento das pontes de hidrogênio que mantêm as bases nitrogenadas da dupla fita do DNA unidas. Assim, ocorre a abertura e desenrolamento da dupla fita de DNA. Já a enzima primase, possui a função de sintetizar os primers, uma pequena sequência de RNA que contém poucas bases nitrogenadas. Essa sequência antecede o início da síntese do DNA pela DNA polimerase. Essa última é responsável por adicionar os nucleotídeos a nova fita de DNA no sentido 5' para 3' (ALBERTS et al, 2017). As enzimas DNA polimerase, helicase e primase foram confeccionados com massa de biscoito. A DNA polimerase foi representada em formato circular com uma pequena abertura em sua lateral e pintada com tinta guache azul. A helicase foi elaborada em formato arredondado e pintada com tinta guache preta e a primase foi representada no formato retangular na cor da massa de biscoito (Figura 5). As três peças foram expostas a secagem por aproximadamente um dia.

### **Íntrons e éxons**

Os diferentes tipos de RNA são transcritos a partir de regiões específicas do DNA. Em procariotos o RNA corresponde exatamente ao trecho do DNA transcrito. Já em eucariotos existem etapas até a maturação completa do RNA. Observa-se inicialmente duas regiões durante a transcrição, uma codificadora, denominada de éxons e outra não codificadora, denominada de íntrons. Os íntrons são removidos e os éxons são reunidos, processo denominado *splicing* ou remodelamento (ALBERTS et al, 2017). Assim, foram desenvolvidas sete peças em formato retangular, sendo quatro pintadas na cor azul, representando os éxons, e

três pintadas na cor vermelha, representando os íntrons. Os éxons também foram submetidos ao processo de texturização através da adição de areia à tinta guache para propiciar a diferenciação por meio do tato (Figura 6A). Para que as peças permaneçam unidas, foram coladas pequenas peças de alumínio e ímãs nas extremidades dos éxons e íntrons (Figura 6B). Nas extremidades da peça foram inseridas pequenas alças feitas de arame para união de outras estruturas (Figura 6C).

### **Capacete (cap) e cauda poli-A**

Na etapa final de maturação do RNA são observados o capacete (do inglês cap) e a cauda poli-A, que possuem a função de proteção do mRNA e maior estabilidade da molécula (ALBERTS et al, 2017). Para a confecção do capacete, foi utilizada uma pedra no formato de navete (Figura 7A) e a cauda poli-A foi representada por pequenas esferas de pérolas inseridas em um palito de dente (Figura 7B).

### **RNA mensageiro (mRNA)**

O mRNA é responsável por levar todas as informações do DNA, que está no núcleo para o citoplasma propiciando a produção de proteínas (WATSON et al, 2015). O mRNA foi representado por meio de códons (trinca de nucleotídeos) espaçados. Os códons foram representados por meio das bases nitrogenadas confeccionados com massa biscuit (Tabela 1) e colados com cola quente em uma peça também de biscuit, pintada com tinta guache na cor cinza para representação do mRNA (Figura 8A). Os espaçamentos entre os códons foram evidenciados para que os alunos com deficiência visual possam sentir, por meio do tato, que os nucleotídeos são lidos de três em três (Figura 8B).

### **RNA ribossômico (rRNA): subunidades**

O rRNA possui duas subunidades, uma maior e uma menor (GRIFFITHS et al, 2016), as quais foram confeccionadas com massa biscuit e pintadas com tinta guache na cor rosa claro (Figura 9). As peças foram expostas a secagem por, aproximadamente, três dias.

### **RNA ribossômico (rRNA): sítios**

Na subunidade maior do rRNA são encontrados três sítios: sítio A referente a entrada do aminoacil- tRNA; sítio P referente a ligação do peptidil- tRNA e o sítio E referente a saída (GRIFFITHS et al, 2016). Os sítios foram representados em formato oval com massa biscuit pintada com tinta guache na cor amarela. Foram utilizados tamanhos distintos para diferenciar os sítios, de forma que o sítio P é o maior, o sítio A é o intermediário e o sítio E, o menor dos sítios (Figura 10).

