

Geologia como Ciência Histórica

- O pensamento geológico (registro geológico, tempo geológico, dimensões e complexidades, princípios geológicos)
- Características da pesquisa em geociências (abstração, especulações, hipóteses e modelos)
- Ciências experimentais *versus* ciências históricas
- Método das múltiplas hipóteses de trabalho

Método Científico

- ❑ **Pergunta/Problema:** identificação de um fenômeno no universo que pede explicação.
 - ❑ Conhecimento prévio
- ❑ **Geração de hipóteses:** explicação provisória para o fenômeno.
- ❑ **Experimentação:** testar a hipótese para ver se é verdadeira ou falsa.
 - ❑ Obter resultados
 - ❑ Análise de resultados
- ❑ **Generalização:** análise e conclusão visando se a hipótese pode ser extrapolada para outros contextos.

Positivismo Lógico

□ Objetivo

- A descoberta da verdade científica pode e deve ser separada de motivações pessoais, políticas, culturais, etc.

□ Empírico

- Distinção rigorosa da observação (experimento/fato) e teoria.

□ O método científico

- consiste de um **conjunto único** e identificável de procedimentos lógicos aplicáveis a **todos os campos de estudo**
- nos oferece a **única forma** confiável de **saber**

Questionamentos

- Popper (1953), Kuhn (1970), Feyerabend (1975), entre outros autores.
- A existência do *método científico ideal e único* é um mito.

“Diferentes” métodos científicos

Método Científico

- Teoria / Conhecimento prévio
- Problema
- Hipóteses
- Investigação/Experimentação
- Análise
- Generalização

Necessidade de cada área

- Física/Química
- Ciências Sociais/ Ciências políticas
- Geologia



Geociências

Qual o **seu** método científico?

História das Geociências

- Ciências Naturais no mundo antigo
- Idade média e renascimento: Ciência vs Religião
- Fundamentos da Geologia: 1780 – 1830
- Desenvolvimento da Geologia nos Séculos 19 e 20

Quais as características das geociências?



Geociências

- “As Ciências da Terra incluem as especialidades científicas que estudam a **composição, estrutura e processos dinâmicos** do nosso Planeta ao longo de sua **história**”

