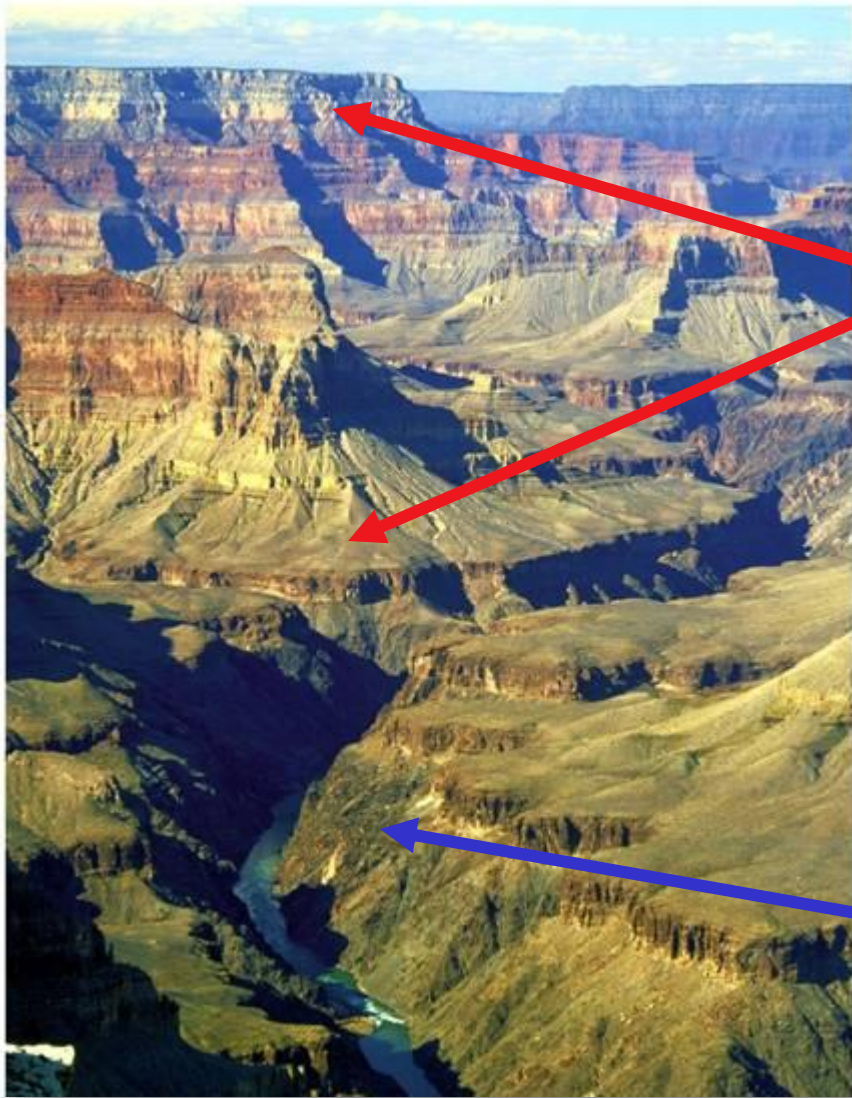


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS E DE PETRÓLEO

MATÉRIAS-PRIMAS MINERAIS
INTRODUÇÃO AO SISTEMA TERRA
CONCEITOS DE MINERALOGIA E PETROLOGIA



SISTEMA TERRA



The Grand Canyon

250 milhões de anos registrado nesse intervalo

Rocha de aproximadamente 2 bilhões de anos

FORMAÇÃO DA TERRA

“a dança dos continentes”

Terra → agregado de material fundido, cuja superfície começou lentamente a esfriar, originando uma crosta rochosa primitiva. Aglutinação e fragmentação das massa continentais diversas vezes até formar a **PANGEA** (última importante aglutinação de continentes)



- **2,0 Ga** → 3 microcontinentes: Ártica, Atlântica, Ur
- **de 2,0 a 1,3 Ga** → fragmentação dos microcontinentes - fragmentos colidindo entre si para formar novas configurações continentais
- **de 1,3 a 1,0 Ga** → junção dos principais blocos da crosta continental originando o primeiro supercontinente → **Rodínia**, rodeado pelo oceano **Miróvia**
- **de 1 Ga e 800 milhões anos** → fragmentação do Rodínia
- **800 Ma e 500 Ma** → formação do supercontinente **Gondwana** e outros dois menores **Laurentia-Báltica** e **Sibéria**
- **230 Ma** → junção dos massas continentais para formação do supercontinente **Pangea**, circundado por um único oceano denominado **Pantalassa**
- Fragmentação da Pangea há 200 Ma. Separação entre América e África, Austrália e Antártica, Índia iniciou sua viagem para hemisfério norte, onde colidiu com a Ásia e formou a Cordilheira dos Himalaias

PANGEA



Fig. 6.1 Pangea e sua divisão em dois continentes, Laurásia a norte e Gondwana a sul, pelo Mar de Tethys.

