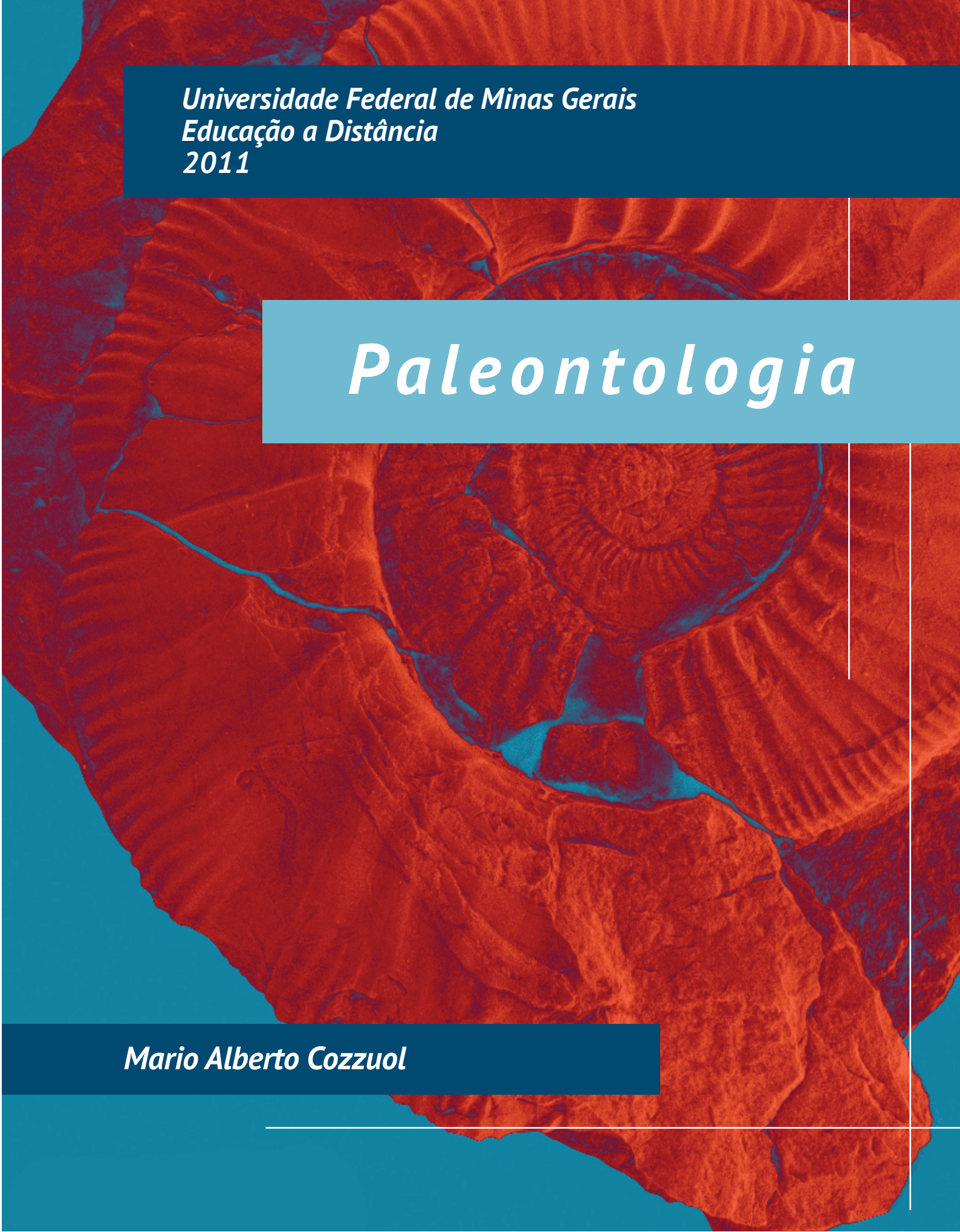


Universidade Federal de Minas Gerais
Educação a Distância
2011

Paleontologia

Mario Alberto Cozzuol

Paleontologia

Mario Alberto Cozzuol

Paleontologia

Belo Horizonte
CAED-UFMG
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Prof. Clélio Campolina Diniz
Reitor
Profª. Rocksane de Carvalho Norton
Vice-Reitora
Profª. Antônia Vitória Soares Aranha
Pró-Reitora de Graduação
Prof. André Luiz dos Santos Cabral
Pró-Reitor Adjunto de Graduação

CENTRO DE APOIO À EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA
Prof. Fernando Selmar Rocha Fidalgo
Diretor de Educação a Distância
Prof. Wagner José Corradi Barbosa
Coordenador da UAB/UFMG
Prof. Hormindo Pereira de Souza Junior
Coordenador Adjunto da UAB/UFMG

EDITOR CAED-UFMG
Prof. Fernando Selmar Rocha Fidalgo

CONSELHO EDITORIAL
Profª. Ângela Imaculada Loureiro de Freitas Dalben
Prof. Dan Avritzer
Profª. Eliane Novato Silva
Prof. Hormindo Pereira de Souza
Profª. Paulina Maria Maia Barbosa
Profª. Simone de Fátima Barbosa Tófani
Profª. Vilma Lúcia Macagnan Carvalho
Prof. Vito Modesto de Bellis
Prof. Wagner José Corradi Barbosa

COLEÇÃO EAD – BIOLOGIA
Coordenadora: Gleydes Gambogi Parreira
LIVRO: Paleontologia
Autor: Mario Alberto Cozzuol
Revisão: Jussara Maria Frizzera
Projeto Gráfico: Laboratório de Arte e Tecnologia para Educação/EBA/UFMG
Este livro recebeu apoio financeiro do Pró-licenciatura (SEED-MEC) e da UAB/CAPES.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca da Escola de Belas Artes da UFMG, MG, Brasil)

Cozzuol, Mario Alberto
C882p Paleontologia / Mario Alberto Cozzuol. – Belo Horizonte: CAED-UFMG, 2011.
136 p. : il. (algumas color.) ; 27 cm.

ISBN: 978-85-64724-03-7

1. Paleontologia. 2. Ensino a distância. I. Título. II. Universidade Federal de Minas Gerais.

CDD: 560
CDU: 56

Ficha catalográfica elaborada por Luciana de Oliveira M. Cunha, CRB-6/2725
Este livro recebeu apoio financeiro do Pró-licenciatura (SEED-MEC) e da UAB/CAPES.

Sumário

Nota do editor 08
Apresentação do coordenador 09
Apresentação do autor 10

AULA I - Introdução. Processos de fossilização e tipos de fósseis. Tafonômia. Associações fósseis. 12
Objetivos 13
1. Introdução 13
2. Processos de fossilização e tipos de fósseis 14
3. Tafonomia e tipos de associações fósseis 17
Autoavaliação 19

AULA II - Estratigrafia e Paleontologia. Unidades geológicas. Correlação. Bioestratigrafia. Geocronologia, escala do tempo geológico. Eventos geo-bióticos que determinam as divisões do tempo. 20
Objetivos 21
1. Introdução 21
Autoavaliação 25

AULA III - O "Pré-cambriano". Hadeano, Arqueano e Proteozóico. Extensão temporal, limites. Eventos geológico e bióticos. Expansão da vida. 26
Objetivos 27
1. Hadeano 27
2. Arqueano 28
3. Proterozóico 30
4. Paleogeografia do Proterozóico 31
5. A Vida no Proterozóico 32
Autoavaliação 33

AULA IV - Fanerozoico, introdução. Paleozoico, introdução. Cambriano. Explosão cambriana. Biota e paleogeografia. 34
Objetivos 35
1. Introdução 35
2. Cambriano 36
3. A vida no Cambriano 38
Autoavaliação 41

AULA V - Ordoviciano. Diversificação. Extinção do final do período. Biota e paleogeografia. 42
Objetivos 43
1. Introdução 43
2. A vida do Ordoviciano 46
Autoavaliação 51

AULA VI - Siluriano e Devoniano.
A expansão dos ecossistemas continentais.
Aparição dos vegetais terrestres e artrópodes terrestres e
Tetrápodes. Biota e paleogeografia. 52
Objetivo 53
1. Siluriano 53
1.1. Paleogeografia no Siluriano 54
1.2. Clima no Siluriano 55
1.3. Vida no Siluriano 56
2. Devoniano 57
2.1. Paleogeografia no Devoniano 58
2.2. Clima no Devoniano 59
2.3. Vida no Devoniano 61
Autoavaliação 65

AULA VII - Carbonífero. Diversificação dos Tetrápodes.
A glaciação do final do Carbonífero. Biota e paleogeografia. 66
Objetivos 67
1. Introdução 67
2. Paleoclimas no Carbonífero 69
3. Biota no Carbonífero 70
4. Plantas no Carbonífero 71
5. Fauna no Carbonífero 73
Autoavaliação 76

AULA VIII - Permiano. Consolidação da biota terrestre.
A grande extinção do Permo-Triássico. Biota e paleogeografia. 78
Objetivos 79
1. Introdução 79
2. Paleogeografia no Permiano 80
3. Paleoclima no Permiano 80
4. Biota no Permiano 81
5. Fauna no Permiano 82
6. Extinção Permo-Triássica 83
Autoavaliação 84

AULA IX - Mesozoico, Introdução. Triássico. A Recuperação da Biota.
Origem dos Mamíferos e Dinosauria. Biota e Paleogeografia. 86
Objetivos 87
1. Introdução 87
3. Paleogeografia 88
4. Paleoclimas 89
5. Biota 90
6. Extinção no fim do Triássico 93
Autoavaliação 93

AULA X - Jurássico. Biota e paleogeografia. 94
Objetivos 95
1. Introdução 95
2. Paleogeografia no Jurássico 96
3. Paleoclima no Jurássico 96
4. Biota no Jurássico 98
Autoavaliação 103

AULA XI - Cretáceo. Extinção do K-T. Biota e paleogeografia. 104
Objetivo 105
1. Introdução 105
2. Paleogeografia no Cretácio 106
3. Paleoclima no Cretácio 107
4. Biota no Cretácio 107
5. A Extinção no Cretácio 109
Avaliação 110

AULA XII - Cenozóico, introdução. Paleógeno. A recuperação da biota. Radiação dos mamíferos e aves. Biota e paleogeografia. 112
Objetivos 113
1. Introdução 113
2. Paleogeno 114
3. Paleogeografia no Paleógeno 114
4. Biota no Paleogeno 117
Autoavaliação 121

AULA XIII - Neógeno. A expansão dos ambientes abertos. Biota e paleogeografia. 122
Objetivo 123
1. Introdução 123
2. Paleogeografia 123
3. Biota 126
Autoavaliação 127

AULA XIV - Quaternário. Glaciações. Evolução humana. Biota e paleogeografia. 128
Objetivos 129
1. Introdução 129
2. Glaciações 129
3. Fauna 130
Autoavaliação 131

NOTA DO EDITOR

A Universidade Federal de Minas Gerais atua em diversos projetos de Educação a Distância, que incluem atividades de ensino, pesquisa e extensão. Dentre elas, destacam-se as ações vinculadas ao Centro de Apoio à Educação a Distância (CAED), que iniciou suas atividades em 2003, credenciando a UFMG junto ao Ministério da Educação para a oferta de cursos a distância.

O CAED-UFMG (Centro de Apoio à Educação a Distância da Universidade Federal de Minas Gerais), Unidade Administrativa da Pró-Reitoria de Graduação, tem por objetivo administrar, coordenar e assessorar o desenvolvimento de cursos de graduação, de pós-graduação e de extensão na modalidade a distância, desenvolver estudos e pesquisas sobre educação a distância, promover a articulação da UFMG com os polos de apoio presencial, como também produzir e editar livros acadêmicos e/ou didáticos, impressos e digitais, bem como a produção de outros materiais pedagógicos sobre EAD.

Em 2007, diante do objetivo de formação inicial de professores em serviço, foi criado o Programa Pró-Licenciatura com a criação dos cursos de graduação a distância e, em 2008, com a necessidade de expansão da educação superior pública, foi criado pelo Ministério da Educação o Sistema Universidade Aberta do Brasil – UAB. A UFMG integrou-se a esses programas, visando apoiar a formação de professores em Minas Gerais, além de desenvolver um ensino superior de qualidade em municípios brasileiros desprovidos de instituições de ensino superior.

Atualmente, a UFMG oferece, através do Pró-licenciatura e da UAB, cinco cursos de graduação, quatro cursos de pós-graduação *lato sensu*, sete cursos de aperfeiçoamento e um de atualização.

Como um passo importante e decisivo, o CAED-UFMG decidiu, neste ano de 2011, criar a Editora CAED-UFMG como forma de potencializar a produção do material didático a ser disponibilizado para os cursos em funcionamento.

O primeiro desafio foi a publicação dos livros da coleção Educação a Distância, série Biologia. Agradecemos aos autores e à equipe de produção pela competência e dedicação que garantiram, com certeza, o nível de excelência desta obra apresentada à comunidade acadêmica.

Fernando Selmar Rocha Fidalgo
Editor

CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS NA MODALIDADE "EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA"?
Formação de um Biólogo, e com Licenciatura? IMPOSSÍVEL! Sim, foi esta a minha reação inicial, Bióloga e também licenciada em Ciências. E, para aumentar minha surpresa, fui designada para coordenar a produção dos fascículos, que deveriam ser escritos em uma linguagem em que os alunos não prescindissem da presença física do professor em sala de aula, ou seja, DESAFIADOR! Sim, foi esta a incumbência que a UFMG recebeu do MEC e que nós, professores do Instituto de Ciências Biológicas, abraçamos, com nossas limitações sim, mas acima de tudo com a certeza de que envidaríamos todos os nossos esforços para que os fascículos fossem produzidos.

Na minha primeira reunião com os redatores, me fizeram a seguinte pergunta: "Como se escreve para alunos que estão à distância, sem os recursos acadêmicos?" Minha resposta "... Não sei!" Mas imediatamente me ocorreu que, na verdade, os escritores fazem isto o tempo todo e conseguem, com magnitude, atingir centenas de milhares de leitores.

E no caso do conteúdo da Biologia não seria diferente, pois o nosso "tema" está ao nosso redor, nas plantas, nos animais visíveis a "olho nu" e, se invisíveis, nos levando a outra dimensão do conhecimento. E, acima de tudo, "nós" somos um dos temas da Biologia, concordam? Ou será que a CÉLULA está presente somente no título do livro? Enquanto lemos, falamos, andamos e entendemos o que nos está sendo ensinado, são elas, as células, é que estão funcionando! E se sofremos a invasão de microorganismos, são eles que as invadem e que provocam sua reação e acionam seu metabolismo celular.

E a amplitude que propusemos atingir viaja também entre os conhecimentos macroscópicos desde o estudo do corpo humano como um todo até organismos que habitam o entorno do mesmo, como: parasitas, visíveis ou não a olho nu; insetos, benéficos ou causadores de doenças; plantas, desde aquelas que nos encantam o olhar e acariciam nossa alma até aquelas de que necessitamos para nos alimentar ou para produzir medicamentos que combatem doenças adquiridas por nosso corpo; enfim, todo contexto da nossa vida integrada com a natureza.

E, neste pensamento, descobrimos que escrever um fascículo para alunos que não estejam próximos de nós é muito mais interessante do que pensávamos, pois o nosso leitor é o nosso parceiro, o nosso co-autor!

Bem vindos ao Ensino a Distância!

Dra. Gleydes Gambogi Parreira
Coordenadora da Produção de Fascículos de Biologia

APRESENTAÇÃO

Neste fascículo trataremos sobre o registro fóssil da vida ao longo da história da Terra. Começamos com informações básicas sobre como um fóssil e gerado, noções sobre o tempo geológico e a Geologia, para melhor entender os fósseis. Nos capítulos seguintes trataremos segmentos temporais que constituem unidades desde o ponto de vista da evolução da biota no planeta. Cada uma delas incluirá informação sobre a paleogeografia, o paleoclima e os principais eventos geológicos do período, assim como o registo dos grupos de plantas e animais que caracterizam cada momento. O contexto geral do texto é a Evolução biológica e como ela acompanha as mudanças globais.

Espero ter atingido o objetivo de levar a vocês a história da vida no planeta de forma compreensível e accessível.

Mario Alberto Cozzuol



AULA I

INTRODUÇÃO.
PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO E TIPOS DE FÓSSEIS.
TAFONÔMIA.
ASSOCIAÇÕES FÓSSEIS.

OBJETIVOS

No fim desta aula, os alunos deverão ter compreendido:

a. Os processos que levam a formação de um ***fóssil***;

b. Os diferentes tipos de ***fóssil***;

c. O processo ***tafonômico***;

d. As diferentes associações de fósseis e a informação que cada uma delas fornece para o estudo dos mesmos.

1. INTRODUÇÃO

A Paleontologia é a ciência que estuda os ***restos*** de organismos vivos ou vestígios dos mesmos, organizando-os temporal e espacialmente para tentar entender a morfologia, evolução, ecologia e as relações biogeográficas no passado e seus vínculos com o presente.

Fóssil é uma palavra derivada do latim, *fossile*, que faz referência ao que foi achado cavando, já que a maioria dos ***restos fósseis*** é achada enterrada, embora não todos os ***fósseis*** sejam encontrados desta forma. Assim, os ***fósseis*** não são organismos, mas objetos geológicos derivados de organismos vivos. Além de restos de organismos (tais como ossos, conchas, madeiras, etc.), são ***fósseis*** também as pegadas, as impressões deixadas por um organismo cujos restos desapareceram, produtos do metabolismo dos organismos ou qualquer outro indício de atividade biológica.

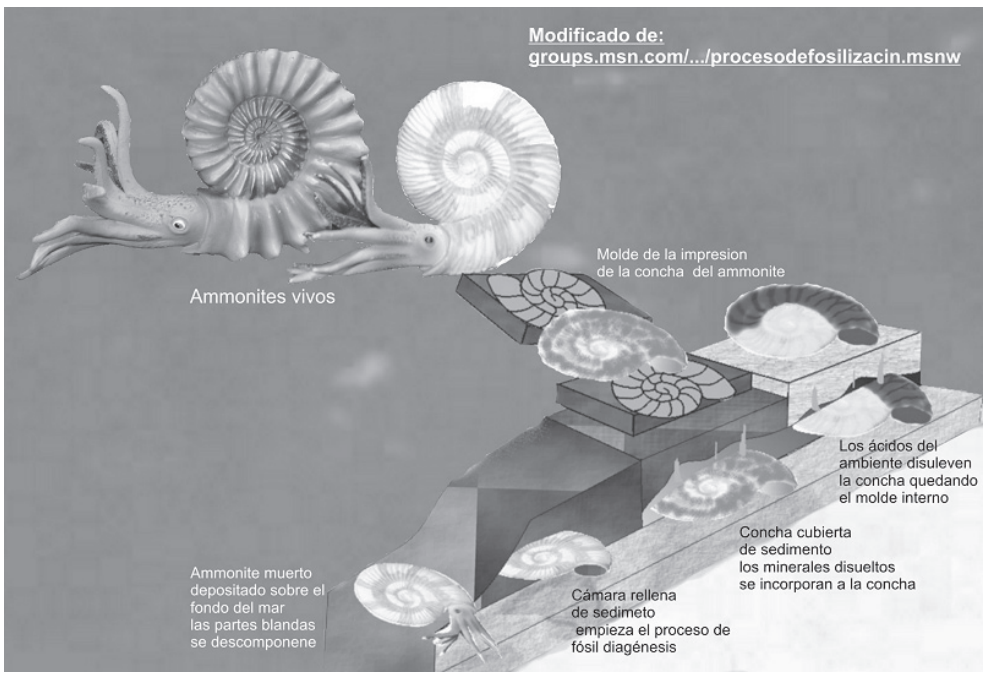
O estudo da Paleontologia pode ser abordado sob uma perspectiva geológica, quando os ***fósseis*** são utilizados para estabelecer correlações entre diferentes camadas de rochas, para estimar sua antiguidade ou para entender o ambiente no qual as rochas se formaram. Isto é o que se conhece como Paleontologia Estratigráfica e o interesse nos aspectos biológicos são subordinados ao seu valor como fornecedores de informação geológica.

Outra forma de abordar a Paleontologia é com o olhar biológico, onde o

foco são os aspectos biológicos relacionados ao ***fóssil***, como suas relações taxonômicas, sua posição na evolução do grupo, seu papel ecológico, etc. Isto é o que chamamos de ***Paleobiologia*** e, embora não deixamos de lado os aspectos geológicos, nosso enfoque será fundamentalmente paleobiológico.

2. PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO E TIPOS DE FÓSSEIS

A maneira como um organismo, ou vestígio dele, se transforma em um ***fóssil*** é um processo complexo e extremamente aleatório. A quantidade de eventos que tem que acontecer para a formação de um ***fóssil*** faz com que apenas uma pequena parte dos organismos, que alguma vez viveram, chegou a se fossilizar e somente uma pequena parte deles foram ou vão ser recuperados.



Esquema do processo de formação de um fóssil.

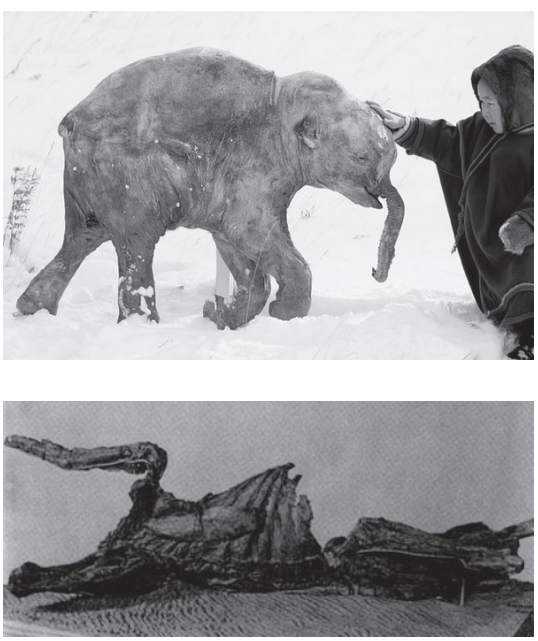
Por isso, um ***fóssil*** é um objeto precioso, uma fonte de informação única, que merece o máximo de atenção no seu estudo. Esse estudo não se limita apenas ao ***fóssil*** em si mesmo, mas ao seu entorno e às características do local onde ele foi achado. As características desse local, os tipos de sedimentos, a forma em que o ***resto*** foi achado, sua posição, seu grau de preservação, assim como os demais ***fósseis*** que foram achados juntos a ele, fornecem informações sobre o modo de vida do organismo que o originou, a forma como morreu e o processo que o trouxe aos dias de hoje.

Os ***restos fósseis*** podem ser classificados segundo o tipo que, por sua vez, é uma consequência do processo de fossilização. Os ***fósseis*** mais comuns e melhores conhecidos são aqueles que partes dos organismos foram conservadas, normalmente as partes duras, como carapaças ou ossos; são chamados de

restos. Normalmente, essas partes sofrem um processo de mineralização, total ou parcial, onde toda ou parte de sua estrutura original é preenchida ou substituída por minerais presentes no ambiente onde o processo aconteceu. Os minerais mais comuns são sílicas, carbonatos de cálcio ou magnésio, ferros em diversas formas (normalmente como óxidos, mas também como sulfatos, como a pirita). Outros tipos de minerais podem participar do processo, mas com menos freqüência.

Quando os minerais se depositam apenas na superfície do ***resto***, temos uma ***incrustação***. Mas se esses mesmos minerais entram nas brechas, cavidades e canais deixados pelas partes moles, o reconhecemos como um ***permineralização***. Nestes dois casos, o ***resto*** original está preservado, tanto na sua composição como na sua estrutura. Quando ocorre ***recristalização***, ou seja, a modificação da estrutura cristalina do ***resto***, a composição química permanece a mesma, mas sua estrutura se perde, fazendo com que o resto conserve apenas a sua forma original, mas não sua microestrutura interna. Na ***substituição***, as substâncias originais que formava o ***resto*** são substituídas por outras substâncias, presentes mais comumente no ambiente em que o processo está ocorrendo, sendo as mais comuns o carbonato de cálcio, a sílica ou o ferro nas suas diferentes formas de óxidos ou sulfatos. Neste caso, a composição original se perde, mas a estrutura, (dependendo de como a substituição ocorreu: velocidade, tamanho das partículas, etc.), pode ter se preservado.

Em casos especiais, em ***restos*** como madeiras e outros de origem vegetal (compostos em parte por lignina e celulose), mas também em ***restos*** animais com predomínio de queratina ou quitina e, em condições especiais e particularmente na ausência de oxigênio, pode ocorrer perda dos seus componentes voláteis, restando uma película de carbono que conserva grande parte das características originais e permite o estudo detalhado da anatomia e microestrutura desses ***restos***. Este tipo é chamado de ***carbonificação***, ***incarbonização*** ou, simplesmente, ***carbonização***.



*Exemplos de **fósseis** especiais: filhote de mamute lanudo da Sibéria, congelado no solo, e múmia de uma dinossáurio, com parte dos tecidos moles conservados.*

Às vezes, quando condições excepcionais acontecem, outras partes dos organismos podem se preservar. Em condições de frio extremo, os ***restos*** mortais dos organismos podem congelar e evitar, assim, a decomposição das

partes moles. Se as condições se prolongam, esses ***restos*** podem ser achados muito tempo depois, como é o caso dos mamutes lanudos no norte da Sibéria, conservados no solo permanentemente congelado ***(permafrost)***. Já em ambiente onde o organismo morre é muito seco, os fluídos evaporam antes que o processo de decomposição ocorra (devido ao crescimento dos microrganismos e outros descomponedores) e se dá origem a um processo de ***mumificação*** natural, conservando-se assim tanto as partes duras quanto as moles, mas desidratadas.

Em alguns ambientes, como fundos de lagos com circulação restrita, com pouco ou nenhum oxigênio presente, não existem microrganismos descomponedores e nem predadores que possam degradar a matéria orgânica, que se preserva parcialmente. Assim, folhas, galhos e troncos de árvores, insetos e outros animais, que vivam no lago ou apenas caiam nele depois de morrer, conservarão muito mais que apenas as partes duras.



Fósseis *especiais: ave conservada em um ambiente anóxico, conservando o contorno do corpo e parte dos tecidos moles.*

Em algumas localidades, afloramentos naturais de hidrocarbonetos, normalmente na forma de piche, são cobertos superficialmente por uma camada de água e lama. Quando os animais se aproximam para beber, podem cair e ficar presos no piche, preservando muito bem as ossadas e até algumas partes moles. Também, quando os ***restos*** são sepultados em sedimentos muito finos e que criam camadas impermeáveis, como argilas ou lamas (***silte***), podem ficar selados no meio e não se decompõem de forma normal. Dependendo do organismo, podem se transformar em carvão (vegetais) ou hidrocarbonetos (***restos*** de animais e de algas). Os grandes depósitos de carvão da América do Norte, Inglaterra e China são antigas florestas que se conservaram enterradas nas argilas de pântanos. Nessas condições, não existe mineralização, mas preservação da matéria orgânica original (***carbonização***).

Os exemplos acima citados se referem a ***restos*** dos organismos em si mesmos. Porém, nem sempre ***restos*** como esses chegam até nós. Muitos ***fósseis*** são apenas ***vestígios*** dos organismos originais ou de suas atividades, que ficaram conservados nos sedimentos. Neste tipo, se incluem alguns dos mais antigos ***fósseis*** conhecidos, os ***estromatólitos***, que são depósitos laminares de carbonato, produzidos pela atividade de um tapete vivo de um grupo de bactérias fotossintéticas chamadas de ***cianofíceas***. Esses organismos foram os responsáveis por criar as condições ambientais que conhecemos hoje e que permitem o tipo de vida atual, principalmente por ter produzido boa parte do oxigênio livre presente na atmosfera.

Também são ***vestígios*** os moldes ou réplicas naturais dos organismos deixados nos sedimentos onde foram sepultados. Assim, depois de soterrada, uma concha é dissolvida, restando apenas um ***molde externo*** da mesma. Esse molde, quando naturalmente preenchido por minerais dissolvidos na água que penetra nos sedimentos, forma uma réplica natural chamada de ***contramolde***. Em ambos os casos se conserva apenas a aparência externa do organismo, mas não a sua estrutura interna.



Estromatolito.

Os vestígios da atividade de movimentação (pegadas e marcas de deslocamento), de alimentação (deixada no substrato quando o organismo se alimentava), de abrigo (como tocas ou tubos de vermes ou artrópodes), de reprodução (como ninhos ou casulos nos sedimentos), são conhecidos como ***icnofósseis***, palavra derivada do grego *ichnos*, que significa pegada ou traço. Estes ***fósseis***, mesmo não sendo parte dos organismos, são especialmente importantes, porque nos permitem ter uma idéia, parcial e aproximada, sobre o comportamento dos organismos extintos, algo que não poderia ser obtido apenas dos ***restos*** dos mesmos.



Coprólito, *fezes fossilizadas de um dinossauro.*

Os ***icnofósseis*** podem ser estudados sob diferentes óticas, sendo as que mais nos interessam as que abordam os aspectos do comportamento e os aspectos ecológicos. Desse o ponto de vista geológico, os ***icnofósseis*** são muito utilizados como elementos de correlação temporal e como indicadores ambientais.

3. TAFONOMIA E TIPOS DE ASSOCIAÇÕES FÓSSEIS

A ***tafonomia*** estuda os processos que ocorrem entre a morte do organismo e a sua descoberta como ***fósseis***. Os estudos desses processos permitem recuperar informações valiosas referentes não apenas aos organismos em si, mas também sobre as características ecológicas do ambiente em que viveram e morreram. Também permite descobrir como o processo de fossilização modificou os ***restos*** ou ***vestígios***, o que nos dá a possibilidade de distinguir o que é uma característica original do organismo e o que se deve a alterações *post-mortem*.

Nos ***estudos tafonômicos***, devem ser atentadas as seguintes feições:

- ***Sedimentológicas –*** como tamanho, arranjo e posição dos ***restos***, densidade
- na matriz do sedimento e estruturas sedimentares de origem inorgânica e orgânica;
- ***Bioestratinômicas*** – a orientação dos ***restos*** em planta e na secção estratigráfica, grau de articulação dos ***restos***, como esqueletos ou carapaça com partes em conexão segundo sua estrutura original, fragmentação, corrosão e incrustação, indicadores sobre o tempo que os ***restos*** estiveram expostos antes de ser soterrados;
- ***Estratigráficas –*** espessura dos sedimentos que contém a associação, sua extensão areal, sua forma em planta e em corte, o que nos indica quanto tempo e em que áreas esses organismos viveram;
- ***Paleoecológicas –*** número de espécies que compõem a associação, abundância relativa de cada espécie, sua composição taxonômica, o modo de vida de cada espécie presente, as classes de tamanho como indicadoras da idade dos indivíduos;
- ***Composição dos restos –*** mineralogia, macro e microestruturas, para determinação de como se deu o processo de fossilização.

Os ***estudos tafonômicos*** nos permitem entender a que tipo de ***associação fossilífera*** corresponde a que está sendo analisada. As ***associações fossilíferas*** são qualquer acumulação relativamente densa de ***restos fósseis***, reconhecendo-se três tipos***,*** também chamadas de assembléias, dependendo do tempo que demorou em se formar e do grau de transporte que os ***restos*** sofreram antes e depois de fossilizar-se:

- Associações ***autóctones –*** são derivadas de uma comunidade local, na qual os ***fósseis*** se encontram bem preservados e, normalmente, em posição de vida; o tempo transcorrido na sua formação e o transporte sofrido pelos ***restos*** foi mínimo e limitado apenas ao período imediatamente *pós-mortem*;
- Associações ***parautóctones –*** são formadas por ***restos*** de organismos autóctones que, embora ainda presentes no seu local de vida, não estão em posição de vida e nem tão bem preservados, tendo sofrido algum grau de transporte, sugerindo que o tempo transcorrido entre a morte dos organismos e o seu soterramento foi maior;
- Associações ***alóctones –*** são compostas por ***restos*** que sofreram um grau considerável de transporte, fora do seu local de vida, podendo constituir, às vezes, acumulações que misturam organismos de diferentes tempos e áreas; esse tipo de associação possui pouca informação sobre a vida, a

ecologia e outros parâmetros biológicos dos organismos, mas nos indicam que ambiente predominava quando se originaram.

A quantidade de informações bióticas que cada uma das associações contém decresce do primeiro tipo até o último.

AUTOAVALIAÇÃO

a. O que é um fóssil e que tipos conhece?

b. De que fatores depende a preservação de um fóssil?

c. Em que condições podem se conservar partes moles ou estruturas delicadas?

d. O que é tafonômia e que tipos de estudos desenvolve?

e. Que tipos de associações fósseis conhece e que informação pode se recuperar de cada uma delas?



II

AULA II

ESTRATIGRAFIA E PALEONTOLOGIA.

UNIDADES GEOLÓGICAS.

CORRELAÇÃO.

BIOESTRATIGRAFIA.

GEOCRONOLOGIA, ESCALA DO TEMPO GEOLÓGICO. EVENTOS GEO-BIÓTICOS QUE DETERMINAM AS DIVISÕES DO TEMPO.

OBJETIVOS

No final desta aula, os alunos deverão ter compreendido:

a. Os conceitos básicos da geologia estratigráfica, unidades geológicas, correlação geológica;

b. A escala do tempo geológico, a forma em que é construída e suas divisões principais.

1. INTRODUÇÃO

Os fósseis são objetos geológicos e, como tal ocorrem num contexto geológico. Os ***fósseis*** são objetos geológicos e, como tal, ocorrem num contexto geológico. Assim, resulta importante para a compreensão da paleontologia estar familiarizado com os fundamentos e a terminologia da geologia. Esta ciência estuda a Terra para entender a estrutura, a composição e os processos que a formaram e continuam a modificá-la.

Uma parte da geologia, a ***estratigrafia***, se ocupa particularmente das rochas e depósitos sedimentares e, por isso, é a parte da disciplina mais diretamente vinculada à paleontologia. Os ***fósseis*** ocorrem sempre em rochas ou depósitos sedimentares, cujas origens e processos formadores estão intimamente ligados aos processos de fossilização, mas também ao produto do ambiente onde esses organismos viviam.

A geologia reconhece as áreas onde os sedimentos se depositam como ***Bacias Sedimentares***. Essas bacias podem ser ativas atualmente, ou seja, sedimentos podem estar se acumulando nelas ainda hoje; ou inativas que foram ativas

no passado, mas hoje estão sendo erodidas e, portanto, expondo sedimentos acumulados no passado e, com eles, os ***fósseis*** neles contidos. Dependendo da sua localização, as bacias sedimentares podem ser interiores ou marginais: as primeiras estão contidas entre rochas mais antigas elevadas na época da formação da bacia; e as segundas se localizam nas margens das placas continentais.

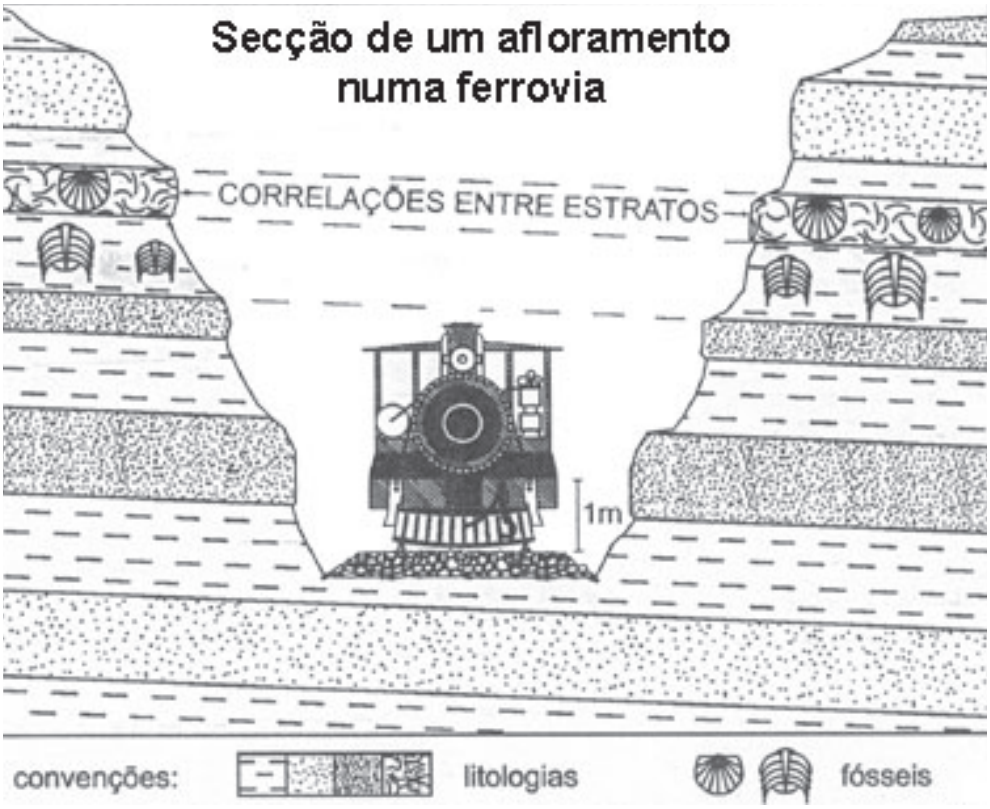


Mapa das bacias sedimentares do Brasil.

Como vimos anteriormente, a estratigrafia é a parte da geologia que trata das rochas sedimentares. Seus princípios básicos foram estabelecidos no século XVII, pelo dinamarquês Nicolau Steno. Ele definiu o ***princípio de superposição***, que diz que, num empilhamento de sedimentos não perturbados, as camadas inferiores são mais antigas que as superiores. Entre o século XVIII e o século XIX, foram elaborados princípios modernos, que hoje chamamos de ***princípio de correlação estratigráfica***, isto é, os métodos que se utilizam para estabelecer a correspondência entre as camadas sedimentares distantes entre si.

O inglês William Smith foi quem primeiro elaborou esses métodos, que se basearam no conteúdo de ***fósseis*** das diferentes camadas; assim, camadas contendo os mesmos fósseis, mesmo que distantes, deveriam ter a mesma idade. Esse é o fundamento da ***paleontologia estratigráfica***, que se baseia no conceito de ***fósseis guias,*** isto é, um fóssil que apresenta uma distribuição espacial extensa, é relativamente frequente nos afloramentos e tem uma distribuição temporal (***biocron***) bem definida e normalmente curta.

A classificação das camadas (ou mais propriamente os ***estratos***) pode ser de diversas maneiras. Os geólogos utilizam como base o que denominamos ***litoestratigrafia***, onde os critérios para a classificação são os ***litológicos***, isto é, os tipos de rochas que formam os estratos. A unidade fundamental da ***litoestratigrafia*** é a ***formação***, que se define como o conjunto de rochas, de uma ou mais litologias, relativamente homogêneo, aflorante na superfície ou na sub-superfície e que pode ser representado em um mapa de escala 1:25.000. As ***formações*** podem ser ainda subdivididas em ***membros,*** unidades menores e mais detalhadas, representáveis em mapas e que podem ser agrupadas em unidades maiores, os ***grupos***, que correspondem a um conjunto de formações com origem comum e distribuição espacial próxima. Essas unidades recebem nomes formais e a forma de nomeá-las está estabelecido em códigos que cada país desenvolve. No Brasil, temos o ***Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica***.



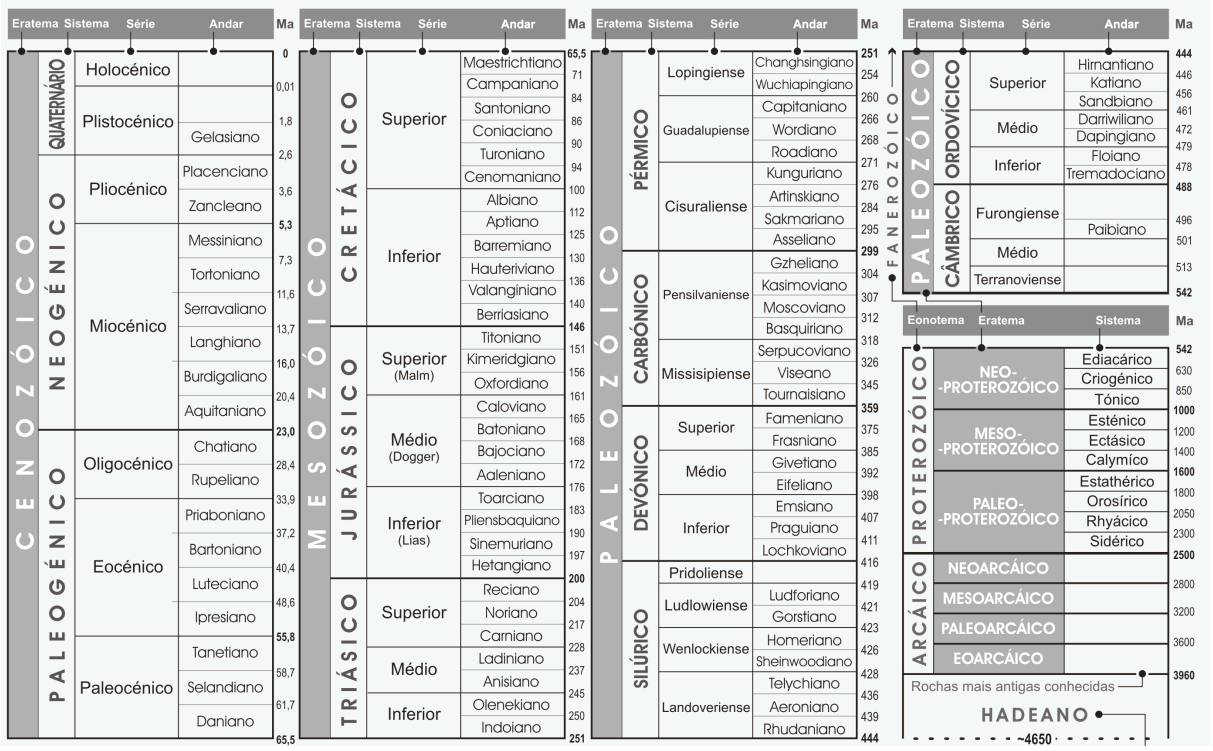
Esquema do conceito de correlação geológica utilizando fósseis.

