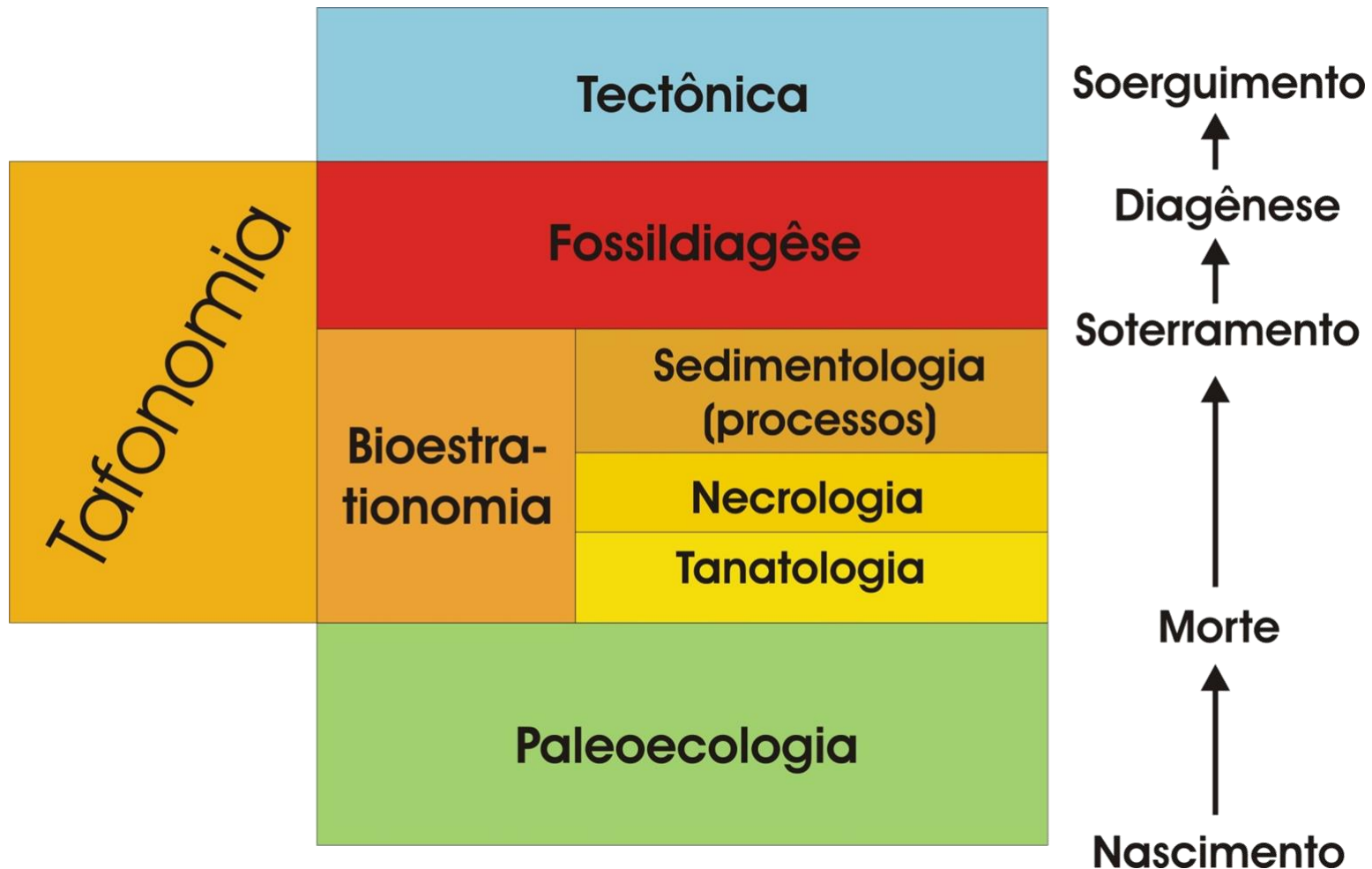


Paleontologia 2023 (Aula 4): *Tipos de fósseis*

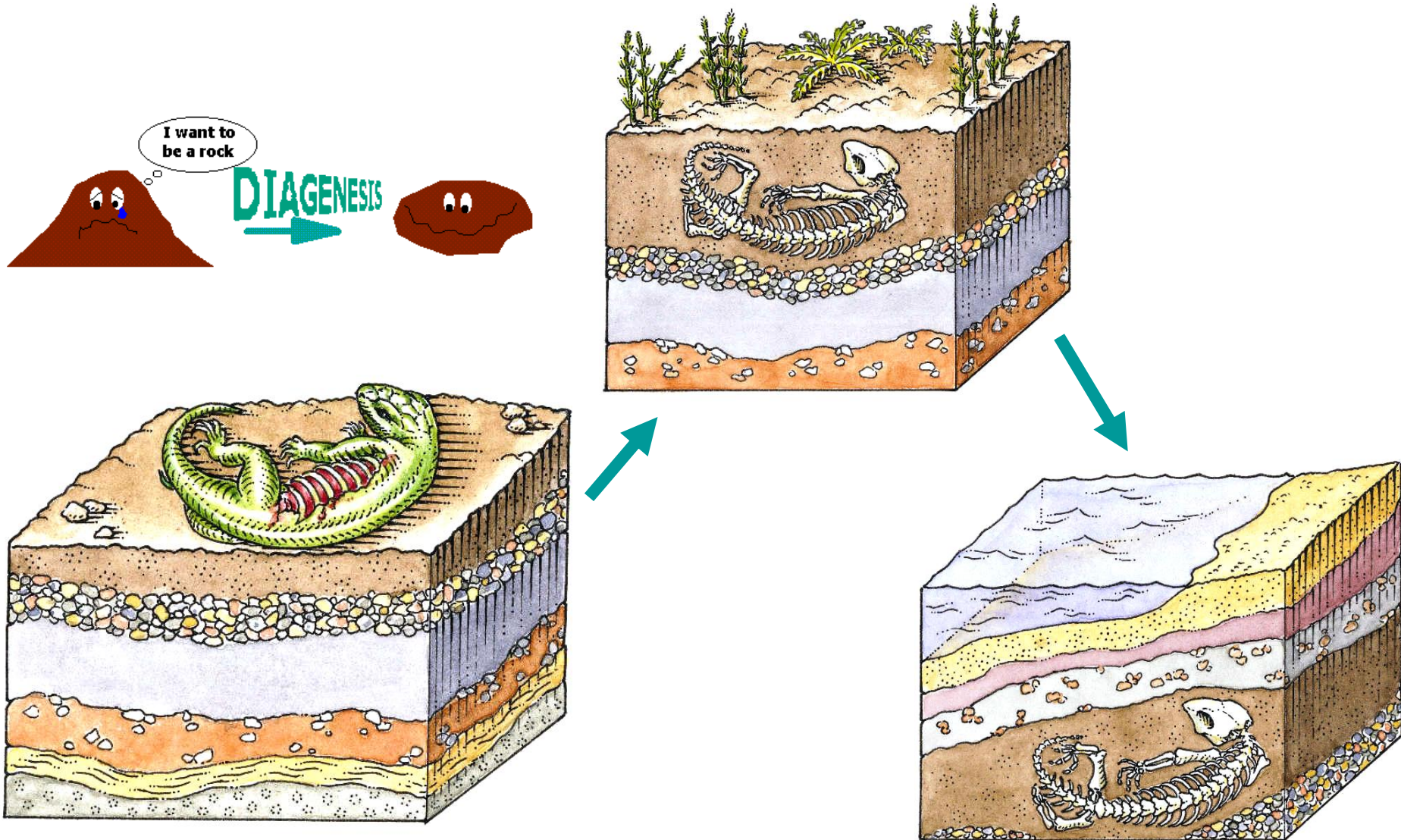


Fossildiagênese (ou fossilização)

Encarrega-se do estudo dos restos orgânicos desde o soterramento final do organismo até sua completa modificação para a condição na qual ele é encontrado pelo homem (ou até sua primeira fossilização, não incluindo a **epigênese/soerguimento**)



Desenvolve-se total ou parcialmente em conjunto com a diagênese sedimentar, envolvendo os processos físicos (compactação) e químicos (cimentação, dissolução, recristalização, substituição) que alteram os restos orgânicos em condição se soterramento



Soterramento é condição díspar e importante dentre os processos que envolvem a preservação dos restos orgânicos. Dificulta a decomposição desses restos - ação biológica (bacteriana e de carniceiros) e química (oxidação, dissolução) - gerando uma “capa” protetora em um ambiente mais quimicamente estável.



Nem sempre biostratonomía e fossilização estão mutuamente separadas

A diagenese pode se iniciar anteriormente ao sepultamento
A necrólise pode continuar se desenvolvendo após o sepultamento
se algumas condições específicas não forem satisfeitas
(e.g. mortandade catastrófica e soterramento rápido)



Biomíneralização

Ao contrário das partes orgânicas moles, aquelas mineralizadas são menos sujeitas à degradação (digestão, decomposição e alterações pós-depositivas)

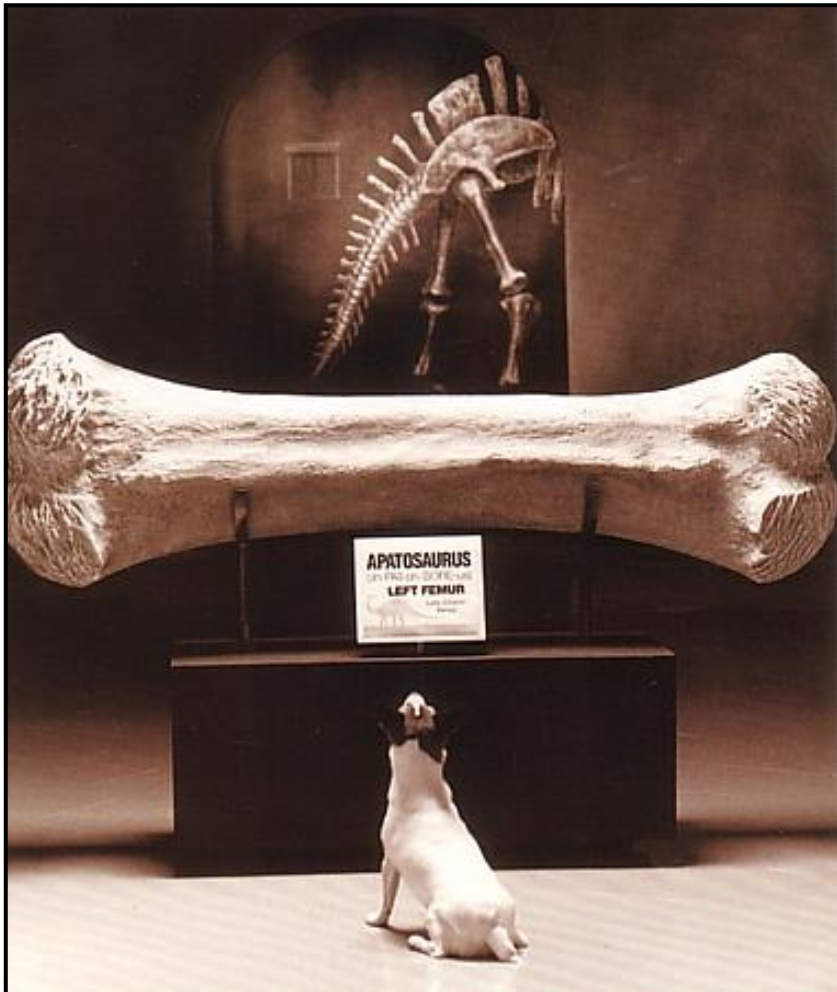
É chamada biomíneralização a elaboração, por certos organismos, de esqueletos duros internos ou externos



Biomíneralização

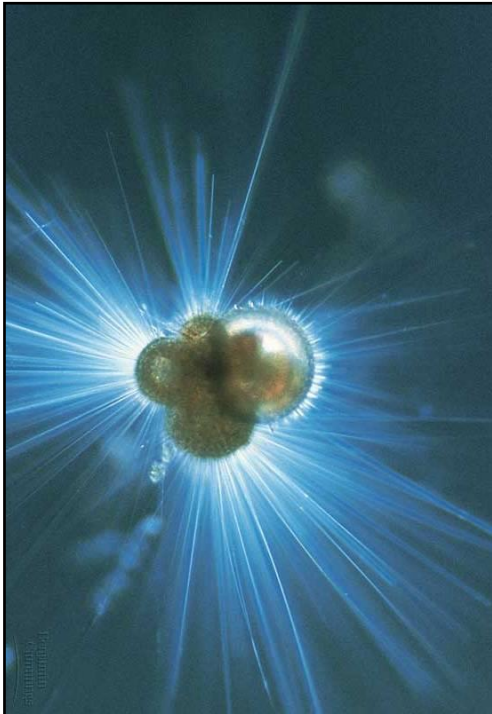
O conhecimento da composição original é importante no reconhecimento do tipo de modificação química sofrida durante a fossilização

O conhecimento de biomíneralização em formas recentes auxilia no reconhecimento de tecidos mineralizados em formas fósseis



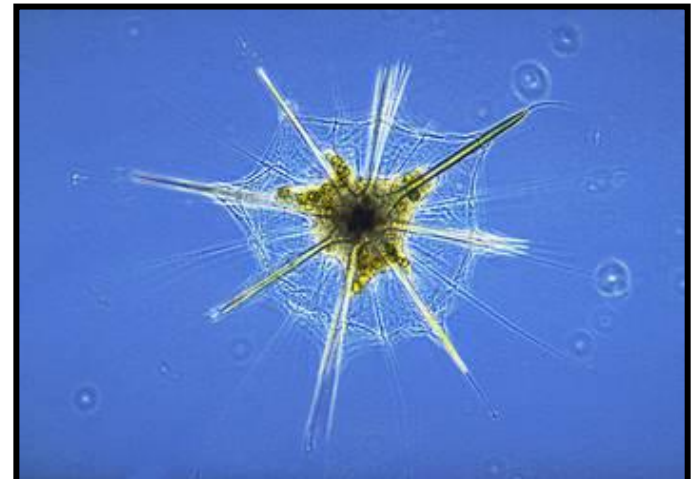
Biomíneralização

O CaCO_3 pode ocorrer como Calcita, Aragonita, Calcita Magnésiana, entre outros



Biomíneralização

Fosfato de Cálcio na forma de Apatita - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F})$
Sílica ocorre, em geral, na forma de Opala



Tipos de Fossilização

Composição Química Original Preservada

Conservação

Restos orgânicos se preservam sem alteração na composição química, sem alteração da microestrutura cristalina e sem adição de material

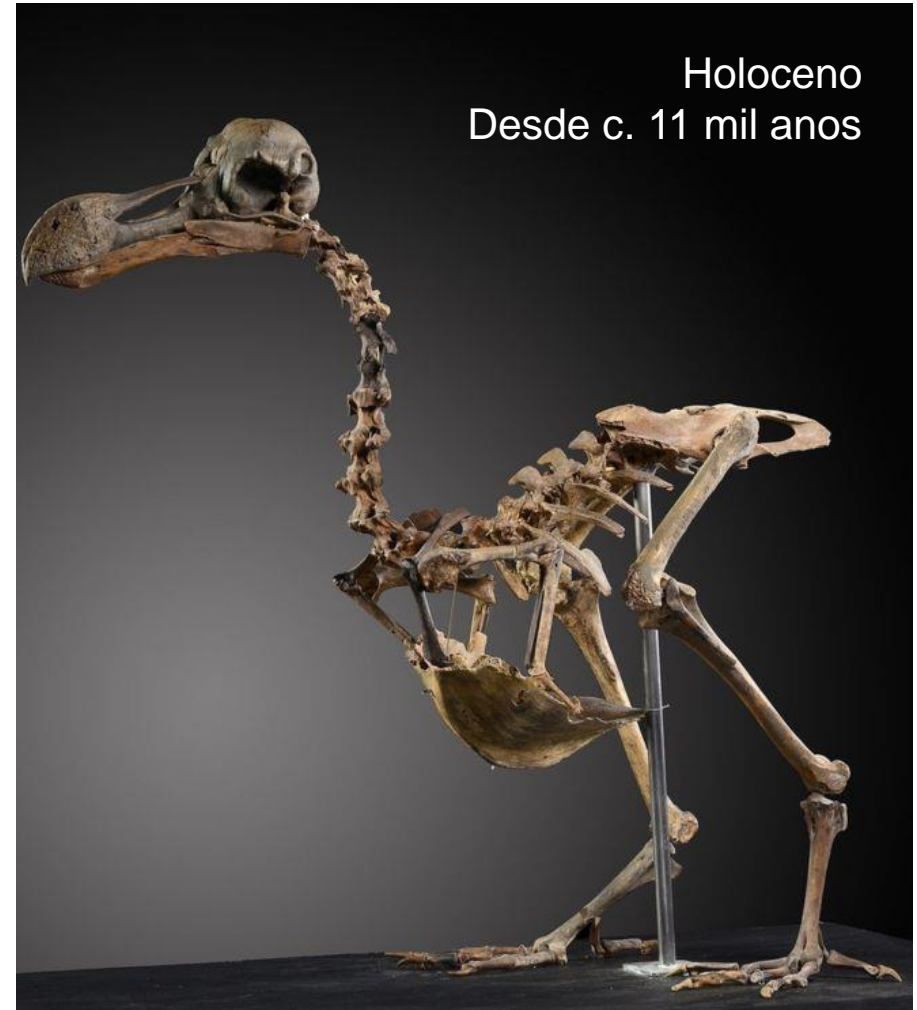
Bastante raro no registro geológico. Mais comuns em estratos mais recentes.



Sub-fóssil:

Restos soterrados em que a fossilização não se deu de forma completa

Falta de tempo ou das condições adequadas



Eonothem / Eon	Erathem / Era	System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)	
Quaternary			Holocene	U/L	Meghalayan	↑↑↑	present
				M	Northgrippian	↑↑	0.0042
				L/E	Greenlandian	↑	0.0082
			Pleistocene	Upper		0.0117	
				Middle		0.126	
				Calabrian	↑	0.781	
				Gelasian	↑	1.80	
				Piacenzian	↑	2.58	
			Pliocene	Zanclean	↑	3.60	
						5.33	

IUGS

Sub-fóssil:

Totalidade (ou quase totalidade) encontrada em depósitos do Quaternário
(frequentemente arqueológicos)



Tipos de Fossilização

Composição Química Original Preservada

Conservação Parcial

Partes moles são perdidas e as partes mineralizadas se preservam sem alteração na microestrutura esquelética

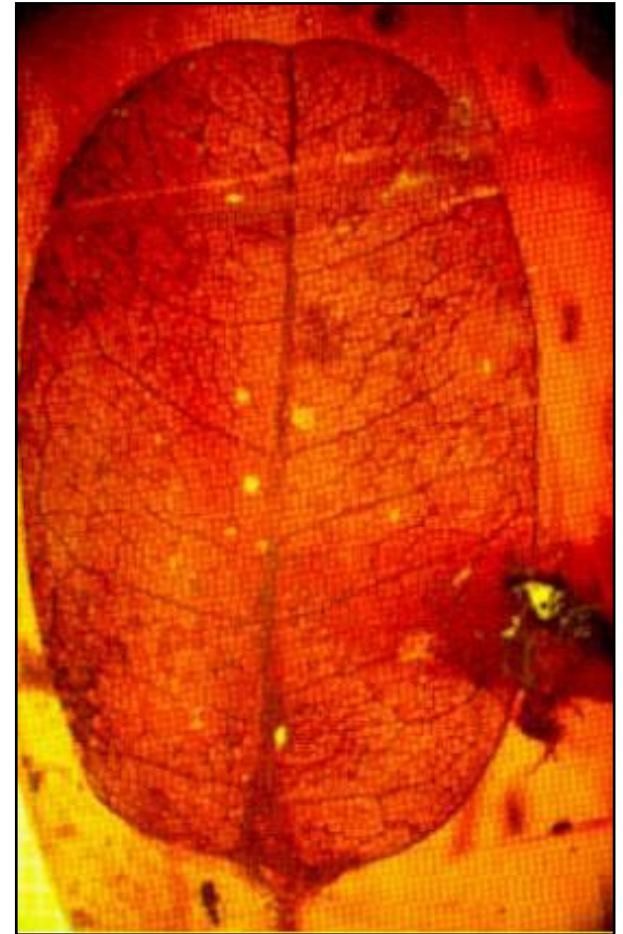
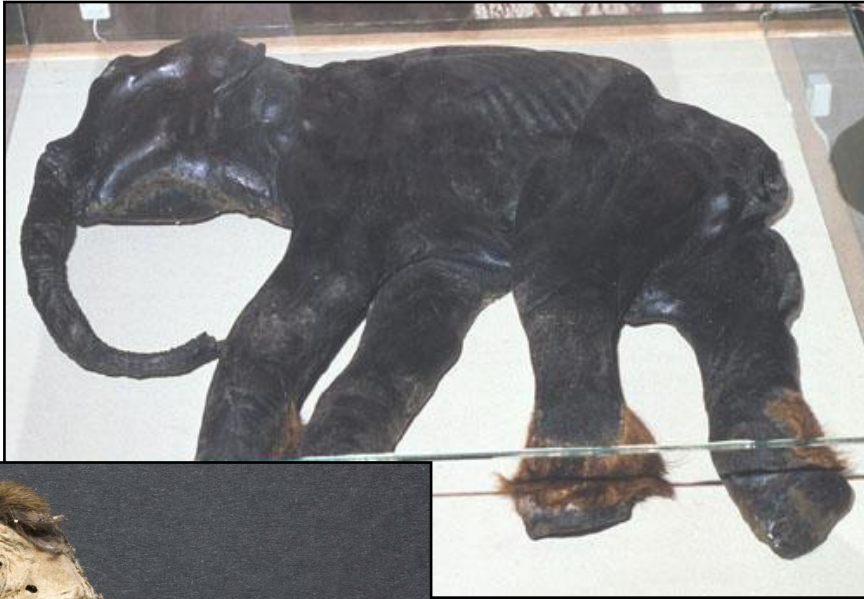


Tipos de Fossilização

Composição Química Original Preservada

Conservação “Total”

partes duras (mineralizadas) e moles são preservadas



Criopreservação

Congelamento da água intersticial dos tecidos,
geram ambiente inerte que impede a decomposição
Muitos tecidos moles são preservados (incluindo músculos tendões e pele),
com pouca ou nenhuma alteração significativa



Criopreservação

Mamutes (mais raramente outros animais) preservados no *permafrost* da Sibéria e Alasca



Criopreservação

Mamutes (mais raramente outros animais) preservados no *permafrost* da Sibéria e Alasca

