

CAPÍTULO 1



Capítulo 1

O primeiro capítulo apresenta uma introdução à sistemática e taxonomia vegetal e aos aspectos evolutivos relacionados com a organização desses organismos. Serão abordados temas como sua história e princípios básicos e aspectos importantes das relações evolutivas dos principais grupos de organismos fotossintetizantes, discutindo as evidências desse processo.

1.1 O que é Sistemática?

Biólogos, oceanógrafos e naturalistas em geral, estudam indivíduos, populações, comunidades e ecossistemas. Os organismos que caracterizam tais ecossistemas são classificados segundo suas semelhanças e agrupados em categorias. Após cerca de 3 bilhões de anos de evolução, existem cerca de 30 milhões de espécies vivas identificadas, sendo que um número ainda maior esteve presente na superfície do planeta, mas, por motivos diversos, foram extintas ao longo da história do planeta (Figura 1.1).

No esforço de se encontrar uma ordem para esta incrível diversidade, surgiu a **Sistemática**. A Sistemática compreende os estudos relacionados com a diversidade biológica e com a ordenação dos organismos em categorias hierárquicas.

Segundo o Código Internacional de Nomenclatura Botânica, as principais categorias hierárquicas, em ordem crescente, são: espécie, gênero, família, ordem, classe, filo e reino. Categorias intermediárias podem ser usadas, como por exemplo, subfamília. A ordenação é hierárquica porque partimos de um grupo reunido por atributos mais restritos, que é a espécie, e vamos formando grupos com características cada vez mais abrangentes. Deste modo, as espécies se reúnem em uma categoria maior chamada gênero, que por sua vez se agrupam em famílias, as famílias em ordens, as ordens em classes, as classes em filos (divisões) e os filos em reinos.

A Nomenclatura é parte da sistemática que trata das denominações científicas aplicadas aos organismos e dos termos referidos

Porphyra acanthophora representa uma espécie do grupo das algas vermelhas (Rhodophyta) que será estudada em capítulo posterior. Faça uma busca na *internet* e veja o que descobre sobre esse gênero e espécie!

