

Macroevolução

Cronologia evolutiva, Paleontologia, Multicelularidade,
Complexidade, Extinções em Massa

Professor Fabricio R Santos
fsantos@icb.ufmg.br
Departamento de Biologia Geral, UFMG

Macroevolução ?



Strata

Datação de fósseis (relativa, absoluta)

- radioisótopos
- taxa de declínio
- taxa de acúmulo



© 2000 Brooks/Cole - Thomson Learning

Fossilização

- organismos (partes duras e moles)
- habitat
- acesso



© 2000 Brooks/Cole - Thomson Learning

Variedade de fósseis



Osso de dinossauro em arenito - *Dinosaur National Monument* (EUA)



Crânios de *Australopithecus* sp. e *Homo erectus* (África)

Árvores petrificadas (EUA)



Impressão de folhas



Pegadas de Dinossauros



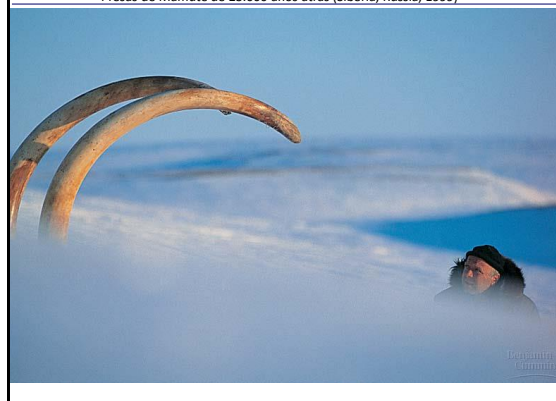
Paluxy River, EUA

Vale dos dinossauros
Sousa (Paraíba, Brasil)

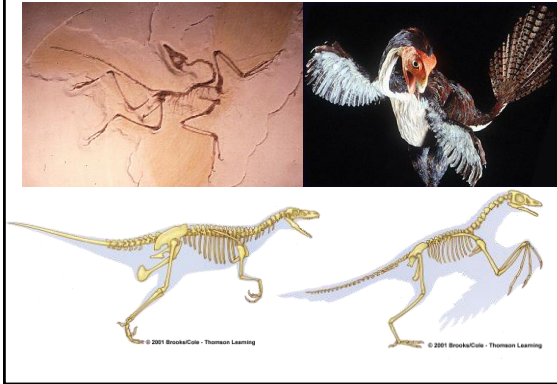
Escorpião no âmbar



Presas de Mamute de 23.000 anos atrás (Sibéria, Rússia, 1999)



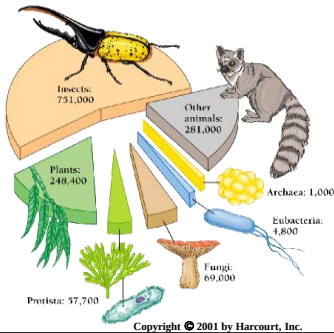
Interpretando o registro fóssil



Macroevolução: Como evoluem os órgãos?



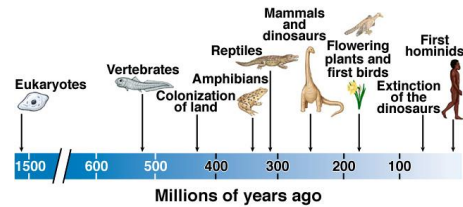
Macroevolução: Como evoluiu a biodiversidade na Terra?



Ao redor de 1,7 milhões de espécies estão catalogadas... A maioria destas são insetos. Estima-se que há 8,7 milhões de espécies de eucariotos, pelo menos. Provavelmente, o número de espécies de procariotos é também muito maior do que antes se estimava, embora o conceito de espécie neste caso seja bem diferente.

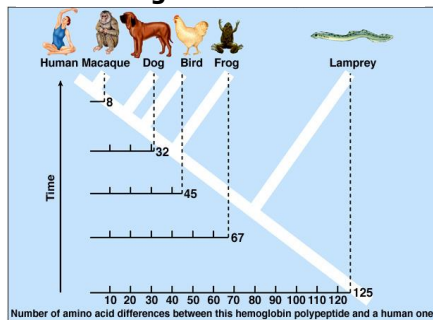
Copyright © 2001 by Harcourt, Inc.

Cronologia do aparecimento de táxons

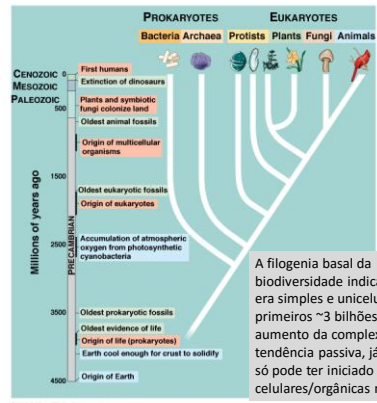


Todos os fósseis encontrados apresentam um padrão cronológico consistente com a origem de grupos taxonômicos inferida não apenas pela paleontologia, mas também pela morfologia, fisiologia comparada e genética de espécies atuais.