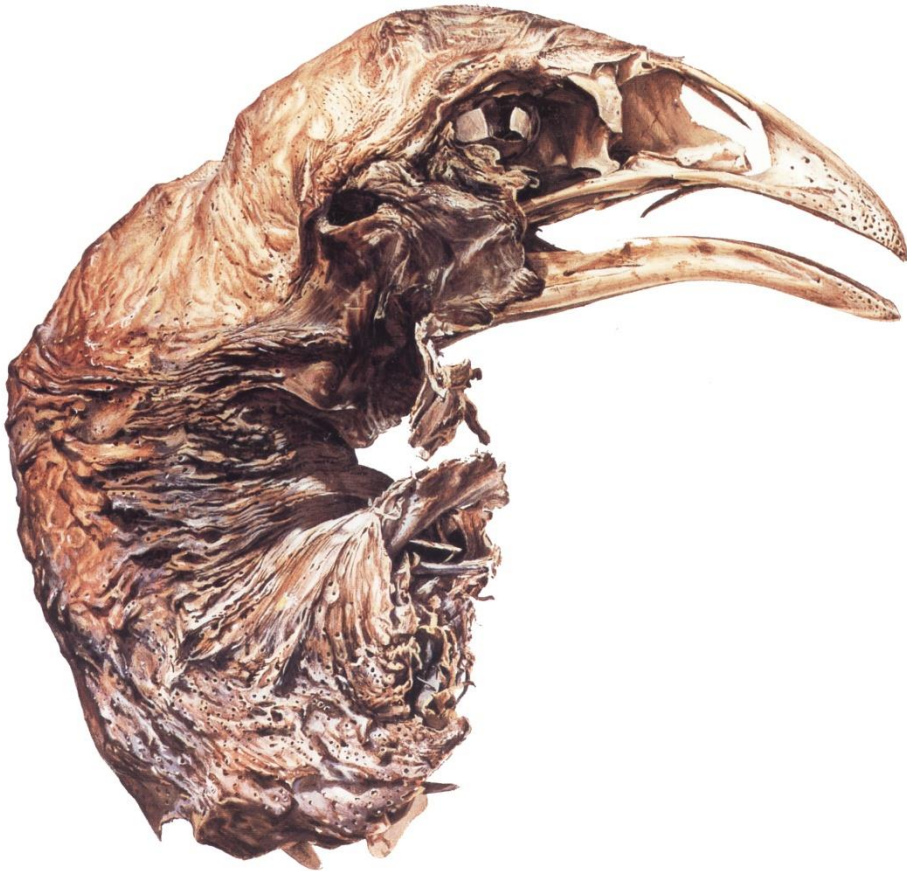


Mumificação

Em ambientes com pouca umidade, consequentemente estéreis
(desertos e algumas cavernas)

O organismo se desidrata rapidamente, impedindo a ação decompositora das bactérias,
havendo a preservação das partes moles (principalmente pele e pelos)

Ex: Preguiça-Gigante em caverna na Patagônia (Ultima Esperanza, Chile)



Preservação em Âmbar

Pelo endurecimento de resinas vegetais, que isolam o organismo em relação ao meio externo (ambiente biológica- e quimicamente inerte)

“Captura” de pequenos animais (insetos, aracnídeos, certos anfíbios e lagartos) e folhas



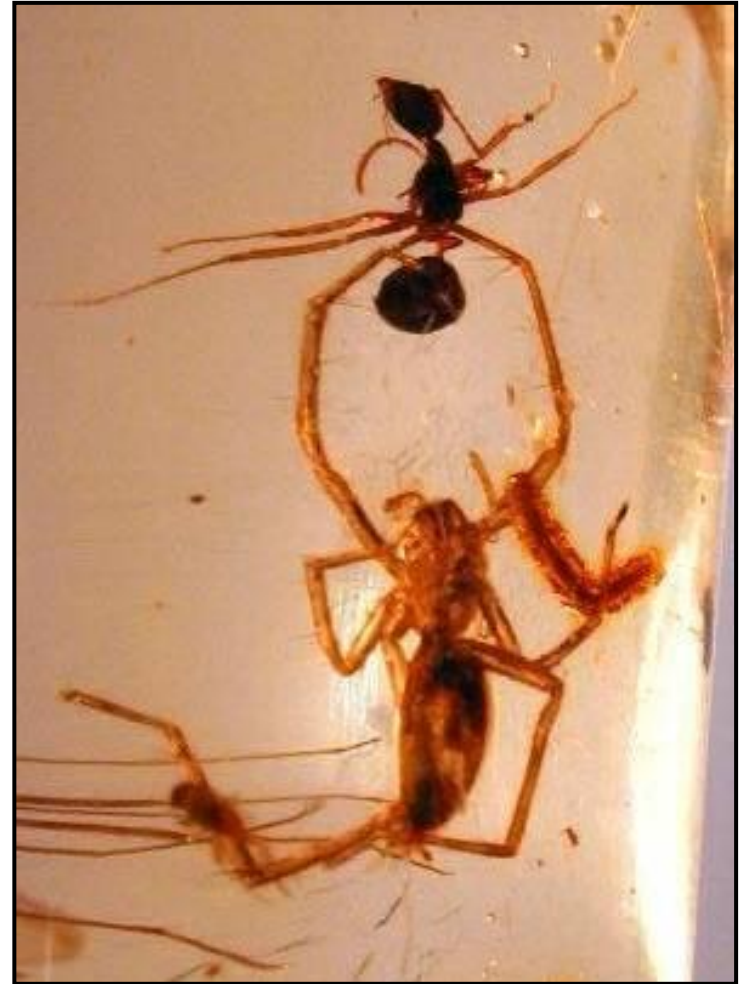
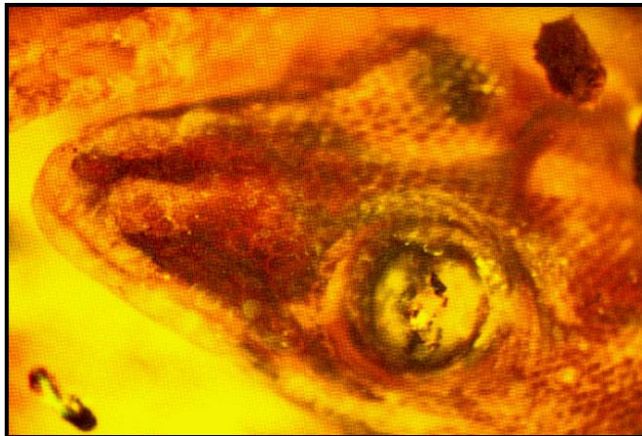
Preservação em Âmbar

Em geral, somente matéria mais resistente é preservada: quitina, cutina, etc.

Material se desidrata, sendo um tipo de mumificação

Podem revelar aspectos ecológicos e comportamentais

Ex.: Mar Báltico, República Dominicana, Costa Rica, Israel (mais antigo)



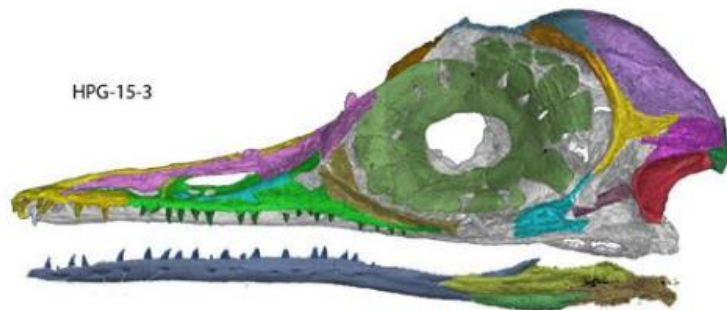
Preservação em Âmbar

Âmbar de Burma (Myanmar)



Preservação em Âmbar

Âmbar de Burma (Myanmar)



Oculudentavis

Tipos de Fossilização

Composição Química Original Preservada

Adição de Material

Restos orgânicos se preservam sem alteração na composição química ou microestrutura cristalina do material original, mas com adição de material novo Material este que se precipita à partir das soluções de percolação (cimentação)



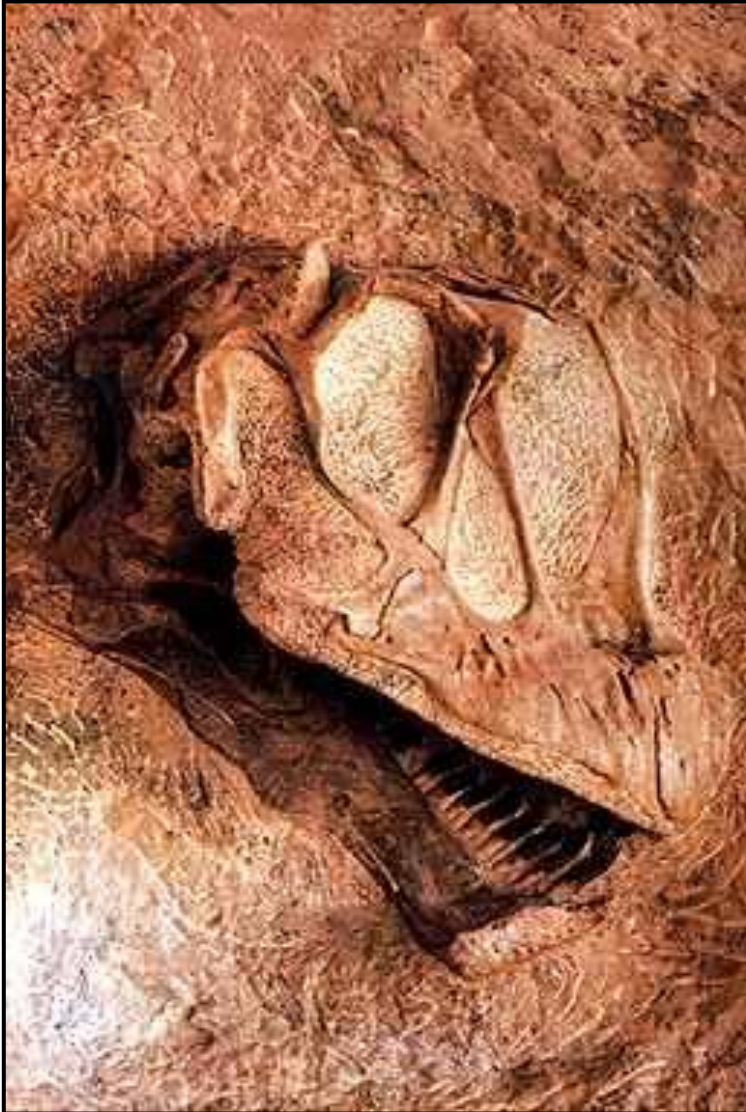
Incrustação

Revestimentos de restos esqueléticos por crosta mineral, sem alterar a parte interna
Ex.: revestimento de CaCO_3 no assoalho de grutas calcárias



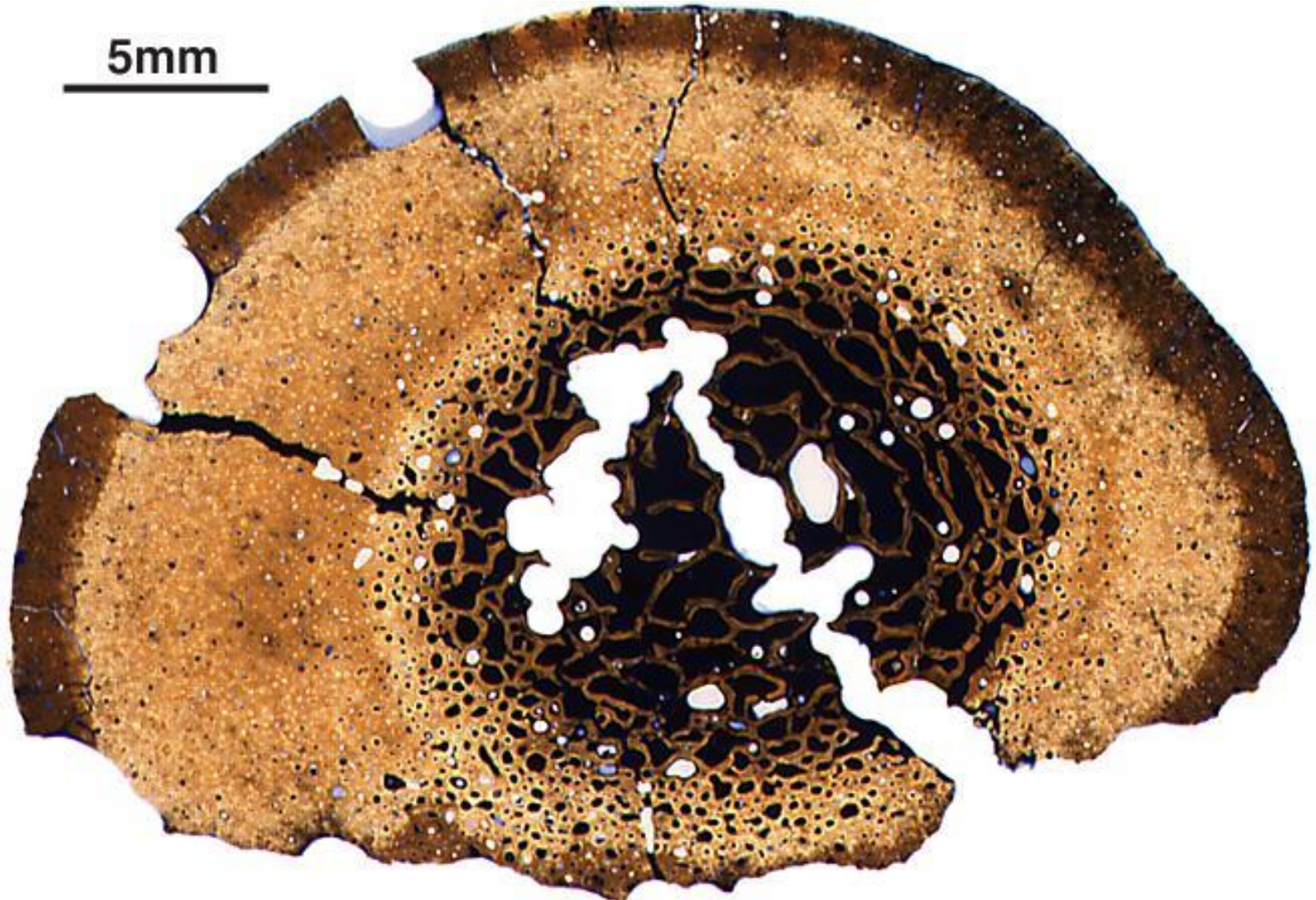
Permineralização

Preenchimento de poros e cavidades de restos esqueléticos por um determinado mineral



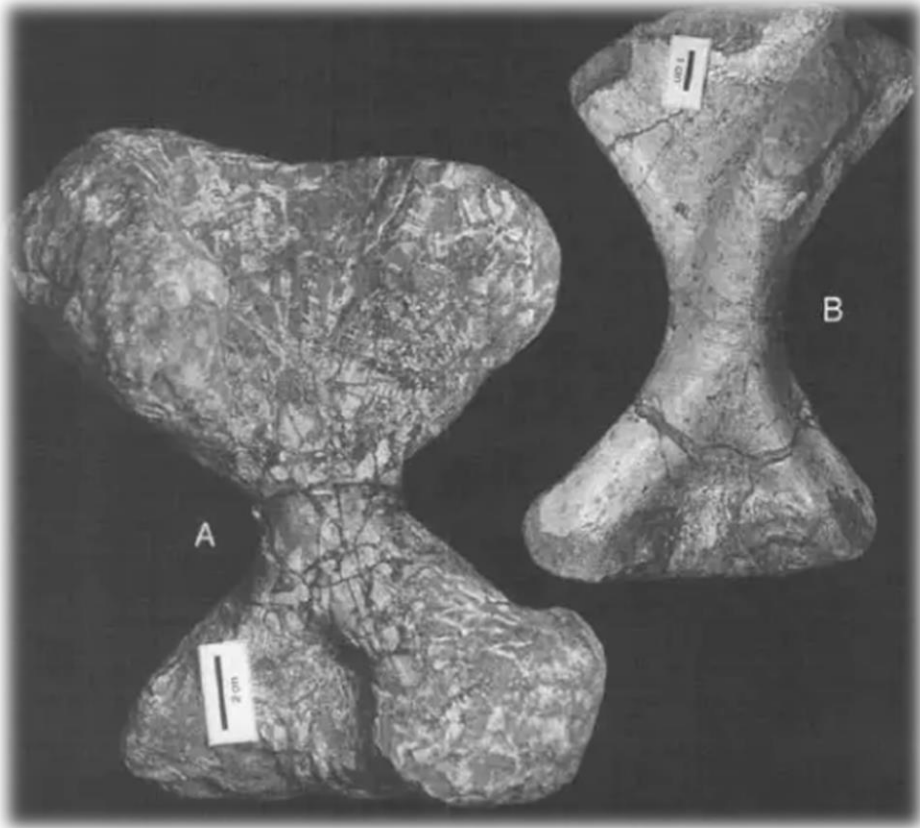
Permineralização

Material esquelético original pode ou não (mais frequente) ser preservado



Permineralização

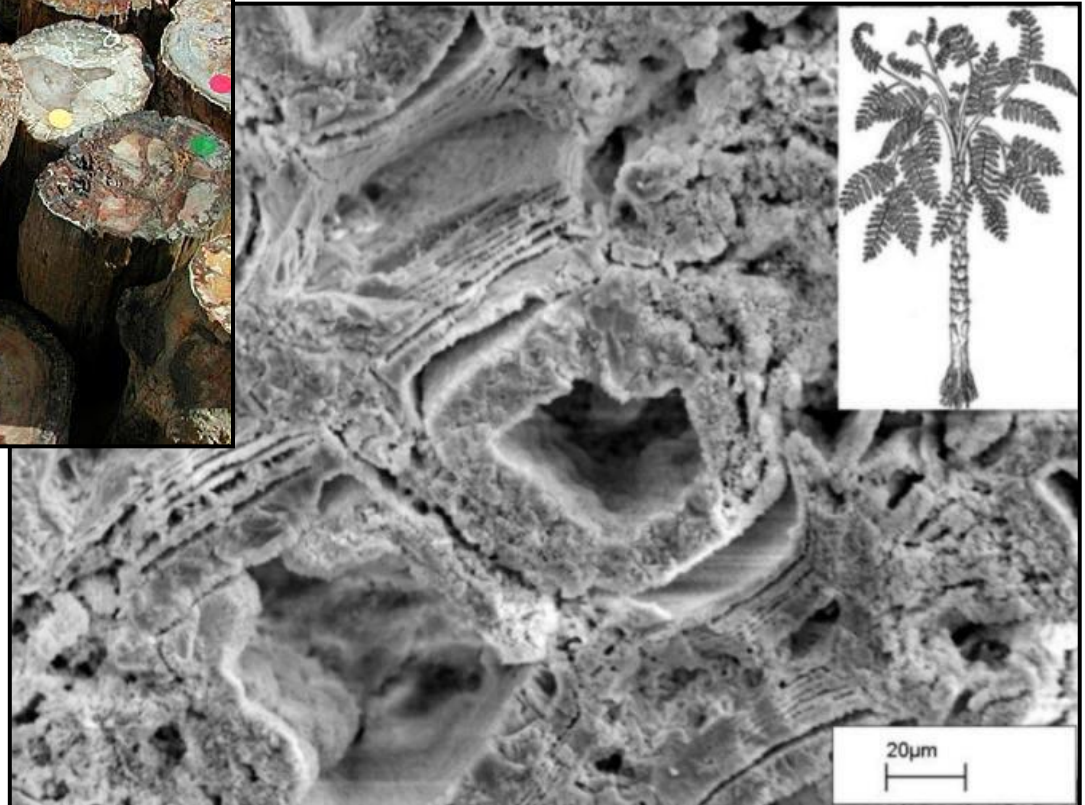
Se a substancia permineralizante se recristaliza pode danificar a estrutura esquelética
Ex.: expansão da calcita nos fósseis da Formação Santa Maria (erros taxonômicos)



Permineralização celular:

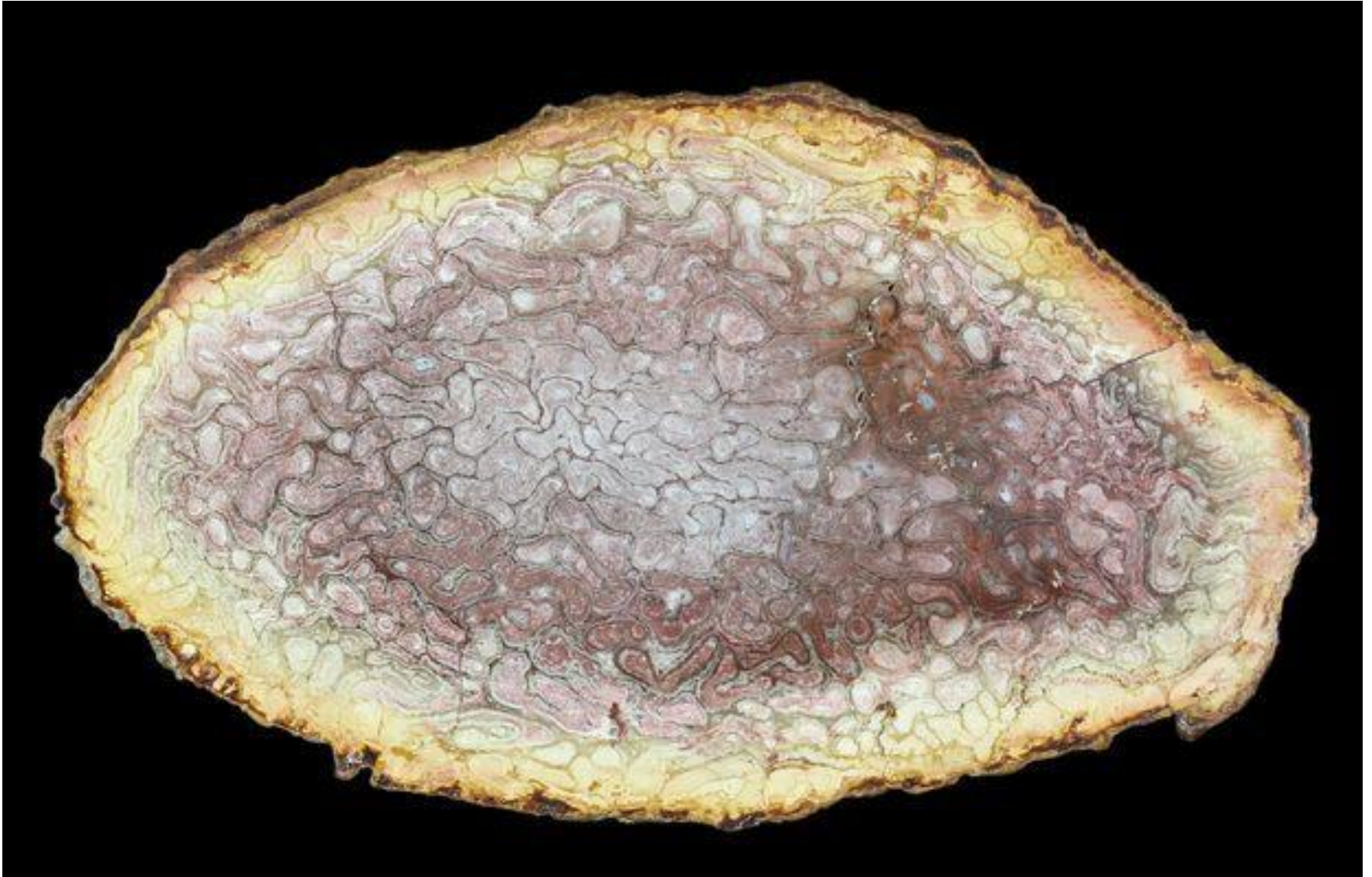
A substância mineral preenche os espaços intersticiais dos tecidos (partes moles) de um organismo (partes moles são reproduzidas)

