

DOI: 10.46943/XI.CONEDU.2025.GT16.041

## RECURSOS DIDÁTICOS INTERATIVOS PARA O ENSINO DA MEMBRANA PLASMÁTICA

Sílvia Regina da Silveira Neves<sup>1</sup>

### RESUMO

O modelo do mosaico fluido, proposto por Singer e Nicolson em 1972, é uma referência para compreender a estrutura e o funcionamento da membrana plasmática. Entretanto, seu ensino é um desafio devido à estrutura complexa e à dificuldade de observar seus componentes e processos. Nesse contexto, recursos didáticos podem facilitar os processos de ensino e aprendizagem. Este trabalho tem como objetivo apresentar dois recursos didáticos desenvolvidos para o ensino da membrana plasmática, para contribuir para a compreensão de sua estrutura e funcionamento. Os recursos foram produzidos baseados em imagens de livros didáticos da educação básica e superior. Foi realizado um levantamento na literatura, com foco nas contribuições de Singer, Nicolson e colaboradores, para definir critérios de avaliação dos recursos. Entre os critérios estão a representação de: fluidez da membrana, distribuição assimétrica dos seus componentes, presença de domínios especializados e interações com o citoesqueleto e a matriz extracelular. O primeiro recurso foi feito em MDF, a partir de imagens vetorizadas no CorelDraw e corte a laser. Ele permite montar a membrana e representar processos como difusão, osmose e transporte ativo. O segundo recurso foi criado com figuras reproduzidas no PowerPoint e colocadas na plataforma Genially, permitindo montar a membrana através de atividades interativas, como arrastar e soltar

1 Doutora pelo Curso de Biologia Celular da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, [silvia.neves@ufpe.br](mailto:silvia.neves@ufpe.br);

seus componentes. Os recursos abordam a disposição dos componentes e os mecanismos de transporte, mas a dinâmica molecular e as interações com estruturas adjacentes podem ser melhoradas. O modelo em MDF foi utilizado na sala de aula da educação superior, mas não foi realizado um estudo formal de validação, sendo apenas observado o retorno positivo docente e discentes. Os recursos podem tornar o conteúdo mais acessível, esclarecer conceitos complexos e despertar o interesse dos estudantes, contribuindo, assim, para uma aprendizagem mais significativa.

**Palavras-chave:** Membrana plasmática, Mosaico fluido, Recursos didáticos, Ensino de biologia, Aprendizagem ativa.

## INTRODUÇÃO

A membrana plasmática é essencial para a manutenção estrutural e funcional das células. Separa o meio intracelular do extracelular e atua de forma seletiva e reguladora, controlando a entrada e saída de substâncias, o que é fundamental para a regulação do meio intracelular. Além disso, participa da interação celular por meio de receptores e moléculas que possibilitam a adesão, o reconhecimento e a sinalização entre células, bem como a interação com a matriz extracelular. Diante dessa complexidade estrutural e funcional, torna-se importante buscar alternativas que favoreçam o processo de ensino e aprendizagem, contribuindo para que os estudantes compreendam o papel da membrana nas atividades celulares.

O Modelo do Mosaico Fluido, proposto por Singer e Nicolson (1972), constitui um marco conceitual na descrição da membrana plasmática, ao apresentá-la como uma estrutura dinâmica composta por uma bicamada lipídica fluida, na qual proteínas e outros componentes se organizam e interagem em constante movimento. Em estudos posteriores, Singer (1972, 1974, 1990, 2004) e Nicolson (1976, 2013, 2014, 2022, 2023) revisitaram o Modelo, incluindo aspectos como microdomínios lipídicos, restrições à mobilidade dos componentes da membrana e interações com o citoesqueleto e com a matriz extracelular. Esses aspectos também foram estudados por outros autores, sendo discutidos em diferentes estudos e revisões. Assim, o Modelo do Mosaico Fluido permanece como referência central para a compreensão da estrutura e do funcionamento das células, sustentado por evidências experimentais e fundamentos termodinâmicos (NICOLSON; MATTOS, 2022).

A compreensão da membrana plasmática é fundamental para a Biologia Celular e é favorecida pelo uso de recursos didáticos. A produção de modelos com materiais recicláveis ou de uso comum constitui uma estratégia pedagógica que envolve os alunos de forma ativa, facilitando a compreensão da organização celular. Paralelamente, modelos de referên-

cia, duráveis e interativos, podem ser reutilizados em diferentes turmas, oferecendo suporte visual e garantindo consistência no ensino.