SUPERCICLOS GEOLÓGICOS

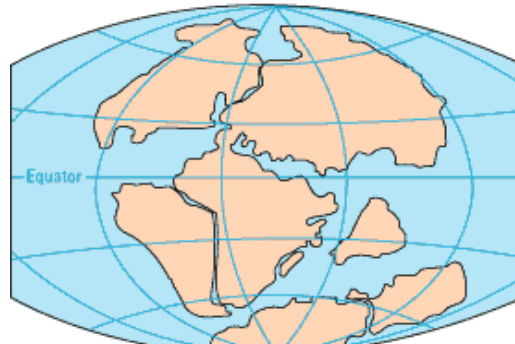
DA PANGEIA
AOS DIAS DE
HOJE



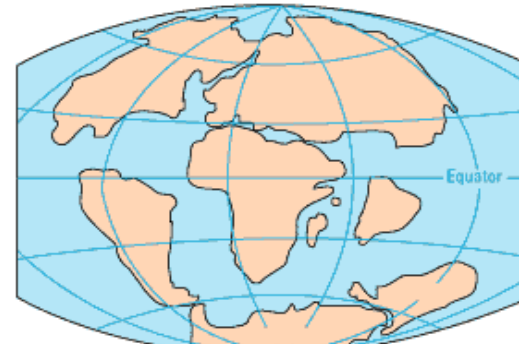
PERMIANO
248 milhões de anos



TRIÁSSICO
205 milhões de anos



JURÁSSICO
142 milhões de anos



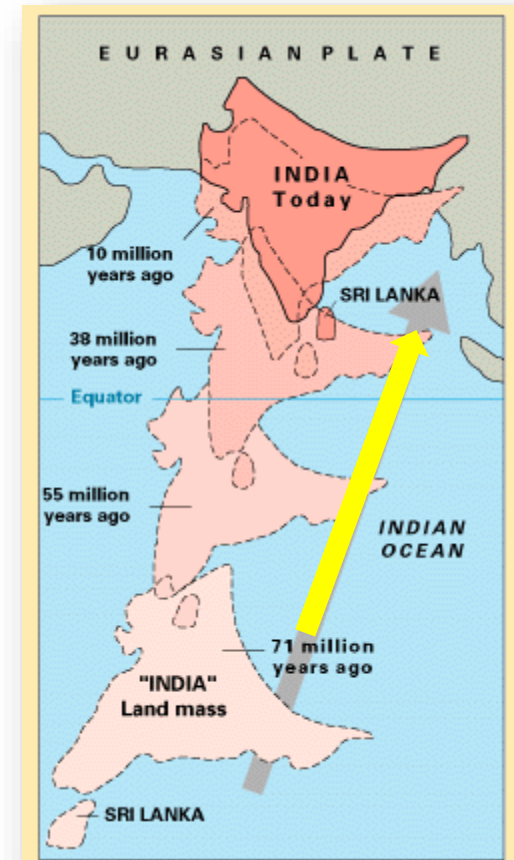
CRETÁCEO
35 milhões de anos



ATUAL

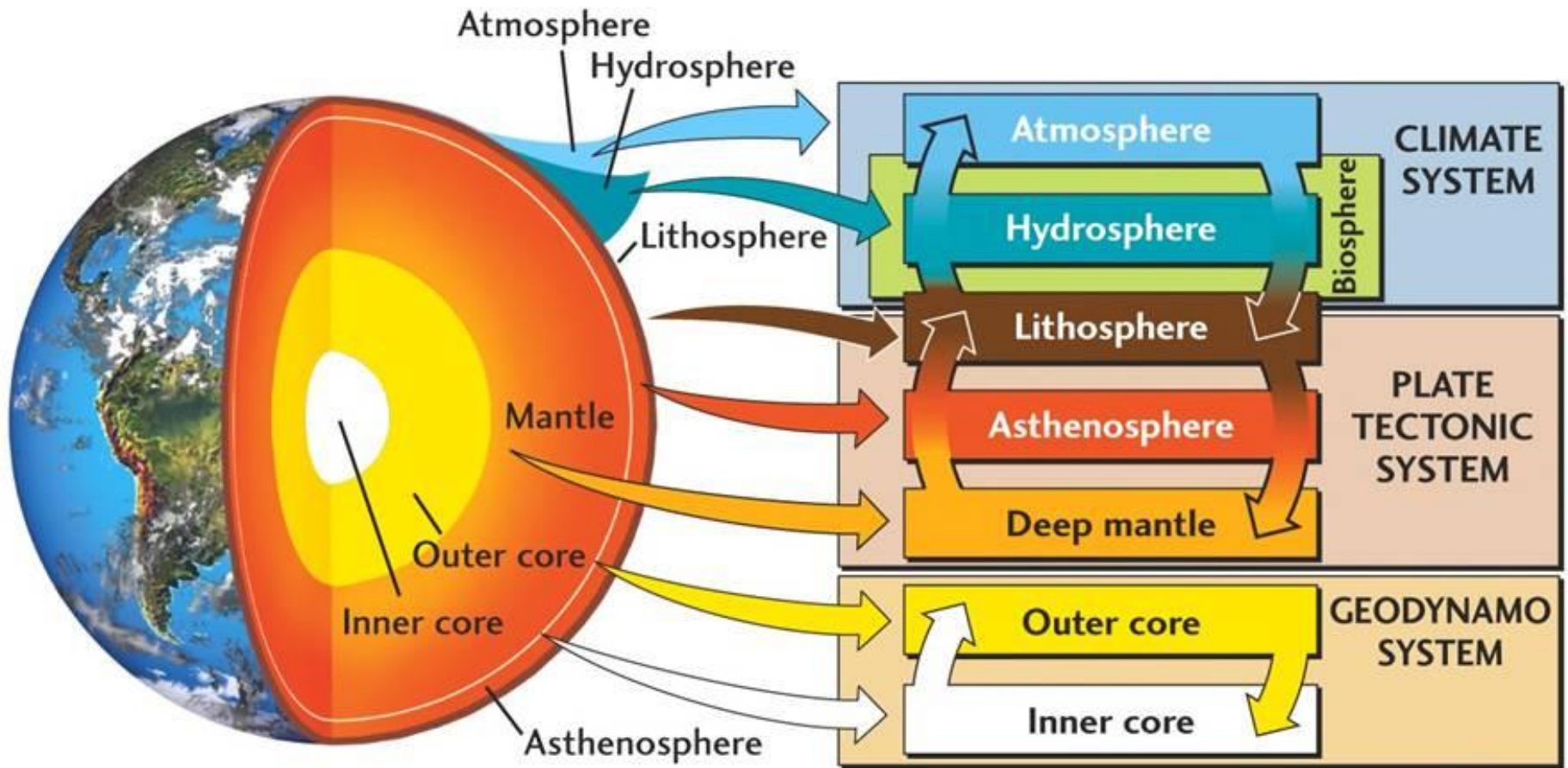
TEORIA DA DERIVA CONTINENTAL (1915) - Alfred Wegener

- Mecanismo proposto: os continentes (massas gigantes) “boiavam” sobre o mar e o movimento ocorreria por deslizamento sobre a água dos oceanos



SISTEMA TERRA

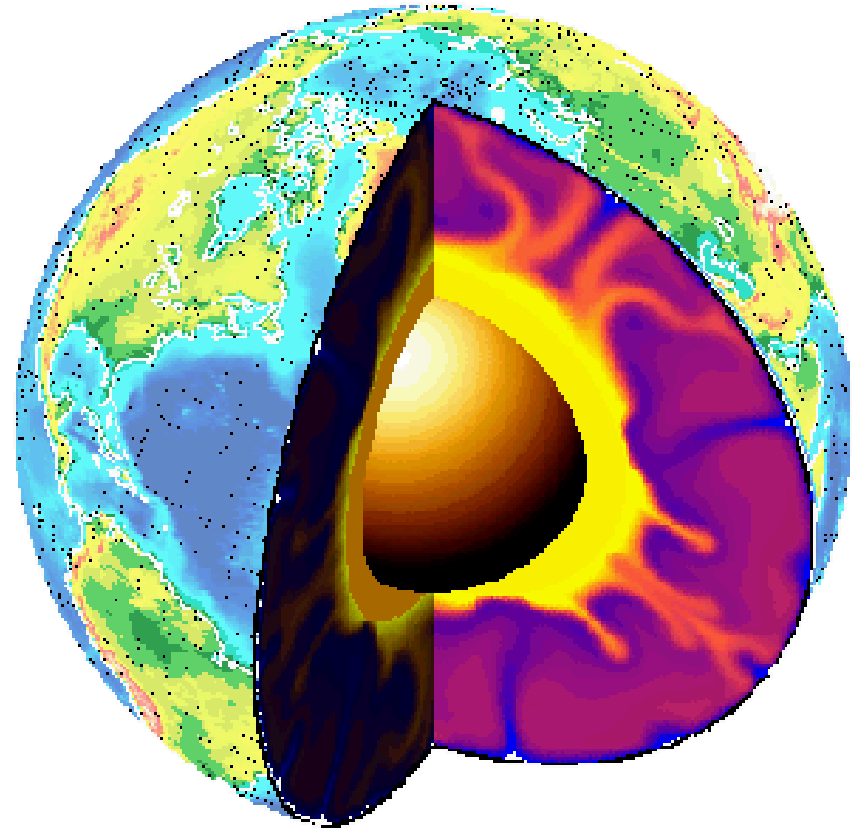
THE EARTH SYSTEM IS ALL PARTS OF OUR PLANET AND THEIR INTERACTIONS



SISTEMA TERRA

A Terra é dinâmica!

