



ACESSO ABERTO

TEORIA DA ENDOSSIMBIOSE: REVISÃO LITERÁRIA E SEUS ASPECTOS HISTÓRICOS

Data de Recebimento:

10/11/2025

Matheus Augusto Pinheiro de Souza^a, André Lucas Caldeira-Brant^b, Aislander Junio da Silva^c**Data de Aceite:**

29/04/2026

^a Acadêmico do Curso de Biomedicina da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Contagem.**Data de Publicação:**

12/05/2026

^b Professor do Curso de Biomedicina da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Contagem.^c Professor do Curso de Biomedicina da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Contagem.***Autor correspondente:**Aislander Junio da Silva,
Mestre em Análises Clínicas e
Toxicológicas.
Contato: (031) 9 9571-4445
E-mai: aislander@live.com

RESUMO

Introdução: A compreensão da estrutura celular é fundamental para explicar a arquitetura orgânica dos seres vivos. Relacionado a tal, destaca-se a origem das células eucariontes e suas diferenças em relação às células procariontes. **Objetivo:** Revisar a teoria endossimbiótica, elucidando a gênese das células eucariontes. **Metodologia:** Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados artigos e demais publicações científicas presentes nas bases de dados PubMed e Scielo com recorte temporal de 54 anos (1970-2024), que apresentem relação com o tema proposto. **Resultados:** Com o compilado de conteúdo e informações revelados por meio da revisão literária, pode-se inferir que células complexas (eucariontes), poderiam ter origem da integração simbiótica entre microrganismos de diferentes espécies. **Conclusão:** Foi possível inferir que as células eucariontes desenvolveram sua estrutura como um todo, suas vias metabólicas e, notoriamente, organelas com material genético autônomo como consequência das relações endossimbióticas ao longo do processo evolutivo

Citação:
SOUZA, M.A.P; CALDEIRA-
BRANT, A. L; SILVA, A.J;
Teoria da endossimbiose:
revisão literária e seus aspectos
históricos.

Palavras-chave: Citologia; teoria endossimbiótica; células eucarióticas; mitocôndrias; cloroplastos; simbiose; procariontes.

Revista Multidisciplinar em
Saúde, v. 7, n. 2, 2026. <https://doi.org/10.51161/integrar/rem/4723>

ABSTRACT

Introduction: Understanding cell structure is fundamental to explaining the organic architecture of living beings. In this regard, the origin of eukaryotic cells and their differences from prokaryotic cells stand out. **Objective:** To review the endosymbiotic theory, elucidating the genesis of eukaryotic cells. **Materials and Methods:** For the development of this work, articles and other scientific publications available in the PubMed and Scielo databases were used, with a time frame of 54 years (1970–2024), which presented a relationship with the proposed theme. Results: From the compilation of content and information revealed through the literature review, it can be

DOI: 10.51161/integrar/rem/4723

Editora Integrar© 2026.
Todos os direitos reservados.

inferred that complex cells (eukaryotes) may have originated from the symbiotic integration between microorganisms of different species. **Conclusion:** It was possible to infer that eukaryotic cells developed their overall structure, metabolic pathways, and notably, organelles with autonomous genetic material as a consequence of endosymbiotic relationships throughout the evolutionary process.

Keywords: Cytology; endosymbiotic theory; eukaryotic cells; mitochondria; chloroplasts; symbiosis; prokaryotes.

INTRODUÇÃO

O estudo da célula configura-se como um dos alicerces fundamentais da biologia, constituindo a base epistemológica para a elucidação da organização e do funcionamento dos organismos vivos. A célula, reconhecida como a unidade estrutural e funcional basilar da vida, demanda compreensão aprofundada para elucidação dos fenômenos biológicos em suas múltiplas hierarquias (MOREIRA, 2015; ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA, 2024).

À medida que se avança na exploração do *corpus* celular, emergem indagações cruciais que desafiam as compreensões da época. Dentre as compreensões, destacam-se, inicialmente, a questão relativa à disparidade morfofuncional entre as células procariontes (bactérias), dotadas de uma organização estrutural relativamente simples se comparada às células eucariontes (animais, plantas, fungos, algas e protozoários) (ARCHIBALD, 2015).