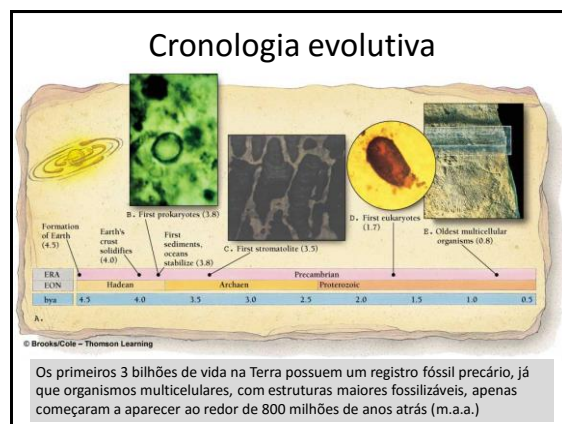
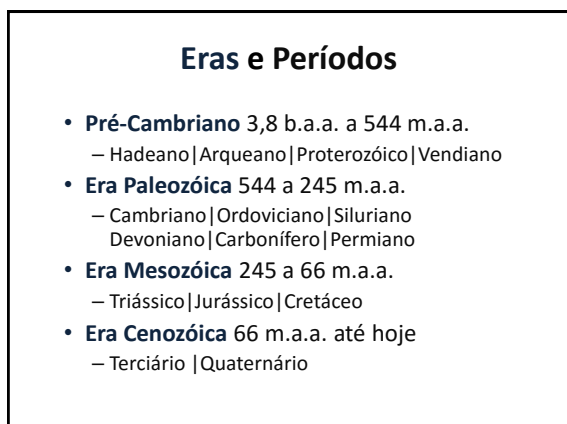
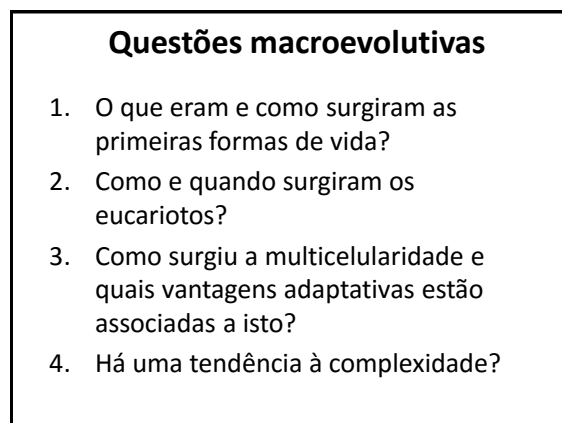
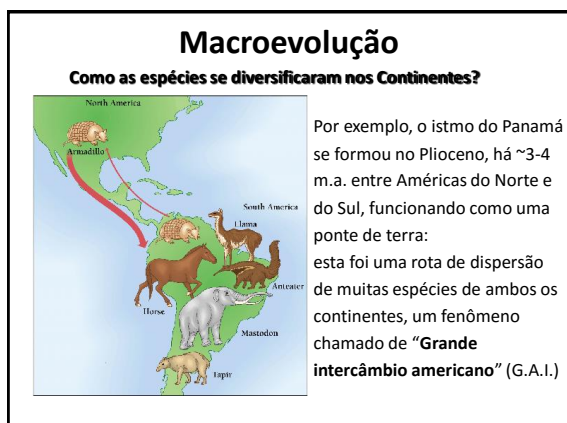
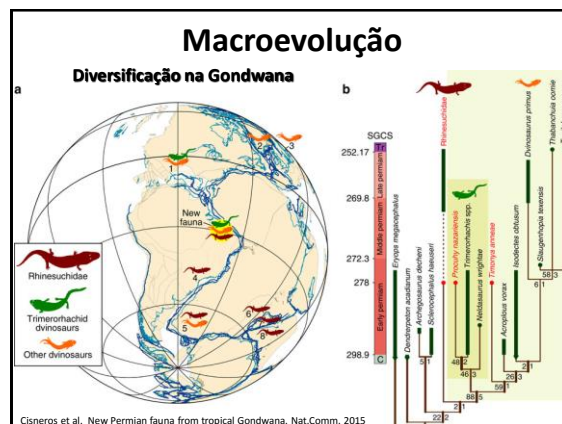
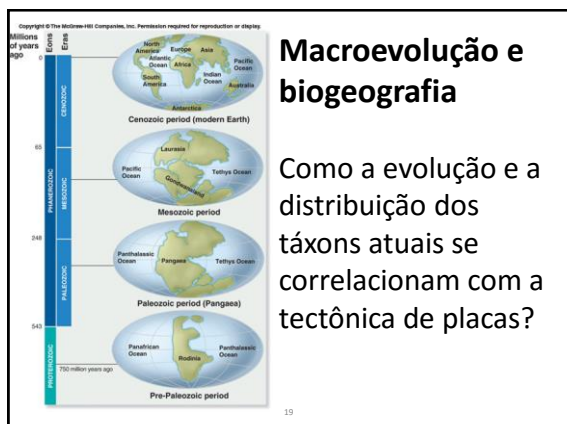
Divergência evolutiva



Macroevolução e genética: existe um padrão filogenético e de divergência genética consistente com a história de ancestralidade comum inferida por distintas disciplinas.