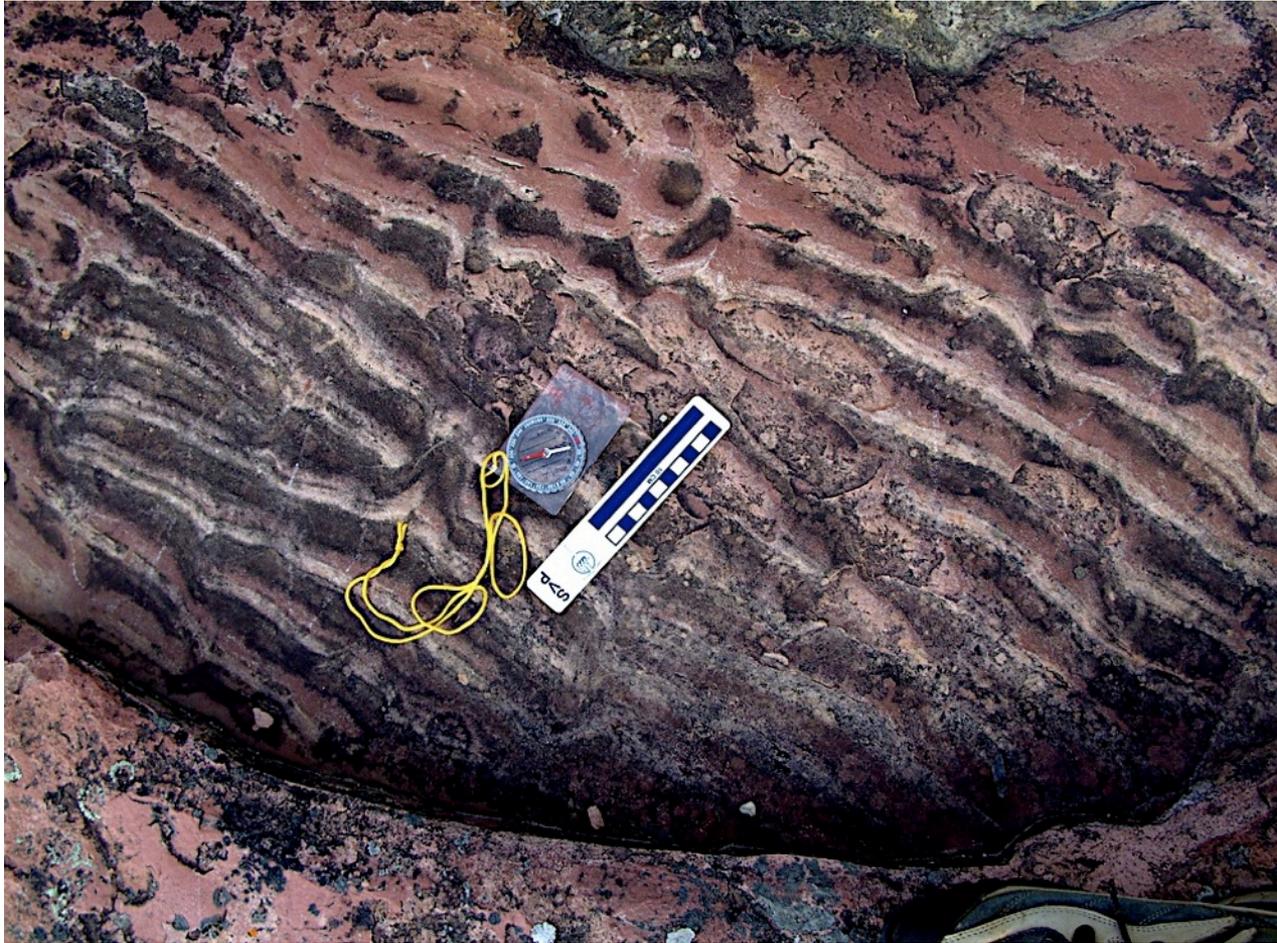
Teixeira et al – Decifrando a Terra

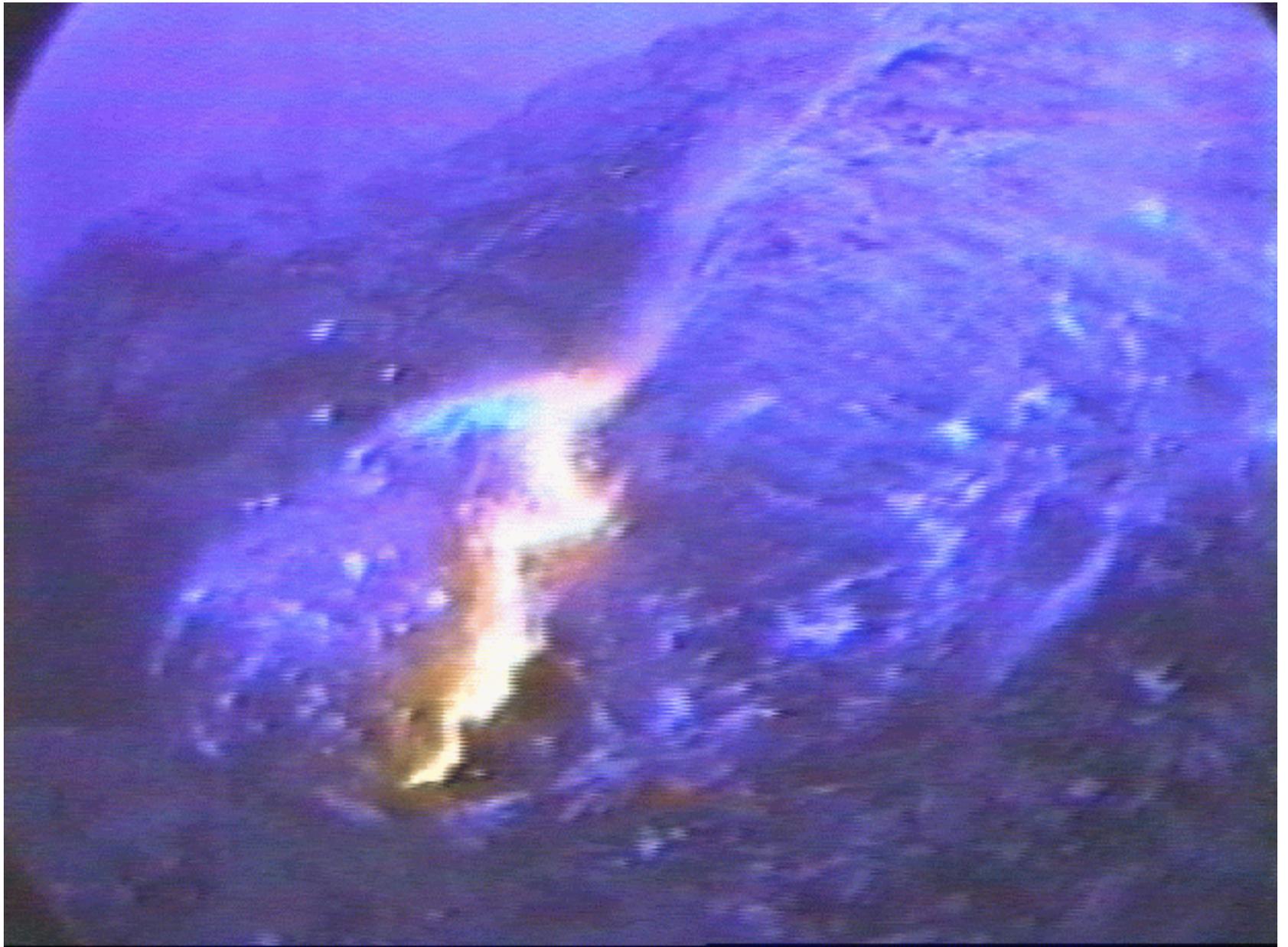
Geociências

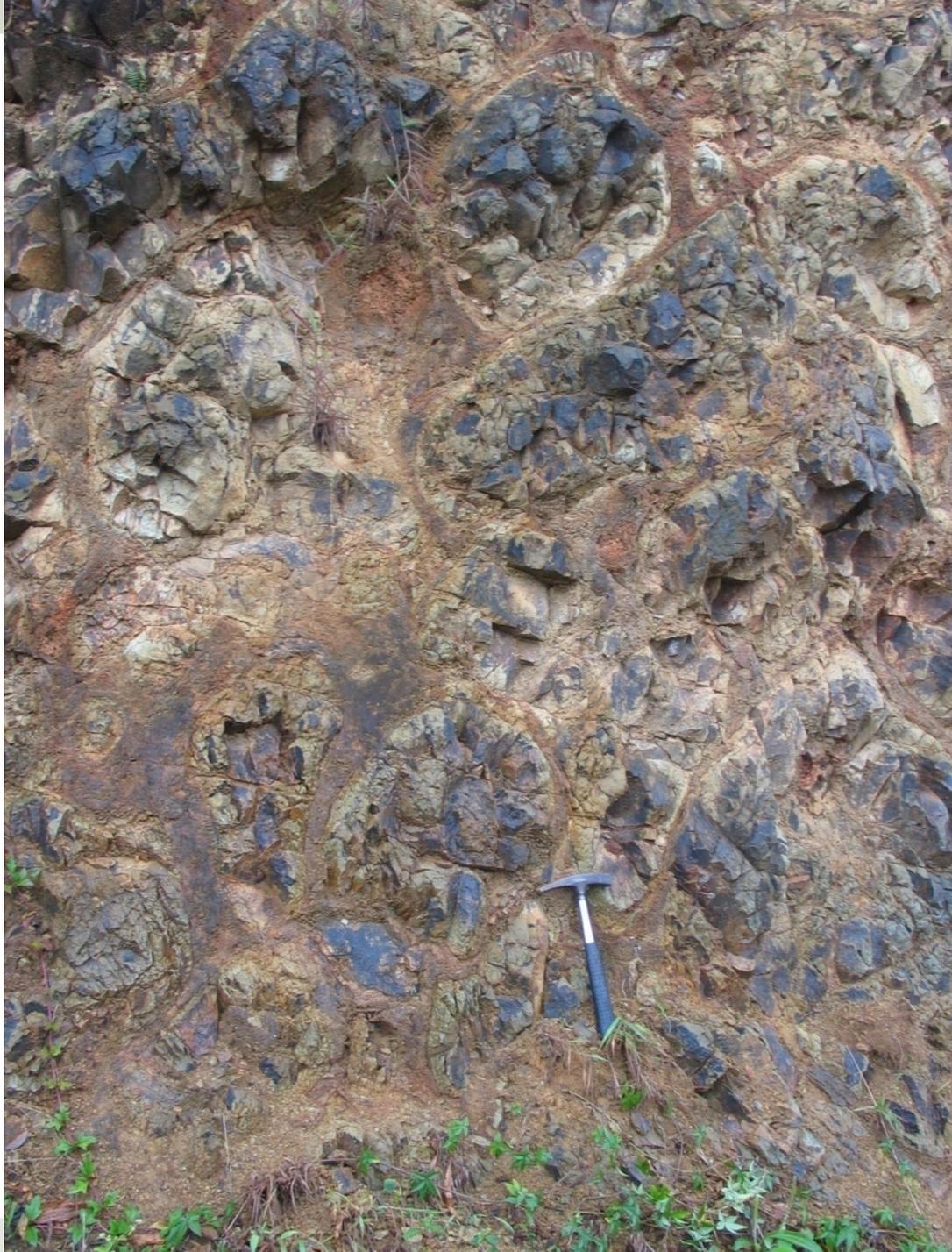
- ▣ O objetivo das geociências é **descrever** e **entender** os processos, constituição e composição da **Terra atual**, bem como estabelecer as relações existentes entre eles, e assim **interpretar** produtos e sequências da sua **história** " mais antiga" .

Rhodes et al. (2008) – Language of the Earth















©2001 Brooks/Cole - Thomson Learning



Geociências

▣ Materiais geológicos

▣ Processos geológicos

História geológica

O que se pode reconstruir da história geológica?