A Terra sólida: convecção no manto
induz movimentos das placas
litosféricas



A Terra fluida: os oceanos, a atmosfera, movem-se devido ao rotação do planeta e à ação de agentes externos, como o Sol e a Lua. Assim se originam as marés, os ciclones e outros fenômenos superficiais

SISTEMA TERRA

Na Terra: 8 elementos mais abundantes > 99% M. terra
4 elementos mais abundantes 93% M. terra
(Fe 35% O 30% Si 15% Mg 13%)

Na Crosta: 8 elementos mais abundantes > 99 % M. crosta
4 elementos mais abundantes 88% M. crosta
(O 46 Si 28% Al 8% Fe 6%)

Crosta: Silicatos leves Na Ca Al K

Manto: Silicatos pesados Fe Mg

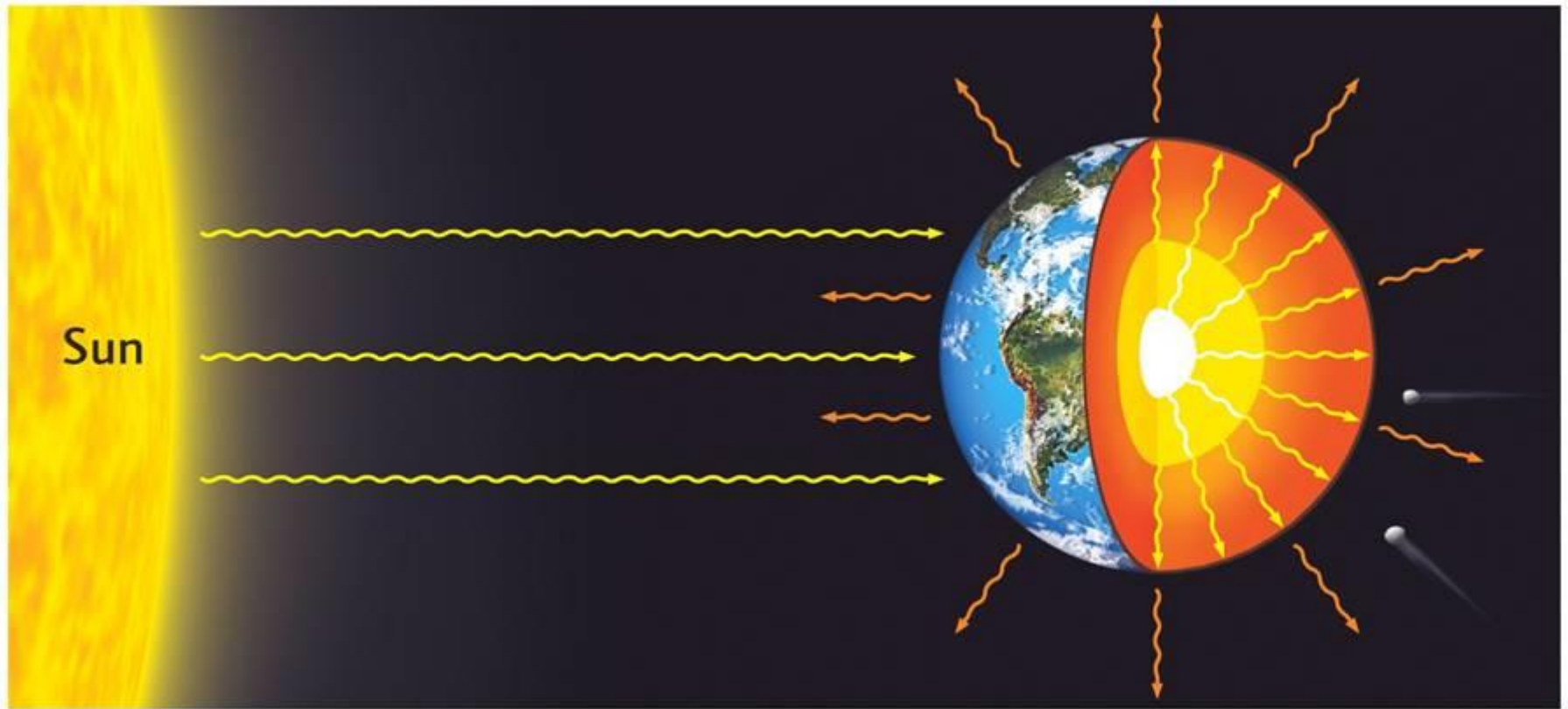
Núcleo: Fe – Ni

Litosfera: ~ 100 km (crosta + manto superior rígido)

Astenosfera: ~100 km – 250 km (lavas)

Gradiente térmico: 20° – 40° C/km (minerais radioativos)