Ex.: madeira petrificada permineralização por sílica



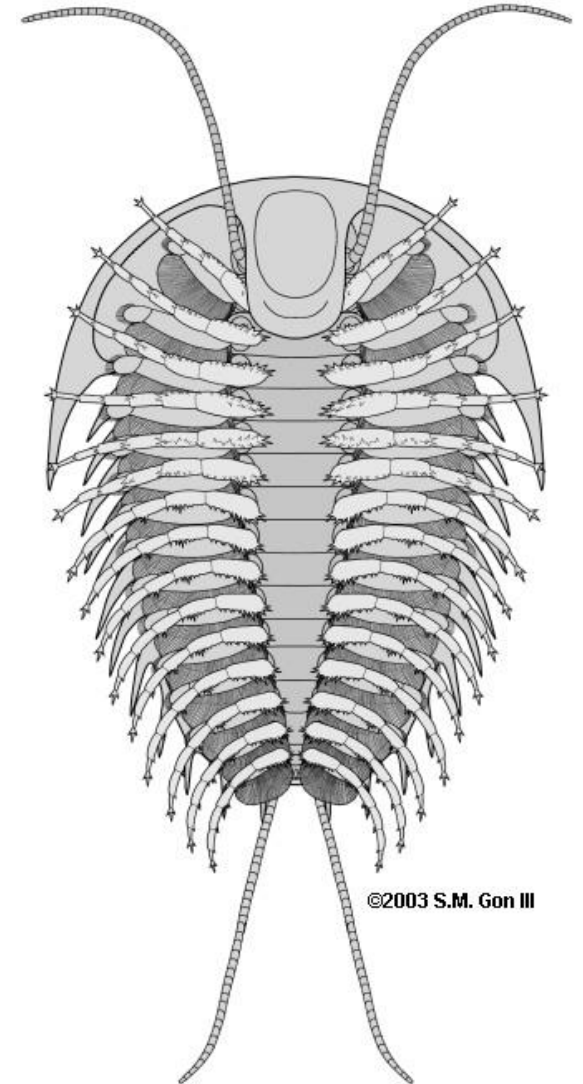
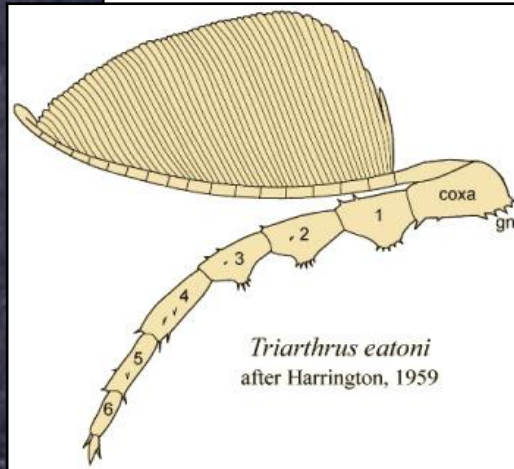
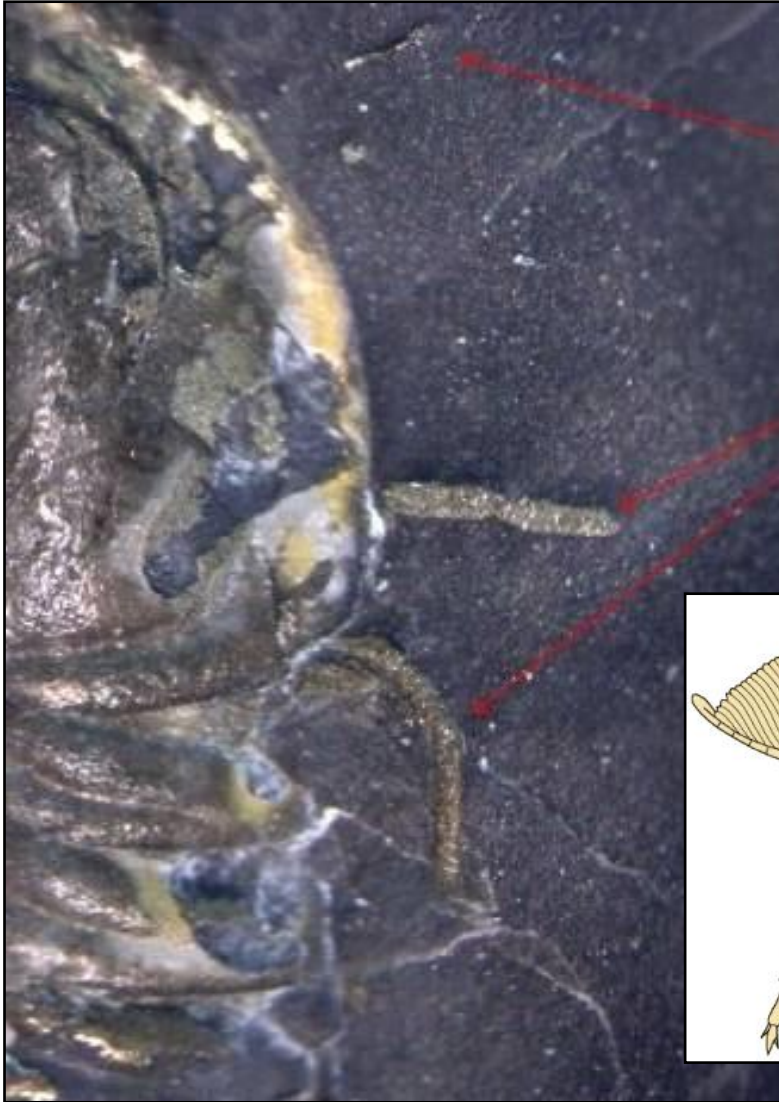
Permineralização celular:

Ex.: madeira petrificada permineralização por sílica



Permineralização celular:

Ex.: tecidos quitinizados (preservação facilitada pela maior resistência)



Permineralização celular:

Ex.: tecidos queratinizados (preservação facilitada pela maior resistência)



Permineralização celular:

Ex.: Chapada do Araripe, precipitação de calcita em ambiente alcalino rico em amônia



Permineralização celular:

Ex.: Chapada do Araripe, precipitação de calcita em ambiente alcalino rico em amônia

The Medusa effect: instantaneous fossilization

DAVID M. MARTILL

Rapid fossilization of fishes and other animals in the Lower Cretaceous of the Chapada do Araripe, north-east Brazil, has preserved the most delicate structures known in the fossil record. Gills, muscles, stomachs and even eggs with yolks have been found. Interestingly, the material is not particularly rare, and specimens can be purchased from your local rock shop.

Instantaneous petrification, or turning to stone, has been the theme of horror stories since ancient times. Greek heroes risked life and limb to capture the powers of the snake-headed gorgon, Medusa – one glimpse of her hideous face would turn the voyeur into a lifeless statue for eternity. School children risk being turned to stone in the contemporary game of 'statues', whilst the Maoris of New Zealand believe the North Island to be a petrified whale. In England, St Hilda saved the poor souls of Whitby, Yorkshire, from a plague of snakes by turning them into stone; these are now found as ammonites in the Jurassic shales that make up the crumbling Yorkshire cliffs.

So why should such stories persist in mythology and folklore? And why should they have begun in the first place? A likely explanation is that fossils may have provided the impetus for such tales. Children finding fossils could be told intriguing stories about their origins by wise elders and could be intimidated from straying out of sight by the fear of meeting with petrifying beasts. But instantaneous petrification? It seems unlikely. Most palaeontologists feel more comfortable with a prolonged process of mineral replacement by neomorphism or molecular metasomatism taking thousands, or even millions, of years. But whilst this is generally true for most fossils, for a few notable exceptions lithification was instantaneous and fossilization may even have been the cause of death. There are only a few very special localities where this has occurred, and one of the most exciting is the Santana Formation of north-east Brazil.

Many of the fossil shops in Europe and North America sell small concretions enclosing fossil fish from the Chapada do Araripe, Ceara State, north-east Brazil (Fig. 1). This is a broad plateau approximately 150 km east to west and about 50 km north to south. It is largely composed of flat-lying Jurassic and Cretaceous sediments sitting unconformably on Archean basement. The sediments can be divided into four broad stratigraphical units corresponding to

distinct environmental episodes. Within the basin, a basal series of grits and coarse sands that filled the uneven topography of the basin floor was deposited by braided streams. The grits and sands gave way to meandering stream sediments, which include massive sands with silicified tree trunks, and overbank red muds that contain rare dinosaur and crocodile bones.

By this stage the basin floor was flat, and large lakes developed in it. Laminated limestones formed in the centre of the lakes, while small wedges of deltaic sediments accumulated at the margins. A warming of the climate caused the lakes to dry up and widespread evaporites to form. This stage of basin development was brought to an abrupt end when movement along large faults allowed a tempestuous invasion by the sea. The first sediments to be deposited by this invasion were a coarse mixture of unsorted granitic rocks derived from the Archean basement, and clays ripped up from the lake floor. This chaotic deposit was dumped into the basin in a single event, causing the unconsolidated clays on which it sat to balloon upwards through the dumped sediment.

Neomorphism: the production of a new morphology from the same materials – for example, a calcite shell may have a complex ultrastructure consisting of discrete layers of well-ordered crystallites. With neomorphism this complexity may break down, and an irregular mass of small calcite crystals will replace the original fabric. It is, however, the same material.

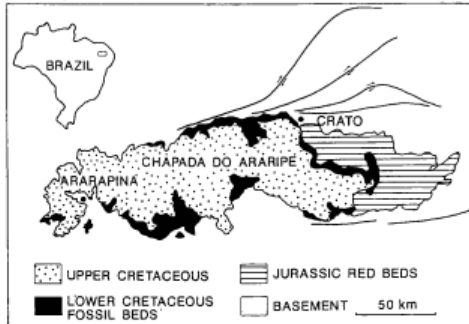
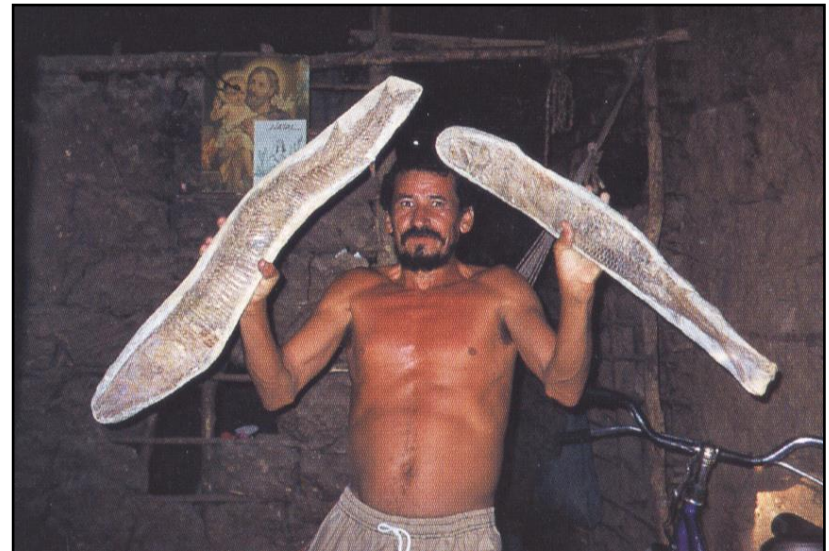
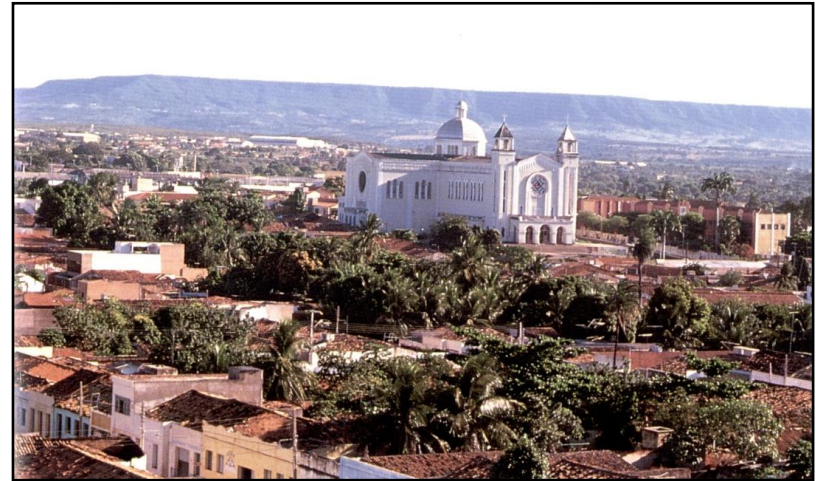
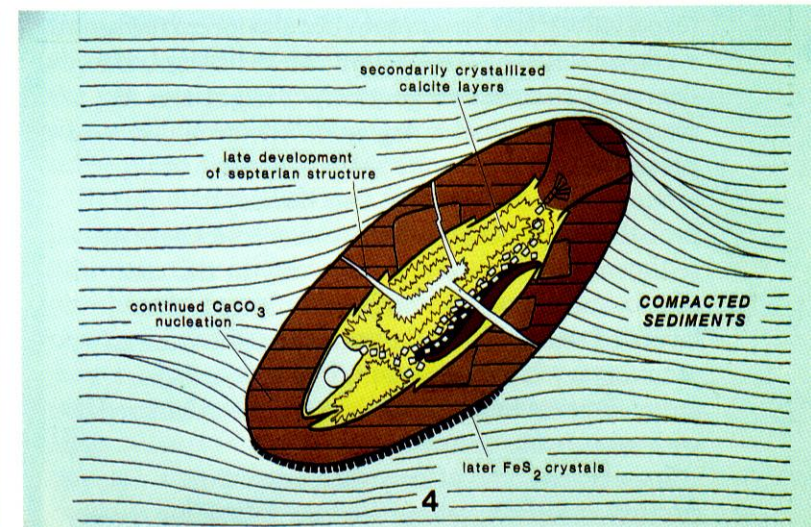
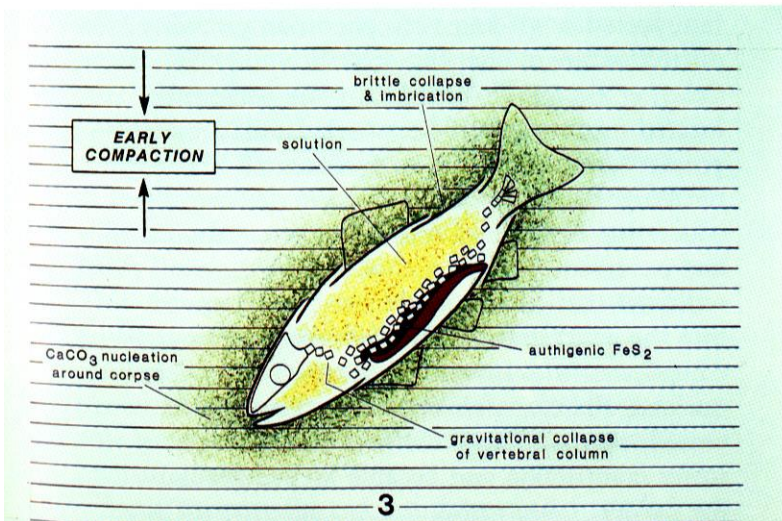
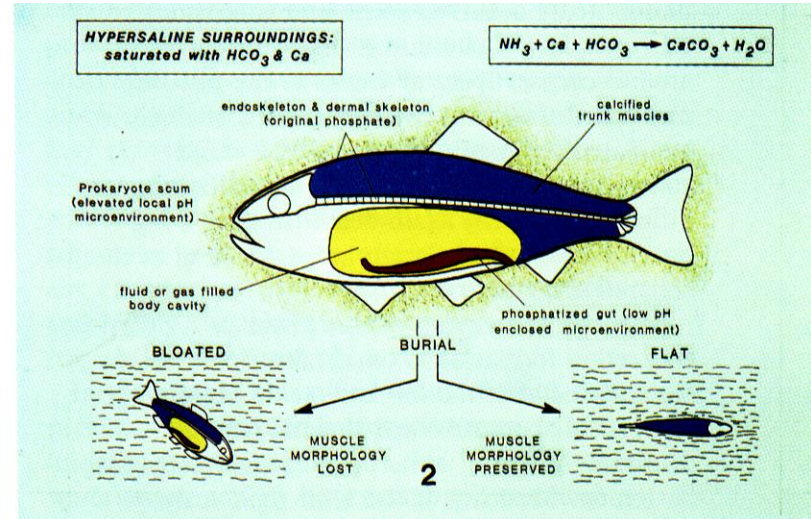
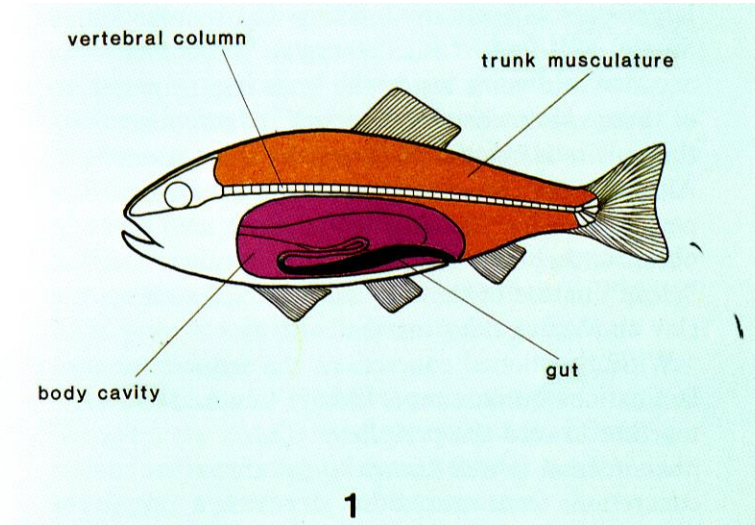


Fig. 1. Sketch map showing the location of the world-renowned fossil localities of the Santana Formation.



Permineralização celular:

Ex.: Chapada do Araripe, precipitação de calcita em ambiente alcalino rico em amônia



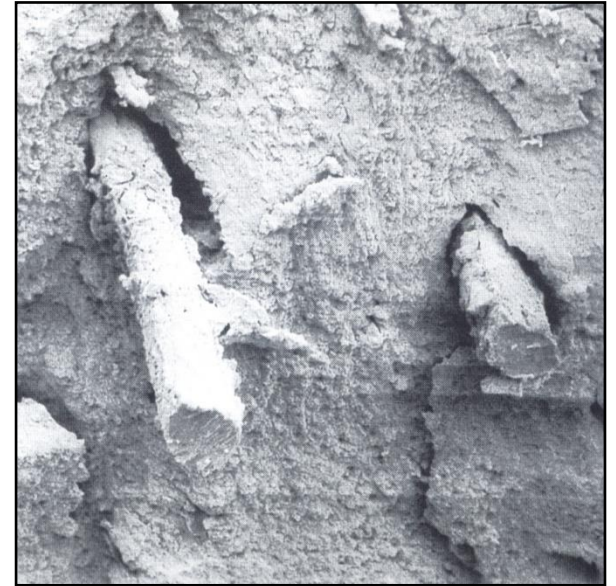
Permineralização celular:

Ex.: Chapada do Araripe, tecidos moles fosfatizados



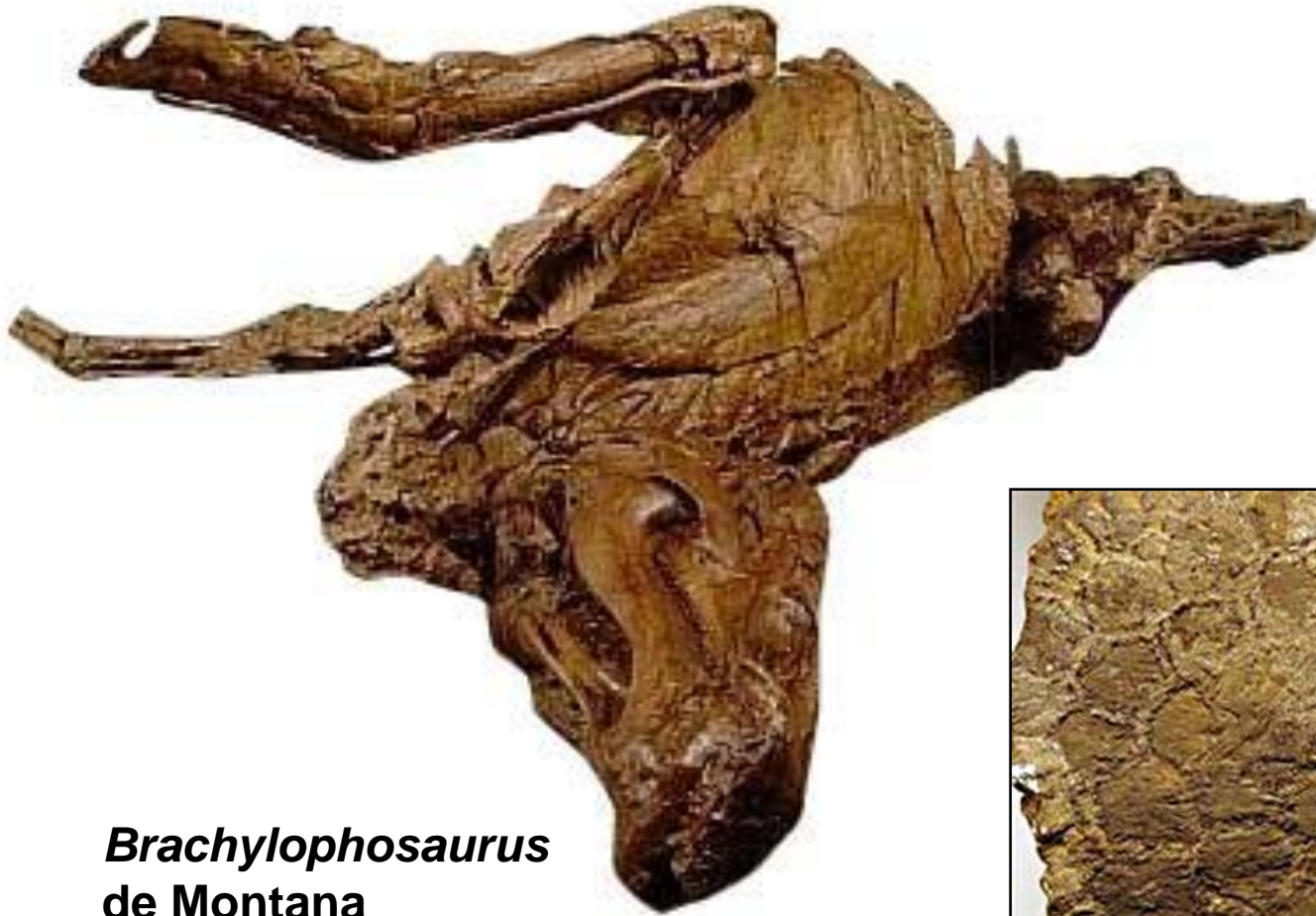
Permineralização celular:

Ex.: Chapada do Araripe, tecidos moles fosfatizados



“Mumificação”:

Anatosaurus de Wyoming, mumificado antes da fossilização por permineralização



***Brachylophosaurus*
de Montana**

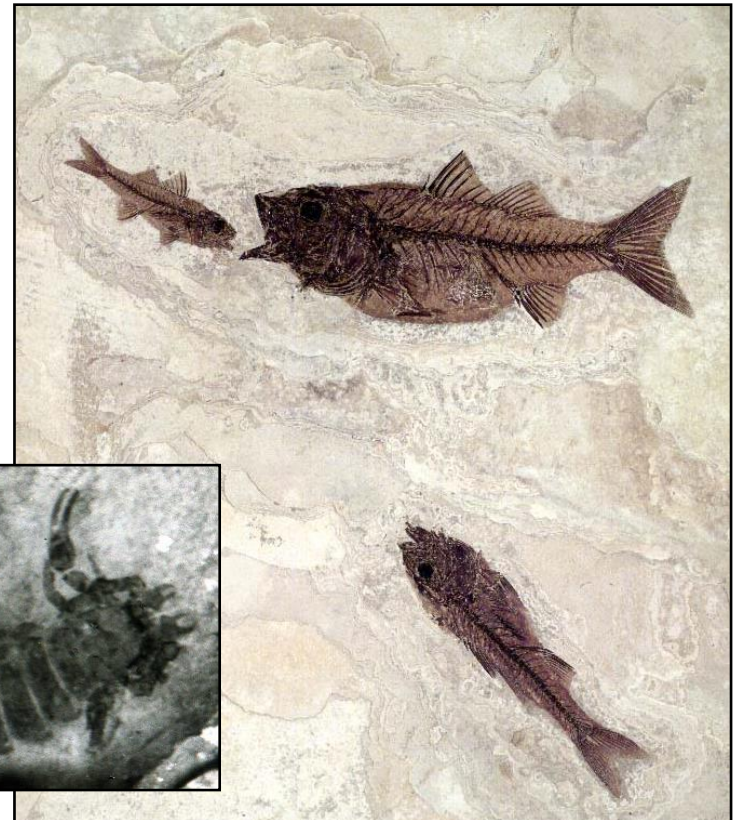
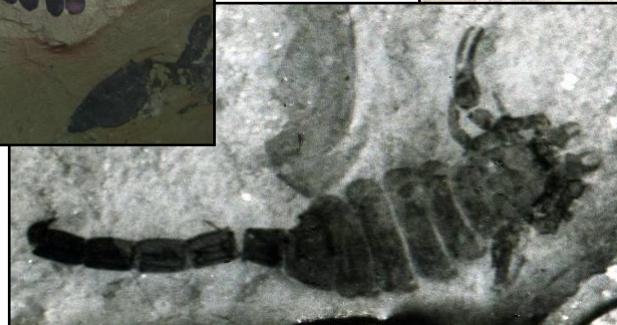
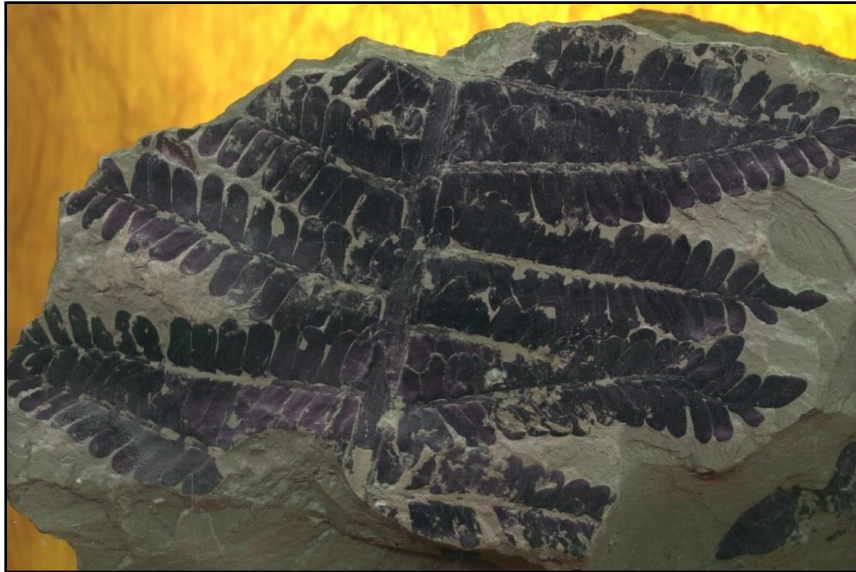


Tipos de Fossilização

Concentração relativa de um elemento químico

Carbonificação

Consiste na perda progressiva dos elementos voláteis (oxigênio, nitrogênio, hidrogênio) pela atividade bacteriana em meio aquático (em geral anóxico), levando à concentração de Carbono em uma película de matéria orgânica



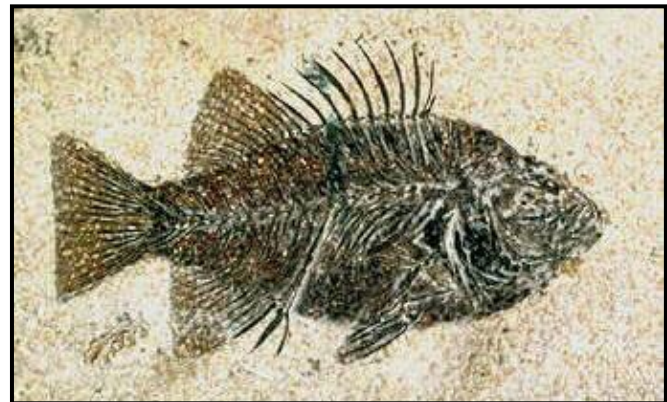
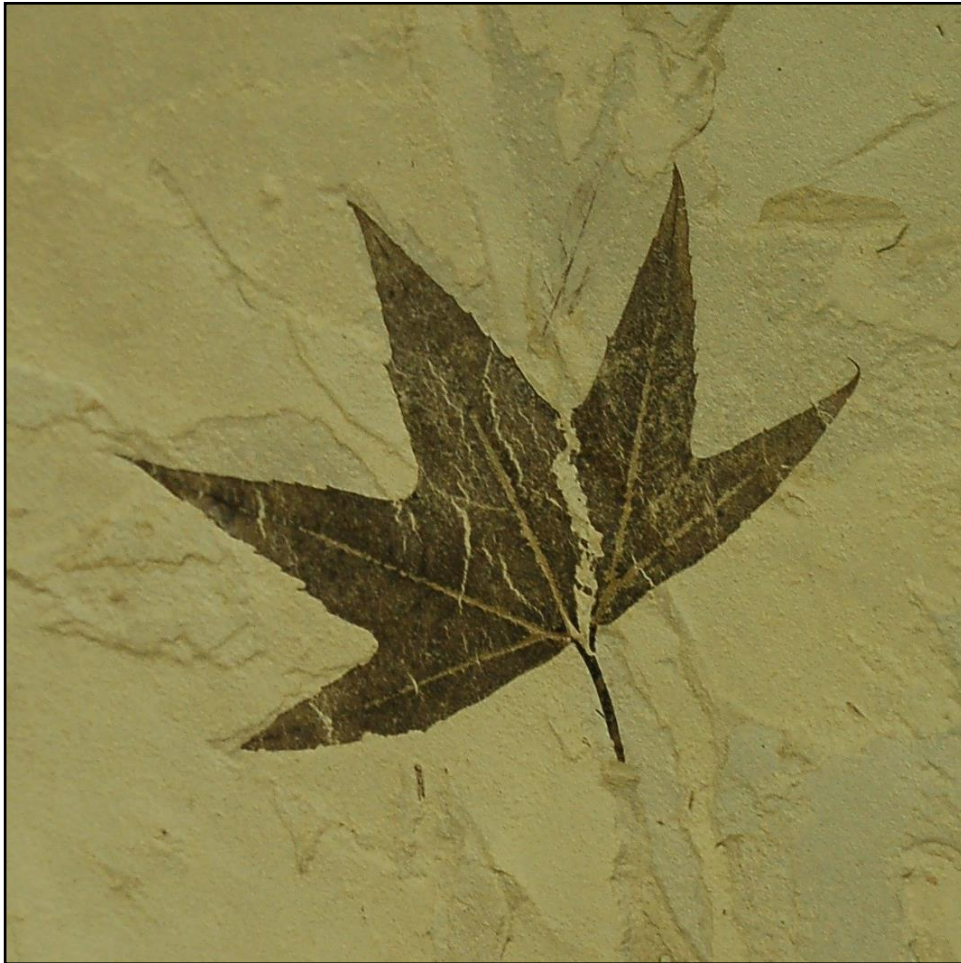
Carbonificação

Paredes celulares são “amolecidas”, havendo colapso dos espaços intersticiais

Processo de fossilização comum em vegetais e alguns animais

(peixes e artrópodes terrestres)

Detalhes da estrutura externa (coberturas de cutina, quitina ou queratina) e as vezes interna de organismos são preservadas



Tipos de Fossilização

Recristalização

Restos orgânicos se preservam sem alteração na composição química, sem adição de material, mas com alteração da microestrutura cristalina
Mudança apenas da textura, alteração nos cristais de um mesmo mineral
Estrutura microscópica é destruída



Recristalização de um mineral em seu polimorfo mais estável

Aragonita => Calcita

Opala => Calcedônia
(mesma composição química, cristalografia distinta)



Tipos de Fossilização

Composição Química Original Alterada Substituição

Envolve a dissolução e remoção do material mineralizado original pelas águas intersticiais, com a precipitação simultânea ou tardia de material em geral distinto



e.g.: **Piritização:**
substituição por Pirita – FeS_2

Tipos de Fossilização

Composição Química Original Alterada Substituição

Envolve a dissolução e remoção do material mineralizado original pelas águas intersticiais, com a precipitação simultânea ou tardia de material em geral distinto



e.g.: Piritização:
substituição por Pirita – FeS_2

Substituição

Se a substituição ocorre simultaneamente (molécula por molécula) se dá a preservação, ao menos parcial, da microestrutura interna



e.g.: Silicificação:
substituição por Sílica – SiO_3

Tipos de Fossilização

Impressões e Moldes

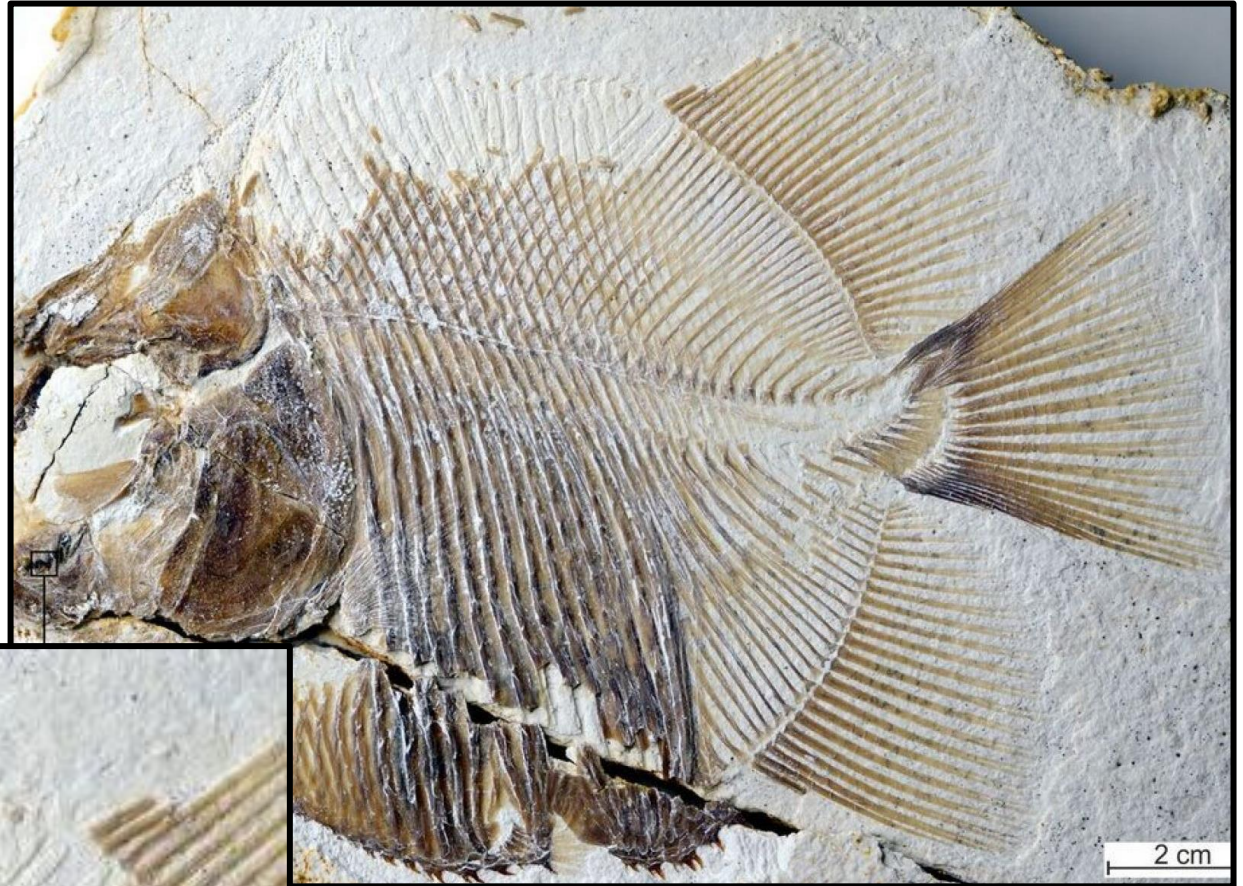
Se as partes corpóreas soterradas se dissolvem, podem restar as impressões que sua superfície deixou na matriz



Impressões e Moldes

Impressões de elementos sem partes internas (cavidades)

Elementos mineralizados



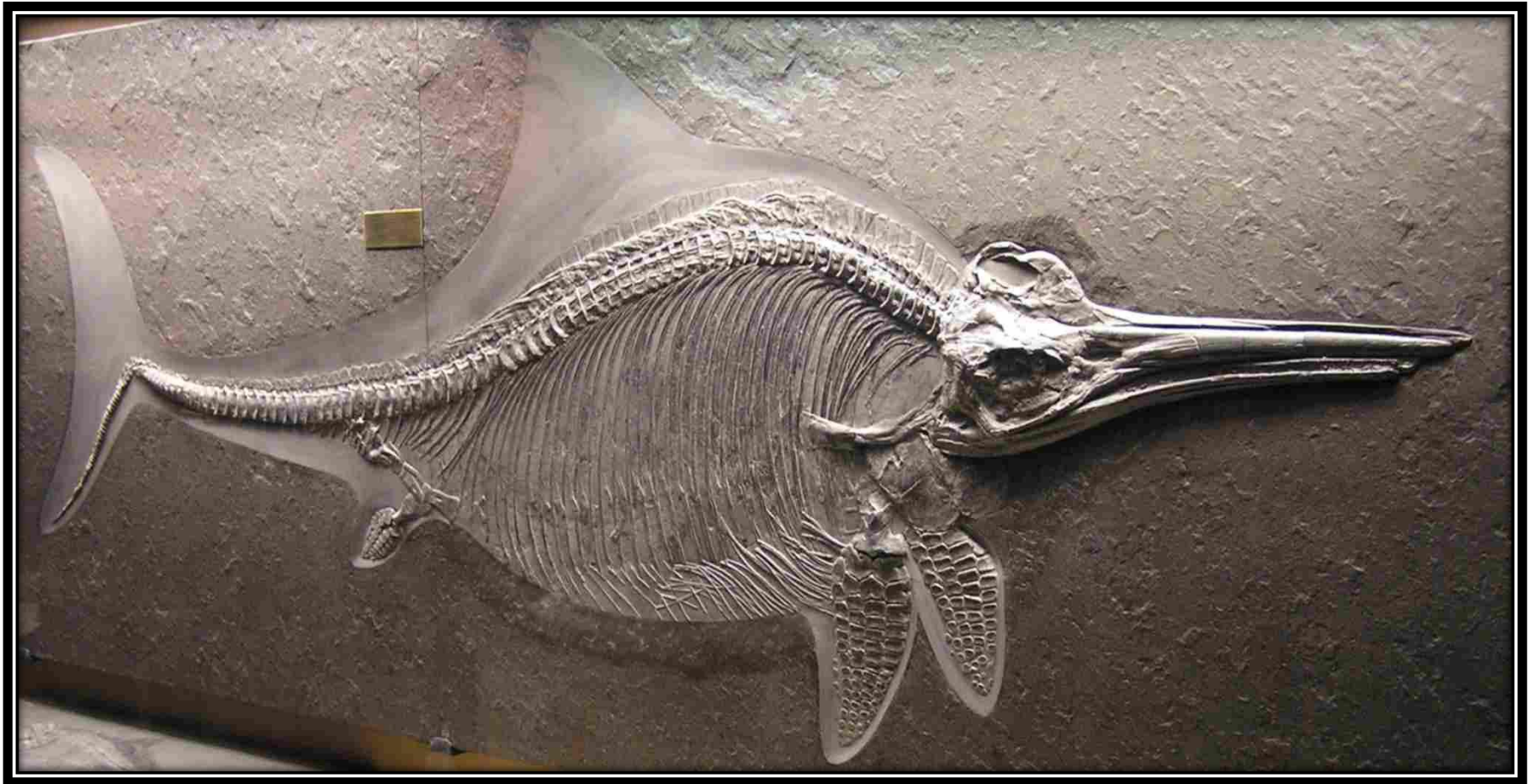
Impressões e Moldes

Molde (inverso) e contra molde



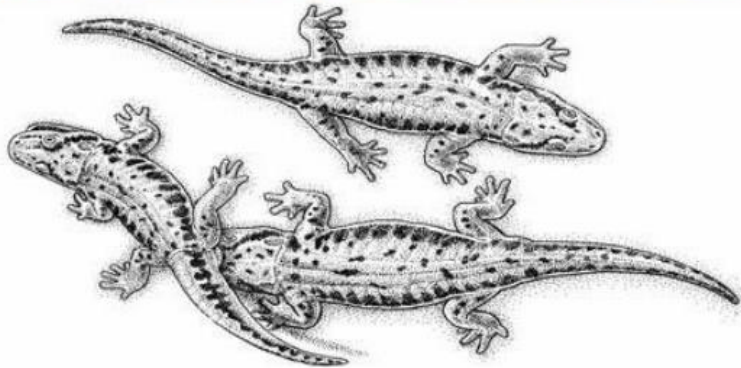
Impressões e Moldes

Se a decomposição se dá lentamente, podem formar-se impressões das partes moles de um organismo, fornecendo “janela anatômica” única
“Silhueta” de peixes e répteis marinhos



Impressões e Moldes

Se a decomposição se dá lentamente, podem formar-se impressões das partes moles de um organismo, fornecendo “janela anatômica” única
Carbonífero dos EUA: inprint de tetrápodo



Impressões e Moldes

Se a decomposição se dá lentamente, podem formar-se impressões das partes moles de um organismo, fornecendo “janela anatômica” única

Impressão de folhas, assas de insetos, penas e pele



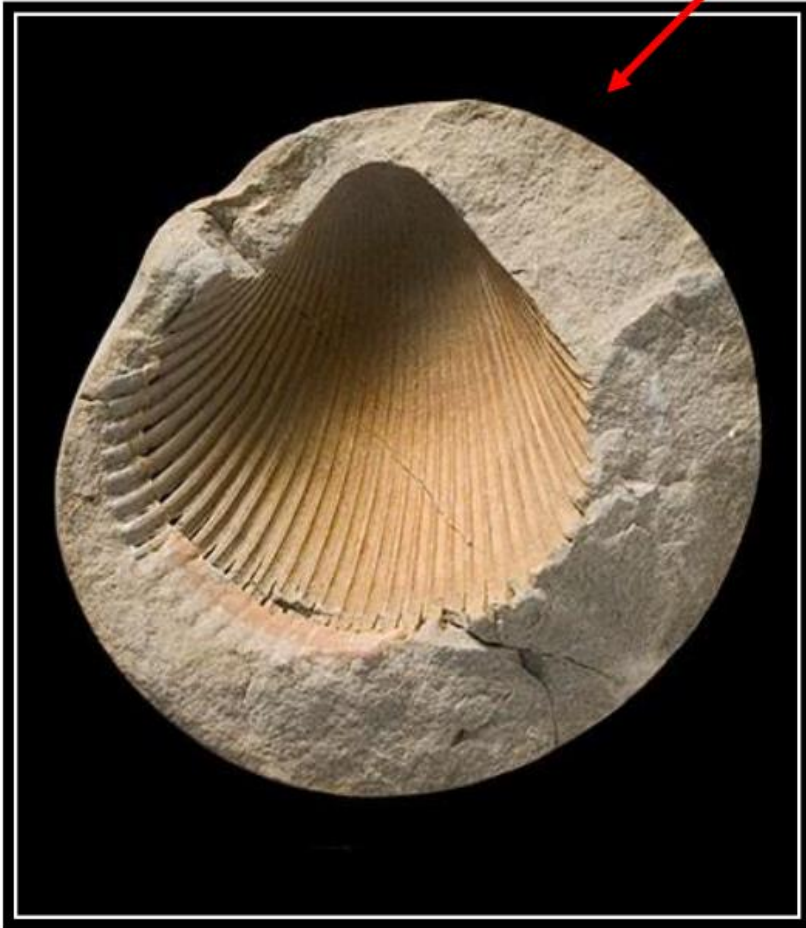
Impressões e Moldes

Se a decomposição se dá lentamente, podem formar-se impressões das partes moles de um organismo, fornecendo “janela anatômica” única
Impressão de folhas, assas de insetos, penas e pele