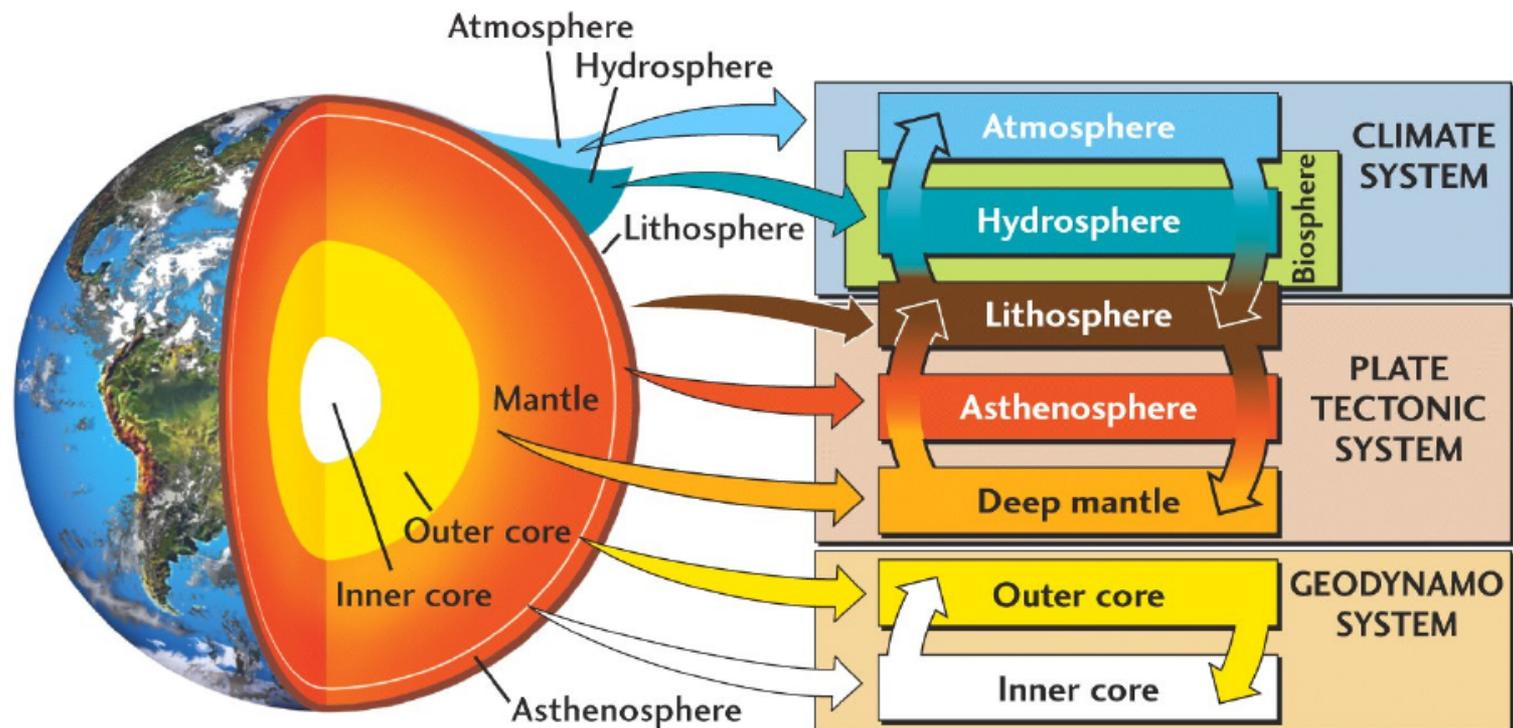
- Ambientes geológicos: regimes físicos e químicos, localização na Terra (superfície, crosta, manto)
- Geografia: paleocontinentes e oceanos, relevo
- Clima: quente/frio, úmido/árido, zoneamento climático
- Relações de organismos entre si e com o meio-ambiente: origem, evolução, paleoecologia, irradiação, extinção; indicadores paleoambientais
- Casos antigos de escorregamentos de terra
- Casos antigos de poluição
- etc.

Pensamento geológico

- É **sistêmico** (o planeta deve ser visto como algo único e integrado)
- Tem um contexto **temporal** (tempo geológico)
- Tem um contexto **espacial** (tamanho de um planeta)
- Depende da observação de **materiais geológicos** (registro geológico)
- Segue certos **princípios geológicos**

Componentes maiores do Sistema Terra

THE EARTH SYSTEM IS ALL PARTS OF OUR PLANET AND THEIR INTERACTIONS



Pensamento geológico

- É **sistêmico** (o planeta deve ser visto como algo único e integrado)
- Tem um contexto **temporal** (tempo geológico)
- Tem um contexto **espacial** (tamanho de um planeta)
- Depende da observação de **materiais geológicos** (registro geológico)
- Segue certos **princípios geológicos**

Tempo Geológico

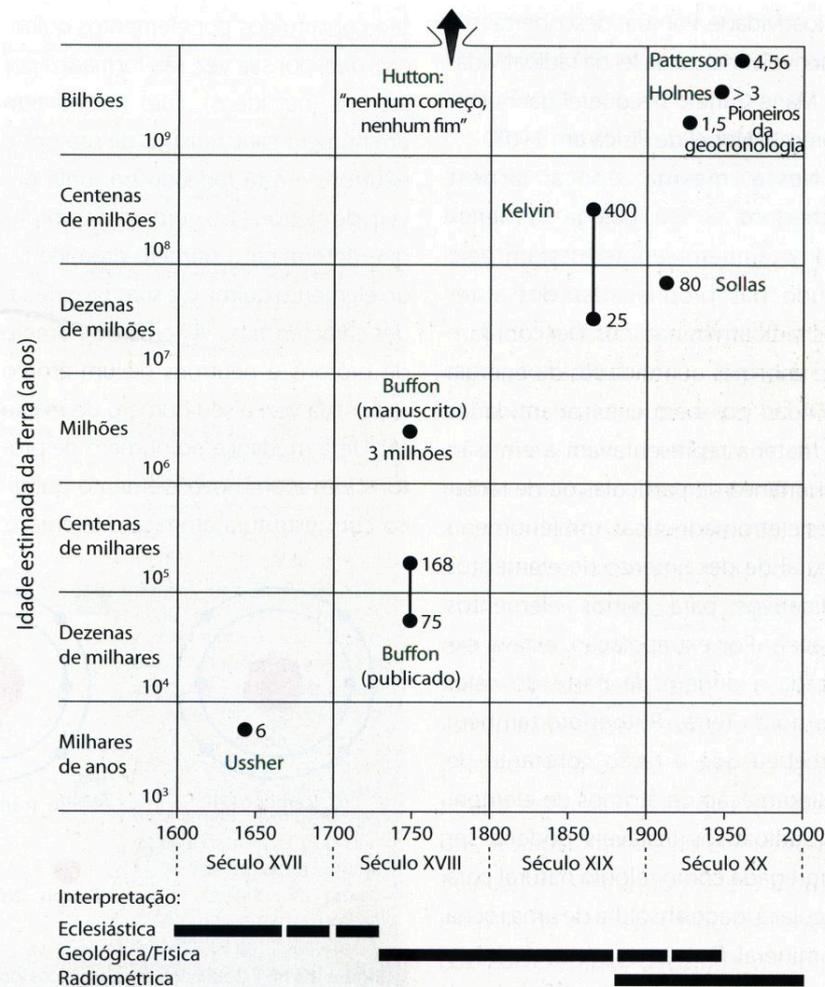


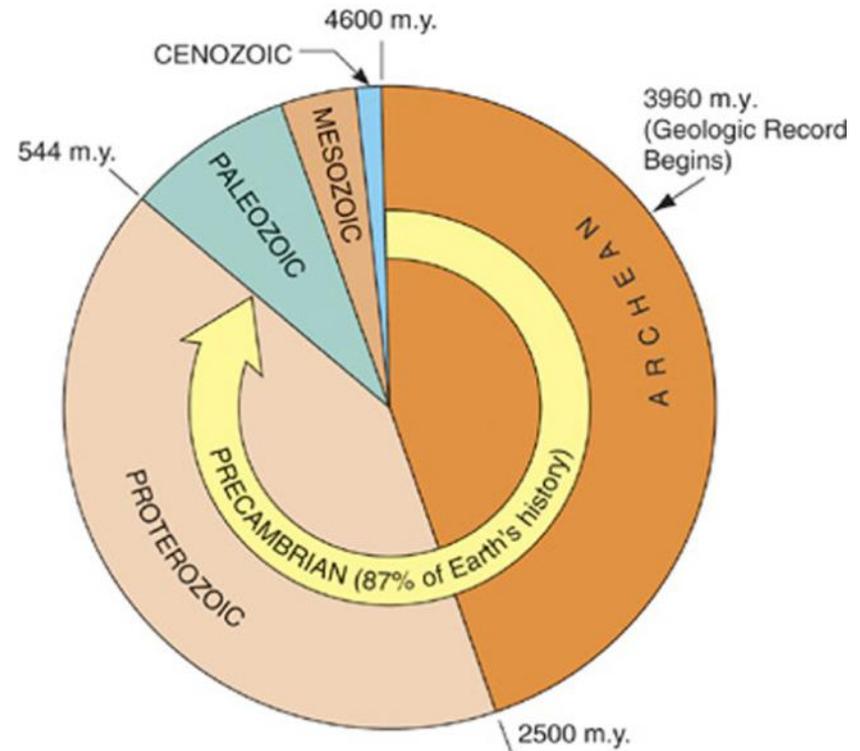
Figura 10.13 – Desenvolvimento histórico da concepção da magnitude do tempo geológico. Fonte: Modificado de Judson *et al.*, 1987.