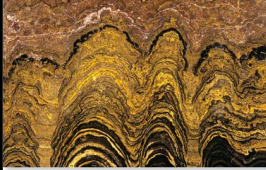


A filogenia basal da biodiversidade indica que a vida era simples e unicelular nos primeiros ~3 bilhões de anos. O aumento da complexidade é uma tendência passiva, já que a vida só pode ter iniciado com formas celulares/orgânicas muito simples.



As cianobactérias (dos estromatólitos) foram as primeiras formas de vida?

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



(a) Fossil stromatolite



(b) Modern stromatolites
a: Dirk Wiersma/SPL/Photo Researchers, Inc.; b: © Roger Garwood & Trish Anstie/CORBIS

Teoricamente, não! Mas foram as primeiras formas de vida a deixarem restos fossilizados.

E, muito provavelmente, estes estromatólitos do passado são muito diferentes (talvez nem sejam ancestrais) dos atuais!

Domínios e Reinos

(a) A five-kingdom system



(b) An eight-kingdom system

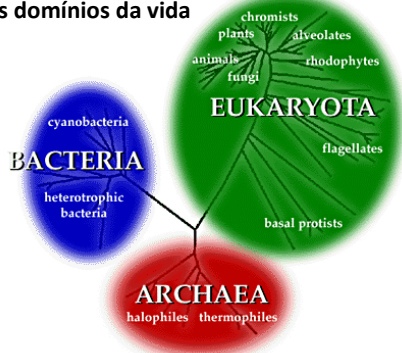


(c) A three-domain system



© 1999 Addison-Wesley Longman, Inc.

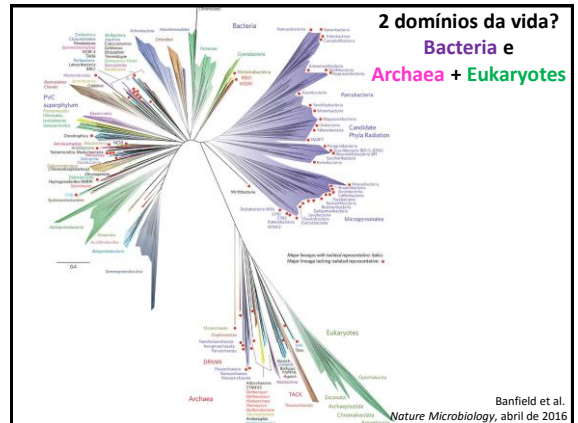
Os três domínios da vida



Carl Woese et al., 1970's

2 domínios da vida?

Bacteria e Archaea + Eukaryotes

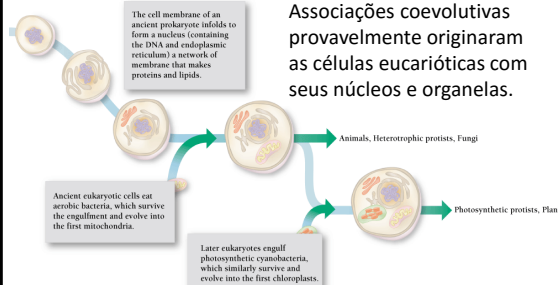


Banfield et al.

Nature Microbiology, abril de 2016

Origem dos Eucariotos

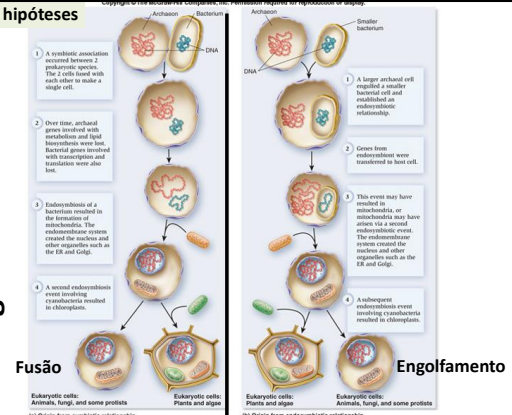
Associações coevolutivas provavelmente originaram as células eucarióticas com seus núcleos e organelas.