Devido à relevância do Modelo do Mosaico Fluido, é fundamental que os recursos didáticos utilizados no ensino básico e superior reflitam o conhecimento científico de forma adequada. Tornar esse conteúdo acessível e compreensível representa um desafio, em razão de sua natureza complexa e microscópica, associadas à diversidade de contextos educacionais. Na educação básica, o foco está principalmente na compreensão geral da membrana e de seu papel como barreira seletiva; já no ensino superior, busca-se uma abordagem mais detalhada, que explore os aspectos moleculares e funcionais relacionados a processos fisiológicos e bioquímicos. Em ambos os níveis, o uso de modelos didáticos pode favorecer a aprendizagem ativa, permitindo ao estudante observar, manipular e relacionar estrutura e função.

Este estudo descreve o desenvolvimento e a avaliação inicial de dois recursos didáticos interativos, representativos do Modelo do Mosaico Fluido: um modelo em MDF (fibra de madeira de média densidade) produzido por corte a laser, e um recurso digital desenvolvido na plataforma Genially. Para orientar a avaliação inicial dos modelos, foi realizada uma revisão bibliográfica das publicações de Singer, Nicolson e colaboradores, com foco nas principais características estruturais e funcionais, ou seja, os elementos-chave do Modelo do Mosaico Fluido. Este estudo busca contribuir para o ensino de Biologia Celular por meio do desenvolvimento de recursos didáticos interativos.

## METODOLOGIA

O desenvolvimento dos recursos didáticos para o ensino da membrana plasmática começou com o planejamento, definindo objetivos de aprendizagem, público-alvo e tipo de recurso a ser produzido. Em seguida, foi feito o levantamento de imagens da membrana plasmática em livros da educação básica e superior. O modelo físico em MDF foi projetado

e confeccionado por corte a laser (Figura 1), enquanto o recurso digital foi elaborado na plataforma Genially (Figura 2). Durante a produção, os componentes da membrana foram organizados de forma didática, para facilitar a compreensão da sua estrutura e funcionamento.

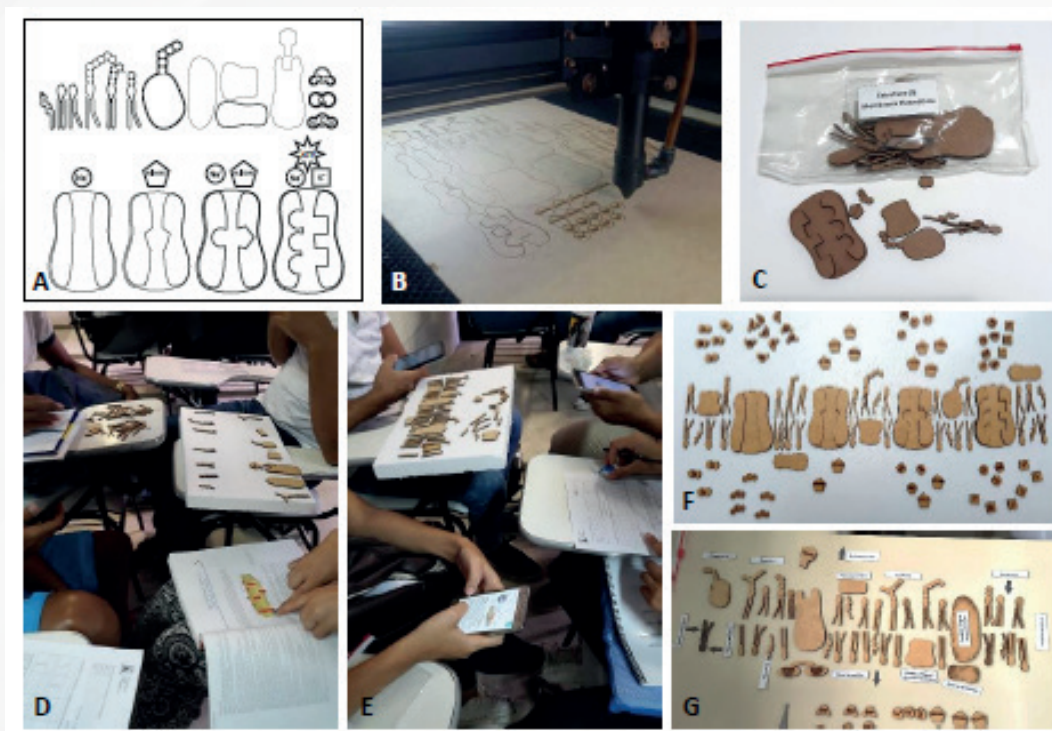
Os recursos foram utilizados inicialmente em sala de aula, com o objetivo de observar sua aplicabilidade pedagógica e a interação dos estudantes com os modelos. Essa utilização teve caráter apenas educativo, sem coleta ou análise de dados. Como os modelos foram construídos a partir de imagens encontradas em livros didáticos, posteriormente realizou-se uma revisão da literatura para comparar essas representações com o Modelo do Mosaico Fluido, proposto por Singer e Nicolson (1972). Essa revisão permitiu definir características estruturais e funcionais para uma avaliação preliminar dos recursos e indicar possíveis ajustes antes de uma validação formal.

