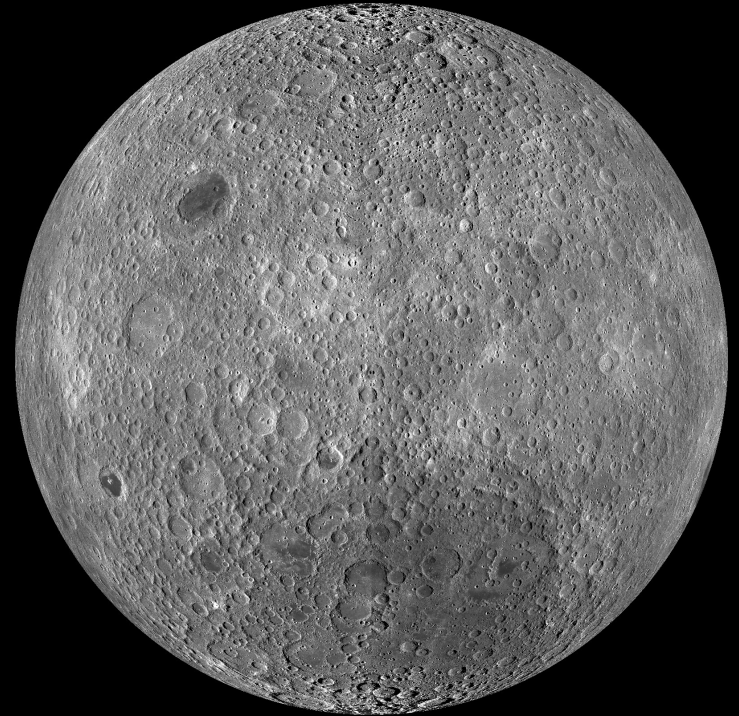


O Sol, a Terra e a Lua: fases, eclipses e marés



Fases da Lua

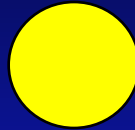
Nova



Quarto
Crescente



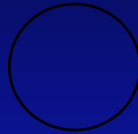
Cheia



Quarto
Minguante



Nova



Nova

Crescente

Cheia

Minguante

Crescente

Minguante

Lunação ou Mês Sinódico

29,530589 dias ~ 29 d 12 h 44 m 03 s

O período compreendido entre dois inícios consecutivos duma mesma fase da Lua é denominado de Lunação, ou Mês Sinódico, e dura aproximadamente 29.530589 dias. Isso permitiu que se agrupasse os dias em blocos de 29 ou 30, com o nome de **Mês Lunar**.

Veja aqui o ciclo das fases da lua para o mês atual

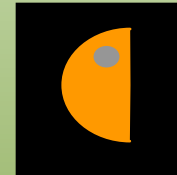
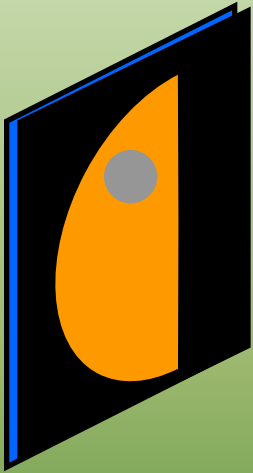
Não deixe de notar que a aparência da Lua é invertida num hemisfério em relação ao outro!

Exclusivamente para o hemisfério Sul vale a analogia:

Aparência de **C** → lua crescente

Aparência de **D** → lua minguante

Visão da Lua



Hemisfério Sul

Lua Quarto Crescente



No hemisfério Sul

Lua Cheia



Lua Quarto Minguante



Lua Nova



Lua Quarto Crescente



Hemisfério Norte



Lua Quarto Crescente



Lembrar:

“Fase” é um conceito de física usado originalmente na mecânica ondulatória. A divisão do ciclo da lua em 4 “fases” é arbitrária e tecnicamente equivocada. Na verdade, “fase” é uma grandeza contínua e, no caso da Lua, representa a fração iluminada do disco lunar que é vista da Terra.