Impressões e Moldes

Molde interno e externo



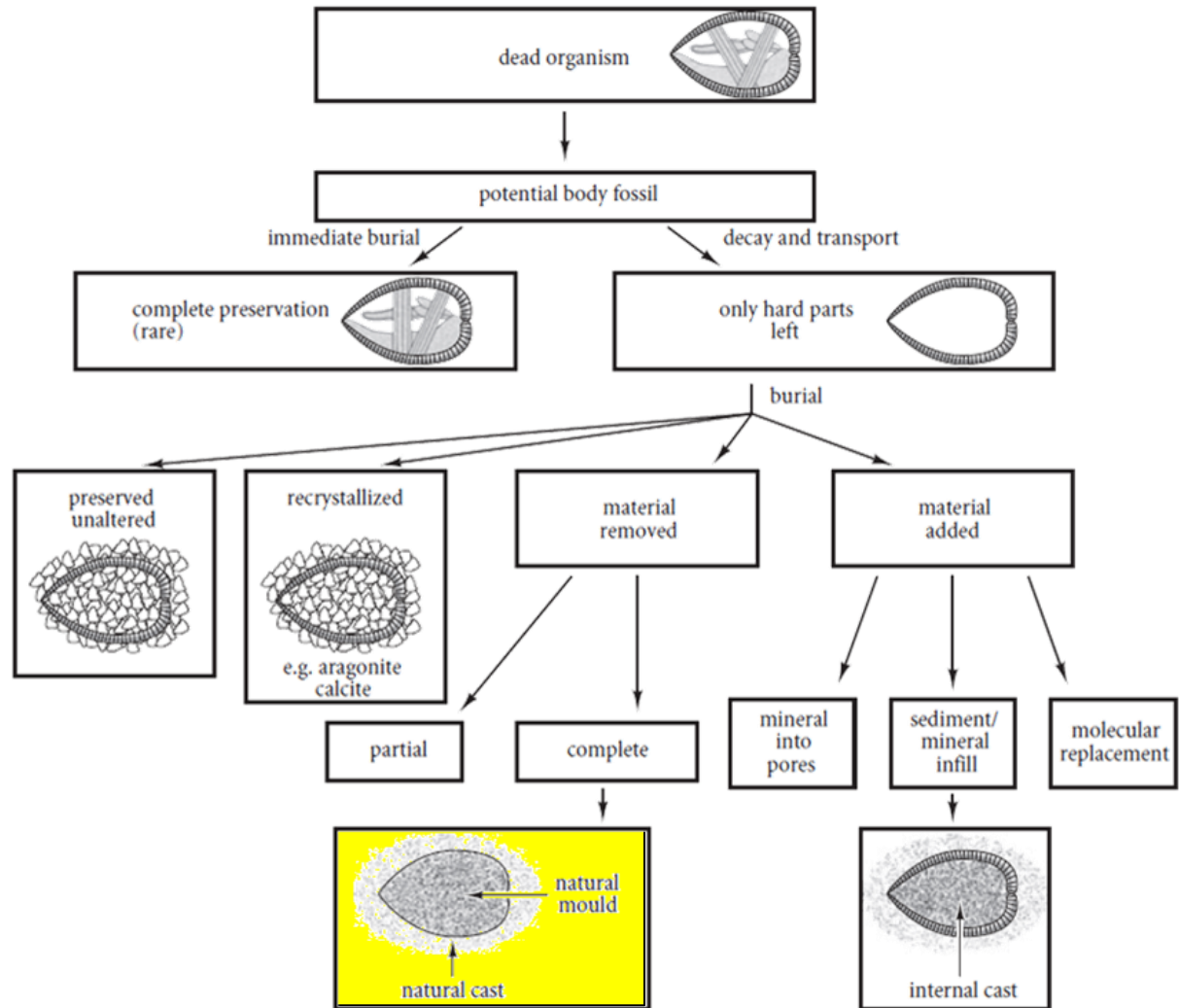
Impressões e Moldes

Molde interno de cavidades



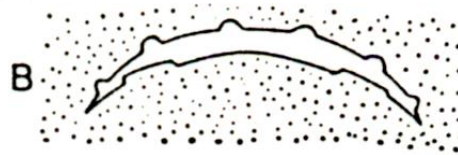
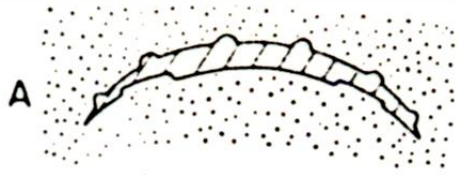
Impressões e Moldes

Se o espaço deixado vazio pelo resto esquelético dissolvido é preenchido por sedimentos ou pela precipitação de algum mineral forma-se um *pseudomorfo* ou contramolde



Impressões e Moldes

Se o espaço deixado vazio pelo resto esquelético dissolvido se colapsa sobre pressão as ornamentações internas e externas se mesclam, formando um *palimpsesto* ou molde-composto

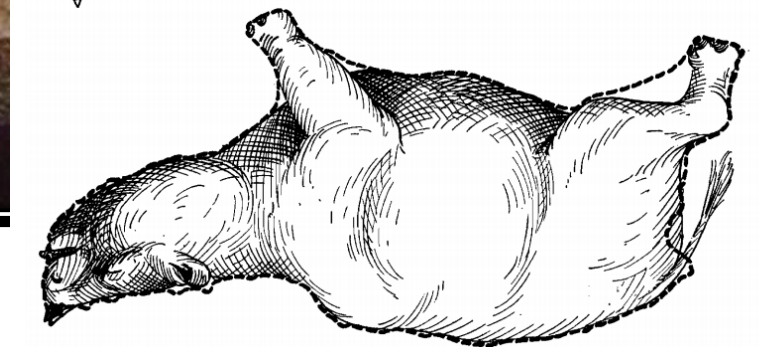
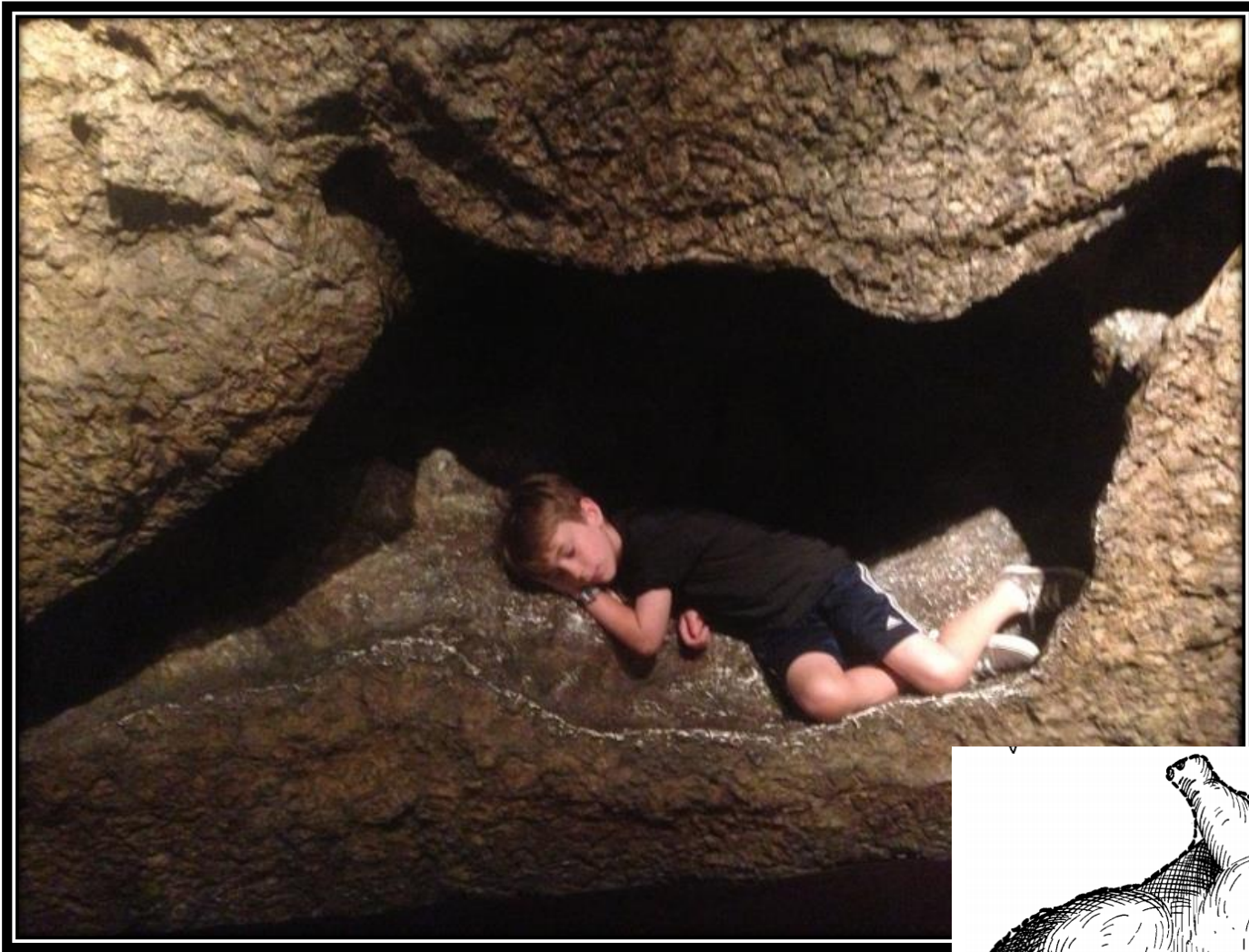


Moldes de certos organismos podem formar-se em depósitos de **lavas almofadadas** (Washington e Havaí) ou no asfalto



Blue Lake Rhino Cave

Grand Coulee, Columbia River Basalt



Paleoicnologia:
analisa os vestígios fósseis das atividades orgânicas



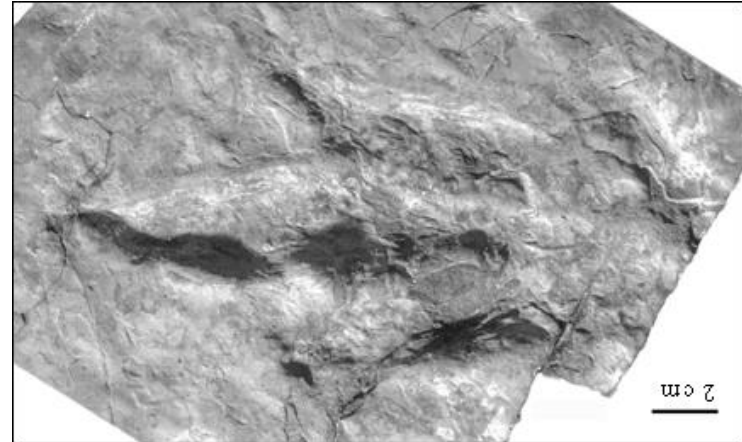
Iconofóssil: traço fóssil

- pegadas
- trilhas
- escavações
- perfurações
- moldes (trilhas) fecais
- coprólitos



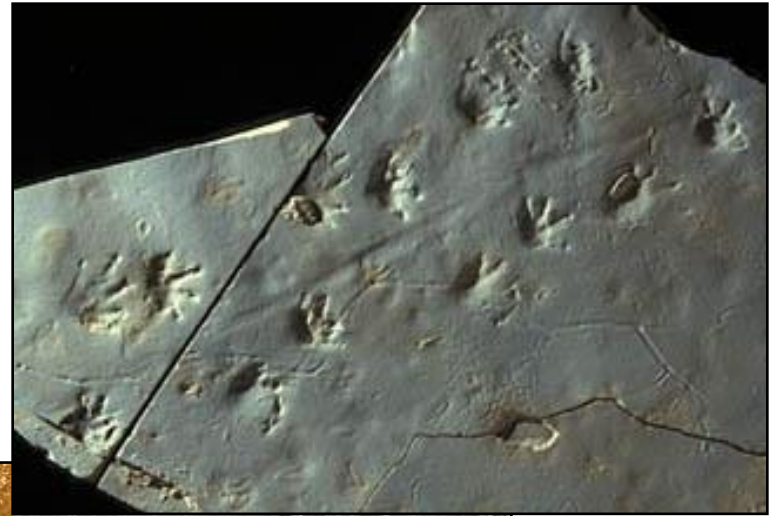
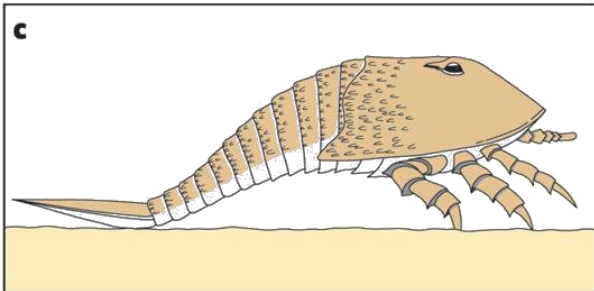
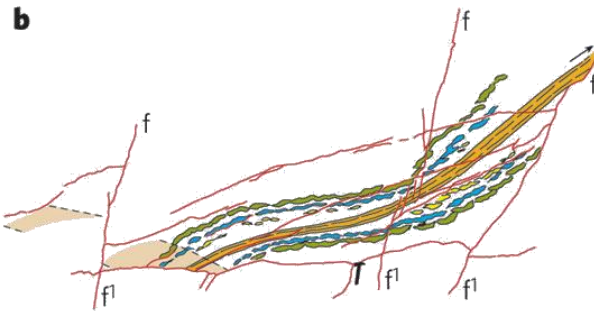
Ícnofóssil: pegada

É a impressão de uma pata (vertebrados) ou pódio (invertebrados) deixados sobre o substrato



Ícnofóssil: trilhas

É um conjunto organizado de pegadas, decorrente do deslocamento do animal sobre o substrato



Ícnofóssil: trilhas

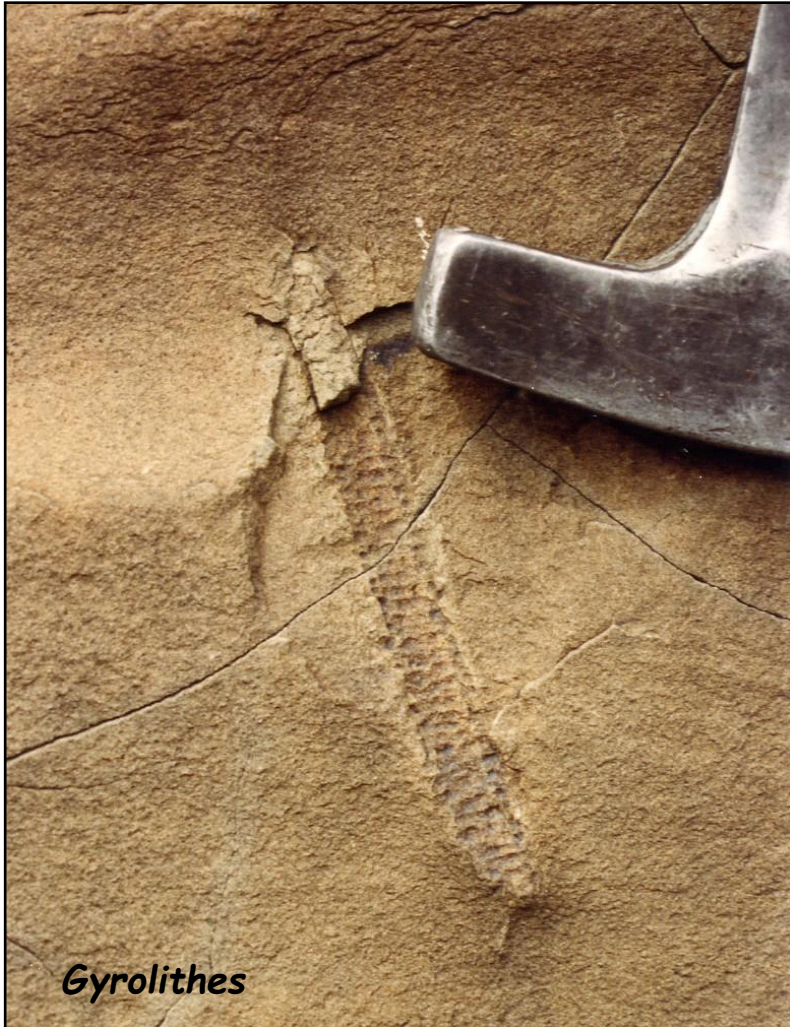
Pegadas de Sousa: Cretáceo da Paraíba

Ornithopoda



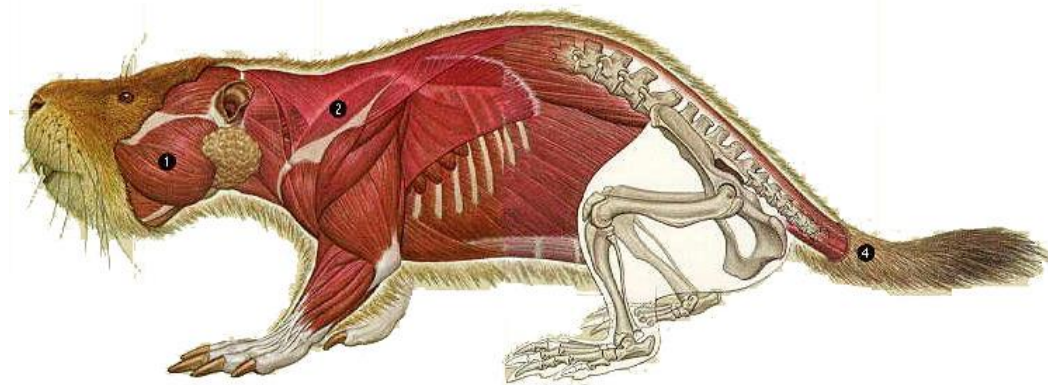
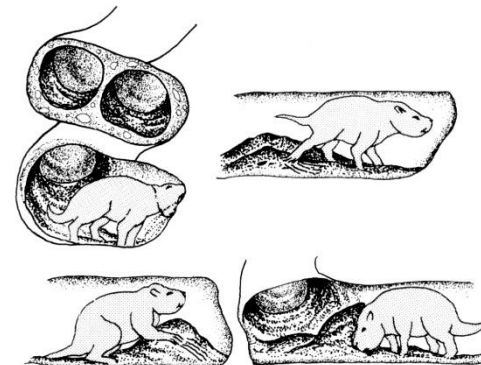
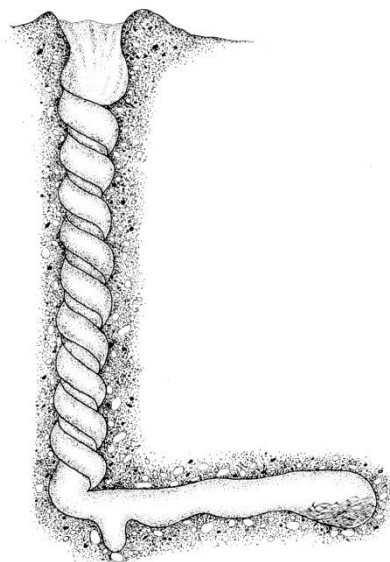
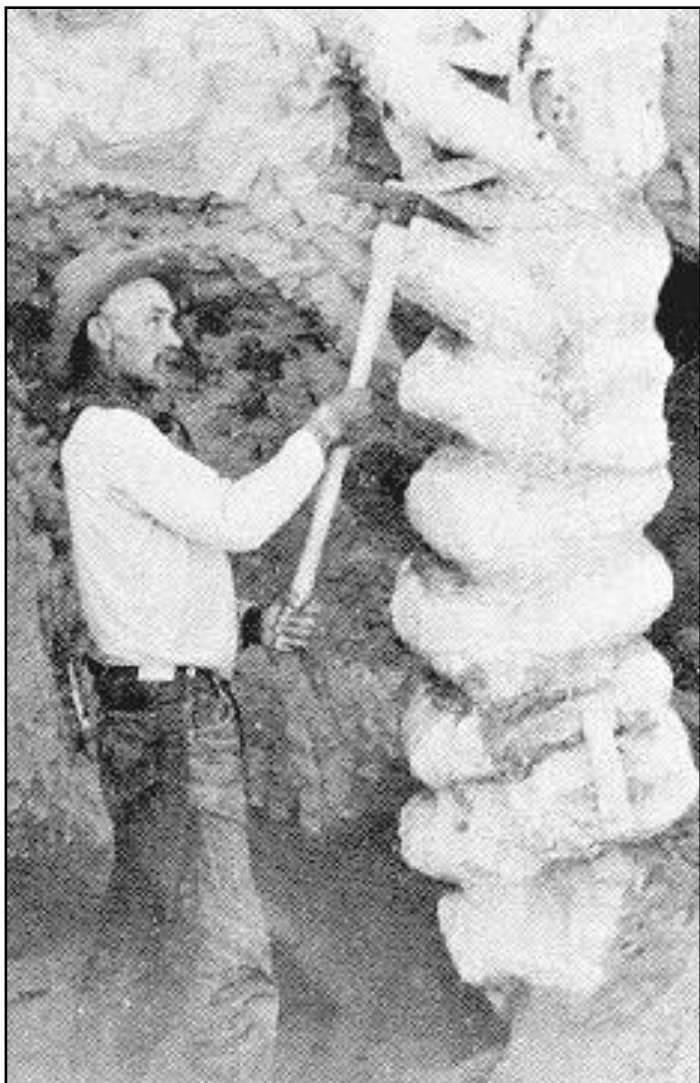
Iconofóssil: escavação

Penetração no interior de substrato sedimentar inconsolidado, por invertebrados, vertebrados ou raízes (pedotubo)



Iconofóssil: escavação

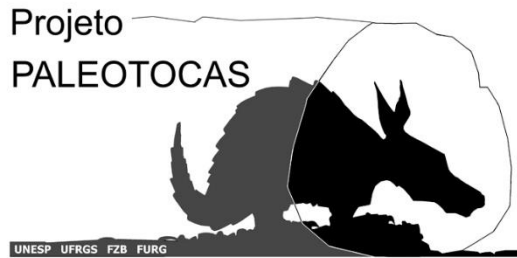
Penetração no interior de substrato sedimentar inconsolidado, por invertebrados, vertebrados (crotovinas e paleotocas) ou raízes



Deimonelyx e Paleocastor

Iconofóssil: escavação

Penetração no interior de substrato sedimentar inconsolidado, por invertebrados, vertebrados (crotovinas e paleotocas) ou raízes