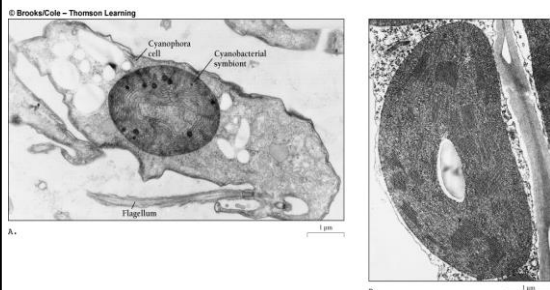
© Brooks/Cole - Thomson Learning

Duas hipóteses

Origem dos Eucariotos



Endossimbiose (cloroplastos)



Nos primeiros 3 bilhões de anos, eventos de transferência horizontal deveriam ser muito comuns, podendo envolver organismos dos 3 domínios. Os cloroplastos são provavelmente derivados de endossimbiontes cianobacterianos.

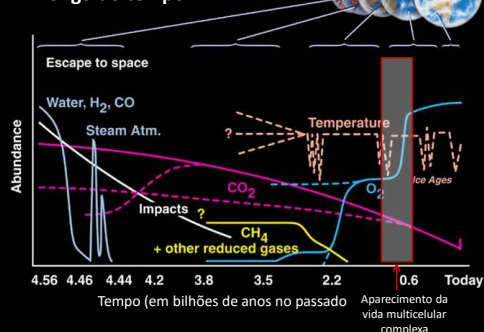
Vida multicelular complexa*

- O primeiro eucarioto “sexuado” registrado em fóssil é uma alga vermelha filamentosa de 1,2 b.a.a. (*Bangiomorpha pubescens*)
- As primeiras algas típicas multicelulares aparecem há ~800 m.a. quando a atmosfera já era oxidante (rica em O_2)
- Explosão Cambriana** (~580 e 500 m.a.a.). Neste período, apareceram três faunas multicelulares completamente distintas: **Ediacara (Vendiana)**, **Tommotiana** e a de **Burgess Shale** (além de outras recentemente descobertas)
- Últimos 500 m.a. : enorme diversidade de espécies, mas quase nenhum Filo** novo (o número de Filos diminuiu).

* aqui consideraremos os organismos multicelulares complexos, mas alguns autores consideram apenas as colônias como organismos multicelulares, preferindo utilizar a definição “pluricelular” para estes organismos mais complexos do que colônias.

**um Filo em Metazóários corresponde a um plano corporal diferenciado.

Atmosfera da Terra ao longo do tempo



Organismos Multicelulares

A. Vantagens da multicelularidade

B. Desafios da multicelularidade

C. Os primeiros organismos multicelulares:

- Plantas — algas marinhas (~800 m.a.a.)
- Animais — invertebrados marinhos (~650 m.a.a.)

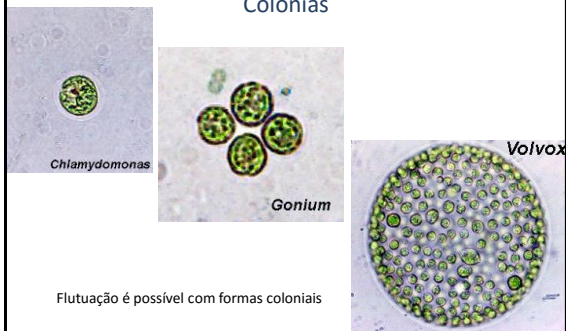
Primeiros agrupamentos de células

Colônias

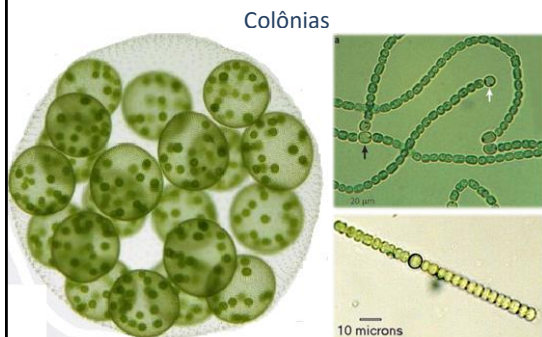
- Todas células são idênticas, sem diferenciação funcional;
- Há uma relação de cooperação entre células;
- Aglomerados globosos e filamentos são tipos de colônias com alguma diferenciação;
- Talvez favoreça flutuação, fixação e outras funções;
- Ex: *Volvox*, estromatólitos e várias outras.

Primeiros agrupamentos de células

Colônias



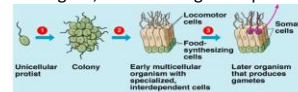
Primeiros agrupamentos de células



Multicelularidade

Corpos complexos

- Permite corpos maiores e ocupação de diversos nichos;
- Divisão de funções acompanhada da diferenciação de células, tecidos, órgãos;
- Requer desenvolvimento mais complexo;
- Sexo parece ser um requisito para a complexidade;
- Apareceu várias vezes:
 - Algas marinhas – 3 linhagens, uma deu origem às plantas;
 - Fungos;
 - Animais.



Sexo e Multicelularidade

Bangiomorpha pubescens
(um tipo de alga vermelha de 1,2 b.a.a.)