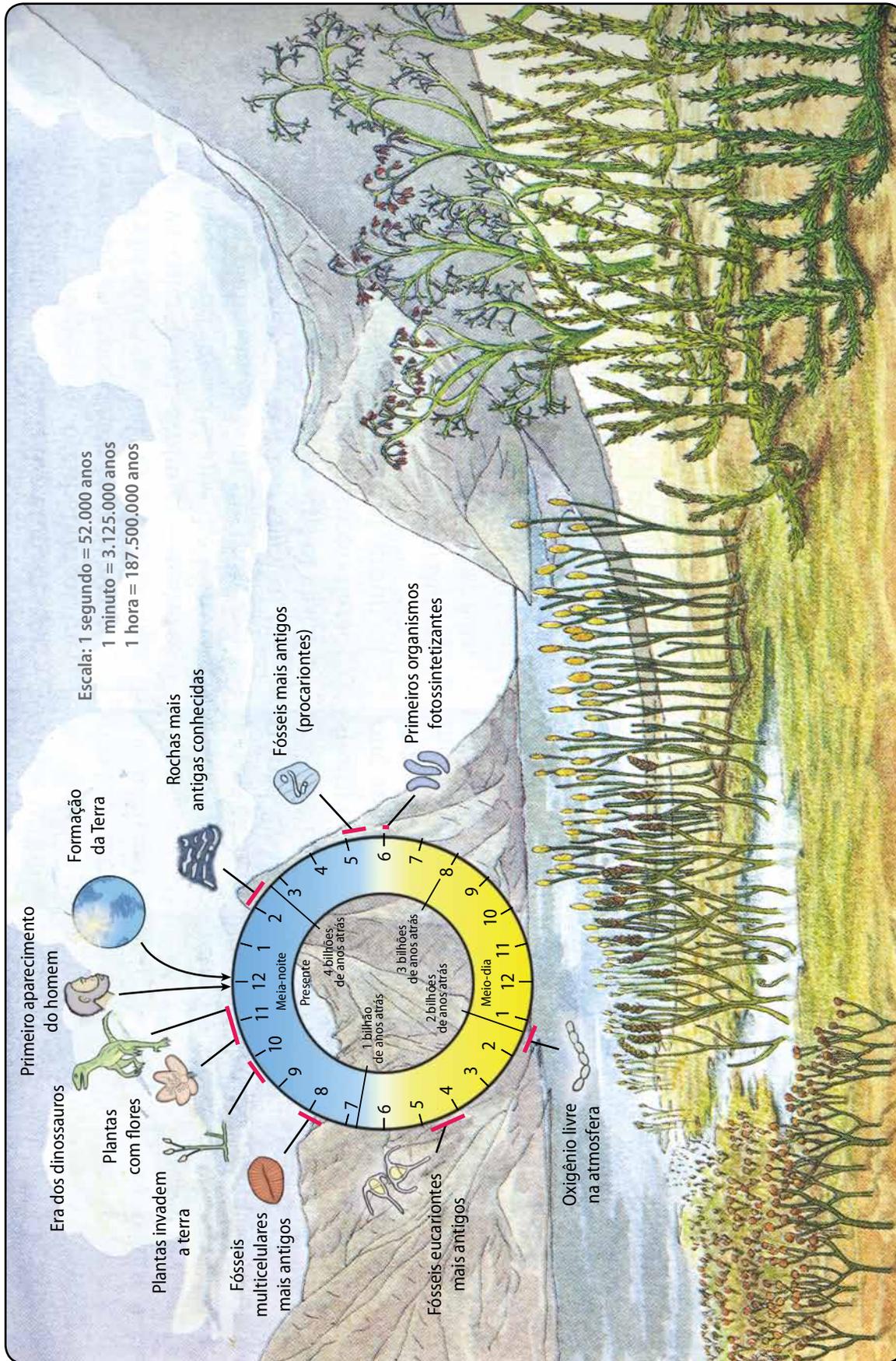


Figura 1.1 – Esquema evidenciando a vida no planeta em tempo pré-histórico, com destaque para a cronologia dos eventos evolutivos, representando em 24 horas a história da vida no planeta (RAVEN et al., 1999, p. 426).

Carolus Linnaeus (1707-1778), considerado o pai da Sistemática Botânica e Zoológica, por ter descrito muitas espécies de diversas regiões da terra, estabeleceu definitivamente o uso da nomenclatura binária na sistemática.



Figura 1.2 – Foto de Carolus Linnaeus, naturalista que iniciou o estudo sobre o sistema de classificação dos organismos.

Para ir mais longe

A história dos equipamentos óticos é de fato muito interessante. Mas também é interessante o estudo da biologia celular e o histórico de sua evolução. Relembre o que foi ensinado na disciplina de biologia celular e discuta com seus colegas o seu papel para o estudo da biodiversidade como um todo.

às categorias ou grupos taxonômicos utilizados em sistemática. Ela é regida pelo referido Código Internacional de Nomenclatura Botânica.

Os nomes de espécies são binômios, ou seja, todas as espécies possuem denominação baseada em um nome com duas partes, escritas em latim e em *itálico* ou sublinhadas. A primeira parte é a mesma para todos os organismos de um mesmo gênero e a segunda, o epíteto específico, é própria de cada uma das espécies de um determinado gênero (Tabela 1.1). Vale destacar que cada vez que um binômio for citado pela primeira vez em um texto, o(s) autor(es) da referida espécie deve(m) ser apresentado(s) (ex: *Porphyra acanthophora* E.C. Oliveira *et* Coll).

Nível taxonômico	Homem	Nori (alga vermelha comestível)
Reino	Animalia	Plantae
Filo (Divisão)	Chordata	Rhodophyta
Subfilo	Vertebrata	
Classe	Mammalia	Bangiophyceae
Ordem	Primates	Bangiales
Família	Hominoidea	Bangiaceae
Gênero	<i>Homo</i>	<i>Porphyra</i>
Espécie	<i>Homo sapiens</i>	<i>Porphyra acanthophora</i>

Tabela 1.1 – Exemplo de classificação de organismos e denominação de espécies a partir de binômios

Estes grupos de organismos, das espécies aos reinos, são chamados de **taxa** (singular = táxon).

No decorrer da história, muitas tentativas para classificar os seres vivos foram feitas por diversos cientistas. Por exemplo, além do sistema de classificação propostos por Linnaeus (figura 1.2), podemos citar o de Engler et Prantl (1887-1899), que propuseram a classificação de todos os organismos conhecidos do Reino Plantae, até a categoria de família. Este sistema foi muito aceito no mundo todo e com o tempo foi sofrendo modificações. Dois manuais clás-

sicos de taxonomia, publicados por brasileiros (Schultz 1977; Joly 1975) utilizam este sistema. A versão de Adolf Engler, modificado por Melchior e Wedermann (1954), divide o reino Plantae em 17 divisões (Filos). Os sistemas de classificação vão sofrendo modificações com o tempo porque incorporam os novos conhecimentos adquiridos pela Ciência.

Cada nova espécie ou outro táxon descrito deve ser classificado dentro de um sistema de classificação determinado. No entanto, quando se está analisando um organismo já descrito com o propósito de posicioná-lo dentro de um táxon, você está fazendo apenas uma identificação porque ele já foi classificado, quando descrito.