Lembrar também:

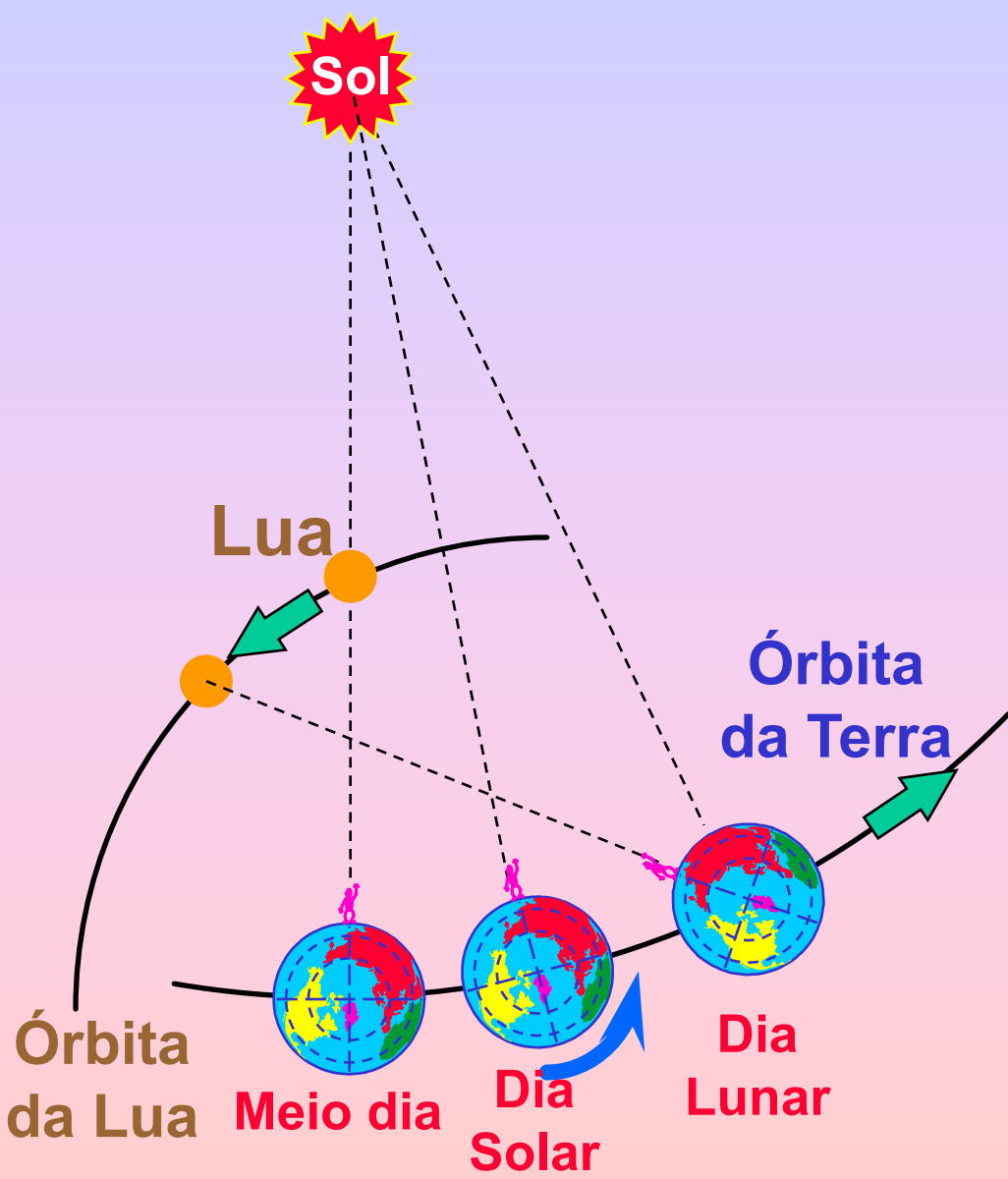
Dark Side of the Moon é um disco de rock!

Não existe um “lado escuro” da lua, apenas um lado oculto para observadores na Terra, devido à rotação síncrona.

Atenção!!

Não confunda o **período sinódico** da Lua, que é de 29,53 dias, com o seu **período sideral**, que é de 27,32 dias.