### **RNA transportador (tRNA)**

O tRNA tem como função transportar os aminoácidos que serão utilizados na produção das proteínas e é constituído por quatro alças distintas e o braço receptor (GRIFFITHS et al, 2016), representado por massa biscuit. Primeiro foi confeccionado uma única fita de biscuit de aproximadamente 10 cm de comprimento. Em seguida, foram moldados o braço receptor e as alças. Para representar os nucleotídeos no tRNA, foram coladas pequenas esferas de pérolas no interior dos mesmos, evidenciando a alça do anticódon, contendo as bases nitrogenadas com seus formatos específicos (Tabela 1). O tRNA possui um aminoácido, ligado a extremidade 3' (GRIFFITHS et al, 2016), o qual foi fixado ao braço receptor do tRNA por uma pequena alça de arame (Figura 11).

### **Aminoácidos**

Os aminoácidos são unidades fundamentais para a formação das proteínas, sendo que existem 20 tipos de aminoácidos (WATSON et al, 2015). Alguns aminoácidos foram representados em formatos e cores distintos (Quadro 2). A união dos aminoácidos acontecerá através de uma pequena alça de arame, formando a cadeia polipeptídica. A ligação polipeptídica resulta na união dos aminoácidos e é formada a partir da remoção de uma molécula de água e essa ligação sempre apresenta um grupo amina (NH<sub>2</sub>) e um grupo carboxílico (COOH) (GRIFFITHS et al, 2016). As peças foram moldadas com massa biscuit em formatos e cores específicos e ficaram por 24 horas expostas a um ambiente ventilado para secagem. Para facilitar a identificação dos aminoácidos resultantes das trincas de nucleotídeos, foi representado o código genético (Tabela 1) e o nome e abreviação dos aminoácidos (Tabela 2).

## **Fator de finalização**

O fim do processo de tradução ocorre quando proteínas de liberação reconhecem os sinais de parada (GRIFFITHS et al, 2016), representado pelo fator de finalização, moldado em biscoito, no formato retangular com largura de 3 cm contendo uma extremidade arredondada. A peça foi pintada com tinta guaxe roxa e deixada em ambiente ventilado por dois dias para secagem (Figura 12).

## **Vídeo autoexplicativo**

Visando facilitar a confecção das peças e o processo de ensino e aprendizagem foram produzidos quatro vídeos. O primeiro vídeo contém a explicação e demonstração de confecção de todas as peças utilizadas no recurso didático. O segundo vídeo demonstra o processo de duplicação. Já o terceiro vídeo demonstra o processo de transcrição e o quarto vídeo o processo de tradução. Os vídeos estão disponíveis no canal Genética.rekursodidático no aplicativo YouTube e podem ser acessados pelo link: <https://www.youtube.com/channel/UCAH04o2yyEZWDZkb0952HBg> ao clicar em playlists.

## **Resultados**

### **Recurso didático e o fluxo da informação gênica**

O fluxo da informação gênica é um conteúdo considerado complexo por muitos alunos por se tratar de um tema que envolve inúmeros processos, causando problemas na sua compreensão. Sendo assim, os alunos necessitam de informações e materiais extras para conseguirem compreender o conteúdo (FREITAS et al, 2020) como, por exemplo, pode-se citar os materiais didáticos.

A utilização do recurso didático desenvolvido no presente trabalho poderá ser acompanhada/auxiliada por um educador durante toda a simulação dos processos estudados. No primeiro momento, o educador deverá explicar e apresentar cada uma das peças aos estudantes. Para os estudantes com deficiência visual, o educador poderá auxiliá-los a apalpar e manusear todas as peças, realizando uma primeira identificação das mesmas, além de supervisioná-los e auxiliá-los durante toda a simulação do processo do fluxo da informação gênica. Para os estudantes com deficiência auditiva e estudantes surdos, o aluno deverá receber

o auxílio do educador e/ou de um intérprete de libras, além de poder assistir os vídeos com legendas em português.