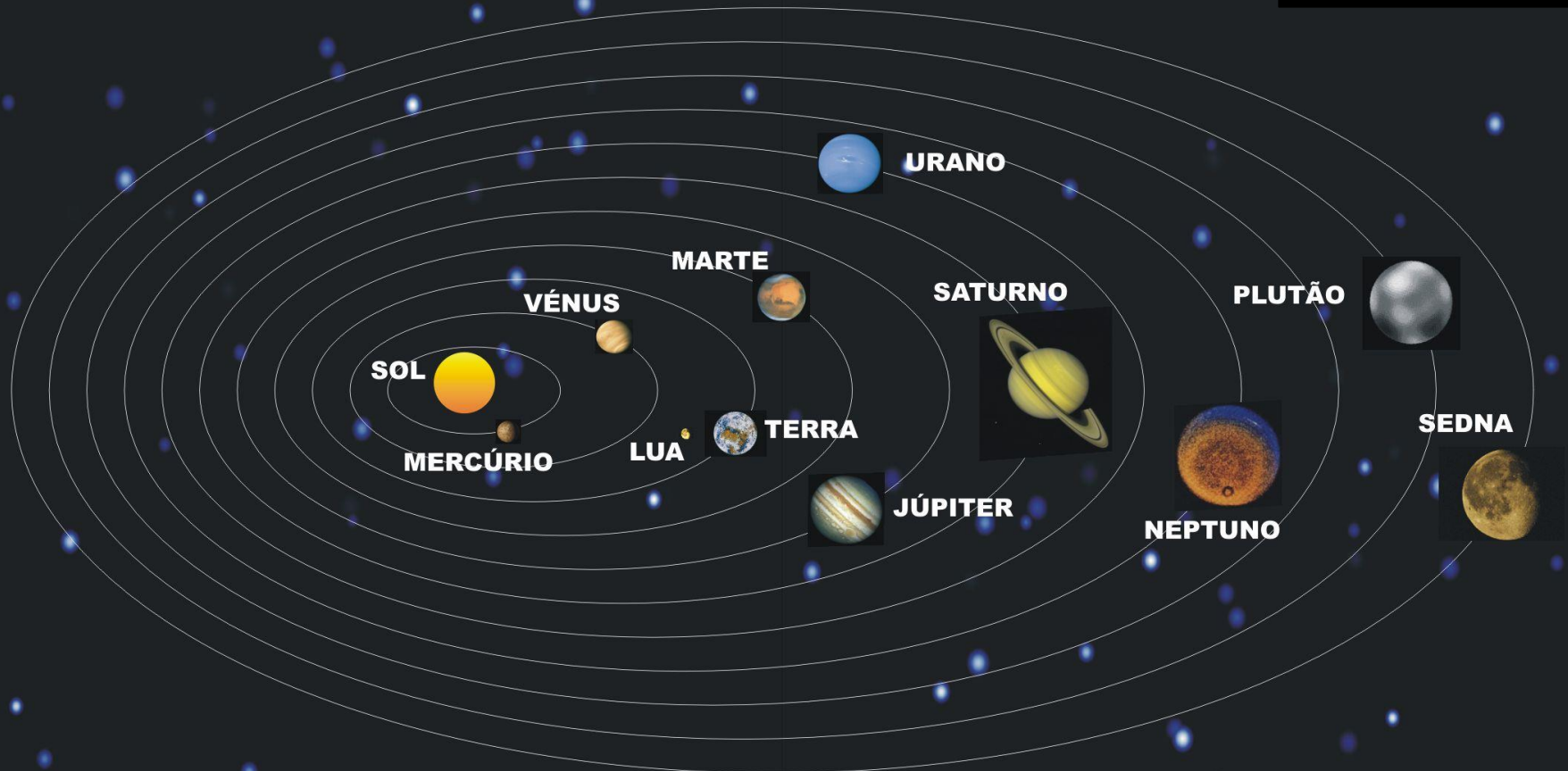
SISTEMA TERRA



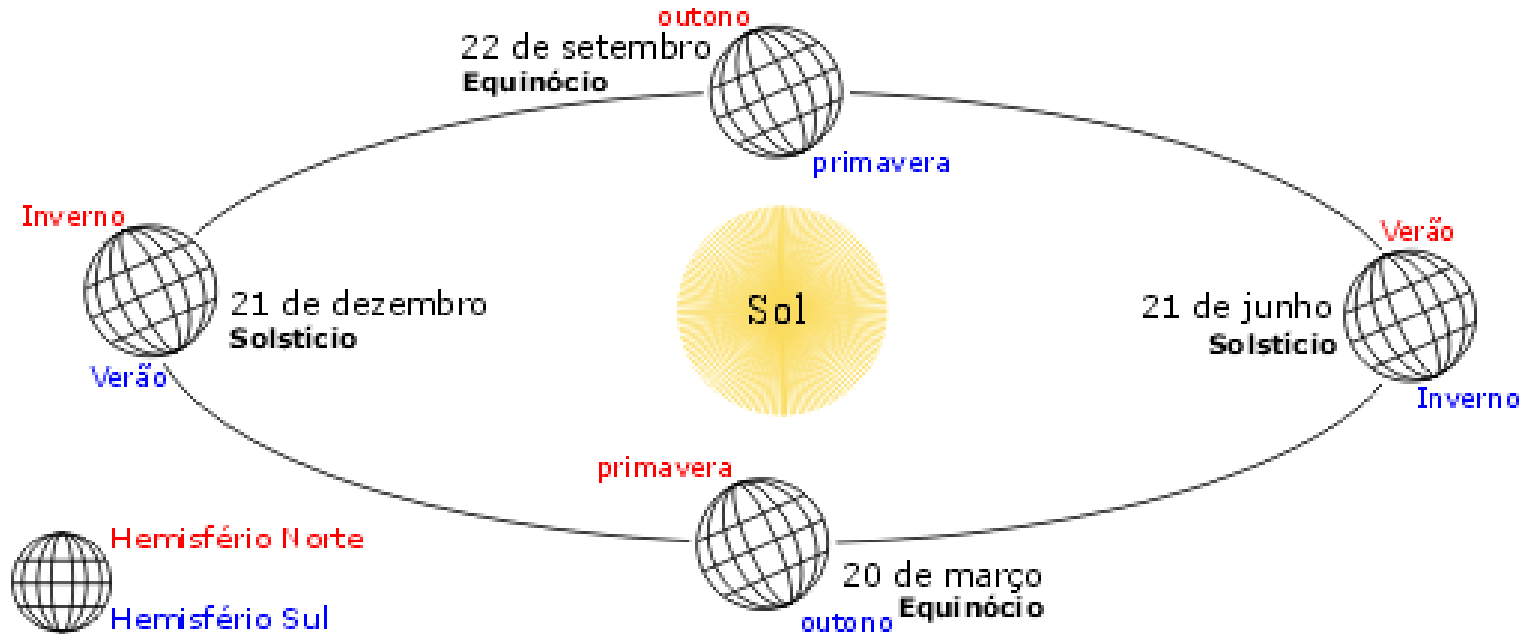
Energia é acrescida do Sol e ocorre perde de energia a partir do interior da Terra. Magnitudes diferentes.

SISTEMA TERRA

SISTEMA SOLAR



SISTEMA TERRA



Solstício → dia ou noite mais longos do ano (dia no verão e noite no inverno)
momento em que o Sol, durante seu movimento aparente na esfera celeste, atinge a maior declinação em latitude, medida a partir da linha do equador

Equinócio → "noites iguais", ocasiões em que o dia e a noite duram o mesmo tempo
instante em que o Sol, em sua órbita aparente (como vista da Terra), cruza o plano do equador celeste (a linha do equador terrestre projetada na esfera celeste)

SISTEMA TERRA

- Idade das galáxias mais distantes ~13.73 bilhões anos
São as observações das galáxias mais distantes que permitem calcular a idade do Universo visível (precisão cada vez maior com base em observações do telescópio Hubble).
- Idade aproximada da Via Láctea 8 bilhões anos
- Idade do Sol e planetas do Sistema Solar 4.6 bilhões anos
- VIDA na terra → >3,5 bilhões de anos (período Arqueano)

Desenvolvimento da vida. As primeiras formas de vida do planeta foram os Procariontes (seres unicelulares que continham DNA). Depois vieram os Eucariontes que continham um núcleo e algumas organelas. Tempos depois, surgiram os vermes achatados e criaturas invertebradas mais complexas. De pequenos seres chamados conodontes, surgiram os peixes, que se tornaram no Devoniano os donos dos mares, e que por alguma razão desconhecida, talvez em busca de alimentos ou para fugir de predadores, começaram a sair para a terra firme, e deram origem aos anfíbios que podiam andar na terra, mas necessitavam viver em pântanos pois não sobreviviam muito tempo fora da água. Os anfíbios evoluíram aos répteis, que viviam sem dependência da água e dos répteis evoluíram os sinapsídeos, ancestrais dos mamíferos, que permaneceram escondidos durante o longo reinado dos dinossauros até se tornarem os donos do mundo.