A razão da diferença entre eles é análoga à que existe entre o Dia Solar Médio de 24h e o Dia Sideral de $23^{\text{h}}56^{\text{m}}04^{\text{s}}$: enquanto a Lua gira em torno da Terra, o Sistema Terra-Lua gira em torno do Sol, de modo que é preciso um tempo um pouco maior que o período sideral da Lua para que as condições de observação (o ciclo das fases) se repita.

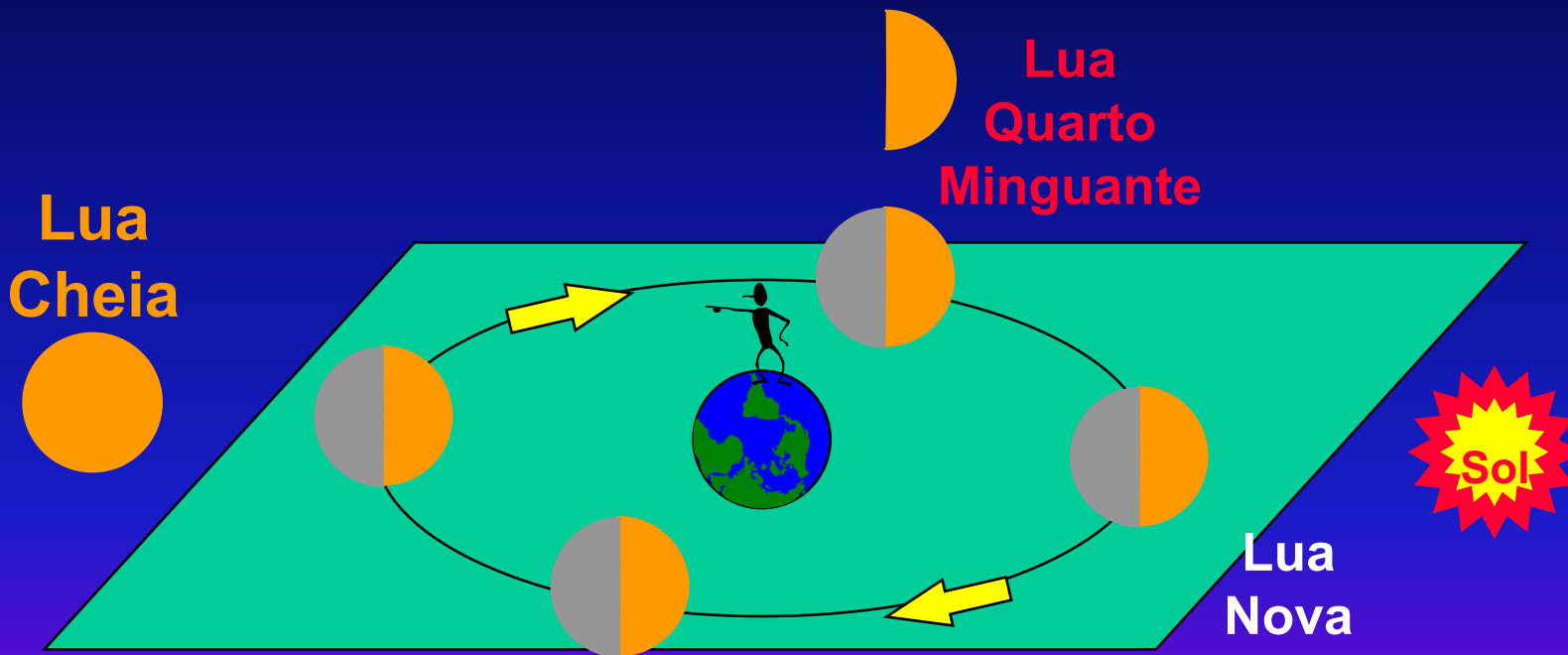


Dia solar e dia lunar

Dia Solar
24h00m00s

Dia Lunar
24h50m28s

Motivo das fases da Lua = ângulo formado no espaço entre o Sol + Terra + Lua



Lua
Quarto
Crescente

As fases ocorrem devido à posição relativa do Sol, da Terra e da Lua, não pela fração intrinsecamente iluminada da Lua ser maior ou menor. Exceto no caso de eclipses lunares, um hemisfério lunar sempre estará iluminado, mesmo que não vejamos da Terra