Desde Linnaeus, o conhecimento nas diferentes áreas da biologia é crescente, aumentando o número de características utilizadas na taxonomia. Linnaeus baseava seus estudos em características visíveis de organismos vivos. Posteriormente, fósseis foram identificados, classificados e comparados com as espécies atuais, introduzindo nos estudos botânicos, uma perspectiva temporal da diversidade vegetal. No século XIX, avanços da paleontologia e os trabalhos de Charles Darwin encorajaram os sistematas a acreditar que a classificação dos organismos poderia refletir sua história evolutiva. Atualmente, nos diferentes grupos e em diferentes níveis, observa-se a busca pelo ancestral comum dos taxa de organismos que constituem a biodiversidade planetária.

Com a melhoria dos equipamentos óticos, em especial dos microscópios eletrônicos de transmissão e varredura (Figura 1.3), e

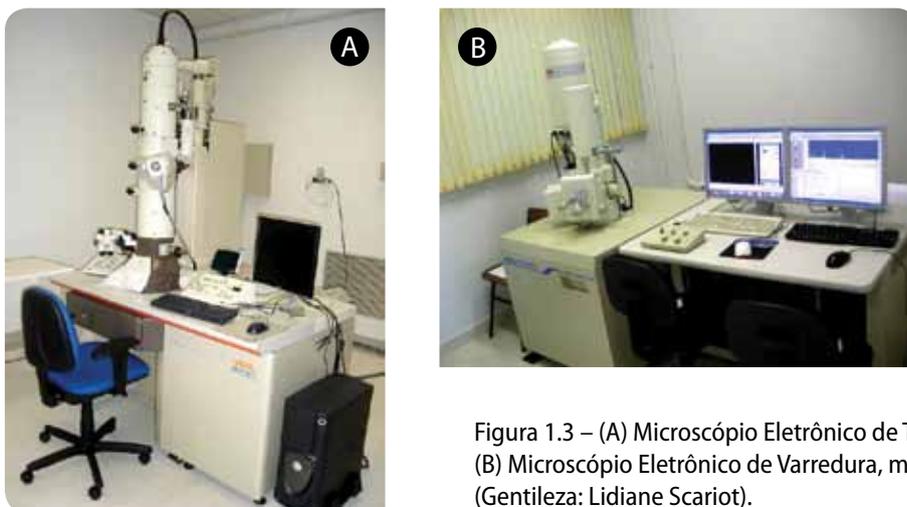


Figura 1.3 – (A) Microscópio Eletrônico de Transmissão, modelo JEM-1011 TEM. (B) Microscópio Eletrônico de Varredura, modelo Jeol JSM-6390LV, LCME/UFSC. (Gentileza: Lidiane Scariot).

Um pouco da história da Sistemática e Taxonomia Vegetal

Carolus Linnaeus (Figura 1.2) foi o naturalista que iniciou um período caracterizado pela concepção de sistemas de classificação artificiais, baseados em um pequeno número de caracteres utilizados para auxiliar a identificação. No sistema apresentado por Linnaeus, denominado “sistema lineano ou sexual”, as plantas foram classificadas segundo a presença e disposição dos órgãos sexuais. A importância de Linnaeus para a História da Sistemática Botânica transcende seus trabalhos de investigação científica e pousa também no entusiasmo que passou para seus numerosos discípulos. Na sua pretensão de denominar e descrever todas as formas de vida, animais, plantas e minerais, Linnaeus publicou em 1753 sua obra de maior importância, *Species Plantarum*, na qual ele descreve as espécies em latim e usa o sistema de binômio de Bauhin. Linnaeus propôs que todas as plantas que não apresentassem sementes fossem reunidas na Classe Cryptogamie (algas, fungos, musgos e fetos).

Nos tempos de Linnaeus, a taxonomia era utilizada exclusivamente para revelar a diversidade da grande e imutável obra da criação divina. Só com a publicação da obra de Charles Darwin, “A Origem das Espécies”, é que este sistema artificial foi gradualmente permeado pelas idéias evolucionistas e a busca pelas relações evolutivas se acentuou. A partir deste momento, os biólogos não queriam mais classificar com o simples propósito de apresentar informação, mas também com objetivo de desvendar inúmeras relações evolutivas entre diferentes linhagens de organismos.

A árvore filogenética do alemão Ernest Haeckel, de 1866, demonstrou pela primeira vez a preocupação em relacionar os diferentes grupos de seres vivos segundo um prisma evolutivo.