A ***bioestratigrafia*** é a forma de classificação dos estratos baseada no conteúdo de seus ***fósseis***. A litologia, ou seja, o tipo de rocha, não importa para a classificação, mas apenas o tipo de ***fósseis*** que elas contêm. A unidade neste tipo de classificação é o ***biozona***, que pode ser subdivida em ***subzonas*** e agrupadas em ***superzonas***. Os limites entre cada unidade é estabelecido pela aparição e/ou extinção de certos táxons, assim como pela presença de associações particulares de táxons. Os zoneamentos podem ser propostos na base de uma associação ou de um grupo determinado de ***fósseis***, como ***braquiópodes, biválvios, trilobitas***, etc. A unidade recebe o nome do gênero ou espécies mais comum ou frequente nela.

A ***cronostratigrafia*** é a classificação dos estratos baseado no tempo como dado principal. Assim, uma unidade cronoestratigráfica se baseia em um conjunto de rochas que foi depositada num lapso determinado de tempo. A forma de determinar o tempo de um conjunto de rochas pode ser ***absoluto*** (quando é obtido através de datações radiométricas), ou ***relativo*** (quando sua idade é inferida através dos conteúdos das rochas, em particular os fósseis), o que permite determinar quais as rochas são mais ou menos antigas.

A ***Escala do Tempo Geológico*** que está em uso é a escala do tipo ***geocronológica***, na qual está representado apenas o tempo, com abstração das rochas ou do seu conteúdo. Ela começou a ser elaborada no século XVII e está em ajuste

permanente até os dias de hoje. Os nomes nessa escala se referem, muitas vezes, às regiões onde esse tempo foi pela primeira vez determinado; não surpreendentemente, muitos deles referem-se a localidades européias. O período devoniano, por exemplo, é derivado da região de Devonshire na Inglaterra, assim como o período jurássico deriva dos montes Jura, localizados entre a França e a Suíça.



Escala internacional do tempo geológico.

A ***Tabela do Tempo Geológico*** está dividida em ***éons***, ***eras, períodos, épocas*** e ***idades***, sequências decrescentes em abrangência temporal, sendo a primeira mais longa e a última mais curta.

Para estabelecer as divisões da tabela foram utilizados eventos geológicos e biológicos de grande escala, que podem ser reconhecidos em praticamente o mundo todo. As grandes divisões correspondem à aparição de formas de vida completamente novas ou, mais comumente, a extinções de grande escala, conhecidas como ***extinções em massa***. As divisões menores correspondem a eventos menos drásticos ou de abrangência menor.

Nas aulas seguintes veremos cada um desses períodos e discutiremos as condições climáticas, *a* ***paleogeografia***, e os organismos que viveram nesse momento e os eventos que marcaram o seu início e o seu término.

AUTOAVALIAÇÃO

a. O que é a ***estratigrafia***?

b. O que são as bacias sedimentares?

c. Quais são os princípios básicos da ***estratigrafia***?

d. Quais tipos de abordagens da ***estratigrafia*** se conhecem e em que dados cada uma delas se baseia?

e. Como se divide a ***Tabela do Tempo Geológico*** e em que se fundamentam essas divisões?



AULA III

O "PRÉ-CAMBRIANO". HADEANO, ARQUEANO E PROTEOZÓICO. EXTENSÃO TEMPORAL, LIMITES. EVENTOS GEOLÓGICO E BIÓTICOS. EXPANSÃO DA VIDA.

OBJETIVOS

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido:

a. Os eventos que deram origem ao Planeta;

b. A conformação de sua estrutura atual;

c. A origem e evolução inicial da vida.

1. HADEANO

O nome ***Hadeano*** foi cunhado pelo geólogo Preston Cloud para sequências de rocha cujo registro não pode ser preservado na Terra, mas que é conhecido por rochas lunares. Por conseguinte, a sequência de tempo e a estratigrafia do ***Hadeano*** são largamente baseadas em eventos lunares. Por exemplo, a era ***Nectariana*** é definida por referência para a formação da bacia Nectaris (sudoeste Nearside, na Lua). O ***Hadeano*** não tem lugar no sistema internacional. Normalmente, todo o ocorrido antes dos 3600 milhões de anos (Ma) é incluído na era ***Eoarcheana*** do ***Arqueano***.

Éon	Era	Início (Ma)	Duração (Ma)	Observações
HADEANO	**Imbrinao**	3900	100	Formação da crosta Arqueana
	Nectariano	3950	50	Bombardeio intenso de meteoros
	Rideriano	4500	550	Diferenciação do núcleo, manto e "proto-crosta"
	Cryptico	4560	60	Acreção da Terra, formação da Lua

Durante o ***Hadeano***, a Terra e o Sistema Solar se formaram pela coagulação e contração gravitacional de uma grande nuvem de gás e poeira em torno do

Sol, chamado de disco de ***acreção***. O Sol formou o núcleo, encolhendo em si mesmo pela compactação gravitacional, até atingir um estágio que se iniciou com a fusão nuclear, passando a emitir luz e calor. As partículas dentro desta nuvem fundiram ***planetisimais***, que depois foram agregados para formar micro-planetas (e não como asteróides modernos). A energia das colisões entre os micro-planetas maiores, assim como o aquecimento radioativo e gravitacional interior, gerou uma enorme quantidade de calor e a Terra e outros planetas teriam sido inicialmente fundidos.

A Lua se formou um pouco posteriormente, cerca de 45 Ma, após os planetas interiores começaram a se formar. A teoria atual é que um planetóide do tamanho de Marte, às vezes chamado ***Theia***, colidiu com a Terra neste momento. Os corpos de ambos os planetas, os dois fundidos, se fusionaram bastante suavemente, adicionando cerca de 10% à massa da Terra. A Lua foi formada a partir dos detritos mínimos (cerca de 0,01 massas terrestres) que orbitavam a Terra e que foram resultantes deste acidente de baixa velocidade.

O ferro fundido, mais pesado, afundou-se para se tornar o ***núcleo***, enquanto os elementos mais leves gradualmente ascenderam até a superfície. Os mais leves tornaram-se a crosta como uma espécie de espuma na superfície. Houve também um desprendimento de moléculas voláteis, como água, metano, amônia, hidrogênio, nitrogênio e dióxido de carbono. Formou-se uma atmosfera de vapor inicial, derivada de água de cometas e minerais hidratados, e as primeiras chuvas caíram para formar os oceanos entre 4,3 e 4,4 bilhões de anos atrás.

Uma vez que a maioria dos planetesimais foi embora, o bombardeio planetário parou e uma crosta rochosa estável se formou sobre a Terra. Esta é a idade das rochas mais antigas do mundo e também de rochas lunares. Água atmosférica se condensou em oceanos e pró-vida começou a ser formada na "sopa" primordial de moléculas orgânicas, tanto nos oceanos como nas argilas do interior da crosta.

2. ARQUEANO

Rochas do ***Arqueano*** Inferior são raras e incluem algumas das mais antigas rochas terrestres conhecidas, cerca de 3,8 bilhões de anos. Na verdade, a idade das rochas mais antigas conservadas na superfície da Terra foi formalmente proposta como definição para a base do Arqueano. A maioria das rochas mais antigas foi tão alterada por processos metamórficos subsequentes que é difícil saber em que condições elas se formaram. A situação é um pouco mais clara com as rochas mais frequentes do ***Meso*** e ***Neoarqueano*** (3,2-2,5 bilhões de anos atrás). Estas são principalmente de natureza vulcânica, consistindo de "lavas em almofada", estruturas idênticas às lavas do presente que se formaram debaixo d'água. A implicação é que, neste momento, toda a Terra foi coberta por oceanos. Talvez a maior parte das massas continentais, formada através de efusões vulcânicas, ainda aparecerá por debaixo das ondas.

Este período em geral, de cerca de 3,0 até 2,5 bilhões de anos, foi o período de

maior formação dos continentes, estimando-se que 70% das massas continentais datam deste período. Assim, a maioria dos continentes é extremamente antiga. Hoje, se reconhecem que os continentes atuais são construídos em torno de núcleos de rocha muito antigos, chamados ***escudos***. Uma grande parte da Austrália é um escudo, como muito do Canadá, Índia, Sibéria, Escandinávia e América do Sul.

Éon	Era	Duração (Ma)	Observações
ARQUEANO	**Neoarqueano**	2800 - 2500	Primeiras placas continentais grandes
	Mesoarqueano	3200 - 2800	Primeiras evidências de vida incontestáveis, primeiros depósitos de ferro bandeado.
	Paleoarqueano	3600 - 3200	Formação de uma crosta estável
	Eoarqueano	aprox. 3800 - 3600	Evidências indiretas de atividade bioquímica.

O aparecimento da vida na Terra foi precedido por um período de evolução química, na qual as moléculas orgânicas simples gradualmente se reuniram para formar agregados maiores e macro-moléculas mais complexas e, finalmente, a vida em si. Algumas etapas deste processo têm sido repetidas em laboratórios, mas ainda não o processo completo.

Não sabemos quando a vida surgiu na Terra. Segundo algumas fontes, os fósseis de micro-organismos mais antigos são tão antigos quanto as mais antigas rochas sedimentares. Se assim for, podemos presumir que a vida tem estado presente desde quando as condições foram adequadas. Na época desses primeiros organismos não havia oxigênio livre, como há agora, mas sim uma atmosfera ***redutora***, composta de metano, dióxido de carbono, hidrogênio e vapor de água. Os micro-organismos deste período podem ter usado o metano ou hidrogênio em vez de oxigênio em seu metabolismo. São, portanto, referidos como ***anaeróbicos*** (não utilizam oxigênio). A fermentação é um exemplo moderno de metabolismo anaeróbico. Este tipo de metabolismo é de 30 a 50 vezes menos eficaz do que o baseado em oxigênio (metabolismo aeróbico), ou respiração.

Os primeiros organismos podem ter sido ***químio-autótrofos***, organismos que obtêm seu carbono a partir de dióxido de carbono por oxidação de compostos inorgânicos. Depois vieram os ***heterótrofos***, que obtêm o seu alimento de outros organismos ou matéria orgânica de que eles derivam; e os ***autótrofos***, que criam compostos de carbono a partir de dióxido de carbono, usando a energia solar. Os primeiros autótrofos dos ecossistemas do Arqueano devem ter sido muito semelhantes às modernas algas verde-azuis ou ***cianofíceas***. Estes organismos são apontados como os principais responsáveis por transformar o planeta no que conhecemos hoje. Eles produzem como subproduto do seu metabolismo, essencialmente anaeróbico, quantidades significativas de ***oxigênio livre*** (O_2), que foi se acumulando na atmosfera ao longo do tempo até alcançar níveis semelhantes aos atuais.

Dentre outras consequências, o aumento de oxigênio permitiu a formação de ***ozônio*** livre (O_3), que, acumulado nas camadas superiores da atmosfera, originou a camada de ozônio, que protege a superfície do planeta da radiação ultravioleta. Isto permitiu a vida nos níveis mais superficiais dos corpos de água e, posteriormente, na superfície terrestre. Outra consequência foi a precipitação de grandes quantidades de ferro que, até esse momento, estava dissolvido nos mares associado ao enxofre. Ao aumentar o oxigênio livre o ferro reagiu com ele, formando óxidos, mais estáveis e não solúveis, que se precipitaram formaram grandes depósitos desse metal, como os presentes no Quadrilátero Ferrífero, datados de meados do ***Proterozoico***. Ao final, a ação das cianofíceas transformou a ecologia do planeta no que é hoje e abriu as portas para um caminho evolutivo impossível antes deles.

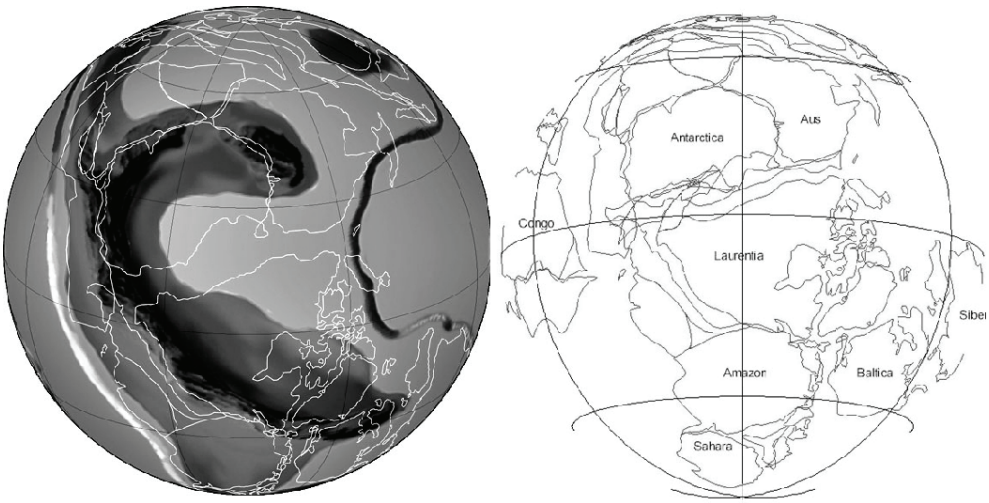
Nem todos os organismos unicelulares desta época eram solitários. Há três bilhões de anos atrás (e, com mais frequência, há 2,3 bilhões de anos atrás), as algas verde-azuis, que formam estruturas semelhantes a esteiras grandes e deixaram depósitos de carbonato chamados ***estromatólitos***, já aparecem no registro fóssil. Estromatólitos viventes podem ainda ser encontrados em baías abrigadas na Austrália Ocidental, onde a água é tão salgada que as criaturas de outras formas não são capazes de viver nesse ambiente. O fato de que esses organismos tenham sobrevivido até os dias atuais dá uma idéia de como a sua evolução, assim como a transformação da biosfera, é lenta quanto à transformação da geosfera.

3. PROTEROZÓICO

O ***Proterozoico*** é o momento em que as ***placas tectônicas*** modernas começaram a predominar sobre outros processos na determinação da forma de crosta da Terra. Embora os continentes fossem pequenos, consistiam de ***crátons*** estáveis e as dorsais meio-oceânicas se expandiram bastante, da mesma forma em que o fazem hoje. No entanto, tudo aconteceu bem mais rápido. O magma em que os continentes flutuavam era mais quente, menos viscoso e mais perto da superfície. Os ***pontos quentes***, áreas onde a atividade tectônica é maior, eram provavelmente bem mais quentes. Os continentes moveram-se mais rapidamente, colidindo e tendendo a fraturar-se ou suturar-se com maior frequência.

A vida se desenvolveu desde a fase de organismos unicelulares para uma etapa de ***Eucariotas*** primitivas de plantas, fungos e animais. Talvez outras formas de vida tenham se desenvolvido, mas não sabemos quase nada delas porque não participaram da ***explosão cambriana***.

4. PALEOGEOGRAFIA DO PROTEROZÓICO



*Reconstrução da geografia durante o **Proterozóico**.*

Muito pouco se sabe sobre a geografia do ***Proterozóico***. Como observa o Dr. Christopher Scotese em seu site *Paleomap: "Com os dados disponíveis, 650 milhões de anos é sobre até onde podemos ir"*. Isso não o impediu de tentar reconstruir a geografia para cerca de 750 Ma. No entanto para, além disso, tudo o que temos são apenas suposições.

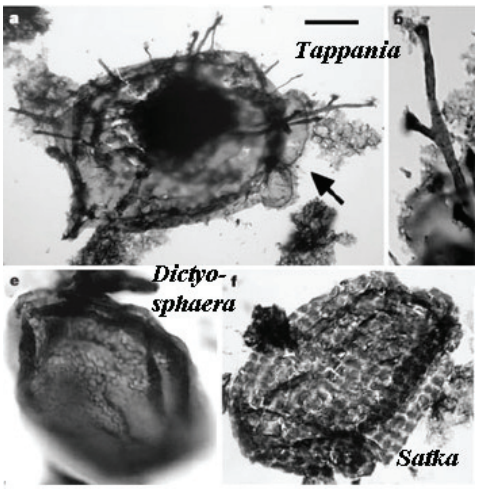
Um fato, porém, parece agora razoavelmente claro. Cerca de 1100 ou 1200 Ma, a maioria da massa terrestre da Terra foi reunida em um continente chamado ***Rodínia***. Como ***Rodínia*** se formou é ainda uma especulação, talvez tendo alcançado sua maior extensão por volta de 1100 Ma.

Cerca de 900 Ma atrás, ***Rodínia*** começou a se fraturar e o padrão de fragmentação tornou-se bastante conhecido. Este mapa apresenta uma estrutura em torno da Amazônia, de ***Báltica*** e parte de ***Laurêntia***. O ***Kalahari***, a Antártida Oriental e o restante de ***Laurêntia*** teriam conformado um segundo continente. A parte maior de ***Laurêntia*** e a Sibéria giraram 120 ° no sentido horário quase até o Pólo Sul e voltaram novamente, batendo com o oeste da África pelo Sul.

Éon	Era	Duração (Ma)	Períodos
PROTEROZOICO	**Neoproterozoico**	1000 - 543	Ediacariano Criogeniano Toniano
	Mesoproterozoico	1600 - 1000	Esteniano Ecatasiano Calymmiano
	Paleoproterozoico	2500 - 1600	Estateriano Orosiriano Rhiaciano Sideriano

5. A VIDA NO PROTEROZÓICO

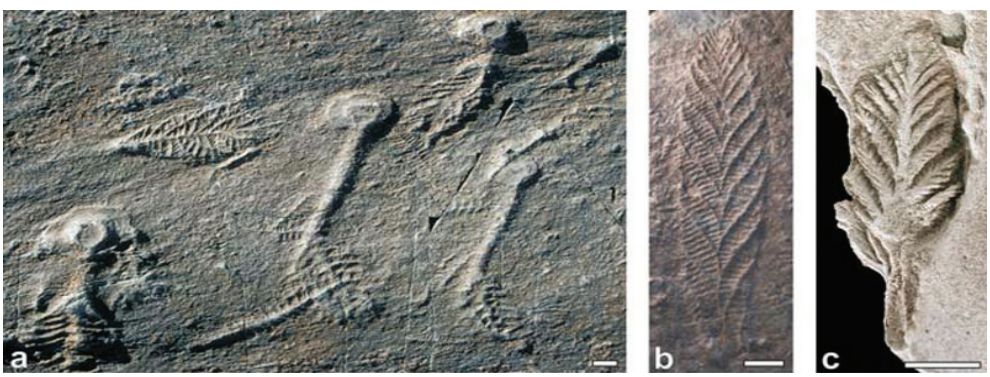
Em termos temporais, o ***Proterozóico*** inclui mais da metade da história da vida no Planeta. Porém, o nosso conhecimento sobre a vida neste período é extremadamente escasso. Fora os registros de ***estromatolitos***, que já eram conhecidos no Arqueano, uma das formas de vida mais comuns no ***Proterozóico*** são os ***Acritarcos***. Estes organismos são muito comuns a partir do ***Mesoproterozoico***, mas não existe consenso sobre que tipo de organismos eles são. A maioria dos autores os reconhece como organismos ***eucariontes***, unicelulares, com paredes extremamente resistentes ao ataque ácido e apresentando uma morfologia variada. Hoje, se assume que os ***acritarcos*** têm vinculação com os vegetais.



*Exemplo de **acritarcos**.*

Dentre os animais, os organismos mais comuns são os ***poriferos.*** Fora eles, existem alguns registros escassos e difíceis de interpretar que sugerem a aparição de formas de ***metazoários*** durante o ***Mesoproterozóico***, aproximadamente 1,5 bilhões de anos. Durante o ***Neoproterozóico***, o número de metazoários aumentou significativamente e muitos podem ser referidos, com algumas reservas, a grupos conhecidos atualmente. Porém, a fauna mais importante do Proteozoico é conhecida apenas do seu período final, o ***Edicariano***.

O início do ***Ediacariano*** está marcado pelo final de uma ***era glacial***, uma das mais antigas registradas, que parece ter sido seguida por um aumento na quantidade do oxigênio dissolvido nos mares. É possível que este aumento de oxigênio disponível tenha disparado o aumento na diversidade da vida no planeta. Esta fauna é conhecida como ***vendiana***, referência à localidade onde foi reconhecida. Desde as primeiras menções, faunas semelhantes e de idade muito próxima têm sido reconhecidas em praticamente todo o mundo. Elas são as mais diversas antes do ***Fanerozóico*** e estão compostas por animais de corpo mole, sem partes duras ou conchas. A maioria é semelhante a medusas ou pólipos e poucas não se assemelham a nenhum animal vivente.





Fósseis ediacarianos/vendianos *e reconstrução de um ambiente da época.*

Certamente, nas faunas ***edicarianas*** ou ***vendianas*** estão as raízes das faunas posteriores, em particular as do início do ***Fanerozóico***, mas as relações entre ambas são obscuras.



Distribuição de localidades onde foram descobertos ***fósseis ediacarianos/vendianos****.*

AUTOAVALIAÇÃO

a. Como se dividem os tempos ***pré-cambrianos***?

b. Em que momento foi registrado as primeiras formas de vida e que tipo de organismos são?

c. Como a ação das ***cianofíceas*** modificou a ecologia do Planeta?

d. Em que época começa a se ter registro dos primeiros ***metazoários***?

e. Que atividade geológica moderna começou a se manifestar durante o ***Arqueano***?

IV

AULA IV

FANEROZOICO, INTRODUÇÃO.
PALEOZOICO, INTRODUÇÃO.
CAMBRIANO.
EXPLOSÃO CAMBRIANA.
BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVOS

Após esta aula, os alunos deverão compreender:

a. O início do ***Paleozóico***;

b. A origem das formas modernas de vida;

c. A ecologia marinha moderna;

d. E demais eventos que marcaram seu início.

1. INTRODUÇÃO

O ***Fanerozóico*** representa um período relativamente breve de meio bilhão de anos (breve em relação à idade da Terra), que constitui o tempo de vida dos animais multicelulares no Planeta. Durante esse tempo, organismos micro e multicelulares deixaram um registro fóssil detalhado, no qual se construíram ecossistemas diversos e complexos, e a vida evoluiu através de inúmeras transformações e milhões e milhões de espécies.

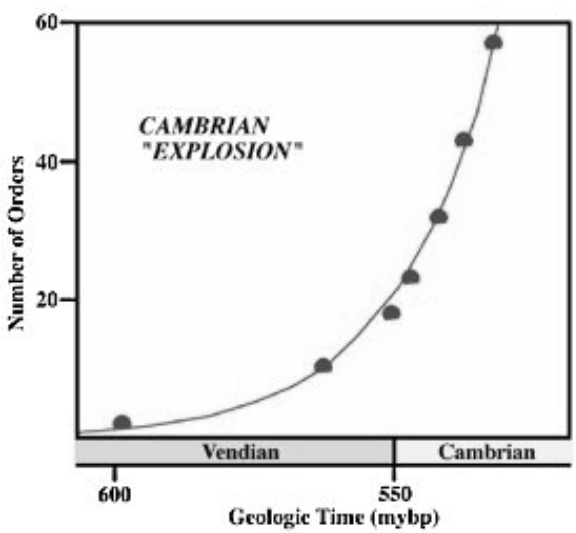
O ***Fanerozóico*** (vida revelada) é aplicado ao conjunto do ***Paleozóico***, do ***Mesozóico*** e do ***Cenozóico***, e se contrasta com o ***Pré-Cambriano***, que durou um tempo muito longo, mas foi caracterizado apenas por microrganismos que, geralmente, não deixam fósseis. Com a descoberta de biotas pré-cambrianas tardias (***vendiano/ediacariano***), o termo ***Fanerozoico*** perdeu parte do seu significado original, mas ainda é utilizado para definir o período de desenvolvimento e evolução de grupos maiores de organismos, como os artrópodes, moluscos, vertebrados, etc., que ainda estão vivos e predominantes hoje. Embora as algas primitivas existissem em grande parte do ***Pré-Cambriano***, não foi o caso de animais multicelulares (***metazoários***), que só apareceram muito mais tarde, no fim do ***Proterozoico.***

Éon	Era	Duração (Ma)	Períodos
FANEROZOICO	**Cenozoico**	65 - 0	Quaternário Neógeno Paleógeno
	Mesozoico	251 - 65	Cretáceo Jurássico Triássico
	Paleozoico	542 - 251	Permiano Carbonífero Devoniano Siluriano Ordoviciano Cambriano

2. CAMBRIANO

Os paleontólogos enxergam o ***Cambriano*** como o período em que os ***bilatérios*** apareceram pela primeira vez e, quase ao mesmo tempo, os primeiros metazoários com conchas. Os ***bilatérios*** incluem todos os seres vivos metazoários, exceto água-viva, corais e esponjas. Os ***bilatérios*** têm uma cabeça em uma extremidade de um corpo alongado, que pode ser dividido em duas metades simétricas (daí o nome). Seus embriões desenvolvem uma camada separada de células embrionárias, chamada ***mesoderme***, entre o intestino e a parede exterior do animal.

Ao contrário de muitos outros marcadores geológicos, um tanto arbitrários, a base do período ***Cambriano*** é definida com referência ao conteúdo paleontológico subjacente. Pequenos vermes raramente deixam fósseis, mas suas tocas são frequentemente preservadas e bastante distintas. Traças ***fósseis*** ou ***icnofósseis*** muitas vezes recebem nomes como se fossem organismos; o mais antigo ***icnofóssil*** de um bilatério é um tipo de toca fossilizada chamada ***Treptichnus pedum***. A base do ***Cambriano*** é atualmente definida como a primeira ocorrência do ***T. pedum*** na costa ocidental de Newfoundland, no norte do Canadá.



*Paleogeografia do **Cambriano**.*

No período ***Cambriano***, a maioria dos continentes estava localizada no Hemisfério Sul, em latitudes baixas, perto do Equador. O super-continente ediacariano de ***Pannotia*** se fragmentara em ***Gondwana***, ***Laurentia***, ***Báltica*** e vários blocos asiáticos estavam, na maioria, submersos.

Laurentia se estendia ao longo do Equador no Cambriano, parcialmente submerso pelo oceano ***Iapetus***, com a maior parte de ***Báltica*** submersa e a ***Sibéria*** aproximando-se pelo sudeste. ***Gondwana*** era o maior super-continente. Outros continentes incluíam ***Kazakhstania*** e a ***China*** (na verdade, China, Tailândia, Malásia e Indochina). Os mares eram na maior parte rasos, especialmente ao longo das bordas dos continentes. Transgressões esotácticas globais ocorreram no ***Cambriano*** médio e superior. Mares rasos repetidamente invadiram a terra, proporcionando um *habitat* perfeito para muitos tipos de invertebrados marinhos. Estes mares rasos cobriram grande parte dos continentes, exceto ***Gondwana,*** onde havia terras altas. Outras terras altas podiam ser encontradas no leste da Sibéria e Cazaquistão Central.

O clima do ***Cambriano*** era geralmente quente, úmido e estável. Como não havia massas continentais localizadas nos pólos, as correntes oceânicas eram capazes de circular livremente e, portanto, não houve formação significativa de gelo. Como resultado, as temperaturas em todo o mundo eram amenas. O ***Cambriano*** constituiu um período benigno entre duas grandes eras do gelo – as glaciações do ***Proterozóico*** e do ***Ordoviciano*** superior.

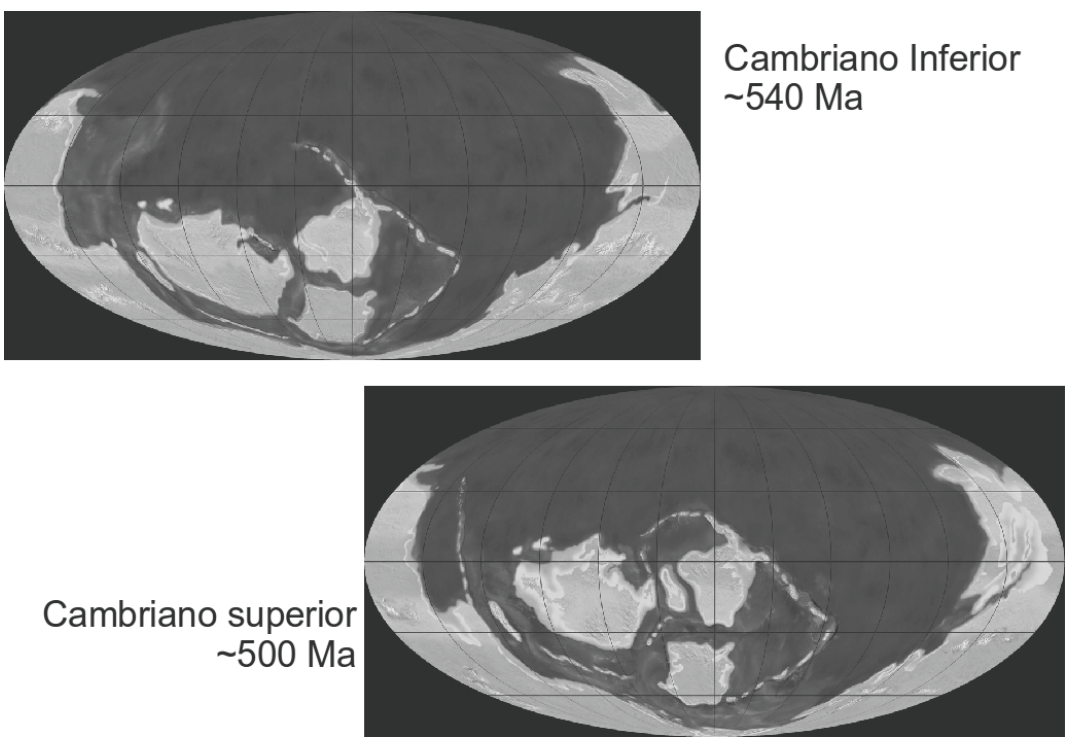
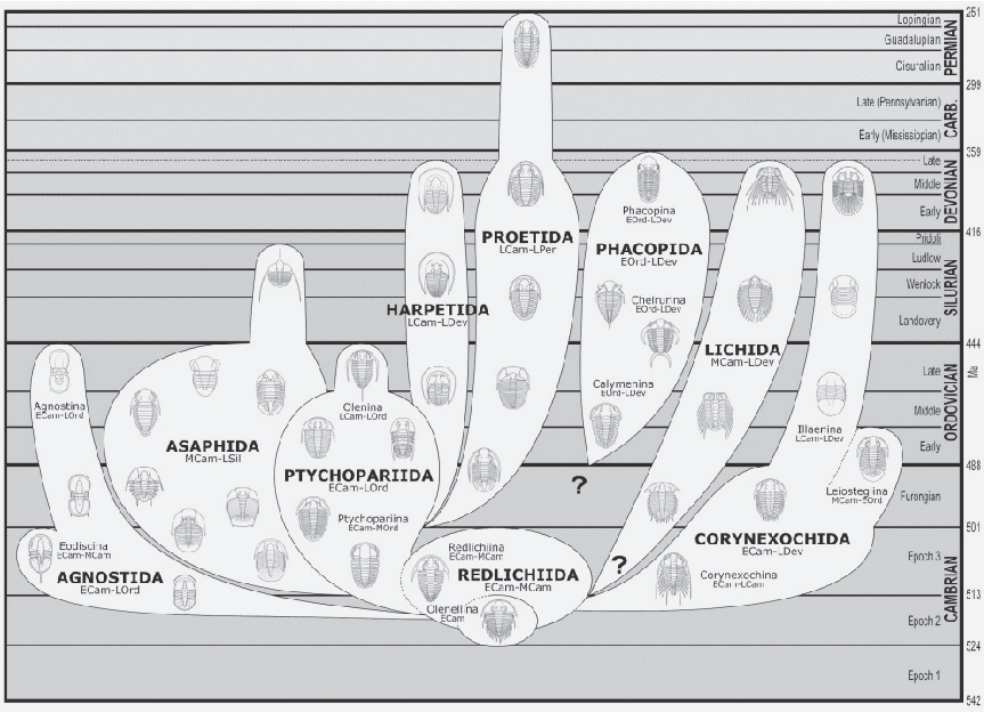


*Gráfico que ilustra a **Explosão Cambriana –** o aumento explosivo de **fósseis** de metazoários no seu início.*

3. A VIDA NO CAMBRIANO

No início do período ***Cambriano***, cerca de 540 milhões de anos atrás, a vida era totalmente confinada aos oceanos. Durante os 53 milhões de anos que durou o período ***Cambriano***, houve o aparecimento súbito e a diversificação de quase todos os grupos principais (***filos***) da vida animal, bem como vários tipos que mais tarde desapareceram. Os animais com conchas e exoesqueletos apareceram pela primeira vez, incluindo os ***trilobitas***, ***braquiópodes***, moluscos e muitos outros grupos. Esta súbita explosão evolucionária foi tão espetacular que foi denominada a ***Explosão Cambriana***, não ocorrendo nada parecido na Terra, antes ou depois.

Os animais mais característicos do período ***Cambriano*** eram os ***trilobitas***, uma forma primitiva de ***artrópodes*** que se destacavam por terem olhos altamente desenvolvidos (incomum no organismo como um precoce). Os ***trilobitas*** apareceram de repente, durante a metade do ***Cambriano*** inferior, e atingiram seu pleno desenvolvimento no ***Cambriano*** médio e nos período seguinte (***Ordoviciano***), declinando gradualmente e extinguindo-se no final da era ***Paleozoica***. Vários grupos são conhecidos, incluindo tipos com grandes espinhos e pequenas formas planctônicas.

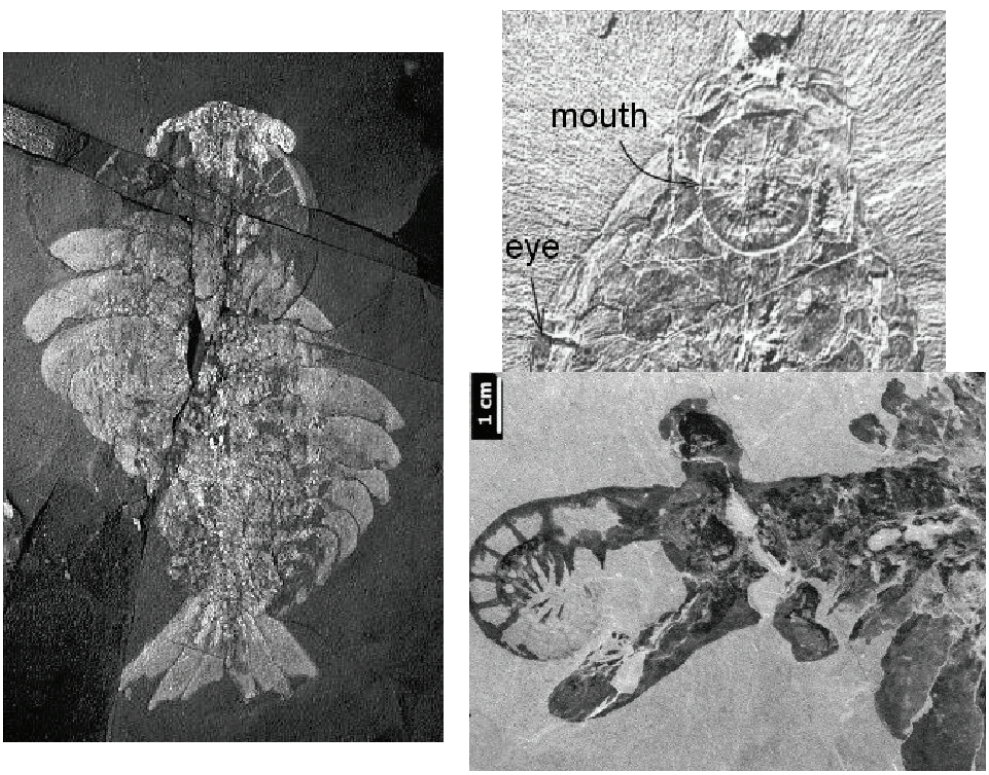


*Árvore filogenética dos **Trilobitas** – observe sua diversidade durante o **Cambriano**.*

Outros grupos muito importantes de animais do ***Cambriano*** eram as ***esponjas***, os ***equinodermos*** (representado por um grande número de classes diferentes) e

os ***echiuras***, organismos de corpo mole, que parecem ter sido os carnívoros mais importantes e predominantes da época. Os primeiros ***gastrópodes*** (moluscos marinhos) também apareceram nesse período, assim como os ***cefalópodes*** (ao final do ***Cambriano***) e outras linhagens já extintas de moluscos. Os moluscos, porém, ainda eram relativamente raros e não se tornaram um elemento importante da fauna marinha até o período ***Ordoviciano.*** Os primeiros ***cordados*** e ***foraminíferos*** também aparecem nesse momento. Muitas criaturas do ***Cambriano***, no entanto, não se encaixam em categorias de organismos modernos e pareciam ter sido representantes dos filos desconhecidos ou experimentais.

O maior de todos os animais do ***Cambriano*** foram os ***anomalocarídeos***, que chegaram a medir de 45 a 60 cm, com exemplares excepcionais de um ou até dois metros. Eles se apresentavam armados com um par de órgãos preênseis e uma boca com um anel de dentes circulares; exoesqueletos de ***trilobitas*** foram encontrados com mordidas grandes por fora, aparentemente como resultado de um encontro com ***anomalocarídeos***. Tal como o tubarão de hoje, os ***anomalocarídeos*** estavam perfeitamente adaptados ao seu meio ambiente e uma única espécie existiu sem alterações por 30 milhões de anos, ou mais. Não há consenso sobre a que grupo de criaturas modernas os ***anomalocarídeos*** são mais estreitamente relacionados e mais frequentemente os incluem aos artrópodes, mas os vermes ***aschelmintas*** é outra possibilidade.



*Fósseis de **anomalocaris,** o maior predador dos tempos do **Cambriano** médio.*

De fato, os ***anomalocarídeos*** fazem parte de uma fauna incrivelmente diversa que caracterizou o ***Cambriano*** médio e documenta a primeira grande expansão dos ***bilatérios*** com conchas, assim como a outros organismos de corpo mole. Essa fauna foi conhecida primeiramente no norte do Canadá e recebeu o nome dessa localidade canadense, ***Burgess Shale***. Posteriormente, faunas muito semelhantes foram encontradas em várias outras localidades, como na China, Rússia e outras.