## RECURSO DIDÁTICO EM MDF

Este recurso didático foi desenvolvido inicialmente como imagem vetorial no CorelDRAW e, posteriormente, produzido em chapas de MDF de 3 mm (*medium density fiberboard*) por meio de corte a laser. O modelo resultante constituiu um kit representativo da membrana plasmática (Figura 1), baseado em ilustrações e descrições encontradas em bibliografias utilizadas no ensino de Biologia Celular (AMABIS; MARTHO, 2006; ALBERTS *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023).

Cada kit contém os principais componentes estruturais da membrana plasmática, incluindo fosfolipídios, colesterol, proteínas integrais e periféricas, glicolipídios e glicoproteínas, além de elementos que permitem demonstrar processos de transporte através da membrana, como proteínas transportadoras e moléculas de sódio, potássio, oxigênio, dióxido de carbono, glicose e água (Figura 1).

**Figura 1.** Produção e aplicação do modelo da membrana plasmática em MDF: A. Imagem vetorial dos componentes da membrana plasmática; B. Corte a laser; C. Kit didático; D e E. Aplicação do modelo em sala de aula; F e G. Modelos montados por equipes.



**Fonte:** elaboração da autora, 2025.

Para o uso em sala de aula, cada equipe recebeu um kit com orientações impressas. Os alunos foram orientados a identificar os componentes da membrana e montar sua estrutura de acordo com o Modelo do Mosaico Fluido. Também deveriam relacionar cada componente à sua posição e função, representar diferentes tipos de transporte através da membrana plasmática e associá-los aos gradientes, aos meios intra e extracelular e ao sentido do deslocamento da substância. A atividade foi realizada em três aulas seguidas de 50 minutos. Nas duas primeiras, os estudantes montaram a estrutura básica da membrana; na última, remontaram o modelo e representaram os transportes de água, oxigênio e dióxido de carbono. Durante a atividade, os estudantes receberam orientações, tiraram dúvi-

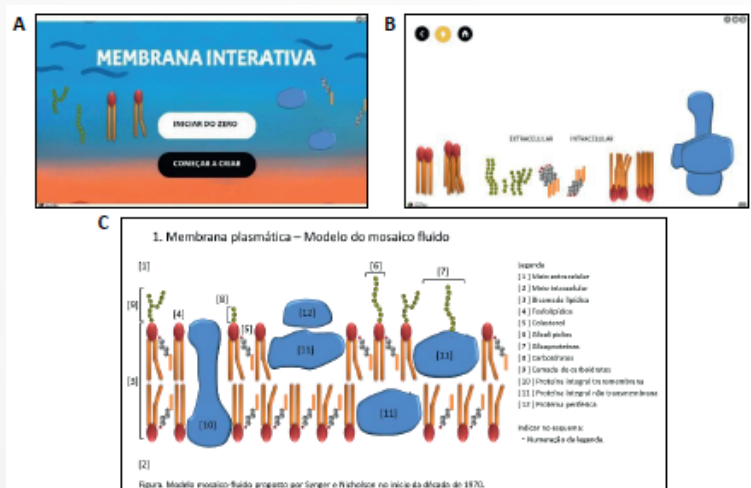
das e foram incentivados a consultar textos impressos e fontes digitais, além de interagir com a equipe, a professora e os monitores.

Para o acompanhamento da atividade foi considerada a participação das equipes na montagem do modelo, o modelo montado e a representação dos aspectos funcionais. O retorno aos alunos foi dado durante a atividade e após a análise dos modelos fotografados. A atividade foi desenvolvida em três turmas do ensino superior, de semestres distintos, incluindo a participação de um estudante com deficiência visual e outro com deficiência auditiva, ambos integrados às equipes, o que possibilitou observar o potencial inclusivo dos recursos didáticos.

## RECURSO DIDÁTICO DIGITAL

A membrana digital (Figura 2) foi desenvolvida a partir das figuras de cada componente da membrana celular, produzidas no aplicativo Microsoft PowerPoint e baseadas em imagens de livros didáticos (AMABIS; MARTHO, 2006; ALBERTS *et al.*, 2017; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2023).

**Figura 2.** Interface do modelo digital desenvolvido na plataforma Genially. A. Interface inicial; B. Interface de montagem com os componentes da membrana plasmática; C. Imagem representativa do modelo montado.