Dos trabalhos realizados nesta fase, destaca-se a atuação de August Wilhelm Eichler, que, em 1875, aceitando os conceitos de evolução, propôs um primeiro sistema baseado nas relações filogenéticas das plantas. Este sistema substituiu gradualmente os demais em diferentes escolas ao redor do mundo. Eichler dividiu o reino vegetal em dois subgrupos: Cryptogamae e Phanerogamae. Este último continha as plantas com sementes, e o primeiro as algas, hepáticas, musgos, pteridófitas e fungos. As Cryptogamae foram divididas segundo três grupos: Talophyta, Bryophyta e Pteridophyta. Os fungos foram separados das algas, e estas foram divididas em quatro grupos: Cyanophyceae, Chlorophyceae, Rhodophyceae e Phaeophyceae. As plantas pertencentes à Divisão Bryophyta foram divididas em dois grupos: Hepaticae e Musci. Estes grupos ainda são utilizados nos dias atuais.

Os sistemas filogenéticos evoluíram muito desde então e, a partir da visão clássica de Haeckel, foi desenvolvido o sistema de reinos de Whittaker (1969), modelo que foi dominante até a década de 80. Whittaker dividiu os seres vivos em cinco reinos: Monera, Protista, Plantae, Fungi e Animalia. Com a possibilidade de sequenciamento de DNA, Woese, em 1983, propôs a divisão dos seres vivos em três grandes grupos ou domínios: Eucaria, Bacteria e Archaea. Esta árvore permanece não enraizada, restando a questão universal: quem será o ancestral de todos os seres vivos?

a disseminação de técnicas de biologia molecular, o nível de detalhamento da sistemática foi aprofundado, permitindo a investigação minuciosa dos organismos menores e o reconhecimento das estruturas internas das células e suas características moleculares. A partir dessas tecnologias, foi possível obter evidências que reforçam a teoria da origem das organelas e dos organismos eucarióticos.

riontes a partir de associações com organismos fotossintetizantes procariontes. Esta teoria recebeu a denominação de *Teoria da Endossimbiose*, que será abordado a seguir.

1.2 A teoria da endossimbiose

Segundo essa teoria, um organismo primitivo não-fotossintetizante teria capturado e englobado células procarióticas, que posteriormente se tornaram organelas como mitocôndrias, cloroplastos e flagelos. Estes endossimbiontes não foram digeridos e se mantiveram dentro de seus hospedeiros, dividindo-se simultaneamente com eles. Com o tempo, foram perdendo parte de seu genoma ou parte deste incorporou-se ao genoma do hospedeiro. Com isto se tornaram cada vez mais dependentes do hospedeiro, até perderem a capacidade de vida livre. Recentemente, estudos bioquímicos, ultraestruturais e moleculares têm subsidiado a teoria da endossimbiose, que propõe que os cloroplastos seriam derivados de cianobactérias e as mitocôndrias, de bactérias aeróbicas.

Dentre os argumentos que sustentam a teoria da endossimbiose, pode-se destacar:

- A existência, até hoje, de organismos que contêm endossimbiontes, como cianófitas, em seu interior. Alguns fungos apresentam células vesiculares que contêm *Nostoc*, uma alga azul filamentosa. Tanto o fungo quanto a alga podem viver isoladamente na natureza;
- Cloroplastos e mitocôndrias mantêm certa autonomia dentro da célula. Muitas vezes, os cloroplastos se dividem independentemente do núcleo e possuem seu próprio DNA. O mesmo é verdadeiro para a mitocôndria. De acordo com a teoria, estas características são relíquias da época em que estas organelas eram organismos de vida livre;
- Alguns cloroplastos mantiveram características de algas azuis, podendo ser considerados como uma fase intermediária. Por exemplo, os cloroplastos de *Glaucocystis* e *Cyanophora* (algas de água doce - Divisão Glaucophyta) são tão semelhantes às

cianobactérias unicelulares que por algum tempo foram considerados organismos simbióticos vivendo dentro de hospedeiros heterotróficos. Estas organelas são referidas frequentemente como “canelas”, entretanto, são incapazes de viver fora do seu “hospedeiro” e seu genoma é bem menor que o de uma alga azul. Estudos do RNA ribossomal confirmaram a localização intermediária das “canelas” de Glaucophyta entre as cianobactérias e os cloroplastos;

- O sequenciamento do RNA ribossomal de mitocôndrias, cloroplastos e organismos procariontes reafirmou que existem ligações filogenéticas próximas entre as mitocôndrias e certas bactérias heterotróficas aeróbicas, e entre os cloroplastos e cianobactérias fotoautotróficas.