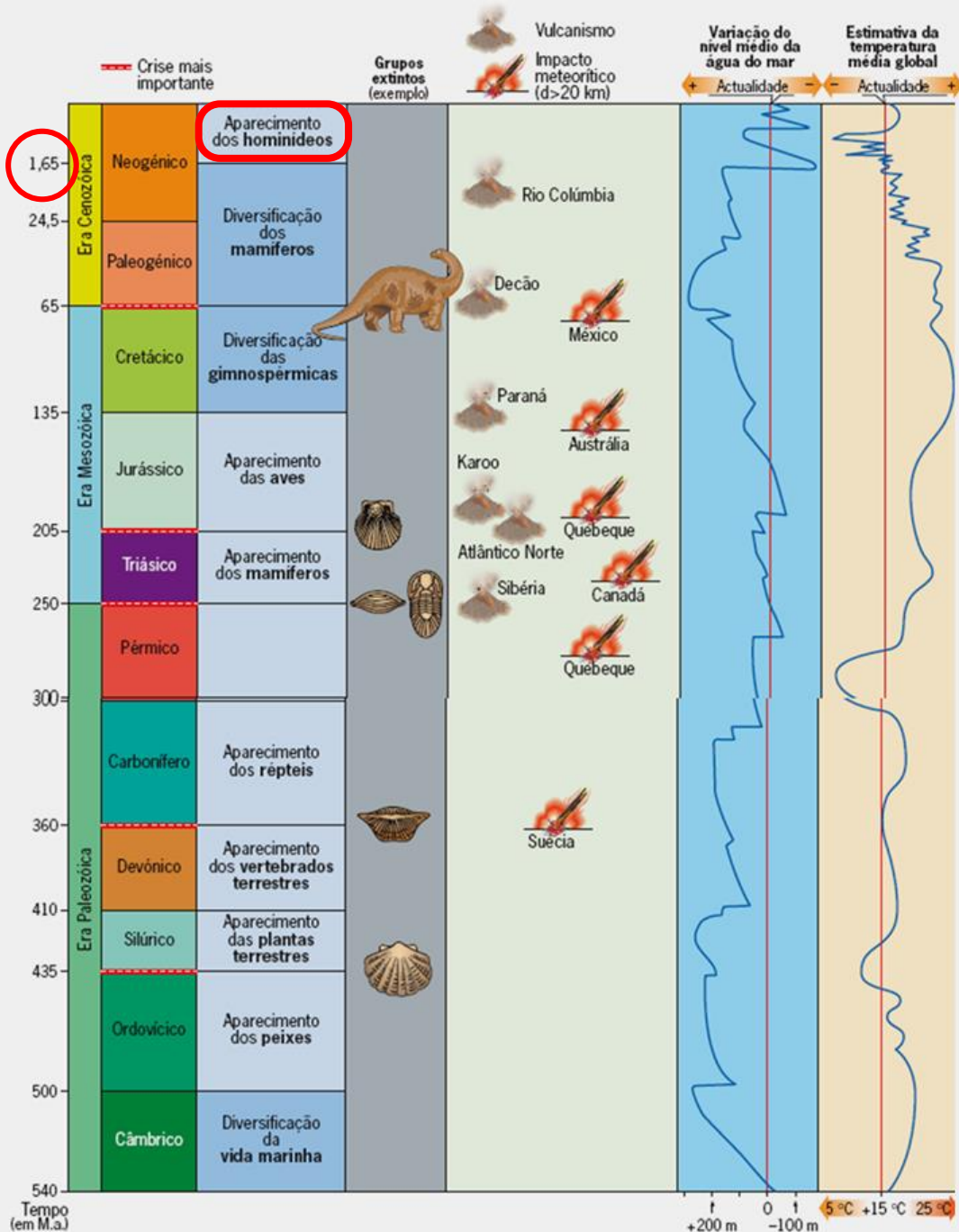
SISTEMA TERRA

Meteoritos Rochosos (95%)	Condritos (86%)	Ordinários (81%)	<p>Características: Primitivos não diferenciados. Idades entre 4,5 e 4,6 bilhões de anos. Abundância solar (cósmica) dos elementos pesados. Possuem côndrulos, à exceção dos condritos carbonáceos tipo C1.</p>
		Carbonáceos (5%)	<p>Composição: minerais silicáticos (olivinas e piroxênios) refratários e material metálico (Fe e Ni). Proveniência provável: cinturão de asteróides.</p>
	Acondritos (9%)	<p>Características: Diferenciados. Idades entre 4,4 e 4,6 bilhões de anos, à exceção daqueles do tipo SNC, com idade de aproximadamente 1 bilhão de anos. Composição: Heterogênea, em muitos casos similar à dos basaltos terrestres. Minerais principais: Olivina, piroxênio e plagioclásio. Proveniência provável: Corpos diferenciados do cinturão de asteróides, muitos da superfície da Lua, alguns (do tipo SNC) da superfície de Marte (Shergottitos-Nakhlitos-Chassignitos).</p>	
Meteoritos ferro-pétreos (siderólitos) (1%)	<p>Composição: Mistura de minerais silicáticos e material metálico (Fe +Ni). Proveniência provável: Interior de corpos diferenciados do cinturão de asteróides.</p>		
Meteoritos Metálicos (sideritos) (4%)	<p>Composição: Mineral metálico (Fe + Ni). Proveniência provável: Interior de corpos diferenciados do cinturão de asteróides.</p>		

EVOLUÇÃO DOS PLANETAS DO SISTEMA SOLAR

- > 4800 Ma.
 - Formação dos elementos em Supernovas
 - Aglutinação inicial e formação do Sol
 - Estágio de alta temperatura (> 2000 K)
 - Resfriamento e acréscimo nas órbitas planetárias
- ~ 4560 Ma.
 - Formação dos planetas internos e dos corpos parentais dos meteoritos
- ~ 4500 Ma.
 - Diferenciação manto silicático/núcleo metálico da Terra
 - Impactos maiores na superfície dos planetas
- ~ 3800 Ma. até hoje
 - Resfriamento gradual e diferenciação geoquímica

ERAS GEOLÓGICAS



CPRM

<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1094&sid=129>

ERAS GEOLÓGICAS

Éon Fanerozóico

Éon	Era	Período ^(a)	Série/Época ^(b)	Principais eventos	Início, milhões de anos atrás ^(b)
Fanerozóico	Cenozoico (Terciário e Quaternário)	Neogeno ^(c)	Holoceno (Quaternário)	★ Fim da era do Gelo e a expansão da civilização humana.	0.011430 ± 0.00013 ^(d)
			Pleistoceno (Quaternário)	★ Evolução dos humanos. início da era do Gelo.	1.806 ± 0.005 *
			Plioceno (Terciário)	Clima frio e seco. Australopithecíneos, extinção dos grandes mamíferos. Aparece o <i>Homo habilis</i> .	5.332 ± 0.005 *
		Paleogeno ^(c)	Mioceno (Terciário)	Primeiros rinocerontes, gatos, camelos, cavalos, grandes símios e ursos.	23.03 ± 0.05 *
			Oligoceno (Terciário)	Primeiros <i>Aegyptopithecus</i>	33.9 ± 0.1 *
			Eoceno (Terciário)	Primeiros cães, elefantes, baleias, morcegos. Gelo na Antártica.	55.8 ± 0.2 *
			Paleoceno (Terciário)	Clima tropical, primeiros grandes mamíferos.	65.5 ± 0.3 *
	Mesozoico (Secundário)	Cretáceo	Superior		65.6 ± 0.9 *
			Inferior	Primeiras plantas com flores, primeiros mamíferos placentários e a extinção dos dinossauros.	145.5 ± 4.0
		Jurássico	Superior		161.2 ± 4.0
			Médio	Dinossauros dominam, primeiros mamíferos e aves. Divisão da Pangeia em Gondwana e Laurásia.	175.6 ± 2.0 *
		Triássico	Inferior		199.6 ± 0.6
			Superior		228.0 ± 2.0
			Médio	★ Primeiros dinossauros e pterossauros.	245.0 ± 1.5
		Inferior		251.0 ± 0.4 *	