Tempo Geológico

Eon	Era	Millions of years ago
Phanerozoic	Cenozoic	65.0
	Mesozoic	248
	Paleozoic	545
Proterozoic	No subdivisions in common use	
	2500	
	4000	
Archean	4550	
Hadean	4550	

Era	Period	Millions of years ago	
Cenozoic	Quaternary	1.8	
	Tertiary	65.0	
		144	
Mesozoic	Cretaceous	144	
	Jurassic	213	
	Triassic	248	
	Permian	286	
Paleozoic	Carboniferous	Pennsylvanian	320
		Mississippian	360
	Devonian	408	
	Silurian	438	
	Ordovician	505	
	Cambrian	545	
	Precambrian	545	

Epoch	Millions of years ago
Holocene	0.01
Pleistocene	1.8
Pliocene	5.1
Miocene	24.6
Oligocene	38.0
Eocene	54.9
Paleocene	65.0



Evento	Duração	Resultado
Queda de meteorito	segundos	Onda de choque, devastação local a global, cratera
Mudança de velocidade em correntezas	segundos	Deposição de uma lâmina de sedimento
Tempestades (inclusive furacões), correntes gravitacionais de turbidez e <i>tsunamis</i>	minutos, horas ou dias	Depósitos sedimentares proporcionais à magnitude do evento (tempestitos, turbiditos, tsunamitos)
Erupções vulcânicas	horas, dias	Derrames de lava, depósitos piroclásticos
Inundações	semanas	Deposição de camadas típicas (inunditos)
Ciclos climáticos sazonais	meses, ano	Formação de varves (varvitos); crescimento sazonal ou anual em árvores e outros organismos
Alternâncias climáticas regionais	centenas a milhares de anos	Alternâncias nas características dos sedimentos
Alterações em processos no núcleo da Terra	10^3 - 10^5 anos	Geração de anomalias magnéticas no assoalho oceânico; inversão dos polos magnéticos
Mudanças na atividade vulcânica (produção de assoalho oceânico) nas dorsais meso-oceânicas	10^3 - 10^5 anos	Mudanças no nível do mar em escala global (de dezenas até centenas de metros); reflexos nos regimes de tensões dentro das placas
Mudanças globais no regime climático	10^5 - 10^6 anos	Mudanças nos estilos de deposição, extinções, novidades evolutivas

Tabela 20.5 – Duração de eventos importantes na história geológica da Terra. Fonte: Z. Kukul, 1990.

Pensamento geológico

- É **sistêmico** (o planeta deve ser visto como algo único e integrado)
- Tem um contexto **temporal** (tempo geológico)
- Tem um contexto **espacial** (tamanho de um planeta)
- Depende da observação de **materiais geológicos** (registro geológico)
- Segue certos **princípios geológicos**

Contexto espacial

Geocentrismo => Heliocentrismo

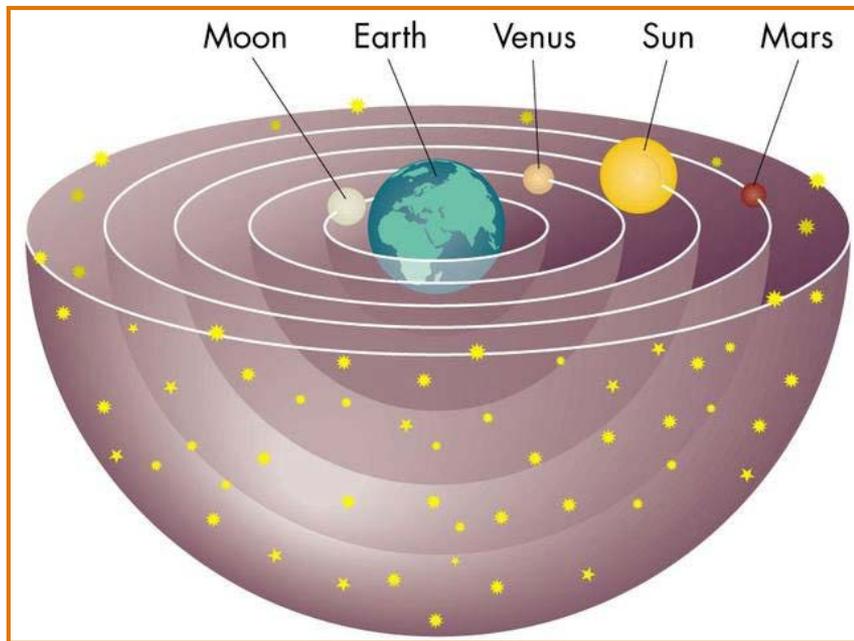
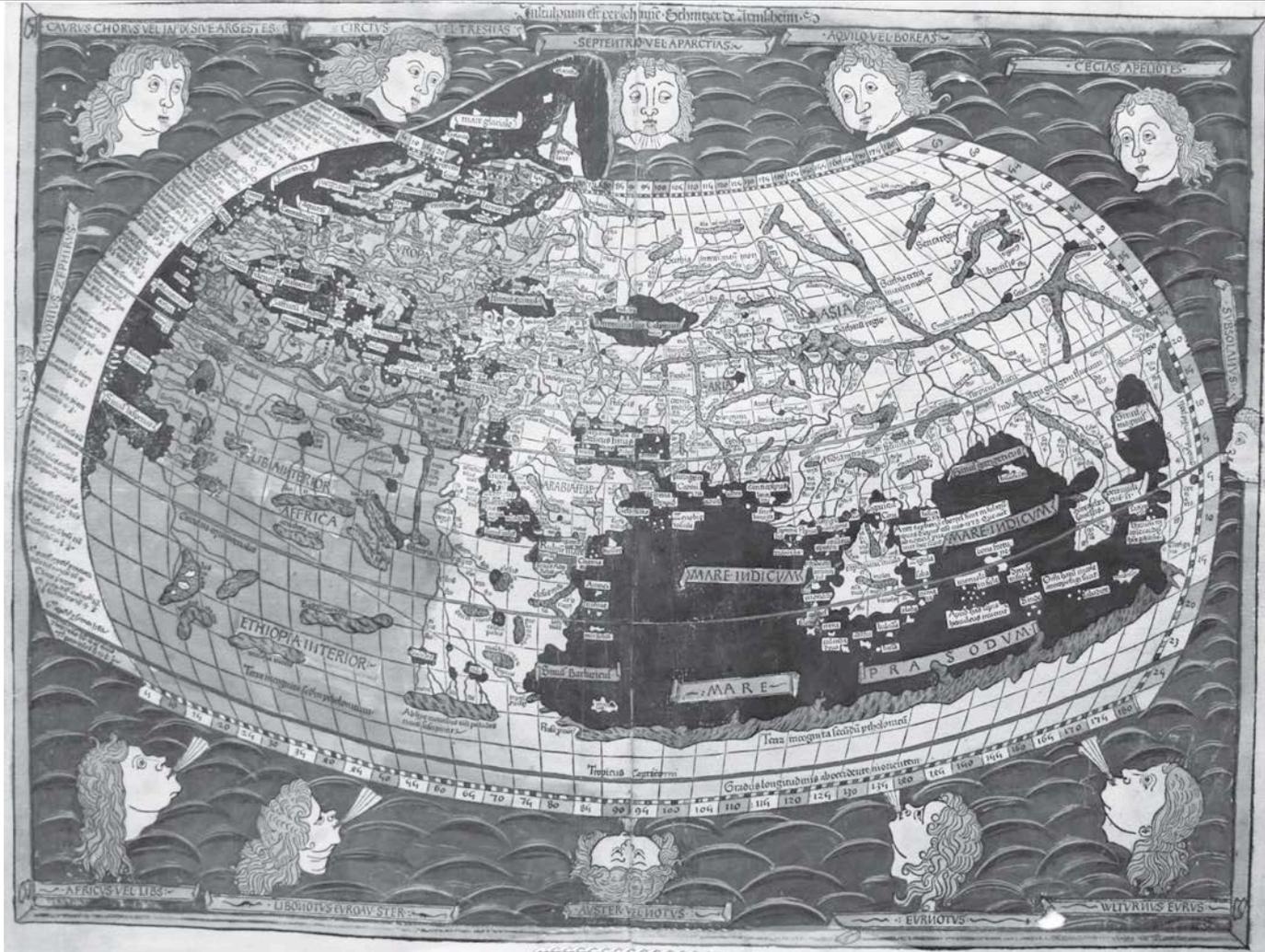


Figura 2 – Este desenho do manuscrito original de Copérnico colocou o Sol no centro do universo.