O surgimento do primeiro organismo fotossintetizante eucariótico e flagelado teria sido a partir de um organismo eucariótico primitivo, há cerca de 2 a 3 bilhões de anos atrás. Este organismo seria fagotrófico, amebóide e anaeróbico, uma vez que a atmosfera do referido período não tinha oxigênio. Esta hipótese é considerada a mais provável, pois alguns organismos eucarióticos atuais apresentam protoplasma fluido e formam pseudópodos capazes de englobar partículas sólidas em vacúolos digestivos. Organismos procarióticos conhecidos apresentam protoplasma duro e viscoso, não formam pseudópodos, não contêm vacúolos e não são capazes de se alimentar fagotroficamente através da ingestão de partículas sólidas.

Ao redor de 2 bilhões de anos atrás, um destes organismos eucariontes primitivos fagocitou aquela que seria uma “promitocôndria”. Esta seria um procarionte saprotrófico aeróbico. Nesta época, a atmosfera já era rica em oxigênio, uma vez que a aproximadamente 3 bilhões de anos atrás, há evidências do aparecimento das cianobactérias, organismos capazes de fazer fotossíntese, com liberação de oxigênio. Esta promitocôndria **não** foi digerida pelo “hospedeiro”, mas sim incorporada ao interior da célula eucariótica primitiva, exercendo o papel fisiológico da respiração celular, ou da mitocôndria. Assim, o organismo eucarionte primitivo passava a ocupar outros ambientes, pois se tornara aeróbico.

Há cerca de um bilhão de anos, um dos organismos eucarióticos aeróbicos, resultante do primeiro evento de endossimbiose, teria fagocitado outro organismo procariótico, saprofítico, só que desta vez, móvel. Este procarionte (inteiramente hipotético) possuía microtúbulos em seu interior como os flagelos atuais (onde se observa um par de túbulos centrais e nove pares de túbulos periféricos). O procarionte móvel não teria sido totalmente ingerido pelo hospedeiro eucarionte, tornando-se uma organela que possibilitaria ao hospedeiro maior facilidade de locomoção.

Nesse período, o retículo endoplasmático teria sido formado através da invaginação da membrana plasmática, e a partir deste, a carioteca ou membrana nuclear. Apesar dos corpos basais dos flagelos apresentarem certa autonomia genética, sua origem a partir de um evento simbiótico ainda é questionável. A partir deste organismo eucarionte flagelado surgiram os demais organismos heterotróficos, desde protozoários unicelulares até animais e fungos multicelulares.

Finalmente, um organismo flagelado heterotrófico, aproximadamente no mesmo período, teria ingerido um organismo procariótico fotossintetizante, dando origem ao primeiro organismo eucarionte autotrófico. Estes organismos fototróficos flagelados primitivos deram origem aos diferentes grupos de algas e, conseqüentemente, às plantas terrestres. A análise da ultraestrutura de uma grande diversidade de organismos revelou que em alguns grupos os cloroplastos apresentavam organização distinta, envolvidos por não apenas duas, mas por três ou quatro membranas. Tal característica poderia ser explicada considerando-se que o evento da endossimbiose não foi único e que eventos secundários, ou seja, o englobamento de uma alga já com cloroplasto, envolvendo organismos de linhagens distintas tiveram como resultado o surgimento dos grupos com estas organelas com a referida organização (Figura 1.4). Assim, grupos que apresentam de três a quatro membranas envolvendo o cloroplasto seriam resultados de endossimbioses secundárias ou mesmo terciárias, como é o caso dos dinoflagelados. A figura 1.5 apresenta um esquema da teoria da endossimbiose e a provável origem dos principais grupos de algas.

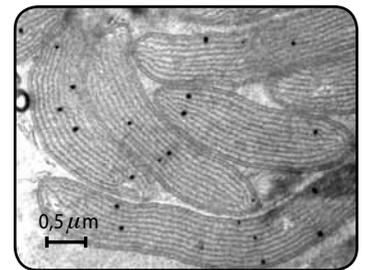


Figura 1.4 – Microscopia eletrônica de transmissão de cloroplastos de *Bostrychia radicans* (Montagne) Montagne (Cortesia: T. Rover & Z. Bouzon – LCME/UFSC).

Para ir mais longe

Para entender melhor o assunto, organize uma linha do tempo, representando nela, através de desenhos esquemáticos, o ancestral primitivo eucarionte evoluindo até chegar ao organismo eucarionte autotrófico.

