

# **GEOLOGIA HISTÓRICA**

## **Origem e evolução da Vida, Noções de Paleontologia**

**Entre todos os sistemas dinâmicos da Terra,  
a Biosfera é o mais recente**

# Bibliografia

**Josué Camargo Mendes** – Paleontologia Geral. (2ª edição), Editora Livros Técnicos Científicos (1988), 342p

**Murilo Rodolfo De Lima** – Fósseis do Brasil, T. A. Queiroz Editor, LTDA, Editora da Universidade de São Paulo (1989), 118 p

**Roland Trompette** – La Terre: Une planète singulière. Éditions Belin, França (2003), 304p. **4ª Parte** – La biosfera: histoire de la vie - 4 capítulos: (1) Grandes etapas de evolução dos seres vivos, (2) Reflexões sobre a evolução, (3) O lugar do homem na evolução, (4) Conclusão

**Planeta Terra:** ~ 4,6 bilhões de anos

**90% do tempo geológico ( 4,6 Ba-542 Ma – Pré-cambriano) –**

condições eram inóspitas: existência somente de seres muito primitivos (**microrganismos**).

**A partir de 542 Ma –** condições ambientais evoluíram e criaram condições para o desenvolvimento da vida, interrompida por diversas crises, que dizimaram grande parte dos seres vivos.

# Datas importantes do Pré-cambriano a serem lembradas na evolução da vida

- **4,6 bilhões de anos** - Formação da Terra.
- **3,9 bilhões de anos** - Idade das rochas sedimentares mais antigas.
- **3,5 bilhões de anos** - Idade dos mais antigos fósseis - eubactérias procariotes (células sem núcleo) identificadas nos estromatólitos (concreções carbonáticas, produzidas por atividades metabólicas de bactérias fotossintéticas, como p.ex. (cianobactérias).
- **+/- 2 bilhões de anos** - Aparecimento das primeiras células com estrutura eucariota (com núcleo).
- **600 Ma** - Aparecimento de metazoários de grandes tamanhos, com corpos moles (sem esqueletos).
- **540 Ma** - aparecimento dos primeiros metazoários (com esqueletos).

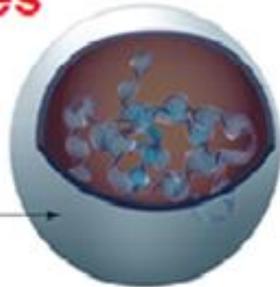
## Diferenças entre as células Procariotes e Eucariotes

- 3,5 Ba

### Procariotes

Celulas com DNA

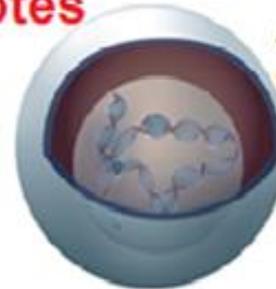
Envelope lipídico



+/- 2,0 Ba

### Eucariotes

Aparecimento de núcleos



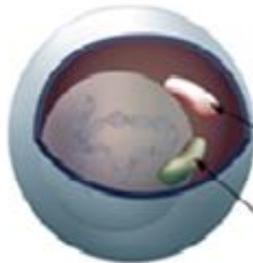
- 2 Ba

### Eucariotes

Células com organelos

Mitocondrio (respiração)

Cloroplaste (fotossíntese)



- 1,8 Ba



Aparecimento de aglomerados de células

# Ambiente nos primórdios da Terra

Planetologia comparada



Atmosfera primitiva da Terra



Hidrogênio (H)

Hélio (He)

Metano (CH<sub>4</sub>)

Amônia (NH<sub>3</sub>)

Gás carbônico (CO<sub>2</sub>)

Nonóxido de carbono (CO)

Água (H<sub>2</sub>O)

Gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S)

Radioatividade alta (100 a 1000)

Radiação ultravioleta

Ambiente redutor (anaeróbio) Ácido

**Ambiente totalmente impróprio  
para a sobrevivência dos  
seres vivos**

# Quando surgiu a vida na Terra ?

**As condições ambientais nos primórdios da Terra:** eram impróprias para a sobrevivência dos seres vivos, pelo fato do ambiente apresentar radioatividade muito alta, elevada incidência de radiação ultravioleta e inexistência da camada de ozônio e ser altamente redutor e ácido. Constante bombardeamento de corpos oriundos do espaço.

Estas condições inóspitas perduraram de **4,6 bilhões de anos até 560 Ma**, o que representa cerca de 90% do tempo geológico. A **560 Ma** as condições ambientais evoluíram e a vida começou a se desenvolver rapidamente sendo, entretanto, interrompida por diversas crises, que dizimaram grande parte dos seres vivos

## Quando surgiu a vida?

**Indícios** — 3,9 Ba - Rochas da Groenlândia, Canadá – Grafite, com teor de  $^{13}\text{C}$  típico de material orgânico e semelhante aos teores encontrados em vegetais atuais (fotossíntese).

**Outra explicação** - existência de depósitos de ferro ( $\text{Fe}^{3+}$ ) com 3,5 Ba. Nesta época não existia oxigênio livre na atmosfera e portanto ele estaria na forma de  $\text{Fe}^{2+}$  ( $\text{FeS}$ ). O oxigênio liberado dos oceanos por atividade de algas fotossintetizantes provocaria a oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$  para  $\text{Fe}^{3+}$ .

**Estromatólito**  
**Construção eubactérian**  
**(Canadá)**



# Origem da vida

**Composição química  
dos seres vivos:**



Oxigênio (O)  
Carbono (C)  
Hidrogênio (H)  
Nitrogênio (N)  
Água – 85% da massa total  
Metais (quantidades muito reduzidas)  
**Moléculas**  
(glucídios, ácidos gordurosos, Amino-  
Ácidos, Acido desoxirribonucléico (ADN))

**De onde vem a vida?**

**Origem no espaço** (Panspermia Cósmica) – Teoria que se baseia na ideia de que a vida foi trazida para a Terra, em meteoritos que abrigavam formas de vida primárias. Cientificamente, já foi encontrada matéria orgânica em meteoritos.

**Origem terrestre** – Material sedimentado no fundo dos mares, rico em argila-2/1 do tipo esmectita, que promoveu a formação de polímeros porosos, (hidrogéis), onde reações químicas sintetizaram proteínas, DNA e células vivas.