Os processos que ocorrem durante o fluxo da informação gênica acontecem em locais definidos na célula. Enquanto a duplicação do material genético, o DNA, ocorre no núcleo em eucariotos (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2012), o processo de formação do RNA inicia-se no núcleo e termina no citoplasma. As demais etapas do fluxo da informação gênica, ou seja, a formação dos produtos finais que inclui RNAs não codificantes e proteínas, também ocorrem no citoplasma (GRIFFITHS et al, 2016). Nesse trabalho, o núcleo foi representado por uma esfera azul (Figura 1) e o citoplasma foi representado em verde (Figura 2). As peças se justapõem de forma que o núcleo fique posicionado sob o citoplasma (Figura 13).

O material genético da maioria dos organismos é o DNA, no entanto, alguns vírus, incluindo o novo coronavírus, possuem RNA como material genético (UZUNIAN, 2020). O DNA e o RNA são constituídos por nucleotídeos e desempenham diversas funções no metabolismo celular. Os nucleotídeos são constituídos por uma base nitrogenada, um açúcar, sendo ribose no RNA e desoxirribose no DNA, e um grupo fosfato (Figura 3). As bases nitrogenadas são classificadas em dois tipos: bases purinas e bases pirimidinas. As purinas são representadas por adenina e guanina, enquanto as pirimidinas são citosina, timina e uracila (Tabela 1). O DNA possui adenina, timina, citosina e guanina como bases, enquanto o RNA possui uracila no lugar de timina (ALBERTS et al, 2017).

Para demonstrar o emparelhamento específico entre as bases nitrogenadas, elas foram moldadas em formatos que facilitem o encaixe entre elas, de forma que adenina se encaixe na peça da timina ou uracila, e citosina se encaixe com guanina (Figura 14). Além disso, pode-se diferenciar timina de uracila e citosina de guanina por meio de textura presente na adição de areia na tinta da base uracila e adição de cola quente na base guanina (Tabela 1).

O DNA possui duas fitas que são antiparalelas (Figura 4A), sendo que uma fita recebe a denominação de fita codificadora, e encontra-se no sentido 5'- 3', e a outra fita recebe a denominação de fita molde e está no sentido 3'- 5'. Além disso, as fitas são ditas complementares devido à complementariedade das bases (adenina se liga a timina, e guanina se liga a citosina) (Figura 4B), que são unidas por pontes de hidrogênio.

## Duplicação

A primeira etapa do fluxo da informação gênica é a duplicação do DNA, que consiste na replicação de toda a informação gênica contida na célula (GRIFFITHS et al, 2016). Para facilitar a compreensão do processo, foi representado apenas um trecho da molécula de DNA. A etapa inicial da duplicação consiste no desenrolamento da fita de DNA realizada pela enzima helicase (Figura 5), que se liga à molécula de DNA, quebrando as pontes de hidrogênio. Assim, as bases vão se desemparelhando, resultando na forquilha de replicação (Figura 15). Ao longo de toda a molécula de DNA são formadas inúmeras forquilhas de replicação em eucariotos.

Em seguida, a primase (Figura 5) sintetiza os primers, pequenos RNAs que antecedem o início da síntese pela DNA polimerase (Figura 5), a qual atua inserindo novos nucleotídeos à fita que está sendo duplicada conforme a complementariedade das bases. A síntese da nova fita acontece na direção 5' para 3'. Considerando-se que o sentido da síntese é da esquerda para a direita, a duplicação irá ocorrer de forma descontínua na fita codificadora (da direita para a esquerda) por meio da atuação de vários primers. Já na fita molde, a síntese ocorre de forma contínua (da esquerda para direita) pela atuação de um único primer (Figura 16). Os primers são removidos e a DNA ligase une os fragmentos adjacentes de DNA (Figura 17), resultando no término do processo de duplicação por meio da formação de duas moléculas de DNA, constituídas por uma fita que pertence a molécula original representada em rosa claro e uma fita recém-sintetizada representada em azul, caracterizando o processo semiconservativo (ALBERTS et al, 2017) (Figura 18).