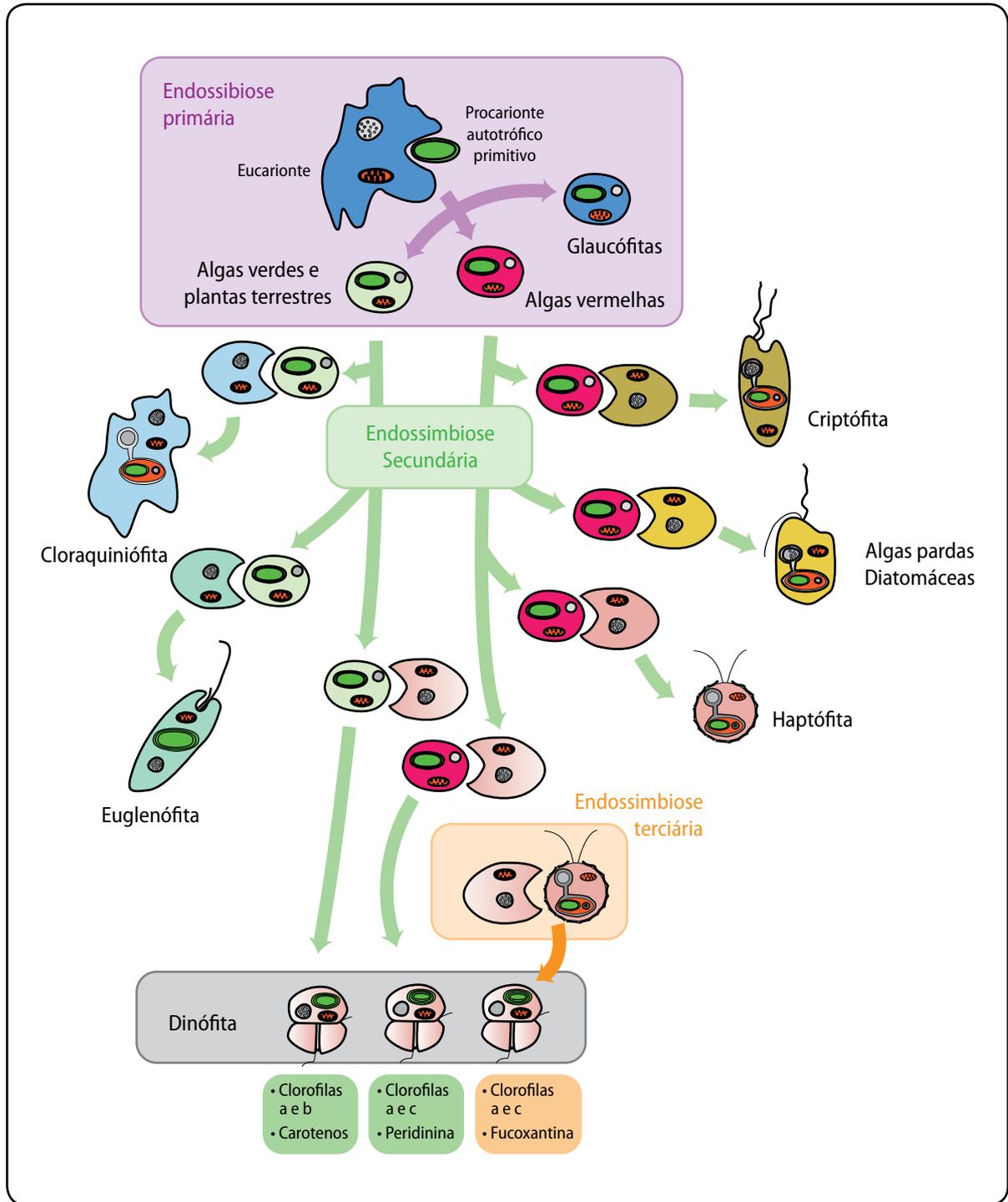


Figura 1.5 – Diagrama representando os eventos relacionados à Teoria da Endossimbiose e a origem dos principais grupos de algas.

1.3 Sistemas de Classificação

A ficologia ou algologia representa a área da ciência que estuda as algas, e tem suas raízes no início da história da humanidade. No Oriente, as algas já faziam parte do cardápio dos primeiros imperadores; gregos e romanos faziam igualmente uso destes organismos aquáticos. Em grego, *Phycus* significa alga, sendo que os primeiros registros referem sua utilização como adubo pelos habitantes da Grécia antiga.

As algas ganharam espaço em sistemas de classificação em meados do século XVIII, quando Linnaeus as agrupou na classe Cryptogamia, juntamente com os fungos, musgos, samambaias e líquens. Com o avanço dos equipamentos e das técnicas de microscopia, Copeland, em 1939, propôs o agrupamento dos organismos vivos em quatro reinos:

- i. **Monera** – representado por organismos procarióticos como bactérias e algas azuis;
- ii. **Proctista** – representado por organismos eucarióticos sem a diferenciação de tecidos, incluindo algas, protozoários e fungos, uni e pluricelulares;
- iii. **Metaphyta** – agrupando as plantas terrestres de maneira geral;
- iv. **Metazoa** – representando os animais pluricelulares.