Dan Lou (2013)

# Processos não biológicos podem formar moléculas complexas, análogas às formadas pelos sistemas vivos (Miller, 1954)

## Experiência de MILLER (1954)

**Mistura:** componentes da atmosfera

primitiva - vapor d'água

hidrogênio

metano

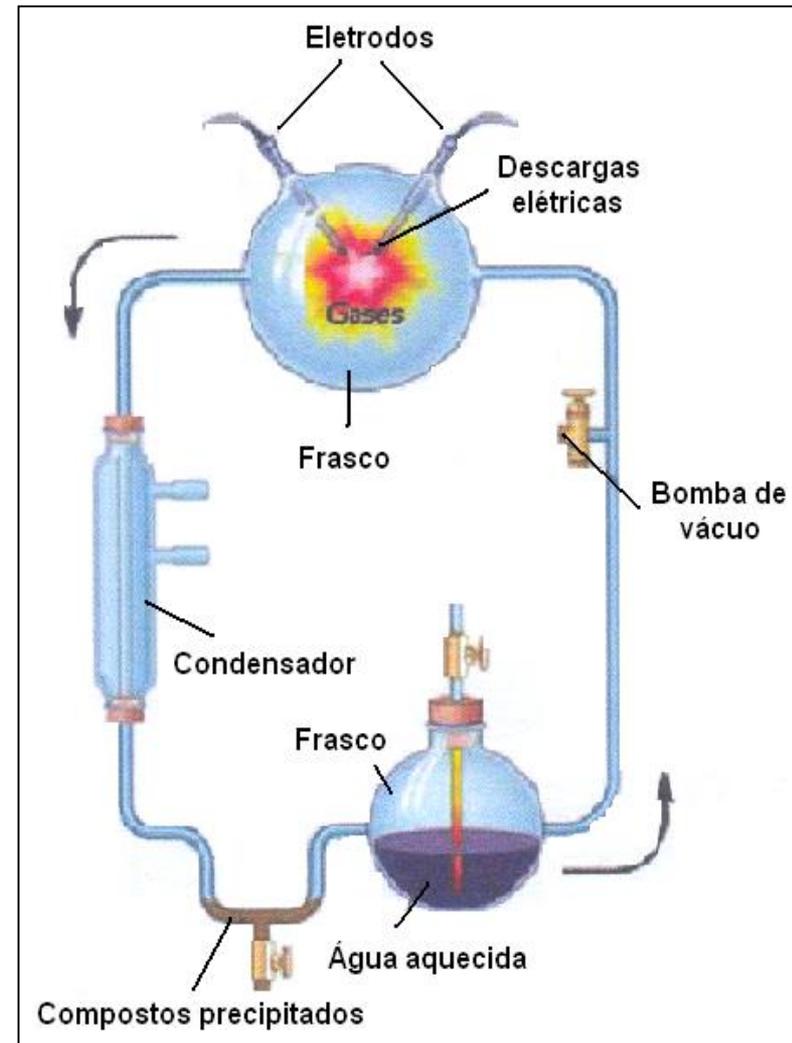
amônia

**Descarga elétrica**

**Resultado - após 1 semana**

**formação de 3 aminoácidos**

(Glicina, Alanina e ácido aspártico)



**("sopa orgânica" diluída)**

# NOÇÕES DE PALEONTOLOGIA

## Qual a importância da Paleontologia no estudo da Evolução da Vida?

**Paleontologia** - ciência que estuda a vida existente no passado da Terra e a sua evolução ao longo do tempo geológico . Portanto, é a ciência que associa informações biológicas (Biologia) em registros geológicos (Geologia).

**Fósseis** — são restos ou vestígios de animais e de vegetais preservados em rochas sedimentares (ex: ossos, dentes, escamas, troncos, etc.). Podem ser ainda vestígios de suas existências ou de suas atividades (pegadas, coprolitos, etc.)

# Processo que leva à conservação de restos e vestígios de animais e plantas - **FOSSILIZAÇÃO**

- **Substituição ou mineralização:** retirada do material original e deposição, no mesmo local, de um material diferente. A estrutura original pode ser ou não conservada (silicificação, calcificação, etc)
- **Destilação ou carbonização:** escape dos constituintes voláteis da matéria orgânica (H, N) deixando uma película de carbono, que freqüentemente permite o reconhecimento do organismo (folhas)
- **Recristalização:** destruição da microestrutura original das partes resistentes. (conchas de braquiópodos formadas por calcita fibrosa, transforma-se em um mosaico de cristais de calcita)

São também fósseis – moldes, mumificação, pegadas, pistas e perfurações em rochas

# Processos de fossilização



← **Molde externo**



← **Conservação ou mumificação**



← **Mineralização ou silicificação**

**Carbonização ou destilação** →



**Impressão** →



**Marcas ou pegadas** →



# PRÉ-CAMBRIANO

**Evolução da vida primitiva**

# Pré-cambriano – espaço de tempo que reúne três Éons:

## Pré-cambriano Super Éon

Proterozóico: 2,5 Ba - 560 Ma

Arqueano: 3,9 Ba - 2,5 Ba

Hadeano: 4,6 Ba - 3,9 Ba

**Hadeano (4,6 - 3,9 Ba)** – não há registro de vida e nem de rochas. Espaço de tempo desde a formação da terra até o aparecimento das primeiras rochas.

**Arqueano (3,9 - 2,5 Ba)** – As primeiras rochas sedimentares conhecidas (3,9 Ba - 3,5 Ba) Idade dos fósseis mais antigos (**eubactérias unicelulares procariotas e algas**) identificadas em estromatólitos (**concreções carbonáticas formadas por atividades metabólicas de bactérias fotossintéticas – cianobactérias**). No final do Pré-cambriano (2,5 Ba) a vida é representada por construções de recifes (estromatólitos) formadas, essencialmente, por cianobactérias. Mares rasos eram dominantes nesta época.