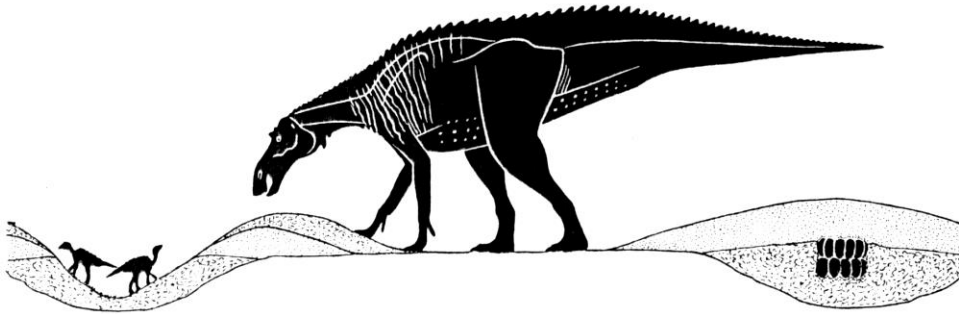


Iconofóssil: ovos

Ovos fossilizados não são iconofósseis

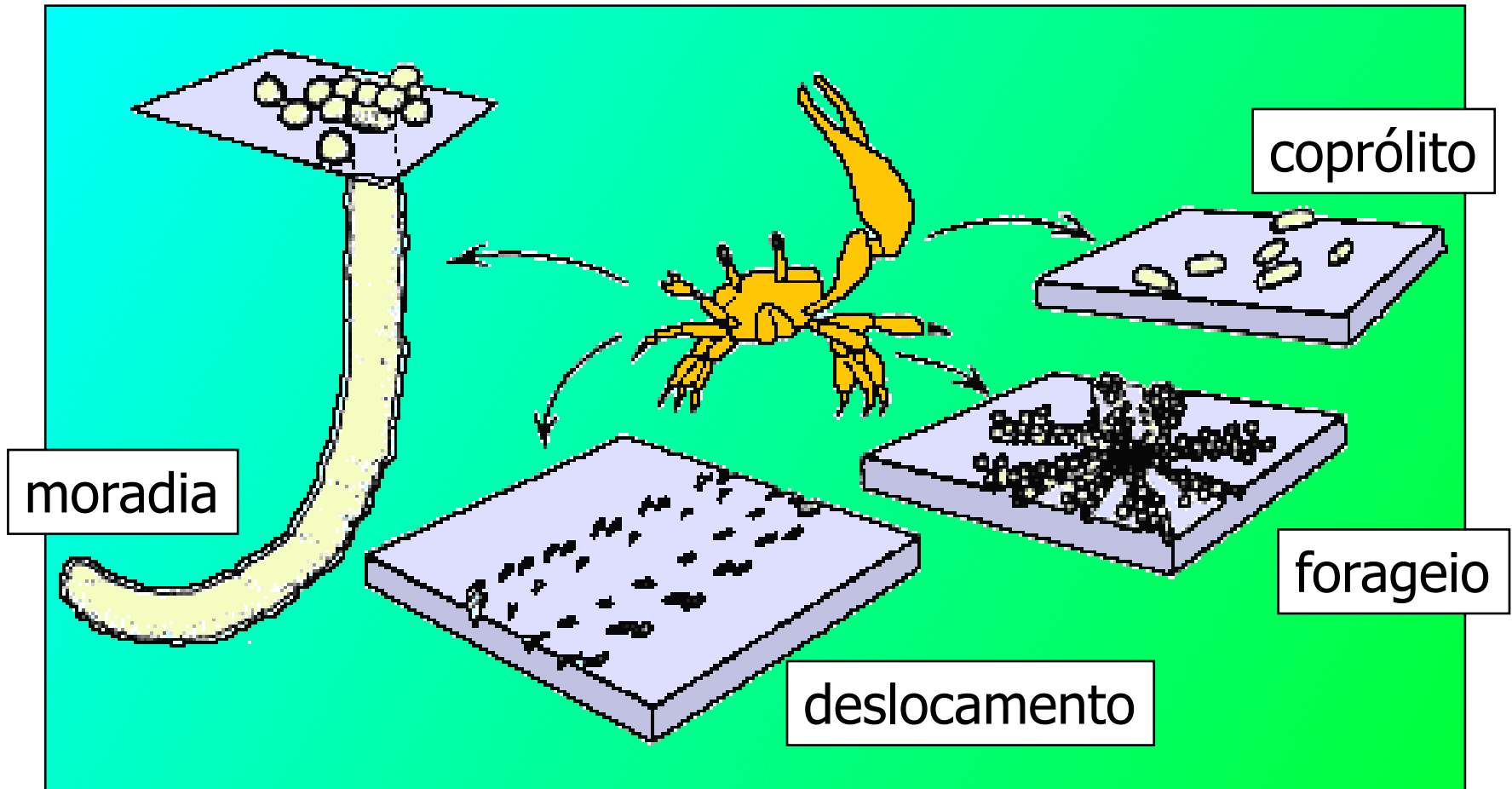


Iconofóssil: mas ninhos são



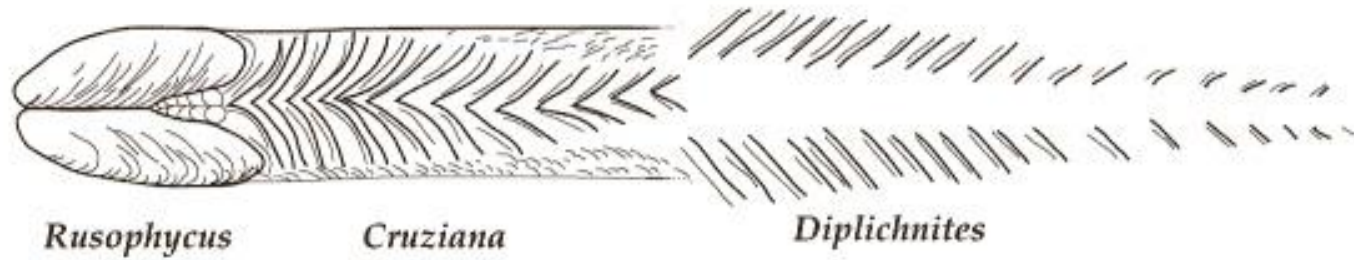
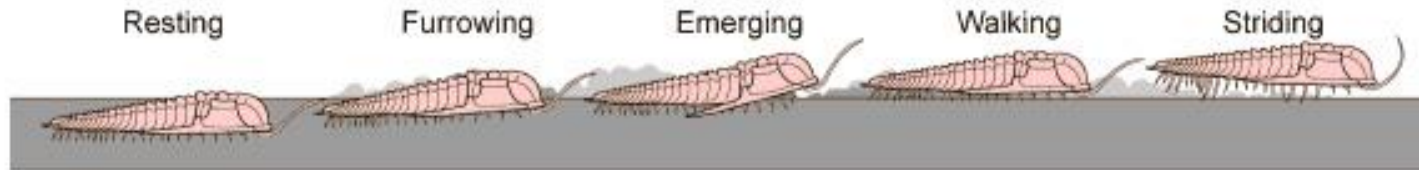
Iconofóssil: classificação evolutiva

Parataxonomia - Mesmo organismo produz diferentes icnos



Iconofóssil: classificação evolutiva

Parataxonomia - Mesmo organismo produz diferentes icnos

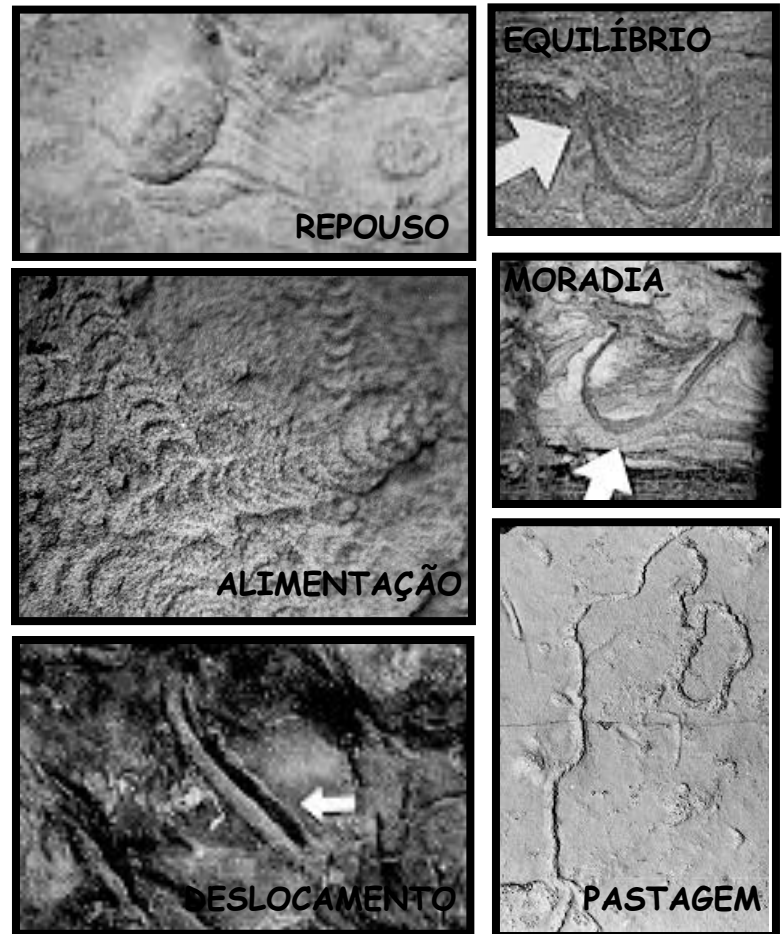
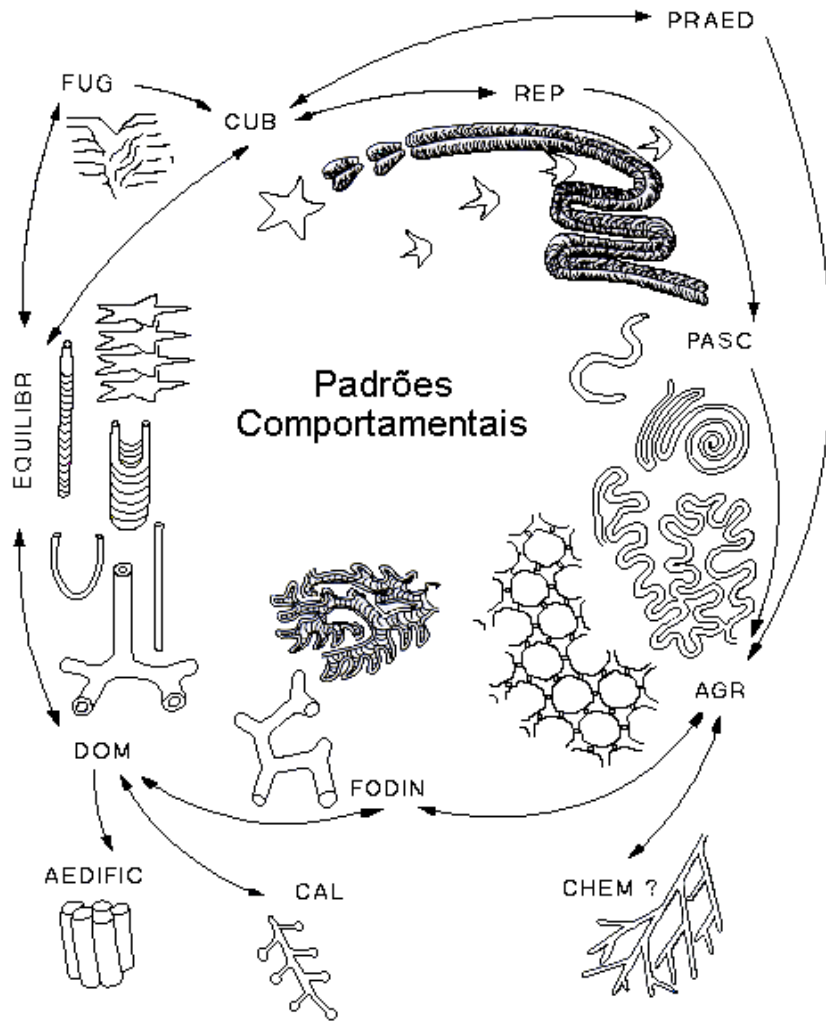


Iconofóssil: classificação evolutiva

Parataxonomia - Mesmo organismo produz diferentes icnos



Iconofóssil: classificação etológica



Classificação etológica - **Repichnia**: deslocamento
Pegadas ou pistas epi- ou intra-estratrais de organismos
transitando de um lado a outro



Classificação etológica - **Cubichnia**: repouso

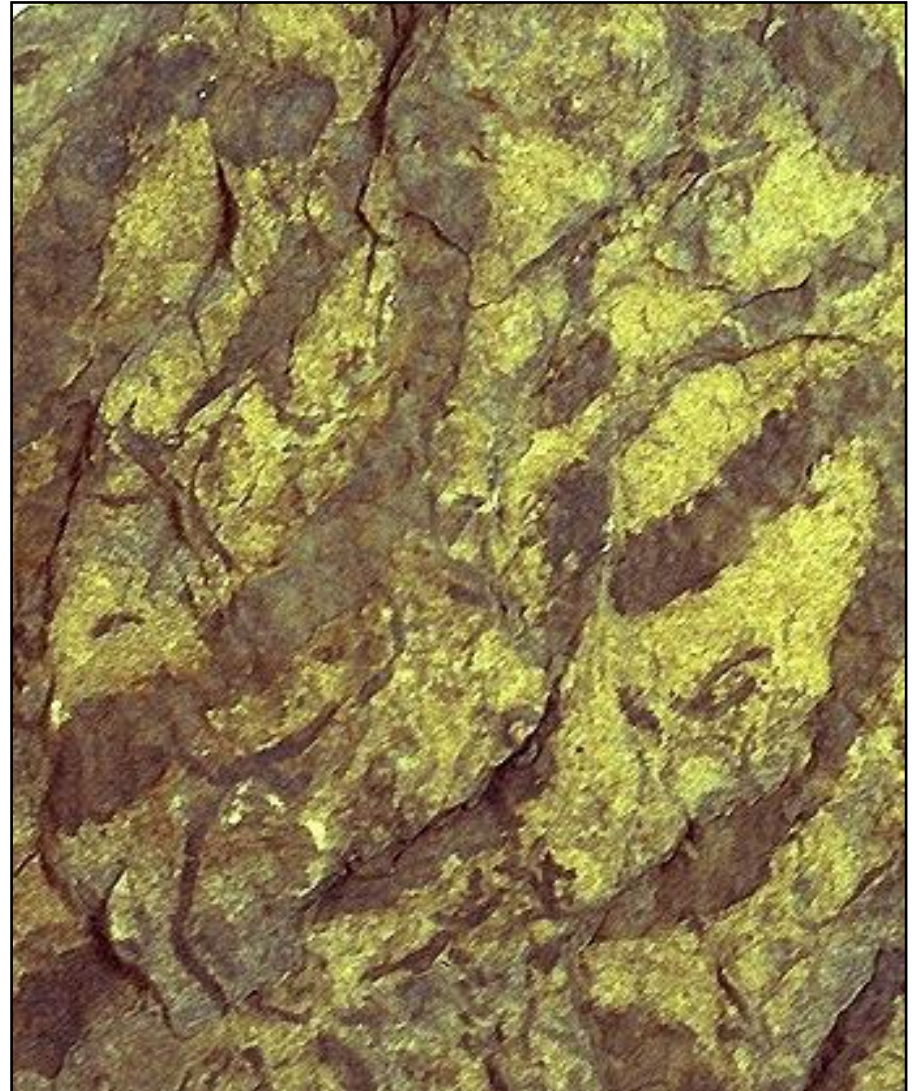
Depressões rasas, epi- ou intra-estratais, feitas por organismos em atitude de reclusão temporária



Classificação etológica - **Pascichnia**: pastagem
Sulcos e escavações padronizadas, muitas vezes descontínuas,
feitas por sedimentófagos vágéis ou pastadores de algas



Classificação etológica - **Fodinichnia**: alimentação
Escavações temporárias, intra-estratais, de sedimentófagos;
simples ou ramificadas; escavações horizontalizadas



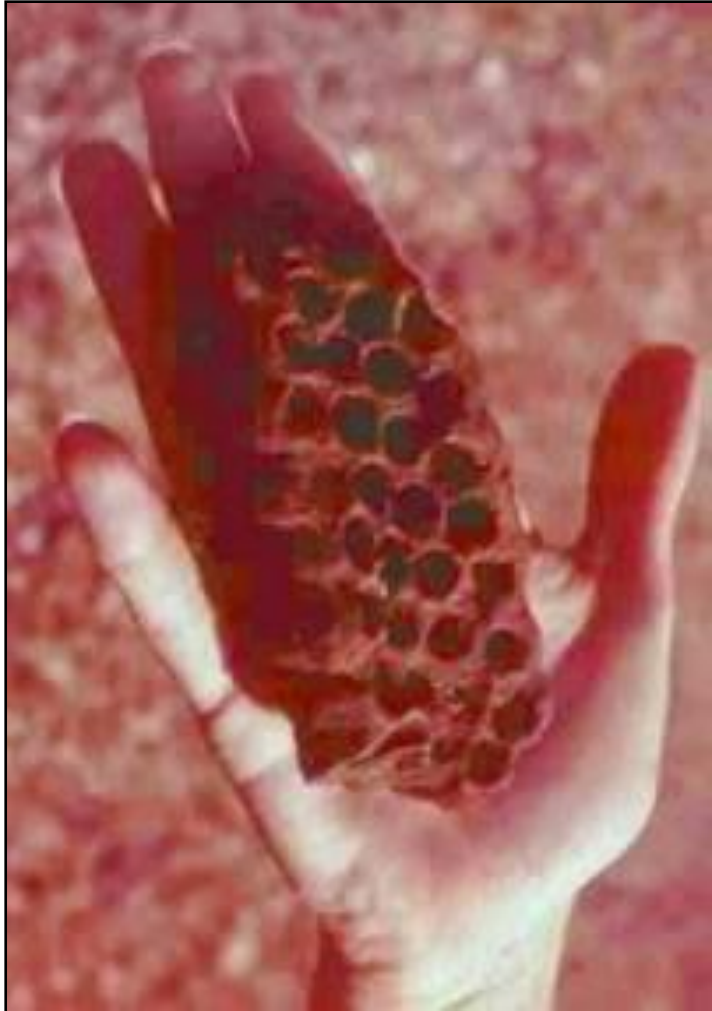
Classificação etológica - **Domicchnia**: moradia

Escavações ou galerias que servem de domicílio permanente ou temporário para filtradores, suspensívoros e carnívoros; paredes lineadas e/ou construídas



Classificação etológica - **Aedifichnia**: construção

Estruturas dômicas construídas com sedimento e cimentadas pelos construtores, em especial organismos sociais (meios terrestres) e coloniais (meios aquáticos)



Recife fóssil "in situ"
Pleistoceno da Flórida



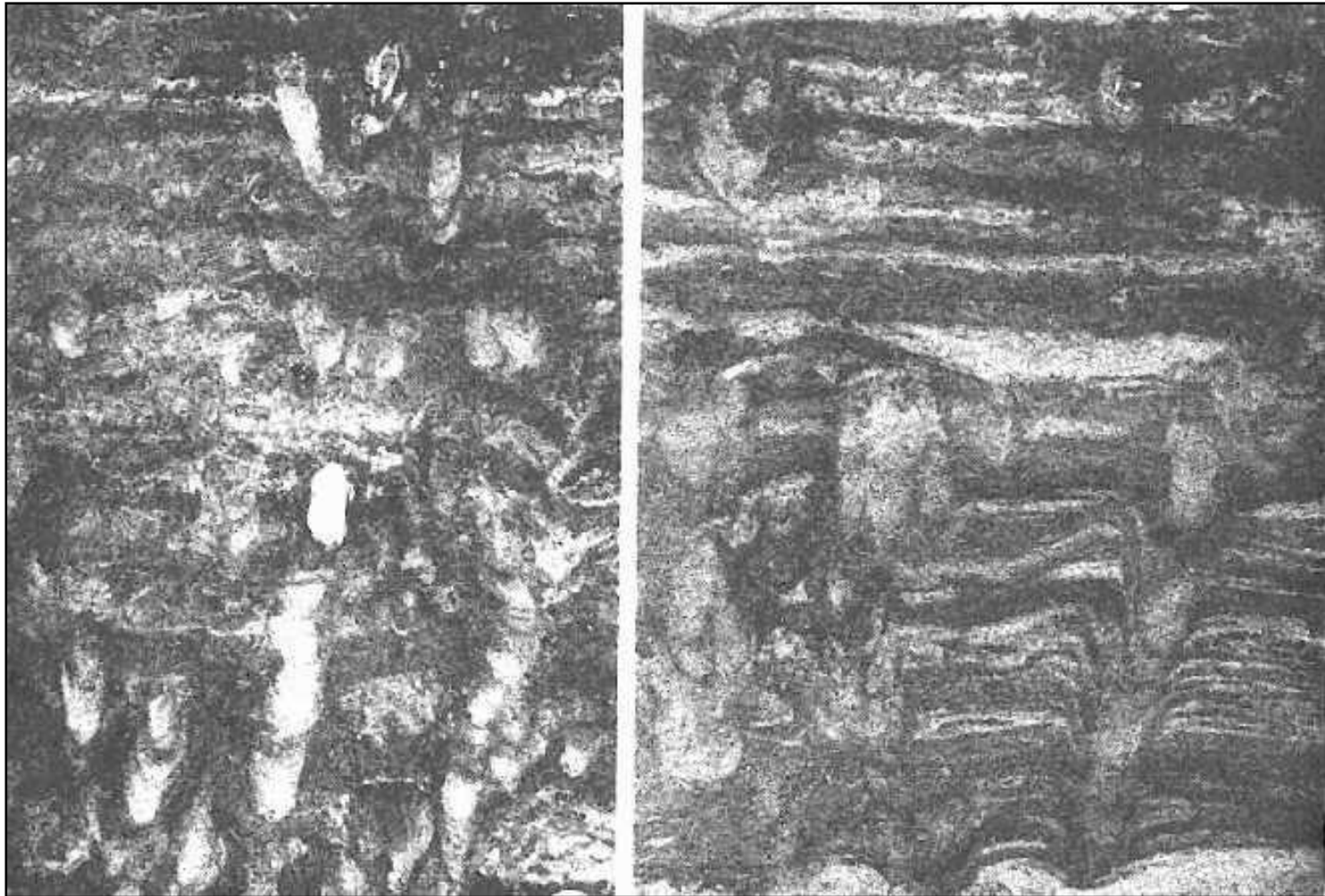
Classificação etológica - **Praedichnia**: predação

Estruturas de perfuração restritas a substratos duros, caracterizadas por buracos de tendência circular em conchas e carapaças de invertebrados, especialmente aquáticos