Fonte: elaboração da autora (2025).

As figuras foram importadas para a plataforma Genially, onde o recurso didático interativo foi desenvolvido. O recurso, denominado “Membrana Interativa”, permite que o usuário monte a estrutura da membrana de forma dinâmica, clicando e arrastando os componentes (Figura 2).

O recurso digital interativo apresenta a estrutura da membrana plasmática com os mesmos componentes do modelo em MDF, porém sem incluir os mecanismos de transporte. Ele também foi utilizado em uma turma do ensino superior, em uma dinâmica semelhante à aplicada com o modelo em MDF. Durante a atividade, foram disponibilizados digitalmente exemplos do modelo montado e dicas orientadoras para auxiliar os estudantes (Figura 2).

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA PARA AVALIAÇÃO DOS RECURSOS

A ideia do levantamento bibliográfico surgiu após ser encontrado o artigo “Fifty Years of the Fluid-Mosaic Model of Biomembrane Structure and Organization and Its Importance in Biomedicine with Particular Emphasis on Membrane Lipid Replacement” (Nicolson, 2023), que revisa os 50 anos do Modelo do Mosaico Fluido. A partir dessa leitura, surgiu o interesse em conhecer outras contribuições de Singer e Nicolson sobre o tema.

A busca foi realizada no Google Acadêmico, utilizando os descritores “Singer SJ” e “Nicolson GL” associados ao termo “fluid mosaic model”. Foram incluídas apenas publicações com autoria de Singer e/ou Nicolson e colaboradores. Foram localizados trabalhos desde a proposta original do modelo, em 1972, até revisões e atualizações mais recentes. No total, 11 artigos, dois trabalhos originais (SINGER; NICOLSON, 1972; SINGER, 1972) e nove revisões ou atualizações, que registram a evolução e consolidação do Modelo do Mosaico Fluido. Os artigos foram analisados para identificar as principais características estruturais e funcionais da membrana, que serviram de base para a avaliação inicial dos recursos didáticos desenvolvidos neste estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento bibliográfico permitiu acompanhar a evolução do Modelo do Mosaico Fluido, desde sua proposição por Singer e Nicolson (1972) até as atualizações mais recentes publicadas por Nicolson entre 2013 e 2023. O Quadro 1 apresenta os onze artigos organizados em ordem cronológica.

**Quadro 1** - Publicações de Singer e Nicolson sobre o Modelo do Mosaico Fluido (1972-2023).

Publicações (1972-2023)
SINGER, S. J.; NICOLSON, G. L. The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. <i>Science</i> , v. 175, n. 4023, p. 720-731, 1972. (Artigo)
SINGER, S. J. A fluid lipid globular protein mosaic model of membrane structure. <i>Annals of the New York Academy of Sciences</i> , v. 195, p. 16-23, 1972. (Artigo)
SINGER, S. J. The molecular organization of membranes. <i>Annual Review of Biochemistry</i> , v. 43, p. 805-833, 1974. (Artigo de revisão)
NICOLSON, G. L. Transmembrane control of the receptors on normal and tumor cells. I. Cytoplasmic influence over cell surface components. <i>Biochimica et Biophysica Acta</i> , v. 457, n. 1, p. 57-108, 1976. (Artigo de revisão/Monografia)
NICOLSON, G. L. Transmembrane control of the receptors on normal and tumor cells. II. Surface changes associated with transformation and malignancy. <i>Biochimica et Biophysica Acta</i> , v. 458, n. 1, p. 1-72, 1976. (Artigo de revisão/Monografia)
SINGER, S. J. The structure and insertion of integral proteins in membranes. <i>Annual Review of Cell Biology</i> , v. 6, p. 247-296, 1990. (Artigo de revisão)
SINGER, S. J. Some Early History of Membrane Molecular Biology. <i>Annual Review of Physiology</i> , v. 66, p. 1-27, 2004. (Artigo de revisão)
NICOLSON, G. L. Update of the 1972 Singer Nicolson Fluid-Mosaic Model of Membrane Structure. <i>Discoveries</i> , 1(1): e3, 2013. (Artigo de atualização)
NICOLSON, G. L. The Fluid-Mosaic Model of Membrane Structure: still relevant ... after more than 40 years. <i>Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes</i> , v. 1838, p. 1451-1466, 2014. (Artigo de revisão)
NICOLSON, G. L.; MATTOS, F. G. Fifty Years of the Fluid-Mosaic Model of Biomembrane Structure and Organization. <i>Biomedicines</i> , v. 10, n. 7, 2022. (Artigo de revisão)
NICOLSON, G. L. The Fluid-Mosaic Model of Cell Membranes. <i>Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes</i> , v. 1865, n. 4, 2023. (Artigo de revisão)