## Recifes de Corais



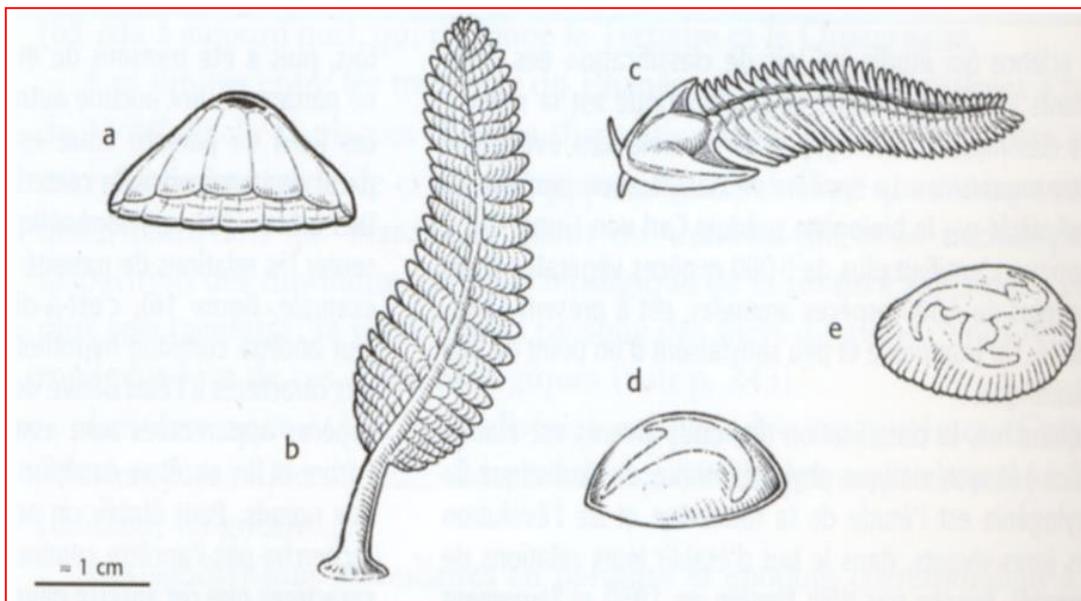
## Estromatólitos



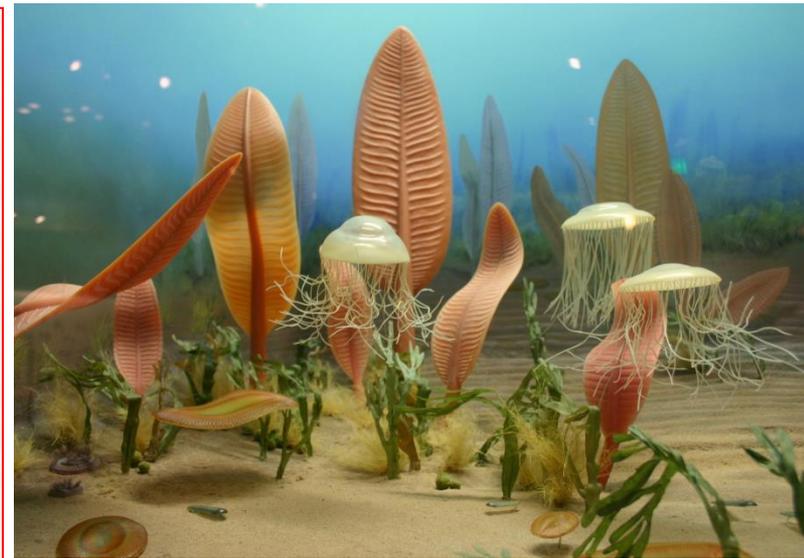
**Proterozóico (2,5 Ba - 560 Ma)** - Após 2,5 Ba, oxigênio presente na atmosfera pela proliferação bacteriana e o aparecimento das bactérias eucariotas (núcleo individualizado). Formação das grandes jazidas de Fe a partir da oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$  solúvel. Cianobactérias são encontradas nestas rochas. No final do Proterozóico (+/- 600 Ma) começam aparecer os primeiros metazoários de grandes tamanhos e corpos moles e a 540 Ma, já no Paleozóico (Cambriano) metazoários com esqueletos.

## Fauna Ediacara - final do Proterozóico (cerca de 560 Ma)

Fósseis (moldes) marinhos de metazoários de corpos moles, invertebrados sem coberturas resistentes (sem conchas ou carapaças), principalmente anelídeos, celenterados e organismos que não apresentam nenhum traço com os filos existentes atualmente. A vida macroscópica começa a se desenvolver



(a) Medusóides; (b) Celenterados; (c) ancestrais de Artropódas e (d - e) fósseis diferentes de qualquer organismo conhecido atualmente



**Biota Ediacarana** – habitou os mares entre 635 e 542 M.a.

# ERA PALEOZÓICA

(540 Ma – 245 Ma)

## subdivisão em períodos

**Permiano: 286 Ma – 245 Ma**

**Carbonífero: 360 Ma – 286 Ma**

**Devoniano: 408 Ma – 360 Ma**

**Siluriano: 438 Ma – 408 Ma**

**Ordoviciano: 505 Ma – 438 Ma**

**Cambriano: 540 Ma – 505 Ma**

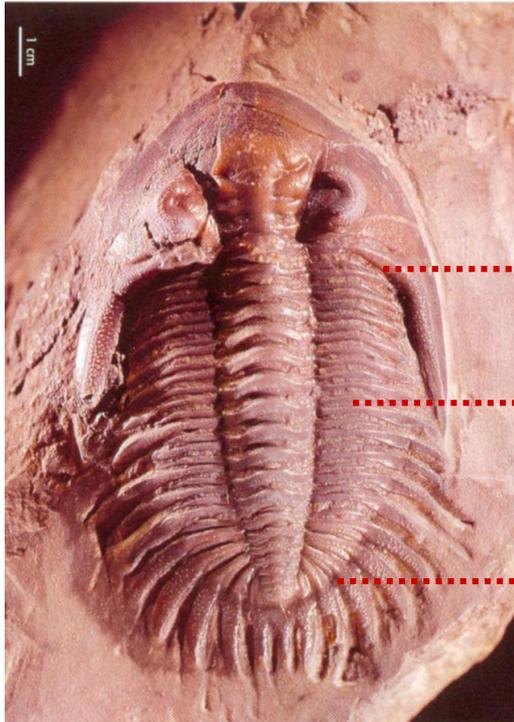
# Início da Era Paleozóica - explosão da vida marinha

- Aparecimento da maior parte dos filos de invertebrados, de algas marinhas e dos primeiros habitantes marinhos que consumiam oxigênio.
- Surgiram os primeiros animais com exoesqueletos (**conchas e carapaças**). Ex. **braquiópodos** (bivalvas), **artrópodes** (gafanhoto, aranha, etc), **gasterópodos** (caramujos, lesmas), **equinodermas** (estrelas do mar).