Primeiro eucarioto a apresentar evidências claras de reprodução sexual



- A multicelularidade complexa aparentemente começou poucos milhões de anos após a reprodução sexual;
- Apareceu nos oceanos do Pré-cambriano.

Multicelularidade em Metazoários



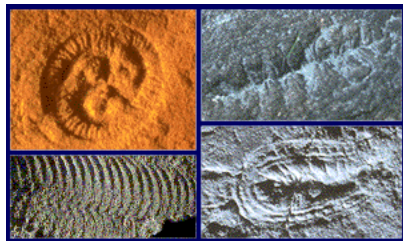
Vendiana 650 m.a.a. Tomotiana 530 m.a.a. Burgess ~520 m.a.a.

Pré-Cambriano

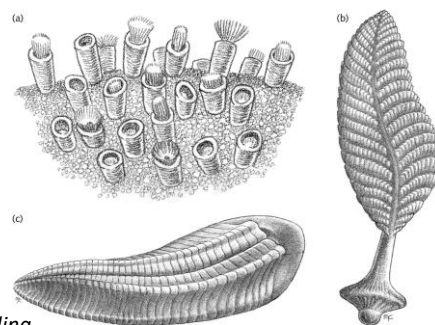
Cambriano

Fauna Vendiana ou Ediacara

650 a 544 milhões de anos atrás (Pré-Cambriano) – Sibéria, Austrália

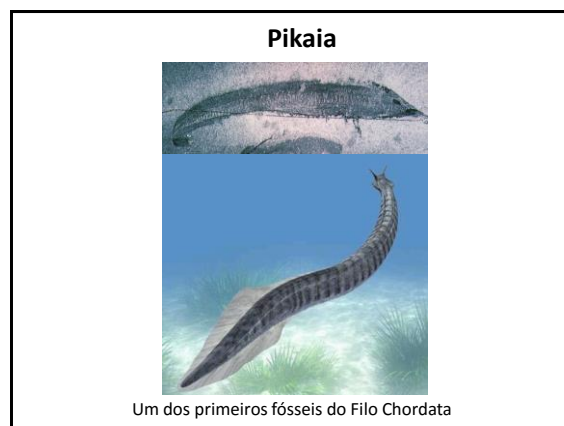
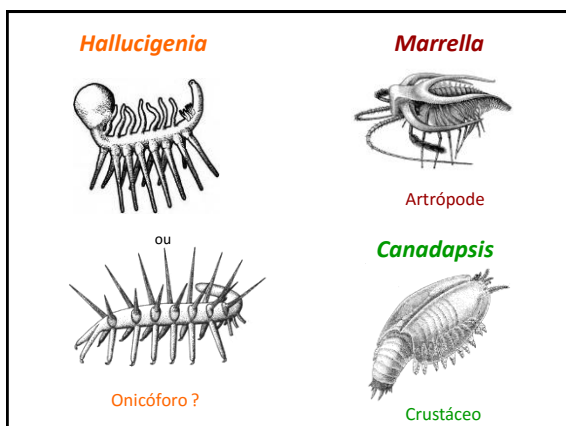
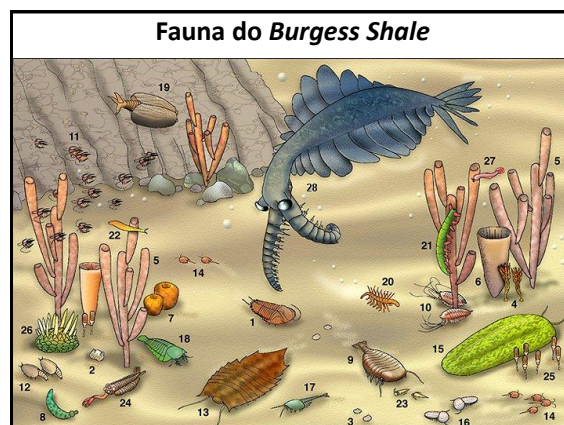
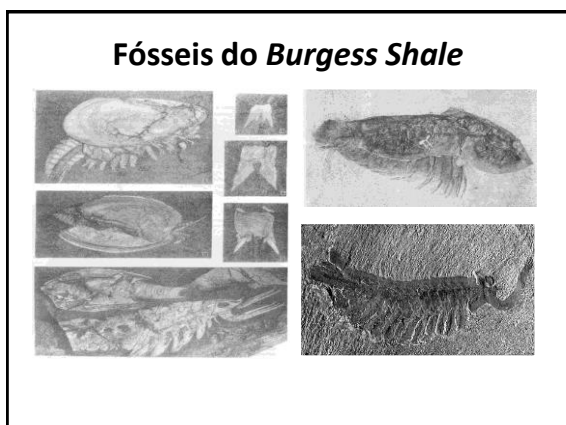


Filos extintos? Cnidários? Vermes rastejando na lama?



a. *Cloudina*
b. *Spriggina*
c. Artrópode?