O Quadro 2 apresenta os principais aspectos das publicações referentes as características estruturais e funcionais do Modelo do Mosaico Fluido. Observamos que a proposta original estabeleceu a membrana plasmática

como uma bicamada lipídica fluida, na qual proteínas integrais e periféricas se distribuem lateralmente, permitindo mobilidade e dinâmica funcional (SINGER; NICOLSON, 1972). Essa concepção forneceu a base estrutural para a compreensão da membrana e continua sendo referência para representações didáticas de sua organização. Entre 1974 e 2004, Singer publicou revisões detalhando a organização molecular das membranas, os mecanismos de inserção de proteínas integrais e periféricas e a presença de estruturas complementares, como os sacarídeos de superfície (glicocálix). Em paralelo, estudos experimentais de Nicolson na década de 1970 investigaram como o citoesqueleto e componentes citoplasmáticos influenciam a distribuição e mobilidade de proteínas na superfície celular, incluindo alterações em células transformadas (tumorais), destacando a importância de considerar aspectos dinâmicos e funcionais da membrana além de sua estrutura estática. Mais recentemente, entre 2013 e 2023, Nicolson publicou revisões atualizando o modelo original, incorporando conceitos de domínios de membrana, restrições à mobilidade lateral de proteínas e interações com o citoesqueleto e a matriz extracelular, refletindo que a membrana não é uniformemente fluida, mas organizada em microdomínios funcionais, ampliando a complexidade conceitual que deve ser considerada nas representações didáticas.

**Quadro 2** - Atualização do Modelo do Mosaico Fluido de acordo com Singer e Nicolson.

Referências	Atualização estrutural e funcional do modelo (1972 - 2023)
SINGER; NICOLSON, 1972	Propõe o Modelo do Mosaico Fluido, descrevendo a membrana como uma bicamada lipídica fluida com proteínas inseridas, compondo um mosaico dinâmico.
SINGER, 1972	Apresenta evidências de que proteínas e lipídios estão organizados, precisando que proteínas integrais possuam uma estrutura anfifílica apropriada para interagir com o interior apolar da membrana.
SINGER, 1974	Detalha a organização molecular das membranas, distinguindo proteínas periféricas (dissociadas por tratamentos leves) e integrais (necessitam de agentes que quebram interações hidrofóbicas, como detergentes).

Referências	Atualização estrutural e funcional do modelo (1972 - 2023)
NICOLSON, 1976a	Explora como os elementos do citoesqueleto (microfilamentos e microtúbulos) influenciam a distribuição e mobilidade de receptores de superfície em células normais e tumorais.
NICOLSON, 1976b	Aprofunda a análise das restrições à mobilidade lateral de receptores de membrana e os efeitos de drogas que desorganizam o citoesqueleto, como a colchicina, sobre a aglutinação celular mediada por lectinas.
SINGER, 1990	Apresenta a classificação das proteínas integrais e discute mecanismos de inserção e translocação, fundamentais para compreender sua integração à bicamada lipídica.
SINGER, 2004	Revisita a história da biologia molecular de membranas, desde Gorter e Grendel até o Modelo do Mosaico Fluido, ressaltando a evolução da compreensão termodinâmica do sistema.
NICOLSON, 2013	Atualiza o modelo incorporando descobertas sobre domínios lipídicos e proteicos, interações com o citoesqueleto e com a matriz extracelular, e reforçando o caráter dinâmico da membrana.
NICOLSON, 2014	Destaca a relevância do modelo após 40 anos e o papel funcional dos domínios lipídicos e das interações membrana-citoesqueleto na organização e função celular.
NICOLSON; MATTOS, 2022	Revisão dos 50 anos do modelo, enfatizando sua aplicação clínica na terapia de substituição de lipídios de membrana e sua relevância para a função mitocondrial e doenças crônicas.
NICOLSON, 2023	Reforça os princípios do modelo, destacando a importância dos domínios de membrana, do agrupamento de proteínas e da assimetria como características dinâmicas e funcionais da estrutura da membrana celular.