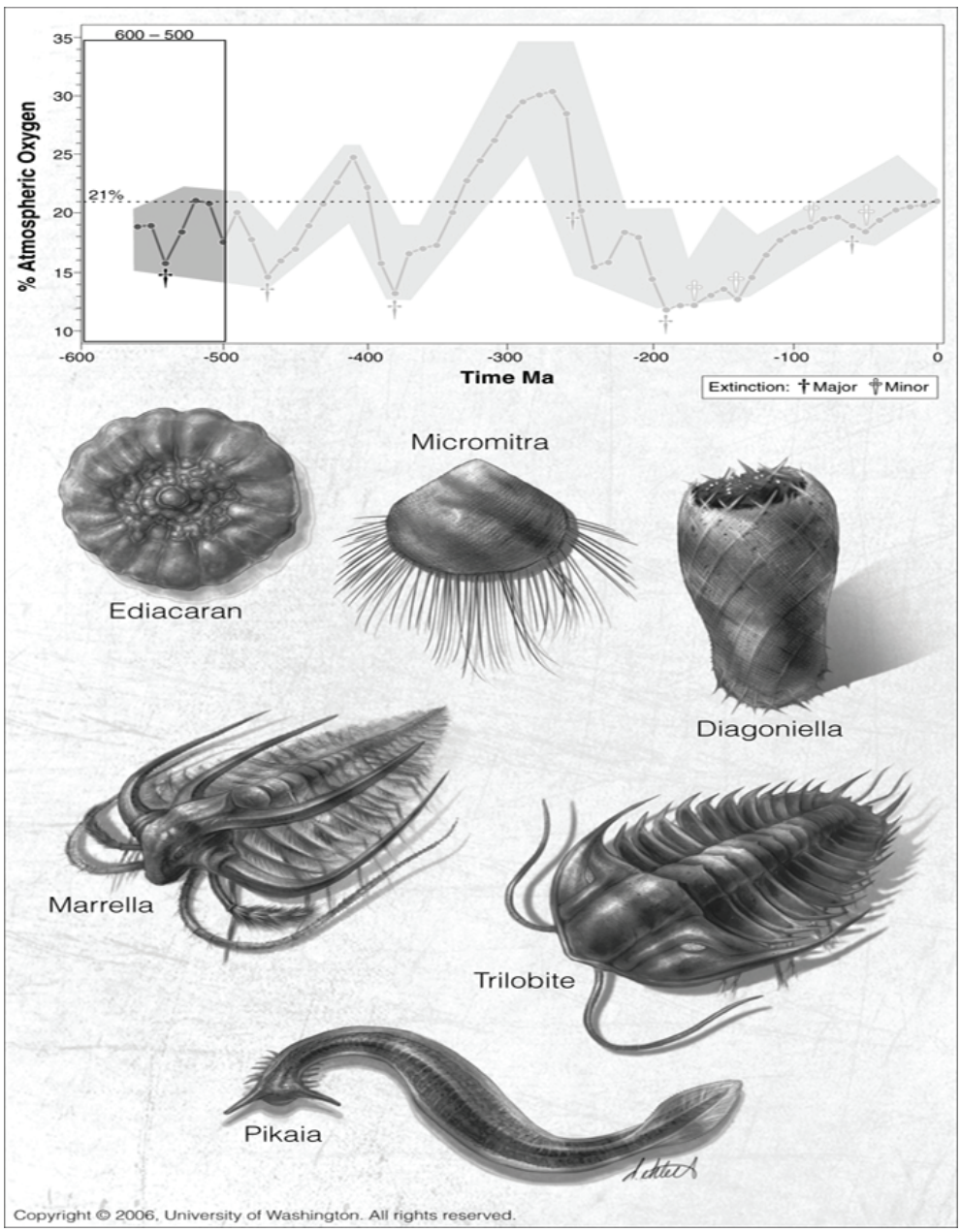
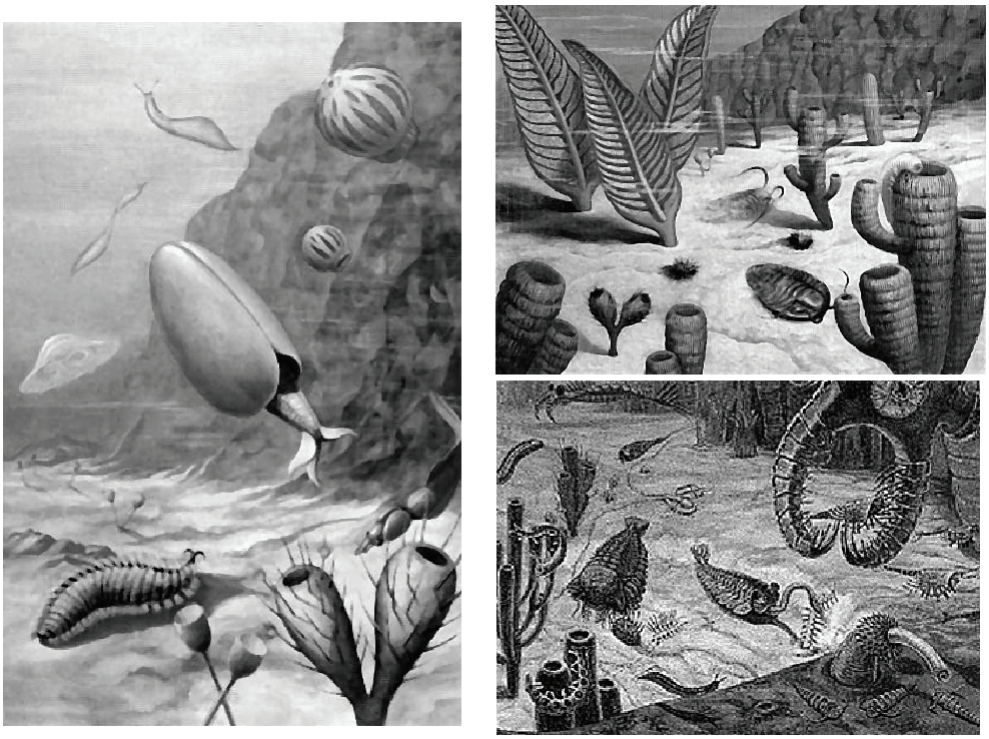


Diagrama mostrando os níveis de oxigênio ao longo do ***Fanerozóico,*** *com ênfase no período* ***Cambriano,*** *e os organismos mais destacados da época.*



*Reconstruções do ambiente e da fauna do **Cambriano** médio.*

AUTOAVALIAÇÃO

a. Qual é o evento que determina o início do ***Fanerozóico***?

b. Quais são as divisões principais do ***Paleozóico***?

c. Que organismos caracterizam o ***Cambriano***?

d. Qual foi o clima desse período?

e. Qual era a posição dos continentes durante o ***Cambriano*** e que influência isso teve no clima da época?

V

AULA V

ORDOVICIANO.
DIVERSIFICAÇÃO.
EXTINÇÃO DO FINAL DO PERÍODO.
BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVOS

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido:

a. A origem das formas modernas de vida;

b. O início da ecologia marinha moderna;

c. Os eventos que marcaram o início do ***Paleozóico***.

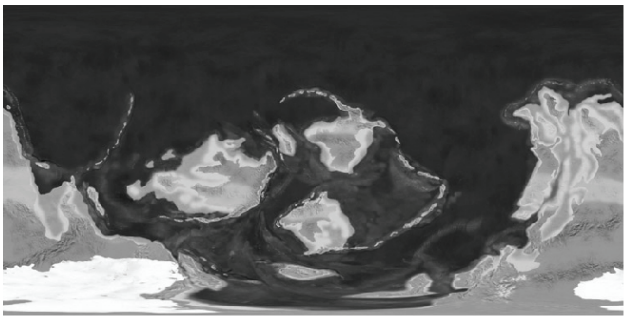
1. INTRODUÇÃO

O período ***Ordoviciano*** é o segundo período da Era ***Paleozóica.*** Este importante período viu a origem e a evolução rápida de muitos tipos novos de animais invertebrados, que substituíram os seus ancestrais do ***Cambriano.*** Plantas primitivas começaram a colonizar a terra firme, até então totalmente estéril. O super-continente ***Gondwana*** derivou sobre o Pólo Sul, iniciando uma grande Idade do Gelo, que tomou conta da Terra nesse momento. O fim do período é marcado por um evento de extinção. O ***Ordoviciano*** se divide em três períodos: inferior, médio e superior.

Período	Sub-Período	Duração (Ma)
FANEROZOICO	**Superior**	461 - 444
	Médio	472 - 461
	Inferior	488 - 472

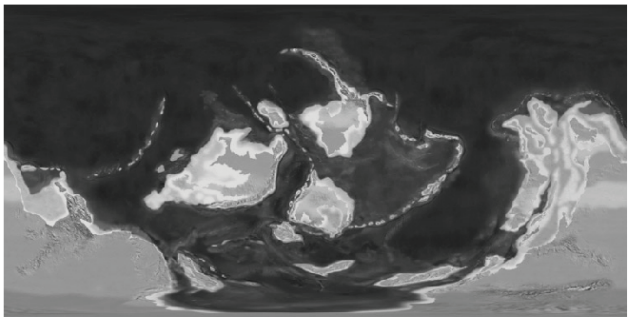
Durante o ***Ordoviciano***, o Sul da Europa, África, América do Sul, Antártida e Austrália permaneceram unidas no super-continente ***Gondwana***, que se transferiu para o Pólo Sul. América do Norte estava sobre o Equador a cerca de 45 graus no sentido horário com relação a sua orientação atual. Europa Ocidental e Europa Central foram separadas do resto da Eurásia e estava rotada cerca de 90 graus no sentido contrário da sua orientação atual, posicionada na região tropical do Hemisfério Sul. América do Norte entrou em uma colisão lenta com o micro-continente de ***Báltica***, que constituía o núcleo do que, mais tarde, se tornará a Europa. O Oceano ***Iapetus*** continuou a encolher a medida

que as margens de ***Báltica*** e América do Norte se convergiram. No local onde se estendia ***Iapetus***, formaram-se montanhas remanescentes das que se encontram hoje na Groenlândia, Noruega, Escócia, Irlanda e parte oriental da América do Norte. Escócia e Inglaterra estão unidas em uma única massa de terra.



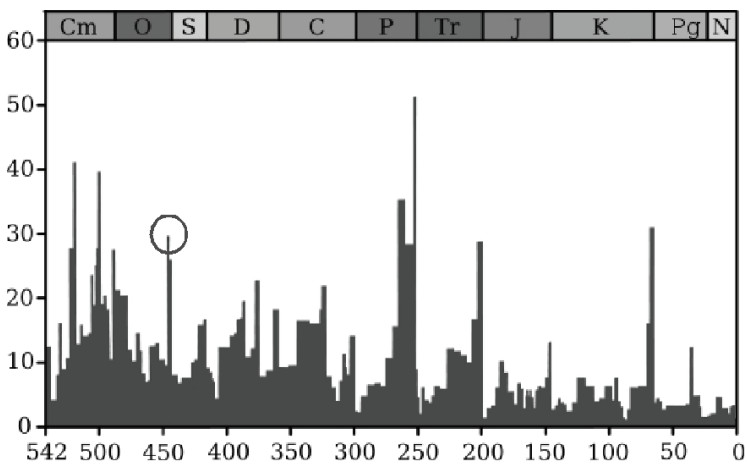
Ordoviciano médio

Ordoviciano superior

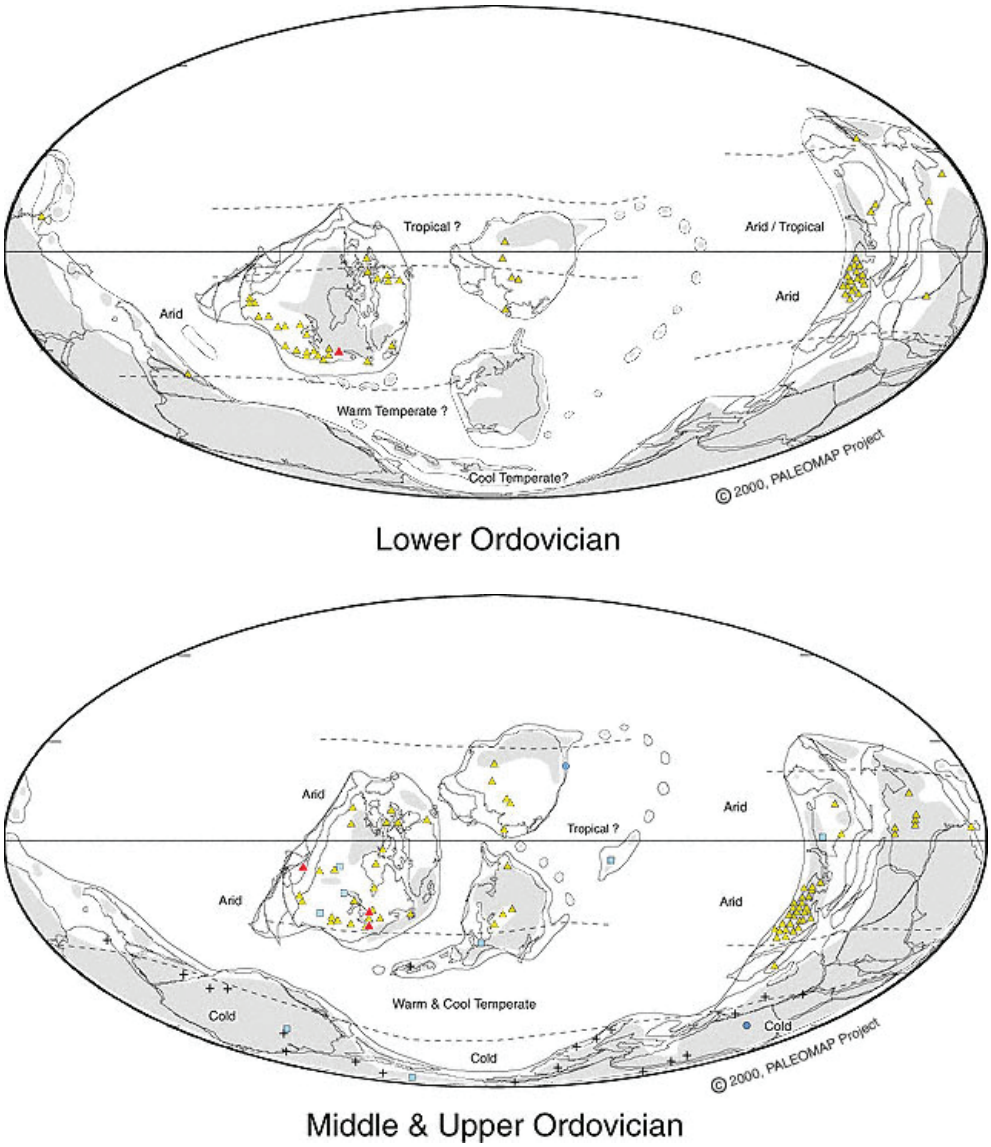


*Paleogeografia do **Ordoviciano.***

Uma grande transgressão no ***Ordoviciano*** Médio criou mares epicontinentais rasos e quentes; assim, a maioria do período foi favorável para a vida marinha, particularmente em torno dos bem-estudados ***crátons*** europeu e norte-americano. No entanto, o ***Ordoviciano*** terminou com uma breve (300-500 milhares de anos) e grave ***Era do Gelo***. ***Gondwana***, especialmente a África, estava localizada sobre o Pólo Sul e ficou amplamente coberta por glaciares. Houve geleiras até na região que é hoje o Saara. Os metazoários foram severamente afetados e cerca de 60% dos gêneros de animais foram extintos, fazendo desta extinção em massa a terceira em importância do ***Fanerozóico***.



*Gráficos mostrando os picos de extinção ao longo do **Fanerozóico**. O circulo marca o pico do final do **Ordoviciano.***



*Climas durante o **Ordoviciano***

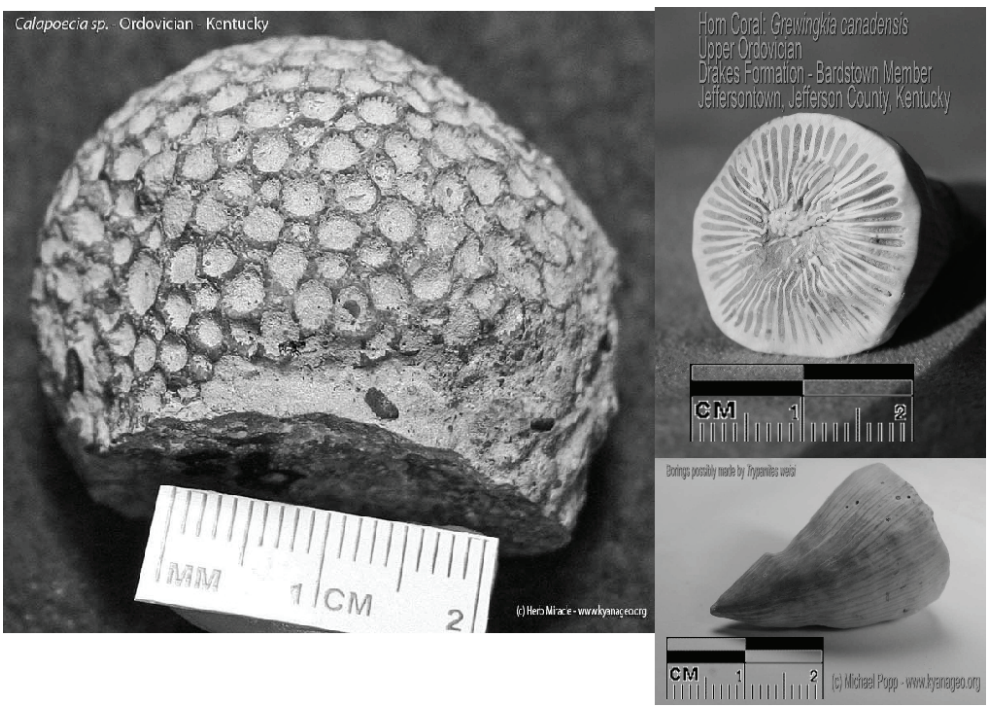
Muita atenção foi centrada sobre as causas da ***Idade de Gelo*** do ***Ordoviciano***. Na verdade, não é fácil entender como essa era poderia ter ocorrido: acreditava-se que níveis de dióxidos de carbono atmosféricos estavam entre oito a 20 vezes acima dos valores atuais, o que deveria ter impedido qualquer coisa próxima a uma Idade do Gelo. Os níveis do mar eram elevados durante a maior parte do ***Ordoviciano*** e caíram de forma dramática (cerca de 50 m), em conexão com a ***Idade do Gelo***, mas é difícil afirmar se esta foi causa e efeito, ou ambos.

Um fator independente, que afetaria tanto o CO2 como o nível do mar, foi a taxa de expansão dos fundos oceânicos ao longo das dorsais centro-oceânicas. A duração das dorsais centro-oceânicas bem estabelecidas, como as de ***Gondwana***

ao sul e as de ***Laurêntia*** e ***Báltica*** ao norte, foi muito curta durante o ***Ordoviciano*** superior; e a área de expansão da crosta que se estendia entre os continentes do norte e do sul tornou-se inativa. No entanto, em qualquer caso, a ausência de formação de crosta oceânica ativa só afetaria a taxa de saída de gás CO2, e não a taxa em que ficou preso nos sedimentos.

2. A VIDA DO ORDOVICIANO

O ***Ordoviciano*** foi uma idade de experimentação evolutiva, em que novos organismos evoluíram para substituir aqueles que se extinguiram no final do ***Cambriano.*** Foi também o momento de uma das maiores radiações adaptativo na história da Terra. O número de famílias conhecidas de ***invertebrados marinhos*** (principalmente formas com conchas, porque os organismos tipos de corpo mole raramente fossilizam), aumentou de cerca de 200 no final do ***Cambriano*** para cerca de 500 no início do ***Ordoviciano***. Os extensos, rasos e quentes mares epicontinentais formaram o ambiente perfeito para muitos grupos de organismos. Os microrganismos, tais como as ***cianofíceas***, formadoras de ***estromatólitos***, estão amplamente distribuídos e os ***acritárcos***, embora existentes durante o ***Pré-Cambriano***, tornaram-se mais comuns.

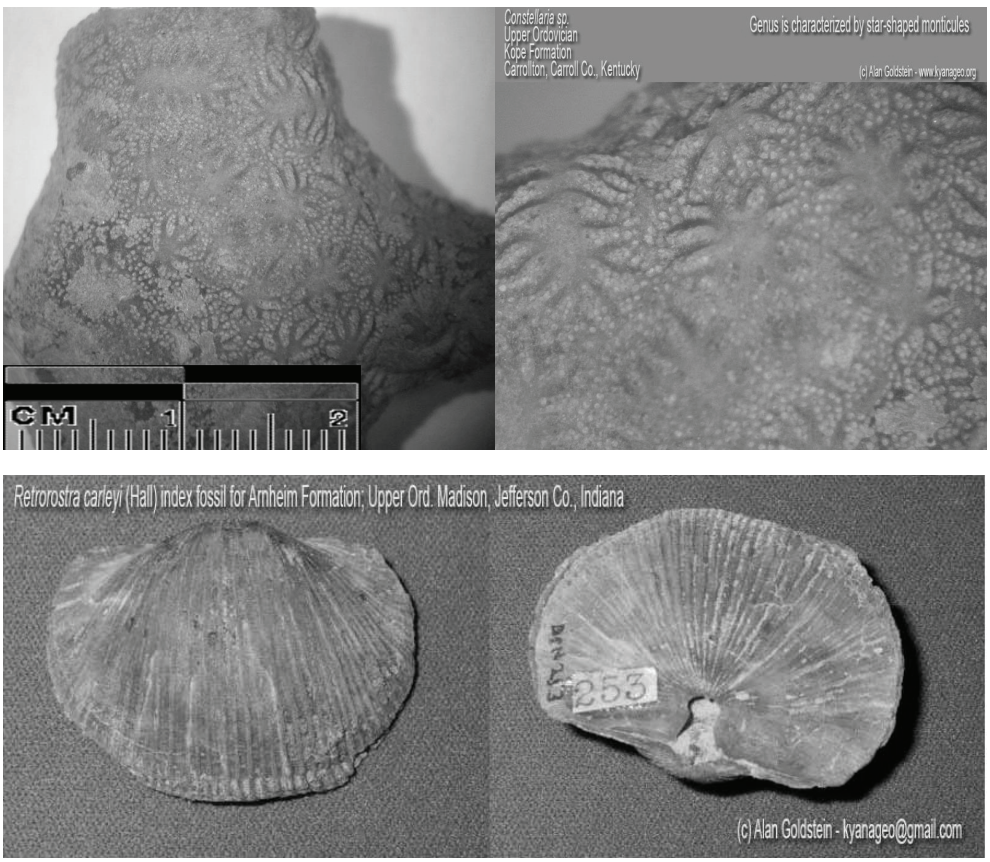


Exemplos de corais do ***Ordoviciano***.

Um fenômeno interessante foi o aumento repentino nos organismos ***filtradores***. Animais do ***Cambriano*** eram predominantemente ***detritívoros,*** com uns poucos predadores ***nectônicos*** (nadadores) e ***fossoriais***, enquanto os ***filtradores*** (embora partes importantes da fauna) eram pouco comuns. No ***Ordoviciano,*** um aumento na quantidade de micro-plâncton seria a explicação óbvia para o aumento

repentino no número e diversidade de ***filtradores***. Grupos ausentes ou sub-representados no ***Cambriano***, de repente se tornam mais importantes: surge a primeira aparição dos ***corais***, incluindo os tipos rugosos e tabulares, os moluscos ***bivalves*** e os ***graptolitos*** (criaturas planctônicas relacionados aos vertebrados).

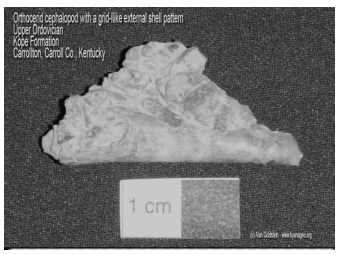
Os ***lofoforados*** (animais que filtram o alimento peneirando a água numa coroa de tentáculos ao redor da boca) são os filtradores melhor sucedidos do ***Ordovícano***. Os ***Briozoários*** aparecem em grande número e constituem os animais mais predominantemente coloniais da época. Cada ***pólipo briozoário*** é uma pequena criatura, não muito diferente de um animal de coral. Seus parentes distantes, os ***braquiópodes,*** são igualmente bem-sucedidos. Depois da sua origem no ***Cambriano***, os ***braquiópodes articulados*** tiveram um grande aumento na diversidade e abundância no ***Ordoviciano***, com não menos que quatorze superfamílias novas.



Lofoforados *do* ***Ordoviciano****:* ***briozoários*** *e* ***braquiópodes****.*

Entre os moluscos, várias formas novas apareceram, como os ***bivalves****,* embora não fossem comuns durante este período. Os ***cefalópodes nautiloideos***, pequenos e raros no fim do ***Cambriano,*** evoluíram rapidamente, dando origem a muitas linhagens diferentes. Pelo menos dez ordens diferentes floresceram neste momento, todos os quais, exceto um, apareceram pela primeira vez durante



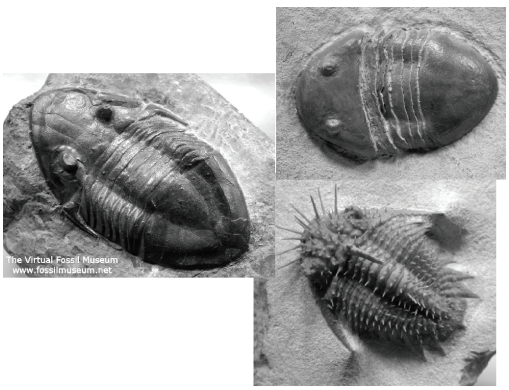




o ***Ordoviciano*** inferior ou médio. Esta espantosa diversidade incluía formas retas ou curvadas, enroladas frouxamente ou bem enroladas, e até um grupo que perdeu uma grande parte da sua concha. Esses moluscos carnívoros substituíram os ***anomalocarideos*** do ***Cambriano***, como predadores dominantes dos oceanos. Os maiores alcançaram tamanhos enormes, com conchas de até dez metros de comprimento, sendo os maiores animais que existiram até aquele momento.

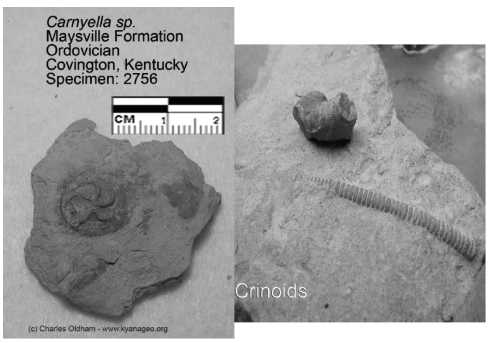
*Moluscos do **Ordoviciano**: **gastrópod**e, **cefalópode e biválvio**.*

Os ***trilobites*** do ***Ordoviciano*** eram, na sua maior parte, completamente diferentes dos seus antecessores do ***Cambriano***. Muitos desenvolveram espinhas e nódulos nas carapaças; outros adquiriram formas pelágicas ou nectônicas e desenvolveram olhos enormes com mais de mil lentes; enquanto outros ainda perderam os olhos completamente. Alguns ***trilobites*** desenvolveram focinhos em formato de pá, supostamente para remover a lama do fundo, e outros fundiram os segmentos de seus corpos.



Trilobites ordovicianos.

Alguns dos primeiros ***equinodermos*** se extinguiram, enquanto outros aumentaram a sua diversidade. Os ***equinodermos*** incluem um grande número de formas sésseis, com caules e filtradores, e algumas formas móveis, de predadores. Durante o ***Ordoviciano,*** os ***crinoides***, raros durante o ***Cambriano***, se diversificaram em grande número e, como os ***braquiópodes***, essas formas sésseis bentônicas de invertebrados se tornaram um importante grupo de filtradores durante todo o resto do ***Paleozóico.***



Equinodermos ordovicianos.

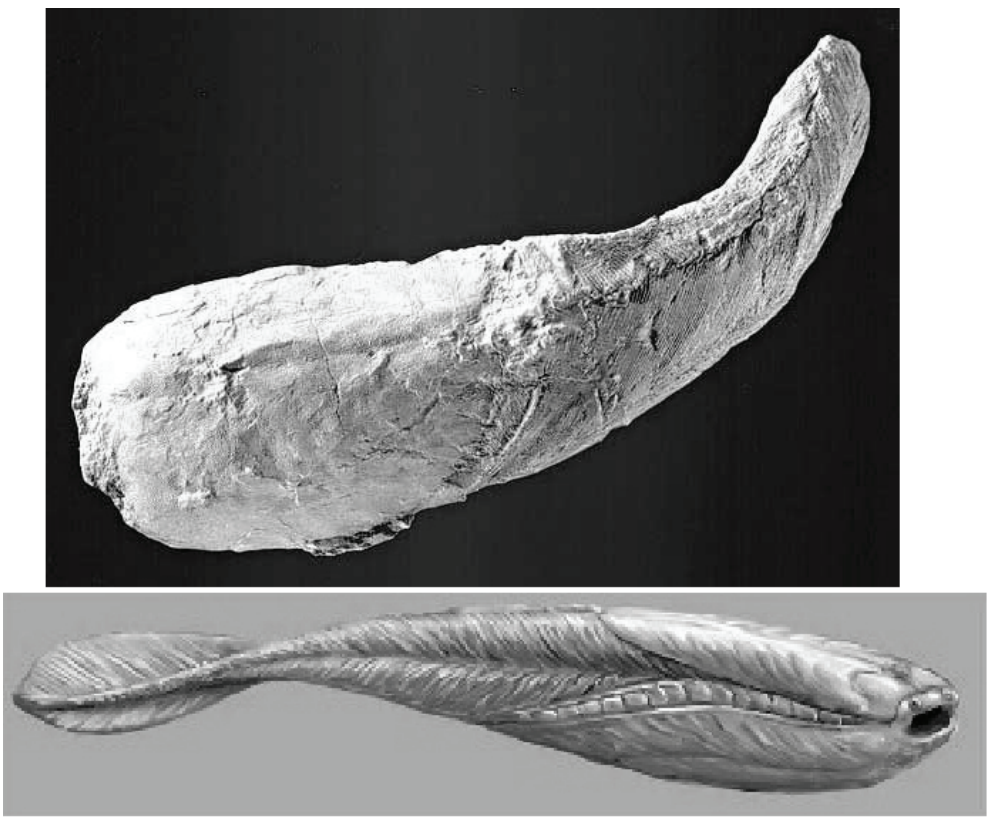
O ***Ordoviciano*** foi o ponto alto do ***graptólitos***. Esses ***hemichordatas*** coloniais possuíam uma estrutura anatômica semelhante à notocorda dos cordados e evoluíram a partir de formas bentônicas sésseis do final do ***Cambriano.*** Eles se diversificaram em inúmeros tipos de diferentes



planctônicas, incluindo formas de ramos simples e duplas fileiras de indivíduos, de dois a quatro ramos, e, ainda, em formas em espiral.

*Exemplos de **Graptólitos ordovicianos**.*

Os vertebrados ***ostracodermos*** são raros, apesar de que se conhecem várias formas de ***pteraspidomorfos***. Os ***conodontes***, também cordados são conhecidos, na sua maior parte, por numerosos dentículos isolados (localizados na faringe e com função respiratória ou alimentar) e constituem uma componente importante; eram, muito possivelmente, predadores e certamente ***nectônicos/pelágicos***.



***Ostracodermos**, peixes agnatos do **Ordoviciano**.*

Finalmente, durante o final do ***Ordoviciano***, os primeiros ***líquenes*** e ***hepatofitas*** apareceram em terra firme, no que será o começo de um tipo de ecossistema completamente novo.

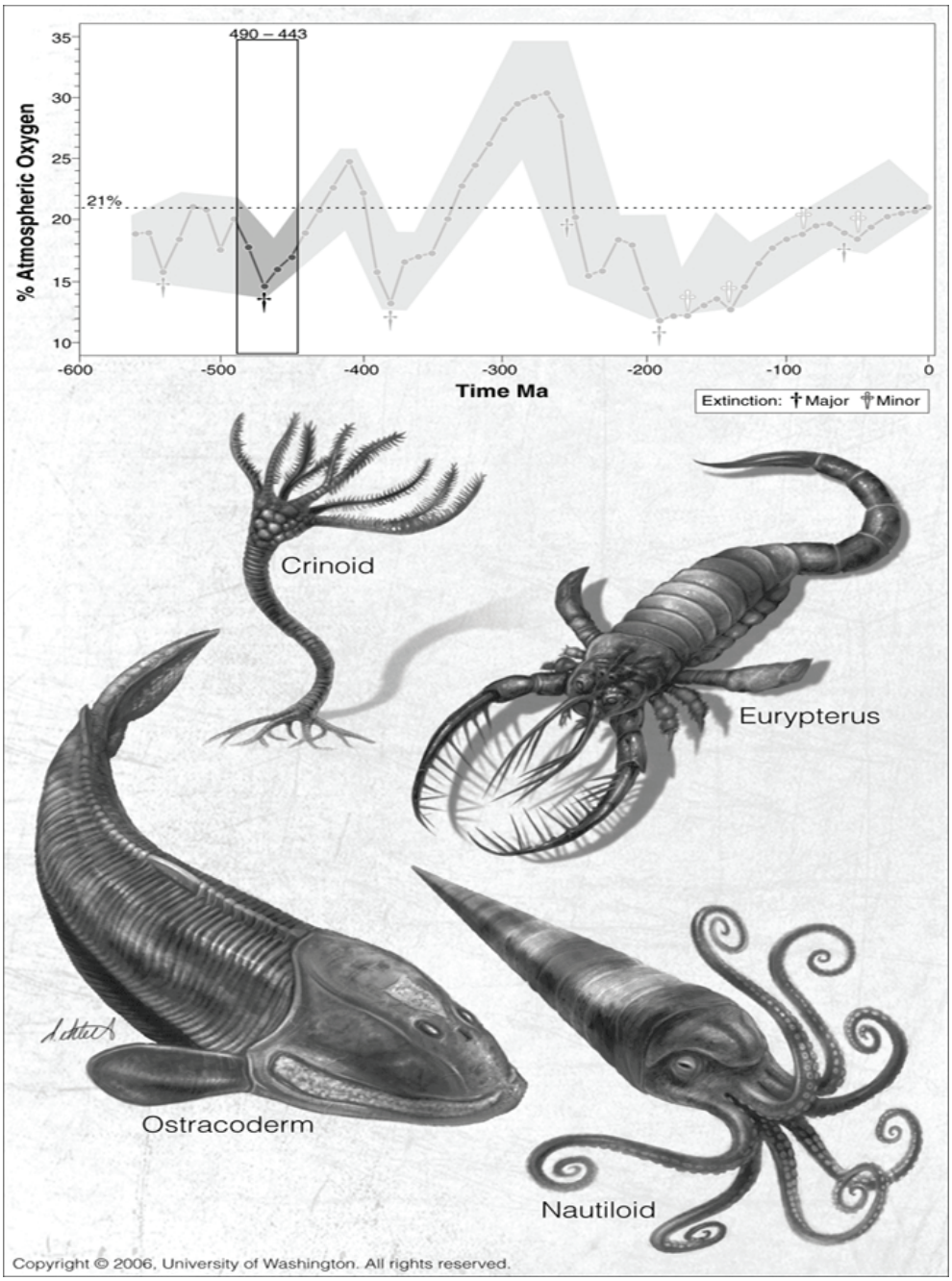


*Diagrama mostrando os níveis de oxigênio ao longo do **Fanerozoico,** com ênfase no período **Ordoviciano**, e os organismos mais destacados da época.*

AUTOAVALIAÇÃO

a. Qual é o evento climático que marca o fim do ***Ordoviciano***?

b. Esse evento climático foi acompanhado por um evento biótico; qual?

c. O que acontece com as formas de vida no início do ***Ordoviciano***?

d. Qual era o tipo ecológico de animais mais comum nesse período?

e. Que tipo de organismo pode ser considerado o maior predador desse período?

VI

AULA VI

SILURIANO E DEVONIANO.
A EXPANSÃO DOS ECOSSISTEMAS CONTINENTAIS.
APARIÇÃO DOS VEGETAIS TERRESTRES E ARTRÓPODES TERRESTRES E TETRÁPODES.
BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVO

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido:

a. A evolução da biota e dos climas nos períodos ***Siluriano*** *e* ***Devoniano*****;**

b. As modificações dos ecossistemas terrestres durante os períodos ***Siluriano*** *e* ***Devoniano.***

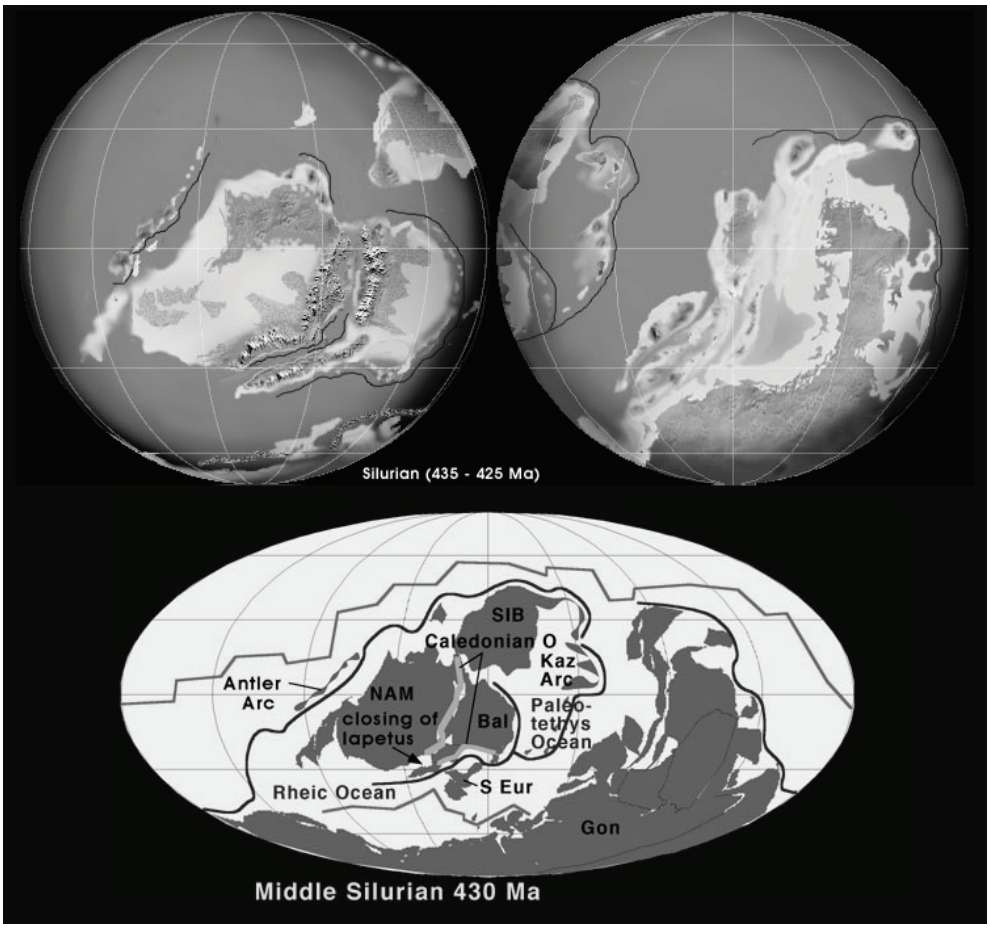
1. SILURIANO

O período ***Siluriano*** é um intervalo de cerca de 28 milhões de anos definido na escala de tempo geológica situado entre os períodos ***Ordoviciano*** e ***Devoniano***. A base do ***Siluriano*** é fixada por um grande evento de extinção, quando 60% das espécies marinhas foram exterminadas. Como sempre acontece no processo evolutivo, a flora e a fauna do Siluriano se desenvolveram a partir dos estágios anteriores, incluindo esta extinção, que, por sua vez, ajudou a lançar as bases para a vida no presente. Estratos silurianos estão na origem de alguns dos atuais depósitos de petróleo, gás e minério de ferro.

Durante o período ***Siluriano,*** o super-continente ***Gondwana*** derivou lentamente em direção ao Pólo Sul, a temperatura subiu e o gelo do mar e das geleiras derreteram. A proto-Europa e a América do Norte colidiram, levantando montanhas existentes hoje do Estado de Nova York à Groenlândia e Noruega; os níveis do mar eram em sua maioria elevados e estáveis, com algumas quedas de curta duração, mudando assim a capacidade das bacias oceânicas.

Durante longos intervalos, os níveis altos dos mares inundaram vastas regiões baixas dos continentes, produzindo mares rasos e quentes, onde a vida pôde se recuperar após a devastadora extinção do fim do ***Ordoviciano***. Durante o período ***Siluriano***, vida se diversificou consideravelmente com a aparição de várias novas formas de vida, como os corais formadores de recifes, peixes com mandíbulas, escorpiões do mar, parentes distantes das aranhas e centopéias, e as plantas vasculares.

Período	Idade	Duração (Ma)
SILURIANO	Pridolidiano	418.7 – 416,0
	Ludloviano	422,9 – 418,7
	Wenlockiano	428,2 – 422,9
	Llandoveriano	443,7 – 428,2



*Paleogeografia do **Siluriano**.*

1.1. PALEOGEOGRAFIA NO SILURIANO

Durante o ***Siluriano***, o super-continente ***Gondwana*** continuou derivando para as latitudes altas do hemisfério sul, mas há evidências de que suas calotas de gelo foram menos extensas que os da glaciação do ***Ordoviciano*** superior. O derretimento das calotas polares e geleiras contribuiu para um aumento do nível do mar, reconhecível pelo fato de que os sedimentos do ***Siluriano*** se sobrepõem a sedimentos erodidos do ***Ordoviciano***, formando uma discordância. Outros crátons e fragmentos de continente derivaram juntos para perto do Equador, iniciando a formação de um super-continente conhecido como

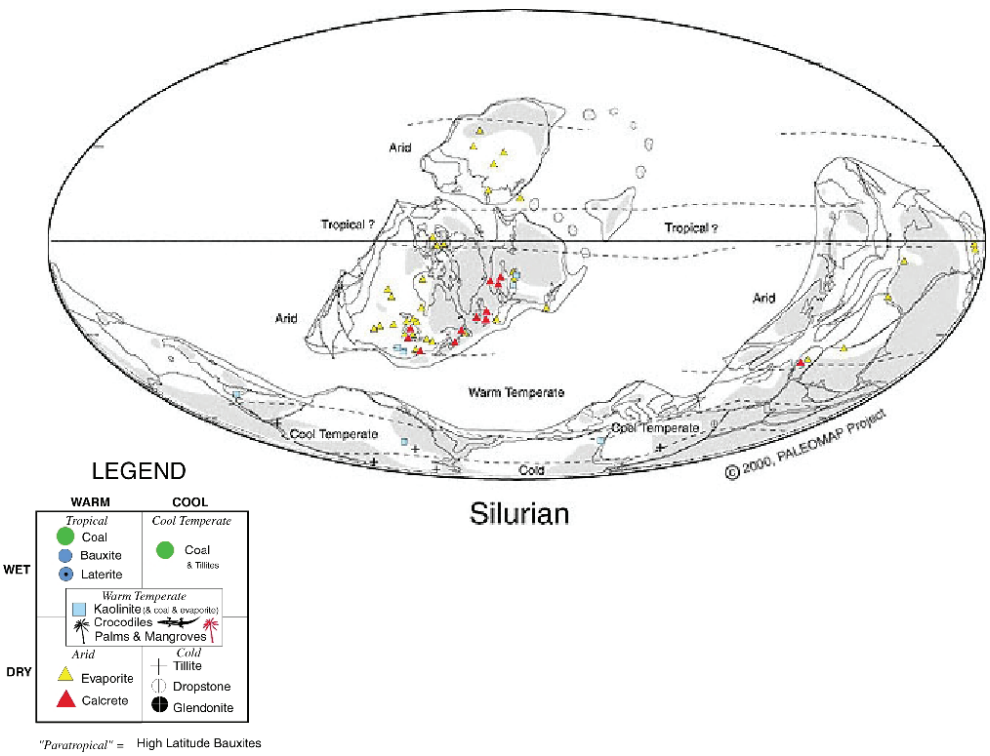
Euramérica. Quando o proto-Europa colidiu com a América do Norte, a colisão dobrou os sedimentos costeiros a leste e oeste, que haviam sido acumulados desde o ***Cambriano***.