Fauna vendiana

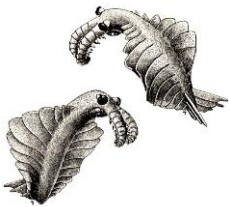


Opabinia

Filo desconhecido

Wiwaxia

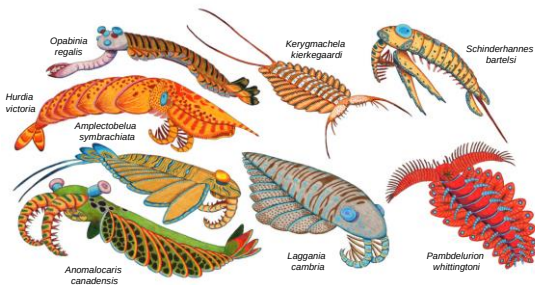
Filo desconhecido

Anomalocaris

Filo desconhecido

Anomalocaris saron

Sítio paleontológico: Chengjiang Maotianshan Shales (China) – 525 m.a.

Filo dos Anomalocarídeos ?

Encontrados em Burgess Shale (Canadá), Chengjiang (China) e Sirius Passet (Groenlândia)

Haikouella lanceolata**Primeiro cordado parecido com Craniados**Sítio paleontológico:
Chengjiang Maotianshan
Shales – 525 m.a.

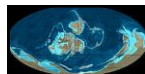
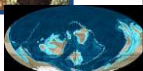
Era Paleozóica (544 a 245 m.a.a.)

Cambriano | Ordoviciano | Siluriano | Devoniano | Carbonífero | Permiano



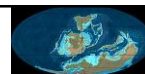
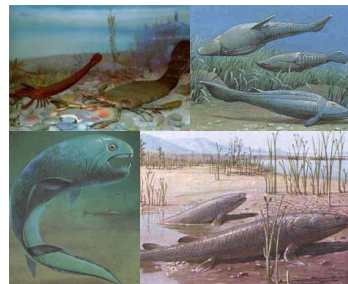
Ordoviciano

(488 a 443 m.a.a.)



Siluriano e Devoniano

(443 a 416 m.a.a.) – (416 a 359 m.a.a.)



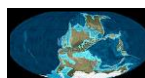
Celacanto fóssil



Tiktaalik

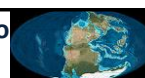


Ichthyostega



Carbonífero e Permiano

(359 a 299 m.a.a.) – (299 a 245 m.a.a.)

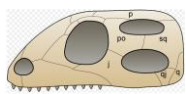


Grandes florestas e
Metazoários terrestres

Ovo
amniótico



Anápsidos



Diápsidos



Sinápsidos

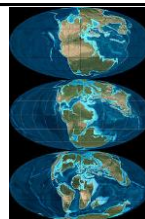
Era Mesozóica

(245 a 65 m.a.a.)

Triássico (245 a 208 m.a.a.)

Jurássico (208 a 146 m.a.a.)

Cretáceo (146 a 65 m.a.a.)



Angiospermas

140 m.a.a.



Era Cenozóica

(65 m.a.a. até hoje)

Terciário (65 a 2,58 m.a.a.)

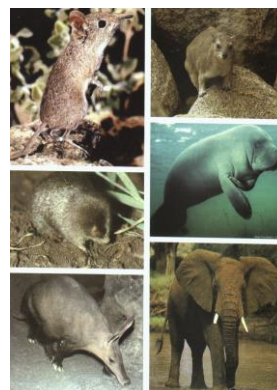
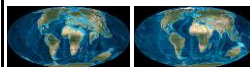
Paleoceno (65 a 54 m.a.a.)

Eoceno (54 a 38 m.a.a.)

Oligoceno (38 a 23 m.a.a.)

Mioceno (23 a 5 m.a.a.)

Plioceno (5 a 2,58 m.a.a.)



Era Cenozóica

Quaternário (2,58 m.a.a. até hoje)

Pleistoceno (2,58 m.a.a. a 11.700 a.a.)

Holoceno (11.700 a.a. até hoje)



Extinção

• EXTINÇÃO E TAXA DE EVOLUÇÃO

- É estimado que muito mais do que **99%** de todas as espécies que já habitaram a Terra estão agora extintas, a maioria há milhões de anos.
- Causas de extinção?
- **Grandes extinções** – restritas a alguns táxons e regiões
- **Extinções em Massa** – 5 grandes extinções globais
- Atualmente: a **6ª grande extinção** parece ser de natureza antrópica