Contexto espacial



Late Medieval map plotted using the coordinates of Ptolemy's second century A.D. Geography

Contexto espacial



Abraham Ortelius (1527-1598) cartógrafo holandês - criador do primeiro "Atlas moderno"

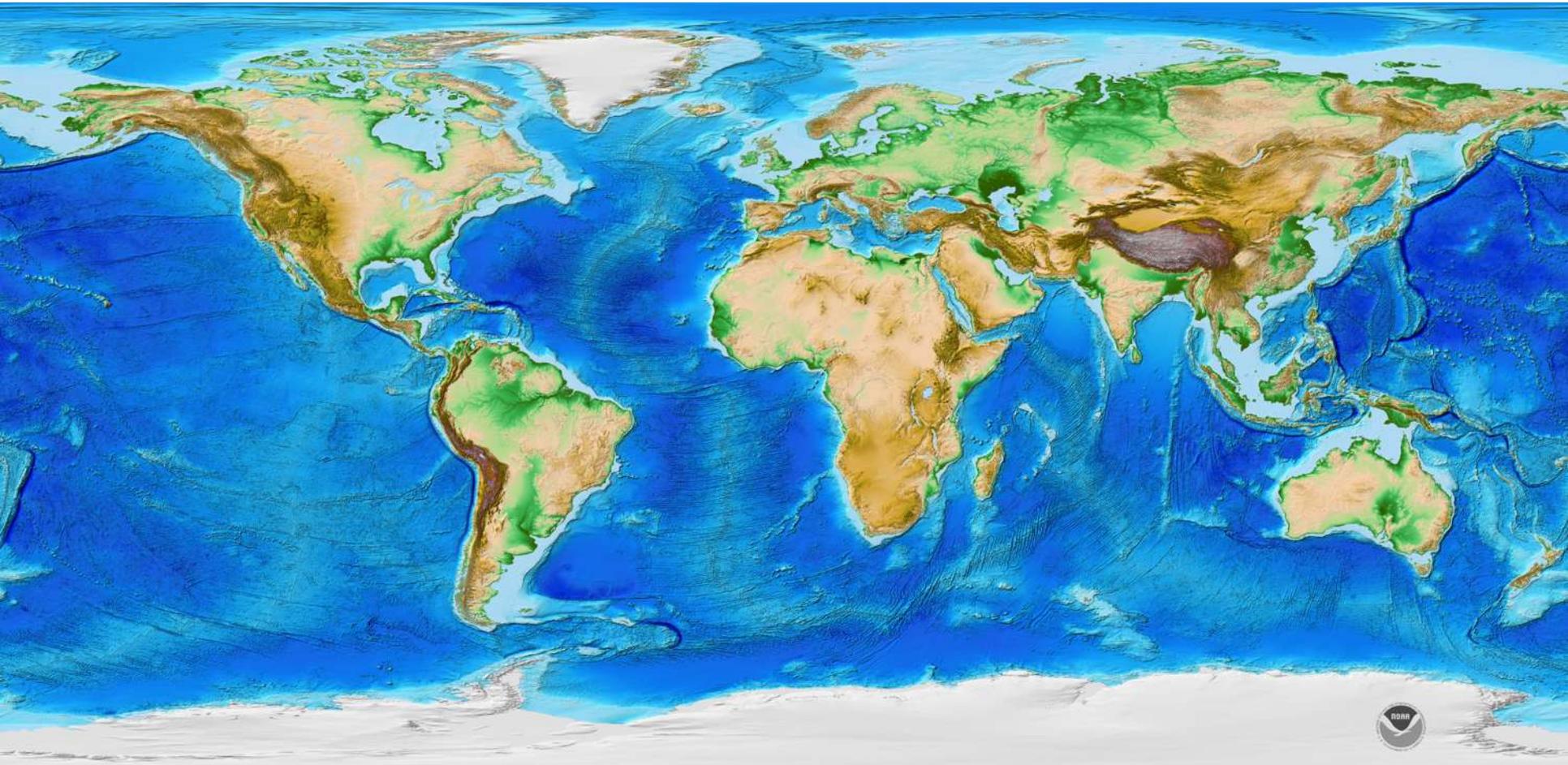
"The vestiges of the rupture reveal themselves, if someone brings forward a map of the world and considers carefully the coasts of the three [continents - Europe, Africa and America]."

A. Ortelius (1596) - *Thesaurus Geographicus*

TYPVS ORBIS TERRARVM.



QVID EI POTEST VIDERI MAGNVM IN REBVS HVMANIS, CVI AETERNITAS
OMNIS, TOTIVSQUE MVNDI NOTA SIT MAGNITVDO. CICERO:



Como explorar o interior da Terra?

- Minas mais profundas: 3,6 km (África do Sul)
- Sondagens: 8 a 10 km
 - Recorde: 12.260 m na península de Kola, Rússia, ou seja, 0,2% do raio do planeta (6370 km)



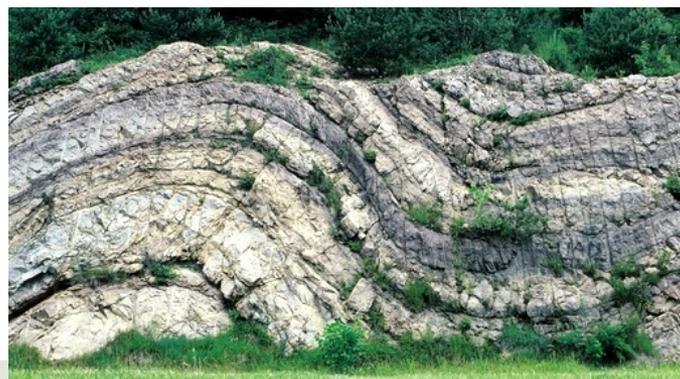
Cava da mina de fosfato em Cajati, Vale do Ribeira, SP

Pensamento geológico

- É **sistêmico** (o planeta deve ser visto como algo único e integrado)
- Tem um contexto **temporal** (tempo geológico)
- Tem um contexto **espacial** (tamanho de um planeta)
- Depende da observação de **materiais geológicos** (registro geológico)
- Segue certos **princípios geológicos**