## A vida no Cambriano (540 – 505 Ma)

- **Recifes de corais** - habitavam todos os mares - Clima quente
- **Fauna primitiva** - trilobitas (70% dos fósseis), braquiópodos eram comuns
- **Fauna de Burgess** - fósseis encontrados em folhelhos pretos (**530 Ma**). Fauna com animais invertebrados (corpos moles e membros segmentados ou artropodizados)

# A vida no Cambriano (540 – 505 M.a.)



cabeça

Tórax

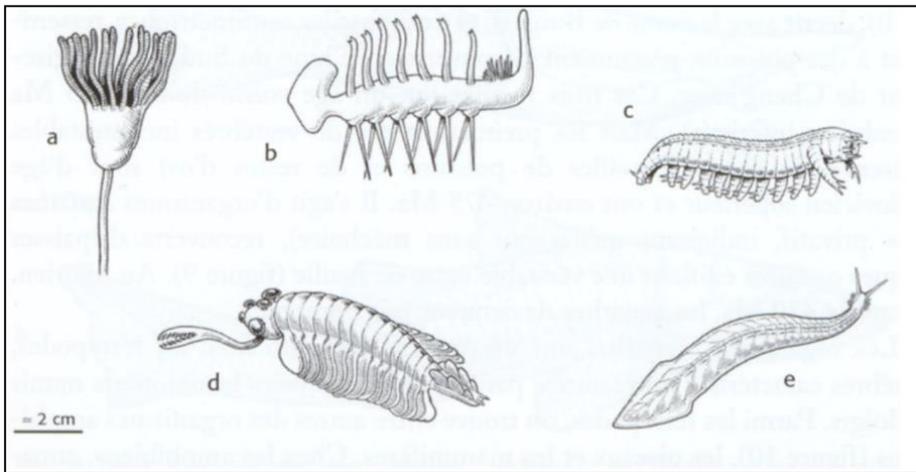
Pigidium

## Trilobita

Artrópoda marinho,  
provido de uma  
Carapaça quitinosa



## Braquiópodas

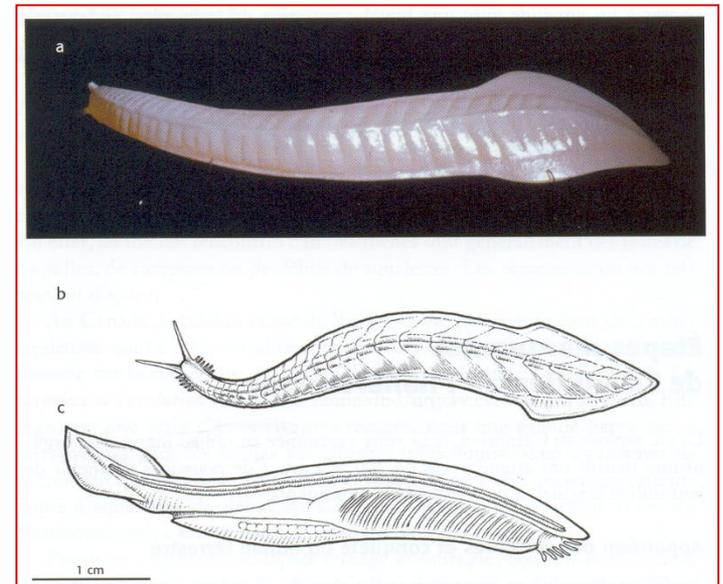


## Fauna dos folhelhos de Burgess (Cambriano médio)

a) Dinomiscos; b) Hallucigenia; c) Aysheaia; d) Opabinia; e) Pikaia

### Pikaia

Fóssil da Fauna de Burgess, possivelmente um dos primeiros animais cordados. Semelhante morfológicamente aos anfioxos. Em (c) um cordado atual



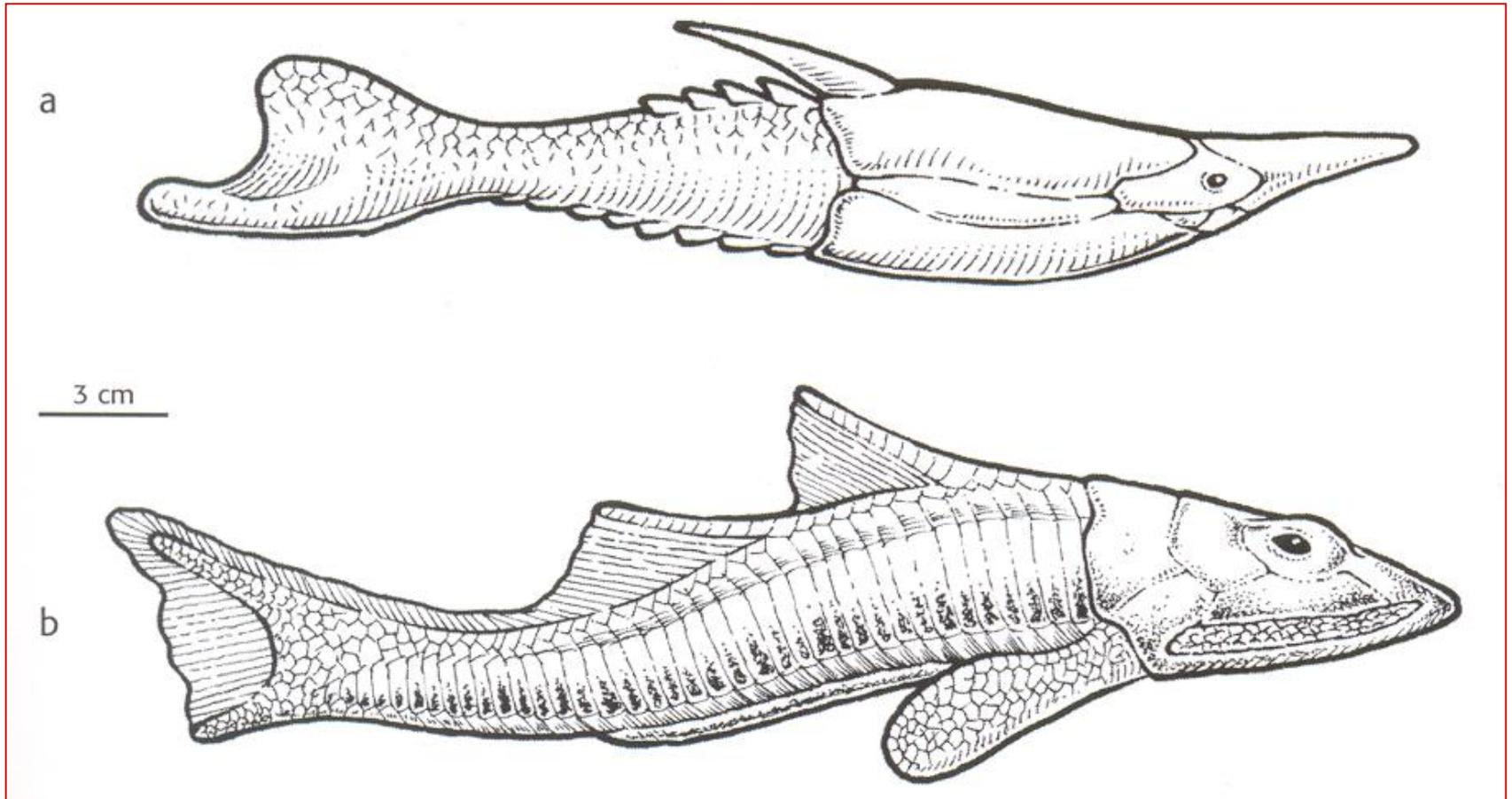
# **A vida no Ordoviciano (505 – 438 Ma)**