11.000 anos

Era – marcado por grandes mudanças tectônicas globais

ERAS GEOLÓGICAS

Éon Fanerozóico

Éon	Era	Período ^(a)	Série/ Época ^(b)	Principais eventos	Início, milhões de anos atrás ^(b)
Fanerozoico	Paleozoico (Primário)	Permiano	Lopingiano	Primeiros répteis gigantes e extinção dos trilobitas.	260.4 ± 0.7 *
			Guadalupiano		270.6 ± 0.7 *
			Cisuraliano		299.0 ± 0.8 *
		Carbonífero ^(e) / Pensilvaniano	Gzheliano	Primeiros insetos, primeiros répteis e florestas de carvão.	306.5 ± 1.0
			Kasimoviano		311.7 ± 1.1
			Moscoviano/Bashkiriano		318.1 ± 1.3 *
		Carbonífero ^(e) / Mississippiano	Serpukhoviano	★ Primeiras samambaias com sementes e anfíbios.	326.4 ± 1.6
			Viseana		345.3 ± 2.1
			Tournaisiano		359.2 ± 2.5 *
		Devoniano	Superior	Primeiros peixes modernos.	385.3 ± 2.6 *
			Médio		397.5 ± 2.7 *
			Inferior		416.0 ± 2.8 *
		Siluriano	Pridoli	Primeiras plantas terrestres.	418.7 ± 2.7 *
			Ludlow		422.9 ± 2.5 *
			Wenlock		428.2 ± 2.3 *
			Llandovery		443.7 ± 1.5 *
		Ordoviciano	Superior	★ Primeiros peixes.	460.9 ± 1.6 *
			Médio		471.8 ± 1.6
			Inferior		488.3 ± 1.7 *
		Cambriano	Superior	Primeiros anelídeos, artrópodes, moluscos e trilobitas. Gondwana emerge.	501.0 ± 2.0 *
Médio	513.0 ± 2.0				
Inferior	542.0 ± 0.3 *				

ERAS GEOLÓGICAS

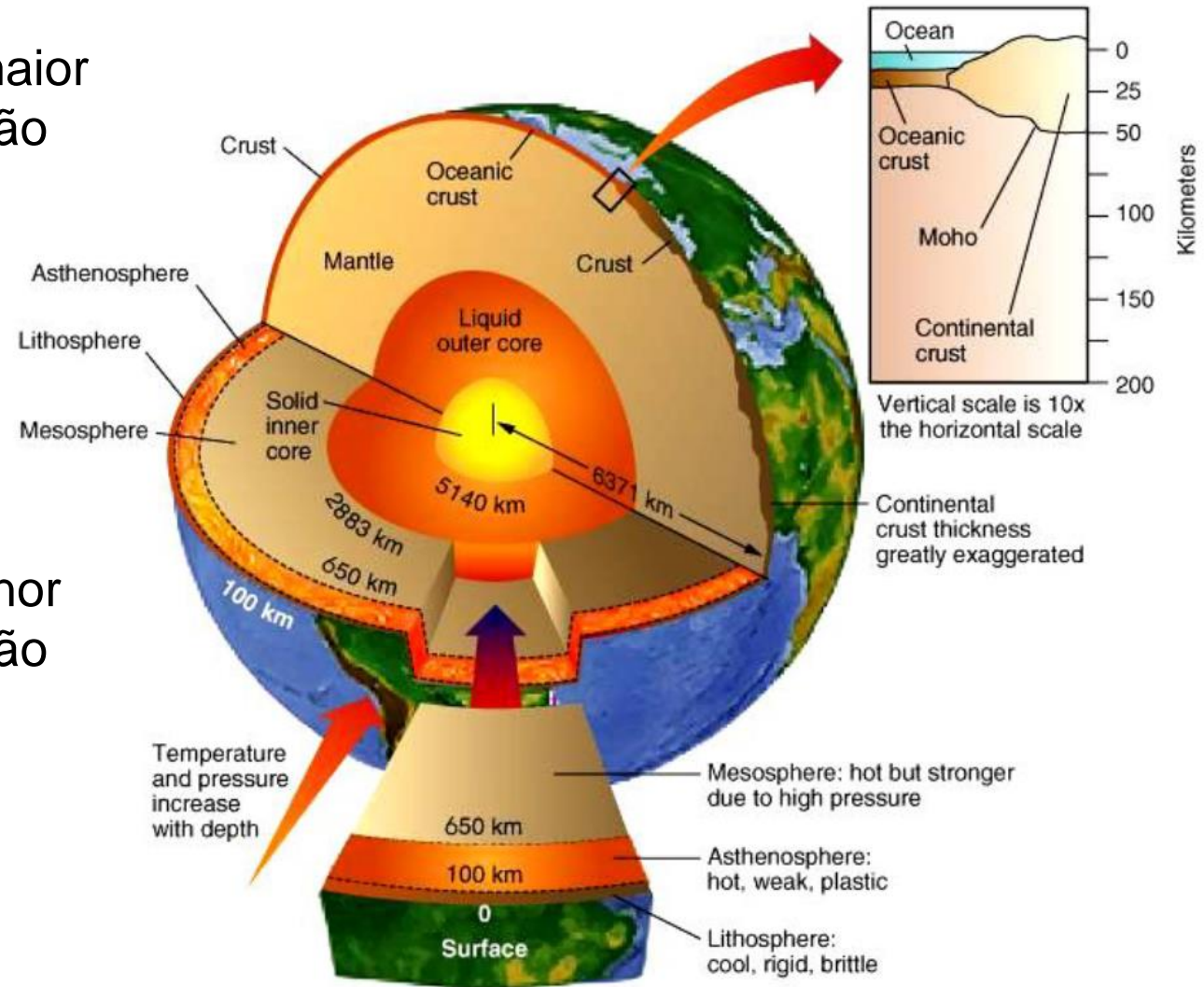
Supereon Pré-Cambriano (Primitivo)

Éon	Era	Período ^(a)	Série/ Época ^(b)	Principais eventos	Início, milhões de anos atrás ^(b)
Proterozoico (g)	Neo- proterozoico	Ediacarano		Primeiros corais.	630 +5/-30 *
		Criogeniano		Formação do supercontinente <u>Rodínia</u> .	850 ^(h)
		Toniano		Terra bola de neve.	1000 ^(h)
	Meso- proterozoico	Steniano		★ Primeiros animais.	1200 ^(h)
		Ectasiano		Primeiras algas vermelhas.	1400 ^(h)
		Calymmiano		Primeira Eukaryotas.	1600 ^(h)
	Paleo- proterozoico	Statheriano		Expansão dos depósitos supercontinentais.	1800 ^(h)
		Orosiriano		Atmosfera livre de oxigênio.	2050 ^(h)
		Rhyaciano		Glaciação Huroniana.	2300 ^(h)
		Sideriano		Fotossíntese oxigenada.	2500 ^(h)
Arqueano (g)	Neoarqueano		Primeira glaciação.	2800 ^(h)	
	Mesoarqueano		Primeiras Cyanobacteria.	3200 ^(h)	
	Paleoarqueano		Primeiro supercontinente Vaalbara.	3600 ^(h)	
	Eoarqueano		Primeiros Procariontes.	3800	
Hadeano (g)(i)	Ímbrico ^(j)		Fim do bombardeio de meteoritos.	3850	
	Nectárico ^(j)		Grande impacto da Lua.	3920	
	Grupos Basin ^(j)		Formação de ADN.	4150	
	Críptico ^(j)		Formação da Terra e da Lua.	c.4570	