## Transcrição

O processo da transcrição inicia-se no núcleo, quando será produzido um filamento de RNA a partir de uma sequência específica do DNA. A principal enzima envolvida nesse processo é a RNA polimerase, a qual utiliza apenas uma das fitas do DNA, no caso a fita molde, para sintetizar a fita complementar de RNA. A RNA polimerase sintetiza a fita de RNA na direção 5' para 3', adicionando novos nucleotídeos à extremidade 3' do filamento que está sendo sintetizado. Cabe mencionar que no RNA, o pareamento entre as bases ocorre entre citosina e guanina, e adenina e uracila, não sendo observada a base timina (GRIFFITHS et al, 2016) (Figura 19).

Em eucariontes, ocorre ainda o processo de maturação do RNA, que consiste em três eventos. Inicialmente, acontece a adição do capacete na extremidade 5' (Figura 20). Em seguida, é realizado o processo denominado remodelamento (*splicing*), que é a retirada das regiões não codificantes, os íntrons, e união das regiões codificantes, os éxons. O terceiro evento consiste na adição da cauda poli-A na extremidade 3' da molécula (GRIFFITHS et al, 2016) (Figura 21). No modelo didático, a adição do capacete e da cauda poli-A é feita através de um pequeno pedaço de arame ligado ao éxon (Figura 5).

Após o processo de maturação do mRNA, este é direcionado para o citoplasma, onde irá participar do processo de tradução. Tal processo necessita da participação de três RNAs: o mRNA, o qual é responsável por levar às informações do núcleo ao citoplasma; o tRNA, o qual atua no transporte dos aminoácidos utilizados para a formação das proteínas e o rRNA, que forma os ribossomos, organelas que juntamente com o RNAm e o RNAt, permitem que a síntese ocorra de maneira adequada (WATSON et al, 2015).

## Tradução

Em eucariotos, o início da tradução ocorre por meio do complexo de iniciação, que é constituído pela subunidade menor do ribossomo e pelo tRNA iniciador que carrega o aminoácido metionina (Tabela 2). O complexo de iniciação percorre a sequência no mRNA no sentido 5'-3' até encontrar a sequência inicial AUG (Figura 22). Posteriormente, ocorre a união da subunidade maior do ribossomo e início do processo de tradução (GRIFFITHS et al, 2016). O espaço pelo qual o mRNA se acopla ao ribossomo está representado por uma abertura na subunidade menor do modelo didático (Figura 22). O códon de iniciação AUG presente no mRNA se emparelha ao anticódon UAC presente no tRNA, devido à complementariedade das bases nitrogenadas. Apenas o tRNA transportando o aminoácido metionina (Met) (Tabela 2) entrará no sítio P, os demais tRNA entrarão no sítio A (Figura 23). Cabe mencionar que a união do aminoácido ao sítio é determinada pela sequência dos nucleotídeos presentes no mRNA e a leitura ocorre a cada três nucleotídeos, ou seja, a cada códon (GRIFFITHS et al, 2016).

O códon seguinte do mRNA no modelo é UUU. Assim, o tRNA carregando o aminoácido fenilalanina (fen) (Tabela 2) e o anticódon AAA, complementar ao códon UUU, entrará no sítio A (Figura 24). Posteriormente, o tRNA presente no sítio P irá se deslocar para o sítio E, onde será liberado. O tRNA presente no sítio A irá se deslocar para o sítio P e o sítio



A ficará vazio para receber o próximo tRNA. Nesse momento ocorre a ligação peptídica entre os aminoácidos, sendo que a metionina se liga a fenilalanina no sítio P. Como o próximo códon do mRNA no modelo é GGA, o tRNA que entrará no sítio A possui o anticódon CCU e carrega o aminoácido glicina (Gli) (Tabela 2) (Figura 25).