- **Modernização faunística – aparecimento de alguns grupos que sobrevivem até hoje.**
- **Trilobitas ainda dominam e aparecem os primeiros peixes sem mandíbulas (agnathas).**
- **Flora incipiente (várias espécies de algas). Líquens.**
- **No final do período ocorre uma importante glaciação.**
- **Vida somente marinha**

## A vida no Siluriano (438 – 408 Ma)

- Clima quente, degelo e elevação do nível do mar.
- Vida continua quase que exclusivamente marinha.
- Corais, trilobitas, crinóides e braquiópodos
- Aparecimento dos primeiros vertebrados (**peixes que não possuíam mandíbulas (ostracodermos)**)

**Final do período tem início a colonização dos continentes pelas plantas – Pteridófitas (samambaias)**



**Fósseis dos primeiros vertebrados, semelhantes a peixes,  
mas sem mandíbulas (Siluriano e Devoniano inferior)**

# A vida no Devoniano (408 – 360 Ma)

- Apogeu dos **corais**
- **Peixes** - grande variabilidade de formas e adaptações, com transição para os rios (falta de sal) e depois para a terra (desenvolvimento de aparelho de respiração branquial).
- **Explosão das plantas continentais**, com desenvolvimento de vasos para alimentação das partes aéreas e formação de epiderme cutinizada para economia de água. Aparecimento das primeiras **florestas**.



Caule fossilizado de uma Pteridófita (silicificação)



Ocaso dos trilobitas – formas degenerativas

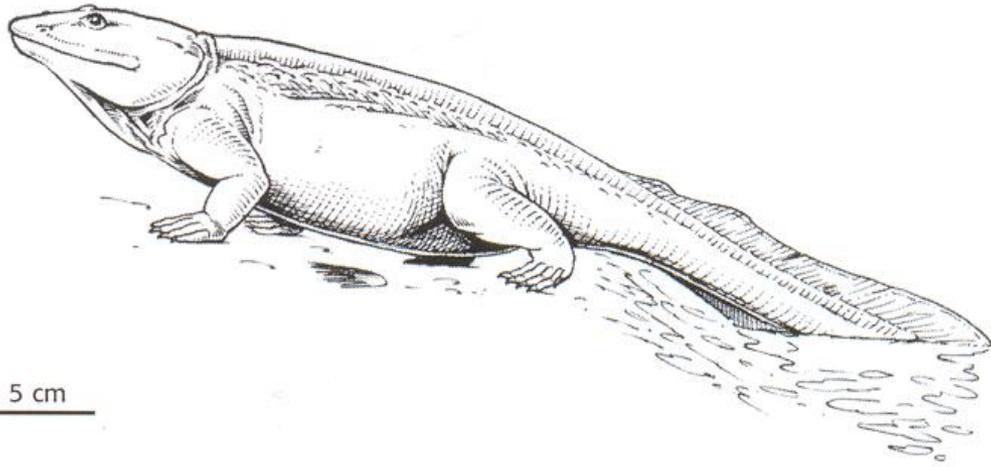
## A VIDA NO CARBONÍFERO (360 – 286 Ma)

### Quadro Físico:

- Hemisfério Sul – **Glaciação**
- Hemisfério Norte – **Clima quente equatorial**
- Mar inunda planícies costeiras (**pântanos e mangues**)
- Florestas de grande porte - Gimnospermas gigantes, pteridófitas, lepidodendron. (**depósitos de turfa e carvão**)

- **Extinção dos peixes primitivos (ostracodermos e placodermos).**  
A paleoictiofauna marinha dominada pelos peixes cartilagosos  
A paleoictiofauna das águas continentais é dominada pelos peixes ósseos