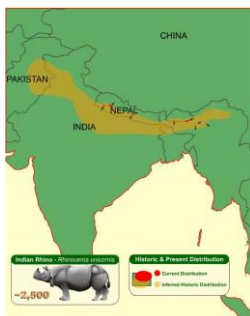
Classes de Extinção



Extinção Global



Extinção Ecológica



Extinção Local

Classes de Extinção



Extinção na Natureza



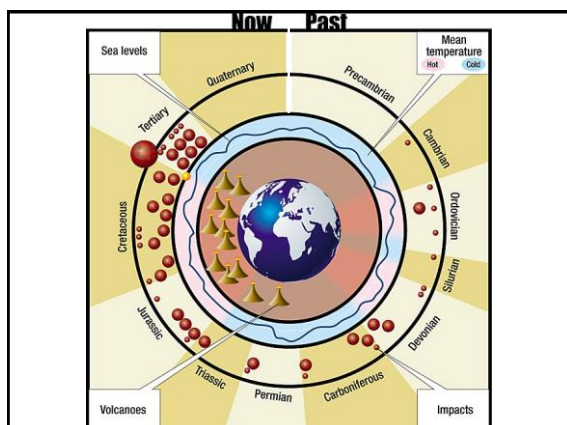
Extinção Comercial

Extinção da Megafauna



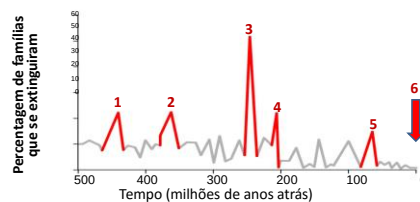
Extinções em Massa

- A taxa de extinção tem sido relativamente constante desde o **Cambriano** com exceção de 5 eventos de extinção em massa, que também marcam o fim de alguns períodos.
- Durante cada um destes eventos, distintos grupos de organismos desapareceram repentinamente no registro fóssil.



Geocronologia e megaextinções

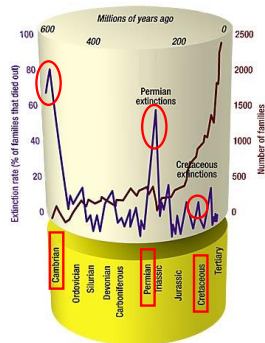
Extinções em massa marcam o fim da maioria dos períodos geológicos



- | | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1. 440 m.a.a. ORDOVICIANO | 4. 200 m.a.a. TRIÁSSICO |
| 2. 360 m.a.a. DEVONIANO | 5. 65 m.a.a. CRETÁCEO |
| 3. 250 m.a.a. PERMIANO | 6. Hoje ? HOLOCENO |

Extinções em Massa

Dentre as mais drásticas mega-extinções pode estar incluída uma **possível extinção em massa do final do Pré-Cambriano** – devido aos altos níveis aeróbicos (O_2) e um megafenômeno de resfriamento global (*snowball earth*).



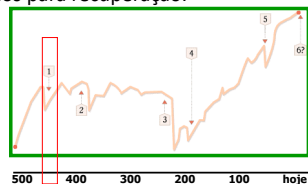
Terra bola-de-neve



Esta hipótese científica considera que a Terra teria se tornado muito fria pouco antes de 650 milhões de anos atrás, mas recuperou sua temperatura normal após 10 milhões de anos por atividades de vulcanismo.

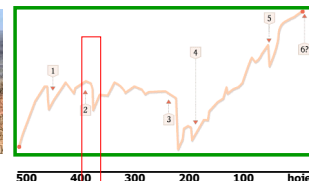
Extinções em Massa

- **Ordoviciano** (440 m.a.a.) -- 50% das famílias de metazoários foram extintas.
 - Movimento de Gondwana em direção ao polo sul.
 - Glaciação, vulcanismo, diminuição do nível do mar.
 - 25 milhões de anos para recuperação.



Extinções em Massa

- **Devoniano** (360 m.a.a.) -- 30% das famílias de metazoários foram extintas, principalmente nos mares rasos (para alguns, são até 7 extinções consecutivas)
 - Glaciação, meteoritos?
 - 30 milhões de anos para recuperação

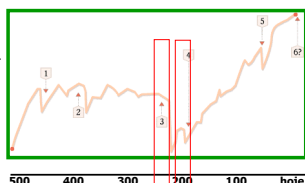


Extinções em Massa

- **Permiano** (250 m.a.a.) -- 50% das famílias de metazoários, incluindo 95% das espécies marinhas, foram extintas.
 - Glaciação, tectônica de placas
 - Erupções vulcânicas
 - 100 milhões de anos para recuperação (combinada com Triássico)

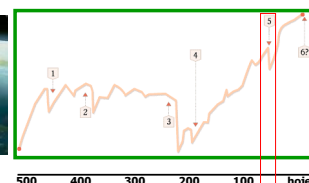


- **Triássico** (200 m.a.a.) -- 35% das famílias de metazoários foram extintas.



Extinções em Massa

- **Cretáceo** (65 m.a.a.) -- 60% das espécies animais se extinguíram, incluindo dinossauros.
 - Impacto de Meteorito, erupções vulcânicas.
 - 20 milhões de anos para recuperação.