Este evento gerou a ***orogenia caledônica***, uma série de montanhas que se estendia do que é hoje o leste dos Estados Unidos, através da Europa e Groenlândia, em direção à Noruega. No final do ***Siluriano***, o nível do mar diminuiu novamente, deixando depósitos de evaporitos em uma bacia que se estendeu por uma boa parte do sul e do leste da América do Norte, e cadeias de montanhas novas foram rapidamente erodidas.

O vasto oceano de ***Pantalassa*** cobria a maior parte do hemisfério norte, mas incluíam ainda outros oceanos menores, como o ***Proto-Tethys***, o ***Paleo-Tethys***, o ***Oceano Rheic***, além da passagem oceânica do mar de ***Iapetus*** (entre ***Avalonia*** e ***Laurêntia)*** e o recém-formado ***Oceano Ural***.

1.2. CLIMA NO SILURIANO

*Paleoclimas do **Siluriano**.*



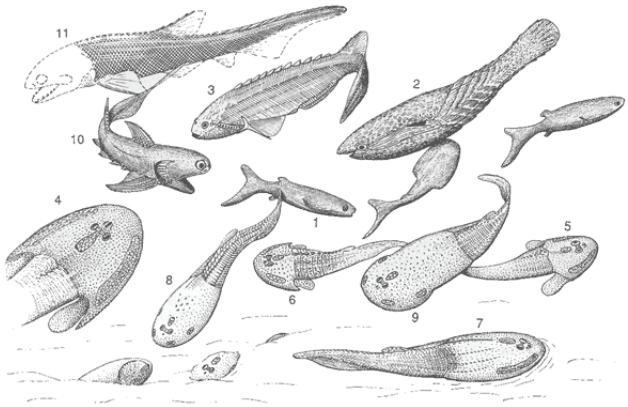
Durante o período ***Siluriano***, a Terra entrou numa longa fase de efeito estufa e mares rasos cobriam grande parte das massas de terra equatorial. O período assistiu a uma relativa estabilização climática do Planeta, terminando o padrão anterior de flutuações erráticas do clima. Camadas de conchas quebradas (chamadas de ***coquinas***) fornecem fortes evidências de um clima dominado por tempestades violentas geradas, assim como agora, pelas superfícies quentes

dos mares. Já as camadas extensivas de ***hematita*** durante o ***Siluriano*** indicam ambientes áridos em algumas regiões da atual América do Norte.

1.3. VIDA NO SILURIANO

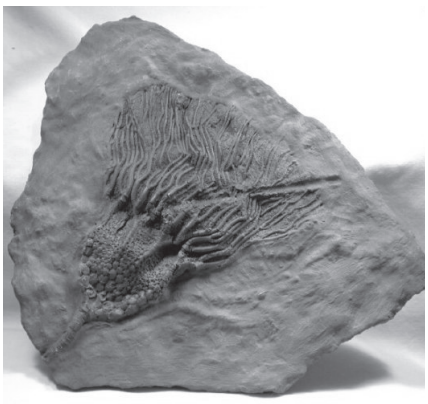
O nível do mar alto, determinando mares rasos e quentes durante o ***Siluriano***, criou um ambiente favorável para a vida marinha de todos os tipos. Os sedimentos silurianos são, em algumas áreas, produtores de petróleo e gás. Os recifes de coral fizeram sua primeira aparição durante este momento, construídos a partir dos extintos corais tabulares e rugosos.

Os vertebrados se diversificaram, com o predomínio dos peixes sem mandíbulas (***agnatos***) e os primeiros ***osteichthyes*** apareceram, representados pelos ***acanthodians***, cobertos de escamas ósseas. Os peixes alcançaram uma considerável diversidade e desenvolveram mandíbulas ***(gnatostomata),*** que se originaram a partir dos dois primeiros arcos branquiais.



*Diversidade dos vertebrados, peixes **agnatos** e **gnatóstomos**, durante o **Siluriano**.*

A fauna diversificada de ***eurypterida*** (chamados de ***escorpiões de mar***), alguns deles com vários metros de comprimento, rondavam os mares rasos do ***Siluriano***, sendo os maiores predadores do período, junto com os ***cefalópodes***; ***braquiópodes***, ***briozoários***, ***moluscos*** e ***trilobitas*** eram também abundantes e diversificados.

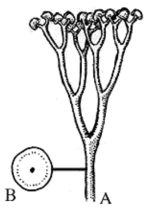


*Artrópodes do **Siluriano**: **euriptérido** e **trilobita**.*



*Equinodermo **crinoideo** do **Siluriano**.*

Os ***miriápodes*** tornaram-se os primeiros animais terrestres. Os ecossistemas da Terra, incluídos os primeiros animais multicelulares identificados, são parentes das aranhas modernas, cujos fósseis foram descobertos na década de 1990.



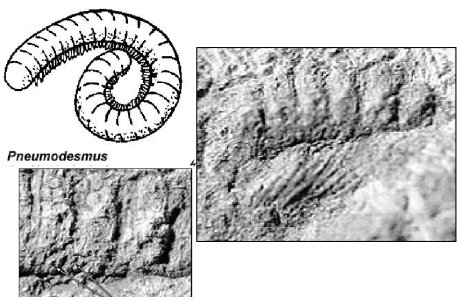
Cooksonia


Baragwanathia

*Um **miriápoda**, o mais antigo animal terrestre conhecido.*

Os primeiros registros fósseis de plantas vasculares, isto é, plantas terrestres com tecidos que transportam alimentos, são registrados no período ***Siluriano***. Os representantes mais conhecidos e primeiros deste grupo pertencem aos gêneros ***cooksonia*** (achados na maior parte do hemisfério norte) e ***baragwanathia*** (achados na Austrália).

Uma planta terrestre primitiva do ***Siluriano,*** com xilema e floema, nenhuma diferenciação na raiz, caule ou folha, e muito ramificada, é a ***psilophyton,*** que se reproduzia por esporos, respirando através de estômatos em cada superfície e, provavelmente, fotossíntese em todos os tecidos expostos à luz. ***Rhyniophyta*** e ***licophyta*** primitivos são outras plantas terrestres que apareceram pela primeira vez durante este período.


Pneumodesmus

*Plantas vasculares terrestres do **Siluriano.***

2. DEVONIANO

O período ***Devoniano*** é um intervalo de cerca de 57 milhões anos, definido na escala do tempo geológico (que se estende entre 416-359 milhões de anos atrás), notável como um período de grande diversificação da vida, com a primeira aparição de anfíbios, plantas com sementes, tubarões, peixes com nadadeiras lobadas e moluscos ***amonitas***.

Período	Sub-Período	Idade	Duração (Ma)
DEVONIANO	**Superior**	Tournasiano Famenniano Frasniano	385 – 359
	Médio	Givetiano Eifeliano	398 – 385
	Inferior	Emsiano Pragiano Lochkoviano	416 – 398

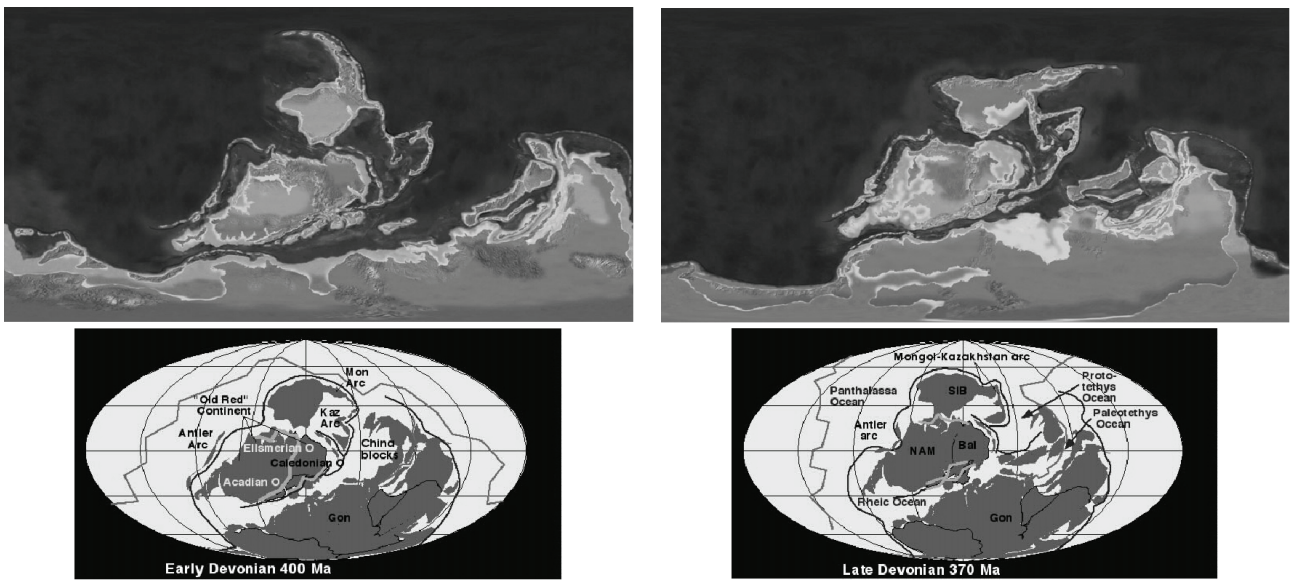
A gama de vida na Terra nesse período inclui ***artrópodes***, como insetos e aranhas, que começaram a colonizar *habitats* terrestres, assim como as plantas com sementes, formando vastas florestas. Nos mares, uma grande abundância de formas de ***peixes*** desenvolveu-se e proliferou-se. Por esta razão, o período ***Devoniano*** tem sido chamado de a ***Era dos Peixes***.

A proliferação da vida vegetal contribuiu para drenar e reduzir a maior parte do dióxido de carbono do ar, responsável pelo ***efeito estufa***, podendo ter contribuído para o esfriamento planetário correlacionado com a extinção do final do ***Devoniano***, que reduziu severamente a diversidade e abundância da vida marinha.

A aparição no ***Devoniano*** de várias novas formas de plantas e o aparecimento de diversos tipos de vida animal, bem como a extinção de muitas outras formas no final do período, pavimentou o caminho para os dias atuais.

2.1. PALEOGEOGRAFIA NO DEVONIANO

A paleogeografia foi dominada pelo super-continente de ***Gondwana***, ao sul, o continente da ***Sibéria***, ao norte, e a formação inicial do pequeno super-continente de ***Euramérica,*** entre ambos.



*Paleogeografia do **Devoniano**.*

No hemisfério sul, o super-continente de ***Gondwana*** (incluído o que hoje é o sul da Europa) moveu-se continuamente para o norte. No norte, os continentes de ***Laurêntia*** e de ***Báltica*** colidiram, fechando o oceano ***Iapetus*** e formando uma cadeia de montanhas onde o mar uma vez esteve. Isso é conhecido como a orogenia ***Caledônica***.

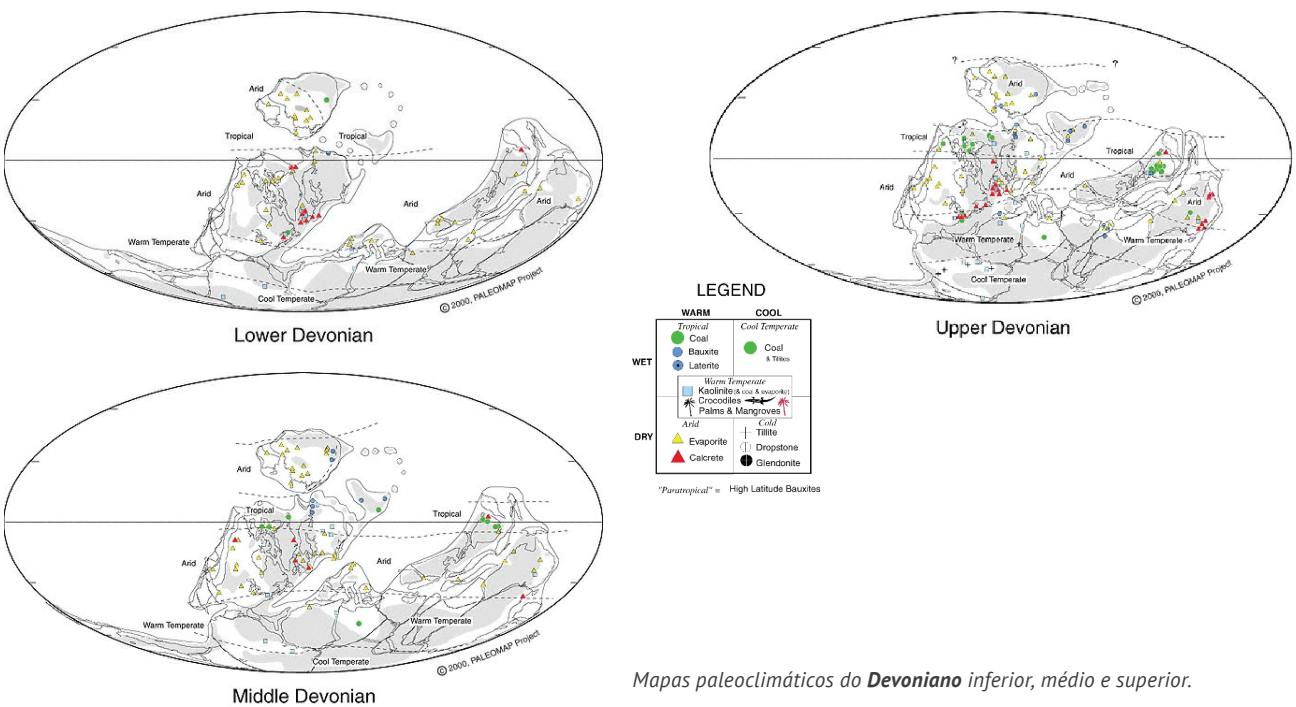
Ao mesmo tempo, outras cadeias de montanhas se elevaram: no sul da ***Laurêntia,*** a ***Appalachianas****;* a oeste a ***Cordilleriana***; ao norte a ***Ellesmere*** (ao

longo da margem norte da ***Laurêntia***); e para o extremo oriente as montanhas ***Urais*** (no leste da ***Báltica***). O novo continente que resultou dessa colisão é denominado de ***Laurássia***; e a região equatorial do ***Devoniano***, dominada por esse super-continente recém-formado, é chamado às vezes de ***Velho Continente Vermelho*** (assim chamado por causa de seus sedimentos predominantemente avermelhados, produtos da erosão e que foram depositados na Inglaterra, na Escócia, nas Ardenas e nas montanhas do Reno). As grandes baías rasas, os deltas e os golfos do Velho Continente Vermelho, forneciam áreas protegidas para peixes sem mandíbulas e placodermos. Ao norte está novamente a Sibéria.

O conjunto da ***Euramérica*** começou a derivar para o norte, enquanto ***Gondwana*** sofreu uma rotação anti-horária em torno do eixo da Austrália. Parte do bloco chinês e da Armórica começaram a se fraturar nas margens de ***Gondwana*** e os blocos da Sibéria e Cazaquistão continuaram a se derivar para o norte. Ambos, ***Gondwana*** e ***Euramérica***, rodeados por zonas de subdução, entraram em rota de colisão, o que culminou na formação de um único super-continente, a ***Pangea,*** durante o ***Permo-Carbonífero***.

2.2. CLIMA NO DEVONIANO

A climatologia do ***Devoniano*** é muito controversa. Os resultados obtidos variam muito, dependendo de qual aproximação é utilizada para a interpretação climática e qual localidade são estudados. Historicamente, o ***Devoniano*** tem sido considerado como geralmente quente e estável, com uma queda muito marcada das temperaturas no ***Devoniano*** superior, provocando uma extinção em massa no fim do período. A razão para esta interpretação pode ser que a maioria dos trabalhos foi feito no Velho Continente Vermelho, ou seja, com os sedimentos marinhos rasos dos mares em torno da Euramérica.



*Mapas paleoclimáticos do **Devoniano** inferior, médio e superior.*

Uma análise mais compreensiva sugere uma imagem global diferente (ver os mapas de clima do ***Devoniano*** inferior, médio e superior). O clima do ***Devoniano*** inferior foi fortemente zonificado, com uma estreita faixa equatorial tropical e subtropical, amplas zonas áridas estendendo-se cerca de 35 ° de latitude, e zonas temperadas estendendo-se para os pólos. Houve poucas mudanças nesse quadro geral ao longo do ***Devoniano***. No ***Devoniano*** tardio, zona temperada fria austral se expandiu, com indícios de gelo glacial em algumas partes do ***Gondwana*** ocidental (norte da América do Sul). No entanto, a zona temperada do norte recuou ante uma zona subtropical que se estendeu até quase os 60°N. Assim, embora as partes do sul fossem mais frias, algumas regiões do norte, com pouca área de terra emergida, foram se tornando mais quentes. Em suma, não se trata de um modelo simples de resfriamento planetário.

Em vez disso, é possível interpretar que os efeitos observados podem ser explicados por uma ligeira descida do nível do mar, combinados com uma série de alterações locais relacionadas com a formação do super-continente ***Pangea*** e a propagação de plantas terrestres. Para entender os problemas, precisamos de uma breve revisão da tectônica do período. Quando nos aproximamos do ***Devoniano*** tardio, ***Pangea*** está começando a tomar forma, o continente ***Laurentiano*** está sendo pressionado por três lados e a conexão entre os oceanos ***Rheico*** e ***Paleotethys*** está se fechando gradualmente.

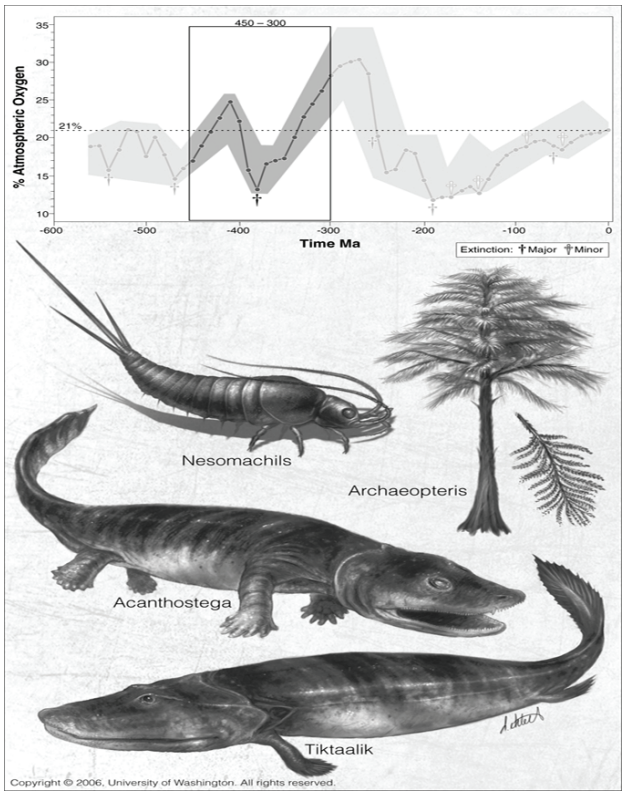
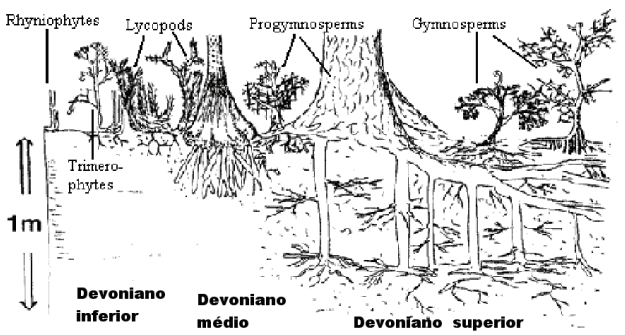


*Diagrama mostrando os níveis de oxigênio ao longo do **Fanerozoico**, com ênfase no período **Siluriano-Devoniano** e os organismos mais destacados da época.*

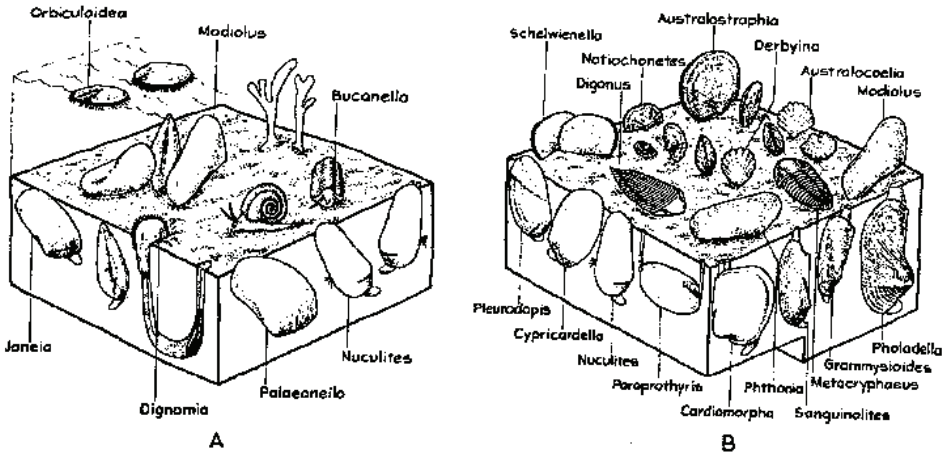
Com o aumento da pressão sobre a placa ***Laurentiana,*** grandes cadeias de montanhas surgiram ao redor da periferia do continente. Nessa época, as plantas também estavam começando a ter um impacto na superfície terrestre e na química atmosférica. Os níveis de dióxido de carbono ainda eram várias vezes maiores do que nos tempos atuais, mas podem ter caído em até 80% a partir do ***Siluriano***. Além disso, o ***Devoniano*** superior viu a evolução das árvores de grande porte com sistema radicular profundo. Este aumento acentuou o intemperismo terrestre, com a correspondente queda do dióxido de carbono.



*Esquema mostrando o aumento dos sistemas radiculares das plantas terrestres ao longo do **Devoniano.***

2.3. VIDA NO DEVONIANO

Os níveis do mar no ***Devoniano*** eram geralmente altos. As faunas marinhas continuaram a ser dominadas por ***briozoários***, diversos e abundantes ***braquiópodes***, e ***corais.*** Os equinodermos ***crinóideos*** eram abundantes e os ***trilobitas*** ainda bastante comuns, mas menos diversificados do que em períodos anteriores.

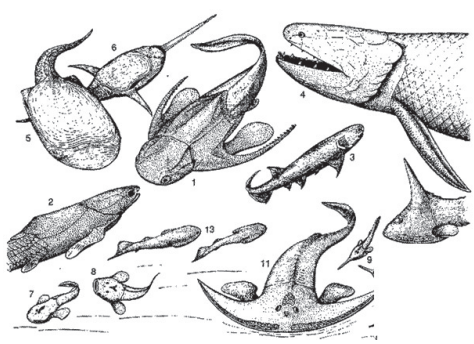


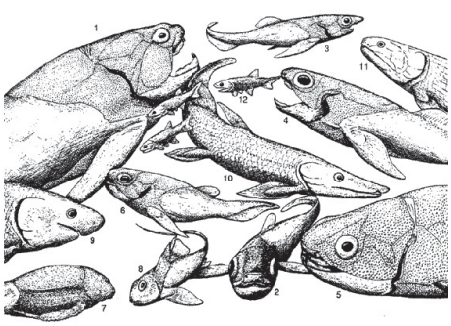
*Comunidades bentônicas do **Devoniano**.*

No ***Devoniano*** médio, aos ***ostracodermos*** juntaram-se os primeiros ***gnatóstomos***, os ***placodermos***, peixes grandes e acoraçados, bem como os primeiros ***tubarões*** e ***actinopterigios***. No final do ***Devoniano***, os peixes ***sarcopterigios*** apareceram, dando origem aos primeiros ***tetrápodes*** e os vertebrados tornaram-se os maiores predadores aquáticos, papel que os artrópodes tiveram desde o ***Cambriano***.

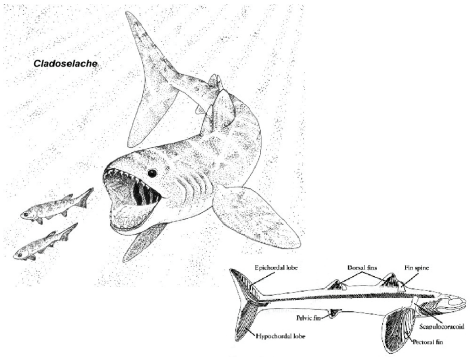


*Coraça de **Dunkleousteos**, um **placodermo** do **Devoniano** que podia alcançar dez metros de comprimento.*

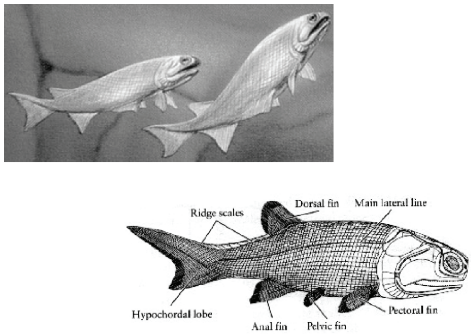




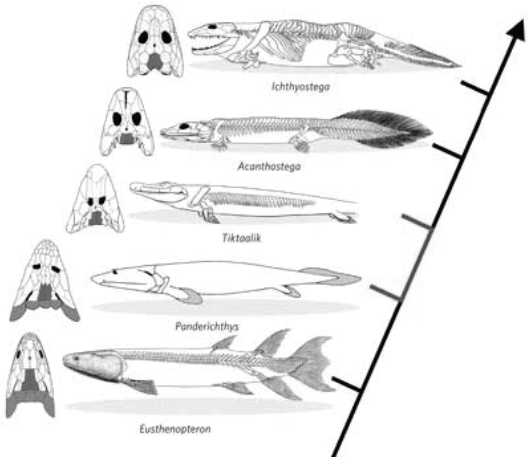
*Representação da diversidade de peixes presentes no **Devoniano**.*



***Cladoselache**, um tubarão primitivo do **Devoniano**.*



***Actinopterigio** primitivo.*



*Filogenia da transição de peixes para tetrápodes durante o **Devoniano**.*

Um grande recife de barreira, hoje emergido no noroeste da Austrália, durante o ***Devoniano***, se estendeu por mil quilômetros, bordejando um continente. Recifes, em geral, são construídos por carbonato de vários organismos secretores e sésseis, que têm a capacidade de construir estruturas resistentes às ondas, perto do nível do mar. Os principais construtores de recifes do ***Devoniano***, à diferença dos atuais (que são construídos principalmente por corais e algas calcárias), eram compostos de algas calcárias e pseudo-corais, como ***estromatoporóides*** e corais tabulares e rugosos, nessa ordem de importância.

No ***Devoniano***, a vida tinha avançado na colonização das terras emergidas. Os tapetes de bactérias e algas foram seguidos, no início do período, de plantas primitivas que criaram o primeiro solo reconhecível e abrigaram alguns ***artrópodes,*** como ***ácaros***, ***escorpiões***, e ***miriápodes.*** As plantas do ***Devoniano*** inferior não tinham raízes ou folhas como as plantas de hoje em dia, e muitas não tinham tecido vascular. No início, provavelmente, se espalharam principalmente por crescimento vegetativo e não passaram muito mais do que alguns centímetros de altura.

Florestas de pequenas plantas primitivas já existiam no **Devoniano** superior, como ***licófitas, esfenófitas***, ***samambaias*** e ***progymnospermas***. A maioria destas plantas já possuía verdadeiras raízes e folhas, e muitas eram bastante altas. A samambaia arborescente ancestral ***archaeopteris*** cresceu como uma grande árvore com madeira verdadeira (as mais antigas conhecidas das florestas do mundo) e as primeiras plantas com sementes já tinham aparecido. Este rápido aparecimento de muitos grupos de plantas e de diferentes formas de crescimento tem sido chamado de ***Explosão Devoniana***.



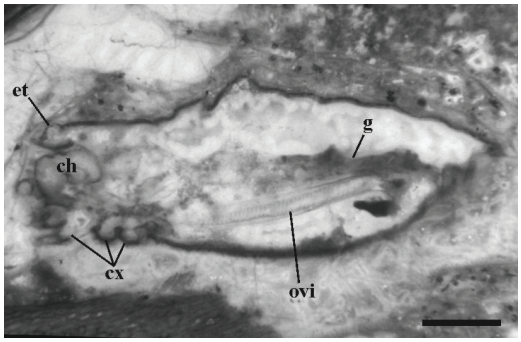


*Fragmento de samambaia arborescente do **Devoniano** e sua reconstrução.*

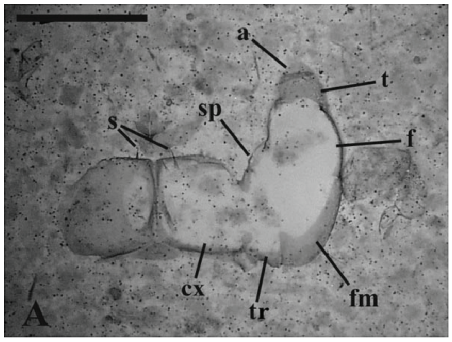


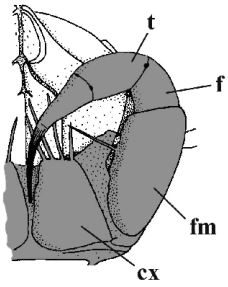
*Semente primitiva do **Devoniano**.*

Os artrópodes primitivos cresceram nessa estrutura diversificada da vegetação terrestre, e a evolução de insetos e plantas com sementes, que caracterizam o mundo moderno, teve sua gênese no ***Devoniano*** tardio.

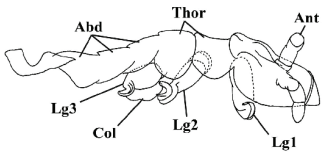


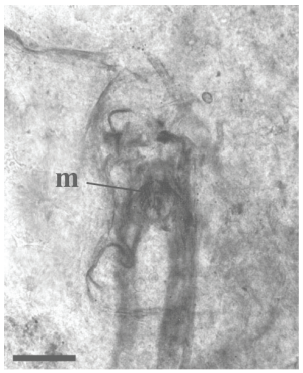
*Aracnídeo do **Devoniano**.*



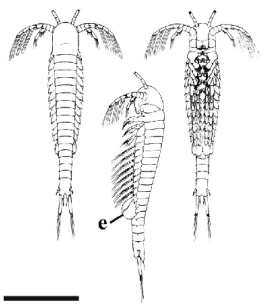


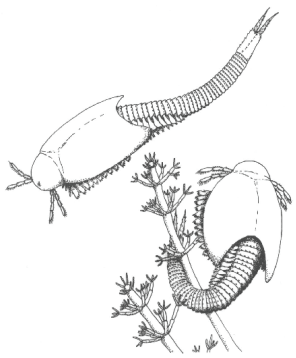
*Miriápode do **Devoniano**.*





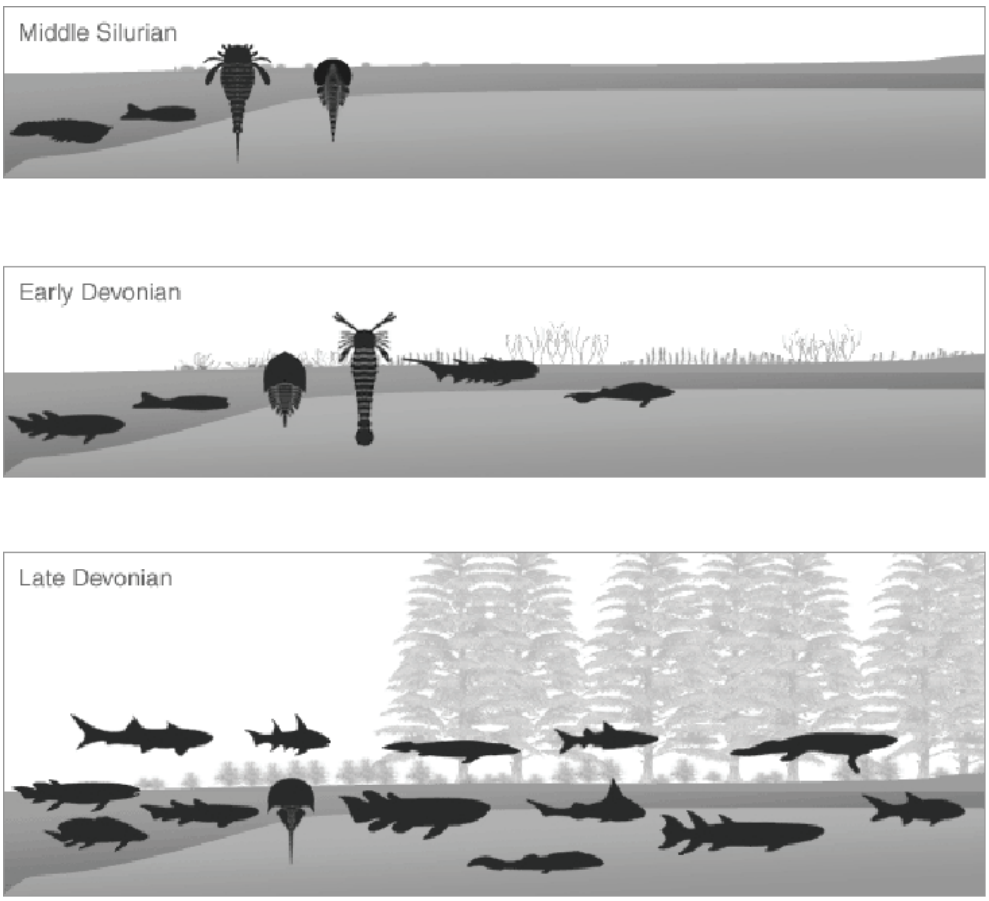
Um dos mais antigos insetos conhecido, do período devoniano.





Crustáceos devonianos.

Também no ***Devoniano***, ambos vertebrados e artrópodes se estabeleceram solidamente sobre a terra. O "esverdeamento" dos continentes agiu como sumidouro de dióxido de carbono e os níveis atmosféricos deste gás de efeito estufa devem ter caído significativamente. Esse fator pode ter esfriado o clima e levado a um evento de extinção em massa, conhecido como a ***Extinção Devoniana***. Estima-se que 22% de todas as famílias de animais marinhos (principalmente invertebrados) foram eliminadas, cerca de 60% dos gêneros e pelo menos 75% das espécies não sobreviveram no ***Carbonífero***, o período seguinte.



*Esquema de expansão da vida no ambiente terrestre do **Siluriano** superior até o fim do **Devoniano**.*

AUTOAVALIAÇÃO

a. O que caracteriza o início de período ***Siluriano***?

b. Quais organismos são os principais predadores marinhos durante o ***Siluriano***?

c. Quais organismos são os principais predadores marinhos durante o ***Devoniano***?

d. Como o ecossistema terrestre começou a se desenvolver no ***Siluriano*** **e no** ***Devoniano***?

e. Qual a sequência de organismos que colonizaram o ecossistema terrestre nesses períodos?

f. Como as plantas terrestres influenciaram a modelagem do ecossistema terrestre?

VII

AULA VII

CARBONÍFERO.
DIVERSIFICAÇÃO DOS TETRÁPODES.
A GLACIAÇÃO DO FINAL DO CARBONÍFERO.
BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVOS

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido:

a. A evolução da biota e dos climas no período ***Carbonífero***;

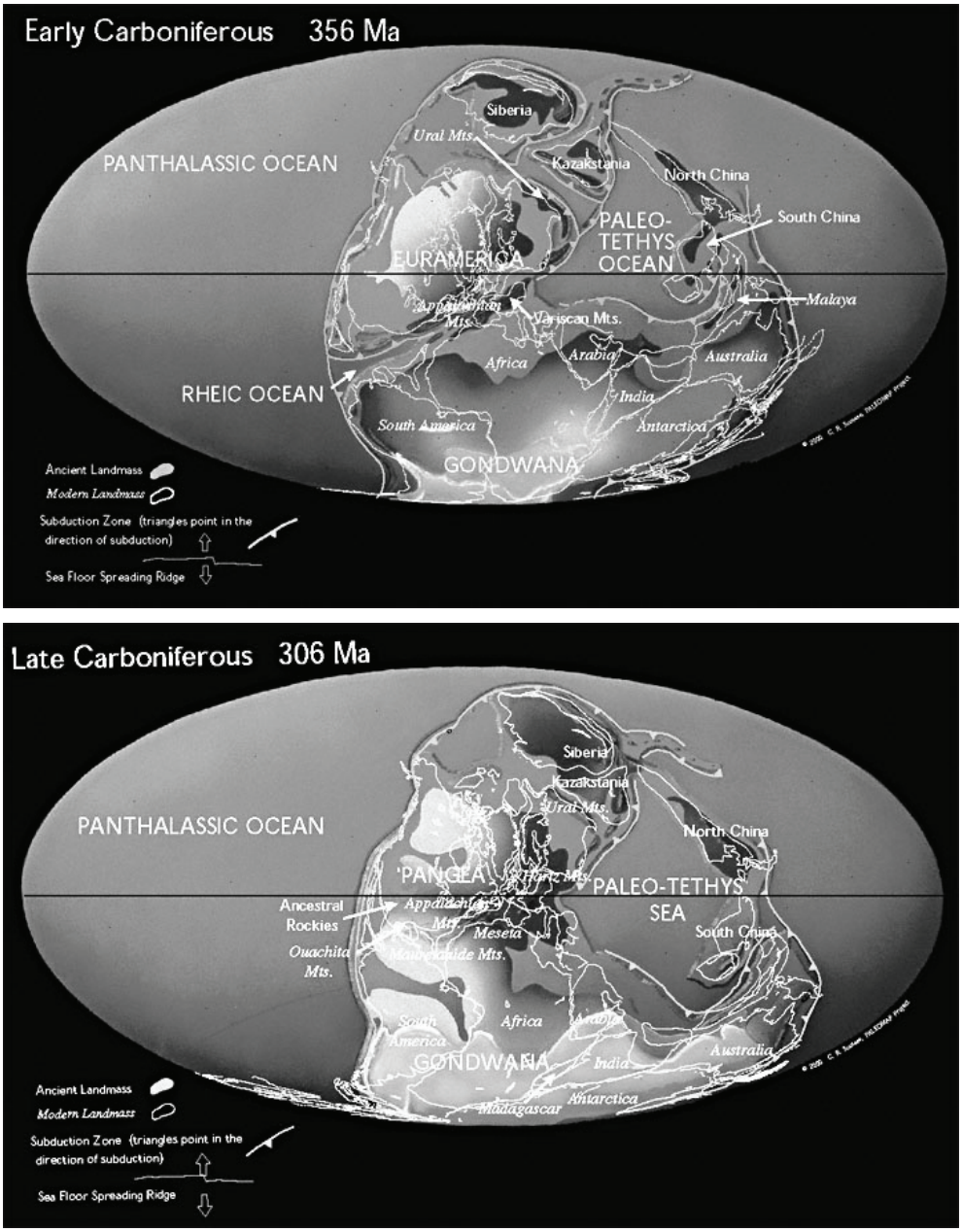
b. As modificações dos ecossistemas terrestres durante o período ***Carbonífero***;

c. Seu papel na evolução *dos* ***tetrapodas*** e ***arthropodas*** terrestres e da ecologia da época.

1. INTRODUÇÃO

O período ***Carbonífero*** é um intervalo de aproximadamente 60 milhões de anos, entre 359-299 milhões de anos atrás. O período é notável por sua glaciação polar, a elevação de montanhas e os baixos níveis do mar, durante os quais, nas regiões equatoriais da Terra, o desenvolvimento da vida vegetal floresceu (transformada mais tarde em carvão vegetal), enquanto os extensos mares superficiais, os restos abundantes de algas e ***zooplânctons*** acumulados em camadas profundas do fundo do mar se tornaram os ingredientes originais para formar o petróleo e o gás natural. No período ***Carbonífero***, aparecem os ***amniotas*** e uma das primeiras ***gimnospermas***.