- **Final do Carbonífero - desenvolvimento dos anfíbios, répteis e insetos**

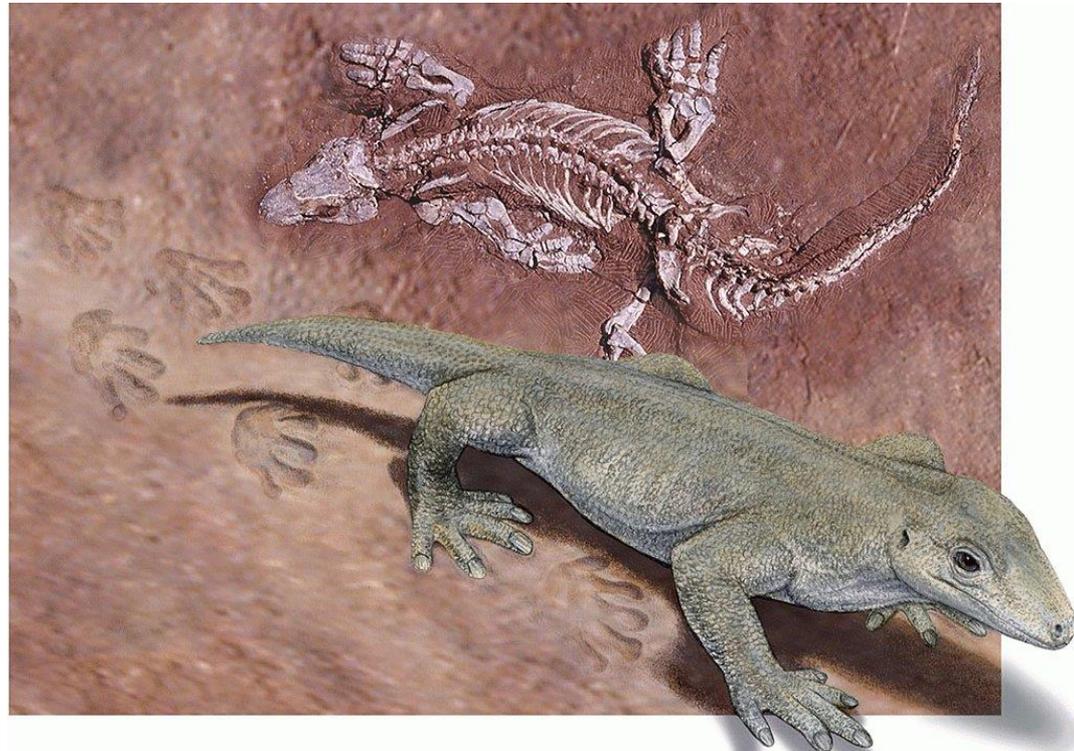


← **Ichthyostega**

anfíbios (370Ma) - primeiros representantes da conquista dos continentes (para a reprodução retornavam à água)

**Diadectes**

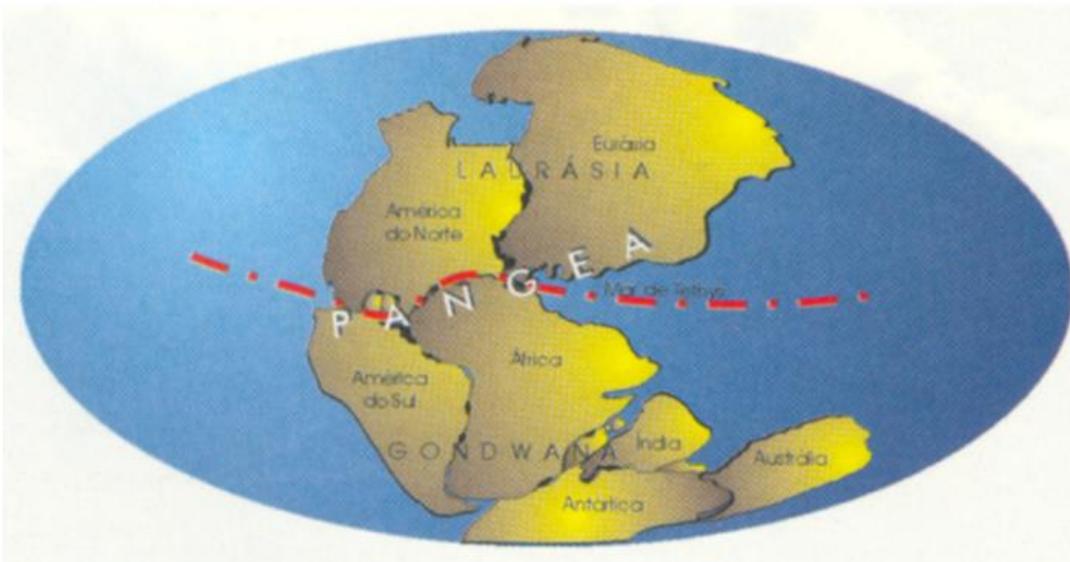
réptil que atingia 3m de comprimento



# A vida no Permiano (286 – 245a)

As Condições paleoclimáticas úmidas do Carbonífero sofreram modificações para um clima mais árido em todo o Planeta. Sérios reflexos na flora e na fauna continental.

**Causas:** Formação do supercontinente Pangea, abaixamento do nível do mar, mudanças climáticas e vulcanismo



**Pangea** e sua divisão em dois continentes: Laurásia e Gondwana

O Permiano foi marcado pela maior crise biótica da história do planeta, sendo que 75 a 90% das espécies marinhas desaparecem:

- algumas completamente - trilobitas e tetracóporos;
- outras parcialmente - braquiópodos, briozoários, répteis etc.

**Anfíbios** - perda da diversidade que possuíam no carbonífero. Répteis – começam a dominar todos ambientes, declinando fortemente apenas no final da era Mesozoica.

**Florestas** - dominam as coníferas (cipreste, pinheiro, etc.)

**Insetos** - aparecem os primeiros insetos modernos

# ERA MESOZÓICA

(245 Ma – 65 Ma)

**A ERA MESOZÓICA apresenta 3 Períodos bem delimitados:**

**Cretáceo: 144 Ma – 65 Ma**

**Jurássico: 208 Ma – 144 Ma**

**Triássico: 245 Ma – 208 Ma**

**A era Mesozóica foi caracterizada por importantes depósitos de calcários e giz e por fósseis como os amonites e os dinossauros**

# A vida no Triássico (245 -208Ma)

Período calmo (sem orogênese), clima árido dominante, a Pangea não evolui e o vulcanismo foi pouco representativo. A vida ressurgiu de forma marcante:

- **Invertebrados marinhos** - com formas diferentes daquelas do Paleozóico.
- **Moluscos** - bem representativos (lamelibrânquios, amonites).
- **Vertebrados** - (répteis e anfíbios)
- **Vegetação** – domínio das gimnospermas - cicadófitas (**Palmeiras**), ginkgófitas e coníferas (**Taiga**)

**Final do período – aparecimento dos mamíferos**



**Amonites *Asteroceras* sp. (Molusco, Cefalopoda)**

**Grupo dos cefalopodas:** comuns na Era Paleozóica e que desapareceu na grande crise do final do Cretáceo. Eram animais de tamanhos variáveis, da ordem do centímetros até 1 metro. Sua concha de natureza carbonática era semelhante a dos nautilóides atuais.