Nesse contexto, a teoria endossimbiótica emerge como um dos principais modelos explicativos para a origem das células eucariontes. Tal teoria foi inicialmente proposta de forma sistematizada por Lynn Margulis, ao sugerir que a complexidade das células eucarióticas resulta da incorporação de organismos procariontes por uma célula hospedeira ancestral, estabelecendo uma relação simbiótica estável ao longo do tempo evolutivo. Esse modelo representou uma ruptura significativa com concepções evolutivas anteriores, ao introduzir a simbiose como mecanismo central na evolução celular (MARGULIS, 1970; MARTIN et al., 1998; BHATTACHARYA, 2004; KUTSCHERA et al., 2005).

Estudos posteriores aprofundaram a compreensão da origem das mitocôndrias, demonstrando que essas organelas apresentam características estruturais e genéticas semelhantes às bactérias. Evidências como a presença de DNA próprio, ribossomos do tipo procariótico e divisão por fissão binária reforçam a hipótese de que as mitocôndrias descendem de ancestrais bacterianos. Além disso, análises filogenéticas indicam forte relação com alfa-proteobactérias, consolidando a teoria endossimbiótica como uma explicação robusta para a origem dessas organelas (GRAY, 2012; LANG; BURGER, 2012; MOURA et al., 2025).

De modo análogo, a origem dos cloroplastos é explicada pela incorporação de cianobactérias fotossintetizantes por uma célula eucariótica ancestral. Esse evento permitiu o surgimento de organismos autotróficos e ampliou significativamente a diversidade metabólica dos seres vivos. A presença de dupla membrana e de material genético próprio nos cloroplastos constitui evidência adicional desse processo evolutivo, reforçando sua origem endossimbiótica (KEELING, 2010; LEE; HWANG, 2021).

Adicionalmente, a transferência gênica horizontal desempenhou papel fundamental na consolidação da relação simbiótica entre os organismos envolvidos. Genes originalmente presentes nos endossimbiontes foram progressivamente incorporados ao genoma nuclear da célula hospedeira, promovendo uma integração funcional entre as organelas e o núcleo celular. Esse processo foi essencial para a estabilização da simbiose e para o estabelecimento da organização característica das células eucariontes modernas (MARTIN et al.,

1998; ARCHIBALD, 2015; ZIMORSKI et al., 2014).

Dessa forma, este trabalho propõe reunir saberes históricos e científicos acerca da teoria endossimbiótica, destacando sua relevância como paradigma evolutivo na compreensão da origem das células eucariontes. Além disso, busca-se discutir a origem de organelas como mitocôndrias e cloroplastos, enfatizando os mecanismos evolutivos envolvidos e sua importância para a complexidade biológica observada nos organismos atuais.

METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma revisão narrativa da literatura. A busca por artigos foi realizada nas bases de dados *PubMed Scielo* e BVS, utilizando os descritores: ‘teoria endossimbiótica’, ‘mitocôndrias’, ‘cloroplastos’, ‘células eucarióticas’. Foram incluídos artigos publicados entre 2002 e 2024, em inglês e português. Foram excluídos trabalhos duplicados ou que não abordavam diretamente a temática da endossimbiose.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1) Proposição inicial da Teoria Endossimbiótica:

A hipótese endossimbiótica constitui a explicação mais amplamente aceita pela comunidade científica para a origem das células eucarióticas. Essa teoria teve sua formulação inicial em 1905, pelo botânico russo Konstantin Mereschkowsky, que sugeriu que determinadas organelas celulares, como os cloroplastos, teriam se originado a partir da incorporação de bactérias por uma célula ancestral, estabelecendo uma relação simbiótica. Posteriormente, essa hipótese foi retomada e sistematizada por Lynn Margulis, que ampliou o modelo ao incluir a origem das mitocôndrias e forneceu bases experimentais e conceituais mais robustas, consolidando a teoria endossimbiótica como um dos principais paradigmas da biologia evolutiva (MARGULIS, 1970; KUTSCHERA et al., 2005).

Por conseguinte, a ausência de cloroplastos nas células eucarióticas de animais e fungos, por exemplo, pode ser elucidada a partir da sequência temporal em que ocorreram os eventos endossimbióticos responsáveis pela origem das organelas celulares. Inicialmente, as primeiras relações endossimbióticas estabeleceram-se entre uma célula ancestral eucariótica e bactérias análogas às atuais α -proteobactérias, as quais originaram as mitocôndrias. Essas bactérias apresentavam a capacidade de realizar fosforilação oxidativa, processo fundamental para a produção de adenosina trifosfato (ATP), conferindo, dessa forma, uma vantagem energética significativa à célula hospedeira. Posteriormente, em um estágio evolutivo subsequente, algumas dessas células eucarióticas primitivas passaram a estabelecer nova relação simbiótica com cianobactérias ancestrais, evento este que resultou na origem dos cloroplastos. As cianobactérias em questão possuem a capacidade fotossintética, convertendo energia luminosa em energia química, o que possibilitou às células hospedeiras o desenvolvimento da fotossíntese, característica exclusiva de plantas e algas (LEE DW et al., 2021; ARCHIBALD et al., 2015).