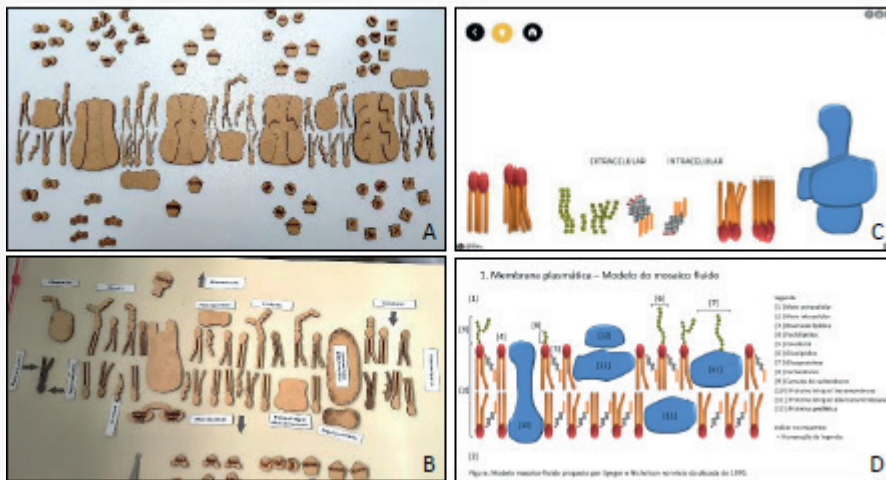
A partir destas publicações, foram identificadas as principais características da estrutura e do funcionamento das membranas celulares, que serviram de referência para a avaliação dos recursos didáticos sobre o Modelo do Mosaico Fluido (Quadro 3). Os artigos iniciais (1972-1974) apresentam a base da bicamada lipídica e da distribuição de proteínas, enquanto as revisões posteriores (1976-2023) ampliam a compreensão da dinâmica, das interações com o citoesqueleto e a matriz extracelular, e dos domínios lipídicos.

**Quadro 3** - Características essenciais da membrana para avaliação de modelos didáticos.

<b>Características</b>	<b>Descrição</b>
Estrutura geral da membrana	Bicamada lipídica fluida composta por lipídios com cabeças hidrofílicas voltadas para o meio aquoso e caudas hidrofóbicas voltadas para o interior. Essa bicamada serve como matriz dinâmica para inserção e movimentação das proteínas.
Composição molecular	Constituída por fosfolipídios, colesterol e glicolipídios, que determinam a fluidez, estabilidade e assimetria da membrana. A proporção desses componentes varia conforme o tipo celular e as condições fisiológicas.
Natureza de mosaico e organização das proteínas	As proteínas estão distribuídas de forma descontínua na bicamada, compondo um mosaico de proteínas integrais (atravessam a membrana), periféricas (associadas à superfície) e ligadas a lipídios. Essa disposição confere diversidade funcional e estrutural.
Fluidez e mobilidade	Lipídios e proteínas possuem mobilidade lateral dentro da bicamada, permitindo rearranjos estruturais e difusão de componentes. A fluidez depende da composição lipídica, temperatura e presença de colesterol.
Domínios funcionais	A membrana contém domínios lipídicos ( <i>rafts</i> ) e regiões especializadas, que participam de processos de sinalização, transporte e reconhecimento celular.
Assimetria	A face interna (citosólica) e a face externa apresentam composições diferentes de lipídios, proteínas e carboidratos. Essa assimetria é essencial para o reconhecimento, sinalização e manutenção da polaridade celular.
Glicocálice	Camada formada por glicoproteínas e glicolipídios na face externa da membrana, com funções de proteção, reconhecimento e adesão celular. Também caracteriza assimetria.
Interações e restrições transmembrana	As proteínas podem interagir com o citoesqueleto (face interna) e com a matriz extracelular (face externa), o que influencia sua distribuição, mobilidade e funções específicas.
Aspectos dinâmicos	A membrana é uma estrutura em constante reorganização, com interações temporárias entre lipídios, proteínas e componentes do citoesqueleto.
Funções biológicas	A membrana participa do controle seletivo da permeabilidade, transporte de substâncias, comunicação, adesão e reconhecimento celular.

Com base nas características do Quadro 3, os modelos didáticos foram analisados quanto à representação da membrana plasmática. A Figura 3 apresenta o modelo em MDF e o modelo digital, desenvolvidos para representar a membrana plasmática de acordo com o Modelo do Mosaico Fluido.

**Figura 3.** Comparação entre os modelos didáticos da membrana plasmática: (A-B) modelos em MDF, reApresentando transportes e estrutura da membrana; (C-D) modelos digitais interativos.



Fonte: elaboração da autora (2025).

O Quadro 4 apresenta a avaliação dos recursos didáticos (MDF e digital) em relação às características essenciais do Modelo do Mosaico Fluido, identificando quais aspectos dos recursos didáticos estão alinhados ao modelo.