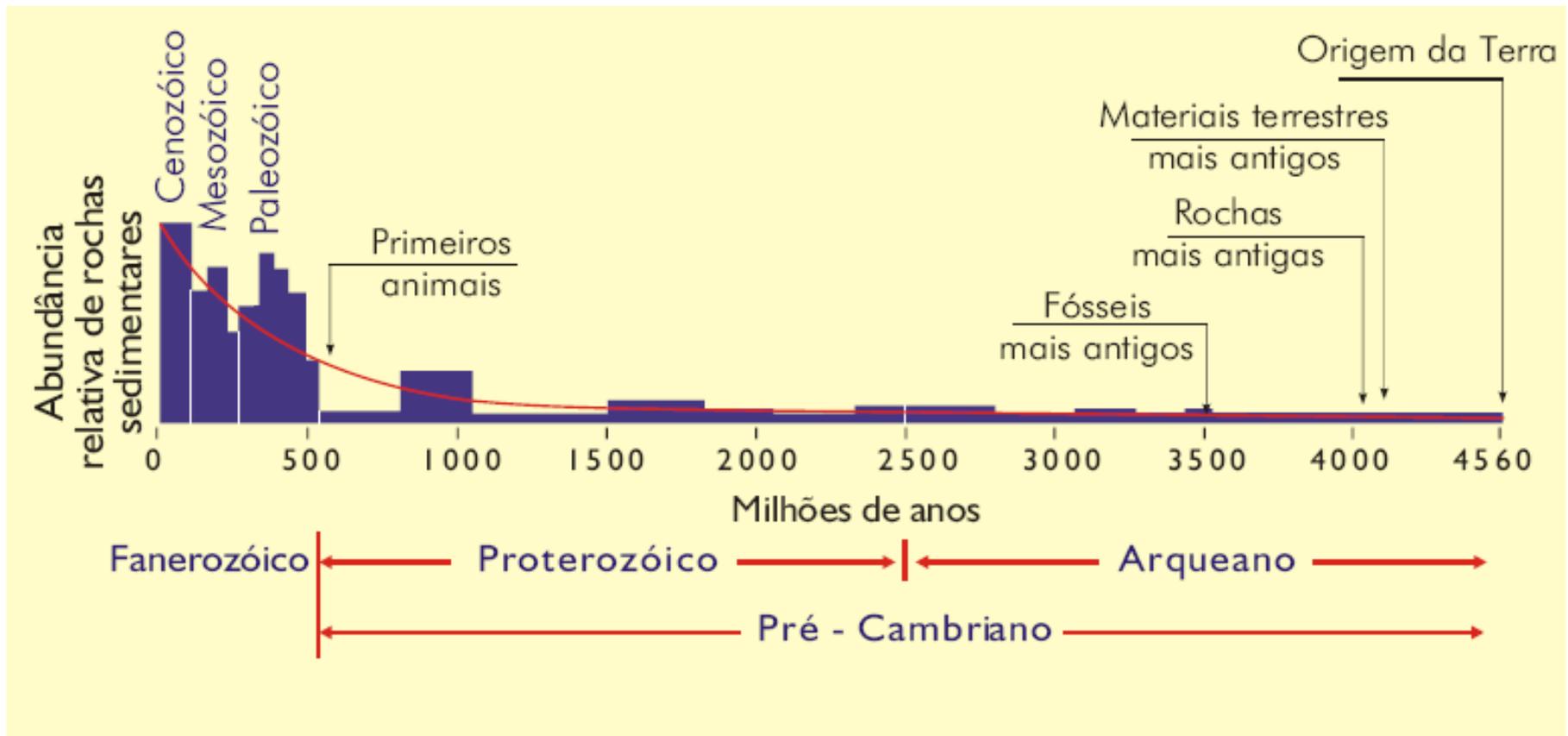
Registro geológico

Minerais, rochas, fósseis, estruturas, etc...



Registro geológico

O registro geológico é incompleto!



Princípios geológicos



1. Continuidade lateral
2. Horizontalidade original
3. Superposição
4. Causas naturais

Nicolau Steno (1638-1686)

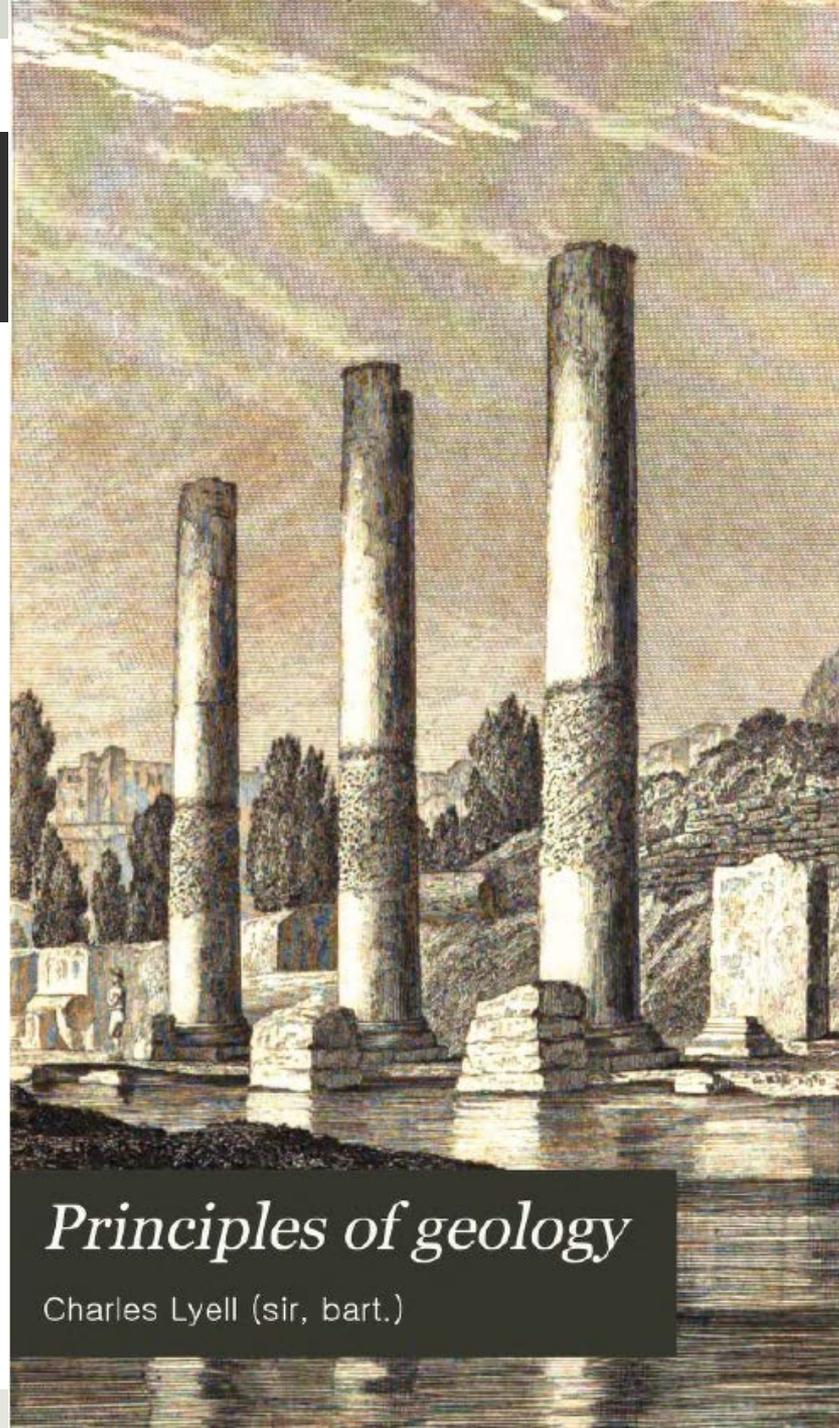
5. Relações discordantes

James Hutton (1726-1797)

6. Sucessão biótica

William Smith (1769-1839)
Georges Cuvier (1769-1832),
Alexandre Brongniart (1770-1847)

7. Atualismo/Uniformitarismo Sir Charles Lyell (1797-1875)



Principles of geology

Charles Lyell (sir, bart.)

PRINCIPLES

OF

G E O L O G Y :

BEING

AN INQUIRY HOW FAR THE FORMER CHANGES OF
THE EARTH'S SURFACE

ARE REFERABLE TO CAUSES NOW IN OPERATION.

BY

CHARLES LYELL, Esq. F.R.S.

PRESIDENT OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF LONDON.

“ Amid all the revolutions of the globe, the economy of Nature has been uniform, and her laws are the only things that have resisted the general movement. The rivers and the rocks, the seas and the continents, have been changed in all their parts; but the laws which direct those changes, and the rules to which they are subject, have remained invariably the same.”

PLAYFAIR, *Illustrations of the Huttonian Theory*, 1784.

IN FOUR VOLUMES.

VOL. I.

THE FOURTH EDITION.

LONDON:

JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.

1835.

287.