Classificação etológica - **Fugichnia**: fuga

Estruturas de escape, feitas por organismos em fuga; morfologias originais pouco nítidas; feições de escorregamento e biofluidização são comuns



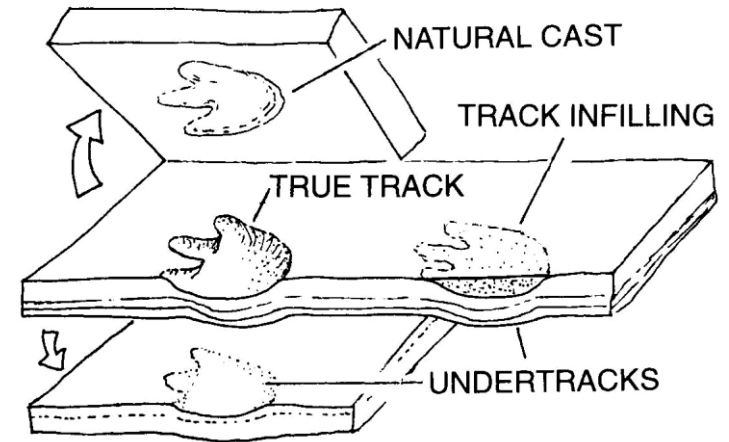
Classificação etológica - **Equilibrichnia**: equilíbrio

refletem variação da sedimentação e/ou erosão, com reconstrução frequente das aberturas e reposicionamento da escavação no substrato



Iconofóssil: classificação estratiônômica

SEILACHER



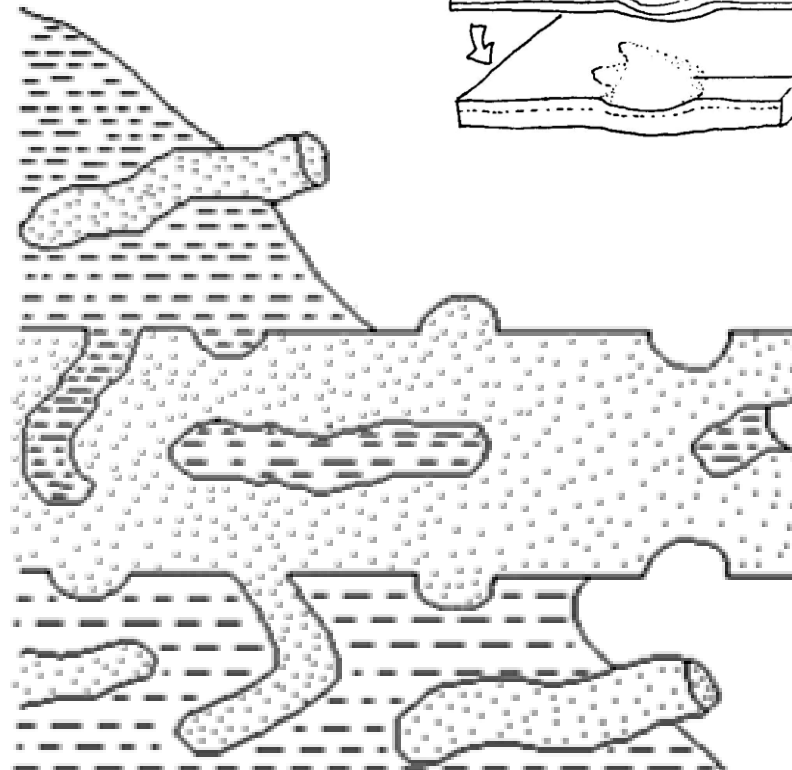
RELEVO CHEIO

**SEMI-RELEVO
(EPIRRELEVO)**

RELEVO CHEIO

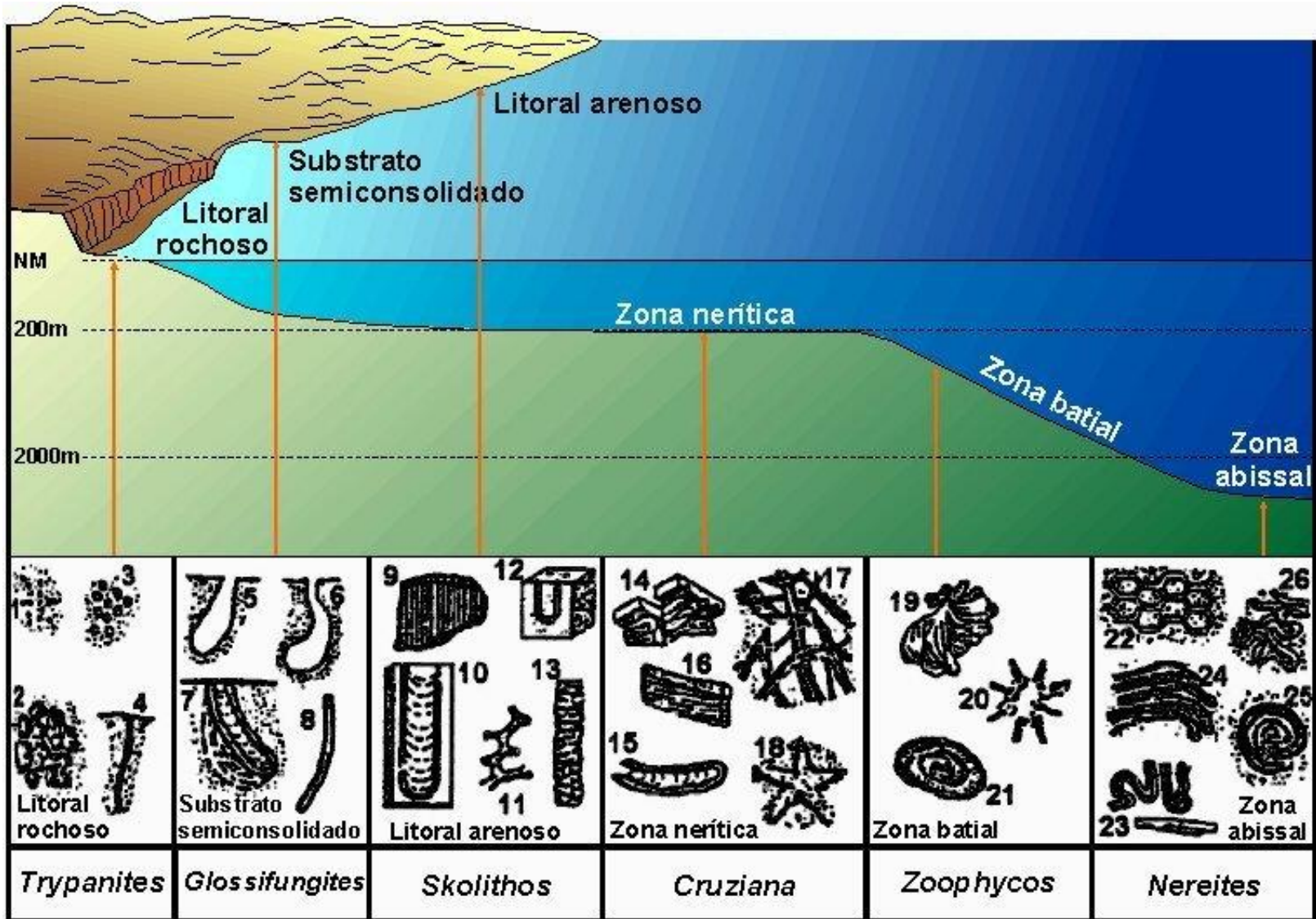
**SEMI-RELEVO
(HIPORRELEVO)**

RELEVO CHEIO



Iconofácies: táxon independente

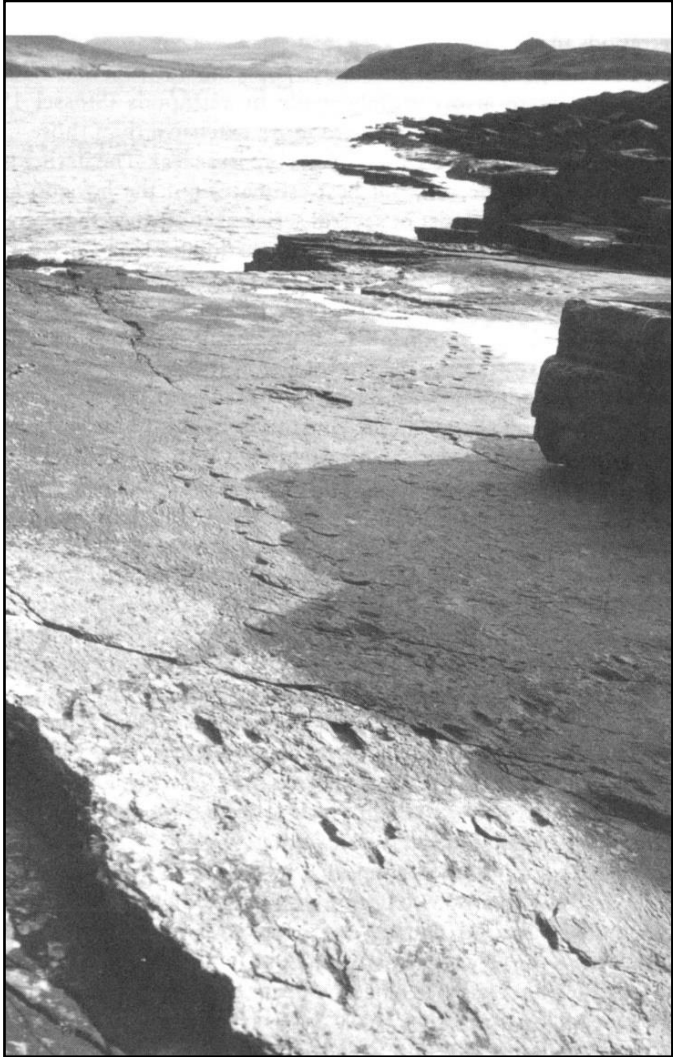
Definem subambientes marinhos e continentais



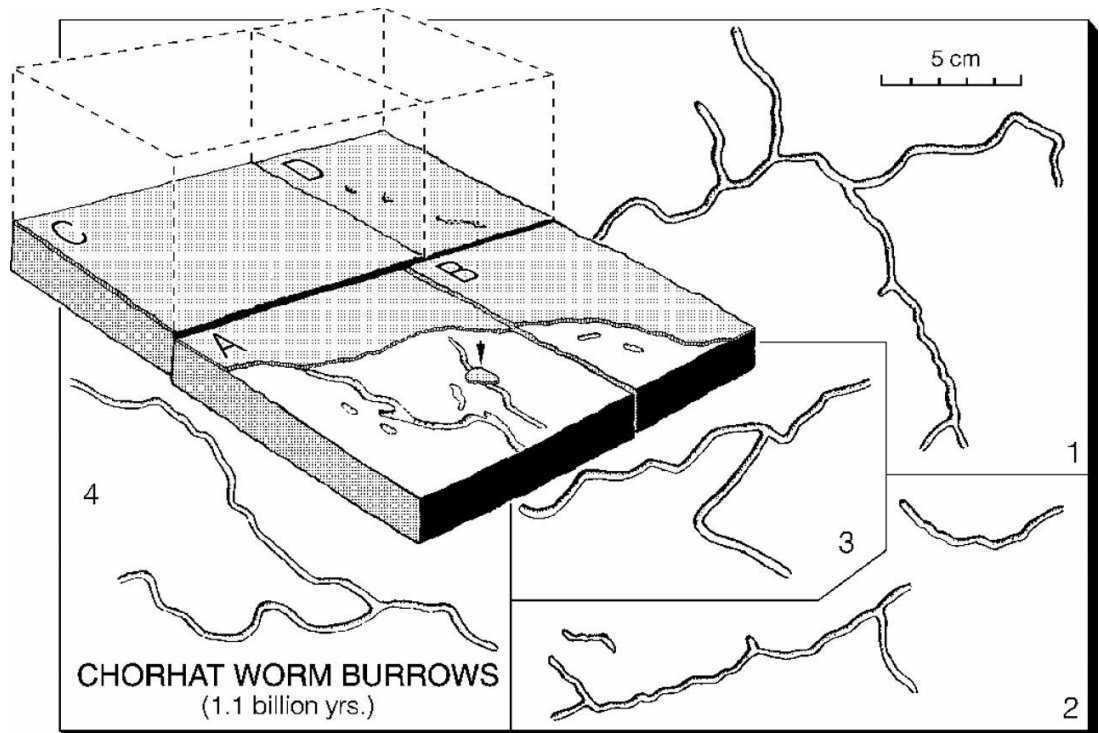
Diversidade passada (mais comuns)
Datam camadas sem fosseis esqueléticos
Registro de animais de corpo mole ou estruturas moles



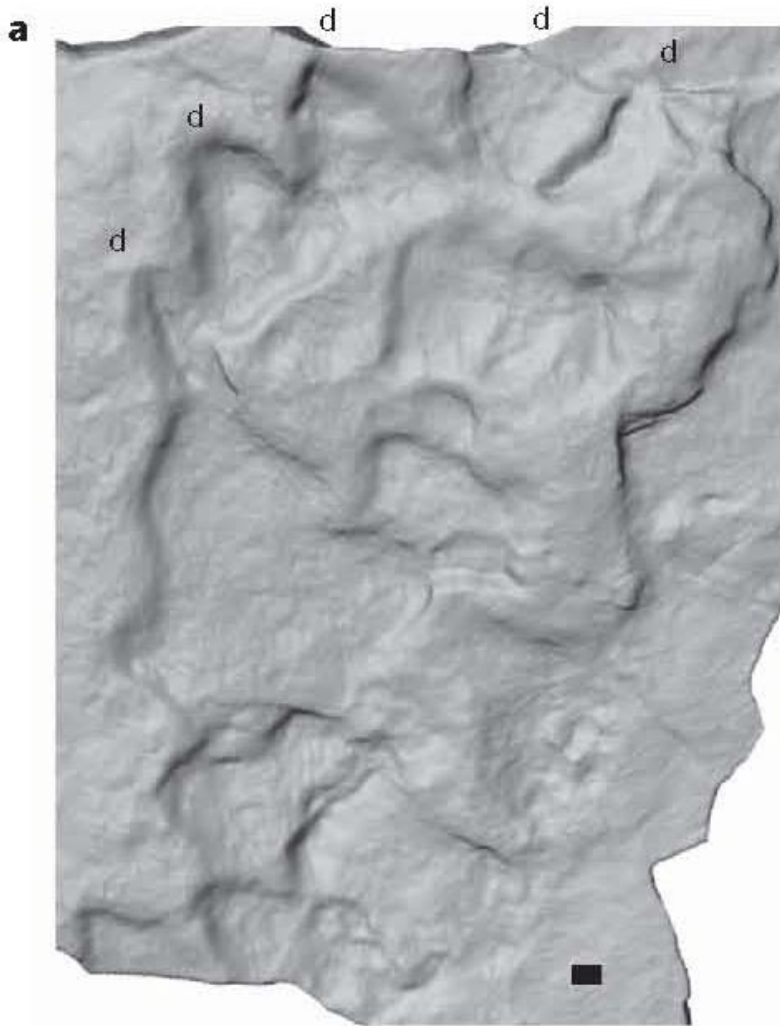
Diversidade passada (mais comuns)
Evidenciam importantes eventos da história geológica
Ex: terrestrialização, origem dos metazoários



Arenito Chorhat (Índia - 1.1 Ba) traços semelhantes à de "vermes"



Diversidade passada (mais comuns)
Evidenciam importantes eventos da história geológica
Ex: terrestrialização, origem dos metazoários



Pegadas de Zachełmie
(Eifeliano da Polônia)

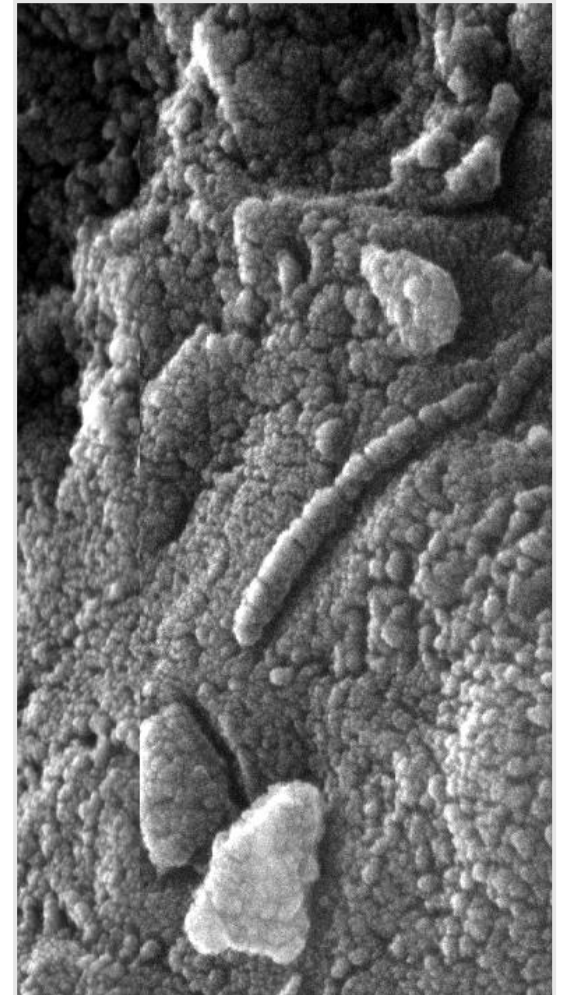
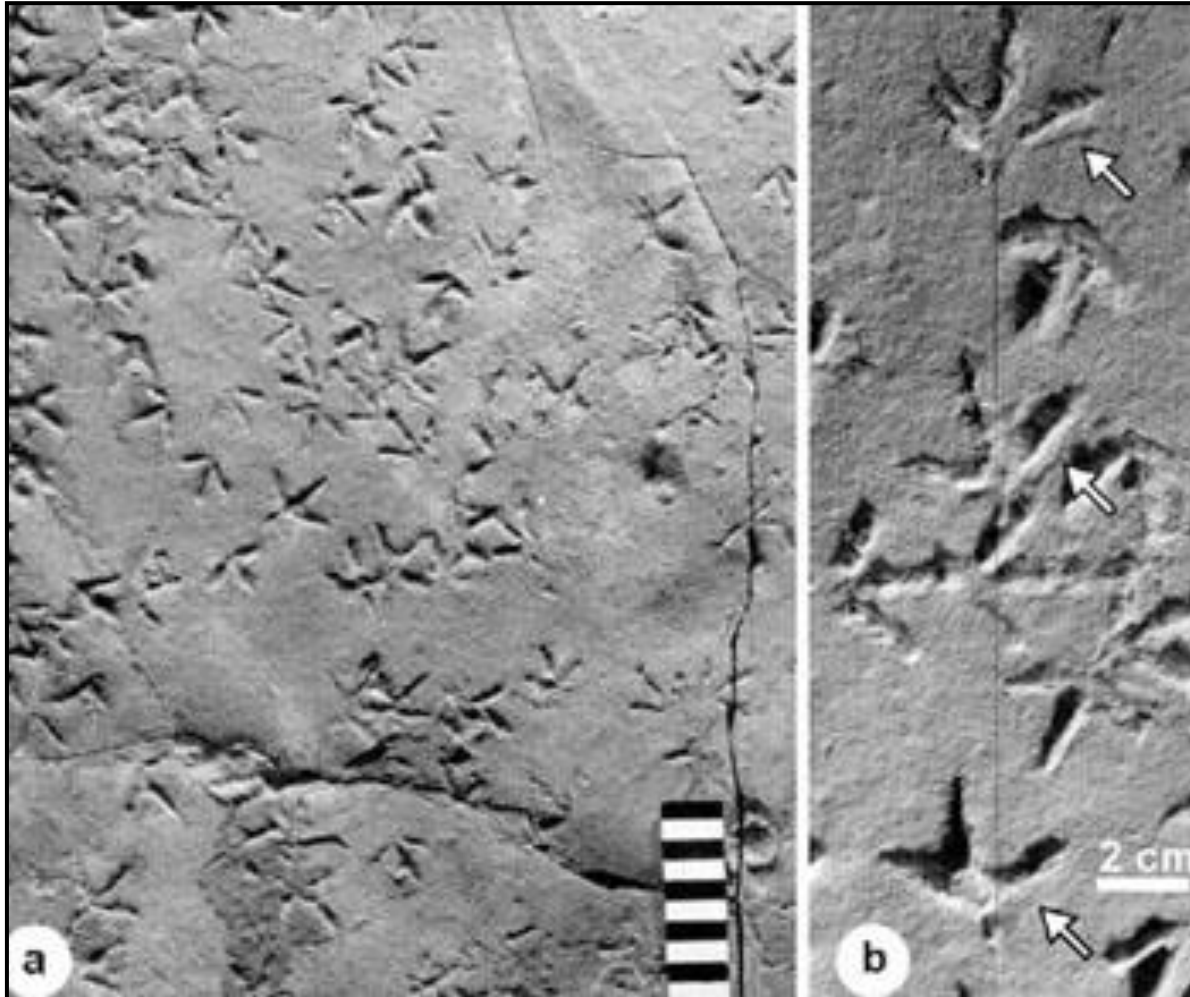


Diversidade passada (mais comuns)

Evidências de vida extraterrestre (!)