Período	Sub-Período	Idade	Duração (Ma)
CARBONÍFERO	**Pennsylvaniano**	**Gzheliano** **Kasimoviano** **Moscoviano** **Bashkiriano**	318 – 299
	Missipiano	**Serpukoviano** **Viseano** **Turnesiano**	359 – 318



*Paleogeografia do **Carbonífero**.*

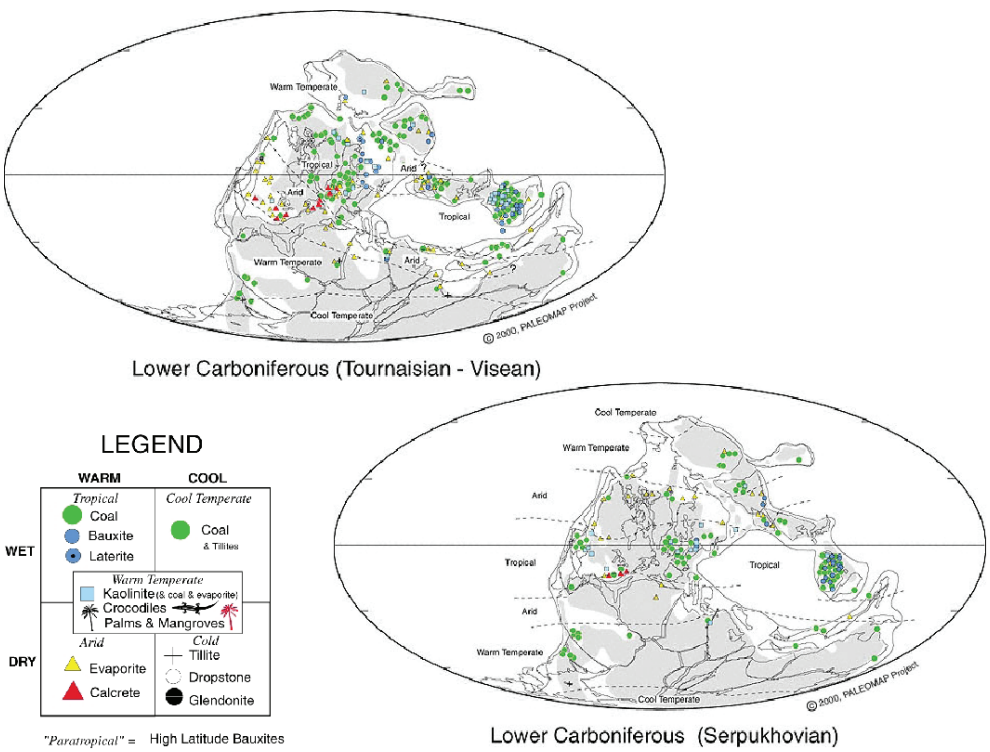
A queda global do nível do mar no final do período ***Devoniano*** foi revertida no início do período ***Carbonífero,*** criando extensos mares epicontinentais e a deposição de carbonato com a formação de rochas calcárias nos sedimentos do ***Mississippiano***. No ***Carbonífero*** médio, a queda do nível do mar é considerada como a responsável pela precipitação de uma importante extinção observada nos ambientes marinhos, que atingiu especialmente os equinodermos ***crinoides*** e cefalópodes ***amonites.*** A queda do nível do mar e a discordância estratigráfica a ela associada separam o ***Mississippiano*** do ***Pensilvaniano*** na América do Norte.

O período ***Carbonífero*** foi um tempo de ativa construção de montanhas, à

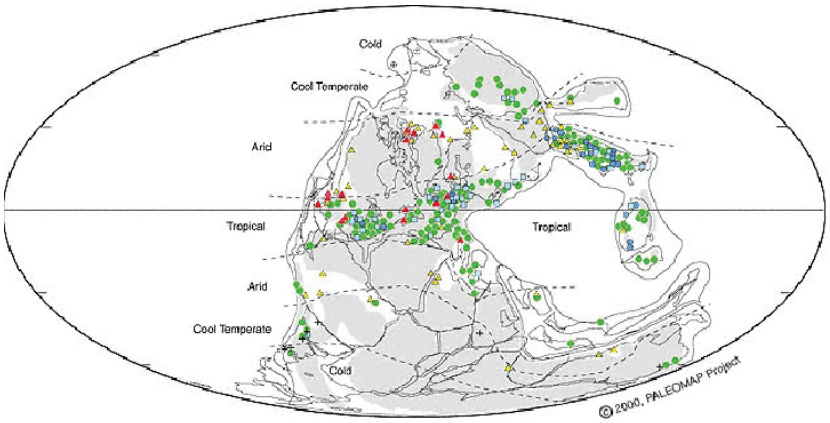
medida que as massas continentais que comporiam o super-continente ***Pangeia*** se uniram: os continentes do sul permaneceram unidos no super-continente ***Gondwana***, que colidiu com o bloco da América do Norte/Europa ***(Laurússia)*** ao longo da linha atual do leste da América do Norte. Esta colisão continental resultou na orogenia ***Herciniana*** na Europa e na orogenia ***Alleghânica*** na América do Norte (que deu origem aos Apalaches e às montanhas Allegheny). No mesmo período, grande parte da placa da Eurásia oriental estava unida com a Europa, ao longo da linha dos montes Urais. Nesse momento, a maior parte do que será no ***Mesozóico***, o supercontinente ***Pangeia*** foi construído (embora o norte da China, que colidirá no final do ***Carbonífero***, e os continentes do sul da China ainda estivessem separados da ***Laurásia***). A ***Pangeia*** do ***Carbonífero*** apresentavam nessa época o formato de uma "O".

Havia dois oceanos principais no ***Carbonífero***: o mar ***Pantalassa***, em torno da vasta massa de terra, e o mar ***Paleo-Tethys***, dentro do "O" na ***Pangeia*** do ***Carbonífero***. Outros oceanos menores foram diminuindo e, eventualmente, se fecharam: o Oceano ***Reico*** (fechado pela junção da América do Sul e América do Norte), o pequeno e raso Oceano ***Ural*** (fechado pela colisão dos continentes ***Báltica*** e ***Sibéria***, criando os montes Urais), e o oceano ***Proto-Tethys*** (fechado pela colisão do norte da China com a Sibéria).

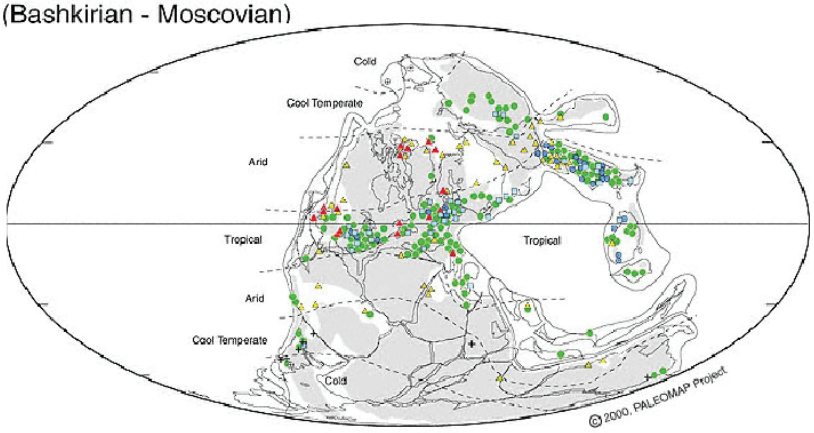
2. PALEOCLIMAS NO CARBONÍFERO



*Paleoclimas do **Carbonífero**.*



Upper Carboniferous (Bashkirian - Moscovian)



Upper Carboniferous (Bashkirian - Moscovian)

Durante o ***Carbonífero,*** houve uma queda nas temperaturas polares e ***Gondwana*** foi coberta por glaciares durante todo o período, embora seja possível que esses glaciares fossem um resquício daqueles do ***Devoniano***. Essas condições glaciares aparentemente tiveram pouco efeito nos trópicos, onde luxuriantes florestas pantanosas floresceram a apenas 30 graus das geleiras mais setentrionais de ***Gondwana***.

3. BIOTA NO CARBONÍFERO

O alto nível de oxigênio no ***Carbonífero***, o mais alto da história do Planeta, provavelmente resultou no gigantismo de insetos e anfíbios, fenômeno no qual criaturas cujo tamanho é limitado pelo seu sistema respiratório (baseado na difusão de oxigênio interno) foram muito maiores do que são hoje graças ao ambiente do ***Carbonífero***. A vida marinha é especialmente rica em ***crinoides*** e outros equinodermos: ***braquiópodes*** eram abundantes e ***trilobites*** tornaram-se bastante incomum. Em terra, as populações de plantas são grandes e diversificadas e os vertebrados terrestres incluíam grandes anfíbios.

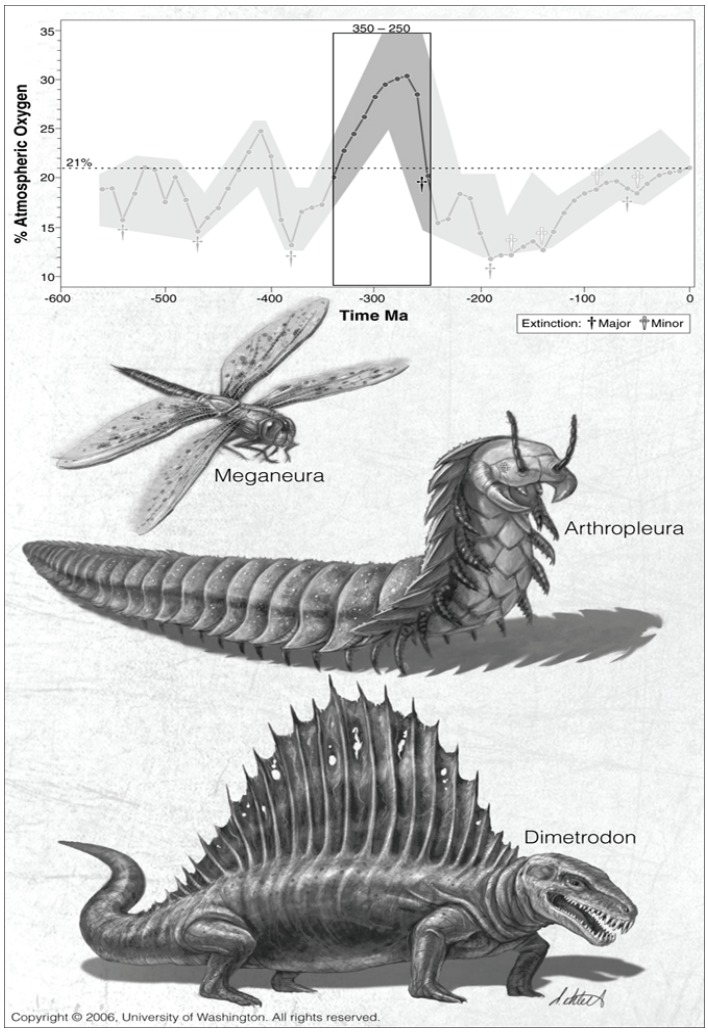


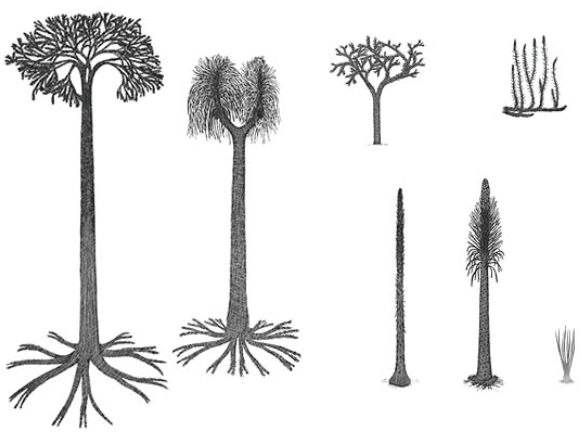
*Diagrama mostrando os níveis de oxigênio ao longo **do Fanerozoico**, com ênfase no período **Carbonífero** e os organismos mais destacados da época.*

4. PLANTAS NO CARBONÍFERO

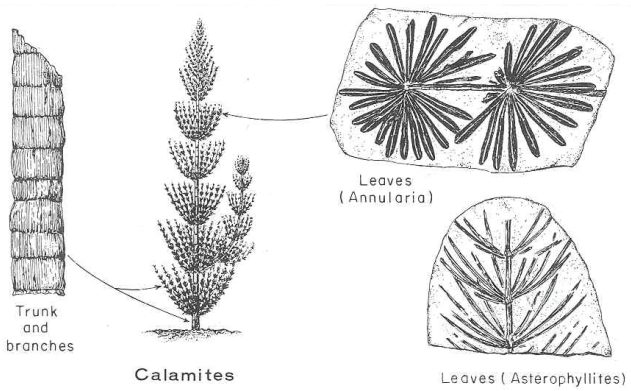
As plantas terrestres do ***Carbonífero*** inferior foram muito semelhantes as do ***Devoniano***, mas novos grupos apareceram principalmente as ***equisetales, sphenophyllales***, ***lycopodiales***, ***lepidodendrales***, ***filicales***, ***medullosales*** (anteriormente incluídas com as samambaias com semente, um grupo artificial de várias pro-gimnospermas) e as ***cordaitales***. Estas continuaram a dominar todo o período, mas durante o ***Carbonífero*** superior apareceram vários outros grupos, como ***cycadophytas***, ***callistophytales*** (outro grupo de samambaias com semente) e os ***voltziales*** (relacionados e, por vezes, incluídos nas coníferas). As ***licófitas*** do ***Carbonífero***, da ordem ***lepidodendrales***, eram enormes árvores, com troncos de 30 metros de altura e de até 1,5 metros de diâmetro, incluindo ainda ***lepidodendron***, ***halonia***, ***lepidophloios*** e ***sigillaria***.



*Reconstrução de uma floresta do **Carbonífero**.*



***Licophyta** arborescente do **Carbonífero**.*



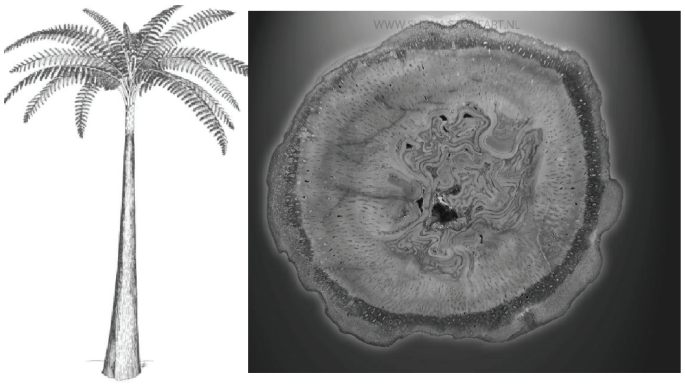
*Equiseto arborescente do **Carbonífero**.*

As frondes de algumas samambaias do ***Carbonífero*** são quase idênticas às de espécies viventes. Provavelmente, muitas espécies foram epífitas:

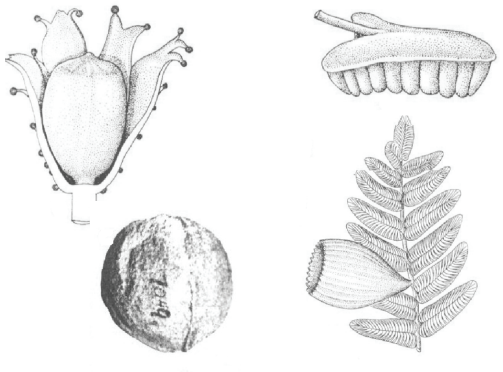
•***Samambaias*** fósseis e ***samambaias*** com semente, que incluíam ***pecopteris***, ***cyclopteris***, ***neuropteris***, ***alethopteris*** e ***sphenopteris;***

- ***Megaphyton*** e ***caulopteris*** arvorecentes;
- ***Equisetales***, que incluíam as comuns ***calamites***, forma gigante com diâmetro do tronco de 30 a 60 cm e altura de até 20 metros;
- ***Sphenophyllum***, planta delgada escalada com verticilos de folhas, provavelmente relacionada tanto às ***calamites*** como aos licopódios;
- ***Cordaites,*** planta alta de seis a mais de 30 metros, com folhas em forma de fitas, relacionadas com as cicas e coníferas.

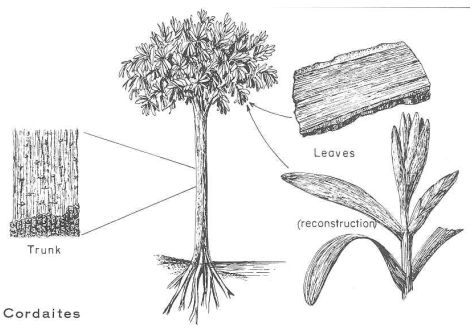
Essas plantas se desenvolveram para viver em pântanos e manguezais e as verdadeiras ***coníferas*** (***waichia***, da ordem ***voltziales***) aparecem no final do ***Carbonífero*** e preferiam solos mais altos e secos.



*Samambaias arborescentes do **Carbonífero**.*



Sementes de "samambaias com semente".



Cordaites, *uma das grandes árvores do **Carbonífero**.*

5. FAUNA NO CARBONÍFERO

Nos oceanos, os grupos mais importantes foram os ***foraminíferos***, ***corais***, ***briozoários***, ***braquiópodes***, ***amonoideos***, ***equinodermos*** (especialmente ***crinoides***) e ***chondrichthyes*** (tubarões e formas relacionadas). Pela primeira vez, os foraminíferos terão um papel proeminente na fauna marinha. O gênero ***fusulina*** e outros semelhantes eram abundantes na região que é hoje Rússia, China, Japão e América do Norte. Outros gêneros importantes incluem ***valvulina, endothyra***, ***archaediscus*** e ***saccammina***, sendo que alguns desses gêneros do ***Carbonífero*** ainda existem. As conchas microscópicas de ***radiolaria*** são encontradas nos depósitos de sílice desta idade na Inglaterra, Rússia, Alemanha e outros países.

Esponjas são conhecidas de espículas e incluem diversas formas, como o ***cotyliscus calcispongea*** e ***girtycoelia,*** e as incomuns e coloniais ***titusvillia***. Os corais construtores de recifes e os corais solitários se diversificaram e se desenvolveram, incluindo tanto os rugosos (por exemplo, ***canina, corwenia***, ***neozaphrentis***), como os heterocorais e os tabulares (por exemplo, ***chaetetes, chladochonus, michelinia***). Os conulários estavam bem representados por ***conularia*** e os ***bryozoa*** eram abundantes em algumas regiões.

Braquiópodes foram igualmente abundantes e incluem ***prodúctidos***, alguns dos quais (por exemplo, ***gigantoproductus***) chegaram a tamanhos muito grandes (para braquiópodes) e tinha uma concha muito grossa, enquanto outros como ***chonetes*** foram mais conservadores na forma. Formas inarticuladas incluíam ***discina*** e ***crania*** e algumas espécies e gêneros tiveram uma distribuição muito ampla, com apenas pequenas variações.

Anelídeos, como ***spirorbis*** e ***serpulites***, foram fósseis comuns em algumas áreas e dentre os moluscos, os ***bivalves*** continuaram a aumentar em número e importância, assim como os ***Gastropoda***.

Cefalópodes ***nautiloideos*** são representados por formas bem enroladas, formas de conchas retas e curvas e algumas formas raras. Os ***amonoideos*** do grupo dos ***goniatites*** são comuns e ***trilobites*** eram raros, representado apenas por um grupo, os ***proétidos***. ***Ostracodes*** eram abundantes e, entre os ***equinodermos***, os ***crinoides*** foram os mais numerosos, formando densas florestas submarinas, com espécies de hastes longas em mares rasos (seus restos se encontram com frequência consolidados em espessas camadas de rochas). ***Equinóides*** também estavam presentes e os ***blastoides*** (superficialmente semelhantes aos ***crinoides*** por possuírem hastes longas que os fixavam ao subtrato) atingiram o seu máximo desenvolvimento nesse momento.

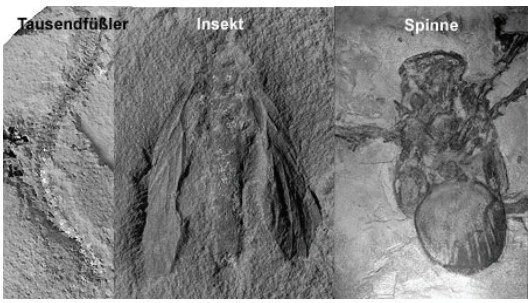
Invertebrados de água doce do período ***Carbonífero*** incluem vários moluscos bivalves (que viviam em água doce ou salgada) e diversos crustáceos; os ***euriptéridos*** também foram diversos e representados por gêneros como os ***eurypterus,*** os ***glyptoscorpius***, os ***megarachne*** (originalmente identificados como uma aranha gigante) e os ***hibbertopterus***, muito especiais e grandes. Muitos dessas espécies eram anfíbios.

Restos fósseis de invertebrados terrestres, como insetos, ***miriápodes*** e ***aracnídeos,*** são conhecidos no ***Carbonífero***. Sua diversidade mostra que esses artrópodes foram bem desenvolvidos e numerosos; entre os grupos de insetos

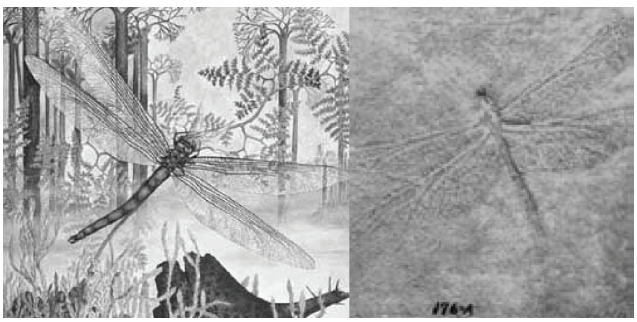
estão os ***syntonopterodea*** (abundante e freqüente), os ***palaeodictyopteroidea***, os ***protodonata*** (grandes predadores), as diversas ***protorthoptera***, herbívoros e inúmeros ***dictyoptera*** basais (ancestrais de baratas). Muitos insetos foram achados em troncos ocos de árvores fósseis na Nova Escócia e algumas minas britânicas de carvão têm rendido bons exemplares: ***archaeoptitus***, que tinham asas de mais 35 centímetros (alguns espécimes ainda exibem cores brilhantes nas asas); e caracóis terrestres foram encontrados nos troncos das árvores.



Miriápoda gigante.



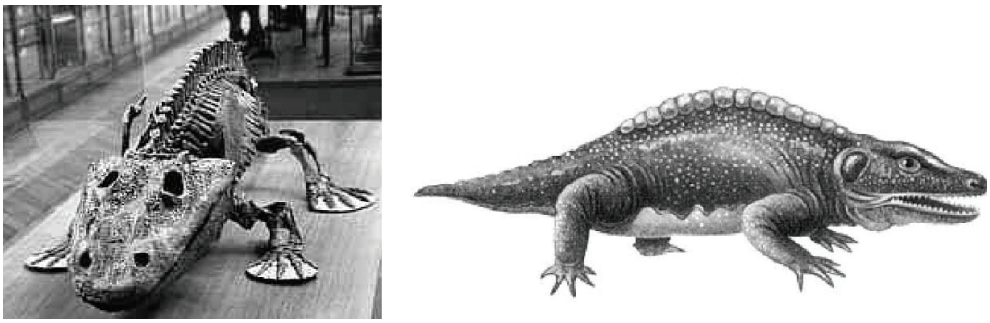
*Artrópodes terrestres do **Carbonífero**: um **miriápoda,** um inseto e um aracnídeo.*



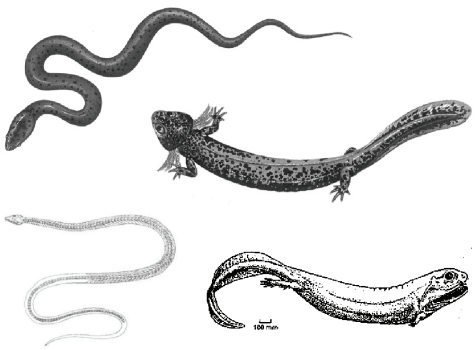
***Odonata** fóssil gigante e sua reconstrução.*

Muitos peixes habitavam os mares carboníferos, predominantemente ***elasmobrânquios*** (tubarões). A maioria dos tubarões era de origem marinha, mas algumas espécies, os ***xenacanthida***, invadiram as águas doces dos pântanos de carvão. Entre os peixes ósseos, os ***palaeonisciformes*** são encontrados em águas costeiras e também parecem ter migrado para os rios. Peixes ***sarcopterigios*** também foram importantes e o grupo dos ***Rhizodontes*** atingiu tamanhos muito grandes. A maioria das espécies de peixes marinhos carboníferos foi descrita em grande parte a partir dos dentes, espinhas das nadadeiras e ossículos dérmicos; os pequenos peixes de água doce eram abundantes e foram conservados inteiros.

Anfíbios carboníferos foram diversos e comuns em meados do período e alguns alcançaram até seis metros; e os totalmente terrestres, quando adultos, tinham pele escamosa. Eles se incluem em um grupo de tetrápodes basais, classificadas antigamente como ***laberintodontes***, e tinham corpos longos, cabeças cobertas com placas ósseas e os membros geralmente pouco desenvolvidos. Os maiores chegaram a mais de dois metros de comprimento e estavam acompanhados por uma associação de anfíbios menores, que incluíam os ***lepospôndilos***, de apenas 15 centímetros de comprimento. Alguns anfíbios do ***Carbonífero*** foram aquáticos e outros podem ter sido semi-aquáticos ou terrestres.

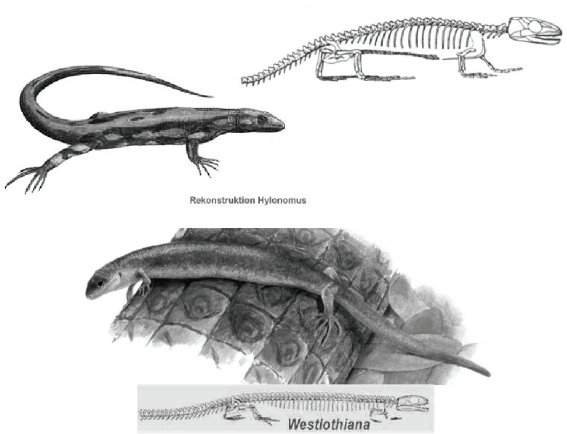


Grande anfíbio carbonífero, esqueleto e reconstrução.

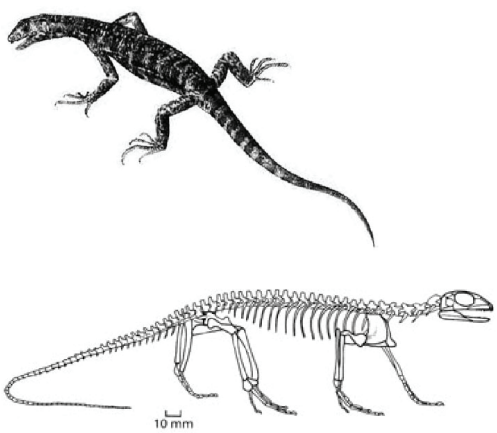


*Diversidade de morfótipos de anfíbios do **Carbonífero**.*

Uma das maiores inovações do ***Carbonífero*** foi o ***ovo amniota***, o que permitiu aos tetrápodes uma maior exploração da terra. Os primeiros répteis, os ***sauropsida*** *(**hylonomus**),* e os mais antigos, os ***synapsida***, eram pequenos animais semelhantes a lagartos e, rapidamente, deram origem a muitos descendentes. O ***ovo amniota*** permitiu a seus ancestrais e a todos os seus descendentes (aves, mamíferos e répteis) reproduzir em terra, impedindo a dessecação do embrião no interior.



Amniota *primitivo do **Carbonífero**.*



*Primeiro **sinapsida** conhecido no **Carbonífero**.*

Até o final do período ***Carbonífero***, os répteis já tinham se diversificado para uma série de grupos.

AUTOAVALIAÇÃO

a. Que tipos de clima predominaram durante o ***Carbonífero***?

b. Qual característica do ambiente carbonífero seria responsável pelo grande tamanho de artrópodes e anfíbios nesse período?

c. Quais foram os vegetais dominantes na formação das florestas do ***Carbonífero***?

d. Que novidade evolutiva aparece entre os tetrápodes neste período e que vantagem concede aos que a possuem?

e. Que depósitos minerais formados nesta época possuem hoje grande importância econômica?

VIII

AULA VIII

PERMIANO.
CONSOLIDAÇÃO DA BIOTA TERRESTRE.
A GRANDE EXTINÇÃO DO PERMO-TRIÁSSICO.
BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVOS

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido:

a. As características da geografia, clima e biota do ***Permiano***;

b. A grande extinção do final do período.

1. INTRODUÇÃO

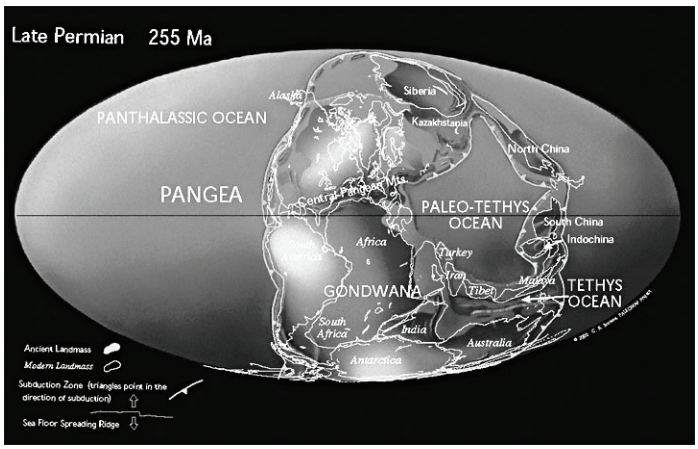
O período ***Permiano*** é um intervalo de cerca de 48 milhões anos que se estende entre 299-251 milhões de anos atrás e é notável por ter a maior parte da massa terrestre do Planeta concentrada em um único super-continente, ***Pangeia***. Esse período forneceu formas de vida e vastas áreas áridas ou sazonalmente áridas, mas em comparação com o ***Carbonífero*** as áreas de terras pantanosas e margens costeiras reduziram-se grandemente.

O registro fóssil do período ***Permiano*** detém as primeiras árvores modernas (***coníferas, ginkgos e cicas***), bem como uma série de importantes grupos de insetos, entre as quais ***coleopteras*** (besouros) e ***dipteras*** (moscas verdadeiras). O período ***Permiano*** viu o desenvolvimento pleno de uma fauna terrestre, como os ***Pelicossauros*** que se diversificaram e que incluíam tanto os primeiros grandes carnívoros (como o ***Dimetrodon)***, como os primeiros grandes herbívoros.

Período	Época	Duração (Ma)
PERMIANO	Lopingiano	260,4 – 251
	Guadalupiano	270,6 – 260,4
	Cisuraliano	299 – 270,6

O ***Permiano***, último período da era ***Paleozoica***, é seguido do período ***Triássico***, o primeiro da era ***Mesozóica***. O limite entre os períodos ***Permiano*** e ***Triássico*** é marcado de forma indelével no registro geológico como o evento da extinção em massa mais grave da Terra, a ***Extinção Permiano-Triássico***, quando cerca de 90% de todas as espécies marinhas e 70% das espécies de vertebrados terrestres foram extintos. O período ***Permiano*** e a grande extinção marcaram as bases para o aparecimento dos dinossauros e dos mamíferos no ***Mesozóico***, que viria a seguir.

2. PALEOGEOGRAFIA NO PERMIANO



*Paleogeografia do **Permiano.***

Durante o ***Permiano***, todas as grandes massas continentais da Terra, exceto partes do leste da Ásia, foram reunidas em um único super-continente conhecido como ***Pangeia***. Esse se quebrará durante os períodos ***Triássico*** e ***Jurássico*** do ***Mesozóico***, separando-se em ***Laurásia*** e ***Gondwana***.

Na configuração, acredita-se que ***Pangeia*** teria um pouco a forma de "C" que se estendia através do Equador. O mar, que formava um engolfamento do lado leste, foi nomeado mar de ***Tétis***, enquanto o vasto oceano que cercava o super-continente da ***Pangeia*** foi chamado de ***Pantalassa*** (o mar Universal).

A grande massa continental criou climas com variações extremas de calor e frio (clima Continental) e condições de monções com chuvas altamente sazonais; e os desertos foram muitos frequentes na ***Pangeia***.

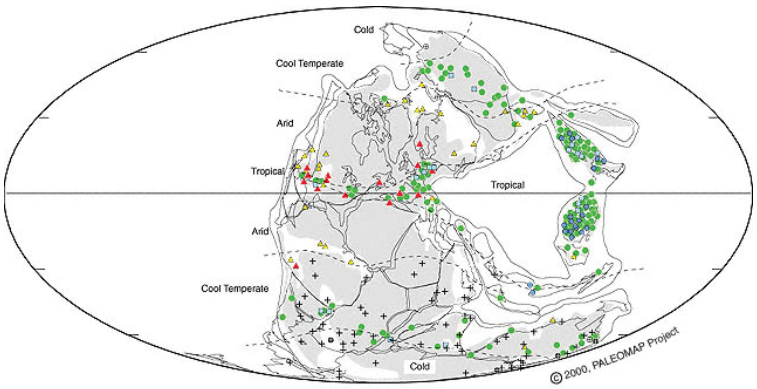
Os níveis do mar no ***Permiano*** em geral são baixos e os ambientes costeiros foram limitados pela grande concentração de quase todos os continentes importantes em um único continente, ***Pangeia***. Um continente muito grande tem menos orla do que seis a oito continentes menores e isso pode ter causado, em parte, a extinção generalizada de espécies marinhas, no final do período, com a redução severa das áreas rasas costeiras, necessárias para muitos organismos marinhos.

Três áreas são especialmente conhecidas por seus depósitos do ***Permiano***: Montes Urais, na China e no sudoeste da América do Norte, onde a bacia permiana no Texas é assim chamada por ter um dos mais espessos depósitos de rochas desse período; e no Brasil, onde existem depósitos do ***Permiano*** marinho e continental nas regiões Sudeste e Sul.

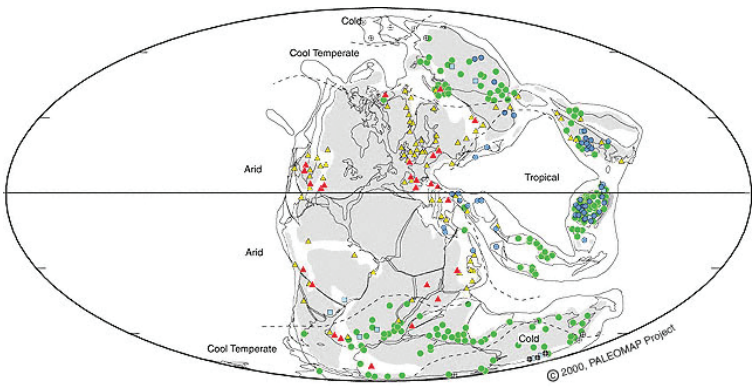
3. PALEOCLIMA NO PERMIANO

No início do ***Permiano***, a Terra ainda estava em uma idade do gelo, de forma que as regiões polares se encontravam cobertas com camadas profundas de gelo. Geleiras continuaram a cobrir grande parte da ***Gondwana***, como durante o final do ***Carbonífero***; e, ao mesmo tempo, os trópicos estavam cobertos com florestas pantanosas.

A partir da metade do período ***Permiano***, o clima ficou mais quente e mais suave, os glaciares recuaram e os interiores continentais tornaram-se mais secos. No interior da ***Pangeia***, o clima se tornou árido, com grandes flutuações sazonais (seca x úmida), em razão do efeito moderador dos corpos de água



*Paleoclimas durante o **Permiano** inferior.*



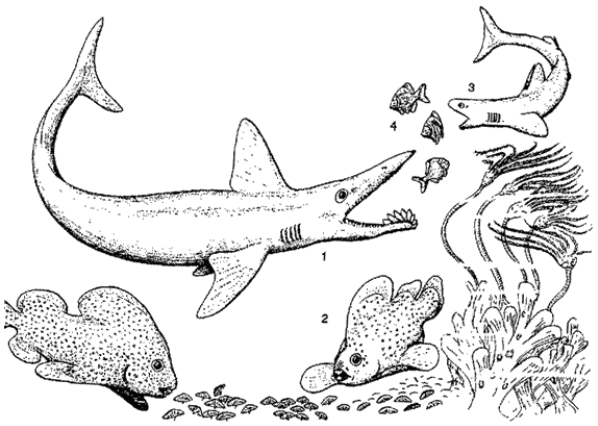
Paleoclimas durante o Permiano médio e superior

adjacentes. Essa tendência à aridez continuou até o final do ***Permiano***, alternando-se períodos de aquecimento e esfriamento.

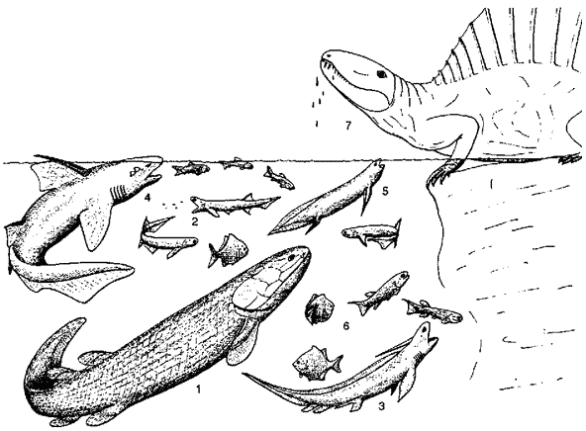
4. BIOTA NO PERMIANO

Durante o ***Permiano***, os depósitos marinhos são ricos em fósseis de moluscos, ***equinodermos*** e ***braquiópodes***. ***Foraminíferos fusulinídeos*** e ***cefalópodes amonoideos*** são amplamente utilizados para identificar os estratos do ***Permiano*** e correlacioná-los entre diversas localidades.

A vida terrestre no ***Permiano*** é marcada por uma grande diversidade de plantas, fungos, artrópodes, e vários tipos de anfíbios e répteis. As condições áridas do clima continental teriam favorecido as ***gimnospermas,*** plantas com sementes dentro de capas protetoras que se localizam sobre outras plantas (como samambaias), que por se dispersar por esporos exigem a presença de água para a fertilização. As primeiras árvores modernas (***coníferas***, ***ginkgos*** e ***cicas***) surgiram no ***Permiano***, começando com a flora do ***Carbonífero,*** já então bem desenvolvida.



*Composição de alguns vertebrados marinhos do **Permiano**.*



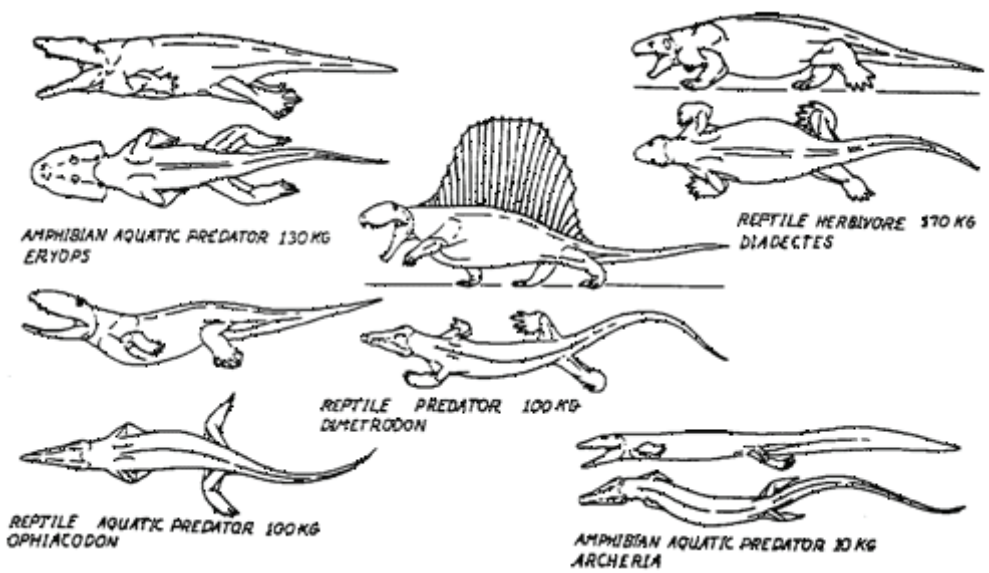
*Composição de alguns vertebrados de água doce do **Permiano**.*

Em meados do ***Permiano***, ocorreu uma grande transição da vegetação de árvores ***lycopodios*** (adaptada ao ambiente de mangue do ***Carbonífero***, como ***Lepidodendron*** e ***Sigillaria)*** para as mais avançadas coníferas, mais adequadas às novas condições climáticas. As florestas de licopódios e de pântanos ainda dominavam o continente do sul da China, aparentemente porque era um continente isolado e estava próximo ao Equador. O ***Permiano*** viu a radiação de muitos grupos de coníferas importantes, incluindo os ancestrais de famílias atuais. Ricas florestas estavam presentes em muitas áreas com uma diversificada combinação de grupos de plantas.

5. FAUNA NO PERMIANO

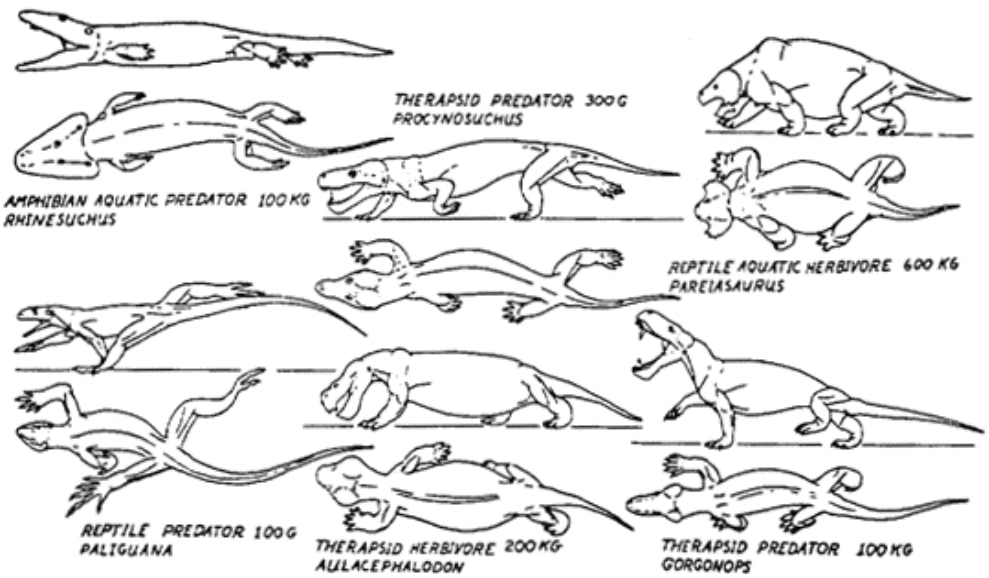
O período ***Permiano*** assistiu também o desenvolvimento de uma fauna terrestre e a aparição dos primeiros grandes herbívoros e carnívoros. Os ***tetrápodes*** do ***Permiano*** eram compostos por três grupos de anfíbios e outros três grupos de répteis. Os anfíbios incluíam:

- Os ***Temnospondilos*** **–** grupo diversificado de anfíbios, pequenos e grandes, adaptados com sucesso a uma grande variedade de terrestres, semi-aquáticos e *habitats* marinhos;
- Os ***Lepospondilos*** **–** anfíbios geralmente pequenos, ocupando nichos especializados e limitados;
- Os ***Batracosaurios*** **–** anfíbios semelhantes a répteis, incluindo os ***sauropsídeos*** (dos que os dinossauros, assim como as tartarugas, cobras, lagartos e crocodilos, são descendentes), os ***pelicossauros*** (extintos ainda durante o período ***Permiano***) e os ***terapsídeos*** (cujos descendentes sobrevivem até o presente como mamíferos).