# JURÁSSICO (205 -144 Ma)

Fragmentação do Pangea, abertura do Atlântico. Grande expansão do mar e intenso vulcanismo

**Nos continentes** - Os répteis dominam (dinossauros herbívoros gigantes). Rápida evolução dos mamíferos. Flora: expansão das gimnospermas e o aparecimento das angiospermas

**Nos oceanos** - proliferaram os cefalópodos (belemnitas e amonitas), muito diversificados e variados morfologicamente, bastante úteis na datação relativa de rochas sedimentares

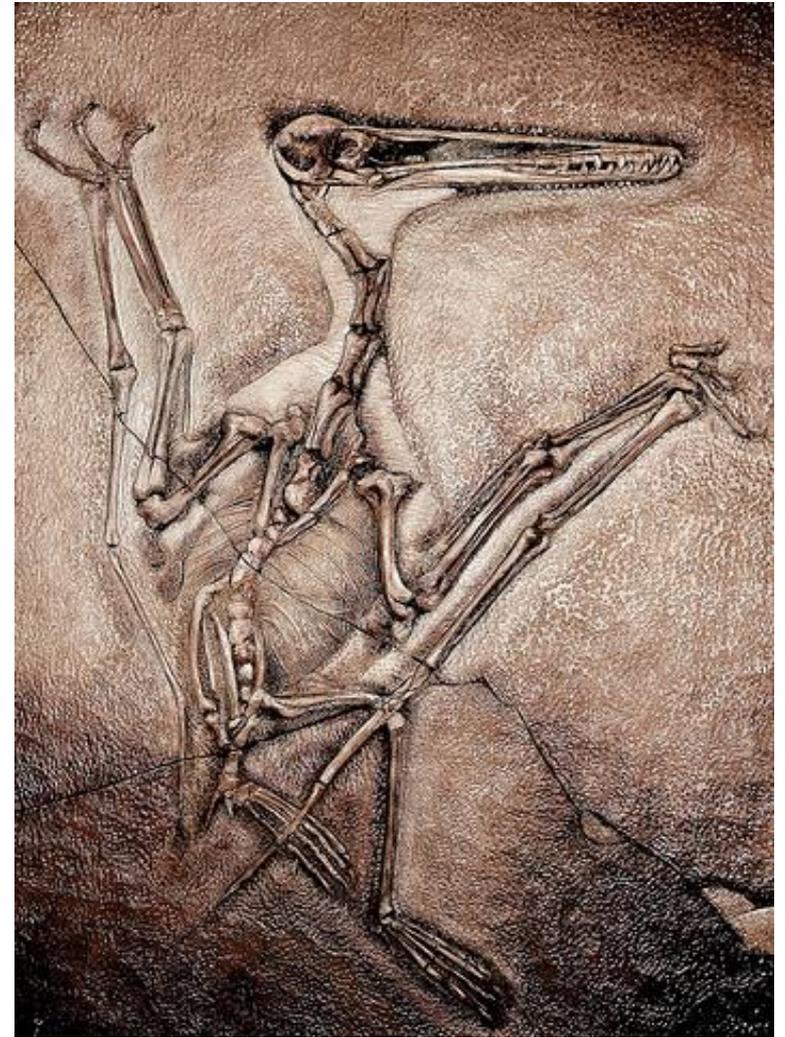


Mesosaurus Brasiliensis  
(Formação Irati, SP)



Tyrannosaurus rex

Pterosaur



**Pterosaurus**

# A vida no Cretáceo (144 – 65 Ma)

Intensos movimentos de placas tectônicas, em especial as ligadas à fragmentação do Gondwana. Atlântico Norte se alarga e o Atlântico Sul começa a se abrir

**Nos continentes** – domínio dos répteis (dinossauros). Os mamíferos e a aves se desenvolvem. Os insetos se diferenciam. Aparecem os vegetais que produzem flores e frutos (angiospermas)

**Nos mares** – grande diversidade de moluscos (cefalópodos) e bivalvas

## Final do período

forte crise biótica com extinção (65 Ma) de vários grupos de microrganismos, invertebrados e sobretudo dos dinossauros. As causas são ainda controversas: impacto de meteorito, ou transformações ambientais devido ao intenso vulcanismo que ocorreu no fim do cretáceo

Os répteis foram reduzidos a 4 ordens principais:

**serpentes, lagartos, tartarugas e crocodilos**

Surgiram no Carbonífero - apogeu no Jurássico e Cretáceo, onde dominaram os mares (**mesossauros**), a terra (**dinossauros**) e o ar (**pterossaurus**). Declinam no final do Cretáceo (**65 Ma**)

**As causas da crise ecológica:**

- Resfriamento intenso
- Aumento da salinidade
- Redução dos oceanos
- Aumento de radiações cósmicas
- Inversão do campo magnético da Terra
- Impacto de um grande asteróide

# Origens das grandes extinções: duas grandes crises

- Crise Permiano - Triássico (245 Ma)
- Crise Cretáceo - Terciário (65 Ma)

## A crise biológica Permiano - Triássico

- **Causa vulcânica:** Importante quantidade de lavas basálticas na Sibéria
- **Possível origem extraterrestre:** em 2001 fulereno (grandes moléculas de hidrocarbonetos com 60 até 200 átomos de C) foram encontradas em sedimentos de idade limite entre Permiano e Triássico (China, Japão e Hungria). Estas moléculas são ricas em gases nobres (He e Ar), cujas composições isotópicas são idênticas as dos gases encontrados em meteoritos condríticos.