À medida que os aminoácidos corretos vão sendo incorporados, o ribossomo vai se deslocando na fita do mRNA no sentido 5' para 3', promovendo o alongamento da proteína que está sendo formada (WATSON et al, 2015). No exemplo ilustrado no presente trabalho, esse processo se repetirá por mais duas vezes, sendo representado pela ligação de um quarto tRNA ao ribossomo, carregando o aminoácido histidina (His) (Tabela 2) e o anticódon GUA, o qual se emparelhará ao códon CAU do mRNA (Figura 26). Ocorrerá, então, a ligação de um quinto tRNA, carregando o aminoácido Arginina (Arg) (Tabela 2) e o anticódon GCA, o qual será emparelhado ao códon CGU do mRNA (Figura 27).

A finalização da leitura dos códons acontece quando no sítio A encontra-se um dos três códons de término: UAA ou UAG ou UGA (Tabela 2), para os quais não há tRNA com anticódons complementares, mas sim proteínas de liberação que os reconhecem como sinais de parada (GRIFFITHS et al, 2016). Dessa forma, no exemplo ilustrado no presente trabalho, temos o códon UAA, para o qual não há um tRNA correspondente, mas sim um fator de finalização (Figura 28). O processo de tradução é então finalizado, ocorrendo a liberação da cadeia polipeptídica do tRNA, com a formação do produto final constituído pelos seguintes aminoácidos: metionina, glicina, fenilalanina, histidina e arginina (Figura 29A), o mRNA é liberado do ribossomo (Figura 29B) e as duas subunidades ribossomais se separam (Figura 29C) (GRIFFITHS et al, 2016).

Todos os processos poderão ser assistidos através dos vídeos, que foram divididos em quatro, disponíveis no canal Genética.rekursodidático no aplicativo YouTube, disponível no link: <https://www.youtube.com/channel/UCAH04o2yyEZWDZkb0952HBg>.

## Considerações finais

Os conteúdos de biologia ministrados no ensino médio abordam tanto a natureza macroscópica quanto microscópica dos seres vivos e suas estruturas, sendo muitas vezes considerados temas de difícil assimilação pelos alunos. Ensinar genética geralmente é desafiador para o educador, pois é uma área que está em constante evolução, além de ser uma



área interdisciplinar, dificultando o aprendizado pelos educandos (CARBONI; SOARES, 2010). Assim, faz-se necessário que os professores revejam suas práticas de ensino e, assim, utilizem em suas aulas ferramentas que auxiliem na melhor compreensão dos conteúdos (OLIVEIRA e TRIVELATO, 2006).

O uso de recursos didáticos é uma das formas de auxiliar no processo aprendizagem (QUIRINO, 2011), pois através de seu uso é possível ampliar as estruturas, realizando assim, o tateamento das mesmas (STELLA; MASSABDI, 2019). Além disso, de acordo com Nicolas e Paniz (2016), os recursos didáticos são importantes para desenvolver a habilidade de manusear objetos, desenvolver a coordenação motora dos alunos, além de envolvê-los nos conteúdos, favorecendo na compreensão dos temas. Ainda, segundo Nascimento e Campos (2018), o uso de recursos didáticos é de suma importância pois proporciona a participação ativa dos alunos na construção dos seus conhecimentos. Sendo assim, os alunos poderão manusear o material didático e auxiliar na confecção das peças que compõem o material didático.

Dessa forma, o modelo didático sobre o fluxo da informação gênica desenvolvido no presente trabalho facilitará o ensino e aprendizagem do conteúdo de biologia molecular e poderá ser reproduzido por escolas ou mesmo por alunos. Todo o material utilizado é de fácil acesso e pode ser encontrado em papelarias, lojas de materiais para artesanatos e outros, além de serem de baixo custo. Além disso, o material didático foi construído usando massa biscuit o que o torna resistente e duradouro, podendo ser armazenado pelas escolas. Outra vantagem é que o modelo também pode ser construído pelos próprios estudantes do ensino médio, contribuindo para a participação ativa dos alunos durante as aulas.

O recurso didático visa promover a inclusão de alunos com deficiência visual e auditiva, pois além de oferecer um modelo tridimensional que favorece o contato tátil para estudantes com deficiência visual, oferece também cores e legendas específicas facilitando a compreensão de alunos com deficiência auditiva e alunos surdos. Para facilitar ainda mais o processo demonstrativo do fluxo da informação gênica, vídeos autoexplicativos de obtenção das estruturas utilizadas e sobre todo o processo foram gravados e podem ser acessados pelos educandos e educadores. Dessa forma, o modelo didático desenvolvido oferece aos alunos uma compreensão mais didática e descontraída sobre um tema considerado abstrato, o fluxo da informação gênica.