Tetrápodes característicos do ***Permiano*** *inferior.*

As faunas terrestres do ***Permiano*** inferior foram dominadas por ***pelicossauros*** (incluindo o carnívoro ***dimetrodon***) e por anfíbios. No ***Permiano*** médio predominaram os ***terapsídeos*** primitivos, como os ***dinocephalia*** em suas diversas formas – os herbívoros, os carnívoros e os onívoros, inclusive algumas pesando até duas toneladas. E o ***Permiano*** superior dominou os ***terapsídeos*** mais avançados, tais como ***gorgonopsídeos*** (carnívoro topo) e ***dicinodontes*** (hervívoros amplamente bem-sucedidos, com caninos, e que variavam de tamanho entre o de um rato até o de um boi). Perto do final do período ***Permiano***, os ***arcossauros*** apareceram pela primeira vez e apresentaram mudanças que reduziram o peso do crânio, fixaram os dentes de forma mais segura na boca e aperfeiçoaram a musculatura dos membros posteriores.



Tetrápodes *característicos do* ***Permiano*** *superior.*

Durante o período seguinte, o ***Triássico***, os ***arcossauros*** iriam evoluir para tipos mais avançados e, eventualmente, em dinossauros. Também apareceram no final do ***Permiano***, a partir da linha ***therapsida***, os primeiros ***cinodontes,*** ancestrais dos mamíferos que surgiram durante o período ***Triássico***. Outro grupo de ***terapsídeos***, o ***therocephalia,*** surgiu no ***Permiano*** médio. E uma série de importantes novos grupos de insetos surgiu neste momento, incluindo o ***coleoptera*** (besouros) e o ***diptera*** (moscas verdadeiras).

6. EXTINÇÃO PERMO-TRIÁSSICA

O ***Permiano*** terminou com o evento de extinção mais amplo conhecido. Cerca de 90% a 95% das espécies marinhas foram extintas, assim como 70% de todos os organismos terrestres. No nível individual, talvez até 99,5% dos organismos morreram como resultado do evento de extinção.

Geologicamente coincidente com o evento de extinção, uma das maiores erupções vulcânicas dos passados 500 milhões de anos derramou lava basáltica, dando lugar a uma inundação maciça de basaltos, que se propagou através de uma grande área da atual Sibéria. A estreita correlação com o evento de extinção sugere que a erupção pode ter contribuído para o estresse ambiental levando à extinção em massa. O *habitat* costeiro altamente reduzido e o aumento da aridez provavelmente também contribuíram par a grande extinção no final do ***Permiano***.

Outra hipótese envolve a liberação pelo oceano de gás sulfídrico. Partes do oceano profundo periodicamente perdem todo o seu oxigênio dissolvido, o que permite que as bactérias que vivem sem oxigênio floresçam e produzam gás sulfídrico. Se o sulfeto de hidrogênio for suficiente e se acumular em uma zona anóxica, o gás pode subir para a atmosfera. A oxidação desses gases na atmosfera destrói o gás tóxico, mas se a quantidade de sulfeto de hidrogênio for grande o suficiente, pode consumir todo o gás atmosférico à disposição para convertê-lo. Assim, os níveis de sulfeto de hidrogênio aumentariam dramaticamente ao longo de algumas centenas de anos.

A modelagem de um evento como esse indica que os gases poderiam destruir o ozônio na alta atmosfera, o que então permitiria que a radiação ultravioleta chegasse até a Terra e matasse as espécies que sobreviveram ao gás tóxico; claro que existem algumas espécies capazes de metabolizar o sulfeto de hidrogênio. Uma hipótese ainda mais especulativa é que a radiação intensa de uma super nova nas proximidades foi responsável pelas extinções.

Os ***trilobites***, que prosperaram desde os tempos do ***Cambriano***, extinguiram-se antes do final do ***Permiano***. Recentemente, surgiram evidências na Antártida de uma enorme cratera de meteorito, com um diâmetro de cerca de 500 km. A cratera está localizada a uma profundidade de 1,6 km sob o gelo da Terra, em Wilkes, na Antártida oriental. Os cientistas especulam que este impacto pode ter causado a extinção ***Permo-Triássica***, embora a sua idade seja muito incerta, estimada entre 100 milhões e 500 milhões de anos atrás.

AUTOAVALIAÇÃO

a. Qual é a maior feição da paleogeografia do ***Permiano***?

b. Quais fatores caracterizam os climas do ***Permiano***?

c. Que tipos de vertebrados predominaram no meio terrestre?

d. As plantas terrestres sofreram uma renovação; que novos tipos apareceram?

e. Qual foi a intensidade e quais as possíveis causas para a extinção em massa do final do ***Permiano***?

IX

AULA IX

MESOZOICO, INTRODUÇÃO.
TRIÁSSICO.
A RECUPERAÇÃO DA BIOTA.
ORIGEM DOS MAMÍFEROS E DINOSAURIA.
BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVOS

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido:

a. As características gerais da era ***Mesozóica*** e aspectos de sua paleogeografia, paleoclimas e biota;

b. As características gerais do período ***Triássico*** e aspectos de sua paleogeografia, paleoclimas e biota.

1. INTRODUÇÃO

O ***Mesozóico*** foi um intervalo de 186 milhões de anos, entre os 251-65,5 milhões de anos, e é a segunda das três eras do ***Éon Fanerozoico***. O início e o fim da era ***Mesozóica*** estão ambos marcados por grandes eventos de extinção em massa.

Após o grande evento de extinção, ao final da era ***Paleozoica***, a era ***Mesózóica*** começou com uma fauna remanescente, com cerca de 30% nos ecossistemas terrestres e com 4% a 10% nos mares, do número de espécies presentes antes da extinção, incluindo mamíferos, répteis, aves e plantas com flores. Os dinossauros foram um elemento distintivo e dominante das faunas mesozóicas, sobrevivendo até o fim da época no evento de extinção ***cretácico-terciário***, que eliminou cerca de 50% dos gêneros mesozóicos, incluindo todos os dinossauros.

Era	Período	Duração (Ma)
Mesozoico	Cretáceo	145,5 – 65,5
	Jurássico	199.6 – 145,5
	Triássico	251 – 199.6

A era ***Mesozóica,*** é dividida em três períodos geológicos: ***Triássico***, ***Jurássico*** e ***Cretáceo***. Embora muitas vezes chamada de ***Idade dos Dinossauros***, muitos outros grupos de animais e de vegetais surgiram durante o tempo mesozóico. Pós o início da consolidação das massas de terra que formaram o super-continente ***Pangeia*** (com o seu interior árido), a era ***Mesozóica*** foi marcada pela sua

desintegração para produzir novo padrão de dispersão de massas continentais, que em grande parte tem persistido até o presente momento.

As temperaturas globais eram consideravelmente mais elevadas do que em ambas as épocas anteriores e posteriores, e o nível do mar subiu até 200 metros, devido ao movimento continental e às mudanças no fundo do mar. Até o final da era ***Mesozóica***, a base da vida moderna foi em grande parte estabelecida.

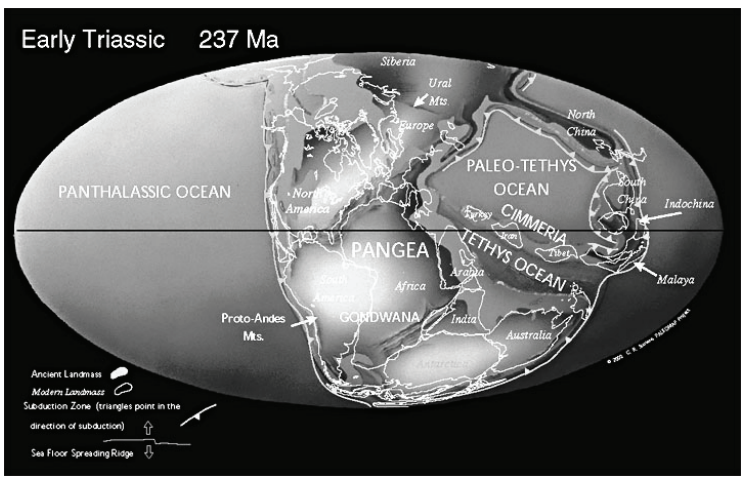
2. TRIÁSSICO

O ***Triássico*** é um intervalo de 51 milhões anos, que abrange o intervalo de 251-200 milhões de anos atrás. O período é marcado por um grande aumento na biodiversidade da vida marinha e continental, a partir da biosfera duramente empobrecida que se seguiu à extinção ***Permo-Triássico***. Corais do grupo ***hexacorallia*** fizeram sua primeira aparição; as primeiras plantas com flores (***angiospermas***) apareceram, assim como os primeiros vertebrados voador***es***, os ***pterossauros.*** Um novo evento de extinção encerrou o período ***Triássico***, conhecido como a ***Extinção Triássico-Jurássica***.

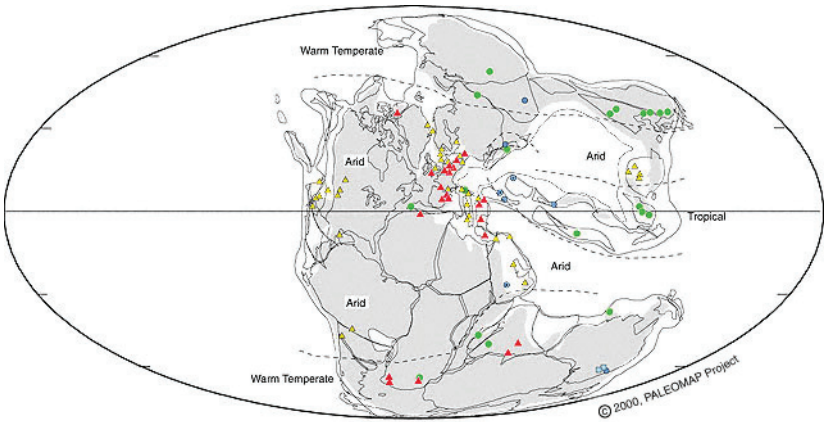
Período	Época	Idade	Duração (Ma)
Triássico	Superior	Rético Noriano Carniano	228 – 200
	Médio	Ladiniano Anisiano	245 – 228
	Inferior	Olenekiano Induano	251 – 245

3. PALEOGEOGRAFIA

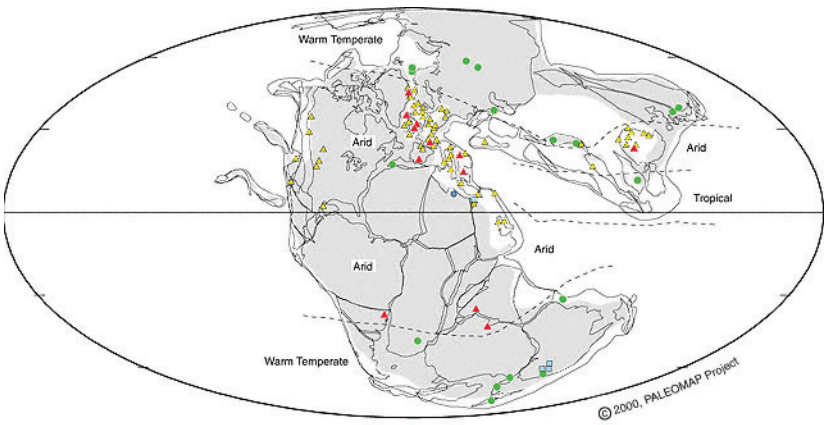
Durante o ***Triássico*** quase toda a massa terrestre do planeta estava concentrado em um único super-continente, centrado mais ou menos na linha do Equador e denominado ***Pangeia***, que significa "toda a terra". Esse super-continente incluía uma abertura oriental, voltada para o mar ***Tétis***, um imenso engolfamento aberto para o oeste em meados do ***Triássico***, à custa da diminuição do oceano ***Paleo-Tethys***, que existia desde o *Paleozóico*. O restante era o oceano global conhecido como ***Pantalassa*** ("todo o mar"). Os sedimentos oceânicos, de profundidade estabelecida durante o ***Triássico***, desapareceram através de subdução das placas oceânicas, fazendo com que muito pouco se sabe sobre o oceano aberto dessa época.



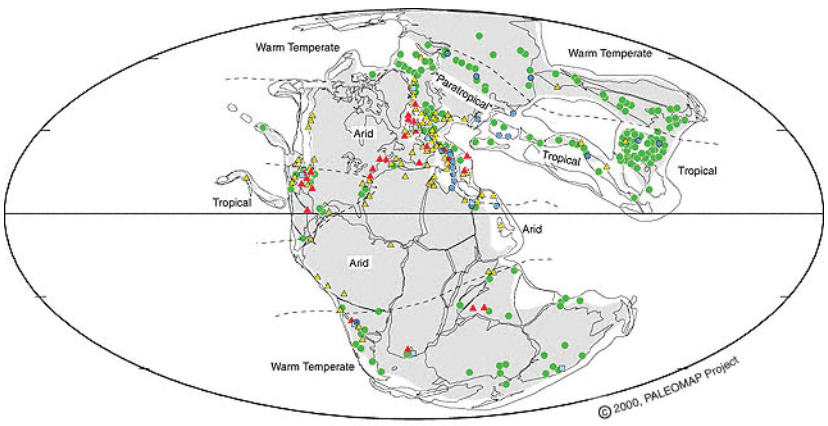
*Paleogeografia do **Triássico**.*



*Paleoclimas durante o **Triássico** inferior.*



*Paleoclimas durante o **Triássico** médio.*



*Paleoclimas durante o **Triássico** superior.*

O super-continente de ***Pangeia*** foi quebrado durante o ***Triássico***, especialmente no final do período, mas ainda não tinha se separado completamente. Os primeiros sedimentos marinhos e não marinhos no primeiro ***rift*** são de orgiem triássica.

Devido à limitação da área costeira da massa super-continental, no ***Triássico*** os depósitos marinhos são relativamente raros em escala global, apesar de sua proeminência na Europa Ocidental, onde período foi estudado. Na América do Norte, por exemplo, depósitos marinhos são limitados a algumas exposições no Ocidente. Assim, a estratigrafia triássica se baseia principalmente em organismos, tais como os crustáceos ***Estheria***, que vivem em lagoas e ambientes hipersalinos.

4. PALEOCLIMAS

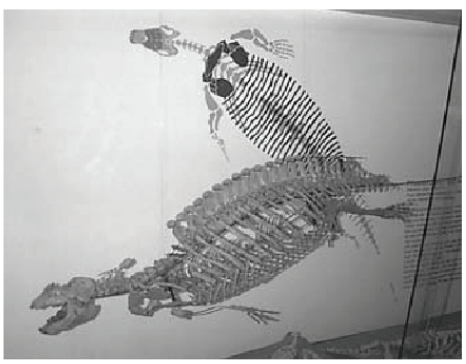
O clima triássico é considerado geralmente quente e seco, favorecendo a típica formação de arenitos e de evaporitos de sedimentos vermelhos. Não há nenhuma evidência de glaciação perto de cada pólo; de fato, as regiões polares estavam aparentemente úmidas e temperadas, um clima adequado para criaturas como répteis. O grande tamanho de ***Pangeia*** limitou o efeito moderador do oceano global, fazendo com que o clima continental fosse altamente sazonal, com verões muito quentes e invernos muito frios. O período provavelmente assistiu fortes monções trans-equatoriais.

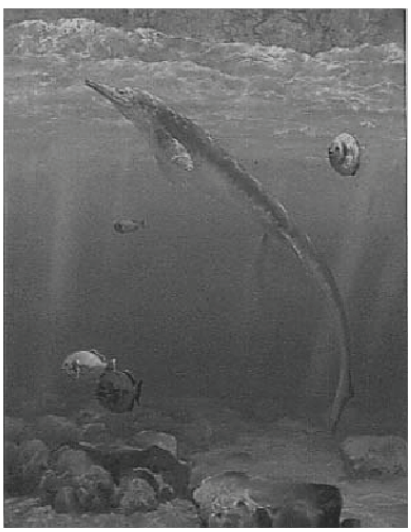
5. BIOTA

Três categorias de organismos se distinguem no registro triássico: remanescentes da extinção ***Permo-Triássico***; novos grupos que floresceram brevemente; e outros novos grupos que dominaram o mundo do ***Mesozóico***. Em ambientes marinhos, tipos modernos de corais apareceram no ***Triássico*** inferior, formando pequenas manchas de recifes, modestos quando comparada com os sistemas de recifes do ***Devoniano*** ou os mais modernos. Os cefalópodes ***amonites*** se recuperaram, diversificando-se a partir de uma única linhagem que sobreviveu à extinção do ***Permiano***. A fauna de peixes foi notavelmente uniforme, refletindo o fato de que muito poucas famílias sobreviveram à extinção.

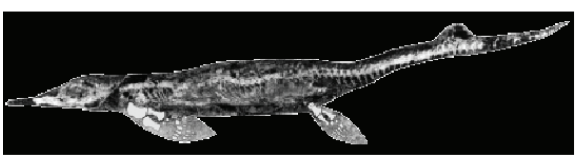
Houve também muitos tipos de répteis marinhos, incluindo os ***sauropterygia***, que caracterizou ***Pachypleurosauria*** e ***Nothosauria*** (comuns durante o ***Triássico*** Médio, especialmente na região do Oceano ***Tethys***); os ***placodontas*** e os primeiros ***plesiossauros*** (membros de uma diversificada e, principalmente, final de répteis marinhos). Outros répteis marinhos (inclusive o primeiro dos ***thalattosauria*** e os ***ictiossauros***, altamente bem sucedidos) apareceram no mar ***Triássico*** inferior e se diversificaram rapidamente, chegando algumas espécies a desenvolver enorme tamanho durante o ***Triássico*** superior.

Placodontes





Ichthyosauria

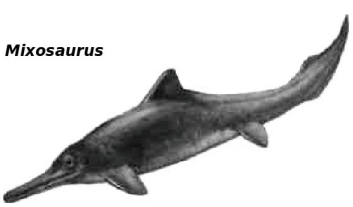


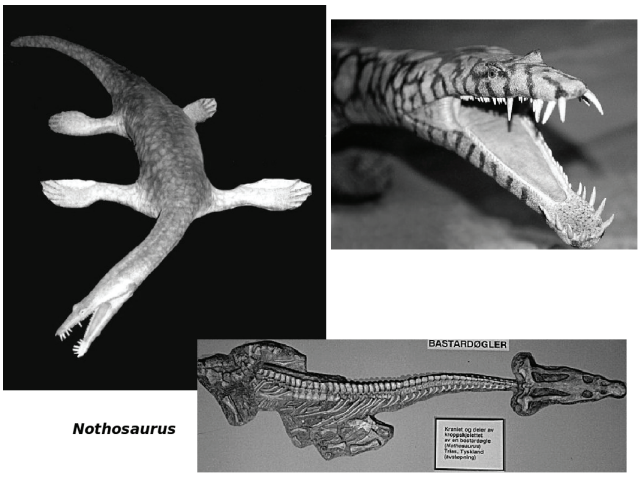
*Répteis marinhos do **Triássico**.*



***Ictiosdurio Triássico**.*

Mixosaurus





Nothosaurus

*Répteis marinhos do **Triássico**.*

Em terra, as plantas remanescentes do ***Permiano*** incluem ***licófitas, ginkgophytas*** (representados nos tempos modernos pelos ***ginkgso bilobas***), ***glossopterídeas*** e as dominantes ***cycas***. As plantas com sementes dominaram a terra: no Hemisfério Norte, as coníferas floresceram; as ***glossopteris*** (samambaia com sementes) eram as árvores dominantes do Hemisfério Sul, durante o período ***Triássico*** Inferior.

Anfíbios ***temnospôndilos*** estavam entre os grupos que sobreviveram à extinção ***permo-triássica***. Algumas linhagens (por exemplo, os ***trematosauros)*** tiveram um breve sucesso no ***Triássico*** inferior, enquanto outras (como os ***capitosauros***) mantiveram-se bem sucedidas ao longo de todo o período, com destaque para, por exemplo,os ***plagiosauros*** e os ***metoposauros***. Quanto a outros anfíbios, os primeiros ***lissamphibias*** (antepassados de todos os grupos de anfíbios modernos) são conhecidos desde o ***Triássico*** inferior; mas o grupo como um todo não se tornou comum até o ***Jurássico***, quando as ***temnospôndilos*** tornaram-se muito raras.

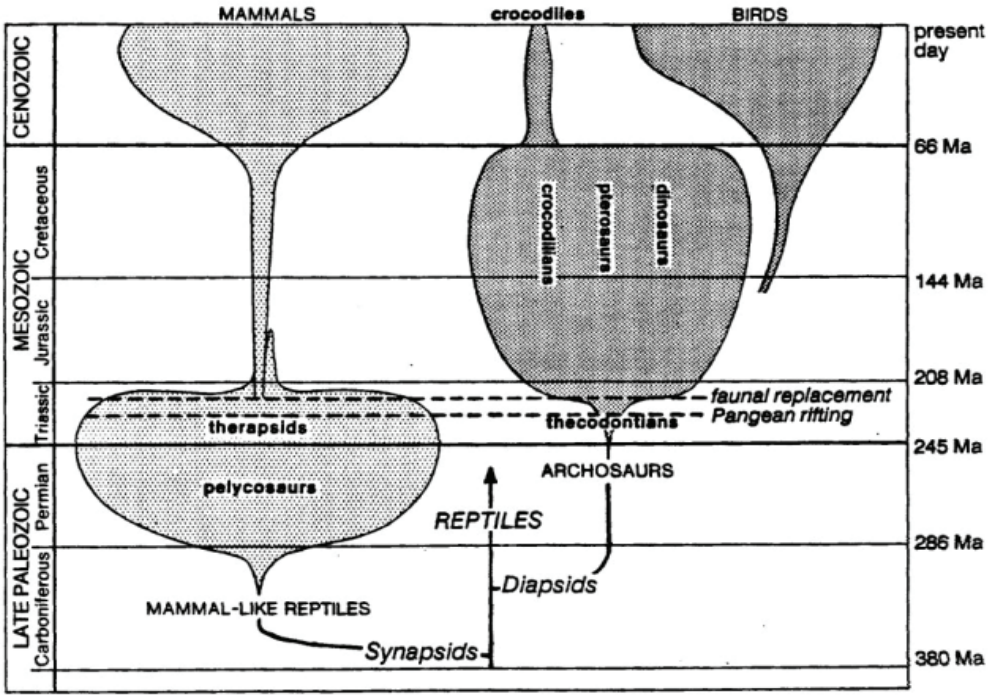
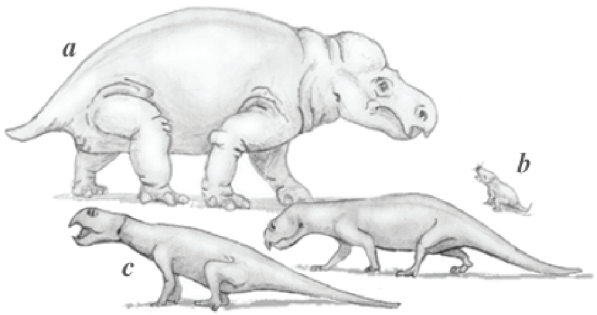


*Gráfico que mostra a substituição dos sinapsidas por arcosauromorfos durante o **Triássico**.*

Os ***arcosauromorfos***, especialmente os ***arcossáurios***, progressivamente substituíram os ***sinapsídos***, que dominaram o período **Permiano.** ***Cynognathus*** foi um predador de topo característico do ***Triássico*** inferior, em **Gondwana**, e os ***dicinodontes kannemeyerideos*** e ***cinodontes gomphodontes*** herbívoros permaneceram importantes durante grande parte do período. Para o final do ***Triássico***, ***sinápsidos*** declinaram-se e tornaram-se pouco importantes nas faunas terrestres.



a, **Dicynodonte** ***Ischigualastia;***
b, **Cynodont** ***Probainognathus;***
c, **Rhynchosauria** ***Scaphonyx***

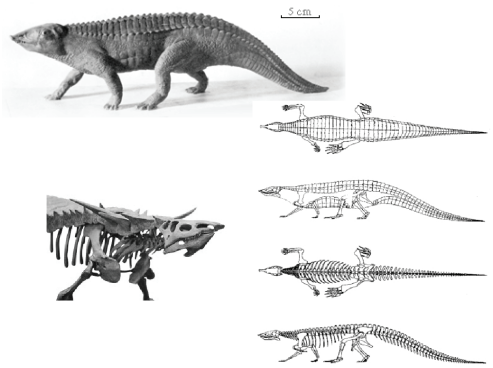
*Répteis sinapsidas do **Triássico**.*

Durante o início do ***Triássico*** (***Carniano***), alguns ***cinodontes*** avançados deram origem aos primeiros mamíferos. Ao mesmo tempo, os ***ornithodiras,*** que até então tinham tido um papel insignificante nas faunas terrestres, deram origem aos ***pterossauros*** e a uma grande variedade de ***dinossauros***. Os ***crurotarsis,*** outros clados importantes de ***arcosaurmorfos***, atingiram sua maior diversidade durante o ***Triássico*** superior, com vários grupos, incluindo os ***phytosaurios***, os ***aetosaurios***, linhagens distintas de ***rauisuchia*** e os primeiros ***crocodilianos*** (***sphenosuchia)***. Enquanto isso, os ***rincossáurios***, grandes e herbívoros, e os ***prolacertiformes***, pequenos e médios insetívoros ou piscívoros, formaram importantes grupos de arcosauromorfos basais,durante a maior parte do ***Triássico***.

Thrinaxodon



*Mamíferos primitivos do **Triássico** inferior.*



*Aerosaurios, uns dos tipos de crurotarsos do **Triássico**.*



Eoraptor

*Um dos mais primitivos e antigos dinossauros do **Triássico**.*

Entre outros répteis, as primeiras tartarugas, como ***proganochelys*** e ***proterochersis***, apareceram durante o ***Noriano*** (***Triássico*** inferior médio). Os ***lepidosauromorphas***, especificamente o ***sphenodontia***, são conhecidos no registro fóssil desde o ***Carniano***. Os ***procolophonidae*** formam um importante grupo de pequenos herbívoros semelhantes a lagartos.

6. EXTINÇÃO NO FIM DO TRIÁSSICO

O período ***Triássico*** terminou com uma extinção em massa, que foi particularmente grave nos oceanos. Os ***conodontes*** desapareceram por completo e aparentemente todos os répteis marinhos, exceto ***plesiossauros*** e ***ictiossauros***. Invertebrados como ***braquiópodes***, ***gastrópodes*** e ***moluscos*** foram severamente afetados. Nos oceanos, 22% das famílias marinhas e, possivelmente, cerca da metade dos gêneros marinhos desapareceram. Embora o fim do ***Triássico*** não tenha sido igualmente devastadora em todos os ecossistemas terrestres, vários clados importantes de ***arcossauros crurotarsi*** desapareceram, assim como a maioria dos anfíbios ***labyrinthodontia*** grandes, um número significativo de grupos de pequenos répteis e alguns ***sinápsidos*** (exceto para os protos-mamíferos). Alguns dos primeiros ***dinossauros primitivos*** também foram extintos, mas outros, aparentemente mais adaptados, sobreviveram e passaram ao ***Jurássico***. Plantas sobreviventes, que dominaram o mundo ***Mesozóico,*** incluem coníferas modernas e ***cycadales***.

Não é certo o que causou essa extinção do fim do ***Triássico***, que foi acompanhada por violentas erupções vulcânicas entre os 208 e 213 milhões de anos (o maior evento vulcânico registrado desde que o Planeta esfriou e estabilizou-se) e marcou o início da separação do super-continente ***Pangeia***. Outras causas possíveis para os eventos de extinção incluem o resfriamento global ou mesmo um meteoro, que pode corresponder a uma cratera de impacto em Quebeque, no Canadá. No entanto, pesquisas recentes mostraram que o impacto tem uma idade de 214 ± 1 Ma e a data do limite entre ***Triássico-Jurássico*** está em torno a 202 ± 1 Ma. Atualmente, ambas as datas estão sendo refinadas, mas a evidência sugere que o impacto mencionado ocorreu no final do ***Triássico,*** em aproximadamente 12 milhões de anos, pelo que não poderia ser a causa imediata da extinção em massa observada.

Essa extinção no fim do ***Triássico*** permitiu que os dinossauros se expandissem em muitos nichos, ocupando os recursos disponíveis. Os dinossauros tornaram-se cada vez mais dominantes, abundantes e diversificados, e permaneceram assim durante os próximos 150 milhões de anos. A verdadeira ***Idade dos Dinossauros*** teve lugar durante os períodos ***Jurássico*** e ***Cretáceo***, ao invés do período ***Triássico***, mas que, por sua vez, estabeleceu as bases para a era dos dinossauros.

AUTOAVALIAÇÃO

a. Que contexto evolutivo marca o início do ***Mesozoico***?
b. Que recâmbio faunístico importante acontece durante o ***Triássico***?
c. Quais grandes grupos de *tetrápodes* fazem sua aparição neste período?
d. Que condições climáticas predominaram nos tempos triássicos?
e. Que evento determina o fim do ***Triássico***?



X

AULA X

JURÁSSICO.
BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVOS

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido o período ***Jurássico*** e suas características bióticas, climáticas e geográficas.

1. INTRODUÇÃO

O período ***Jurássico*** compreende um intervalo de cerca de 55 milhões anos que se estende entre 200-145 milhões de anos atrás, momento notável como o primeiro dos dois períodos que, juntos, compõem a ***Era dos Dinossauros***. O início do período ***Jurássico*** é marcado pela extinção ***Triássico-Jurássico***, que aconteceu pouco antes do super-continente ***Pangeia*** começar a se dividir e separar-se. Estima-se que mais de 20% das famílias marinhas e 40% das famílias dos tetrápodes terrestres foram extintas, incluindo todos os grandes ***crurotarsis*** (grupo de répteis não-dinossauros) e muitos dos ***anfíbios*** grandes. Esse evento de extinção pavimentou o caminho para que os dinossauros assumissem o papel dominante no ***Jurássico***.

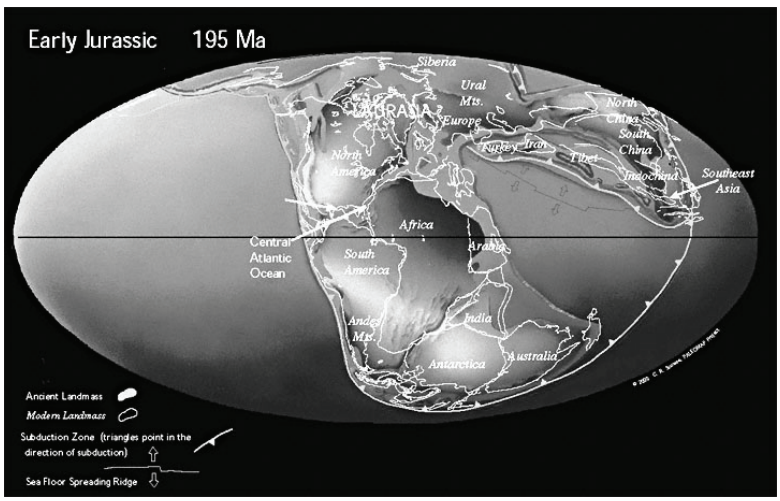
Período	Época	Idade	Duração (Ma)
JURÁSSICO	Malm	Titoniano Quimeridgiano Oxfordiano	161 – 146
	Dogger	Caloviano Batoviano Bajociano Aaleniano	176 – 161
	Liássico	Toarciano Pliesbachiano Sinemuriano Hetangiano	200 – 176

Uma imensa riqueza de fósseis pertence ao período ***Jurássico***, que fornecem informações valiosas para a compreensão da evolução da vida na Terra. O período ***Jurássico*** é importante também por outra razão: os campos petrolíferos do Mar do Norte, perto do Reino Unido e da Noruega, têm muito de sua origem neste período.

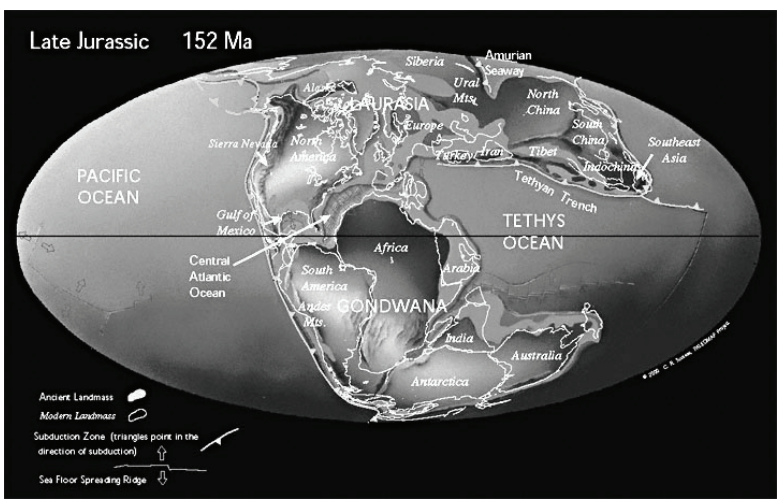
Muitas pessoas estão familiarizadas com o período ***Jurássico*** em razão do filme popular *Jurassic Park*, com base no livro de Michael Crichton. Embora muitos dos dinossauros retratados no filme, como o ***Tyrannosaurus rex***, pertencerem na verdade ao período posterior, o ***Cretáceo***. O poder dos meios de comunicação trouxe uma maior apreciação e interesse pela história da vida no Planeta.

2. PALEOGEOGRAFIA NO JURÁSSICO

Durante o ***Jurássico***, o super-continente ***Pangeia*** dividiu-se em ***América do Norte***, ***Eurásia,*** e ***Gondwana*** (originalmente chamado ***Gondwana***, suas áreas compreendiam a maior parte do que hoje é os continentes do Hemisfério Sul, incluindo a Antártida, a América do Sul, a África, a Índia e a Austrália). No final do período ***Jurássico, Gondwana*** começou a se quebrar. Os climas foram temperados, sem evidências de glaciação. Como no período ***Triássico***, aparentemente não havia nenhuma terra perto de cada pólo, assim como não existiam calotas extensas de gelo.



*Paleogeografia do **Jurássico** inferior.*

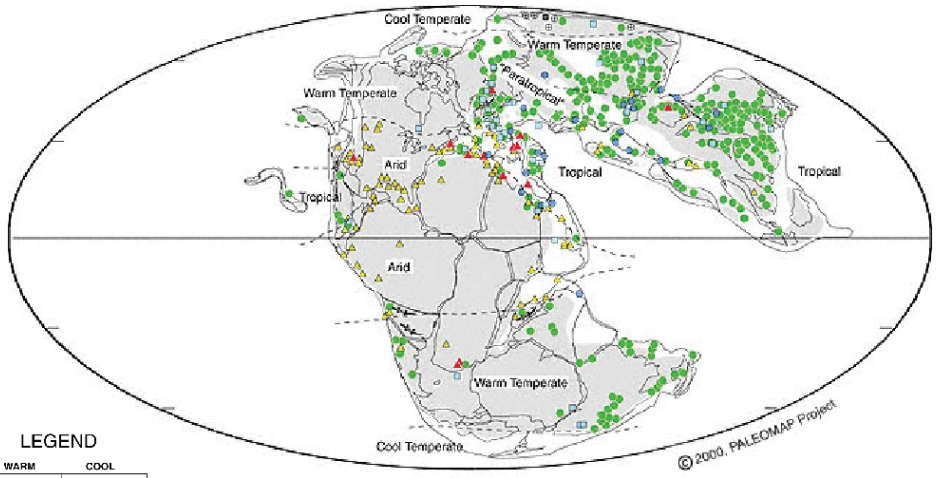


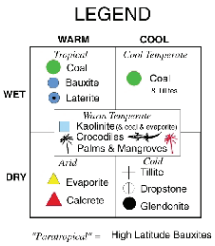
*Paleogeografia do **Jurássico** superior.*

O registro geológico do período ***Jurássico*** está muito bem exposto na Europa ocidental, onde sequências marinhas são encontradas ao longo das costas. Um mar raso, epicontinental, chamado mar ***Sundance***, cobria partes das planícies da América do Norte. A maioria das exposições jurássicas na América do Norte é continental. Importantes exposições do ***Jurássico*** também são encontradas na Rússia, na Índia, na América do Sul, no Japão, na Austrália, no Reino Unido e no sul da América do Sul.

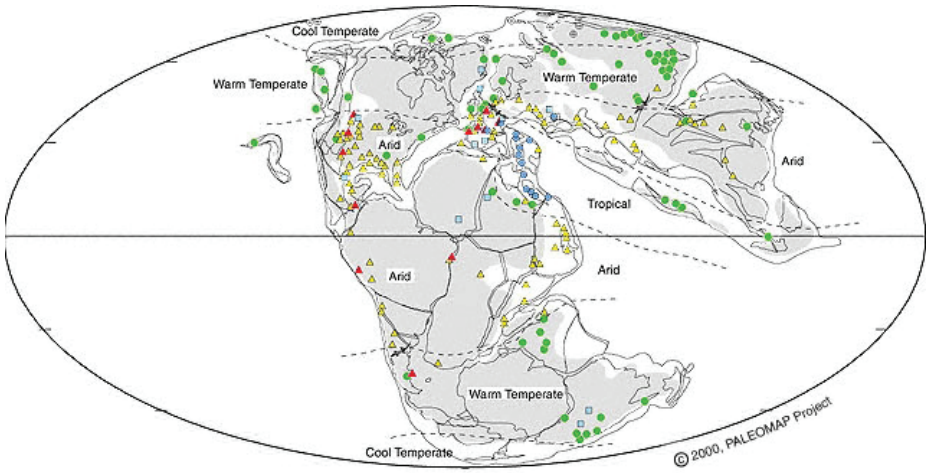
3. PALEOCLIMA NO JURÁSSICO

Os paleoclimas do ***Jurássico*** mantiveram-se bastante estáveis durante quase todo o período, mas ao final registrou-se uma queda acentuada e brusca das temperaturas globais, embora não tão marcada como as dos tempos anteriores. Essa queda pode está relacionada com uma moderada extinção que aconteceu no final do ***Jurássico***.

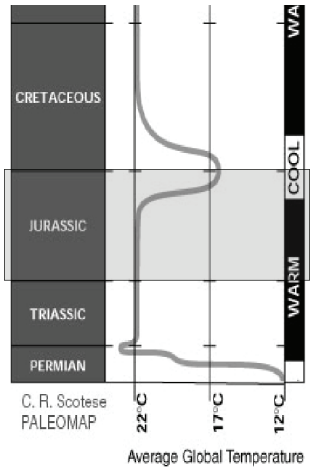




Paleoclimas do Jurássico inferior.



*Paleoclimas do **Jurássico** superior.*

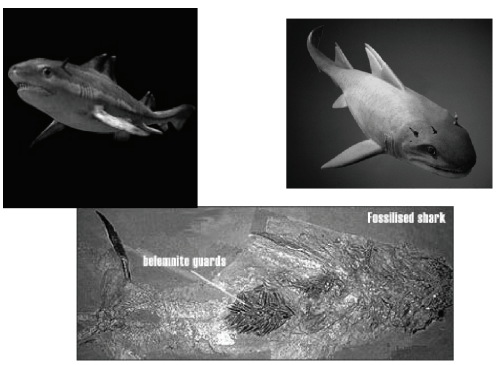


*Curva de paleotemperaturas globais durante o **Fanerozóico** – pode-se observar a queda das temperaturas no final do **Jurássico**.*

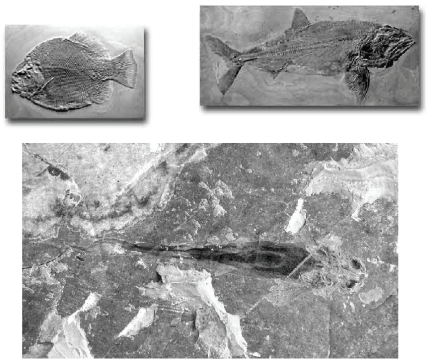
4. BIOTA NO JURÁSSICO

Durante o ***Jurássico***, as maiores formas de vida que vivia nos mares foram os peixes e répteis marinhos. O último inclue os ***ictiossauros***, os ***plesiossauros*** e os ***crocodilos*** marinhos das famílias ***teleosauridae*** e ***metriorhynchidae.*** No mundo dos invertebrados, vários novos grupos surgiram, tais como:

- ***Foraminíferos*** planctônicos e ***calpionelidos***, que possuem grande relevância biostratigráfica;
- ***Rudistas***, um tipo de bivalves formadores de recifes;
- ***Belemnites***, um tipo extinto de cefalópodes marinhos; e
- ***Braquiópodes*** dos grupos ***terebratulidos*** e ***rinchonelidos***.