Durante os anos que sucederam a proposição, a ausência de evidências empíricas robustas impediu a aceitação da proposta, levando-a ao esquecimento por várias décadas. Foi apenas no ano de 1960, com os avanços da microscopia eletrônica e da genética molecular, que a hipótese foi retomada com força. Estudos comparativos mais precisos entre cianobactérias e cloroplastos, bem como a descoberta de que

tanto mitocôndrias quanto cloroplastos possuem DNA próprio e circular, reforçaram substancialmente a ideia de que essas organelas teriam se originado por meio de um processo de endossimbiose, ou seja, a integração estável e funcional de um organismo no interior do outro (MARTIN et al., 1998; MOREIRA, 2015).

Entre as principais evidências que sustentam a teoria endossimbiótica, destacam-se características estruturais e genéticas compartilhadas entre essas organelas e organismos procariontes. Mitocôndrias e cloroplastos apresentam DNA circular desprovido de histonas, ribossomos do tipo 70S e capacidade de síntese proteica própria, ainda que parcialmente dependente do núcleo celular. Além disso, essas organelas se replicam por fissão binária, processo típico de bactérias, reforçando sua ancestralidade procariótica (BHATTACHARYA, 2004; ZIMORSKI et al., 2014; GRAY, 2012; LANE, 2015).

Adicionalmente, evidências bioquímicas indicam que as membranas internas dessas organelas apresentam enzimas e sistemas de transporte altamente semelhantes aos encontrados em bactérias, especialmente no que se refere à cadeia respiratória e aos mecanismos de fosforilação oxidativa. A presença de dupla membrana reforça o modelo de incorporação por endocitose, enquanto análises filogenéticas indicam que as mitocôndrias derivam de α -proteobactérias e os cloroplastos de cianobactérias. Soma-se a isso a ocorrência de transferência gênica endossimbiótica, na qual genes foram incorporados ao genoma nuclear, consolidando a integração funcional entre organelas e célula hospedeira (ARCHIBALD, 2015; MARTIN et al., 2006; ALLEN, 2015).

2) Mitocôndrias: Funções e Evidências Endossimbióticas:

Mitocôndrias são organelas bioenergéticas com material genético próprio, amplamente reconhecidas como as principais responsáveis pela produção celular de energia. Por meio de processos metabólicos como o ciclo de Krebs e a fosforilação oxidativa, essas estruturas geram ATP, molécula que armazena e fornece energia para as atividades celulares e outras organelas. Além disso, as mitocôndrias participam de outras vias metabólicas importantes, como o ciclo da ureia, a biossíntese do grupamento heme, esteróides, quinonas e cardiolipina, refletindo sua relevância multifuncional no metabolismo celular (SUOMALAINEN et al., 2024).

Nesse sentido, a existência de organismos eucarióticos que não possuem mitocôndrias, como *Giardia lamblia* e *Pelomyxa palustris*, constitui uma evidência significativa no debate sobre a origem das células eucarióticas. Esses organismos, classificados como eucariotos amitocondriais, foram inicialmente considerados formas ancestrais que nunca teriam incorporado mitocôndrias. No entanto, investigações revelaram a presença de genes mitocondriais residuais e de estruturas relacionadas, como os mitossomas, indicando que seus ancestrais possuíam mitocôndrias e as perderam ao longo da evolução, em resposta à adaptação a ambientes pobres em oxigênio. Isso se dá, pois as mitocôndrias produzem a maior parte da energia celular por meio da fosforilação oxidativa, um processo que depende de oxigênio como aceptor final de elétrons. Em ambientes onde o oxigênio é escasso ou ausente (anaeróbico), esse processo se torna ineficiente ou inviável (TOVAR et al., 2003; EDITORES DA ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA, 2024).