## Referências

ALBERTS, B. et al. **Biologia Molecular da célula**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

AQUINO, S. P; SANTOS, M. L. **O ensino de genética utilizando modelos didáticos: uma proposta metodológica na formação inicial de professores**. 2018. 132 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) - Campus Anápolis de Ciências Exatas e tecnológicas Henrique Santillo, Universidade Estadual De Goiás, Anápolis, 2018. Disponível em: <https://www.bdt.d.ueg.br/bitstream/tede/.112/2/DISSERTAÇÃO%20SILVANIA.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2022.

BRASIL. **Ministério da educação**. Secretaria de Educação Especial. Diretrizes Nacionais para a educação Especial na Educação Básica. Brasília: MEC/SEESP, 2001.

CAMPOS, L. M. L; BORTOLOTO, T. M; FELÍCIO, A. **A produção de jogos didáticos para o ensino de ciências e biologia: uma proposta para favorecer a aprendizagem**. Caderno dos núcleos de Ensino, São Paulo, p. 47-60, 2003.

CARBONI, P. B; SOARES, M. A. M. Genética molecular no ensino médio. **Portal educacional do Estado do paraná: Artigos**, 2010.

CARNEIRO, M. A. **O acesso de alunos com deficiência as escolas e classes comuns: possibilidades e limitações**. Vozes, Petrópolis, 2007.

CECCANTINI, G. O tecido vegetal tem três dimensões. **Revista Brasileira Botânica**, n. 2, p. 335-337, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbb/a/4YM3W6pgshm8MqKLrRwks3Q/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

CERQUEIRA, J. B; FERREIRA, E. M. B. Recursos didáticos na educação especial. **Instituto Benjamim Constant**, n. 15, março, 2017. Disponível em: <<http://revista.ibc.gov.br/index.php/BC/article/download/602/312>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

DORNELLES, R. A. S. Desvendando a informação genética: uma proposta de sequência didática para o ensino médio. **Repositório Institucional: UFSC**. Florianópolis, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/219291>>. Acesso em: 5 mai. 2021.

FILHO, R. S; ALLE, L. F; LEME, D. M. Diagnosticando dificuldades no processo de ensino aprendizagem de genética nas escolas e universidades. **V CONEDU**, Olinda, 2018.

FRANCISCO, G. C. B. **Ensino de genética: uma abordagem a partir dos estudos sociais de ciência e de tecnologia (ESCT)**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Regional de Blumenau, SC, 2005.

FREITAS, X. M. S; CABRAL, H. M; SILVA, C. C. O ensino do dogma central da biologia molecular: dificuldades e desafios. **EDUCA- Revista multidisciplinar em educação**. n. 17, jan/dez, 2020.

Disponível em: <<https://periodicos.unir.br/index.php/EDUCA/article/view/4142/3313>>.

Acesso em: 6 mai. 2021.

GRIFFITHS, A. J. F. et al. **Introdução à genética**. 11. ed. Guanabara: Koogan, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Censo da educação básica 2019: resumo técnico**. Brasília, DF, 2020. 94p.

JUNQUEIRA, L. C. U; CARNEIRO, J. **Biologia celular e molecular**. 7. ed. Rio de Janeiro, 2012.

KRASILCHIK, M. Prática de Ensino de Biologia. **Edusp**, São Paulo, 2008.

LANDINHO, F. M. et al. Modelos didático tridimensional para o ensino de ciências: construção de uma “folha” para ensinar botânica a pessoas com deficiência visual. **Ciência em tela**, n. 1, 2019.

MOREIRA, C. Código genético. **Revista Ciência Elem**, 2014.