# Desaparecimento dos dinossauros

## A crise biológica do Cretáceo – Terciário

### Cenários gradualistas



- Variações progressivas do clima
- Subida do nível do mar
- Modificação do ambiente terrestre

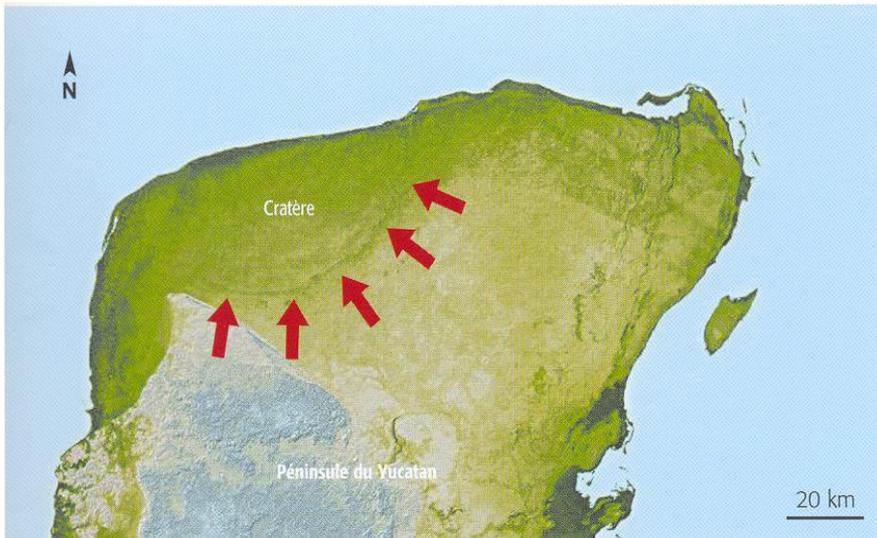
### X Cenários catastrofistas



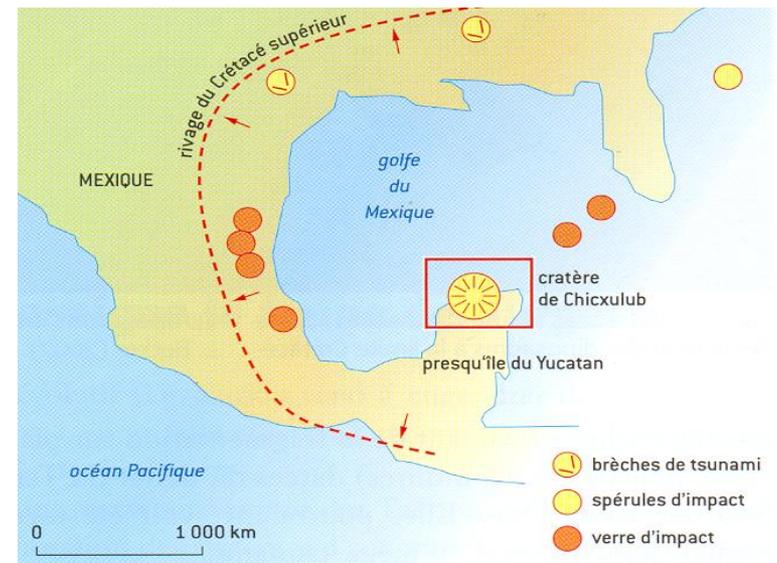
- Datações radiométricas mostram extinção quase instantânea dos dinossauros
- Riqueza de irídio, elemento raro nas rochas terrestres mas comum em meteoritos
- Presença de quartzo com marcas de impactos e de rochas com crostas fundidas e presença de espinélios e óxido de Fe e Mg comuns em meteoritos

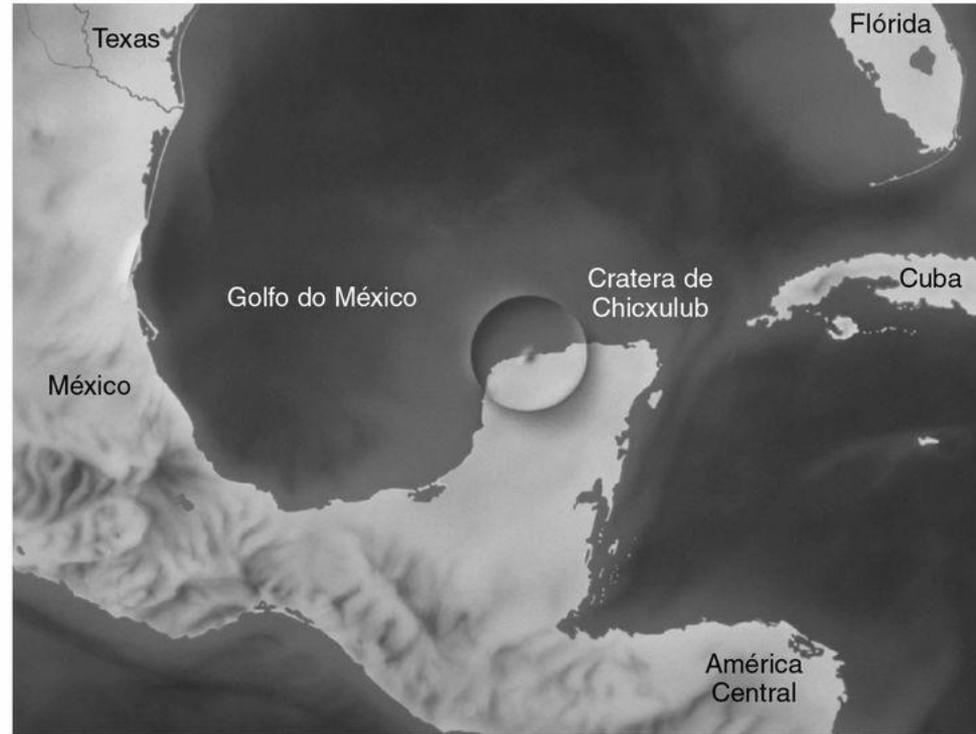
**Cratera de Chicxulub (México)**  
**Possível impacto de um asteróide (65 Ma)**  
**Imagem tomada da Nave espacial**  
**Endeavour (2000)**

**Depressão circular**  
**com profundidade de 3 a 5 km**



**Traços deixados pelo impacto**





<https://i.pinimg.com/736x/ec/eb/7d/eceb7d6514e30690603b64ac012ebd52.jpg>

<https://www.nationalgeographicbrasil.com/ciencia/2022/03/novas-pistas-revelam-rastro-de-destruicao-do-asteroide-que-extinguiu-dinossauros>



**A cratera de Chicxulub está localizada perto da cidade do mesmo nome, na Península de Yucatán, no México, a  $19^{\circ} 18'$  de latitude sul e  $127^{\circ} 46'$  de longitude leste. Com um diâmetro da ordem de 180 km é uma das maiores crateras de impacto na Terra.**