Esse conjunto de evidências sustenta o modelo segundo o qual a formação do invólucro nuclear (caracterizado pela separação do material genético do citoplasma por uma membrana), precedeu a incorporação da mitocôndria ancestral. Assim, o núcleo e outras estruturas eucarióticas teriam se desenvolvido antes da simbiose que originou a mitocôndria. Dessa forma, a presença de eucariotos sem

mitocôndrias reforça a hipótese de que o surgimento do núcleo foi um evento independente e anterior à endossimbiose mitocondrial, contrariando modelos que propõem que a mitocôndria seria o elemento central no processo de eucariontização (MARTIN et al., 2006; MOREIRA, 2015).

3) Cloroplastos e a Fotossíntese:

Os cloroplastos, por sua vez, são organelas exclusivas das células eucarióticas vegetais e de algumas algas fotossintéticas, estando presentes em células capazes de realizar o processo de fotossíntese. Essas organelas contêm clorofila e desempenham função essencial na conversão da energia solar em energia química, fundamental para o metabolismo desses organismos. Ademais, os cloroplastos possuem DNA próprio e são delimitados por uma dupla membrana, características que evidenciam sua origem endossimbiótica. Em contraposição, células animais e fúngicas não apresentam cloroplastos, uma vez que não realizam fotossíntese (ALBERT B et al., 2002; ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA, 2024).

Os cloroplastos, subprodutos do processo acima, durante a fotossíntese, convertem energia luminosa em energia química, resultando na produção imediata de moléculas como NADPH (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato) e ATP. Esses compostos energéticos são utilizados pelas células fotossintéticas para a síntese de diversas moléculas orgânicas. Nas plantas, um dos principais produtos dessa via metabólica é a sacarose, um açúcar de baixo peso molecular, que é posteriormente exportado para outras partes do organismo. Essa sacarose é essencial para suprir as demandas energéticas e metabólicas das células não fotossintéticas, garantindo a manutenção das funções fisiológicas do vegetal como um todo (ALBERT B et al., 2002; ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA, 2024).

A análise da constituição e da evolução celular, a partir da perspectiva celular, permite compreender não apenas a complexidade estrutural das células eucarióticas, mas também os eventos históricos que culminaram em seu surgimento. As disparidades entre procariontes e eucariontes, anteriormente interpretadas como meras diferenças funcionais, revelam-se hoje como marcas profundas de processos simbióticos ancestrais. De forma resumida conforme narrativas literárias essa divergência estrutural e de complexidade se dá, pois, uma célula eucarionte nada mais é que a junção de duas células diferentes. Tais células se “fundiram” e se tornaram uma, mais complexa (KUTSCHERA et al., 2005; LANG et al., 2012).

CONCLUSÃO

Diante da análise da literatura científica, verifica-se que a teoria endossimbiótica constitui um modelo explicativo robusto para compreender a origem e a evolução das células eucarióticas. As evidências apresentadas ao longo das últimas décadas reforçam que a integração simbiótica entre organismos distintos desempenhou papel determinante na aquisição de estruturas celulares especializadas e na diversificação metabólica observada nesses sistemas. Assim, a teoria permanece como referência central para estudos relacionados à biologia celular e evolutiva, demonstrando a relevância do processo endossimbiótico na formação da complexidade que caracteriza os eucariontes atuais.