NASCIMENTO, J. M. T. S; CAMPOS, F. L. A importância da utilização de recursos didático- pedagógicos no ensino de genética em escolas públicas no município de Parnaíba-PI (Brasil). **Revista espacios**, n. 25, p. 30, 2018.

NICOLA, J. A; PANIZ, C. M. A importância da utilização de diferentes recursos didáticos no ensino de biologia. **Revista Nead-Unesp**, n. 1, p. 355-381, 2016.

NOBRE, S. A. O; SILVA, R. F. Métodos e práticas do ensino de biologia para jovens especiais na escola de ensino médio Liceu de Iguatu dr. José Gondim, Iguatu/CE. **Revista de ensino de biologia da SBEnBio**, n. 7, p. 2105- 2116, 2014.

OLIVEIRA, O. B. de; TRIVELATO, S. L. F. **Prática docente: o que pensam os professores de ciências biológicas em formação?**. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE DIDÁTICA E PRÁTICA DE ENSINO. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

PAPA, F. et al. **Inclusão: uma mudança no olhar da comunidade escolar para a construção de uma escola melhor inclusiva**. CAPE: núcleo de apoio pedagógico especializado, 2015, v 1. Disponível em: <  
[http://cape.edunet.sp.gov.br/cape\\_arquivos/BoasPraticas/INCLMUDANCAOLHARCOMUNESCOLARCONSTRESCOLAMELHORINCLUSIVA.pdf](http://cape.edunet.sp.gov.br/cape_arquivos/BoasPraticas/INCLMUDANCAOLHARCOMUNESCOLARCONSTRESCOLAMELHORINCLUSIVA.pdf)>. Acesso em: 8 nov. 2022.

PAVAN, O. H. O. et al. Evoluindo genética: um jogo educativo. **Ed. Unicamp**. 1. ed. Campinas, 1998.

Fluxo da informação gênica: recurso didático para o ensino de genética com foco na inclusão de estudantes com deficiência visual e auditiva

QUIRINO, V. L. **Recursos didáticos**: fundamentos de utilização. Biblioteca digital da Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2011.

Disponível em: <<https://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2278/1/PDF%20-%20Valker%20Lopes%20Quirino.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2021.

ROCHA, N. C. et al. Jogo didático “síntese proteica” para favorecer a aprendizagem de biologia celular. **Revista experiências em ensino de ciências**, Ceará, n. 2, p. 129-137, 2017.

SILVA, G. O; ROSA, P. I; CRAPEZ, M. A. C. Desenvolvimento de material didático especializado de biologia para alunos deficientes visuais com foco no ensino médio. **Revista de ensino de biologia da SBEnBio**, n. 1, p. 6-21, 2017.

SILVA, M. R; ANTUNES, A. M. Jogos como tecnologias educacionais para o ensino de genética: a aprendizagem por meio do lúdico. **Revista eletrônica Ludus Scientiae**, Foz do Iguaçu, v. 1, p. 175-186, 2017.

SOUZA, S. E. **O uso de recursos didáticos no ensino escolar**. In: I ENCONTRO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO, IV JORNADA DE PRÁTICA DE ENSINO, XIII SEMANA DE PEDAGOGIA DA UEM: INFÂNCIA E PRÁTICAS EDUCATIVAS”, 2007. Arq Mudi. Maringá, p. 110- 114, 2007.

STELLA, L. F; MASSABNI, V. G. Ensino de ciências biológicas: materiais didáticos para alunos com necessidades educativas especiais. **Revista ciências e educação**, Bauru, n. 25, p. 353- 374, 2019.

UZUNIAN, A. Coronavírus SARV-CoV-2 e Covid-19. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/jbpm/a/Hj6QN7mmmKC4Q9SNNt7xRh/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

WATSON, J. D. et al. **Biologia molecular do gene**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

ZOTTI, M. et al. RNA interference Technology in Crop Protection against Arthropod Pests, Pathogens and Nematodes. **Pest Management Science**, v. 74, p. 1239- 1250, 2018.



Os direitos de licenciamento utilizados pela revista Educação em Foco é a licença *Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)*

Recebido em: 16/10/2022

Aprovado em: 22/08/2023