SISTEMA TERRA – COMPOSIÇÃO

Crosta continental: maior espessura e composição granítica

Crosta Oceânica: menor espessura e composição basáltica



Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

SISTEMA TERRA – COMPOSIÇÃO

% em peso	
O	46,6
Si	27,7
Al	8,1
Fe	5,0
Ca	3,6
Na	2,8
K	2,6
Mg	2,1

ppm	
Ti	4.400
Mn	1.000
Zn	132
Ni	80
Cu	70
U	4
Mg	0,5
Ag	0,1
Au	0,005

Clark: é a concentração média de um elemento químico na crosta terrestre

SISTEMA TERRA – COMPOSIÇÃO

Minerais	% em volume
* Feldspatos	58
* Piroxênios e Anfibólios	13
* Quartzo	11
* Micas, cloritas, argilo-minerais	10
* Olivina	3
* Alumino-Silicatos	2
Carbonatos, óxidos, sulfetos, halóides	3

* Silicatos

OS MINERAIS E AS ROCHAS

- ❑ Conceito de mineral
- ❑ Conceito de rocha
 - Ígnea
 - Sedimentar
 - Metamórfica
- ❑ Encontram-se em formações rochosas e depósitos minerais
- ❑ Formas de ocorrência
 - Cristais
 - Agregados: consolidados e inconsolidados
 - Agregados uni ou plurimineralógicos

OS MINERAIS E AS ROCHAS

- ❑ Materiais utilizados sem processos de transformação
 - Areias e cascalhos
 - Britas de rochas
 - Material de revestimento e ornamentais
- ❑ Materiais utilizados com processo de transformação
 - Cerâmicos → argilominerais
 - Cal → calcários
 - Cimento → calcário + argilominerais
 - Vidro → quartzo
 - Aço → hematita

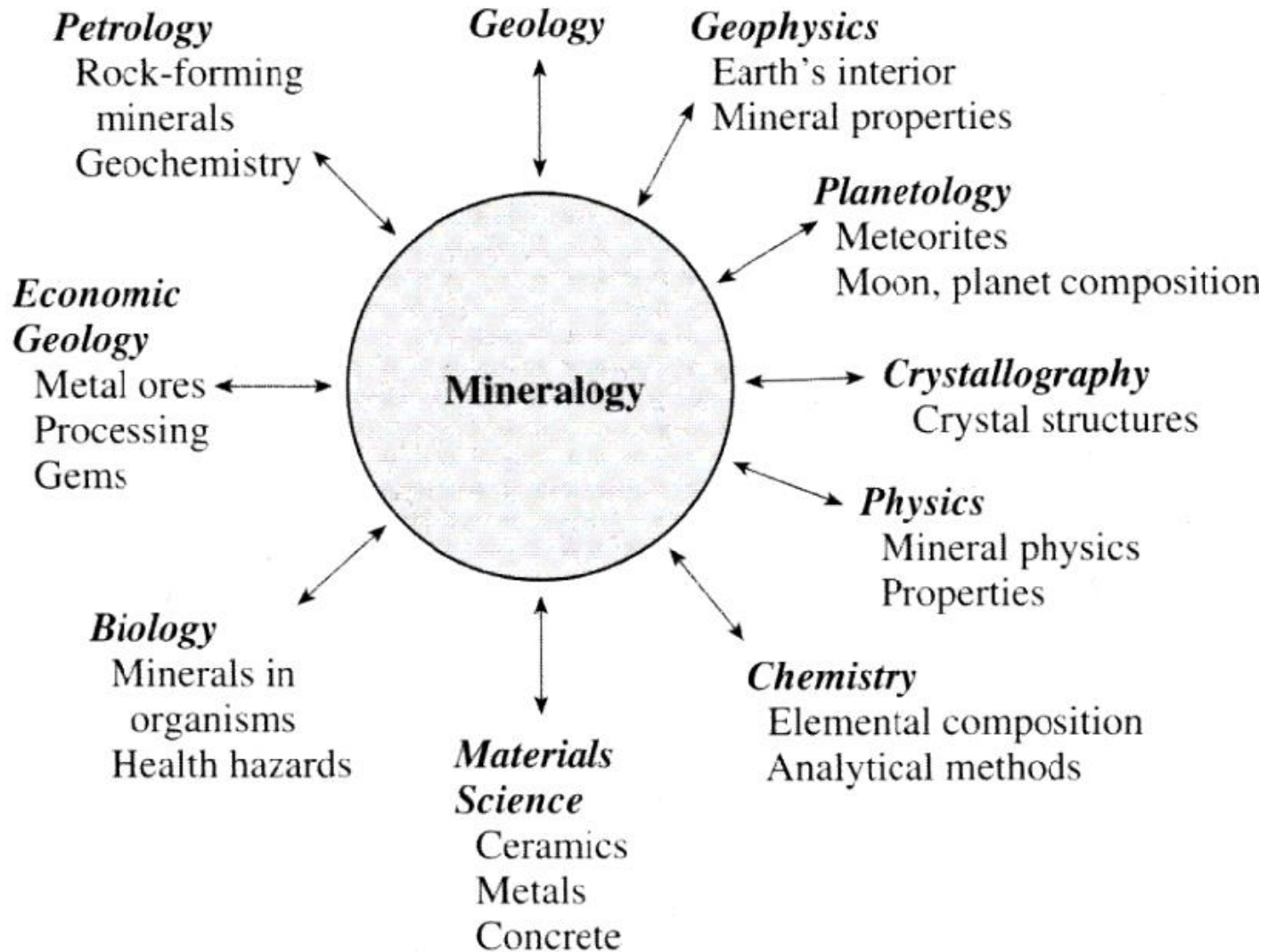
MINERALOGIA

“Minerals, the Alphabet of Geology, and Rocks, the Words of Geology” (Charles V. Guidotti (1935-2005))

MINERALOGIA = ESTUDOS DOS MINERAIS



IMPORTÂNCIA DA MINERALOGIA



MINERALOGIA E PETROLOGIA

MINERAL

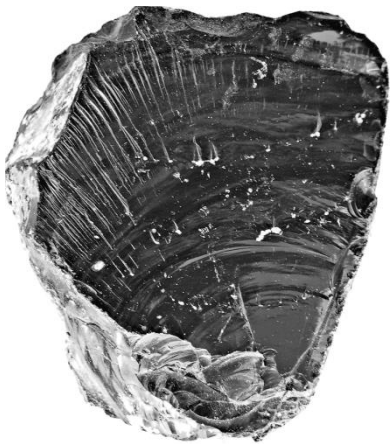
- sólido homogêneo;
- natural;
- formado por processos inorgânicos;
- **composição química** definida (mas não fixa);
- arranjo atômico altamente ordenado;
(**estrutura cristalina** definida);

IMA Definition: (Can Mineral. 1998) - A mineral substance is a naturally occurring solid that has been formed by geological processes, either on earth or in extraterrestrial bodies. A mineral species is a mineral substance with welldefined chemical composition and crystallographic properties, and which merits a unique name

MINERALOGIA E PETROLOGIA

MINERALÓIDE

- Materiais de origem geológica que apresentem características semelhantes às dos minerais
- Não atendem à alguns dos requisitos para ser considerado mineral (em geral são amorfos)



Obsidiana

Vidro vulcânico, **amorfo** (fratura conchoidal)

Consiste em 70% ou mais de sílica (SiO_2 - dióxido de silício)

Pode ser fraturada para produzir lâminas afiadas ou cabeças de seta → importante na idade da pedra

Mineral: sólido homogêneo, homogêneo, natural, formado por processos inorgânicos, composição química definida, arranjo atômico altamente ordenado

MINERALOGIA E PETROLOGIA

MINERALÓIDE

- Carvão – origem **orgânica** (não é inorgânica)
- Pérolas – CaCO_3 , tem sua origem biológica sem transformação geológica e contém um ligante orgânico que lhes dá uma composição química não uniforme



Opala

Sílica **amorfa** hidratada (até 20% de água)

Amorfo, com fratura conchoidal e brilho vítreo

A opala pode ser branca, incolor, azul-leitosa, cinza, vermelha, amarela, verde, marrom e preta → jogo de cores.