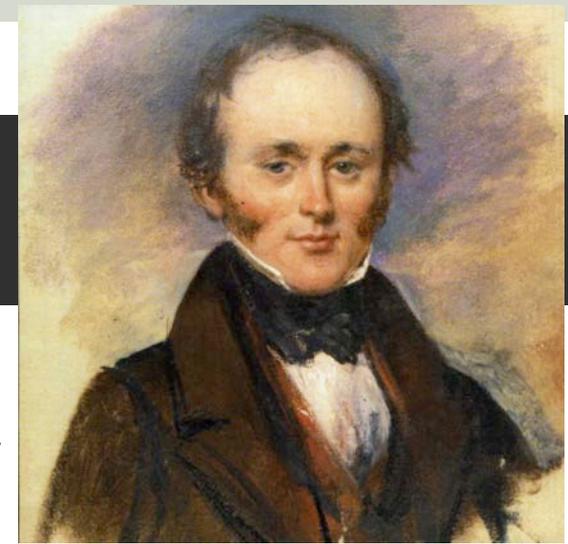
Principles of Geology (Lyell, 1835)

“ Amid all the revolutions of the globe, the economy of Nature has been uniform, and her laws are the only things that have resisted the general movement. The rivers and the rocks, the seas and the continents, have been changed in all their parts ; but the laws which direct those changes, and the rules to which they are subject, have remained invariably the same.”

PLAYFAIR, *Illustrations of the Huttonian Theory*, § 374.

“Em meio a todas as revoluções do planeta, o modo de atuação da Natureza tem sido uniforme, e suas leis são as únicas coisas que resistem ao movimento geral. Os rios e as rochas, os mares e os continentes, foram alterados em todas as suas partes, mas as leis que orientam essas mudanças, e as regras a que estão sujeitas, mantiveram-se invariavelmente a mesma.”

Princípios geológicos



“O presente é a chave do passado”

Sir Charles Lyell (1797-1875)

- O que quer dizer?
 - as características dos materiais e processos não mudam ao longo do tempo;
 - todas essas características existem hoje e podem, em princípio, serem estudadas;
 - essas características e suas relações permitem a explicação da história justamente por serem não históricas.

Características do método científico nas Geociências

- ▣ O estudo de estados, processos e componentes existentes na Terra envolve **a aplicação de outras ciências**, especialmente a física, química e biologia
 - ▣ A Geologia é uma **ciência derivativa/secundária**.

- ▣ A geologia é uma **ciência histórica e hermeneutica** (Frodeman, 1995).
 - ▣ Hermeneutica: teoria da interpretação

Características do método científico nas Geociências

- A **abstração** utilizada pelos geólogos é muito diferente daquela usada em outras ciências (van Loon, 2004):
 - Admite-se a existência de alguns fenômenos geológicos que nunca foram vistos ou presenciados.
 - Há processos que não deixam (ou deixaram) qualquer tipo vestígio;
 - Há evidências que não foram reconhecidas como vestígios de determinados processos;

Características do método científico nas Geociências

- ▣ As geociências trabalham com:
 - ▣ **especulações**: ideias lançadas sem um método possível para verificar sua exatidão;
 - ▣ **hipóteses**: se métodos potenciais para validação são apresentados;
 - ▣ **modelos**: se uma ordem aparentemente lógica de causas e efeito é apresentada, acompanhado de dados físicos ou matemáticos para apoiar a suposta sequência de eventos,

Características do método científico nas Geociências

- van Loon (2004) conclui sobre especulações, hipóteses e modelos que:
 - Não diferem fundamentalmente um do outro.
 - Lançar novas ideias, mesmo especulativas, mas que tenham um raciocínio lógico, é fundamental para o progresso das geociências.
 - Hipóteses e especulações podem desencadear pesquisas que irão aprofundar o conhecimento das complexas relações da Terra.



Ciência experimental
versus
Ciência histórica

Ciência experimental ou histórica?

- “they can never be tested by experiments, and so they are unscientific... No science can ever be historical.” (Henry Gee, 1999, editor da revista *Nature*)

Será???

Ciência experimental ou histórica?

- A evidência foi obtida por manipulação ou observação?
- A qualidade da pesquisa é avaliada pela eficiência de sua previsão ou explicação?
- O objetivo da pesquisa é encontrar leis gerais ou estabelecer as prováveis causas?
- Os objetos de estudo são entidades uniformes (é intercambiável) ou entidades complexas (cada uma é única)?

Ciência experimental ou histórica?

□ Experimental:

- experimentos controlados;
- manipulação de fenômenos para teste de teorias;
- qualidade medida pela consistência das previsões;
- teoria expressa uma lei geral ou universal;
- estuda entidades uniformes (átomos, genes, etc).

□ Histórica:

- observações de produtos com causas no passado;
- manipulação impossível;
- possibilidade de uma longa sequência de eventos interferentes;
- reúne pistas naturais que evidenciem o provável fenômeno;

Ciência histórica

- Teoria da deriva dos continentes
- Teoria da extinção dos dinossauros
- Teoria do Big Bang para a origem do universo



Ciência histórica

- O que essas hipóteses tem em comum?
 - explicação de fenômenos observáveis em relação a causas passadas

Geociências

- Ciência com aspectos históricos e não históricos:
 - O processo de intemperismo e erosão (não histórico)
 - As escarpas da Chapada Diamantina (histórico e único)



Geociências

- Aspectos de ciência experimental (materiais e processos do planeta).
 - Ex.: Experimentos de cristalização de magmas

Ex.: Experimentos de cristalização de magmas

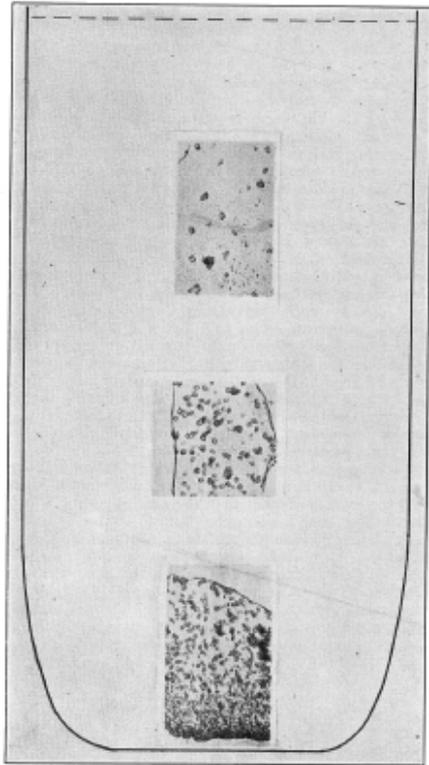


FIG. 1. Olivine (forsterite) crystals in glass showing position of sections in the crucible. $\times 10$.

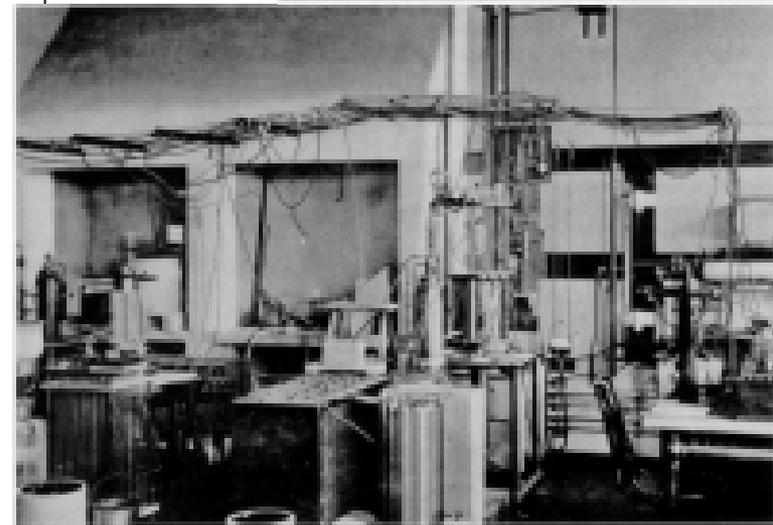
ART. X.—*Crystallization — Differentiation in Silicate Liquids*; by N. L. BOWEN.

Introduction.