Em uma nova tentativa de agrupar a biodiversidade conhecida, Whittaker estruturou a base conceitual de um sistema de classificação na forma de organização celular e nos três principais tipos de nutrição: fotossíntese, absorção e ingestão. Os fungos foram separados dos outros organismos e 5 reinos foram propostos: **Monera, Protista, Plantae, Animalia e Fungi**. Nessa organização, as macroalgas foram incluídas no reino Plantae e as microalgas foram incluídas no Reino Protista. Entretanto, a organização proposta prejudicou o entendimento dos processos evolutivos envolvidos na origem dos diferentes grupos e suas classificações.

Nos últimos 20 anos, a taxonomia dos eucariontes obteve importantes avanços representados pelos trabalhos de Margulis &

Schwartz (1988), Cavalier-Smith (1998) e Adl *et al.* (2005) (Figura 1.6). Entretanto, apesar da vasta discussão, não existe um consenso no que se refere à organização suprafilética desses organismos fotossintetizantes. Desta forma, em nossa disciplina, o conteúdo será abordado considerando a evolução dos diferentes grupos e a teoria da endossimbiose, base para seu entendimento. Os grupos serão abordados segundo seus filos ou classes sem uma preocupação com a determinação do reino, ou nomenclatura equivalente para seu enquadramento. Com base nas últimas discussões, sugerimos a utilização da classificação proposta por Cavalier-Smith (1998), que agrupa os organismos eucariontes em 5 reinos: Protozoa, Plantae, Animalia, Fungi e Chromista.

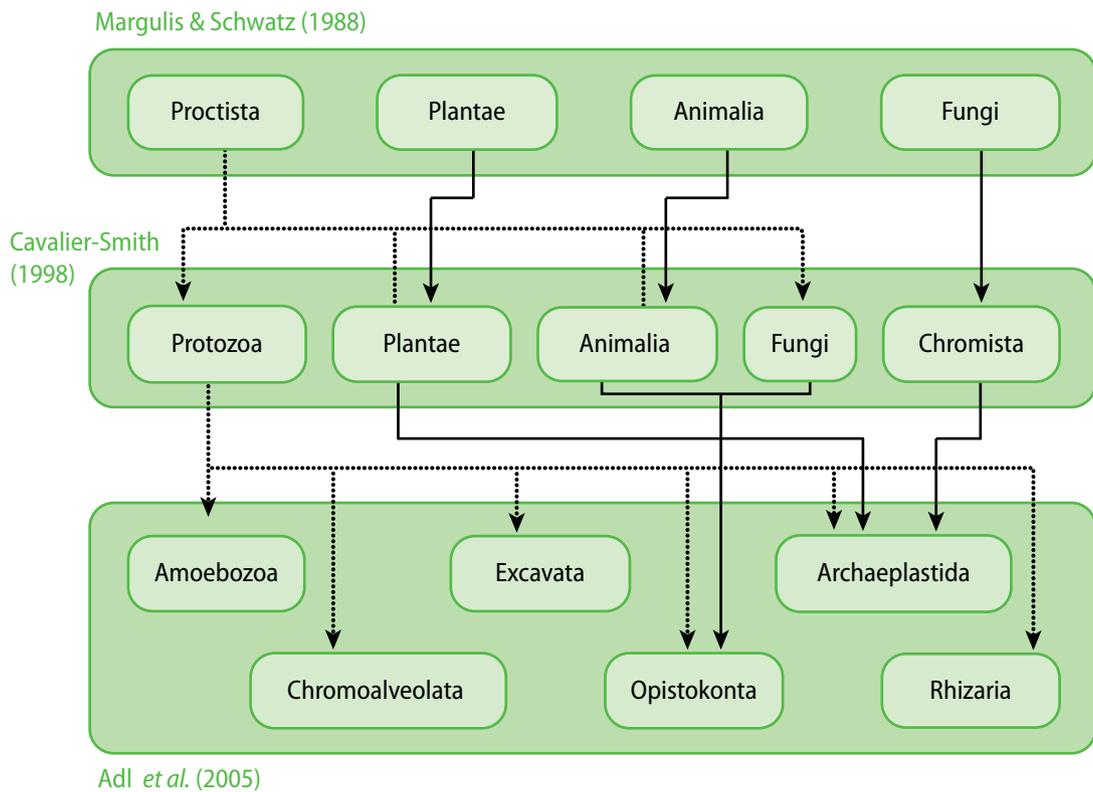


Figura 1.6 – Sistemas de classificação dos eucariontes, proposto por diversos autores (caixas cinzas). As linhas pontilhadas representam a divisão dos grupos propostos em novos grupos e as linhas cheias a realocação dos grupos existentes.