**Quadro 4 - Avaliação dos recursos didáticos sobre a membrana plasmática.**

Características	Modelo em MDF	Modelo Digital
Estrutura geral da membrana	Permite representar a bicamada lipídica, respeitando a orientação hidrofóbica e hidrofílica dos lipídios.	Permite representar a bicamada lipídica, respeitando a orientação hidrofóbica e hidrofílica dos lipídios.
Composição molecular	Permite identificar os componentes gerais da membrana.	Permite identificar os componentes gerais da membrana.
Natureza de mosaico e organização das proteínas	Permite distribuir as proteínas integrais e periféricas na bicamada.	Permite distribuir as proteínas integrais e periféricas na bicamada.
Fluidez e mobilidade	Não representados.	Não representados.
Domínios funcionais	Não representados.	Não representados.
Assimetria	Representação simplificada: face interna e externa da membrana, presença de carboidratos e distribuição das proteínas.	Representação simplificada: face interna e externa da membrana, presença de carboidratos e distribuição das proteínas.

Características	Modelo em MDF	Modelo Digital
Glicocálice	Representação simplificada de carboidratos dos glicolipídios e glicoproteínas.	Representação simplificada de carboidratos dos glicolipídios e glicoproteínas.
Interações e restrições transmembrana	Não representados componentes dos domínios, citoesqueleto ou matriz extracelular.	Não representados componentes dos domínios, citoesqueleto ou matriz extracelular.
Aspectos dinâmicos	Não representados.	Não representados.
Funções biológicas	Presença de peças que permitem a representação de transportes ativo e passivo, gradientes, sentido de movimento (setas), proteína receptora e sinalização intracelular.	Não representa transporte, sinalização ou reconhecimento.

A avaliação dos modelos didáticos (em MDF e digital), apresentada no Quadro 4, teve como objetivo verificar o grau de alinhamento de cada recurso ao Modelo do Mosaico Fluido da membrana plasmática. Observa-se que, na maioria dos critérios, os resultados foram semelhantes entre os dois modelos. Essa semelhança reflete que ambos foram elaborados com base na bicamada lipídica e na distribuição das proteínas integrais e periféricas. As análises mostram que os modelos apresentam uma boa correspondência com os aspectos estruturais do Modelo do Mosaico Fluido, entretanto ainda há espaço para melhorias, principalmente na representação de aspectos dinâmicos e funcionais da membrana.

O modelo em MDF permite representar a bicamada lipídica, atendendo a orientação hidrofóbica e hidrofílica dos lipídios; identificar os componentes da membrana (fosfolipídios, colesterol, glicolipídios e glicoproteínas); distribuir proteínas integrais e periféricas; mostrar a assimetria da membrana, incluindo carboidratos na face extracelular (glicocálice) e a distribuição variável de proteínas; ilustrar transportes ativo (proteína transportadora, sódio, potássio, ATP/ADP) e passivo (água, oxigênio, dióxido de carbono, íons, glicose e proteínas) e seus gradientes; e representar sinalização intracelular por meio de proteína receptora e ligante. Entretanto, não representa fluidez e mobilidade lateral, domínios funcionais

nem interações com o citoesqueleto ou a matriz extracelular. As melhorias podem incluir a representação de componentes do citoesqueleto, da matriz extracelular e dos domínios lipídicos e proteicos, além do uso de cores que facilitem a identificação e o reconhecimento dos diferentes elementos da membrana. Devido à natureza estática do modelo, os aspectos dinâmicos podem ser abordados e discutidos durante sua montagem.

O modelo digital permite representar a bicamada lipídica, identificar os principais componentes da membrana (fosfolipídios, colesterol, glicolipídios e glicoproteínas) e distribuir proteínas integrais e periféricas. Também representa de forma simplificada a assimetria e o glicocálice. Entretanto, não representa fluidez e mobilidade lateral, domínios funcionais, interações com o citoesqueleto ou a matriz extracelular, nem aspectos funcionais da membrana, como transporte e sinalização. As melhorias podem incluir elementos que representem essas características, bem como possibilitar a simulação de aspectos dinâmicos da membrana.

Os dois recursos didáticos ampliam as possibilidades de abordagem da membrana plasmática em diferentes contextos de ensino. O modelo em MDF destaca-se pela representação tátil e pela possibilidade de manipulação direta dos componentes, favorecendo o aprendizado ativo em atividades presenciais. Neste modelo há possibilidade de acréscimo de componentes. Já o recurso digital, compatível com computadores, tablets e dispositivos móveis, pode ser utilizado em atividades extraclasse, revisões de conteúdo, atividades formativas presenciais ou remotas. O modelo digital possibilita a montagem da membrana de forma dinâmica, arrastando e clicando os componentes, e essa interatividade favorece a construção ativa do conhecimento. Por sua natureza digital, o modelo oferece facilidade de atualização.