98% vem da Austrália

A estrutura da opala é formada por esferas de cristobalita ou de sílica amorfa, regularmente dispostas, entre as quais há água, ar ou geis de sílica. Quando as esferas têm o mesmo tamanho e um diâmetro semelhante ao comprimento de onda das radiações da luz visível, ocorre difração da luz e surge o jogo de cores da opala nobre. Se as esferas variam de tamanho, não há difração e tem-se a opala comum

MINERALOGIA E PETROLOGIA

ROCHA

- Agregado natural **consolidado** de um ou mais minerais e/ou mineralóides, cuja associação represente um processo petrogenético comum.



MINERALOGIA E PETROLOGIA

CRISTAL

- Sólido poliédrico limitado por faces planares e orientadas que manifestam um arranjo interno ordenado (*estrutura cristalina*) de átomos ou moléculas, não importando se é natural, artificial, inorgânico, orgânico. (*Diferentes definições são encontradas*)



MINERALOGIA E PETROLOGIA

MINÉRIO

Conjunto de minerais encontrado na natureza, onde pelo menos um dos minerais presentes pode ser extraído **economicamente**

QUARTZO + HEMATITA = ITABIRITO (MINÉRIO DE FERRO)



Diamante em kimberlito

MINERALOGIA E PETROLOGIA

MINERAL ÚTIL

Porção do minério de interesse econômico → Mineral que apresenta interesse econômico, dentre os minerais presentes no minério.



Calcopirita em quartzo

CONCEITOS

MINÉRIO

Conjunto de minerais encontrado na natureza, onde pelo menos um dos minerais presentes pode ser extraído **economicamente**.

MINERAL ÚTIL

Mineral que apresenta interesse econômico, dentre os minerais presentes no minério.

ESTÉRIL

Material sem valor econômico extraído para permitir a lavra do mineral útil.

RELAÇÃO ESTÉRIL/MINÉRIO

Relação **mássica** entre a quantidade total de estéreis e a quantidade total de minério extraído (exemplo 3:1).

CONCEITOS

ROCHA

Agregado natural de um ou mais minerais.

ROCHA ENCAIXANTE

Rocha que circunda o corpo de minério, geralmente é parcialmente extraída para permitir a lavra do minério.

SOLO

Resultado da ação do intemperismo sobre as rochas.

DEPÓSITO MINERAL

- Massa ou volume rochoso no qual substâncias minerais ou químicas estão **concentradas de modo anômalo**, quando comparadas com sua distribuição média na crosta terrestre, e em quantidade suficiente para indicar um potencial mineral econômico.
- Objeto rochoso especial quanto à sua natureza mineralógica e/ou geoquímica.

CONCEITOS

JAZIDA MINERAL

Concentração **comprovadamente econômica** de minerais úteis.

JAZIDAS NÃO-METÁLICAS

Minério extraído por suas propriedades físicas (argilas, rochas ornamentais, pedras preciosas).

JAZIDAS METÁLICAS

Minério explotado para a recuperação de um elemento químico presente (hematita/ferro, esfalerita/zinco).



CONCEITOS

MINA

Jazida em lavra.

LAVRA

Conjunto de operações necessárias à extração industrial de substâncias minerais ou fósseis da jazida.

- **CÉU ABERTO:** operações realizadas na superfície.
- **SUBTERRÂNEA:** operações realizadas abaixo da superfície.
- **SUBMERSA:** lavra realizada no fundo de um lago ou no mar.

BENEFICIAMENTO

Processo de concentração que utiliza métodos físicos e/ou químicos para separar minerais úteis dos minerais de ganga.

- **CONCENTRADO:** material recuperado.
- **REJEITO:** material formado principalmente pela ganga.

CONCEITOS

TEOR DA JAZIDA

- Relação entre a quantidade de elemento de interesse (presente no mineral útil) e a quantidade total de elementos (presentes no minério).
 - ✓ No beneficiamento, parte do mineral de minério vai para o rejeito → recuperação no processo não é 100%
 - ✓ No beneficiamento, parte do mineral de ganga vai para o concentrado

RECUPERAÇÃO DO BENEFICIAMENTO

- Relação entre a quantidade de mineral de minério recuperado e a quantidade total de mineral de minério processado.

CONCEITOS

Exemplo de conceitos para minério de ferro

ITABIRITO = ?

TIPO DE JAZIDA = ?

CAPEAMENTO DE SOLO = ?

RELAÇÃO ESTÉRIL/MINÉRIO (para extrair 6 t de minério, retirou-se 30 t de capeamento) = ?

HEMATITA = ?

QUARTZO = ?

CONCEITOS

Exemplo de conceitos para minério de ferro

ITABIRITO = ?
MINÉRIO

CAPEAMENTO DE SOLO = ?
ESTÉRIL

HEMATITA = ?
MINERAL DE MINÉRIO

QUARTZO = ?
MINERAL DE GANGA

TIPO DE JAZIDA = ?
METÁLICA

RELAÇÃO ESTÉRIL/MINÉRIO (para
extrair 6 t de minério, retirou-se 30
t de capeamento) = ?
5:1

RECURSOS MINERAIS

FERROSOS: minerais cuja aplicação principal é a indústria do aço/siderurgia (Fe, Mn, Cr, Ni).

NÃO FERROSOS: minerais metálicos cuja aplicação primordial é a extração de um metal não usado prioritariamente na siderurgia (Cu, Pb, Zn, Al, Sn).

PRECIOSOS: minerais que têm elevado valor e que são ou já foram usados como padrões monetários (Au, Ag, gemas).

ENERGÉTICOS: minerais usados prioritariamente para a geração de energia (U, Petróleo, Carvão, Gás).

INDUSTRIAIS: todos os outros minerais que não se enquadram nos grupos anteriores de uso industrial (pedras britadas, areias, argilas, rochas ornamentais).

MAIS INFORMAÇÕES

- www.webminerals.com
- www.mindat.org
- www.geologo.com.br
- <http://www.earth-pages.com>
- <http://www.unb.br/ig/sigep>
- <http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/index.html>
- Aulas na Internet www.igc.usp/disciplinasweb
- TEIXEIRA, W., FAIRCHILD, T., TOLEDO, M.C.M. & TAIOLI, F. (2009) Decifrando a Terra. 2ª Edição, São Paulo, SP: Companhia Editora Nacional. 623 p.
- WENK, H.R. & BULAKH, A. (2004) Minerals: their constitution and origin. Cambridge: University Press, 646.
- KLEIN, C. & HURLBUT, C.S.Jr. (1993) Manual of Mineralogy (after J.D.Dana). 21ª Edição Revisada, Nova Iorque: John Wiley & Sons, Inc. 681p.