Condrictios jurássicos.



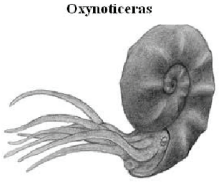
Actinopterígios jurássicos.

Amonites, cefalópodes com conchas já extintos, foram particularmente comuns e diversificados, sendo utilizados para reconhecer 62 biozonas bioestratigráficas no mundo todo.







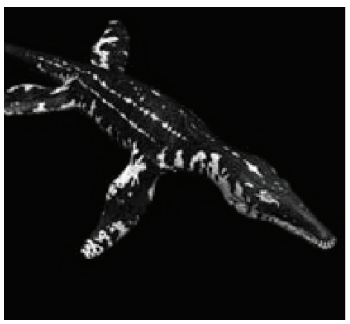


Amonoideos jurássicos.

Ictiossauros eram abundantes no período **Jurássico**; eram répteis marinhos gigantes semelhantes aos golfinhos, mas com caudas semelhantes às dos peixes, com média de dois a quatro metros de comprimento (embora existissem alguns menores e outros muito maiores de até 23 metros de comprimento).

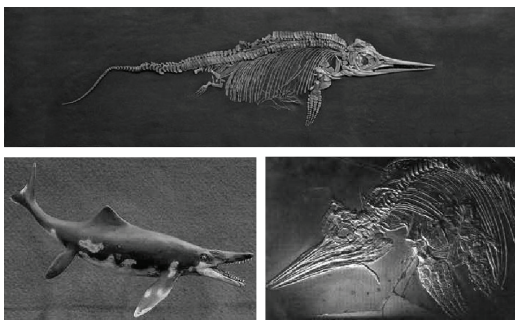
Plesiossauros eram grandes répteis aquáticos também e apareceram pela primeira vez no final do período ***Triássico***, prosperando até o evento de extinção ***Cretáceo-Terciário*** no final do

período ***Cretáceo***. Apesar de serem grandes répteis do ***Mesozóico***, os ***plesiossauros*** não era um tipo de dinossauro e tinham um corpo largo, uma cauda curta e membros com formas de nadadeiras. Como grupo, os ***plesiossauros*** foram os maiores animais aquáticos do seu tempo, e mesmo os menores chegaram a cerca de dois metros de comprimento, consideravelmente maiores que o maior dos crocodilos gigantes e maiores do que os seus sucessores, os ***mosassauros***. A título de comparação, o tubarão-baleia moderno atinge 18 metros, o cachalote, 20 metros e a baleia azul, 30 metros.





Plesiossauros jurássicos.



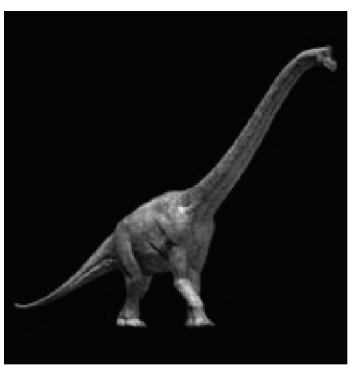
Ictiossauros jurássicos.

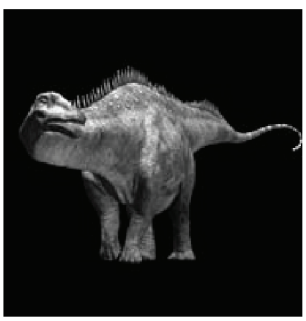
Em terra, os grandes répteis ***arcossauros*** (grupo de répteis ***diapsidas*** que incluía os ***dinossauros*** e ***pterossauros***, bem como os ***crurotarsis***) mantiveram-se dominantes. Grandes dinossauros herbívoros, os ***saurópodes***, percorriam a terra alimentando-se de pradarias de samambaias, cicas e ***bennettitales***, e foram eliminados por dinossauros carnívoros maiores, os ***terópodes***, tais como os ***allosaurus***, ***ceratossauros*** e ***megalossauros***. Ambos, ***saurópodes*** e ***terópodes,*** pertenciam a subgrupos dos dinossauros ***saurisquios***.





Terópodes *do Jurássico*.





Saurópodes jurássicos.

Allosaurus foi um grande dinossauro carnívoro, com comprimento de até doze metros; foi o predador mais comum na América do Norte, entre 155 a 145 milhões de anos atrás no período ***Jurássico***, anterior à era do ***tyrannosaurus rex***. No final do período ***Jurássico***, as primeiras aves apareceram. Os dinossauros ***ornitísquios*** eram menos comuns do que os dinossauros ***Saurisquios***, embora alguns, como os pequenos ***estegossauros*** e ***ornitópodes***, desempenharem papéis importantes como pequenos e médios herbívoros.

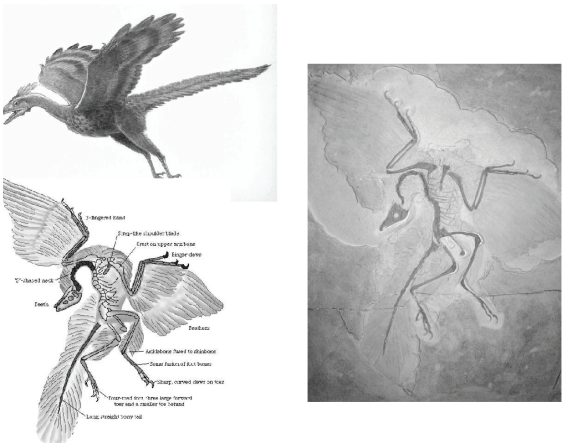


***Stegosaurus**, um **ornitisquio** jurássico.*

No ar, os ***pterossauros*** eram comuns, preenchendo muitos papéis ecológicos, agora tomados por pássaros. Os ***pterossauros*** (lagartos alados), muitas vezes referidos como ***pterodáctilos,*** eram répteis voadores do clado dos ***pterosauria*** e existiam desde o ***Triássico*** até o fim do período ***Cretáceo***. Os ***pterossauros*** foram os primeiros vertebrados conhecidos a desenvolver vôo. Suas asas eram formadas por uma membrana de pele que se estendiam desde o torso até a borda posterior do quarto dedo dramaticamente alongado. As espécies mais primitivas conservaram dentes e cauda longa, enquanto as formas posteriores tinham a cauda muito reduzida e alguns não possuíam dentes. A maioria dos ***pterossauros*** era de tamanho moderado, mas alguns chegaram a atingir tamanhos muito grandes.



Pterossauros *jurássicos.*



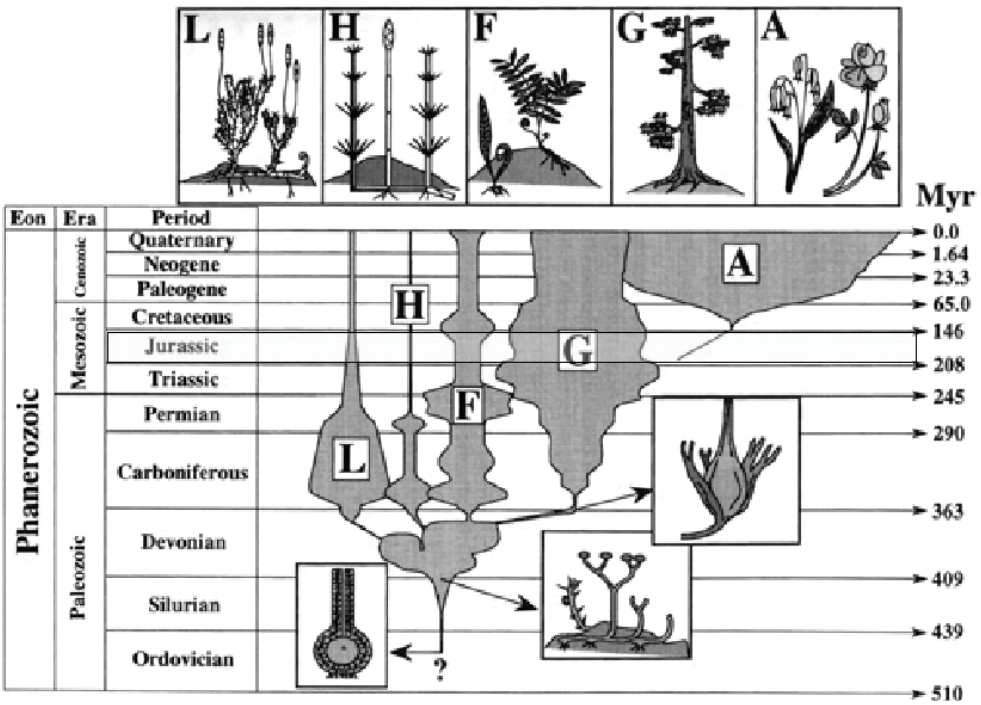
***Archaeopterix**, a primeira ave do período **Jurássico**.*

As condições áridas que caracterizaram grande parte do período ***Triássico*** diminuíram, de forma progressiva e constante, durante o ***Jurássico***, especialmente em latitudes mais elevadas. O clima quente e úmido permitiu o desenvolvimento de exuberantes selvas que cobriram boa parte da paisagem.

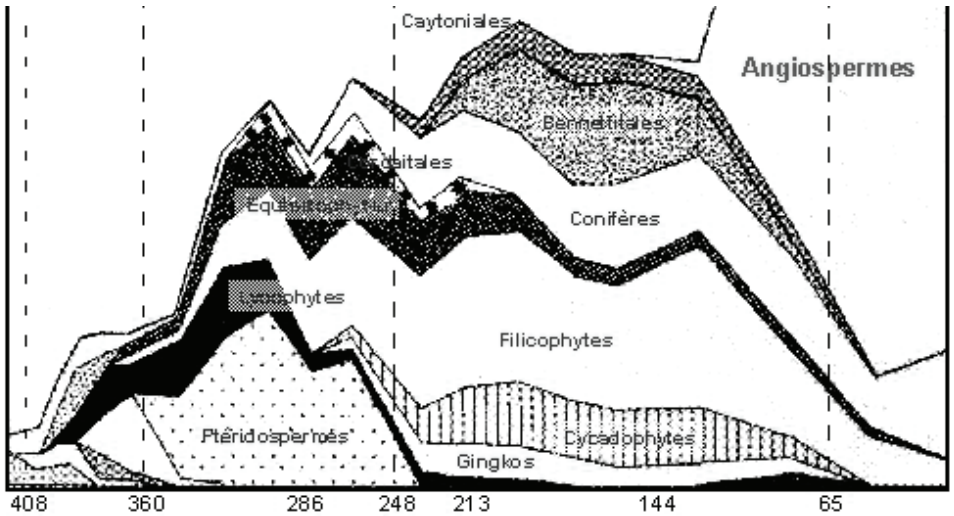
As ***angiospermas*** apareceram no fim do ***Triássico***, mas ainda não tinham uma representação importante; e as ***coníferas*** dominaram a paisagem, como tinham feito durante o período ***Triássico.*** Coníferas, na verdade, era o grupo mais diversificado de árvores e constituía a grande maioria das árvores de grande porte durante esse período. São das famílias das coníferas, que floresceram durante o período ***Jurássico,*** as ***araucariaceae***, ***cephalotaxaceae***, ***pinaceae,*** ***podocarpaceae***, ***taxaceae*** e ***taxodiaceae***. As extintas coníferas mesozóicas da família ***cheirolepidiaceae*** dominaram a vegetação de baixa latitude, como fizeram as ***bennettitales*** arbustivas.

Cicas também eram comuns, assim como ***ginkgos***, ***samambaias arbóreas*** e ***samambaias menores*** foram, provavelmente, a vegetação dominante nas florestas. As ***Caytoniaceas***, tipo de samambaias com sementes, formam outro grupo de

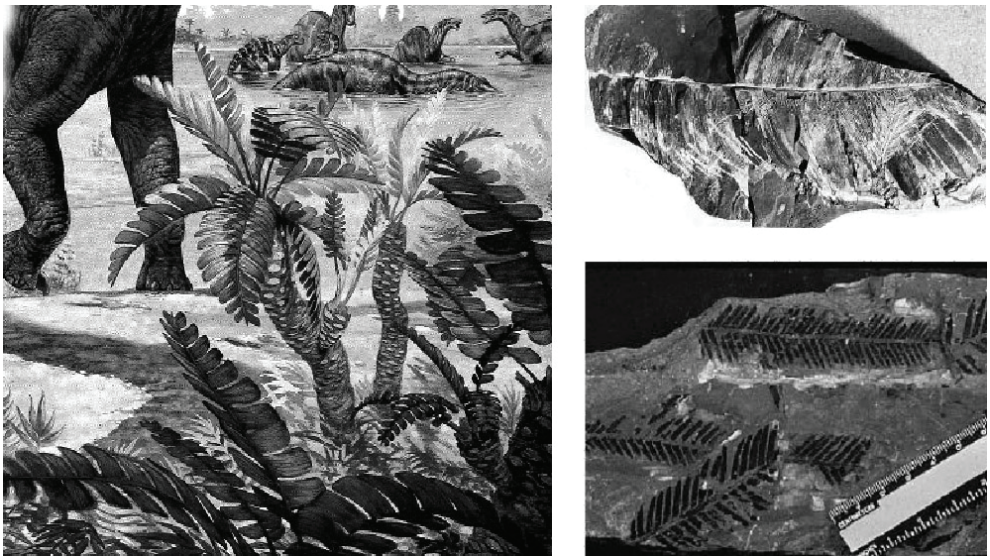
plantas importantes desse tempo e se constituíram em arbustos e árvores pequenas. ***Ginkgos*** foram particularmente comum em médias e altas latitudes do norte, e no Hemisfério Sul as ***podocarpáceas*** se tornaram especialmente bem-sucedidas, enquanto ***ginkgos*** eram raros.



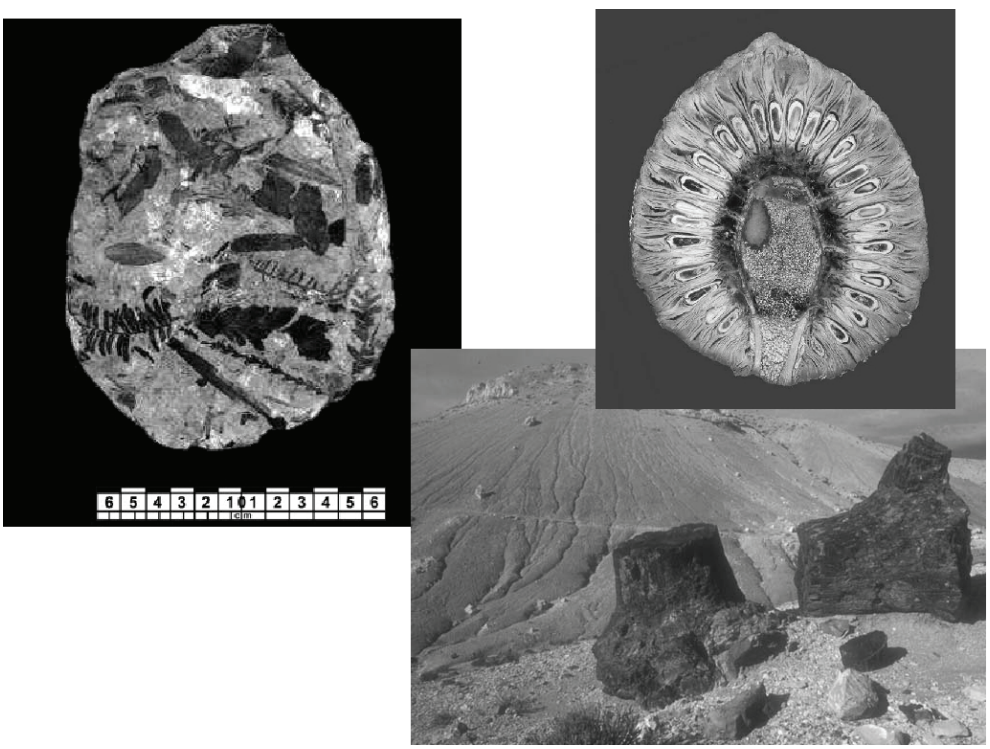
*Diversidade das plantas terrestres, durante o **Fanerozóoico** e destaque no **Jurássico**.*



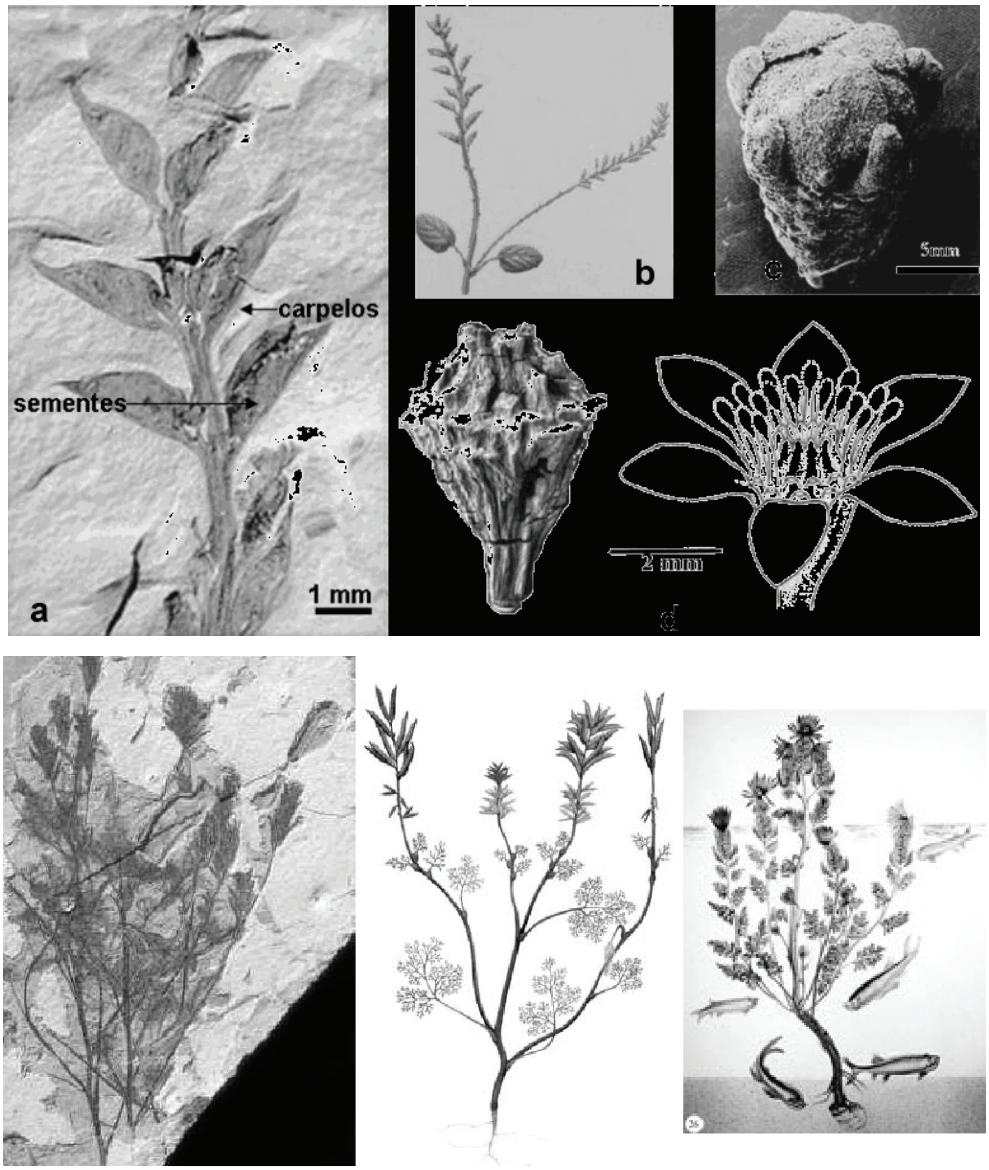
*Proporção relativa de cada grupo de plantas em cada época, com o início da expansão das **angiospermas**.*



Cicadáceas jurássicas.



Gimnospermas jurássicas.



Angiospermas *primitivas do* ***Jurássico****.*

AUTOAVALIAÇÃO

a. Quais foram os vertebrados terrestres dominantes do ***Jurássico****?*

b. Quais répteis marinhos sobreviveram no ***Jurássico***?

c. Que evento paleogeográfico caracterizou o ***Jurássico***?

d. Quais eram as plantas terrestres dominantes do ***Jurássico***?

e. Que grande grupo de vertebrados terrestres apareceu no ***Jurássico***?

XI

AULA XI

CRETÁCEO.
EXTINÇÃO DO K-T.
BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVO

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido o período ***Cretáceo***, os eventos e as características bióticas, climáticas e geográficas que o marcaram.

1. INTRODUÇÃO

O período ***Cretáceo*** é uma das maiores divisões da escala de tempo geológica, atingindo desde o fim do período ***Jurássico***, de 146 para 136 milhões anos atrás (Ma) até o início da era ***Cenozóica*** (65,5-64 Ma). Como o mais longo período geológico da sua era, o ***Cretáceo*** constituiu quase metade do ***Mesozóico***. O fim do ***Cretáceo*** é marcado pela extinção em massa conhecido como o evento de ***Extinção Cretáceo-Terciário***. Dinossauros foram dominantes durante esse período, enquanto os mamíferos permaneceram pequenos. Uma evolução interessante durante o ***Cretáceo*** foi a crescente importância e diversidade das plantas com flores, um avanço auxiliado por uma interação harmoniosa com as abelhas e outros insetos.

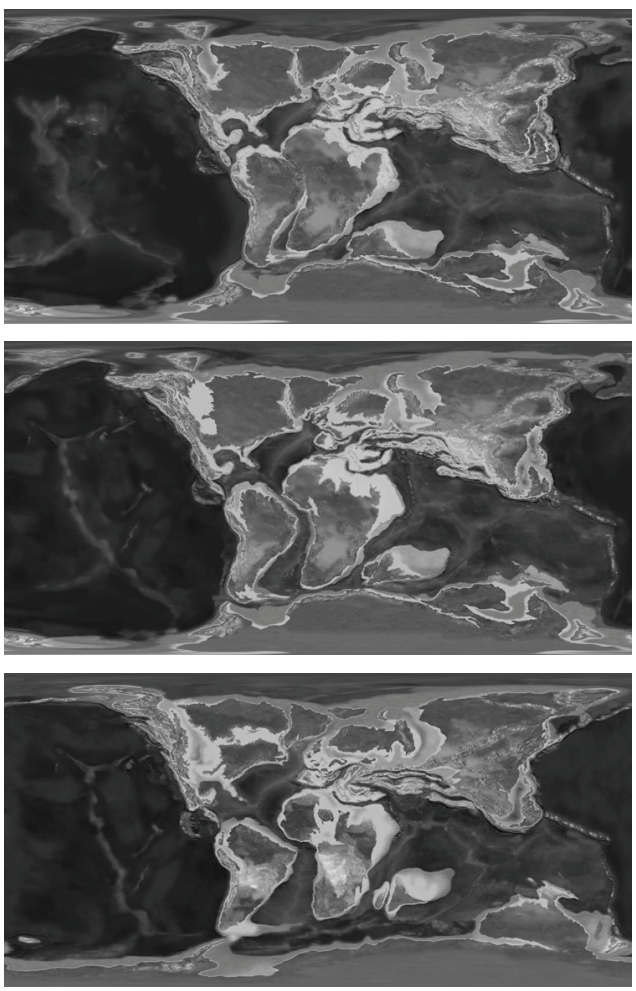
O significado do ***Cretáceo*** (do latim, *creta,* giz) como um período separado primeiro, foi definido e nomeado para os extensos depósitos de ***creta*** (carbonato de cálcio depositado por conchas de invertebrados marinhos), encontrados no ***Cretáceo*** superior da Europa continental e da Grã-Bretanha (incluindo os brancos acantilados de Dover).

Período	Época	Idade	Duração (Ma)
CRETÁCEO	Senoniano	Maestrichtiano Campaniano Santoniano Coniaciano	89,3 – 65,5
	Galico	Turoniano Cenomaniano Albiano Aptiano Barremiano	130 – 89.3
	Neocomiano	Hauteriviano Valanginiano Berriasiano	145,5 – 130

2. PALEOGEOGRAFIA NO CRETÁCIO

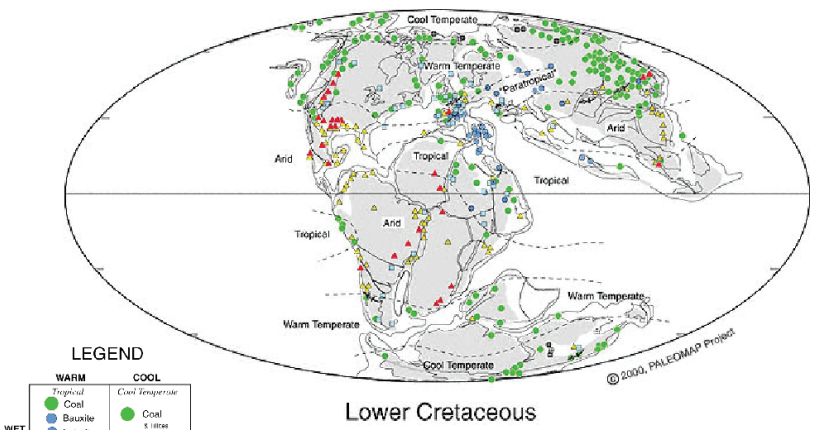
Durante o ***Cretáceo***, a ***Pangeia***, formada no fim do ***Paleozóico***, completou a sua separação nos continentes de hoje, embora as suas posições fossem substancialmente diferentes às atuais. ***Gondwana,*** ainda intacta no início do Cretáceo, se quebrou quando a América do Sul, a Antártida e a Austrália se separaram da África (embora a Índia e Madagáscar permanecessem ligados). O oceano Índico foi formado e ***rifts,*** zonas de expansão da crosta continental, estavam ativos, levantando grandes cadeias de montanhas submarinas ao longo das faixas de expansão e aumentando o nível dos mares eustaticamente em todo o mundo. Para o norte da África, o mar de ***Tétis*** continuara a diminuir e amplos mares rasos atravessaram o centro da América do Norte, formando um mar interior. A Europa, ao recuar, deixou significativos depósitos marinhos interdigitados com camadas de carvão.

O ***Cretáceo*** é justamente famoso por seus depósitos de ***creta***, que, na verdade, mais se formou nesse período do que em qualquer outra época no ***Fanerozóico***. Formadas pelo nano-plankton calcário, os depósitos de ***creta*** refletiram os mares enriquecidas com cálcio, em relação aos mares de hoje (e, portanto, mais saturados), devido ao aumento da atividade da dorsal centro-oceânica. Essa extensa distribuição dos carbonatos, assim como de outros depósitos sedimentares, marcou o registro das rochas do ***Cretáceo,*** bem representado no mundo todo. Na área que hoje é a Índia, lavas maciças chamadas de ***basaltos de Deccan*** formaram-se entre o ***Cretáceo*** terminal e o início do ***Paleoceno,*** o primeiro período do ***Cenozóico***.

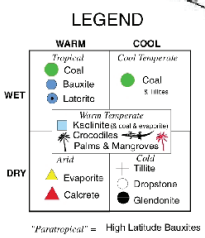


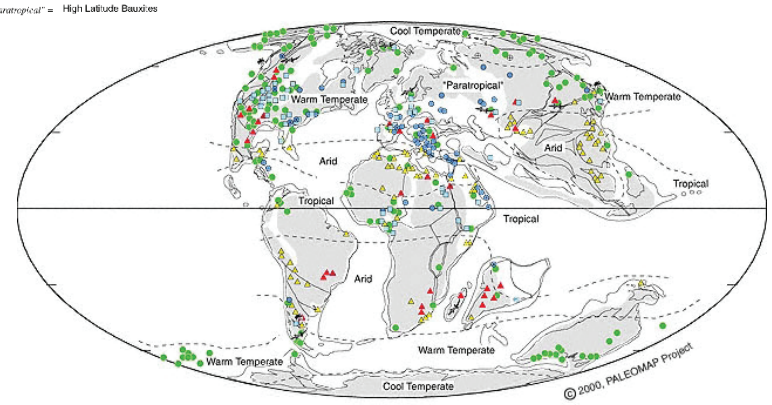
*Paleogeografia do **Cretáceo** inferior, médio e superior.*

3. PALEOCLIMA NO CRETÁCIO



Lower Cretaceous





Upper Cretaceous

Paleoclimas do Cretáceo inferior e superior.

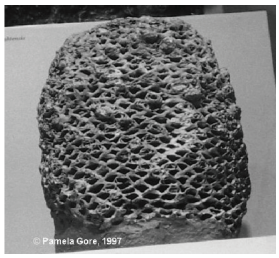
O clima no ***Cretáceo*** foi considerado como tendo sido muito quente e sem gelo nos pólos. O nível do mar era muito mais alto do que hoje, e as grandes áreas da crosta continental estavam cobertos de mares rasos. Os núcleos de sedimento também mostram que as temperaturas no oceano profundo foram 15º a 20 ° C mais alta do que hoje.

O mar de ***Tétis*** ligava os oceanos tropicais de leste a oeste, e ajudou a equilibrar o clima global. Plantas de climas quentes são conhecidas em localidades muito ao norte, até o Alasca e a Groenlândia, enquanto fósseis de dinossauros foram encontrados apenas a 15º C do Pólo Sul do ***Cretáceo***. O Planeta provavelmente não foi muito mais quente, em média, do que tinha sido durante o *Triássico* ou os períodos ***Jurássicos***, mas teve um gradiente de temperatura mais suave a partir do Equador para os pólos. Um efeito colateral desse fato pode ter sido os ventos globais mais fracos, contribuindo para uma menor surgência e uma maior estagnação nos oceanos do que hoje.

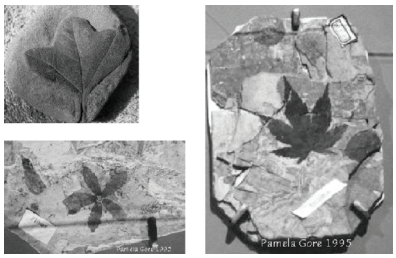
4. BIOTA NO CRETÁCIO

As plantas com flores (***angiospermas***) se distribuíram durante o ***Cretáceo***, apesar de não se tornarem predominantes até perto do final, no ***Campaniano***. Sua evolução foi ajudada pelo surgimento de abelhas, na verdade, ***angiospermas,*** e insetos, como um bom exemplo de interação mutuamente benéfica e simbiótica. Os primeiros representantes de muitas árvores modernas apareceram no ***Cretáceo*** e, ao mesmo tempo, algumas gimnospermas (surgidas mais cedo no ***Mesozóico***, como as coníferas), continuaram a prosperar, embora outras (como as ***bennettitales)*** se extinguissem antes do fim do período.

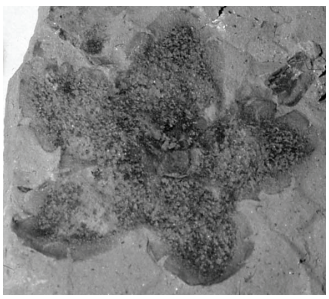




Cica *fóssil do* ***Cretáceo*** *muito semelhante às viventes.*



Folhas de ***angiospermas*** *do* ***Cretáceo****.*



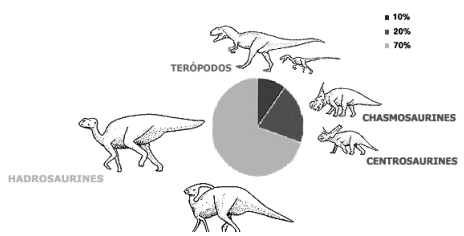
Flor fóssil do ***Cretáceo****, uma das mais antigas conhecidas.*

Em terra, os mamíferos eram um componente relativamente pouco significativo da fauna, dominado por répteis ***arcossauros***, especialmente ***dinossauros***, que estavam no pico da sua diversidade. ***Pterossauros*** eram comuns no início e meados do ***Cretáceo***; mas assim que o período avançou, enfrentaram uma concorrência crescente a partir do aumento da diversidade das aves e, no final, apenas duas famílias restaram, sendo altamente especializadas. O fascinante vislumbre da vida no início do ***Cretáceo*** é fornecido pelos magníficos depósitos de ***liaoning*** (formação ***chaomidianzi***) na China, onde foram encontrados restos maravilhosamente preservados de um número de pequenos dinossauros, aves e mamíferos. Os dinossauros ***celurossáurios*** encontrados ali representam tipos de ***maniroptera***, transicionais entre dinossauros e aves, com a notável a presença de plumas.



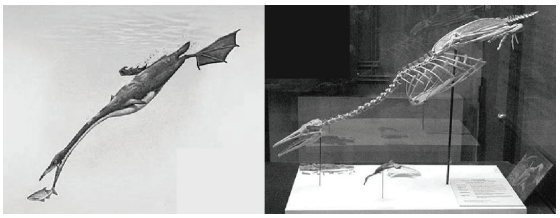
Diversidade de dinossauros e ambientes no ***Cretáceo****.*

Durante o ***Cretáceo***, os insetos começaram a se diversificar e os mais antigos registros conhecidos de formigas, cupins e alguns ***lepidópteros*** apareceram. Pulgões, gafanhotos e vespas surgiram pela primeira vez neste período, assim como as ***abelhas eussociais***, que se integraram à ecologia e à evolução das plantas ***angiospermas***. Numerosos insetos excepcionalmente preservados do ***Cretáceo*** inferior foram encontrados na região siberiana de Baissa.



Composição de uma fauna de dinossauros do Hemisfério Norte.

Nos mares, raias, tubarões modernos e ***peixes teleósteos*** tornaram-se comuns. Répteis marinhos, incluíndo ***ictiossauros*** e **mosassauros,** eram frequentes no início e meados do ***Cretáceo,*** assim como os ***plesiossauros*** durante todo o período. ***Baculites***, uma forma de ***amonita***, floresceram nos mares, os ***hesperornithiformes*****,** aves marinhas mergulhadoras não voadoras, aparecem no ***Cretáceo*** superior, da mesma forma que os ***foraminíferos globotruncanideos*** prosperaram. O ***Cretáceo*** também viu a primeira radiação das ***diatomáceas*** nos oceanos (diatomáceas de água doce não aparecem até o ***Mioceno***, entrando no ***Cenozóico***).



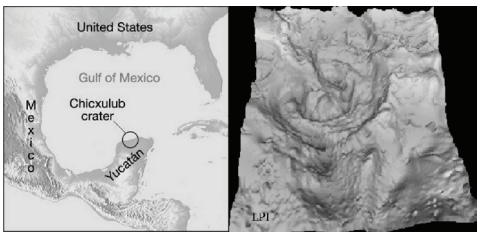
Hesperornis*, aves marinas não voadoras do* ***Cretáceo*** *superior.*

5. A EXTINÇÃO NO CRETÁCIO

No caso da extinção que define o fim do ***Cretáceo***, um número significativo de espécies (cerca de 50%) e conhecidas famílias (cerca de 25%) desapareceram. As plantas parecem ter passado quase incólumes, enquanto os organismos marinhos aparentemente foram os mais atingidos, com o desaparecimento de cerca de 95% dos tipos de ***foraminíferos planctônicas*** (com exceção dos ***globigerinida*****).**

Nesse período, desapareceu um grande número de ***coccolithophores***, todos os ***cefalópodes amonitas*** e ***belemnitas,*** os moluscos ***ruditas*** formadores de recifes, assim como os **bivalves** ***inoceramidos*** e todos os répteis marinhos (exceto as tartarugas e crocodilos). Dinossauros foram as vítimas mais famosas da extinção no ***Cretáceo*** e os que estiveram presentes até o fim do período (como ***tyrannosaurus rex***, ***triceratops*** e ***ankylosaurus***) foram eliminados. O último dos ***pterossauros*** foi extinto assim como a grande maioria das aves, incluindo o ***enantiornithes*** e ***hesperornithiformes***. Já a intensa extinção de insetos começou em meados do ***Cretáceo***, no ***Albiano***.

O evento de extinção do final do ***Cretáceo*** parece estar claramente relacionado à queda de um asteróide, que deixou uma enorme cratera na região de Yucatan, no México. Esse acontecimento disparou uma escalada de crises ecossistêmicas que culminaram na extinção em massa. Evidências do envolvimento do asteróide, além da cratera mencionada, podem ser encontradas nas altas concentrações do raro metal irídio que aparece no mundo no limite ***Cretáceo-Terciário***. Esse metal é extremamente raro na crosta terrestre, mas muito comum em corpos celestes, como asteróides.



Localização e mapa topográfico da suposta cratera vinculada à queda do asteróide que se vincula à extinção do fim do ***Cretáceo****.*

AVALIAÇÃO

a. Que caminho tomou a paleogeografia do ***Cretáceo***?

b. Que grande grupo de plantas terrestres começou a se expandir ao fim do ***Cretáceo***?

c. O que aconteceu com os ***pterossauros*** ante a diversificação das aves?

d. Quais répteis marinhos sobrevivem à extinção do final do ***Cretéceo***?

e. Qual é a causa provável para a extinção do fim do período?

XII

AULA XII

CENOZÓICO, INTRODUÇÃO. PALEÓGENO. A RECUPERAÇÃO DA BIOTA. RADIAÇÃO DOS MAMÍFEROS E AVES. BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVOS

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido as generalidades do ***Cenozóico*** e os eventos bióticos, climáticos e geográficos acontecidos durante o ***Paleógeno***.

1. INTRODUÇÃO

O ***Cenozóico*** (do grego, ***kainos,*** que significa novo e de ***zoe,*** vida) corresponde a um intervalo de aproximadamente 65 milhões de anos. A era ***Cenozóica*** começou após o evento de extinção ***Cretáceo-Terciário*** no final do período ***Cretáceo***, que marcou o desaparecimento dos dinossauros e o final da era ***Mesozóica***. A fauna e a geologia da era ***Cenozóica*** são muito diferentes do da era ***Mesozóica***, que, no entanto, preparou o terreno para a fauna e a geologia posterior. Se a era ***Mesozóica*** foi chamada a ***Era dos Dinossauros***, a era ***Cenozóica*** é muitas vezes referida como a ***Idade de Mamíferos***.

Era	Período	Época	Duração (Ma)
CENOZOICO	QUATERNÁRIO	Holoceno Pleistoceno	2,59 – 0
	NEÓGENO	Plioceno Mioceno	23 – 2,59
	PALEOGENO	Oligoceno Eoceno Paleoceno	65,5 – 23

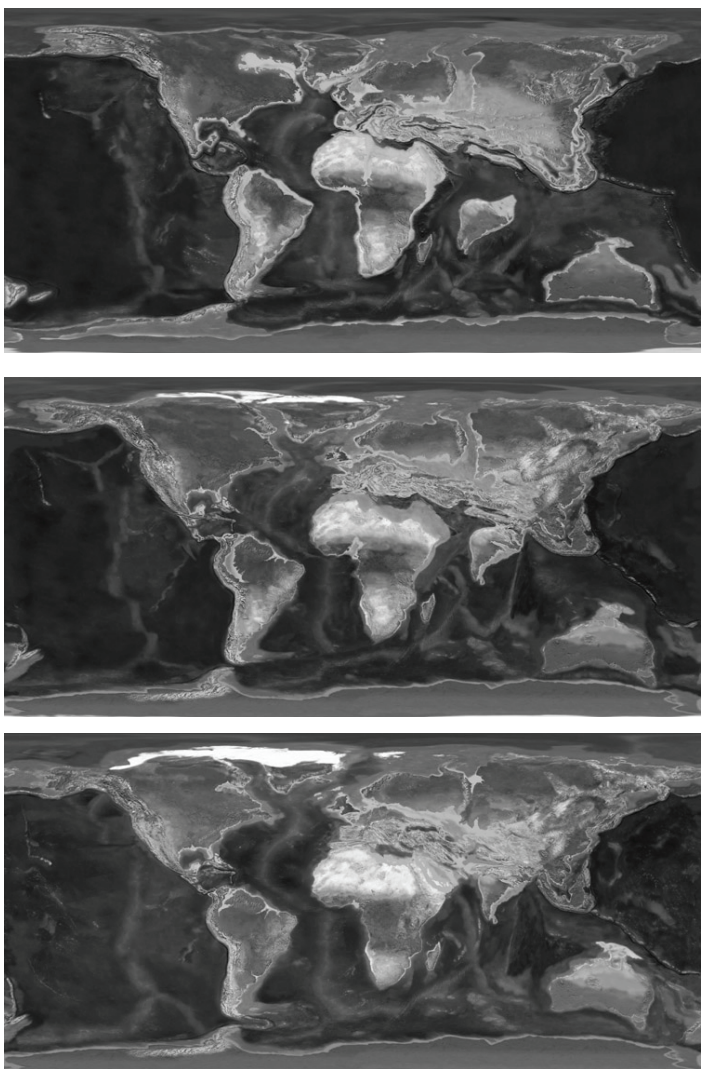
A era ***Cenozóica*** é dividida em dois períodos, o ***Paleogeno*** e ***Neogeno,*** que, por sua vez, se dividem em épocas. O período ***Paleógeno*** compreende o ***Paleoceno,*** o ***Eoceno*** e o ***Oligoceno***/ e o ***Neógeno*** compreende o ***Mioceno,*** o ***Plioceno,*** o ***Pleistoceno*** e o ***Holoceno***, que está em curso. Historicamente, a era ***Cenozóica*** foi dividida em períodos (ou sub-eras) nomeados de ***Terciário*** (***Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno*** e ***Plioceno***) e de ***Quaternário*** (***Pleistoceno*** e ***Holoceno***).