As limitações concentram-se principalmente na representação da fluidez da bicamada e aspectos dinâmicos, na representação dos domínios e nas interações com o citoesqueleto e a matriz extracelular. O modelo físico apresenta restrições relacionadas à sua natureza estática,

enquanto o modelo digital se destaca pela flexibilidade e pelo potencial de simulação.

O uso dos recursos em sala de aula mostrou o potencial para tornar o conteúdo mais acessível e envolvente, favorecendo a visualização dos componentes da membrana e a aproximação entre teoria e prática, além do potencial inclusivo. Ao mesmo tempo, destacou a necessidade de melhorias, buscando maior alinhamento com o conhecimento científico atual e com as orientações de acessibilidade. Portanto, este trabalho terá continuidade, com a aplicação das melhorias e a realização da validação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ambos os modelos representam os componentes estruturais básicos da membrana plasmática, embora apresentem limitações na representação de aspectos dinâmicos e funcionais. O modelo em MDF destaca-se pela representação tátil e percepção espacial, sendo útil em atividades presenciais ou que precisem de material adaptado. Já o modelo digital oferece flexibilidade de uso e potencial para incorporar simulações dinâmicas. O uso complementar dos dois recursos pode ampliar o potencial pedagógico, favorecendo a compreensão integrada da estrutura, dinâmica e função da membrana plasmática. As melhorias, como simulações da fluidez lateral, domínios, interações com o citoesqueleto e matriz extracelular, além de mecanismos de transporte, podem tornar os recursos mais alinhados ao conhecimento atual e às demandas de acessibilidade.

O desenvolvimento dos modelos partiu de demandas do ensino de Biologia Celular na educação superior, com o objetivo de oferecer formas mais concretas e interativas de compreender a estrutura e o funcionamento da membrana plasmática. Inicialmente baseados em ilustrações didáticas, os modelos foram avaliados a partir de revisão da literatura científica, a fim de buscar maior alinhamento ao Modelo do Mosaico Fluido proposto por Singer e Nicolson (1972) e assim, fortalecer a fundamentação teórica do material. Essa iniciativa mostra que o desenvolvimento de

materiais didáticos pode integrar ensino e pesquisa, com possibilidade de atualização conceitual, inovação educacional e acessibilidade.

A continuidade deste trabalho deve incluir a melhoria dos modelos conforme as observações realizadas neste estudo, sua validação com públicos da educação básica e superior e a elaboração de estratégias de uso pedagógico. Além disso, pretende-se avaliar a acessibilidade dos recursos, de modo a ampliar sua aplicação em diferentes contextos educacionais. Espera-se, ao final, disponibilizar um kit pedagógico que possa ser utilizado por professores da educação básica e superior, de acordo com as necessidades e particularidades de sua prática em sala de aula.

## REFERÊNCIAS

ALBERTS, B. *et al.* **Fundamentos da biologia celular**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Fundamentos da biologia moderna: volume único**. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2006. 839 p.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, José. **Biologia Celular e Molecular**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2023.

NICOLSON, G. L. **Transmembrane control of the receptors on normal and tumor cells. I. Cytoplasmic influence over cell surface components**. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 457, n. 1, p. 57-108, 1976.

NICOLSON, G. L. **Trans membrane control of the receptors on normal and tumor cells. II. Surface changes associated with transformation and malignancy**. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 458, n. 1, p. 1-72, 1976.

NICOLSON, G. L. **Update of the 1972 Singer Nicolson Fluid-Mosaic Model of Membrane Structure**. *Discoveries*, v. 1, n. 1, e3, out/dez., 2013.

NICOLSON, G. L. **The Fluid-Mosaic Model of Membrane Structure: still relevant after more than 40 years**. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, v. 1838, p. 1451-1466, 2014.

NICOLSON, G. L.; MATTOS, F. G. **Fifty Years of the Fluid-Mosaic Model of Biomembrane Structure and Organization.** *Biomedicines*, v. 10, n. 7, 2022.

NICOLSON, G. L. **The Fluid-Mosaic Model of Cell Membranes.** *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*, v. 1865, n. 4, 2023.

SINGER, S. J. **A fluid lipid globular protein mosaic model of membrane structure.** *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 195, p. 16-23, 1972.

SINGER, S. J.; NICOLSON, G. L. **The fluid mosaic model of the structure of cell membranes.** *Science*, v. 175, n. 4023, p. 720-731, 1972.

SINGER, S. J. **The molecular organization of membranes.** *Annual Review of Biochemistry*, v. 43, p. 805-833, 1974.

SINGER, S. J. **The structure and insertion of integral proteins in membranes.** *Annual Review of Cell Biology*, v. 6, p. 247-296, 1990.

SINGER, S. J. **Some Early History of Membrane Molecular Biology.** *Annual Review of Physiology*, v. 66, p. 1-27, 2004.