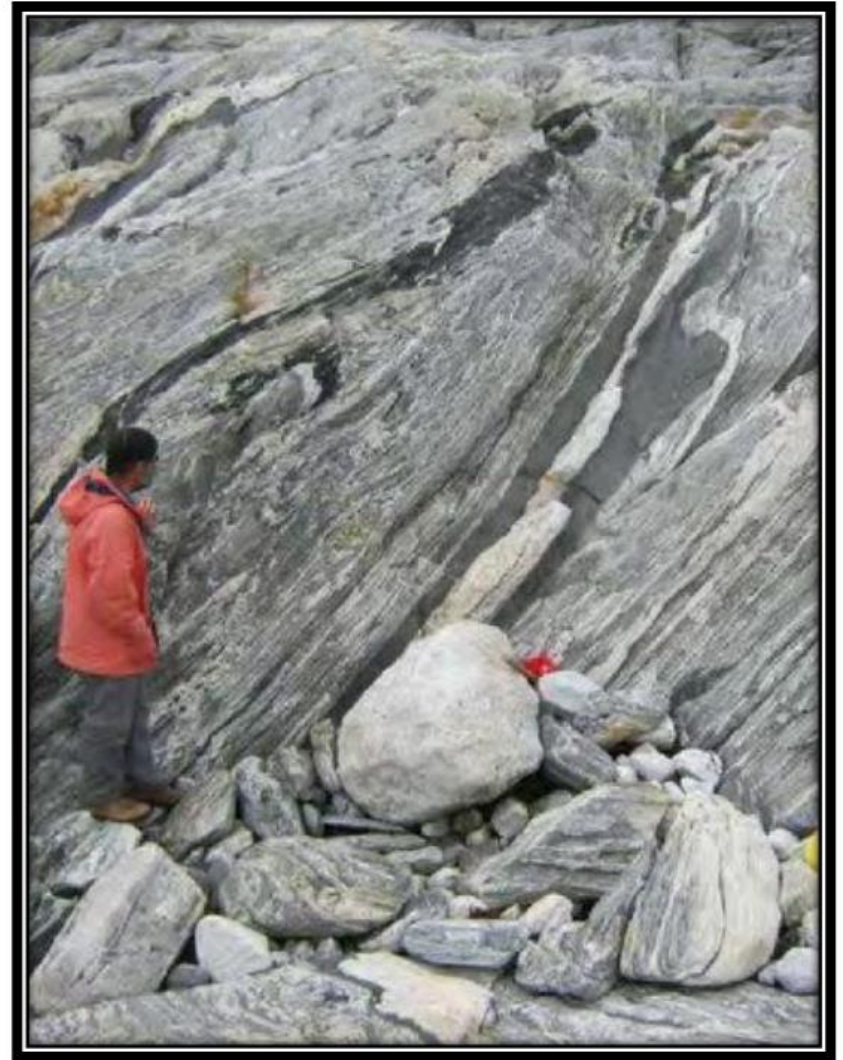
Ex: possíveis pistas de microorganismos em meteoritos de Marte

Mostram mais completo retrato da diversidade de uma época



Iconologia: importância para paleontologia e geologia

Assinaturas químicas: estromatólitos / Isua

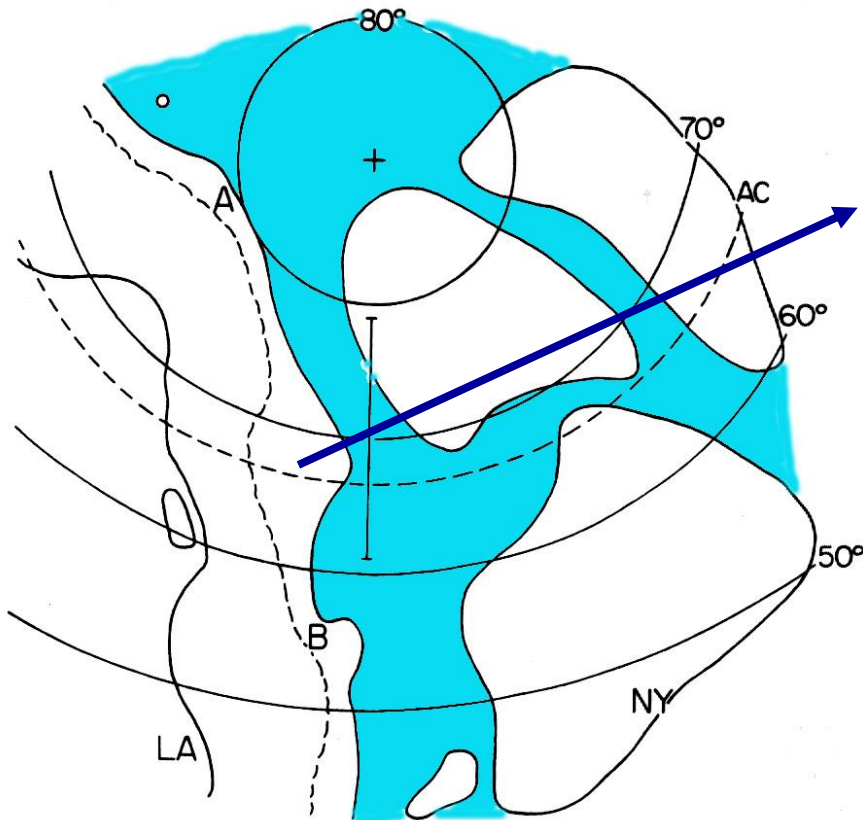
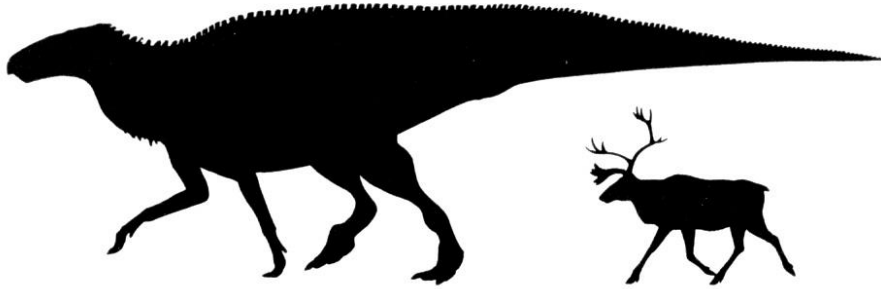


Iconologia: importância para paleontologia e geologia
Paleobiologia de grupos extintos: comportamento e biomecânica



Iconologia: importância para paleontologia e geologia

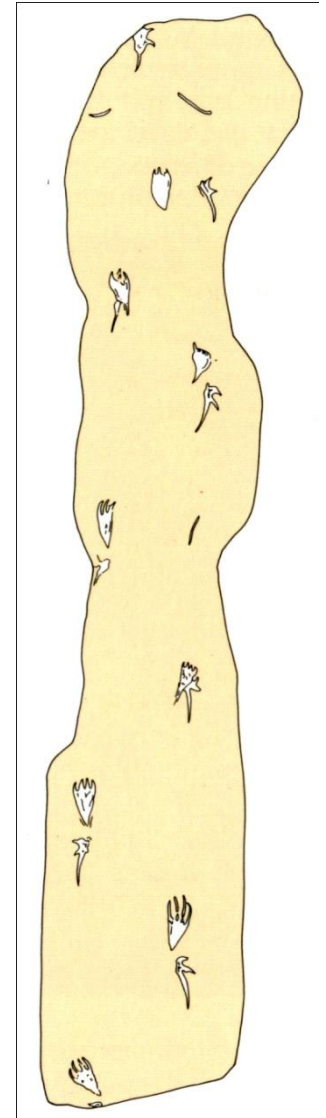
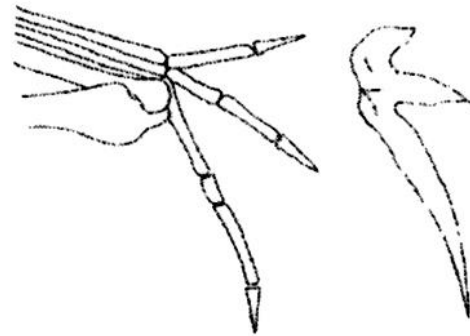
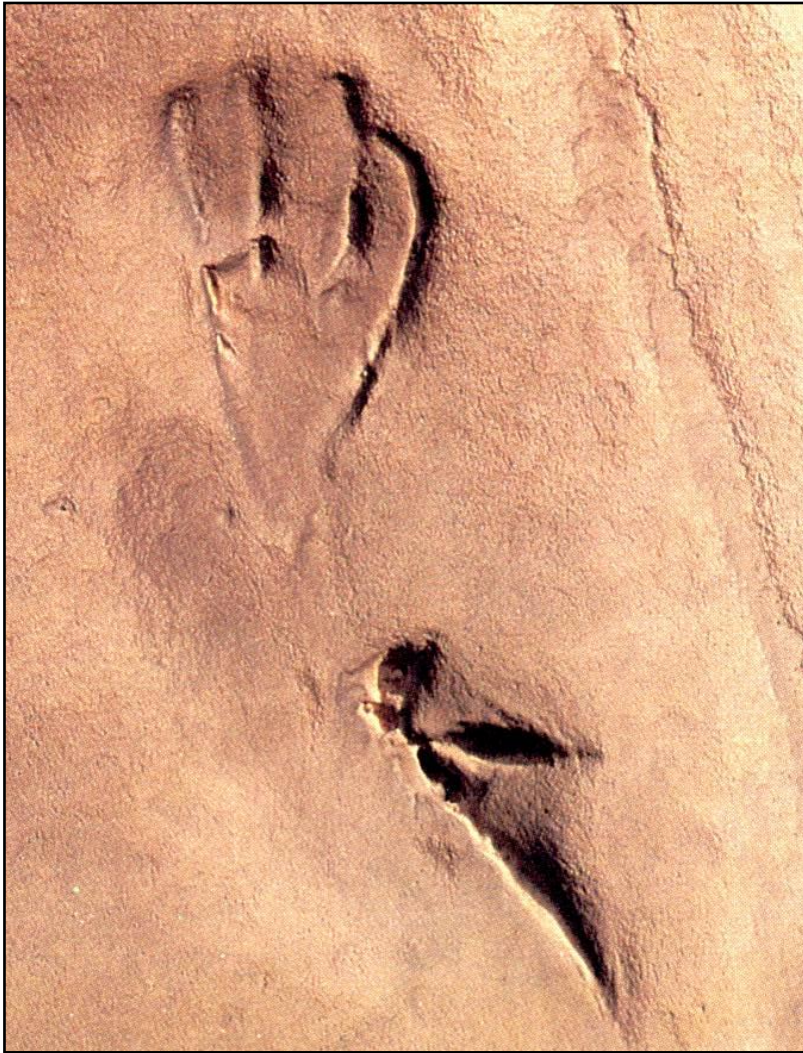
Paleobiologia de grupos extintos: comportamento e biomecânica



“Dinosaur Freeway”
Clayton-Lake, Grupo Dakota
Cretáceo inf. do Novo México

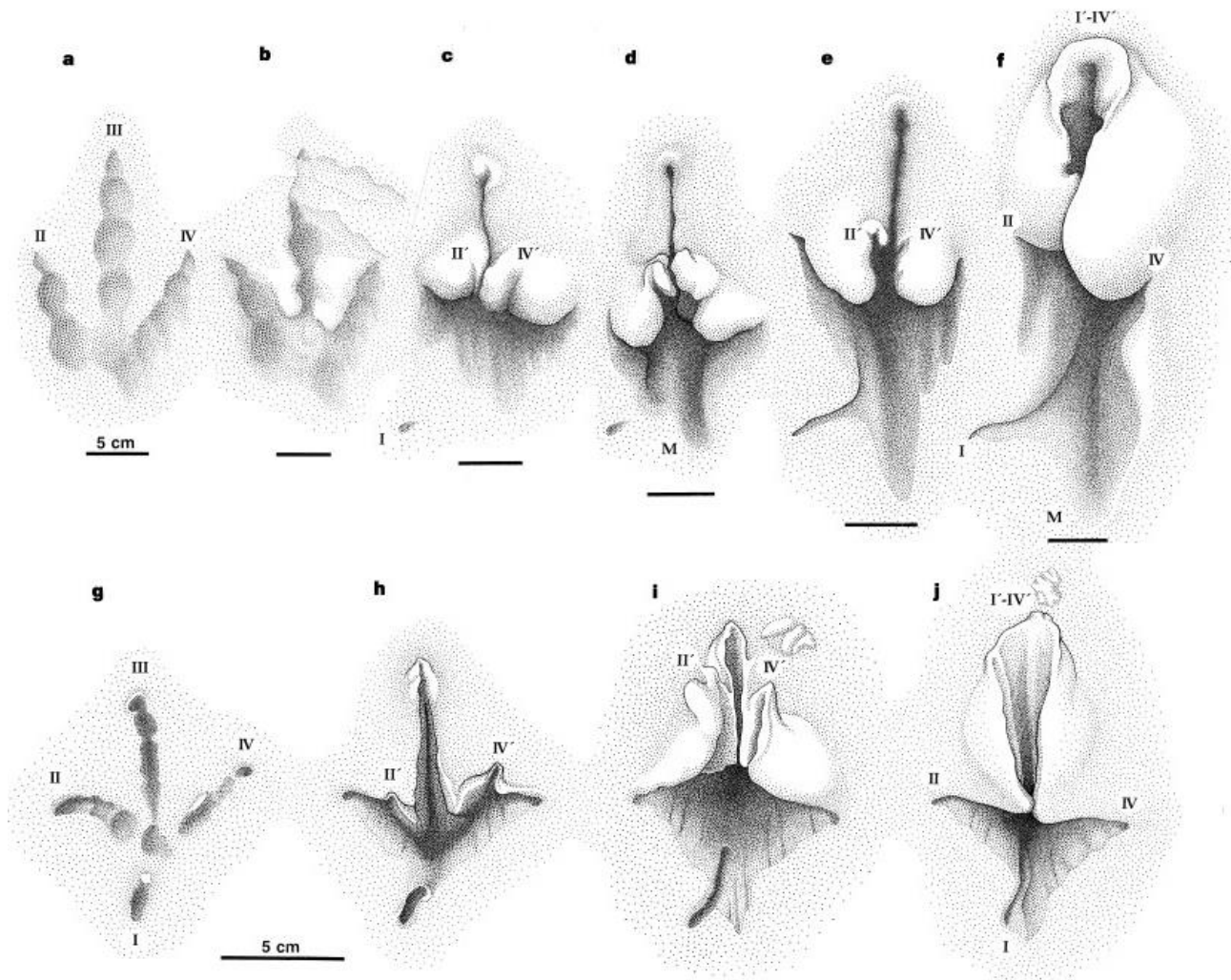
Iconologia: importância para paleontologia e geologia

Paleobiologia de grupos extintos: comportamento e biomecânica



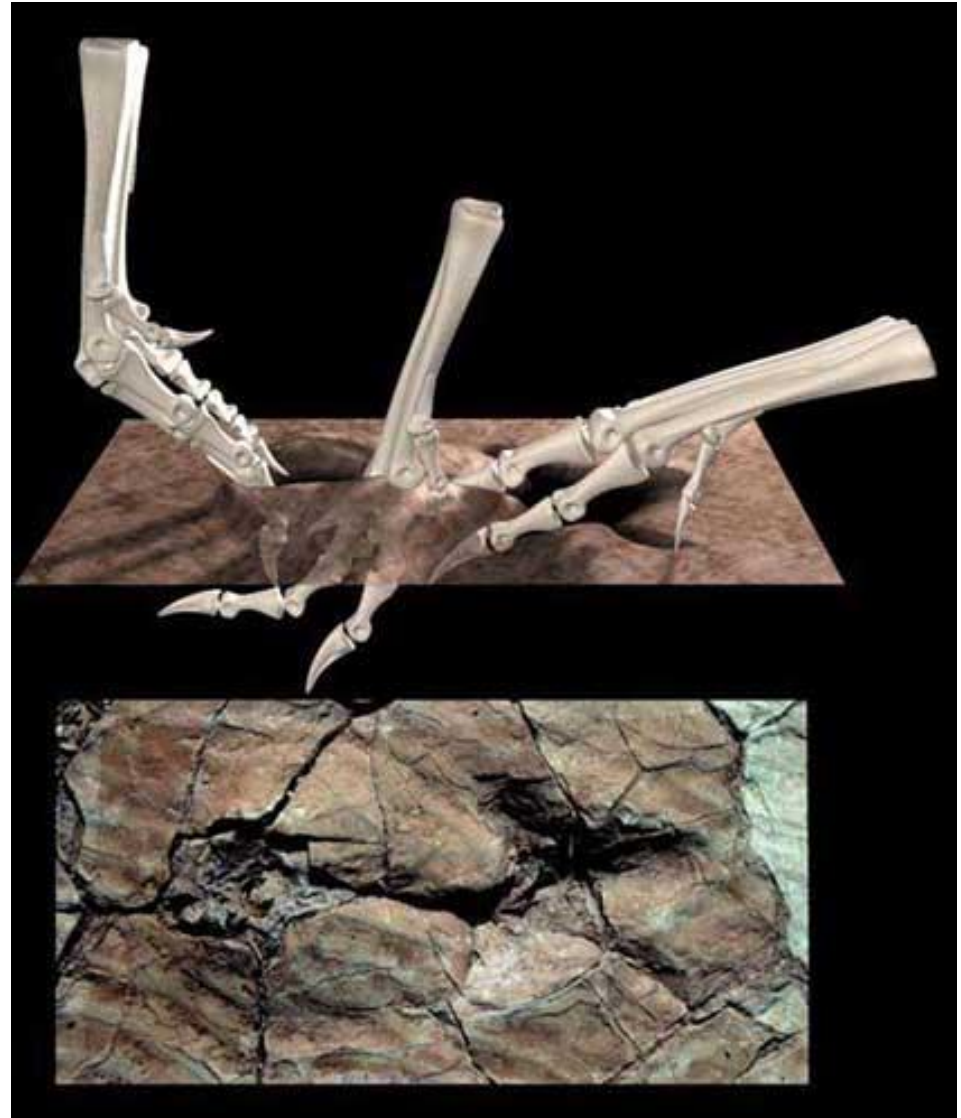
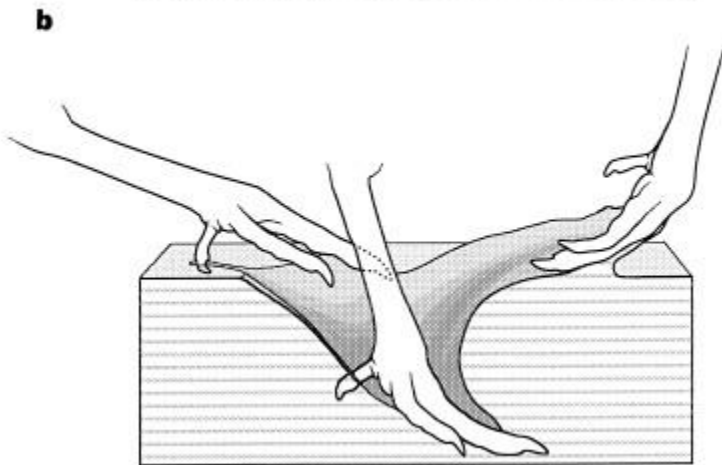
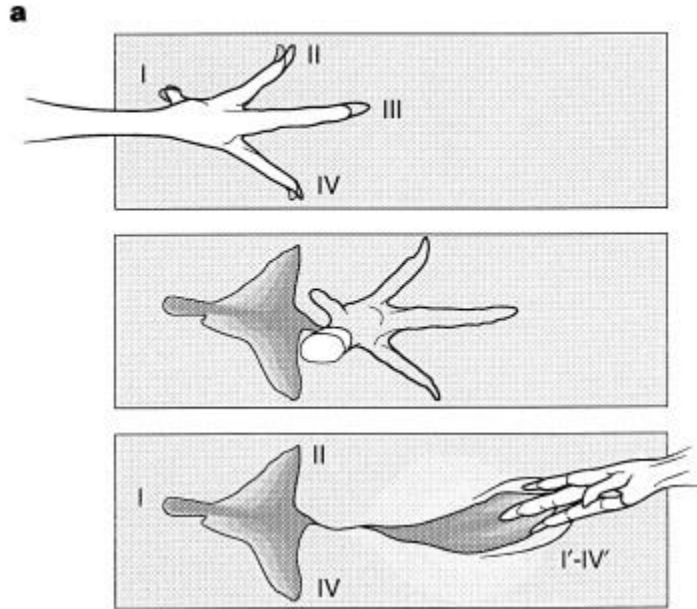
Iconologia: importância para paleontologia e geologia

Paleobiologia de grupos extintos: comportamento e biomecânica



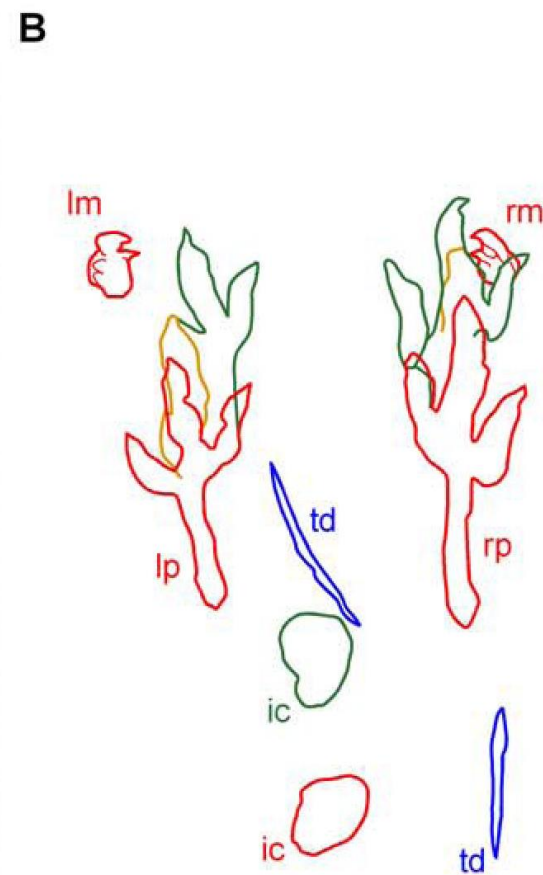
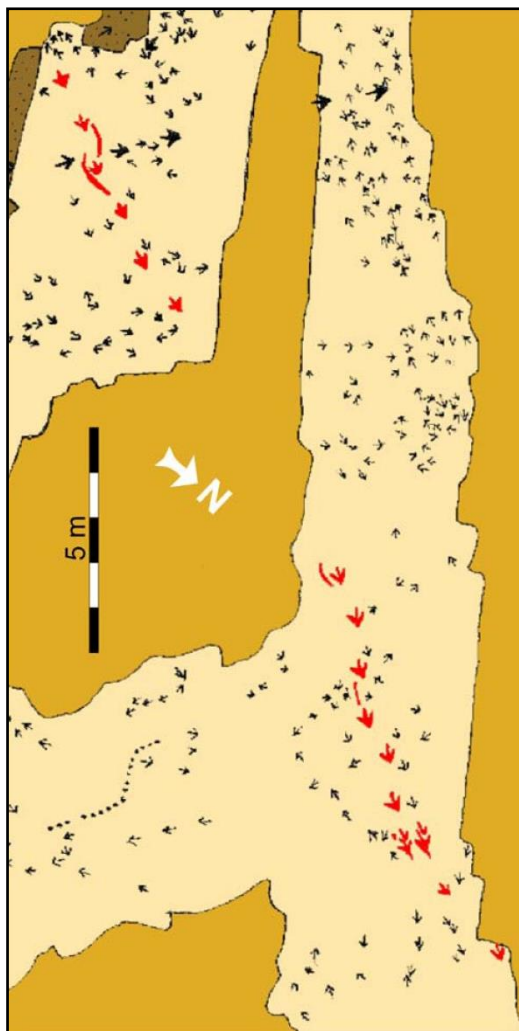
Iconologia: importância para paleontologia e geologia

Paleobiologia de grupos extintos: comportamento e biomecânica



Iconologia: importância para paleontologia e geologia

Paleobiologia de grupos extintos: comportamento e biomecânica



Iconologia: importância para paleontologia e geologia
Paleobiologia de grupos extintos: comportamento e biomecânica