EVER since Darwin pointed out the possible importance of the sinking of crystals in a fluid magma, this process has received some attention from geologists when considering the causes that have brought about the observed variety of igneous rocks. Though having a few ardent advocates like Schweig, the process has met on the whole with little favor. The question is not infrequently dismissed with the statement that there is no evidence that crystals sink in magmas. This summary rejection of the process is quite inconclusive. Such a statement, to have any weight, should be accompanied by a fair discussion of the kind of evidence that would be expected and a convincing proof that such evidence is absent. The importance of the process must be judged by the extent to which observed results agree with the results to be expected if such a process were operative. Examined in this way it soon becomes apparent that the subject cannot be dismissed in a sentence, for many igneous bodies showing density stratification forbid it. In the writer's opinion the sinking of crystals will not only escape summary rejection as a result of such examination, but will be accepted as of very fundamental importance. In this paper discussion will be avoided of the whole question of the extent to which observed field-facts indicate the importance of the sinking of crystals in magmas. The purpose of the paper is principally to describe a few experiments which illustrate the operation of the process in mineral solutions from which crystals are forming and to apply the results to one or two occurrences.

In a recent paper on "The Ternary System: Diopside-Forsterite-Silica," the writer discussed the results which would follow from the sinking of crystals in some of the liquids of the system.* These liquids are rather more fluid than most *artificial anhydrous* melts, and among such melts should be rather favorable for the sinking of crystals. It was determined, therefore, to hold a small crucible of one of these melts at a temperature at which it should consist of liquid and crystals and to observe what effects of this kind could be obtained. The advantages of using artificial melts which had formerly been completely investigated are many. It was known at what temperature the mixture should be held to obtain the desired effect. No com-

* This Journal (4), xxxviii, 258, 1914.



Ciência histórica

Pesquisa histórica

- explicar fenômenos observáveis por causas não observáveis, e que não podem ser totalmente reproduzidas em laboratório.



- não é possível falsear!?

Experimentos clássicos

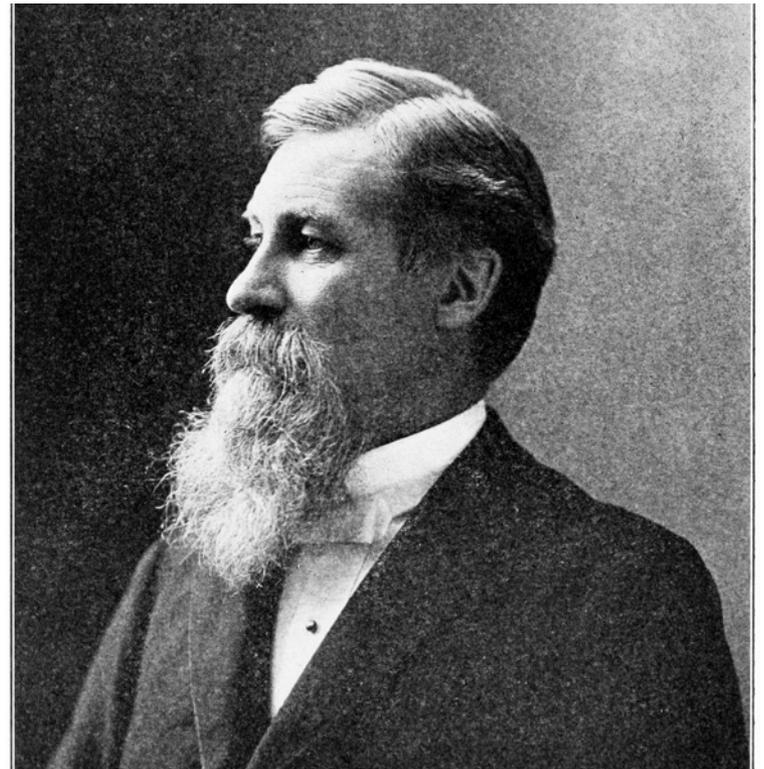
- Fazer previsões
- Testar previsões em ambiente controlado



- possível falsear!?

T.C. Chamberlin (1897)

- Método das múltiplas hipóteses de trabalho
- Teste de hipóteses sobre eventos passados



T.C. Chamberlin (1897)

- Fases de desenvolvimento na história da evolução intelectual:
 - método da teoria dominante
 - método das hipóteses de trabalho
 - método das múltiplas hipóteses de trabalho

T.C. Chamberlin (1897)

■ Teoria dominante

- explicação prematura passa a uma teoria tentativa, depois a uma teoria adotada e finalmente a uma **teoria dominante**.
- o estímulo é dirigido no sentido de se encontrar fatos que apoiem a teoria

■ Hipóteses de trabalho

- considerado o método científico
- os fatos são buscados com o objetivo de indução e demonstração.
- A hipótese é um meio, não um fim

T.C. Chamberlin (1897)

- Método das múltiplas hipóteses de trabalho:
 - levanta-se **cada explicação racional do fenômeno** em estudo e desenvolve-se cada hipótese viável, relativa à sua natureza, causa ou origem;
 - busca-se a **imparcialidade** entre hipóteses.
 - uma explicação adequada freqüentemente envolve a **coordenação de várias causas**.

“É muito mais fácil, e aparentemente em geral mais interessante, para aqueles com menor maturidade e treinamento limitado, aceitar uma simples interpretação ou teoria e aplica-la amplamente, do que reconhecer vários fatores concorrentes e avalia-los como a verdadeira elucidação freqüentemente requer.”

Extinção do dinossauros

- Doenças?
- Mudanças climáticas?
- Vulcanismo?
 - grandes derrames de basalto na Índia (Deccan)
- Impacto de meteorito?
 - depósitos de Ir (irídio) nos limites K-T
 - quartzo com sinais de impacto nos limites K-T

mecanismo(s) causal(is)
mais provável(is)

Ciência Histórica

Múltiplas hipóteses

A pesquisa é procurar fatos e evidências que levem a uma melhor explicação para o fenômeno observado

Ciência Experimental

Focam em uma única hipótese

A pesquisa é testar a hipótese, com suas inúmeras condições que podem levar a falsos + ou -



uma não é metodologicamente inferior a outra

Geologia é uma ciência histórica

- coletamos evidências
- levantamos os suspeitos
- seguimos provas



- postulamos diferentes causas para as evidências encontradas \Rightarrow mais dados vão surgindo \Rightarrow causa mais provável

Importância da metodologia de ciências históricas na educação

- O conhecimento de ciência dos estudantes/publico leigo normalmente se limita ao modelo das ciências experimentais.
- Uma compreensão clara das diferenças metodológicas entre as ciências experimentais e ciências históricas e como elas se expressam na prática das ciências da Terra é essencial.

Dodick & Argamon (2006)

Referências sugeridas

- CHAMBERLIN, T.C., 1897. O Método das Múltiplas Hipóteses de Trabalho. *Journal of Geology*, v.5, p.837-848. Tradução Gilberto Amaral, IG-UNICAMP, 1995.
- CLELAND, C. E., 2001. Historical science, experimental science, and the scientific method. *Geology*, v. 29, p. 987-990.
- FRODEMAN, R., 1995. Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *GSA Bulletin*, v. 107, p. 960-968.
- POTAPOVA, M.S., 1968. Geologia Como uma ciência histórica da natureza. *Terrae Didática*, v.3, p. 86-90. Traduções.
- RHODES, F.H.T., STONE, R.O. & MALAMUD, B.D., 2008. *Language of the Earth: a literary anthology*. Blackwell Publishing. 328p.
- SIMPSON, G.G. 1963. Historical Science. In Albritton, C.A. (Eds.) *The Fabric of Geology*, Addison-Wesley Publishing Company, pp. 24-25, 31-33.
- van LOON, A.J., 2004. From speculation to model: the challenge of launching new ideas in the earth sciences. *Earth-Science Reviews*. v. 65, p. 305-313
- LAUDAN, R., 1987. From mineralogy to geology: the foundations of a science, 1650-1830. The University of Chicago Press, 278p. - ver capítulo 01