No entanto, a ***Comissão Internacional de Estratigrafia (ICS)*** decidiu deixar de aprovar os termos do Quaternário e Terciário, como parte da nomenclatura formal, tornando o ***Paleogeno*** e os períodos do ***Neogenos*** a nomenclatura

oficial do ICS. Recentemente, o termo ***Quaternário*** foi revalidado, mas aqui nos limitaremos ao uso das terminologias do ***Neógeno*** ao ***Mioceno*** e ***Plioceno***, entanto que ***Pleistoceno*** e ***Holoceno*** serão tratados separadamente no ***Quaternário***.

2. PALEOGENO

O ***Paleógeno*** é um intervalo de cerca de 42 milhões anos, que se estende entre 65-23 milhões de anos atrás, sendo notável como o tempo em que os mamíferos se tornaram muito diversificados e dominantes, após o grande evento de extinção ***Cretáceo-Terciário***, que matou cerca de 50% das espécies da Terra, incluindo a maioria dos dinossauros. O ***Paleógeno*** engloba também um evento dramático de aquecimento global conhecido como ***Máximo Termal do Paleoceno-Eoceno***. O clima, a geografia, a geologia e a biota se fundamentaram sobre os estágios anteriores e serviu de alicerce para a vida moderna.

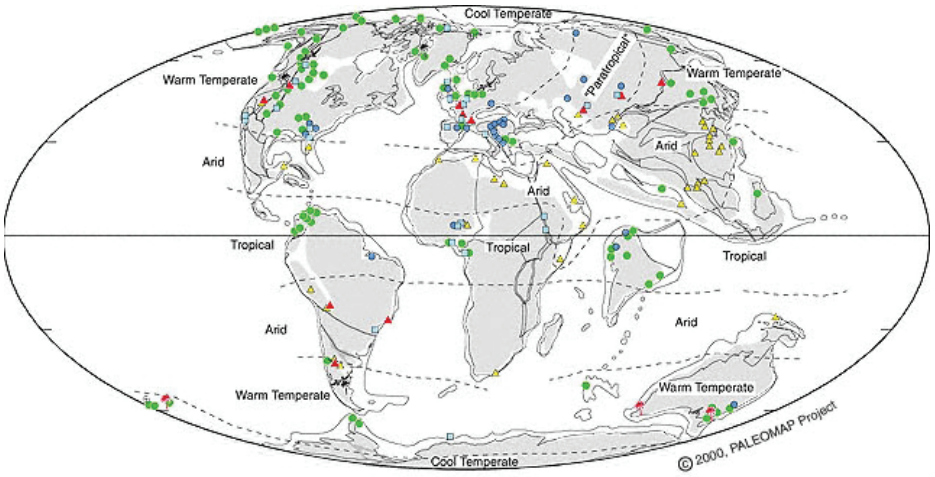


*Paleogeografia do **Paleógeno**.*

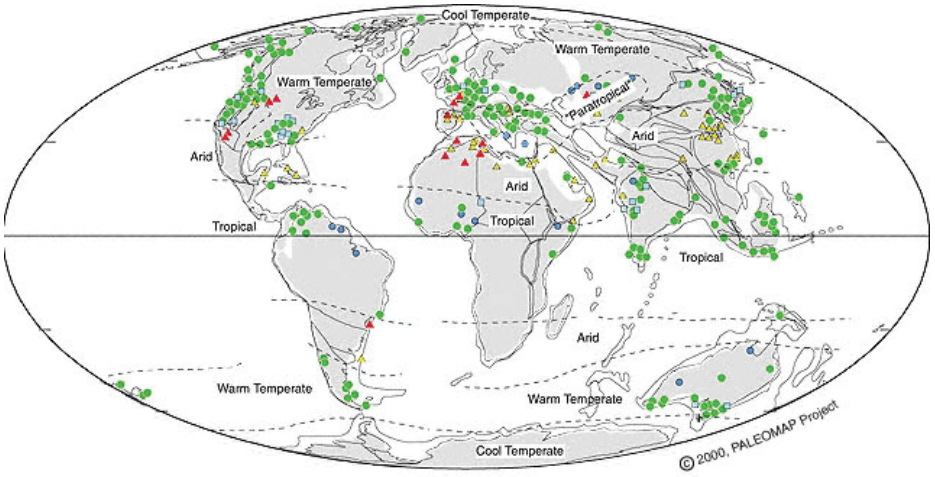
3. PALEOGEOGRAFIA NO PALEÓGENO

Nesse momento, a distribuição dos continentes era muito semelhante à de hoje, mas, por causa das temperaturas altas, o nível do mar também estava mais alto e áreas hoje emergidas se encontravam abaixo do mar na época. Além disso, as orogenias que se desenvolveram no ***Cenozóico*** ainda estavam em sua fase inicial, pelo que as grandes cadeias de montanhas como os Andes, as Rochosas e o Himalaia não existiam e suas bacias estavam em parte ou totalmente submersas. De fato, a Índia ainda estava a caminho da sua colisão com a massa asiática, de forma que o Himalaia ainda se encontrava no fundo oceânico.

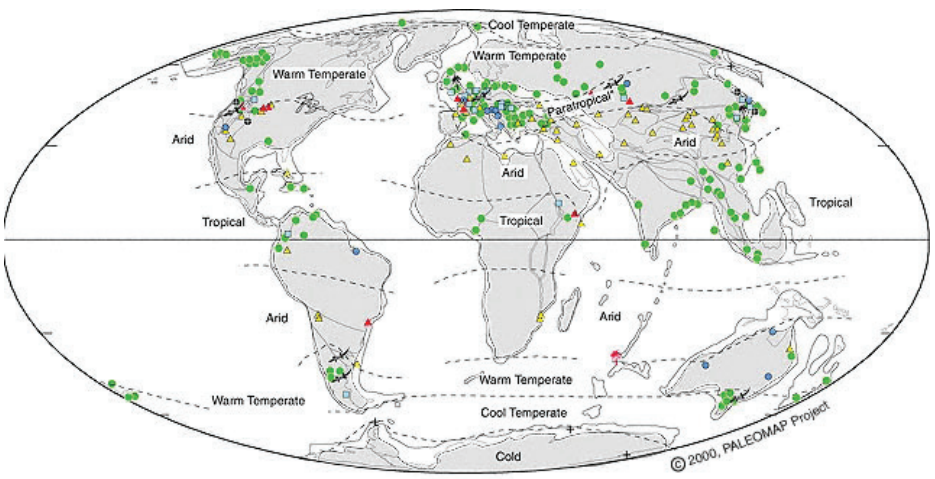
A Europa estava fragmentada em um grande arquipélago com um clima quente e úmido. A América do Sul estava separada da América do Norte, mas conectada com a Antártida, e a Austrália constituía o último remanescente do super-continente de ***Gondwana***. A Antártida, livre de gelos,



Paleocene



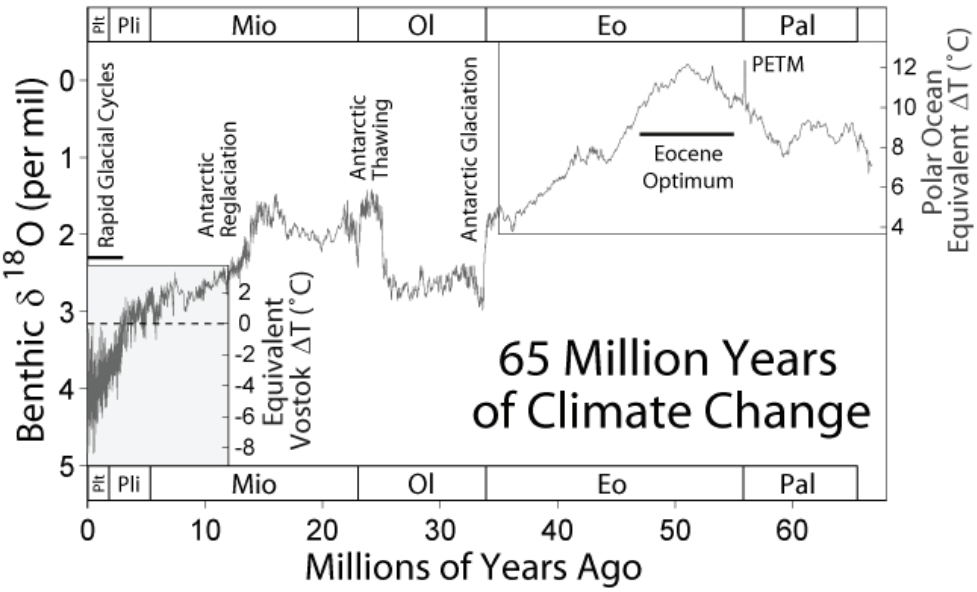
Middle & Upper Eocene



Oligocene

*Clima global durante o **Paleógeno**.*

era composta por dois blocos, o oriental e o ocidental. Como hoje, a maior concentração de massas de terra estava no Hemisfério Norte. Tanto ao norte quanto ao sul, a circulação oceânica estava impedida pelas massas continentais e as correntes marinhas eram obrigadas a passar pelas regiões intertropicais onde se aqueciam e previam a formação de gelo em altas latitudes.



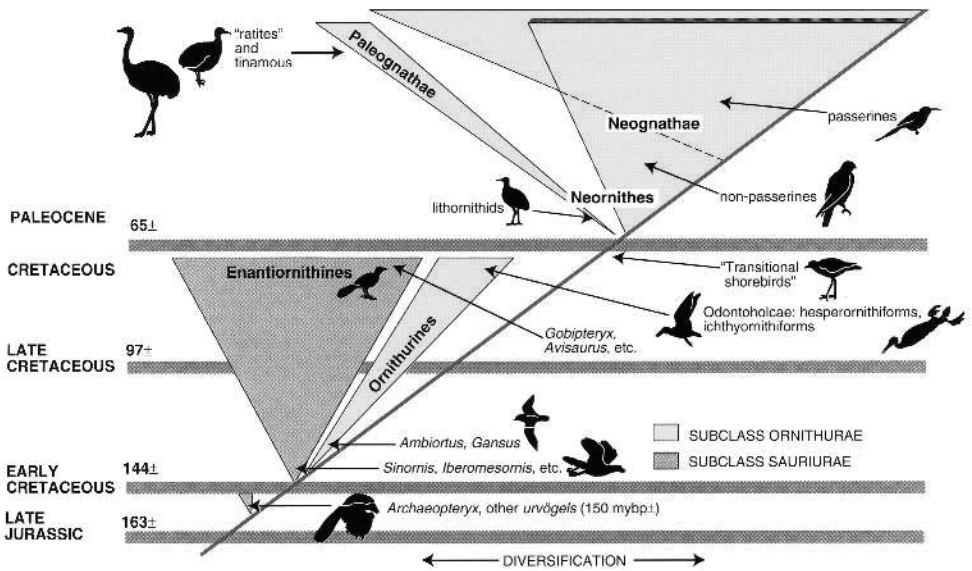
*Esquema da evolução das temperaturas durante o **Cenozóico** e destaque para o máximo termal do **Paleoceno-Eoceno**.*

O fim do ***Paleoceno*** foi marcado por um dos mais rápidos e extremos eventos de aquecimento global registrado na história geológica. Este evento foi denominado por diferentes nomes: ***Máximo Termal Paleoceno-Eoceno*** ou ***Máximo Termal do Eoceno Inicial***. Durante esse tempo, as temperaturas da superfície do mar subiram entre 5ºC e 8°C durante um período de alguns milhares de anos e no Ártico as temperaturas da superfície do mar aumentaram para níveis subtropicais, em cerca de 23°C. Estas mudanças perturbaram a circulação oceânica e atmosférica, levou à extinção de numerosos ***foraminíferos bênticos*** de águas profundas e em terra, e a um grande recâmbio nas faunas e nos mamíferos.

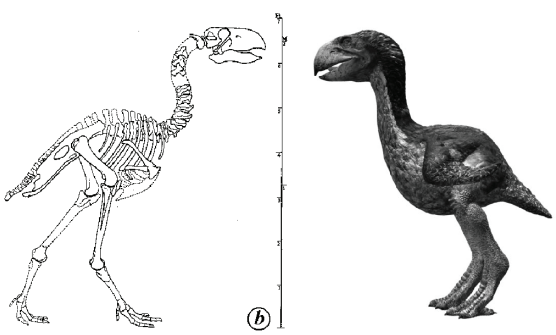
Algum movimento continental ocorreu durante o período ***Paleógeno***. O clima esfriou um pouco para o final do ***Paleógeno*** e o mar interior da América do Norte se retirou no início do período. Ao que parece, deve ter existido conexão terrestre, no começo do ***Oligoceno*** (aprox. 33 Ma), entre a América do Norte e a Europa, uma vez que a fauna das duas regiões é muito semelhante.

4. BIOTA NO PALEOGENO

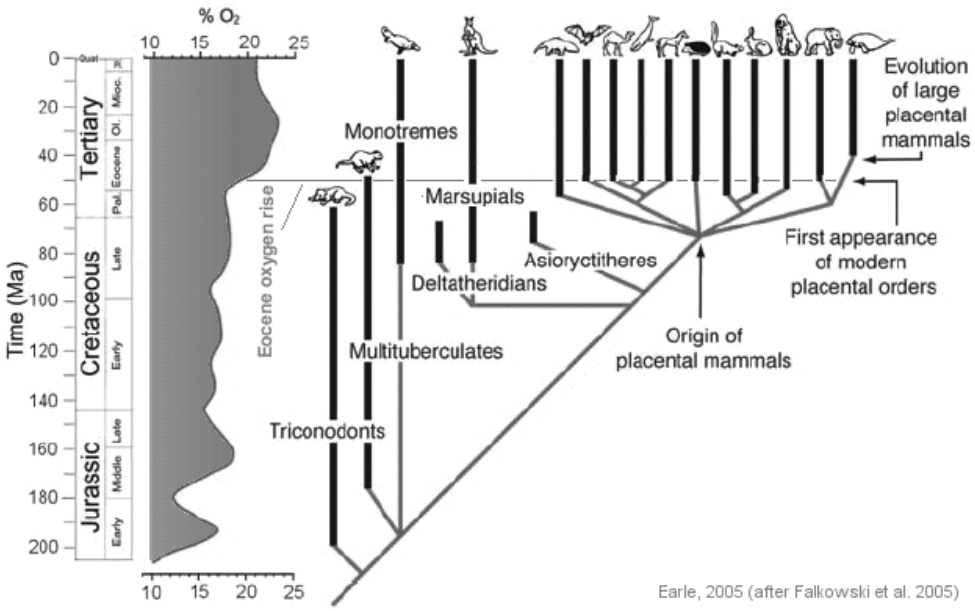
O ***Paleogeno*** é um período notável por ser o tempo em que os mamíferos evoluíram a partir de pequenas formas simples e generalistas para animais diversos e especializados, após a extinção em massa do fim do ***Cretáceo***. Alguns desses mamíferos iriam evoluir para formas de grandes dimensões que dominariam a Terra, enquanto outros se tornam capazes de viver em ambientes marinhos, ambientes especializados terrestres e até mesmo no ar. Dentro de um período geologicamente curto de tempo, no início do ***Eoceno*** (aprox. 53 milhões de anos atrás), a maioria das ordens dos mamíferos modernos apareceu. As aves também evoluíram consideravelmente, dando origem às formas modernas. Outros ramos da vida na Terra permaneceram relativamente inalterados em comparação com aves e mamíferos, durante este período.



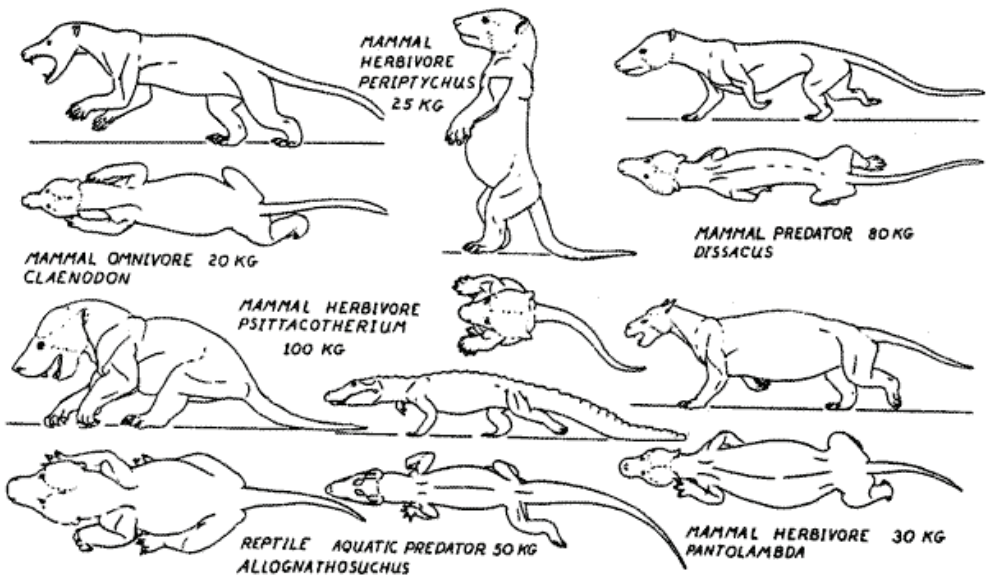
Diversificação das aves, mostrando a radiação das formas modernas no inicio do ***Paleógeno***



Diatrima*, ave carnívora, predadora e não voadora do* ***Paleógeno*** *da América do Norte.*
Aves semelhantes mas não emparentadas surgiram na mesma época na América do Sul.



Esquema da evolução dos mamíferos mostrando a radiação do início do ***Paleógeno.***

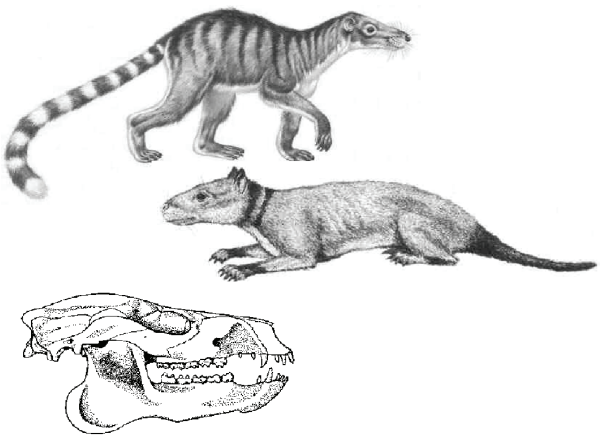


Mamíferos do ***Paleoceno*** *inferior.*

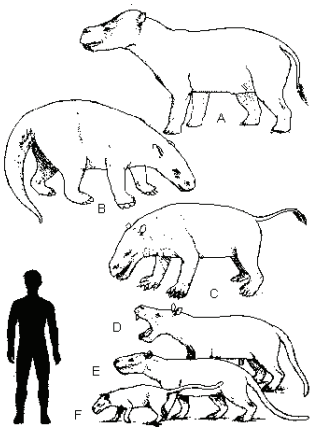




Marsupial carnívoro de ***Paleoceno*** *da América do Sul.*

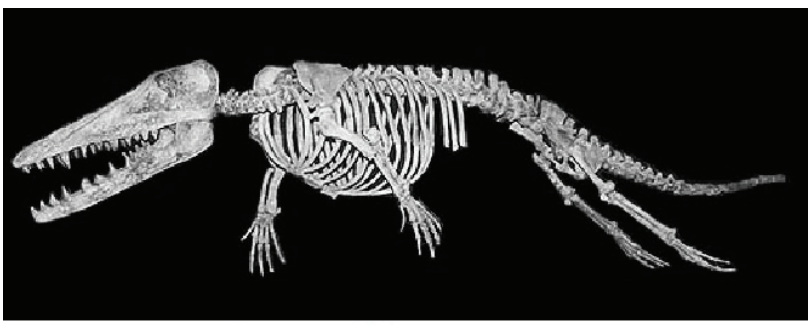


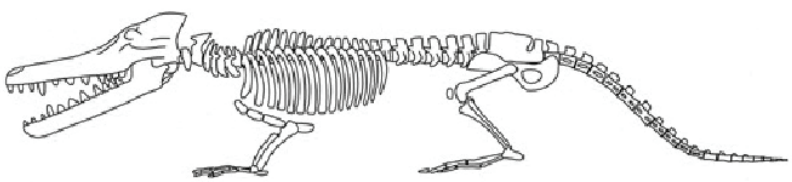
*Mamíferos carnívoros do **Paleoceno** de Hemisfério Norte.*



Diversidade de mamíferos eocênicos.

Cetáceo** primitivo do **Eoceno.









*Um dos primeiros **quirópteros** do **Eoceno**.*



*Diversidade de mamíferos **oligocênicos**.*

AUTOAVALIAÇÃO

a. Quais grupos de vertebrados sofreram uma grande diversificação durante o ***Paleogeno***?

b. O que caracteriza o clima do início do ***Paleogeno***?

c. Como era a geografia global durante o ***Paleogeno***?

d. Que tendência pode ser observada na evolução dos mamíferos no ***Paleogeno***?

e. Durante o início do ***Paleogeno***, em que estado de desenvolvimento se encontravam as atuais cadeias de montanhas?



XIII

AULA XIII

NEÓGENO.
A EXPANSÃO DOS AMBIENTES ABERTOS.
BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVO

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido os principais eventos acontecidos durante o ***Neógeno***.

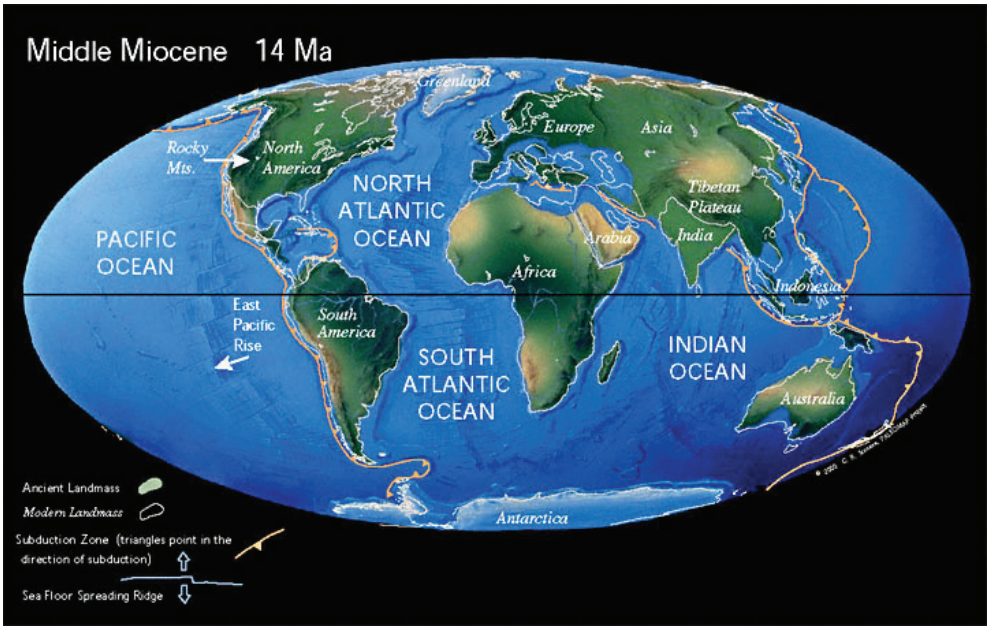
1. INTRODUÇÃO

O período ***Neógeno*** começou a 23 milhões de anos atrás e é o segundo dos dois períodos que marcam a nossa era atual, o ***Cenozóico***. De acordo com a atual proposta da Comissão Internacional de Estratigrafia (ICS), o ***Neógeno*** consiste no ***Mioceno*** e ***Plioceno***. No passado, houve muita controvérsia sobre a existência do ***Quaternário*** como um sub-período separado do ***Neógeno,*** ou como inclusão no mesmo. Em 2009, a ICS, que elaborou a Tabela Estratigráfica Internacional, reconheceu que o ***Quaternário*** se manteria como um sub-período independente e que sua base corresponderia a base do piso ***Gelasiano***, em 2,59 Ma. Este piso era anteriormente considerado parte do ***Plioceno***, mas a inclusão no ***Pleistoceno*** atende ao fato de que as condições do clima do ***Quaternário***, ou seja, o início do ciclo glacial iniciado no ***Gelasiano***.

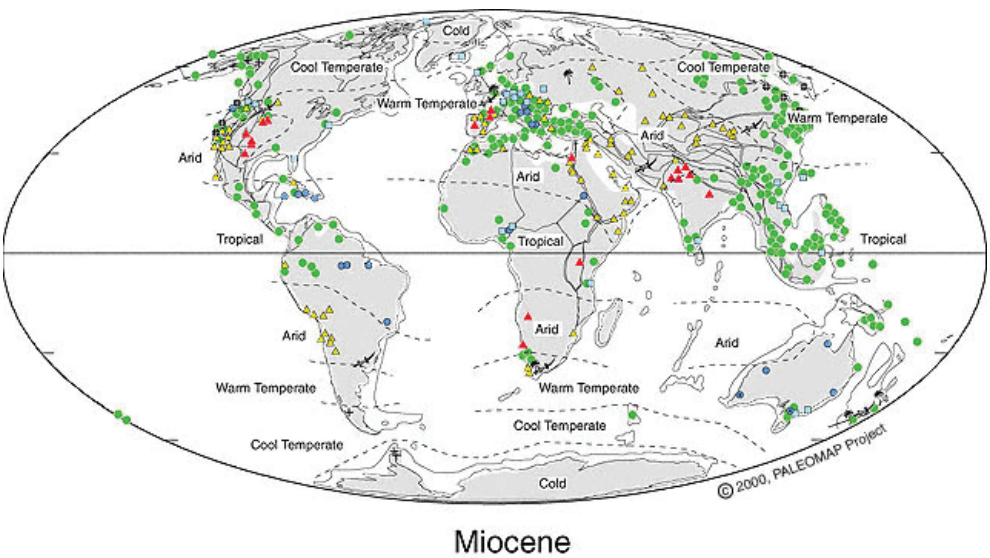
2. PALEOGEOGRAFIA

Durante o ***Neógeno****, a* configuração das massas continentais é ainda mais próxima que a do ***Paleogeno*** da configuração atual. Algumas diferenças correspondem ao nível do mar, um pouco mais alto durante o ***Mioceno*** e a desconexão entre as Américas, um fato que já estava presente no período anterior.

Os climas eram semelhantes aos atuais com um progressivo deterioro das temperaturas globais depois do máximo do ***Eoceno***. Porém, durante o ***Mioceno*** inferior e, especialmente o médio (aprox. 16-10 Ma), aconteceu um evento moderado de aumento das temperaturas globais, chamado de ***Ótimo Climático do Mioceno***. Logo depois desse período, o processo de queda foi retomado que culminaria com os eventos glaciares do ***Quaternário***.

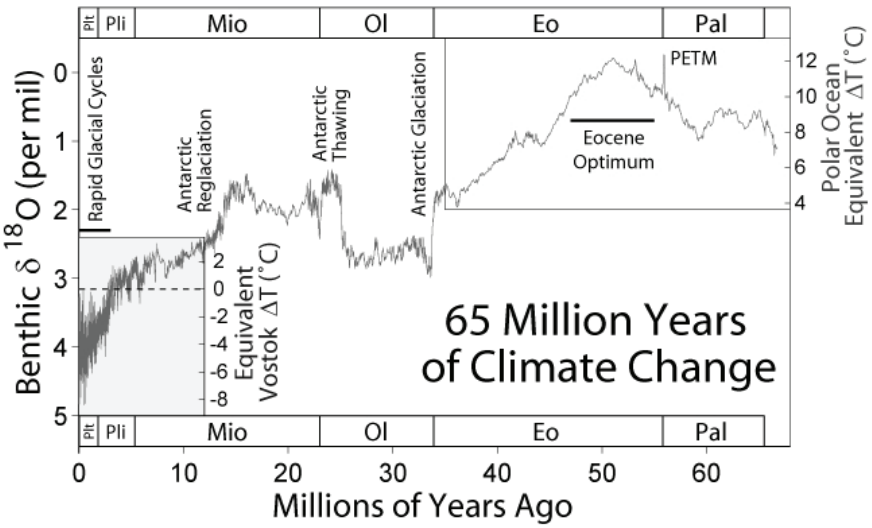


*Paleogeografia do **Mioceno**, correspondente a maior parte do **Neógeno**.*

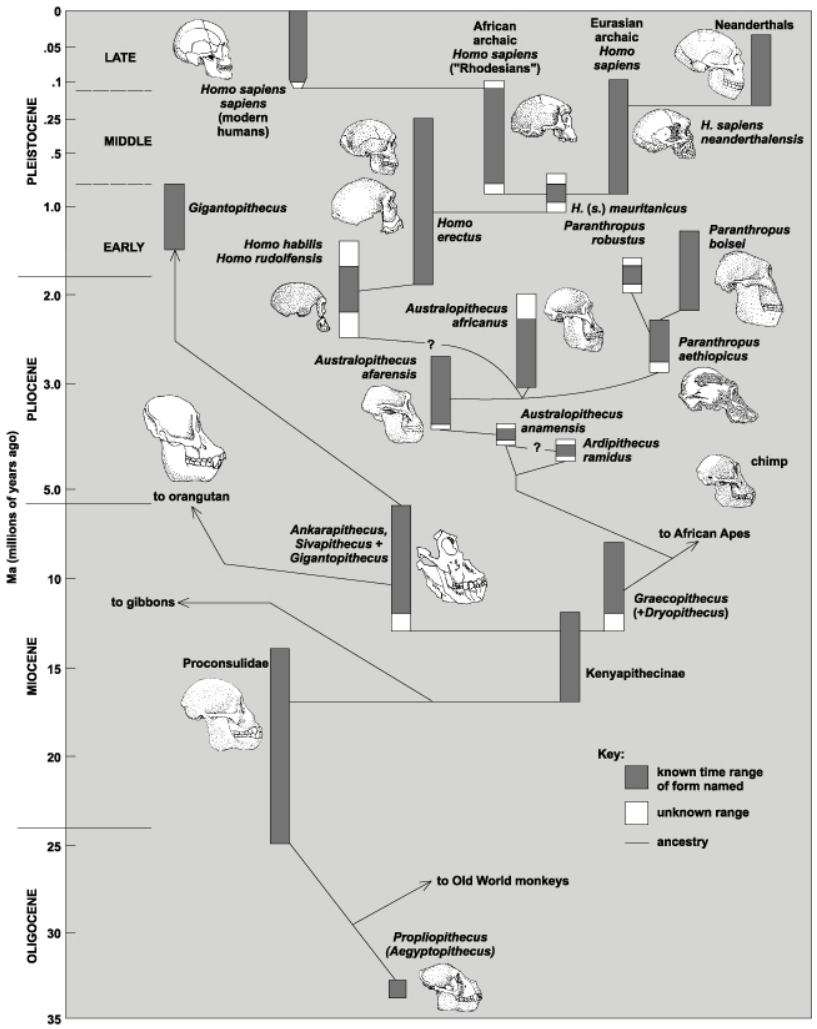


*Paleoclimas do **Mioceno**, correspondente a maior parte do **Neógeno**.*

No início do ***Mioceno*,** gelo marinho tinha se formado entorno da Antártida e em fins desse momento já existia gelo continental nela.



*Esquema da evolução das temperaturas durante o **Cenozóico** – observe o breve período de altas temperaturas no **Mioceno** e o progressivo deterioro logo depois.*

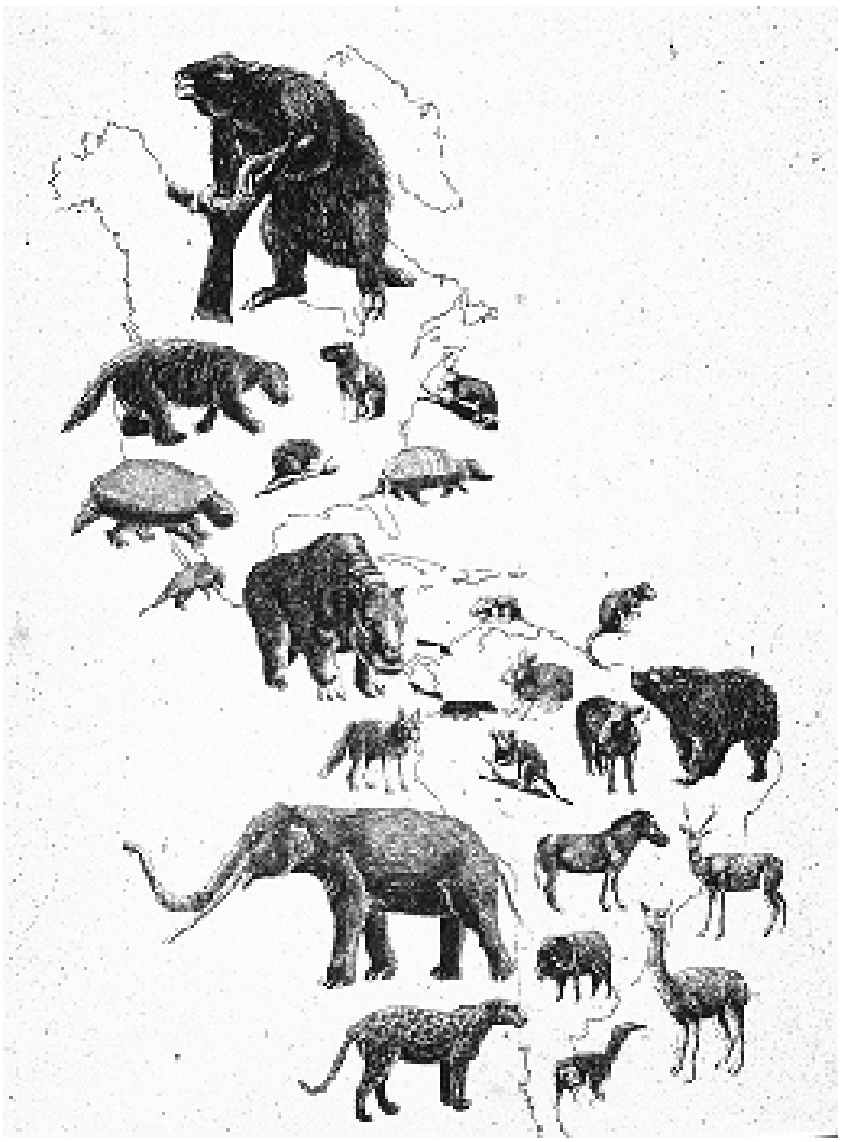


*Quadro da evolução dos **Hominidae**.*

3. BIOTA

As biotas globais ficam mais e mais semelhantes às atuais. Foi durante essa época que se desenvolveu todo o processo da evolução da família ***Hominidae***, em sua maior parte no continente africano. As formas arcaicas de mamíferos e aves do ***Paleógeno*** se extinguem no fim do ***Oligoceno***, determinando uma renovação global nas faunas e nos ambientes marinhos.

Um dos eventos mais chamativos deste momento é a reconexão entre as Américas depois de um período de isolamento de aproximadamente 60 milhões de anos. Esse evento é de particular interesse porque constituem uma das maiores mudanças e porque nos interessa localmente. Ele é chamado de "Grande Intercambio Biótico Americano" e se trata de um longo processo que na prática ainda continua.



*Esquema do **Grande Intercômbio Biótico** Americano*

AUTOAVALIAÇÃO

a. O que caracteriza climaticamente o ***Neógeno***?

b. O que acontece com a fauna no início do período?

c. Que evento biótico determina a reconexão das Américas?

XIV

AULA XIV

QUATERNÁRIO.
GLACIAÇÕES.
EVOLUÇÃO HUMANA.
BIOTA E PALEOGEOGRAFIA.

OBJETIVOS

Após esta aula, os alunos deverão ter compreendido os eventos climáticos e bióticos acontecidos durante o ***Quaternário***.

1. INTRODUÇÃO

A sub-era ***Quaternário*** é o momento que se estende desde o final do ***Plioceno*** aproximadamente 2.59 milhões de anos atrás até o presente. Desde 2009, o piso ***Gelasiano***, originalmente parte do ***Plioceno***, foi incorporado ao ***Pleistoceno***. Este último é o primeiro dos dois momentos em que se divide o ***Quaternário*** e se estende de 2,59 milhões de anos até 10.000 anos atrás. O outro momento corresponde ao ***Holoceno*** (10.000 anos atrás até os dias de hoje). O Quaternário é marcado por ciclos de glaciação e se divide em inferior, médio e superior.

Em 1821, um engenheiro suíço, Ignaz Venetz, escreveu um artigo no qual sugere a presença de vestígios da passagem de uma geleira a uma distância considerável dos Alpes. Esta idéia foi inicialmente disputada por outro cientista suíço, Louis Agassiz, mas quando pensou em refutá-la, acabou por afirmar a teoria do colega. Um ano mais tarde, Agassiz levantou a hipótese de um grande período glacial que teria tido efeitos de longo alcance geral, idéia lhe deu fama internacional.

2. GLACIAÇÕES

Na análise geológica e geoquímica de amostras de gelo e núcleos de sedimentos oceânicos, verificou-se que houve vários períodos de avanços e recuos das geleiras e que as temperaturas da Terra no passado eram muito diferentes das de hoje. Avanços e recuos das geleiras ocorreram em várias fases, em grande parte da América do Norte e da Europa, partes da América do Sul e da Ásia, e em toda a Antártida.

As glaciações do ***Pleistoceno*** são consideradas resultantes, pelo menos em parte, da variação cíclica de absorção da interceptação da radiação solar. Esses ciclos são chamados ***Ciclos de Milankovitch***, após sua descrição pelo estudioso sérvio Milutin Milankovitch. Esses ciclos influenciaram o clima com o aumento ou a

diminuição da quantidade de luz solar recebida por determinadas partes do globo através do tempo. Essas alterações incluem uma mudança na precessão dos equinócios, a inclinação do eixo da Terra, e sendo a órbita da Terra elíptica (excêntrica), esta varia em escalas de tempo de 21.000, 41.000 e 100.000 anos, respectivamente. O predomínio do ano 100.000 na escala de tempo das glaciações do ***Pleistoceno,*** ao longo dos últimos 700.000 anos, levou muitos cientistas a acreditar que o ciclo de excentricidade desempenhou um papel significativo no clima dessa época.

Quatro grandes eventos glaciais foram identificados, assim como muitos eventos menores intervenientes. Um grande evento foi a ***Excursão Geral Glacial***, denominada apenas ***Glacial***. Os Glaciais são separados por interglaciais, ou seja, quando durante um glacial, a geleira mostra avanços e recuos menores. Excursões menores de um glacial são denominadas **E*stadiais*** e os períodos de tempo entre eles são chamados de ***interstadials***. Tais eventos são definidos de forma diferente em diferentes regiões do intervalo glacial, tendo a sua própria história glacial dependendo da latitude, do relevo e do clima. Há uma correspondência geral entre glaciais em diferentes regiões.

3. FAUNA

Não existem etapas definidas para a fauna do ***Pleistoceno*** ou ***Holoceno***. Tanto a fauna marinha como a fauna continental são essencialmente modernas. Os seres humanos evoluíram para o homem moderno durante o ***Pleistoceno***. Alguns poucos grupos de novos animais apareceram, mas o baixo número de novidades deve ser atribuído ao curto lapso de tempo, em termos geológicos, de duração do período.

Houve uma grande extinção de grandes mamíferos em todo o mundo no final do ***Pleistoceno***. Muitas formas se extinguiram como os tigres de dentes-de-sabre, os mamutes, os mastodontes, os gliptodontes, as preguiças, dentre outros. Outros animais, incluindo cavalos, camelos e guepardos, foram extintos em algumas áreas, mas persistiram em outras. A extinção afetou sistematicamente e diferencialmente animais de grande porte e quase nenhuma forma média ou pequena.

Porém, a intensidade das extinções foi diferente em cada região. O conjunto das Américas foi a mais fortemente afetado, com o maior número de gêneros extintos, enquanto que a região da África foi a menos atingida..

Existe uma grande discussão sobre o motivo desta extinção. Para alguns ela obedeceu a motivos de mudança climática; e outros defendem a participação humana, no processo com o excesso de caça de grandes presas. Não existe ainda consenso, mas parece plausível que seja a combinação de ambos os fatores e o grau de importância de cada um deve variar de uma região para outra.

AUTOAVALIAÇÃO

a. Qual é o critério para reconhecer o ***Quaternário***?

b. Que fenômeno determinou os ciclos glaciais do ***Quaternário***?

c. Quais os tipos de animais foram extintos no final do ***Pleistoceno***?

Composto em caracteres Aller, Arial, Calibri, PT Sans e Times New Roman.
Editorado pelo Centro de Apoio à Educação a Distância da UFMG (CAED-UFMG).
Impresso pela Triunfal Gráfica & Editora.
Capa em Supremo, 250g, 4X0 cores - Miolo Off Set 120g, 4X4 cores.
Julho - 2011

ISBN 978-85-64724-03-7



PRÓ LICENCIATURA

UAB UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL

GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CAED - UFMG

UFMG