Portanto, ao integrar dados históricos, bioquímicos e evolutivos, este estudo contribui para o fortalecimento da teoria endossimbiótica como paradigma válido e esclarecedor da transição entre formas de vida simples e organismos dotados de compartimentalização interna. Reforça-se, assim, a importância da citologia como campo interdisciplinar essencial à elucidação dos mecanismos que regem a constituição e a diversificação da vida.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J. et al. **Molecular Biology of the Cell**. 4th ed. New York: Garland Science, 2002. Acesso em: 20 ago. 2025.
- ALLEN, John F. Why chloroplasts and mitochondria retain their own genomes and genetic systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 33, p. 10231–10238, 2015. DOI: 10.1073/pnas.1500012112. Acesso em: 22 mar. 2026.
- ARCHIBALD, J. M. Endossimbiose e evolução celular eucariótica. **Current Biology**, v. 25, n. 19, p. R911-R921, 5 out. 2015. DOI: 10.1016/j.cub.2015.07.055. PMID: 26439354. Acesso em: 23 set. 2025.
- BHATTACHARYA, Debashish et al. Genome of *Cyanidioschyzon merolae*. **Nature**, v. 428, p. 653–657, 2004. DOI: 10.1038/nature02458. Acesso em: 22 mar. 2026.
- EDITORES DA ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA. Citologia. **Enciclopédia Britânica**, 21 mar. 2024. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/cytology>. Acesso em: 9 jul. 2025.
- GRAY, Michael W. Mitochondrial evolution. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 4, n. 9, a011403, 2012. DOI: 10.1101/cshperspect.a011403. Acesso em: 22 mar. 2026.
- JAMES, R. Problemas de relacionamento no nível mitocondrial e o que isso pode significar para a doença humana. **Open Biology**, v. 15, n. 5, p. 240331, maio 2025. DOI: 10.1098/RSOB.240331. PMCID: PMC12092140. Acesso em: 23 set. 2025.
- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Biologia Celular e Molecular**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019. Acesso em: 20 ago. 2025.
- KEELING, Patrick J. The endosymbiotic origin, diversification and fate of plastids. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 365, n. 1541, p. 729–748, 2010. DOI: 10.1098/rstb.2009.0103. Acesso em: 22 mar. 2026.
- KUTSCHERA, U.; NIKLAS, K. J. Endossimbiose, evolução celular e especiação. **Theory in Biosciences**, v. 124, n. 1, p. 1-24, jun. 2005. DOI: 10.1016/j.thbio.2005.04.001. Acesso em: 1 jun. 2005.
- LANE, Nick. **The vital question: energy, evolution and the origins of complex life**. New York: W. W. Norton & Company, 2015. Acesso em: 22 mar. 2026.
- LANG, F.; BURGER, G. Mitochondrial and eukaryotic origins: a critical review. In: MARÉCHAL-DROUARD, L. (ed.). **Advances in Botanical Research**. v. 63. London: Academic Press, 2012. p. 1-20. DOI: 10.1016/B978-0-12-394279-1.00001-6. Acesso em: 9 jul. 2025.
- LEE, D. W.; HWANG, I. Compreendendo a evolução das organelas endossimbióticas com base nas sequências de direcionamento de proteínas organelares. **New Phytologist**, v. 230, n. 3, p. 924-930, maio 2021. DOI: 10.1111/nph.17167. PMID: 33404103. Acesso em: 23 set. 2025.

MARGULIS, Lynn. **Origin of eukaryotic cells**. New Haven: Yale University Press, 1970. Acesso em: 22 mar. 2026.

MARTIN, William; KOONIN, Eugene V. Introns and the origin of nucleus–cytosol compartmentalization. **Nature**, v. 440, p. 41–45, 2006. DOI: 10.1038/nature04531.

MARTIN, William; MÜLLER, Miklós. The hydrogen hypothesis for the first eukaryote. **Nature**, v. 392, p. 37–41, 1998. DOI: 10.1038/32096. Acesso em: 22 mar. 2026.

MOREIRA, C. Modelo endossimbiótico. **Revista Ciência Elementar**, v. 3, n. 3, p. 169, 2015. DOI: <http://doi.org/10.24927/rce2015.169>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MOURA, J. P.; OLIVEIRA, P. J.; URBANO, A. M. Mitochondria: an overview of their origin, genome, architecture, and dynamics. **Biochimica et Biophysica Acta – Molecular Basis of Disease**, v. 1871, n. 5, p. 167803, 2025. DOI: 10.1016/j.bbadis.2025.167803. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2025.167803>. Acesso em: 23 set. 2025.

PARTH, K. R.; RAVAL, S. G.; GOULD, S. B. Endosymbiotic selective pressure at the origin of eukaryotic cell biology. **eLife**, v. 11, e81033, 2022. DOI: 10.7554/eLife.81033. Acesso em: 23 set. 2025.

SUOMALAINEN, A. et al. Célula. **Cell**, v. 187, n. 11, p. 2601-2627, 23 maio 2024. Acesso em: 9 jul. 2025.

TOVAR, J.; LEÓN-AVILA, G.; SÁNCHEZ, L. B.; SUTAK, R.; TACHEZY, J.; VAN DER GIEZEN, M.; HERNÁNDEZ, M.; MÜLLER, M.; LUCOCQ, J. M. Mitochondrial remnant organelles of **Giardia function in iron-sulphur protein maturation**. **Nature**, v. 426, n. 6963, p. 172-176, 13 nov. 2003. DOI: 10.1038/nature01945. PMID: 14614504. Acesso em: 20 ago. 2025.

ZIMORSKI, V.; KU, C.; MARTIN, W. F.; GOULD, S. B. Endosymbiotic theory for organelle origins. **Current Opinion in Microbiology**, v. 22, p. 38-48, dez. 2014. DOI: 10.1016/j.mib.2014.09.008. Acesso em: 23 set. 2025.