Grandes extinções recentes

- **Extinções do Pleistoceno** (12.000 anos atrás)
Extinção da Megafauna
 - América do Norte: 73% dos grandes mamíferos (mamutes, tigres dentes de sabre)
 - América do Sul: 80% dos grandes mamíferos e aves.
 - Austrália: 80% das espécies da Megafauna.
 - Nova Zelândia: 100% de perda da Megafauna.
 - Hipótese da caça pelos humanos no final do Pleistoceno + mudanças climáticas.

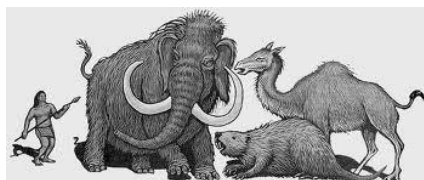
Extinção em Massa Atual?

Holoceno

A taxa com que as espécies estão se extinguindo é muito maior que a taxa com que novas espécies se originam. Alguns cálculos sugerem que a taxa de extinção está entre 1000 a 10.000 x mais rápida que 500 anos atrás.

Principais causas apontadas são todas de natureza antrópica, intensificadas pela superpopulação humana mundial, hoje acima de 7 bilhões de pessoas (mais de 30 x maior do que seria considerado em teoria, ecologicamente sustentável).

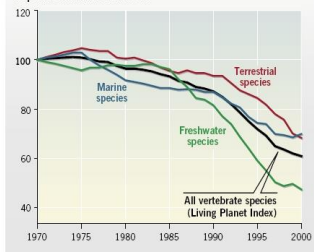
Grandes extinções antropogênicas



Restrita a alguns grupos taxonômicos
Ex: extinção da megafauna nas Américas no final do Pleistoceno
 está associada às mudanças climáticas e caça por humanos

A sexta Megaextinção

Population index 100 in 1970



Declínios registrados desde 1970 nas populações e espécies de vertebrados terrestres, marinhos e de água-doce (UNEP – CDB).

Este declínio estimado é significativamente maior do que nas outras megaextinções, como a do Cretáceo, associada à extinção dos dinossauros.

Source: World Wide Fund for Nature and UNEP
 World Conservation Monitoring Centre⁴

Causa mais provável: antropismo

Extinção do final do Cretáceo



A mais famosa extinção ocorreu há 65 m.a. entre o **Cretáceo** e **Terciário**.

Resultou na extinção dos, e metade de todas as espécies animais (dinossauros, pterossauros, amonitas e outros) e de plantas.

Impacto do Asteróide na Península de Yucatán no final do Cretáceo



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Em 2010, chegou-se a um consenso entre cientistas que esta é a única explicação plausível até o momento para a extinção no final do Cretáceo.

Dinossauros e Aves



Archaeopteryx

Archaeopteryx é considerada a primeira ave: 150 m.a.a.



© Sally A. Morgan; Eocene/CORBB

Evolução do voo e das aves



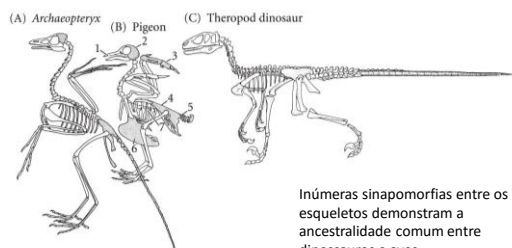
Vários dinossauros com penas foram descobertos, mas todos encontrados com penas típicas eram mais recentes que o *Archaeopteryx*, a ave mais antiga já encontrada.



Uma reconstrução de um dinossauro Theropode emplumado chamado *Anchiornis huxleyi*, descoberto no nordeste da China em 2009.

Este fóssil mais antigo que o *Archaeopteryx* indica a existência de penas típicas nos dinossauros, antes das aves. No entanto, não está claro se praticavam voo ativo ou apenas planado.

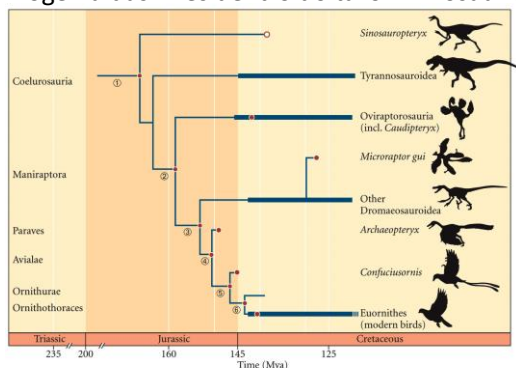
Esqueletos de um *Archaeopteryx*, um pombo moderno e um dromeossaurídeo terópode



EVOLUTION 2e, Figure 4.8

© 2009 Sinauer Associates, Inc.

Filogenia das Aves dentro do táxon Dinosauria



EVOLUTION 2e, Figure 4.7

© 2009 Sinauer Associates, Inc.