Resumo

A Sistemática é a parte da Biologia que estuda a classificação dos seres vivos a partir de características comuns e histórias evolutivas.

O conjunto de espécies se agrupa em uma categoria maior chamada gêneros, que se agrupam em famílias, as famílias em ordens, as ordens em classes, as classes em filos (ou divisões) e os filos em reinos. As espécies são denominadas de acordo com o Sistema Binominal, sendo escritas em latim, no formato *itálico* ou sublinhadas. O primeiro nome se refere ao gênero, e o segundo ao epíteto específico, que caracteriza a espécie em questão.

Cada categoria do sistema de classificação (de espécies até reinos) reúne grupos de organismos que recebem diferentes denominações. Cada grupo é um táxon (cujo plural denomina-se taxa), e a Taxonomia é parte da Sistemática que analisa um determinado organismo de acordo com suas características, para posicioná-lo dentro de um táxon.

A teoria da endossimbiose

A teoria da endossimbiose é baseada na hipótese de que os organismos eucariontes modernos teriam surgido através da ingestão, por um organismo primitivo não-fotossintetizante, de células procarióticas, que posteriormente se desenvolveram em organelas como mitocôndrias, cloroplastos e flagelos. Alguns argumentos sustentam essa teoria:

- a existência de organismos modernos com endossimbiontes;
- a autonomia de cloroplastos e mitocôndrias no interior da célula, que possuem seu próprio DNA e podem se dividir independente do núcleo;
- a similaridade morfológica entre alguns cloroplastos com as “cianelas” e as cianobactérias;
- as ligações filogenéticas, baseadas em evidências de Biologia Molecular, entre mitocôndrias e bactérias heterotróficas aeróbicas e entre cloroplastos e cianobactérias fotoautotróficas.

Segundo essa teoria, esses organismos flagelados primitivos teriam dado origem aos demais grandes grupos vegetais. A presença atual de cloroplastos com três ou quatro membranas evidencia que a endossimbiose provavelmente não foi um único evento e que tais organelas teriam surgido através de endossimbioses secundárias ou terciárias.

Sistemas de Classificação

Os Sistemas de Classificação dos seres vivos mais aceitos atualmente:

1. **Sistema de Whittaker** (1969): Monera, Protista, Plantae, Animalia e Fungi;
2. **Sistema de Margulis & Schwartz** (1988): Monera, Proctista, Plantae, Animalia e Fungi;
3. **Sistema de Cavalier-Smith** (1998): Bacteria, Protozoa, Plantae, Animalia, Fungi e Chromista;
4. **Sistema de Adl et al.** (2005): Amoebozoa, Chromoalveolata, Excavata, Opisthokonta, Archaeplastida, Rhizaria (exclusivo para eucariontes).

Referências

ADL, S. M.; SIMPSON, A. G. B.; FARMER, M. A.; ANDERSEN, R. A.; ANDERSON, O. R.; BARTA, J. R.; BOWSER, S. S.; BRUGEROLLE, G.; FENSOME, R. A.; FREDERICQ, S.; JAMES, T. Y.; KARPOV, S.; KUGRENS, P.; KRUG, J.; LANE, C. E.; LEWIS, L. A.; LODGE, J.; LYNN, D. H.; MANN, D. G.; MCCOURT, R. M.; MENDOZA, L.; MOESTRUP, Ø.; MOZLEY-STANDRIDGE, S. E.; NERAD, T. A.; SHEARER, C. A.; SMIRNOV, A. V.; SPIEGEL, F. W.; TAYLOR, M. F. J. R. The new higher level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. *Journal of eukaryotic microbiology*, v. 52, n. 5, p. 399-451, 1995.

BELL, P. R.; HEMSLEY, A. R. *Green Plants: their origin and diversity*. 2. ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.

CAVALIER-SMITH, T. A revised six-kingdom system of life. *Biological Reviews*. v. 73, p. 203-266, 1998.

JOLY, A. B. *Botânica: introdução à taxonomia vegetal*. São Paulo: Edusp, 1975.

MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. V. *Five kingdoms: an illustrated guide to the phyla of life on Earth*. Nova Iorque: W. H. Freeman and Company, 1988. p. 192-193.

OLIVEIRA, E. C. *Introdução à biologia vegetal*. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2003.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia vegetal*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

WHITTAKER, R. New concepts of kingdoms or organisms: evolutionary relations are better represented by new classifications than by the traditional two kingdoms. *Science*, n. 163, p. 150-160, 1969.