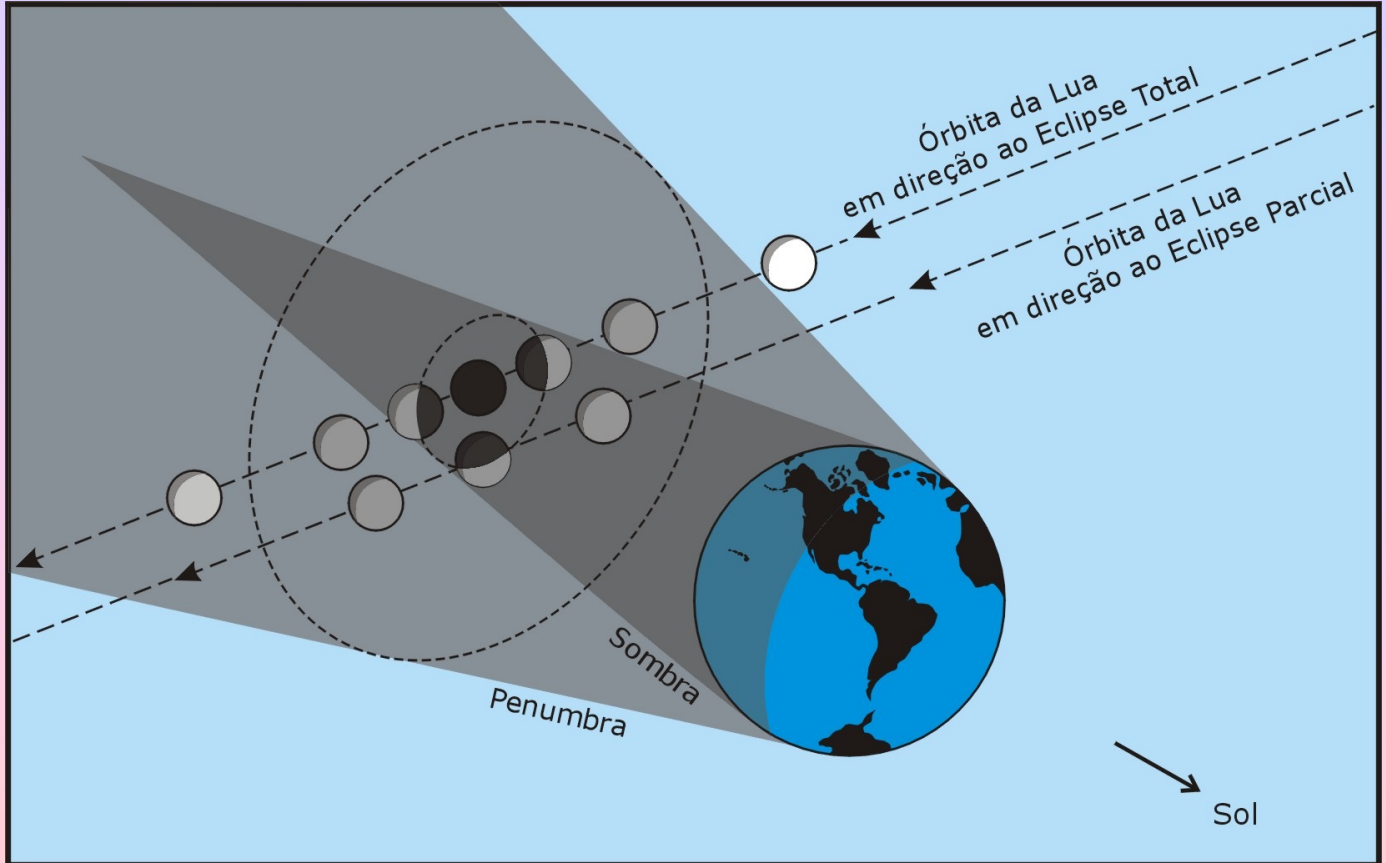
Eclipses

uma combinação de planos, sombras e períodos



ANOTE: O plano orbital da Lua em torno da Terra é inclinado de 5,2 graus em relação ao plano eclíptico, por isso não ocorrem eclipses a cada luação

Os cones de umbra e penumbra no eclipse lunar



Um eclipse lunar

FIGURE 4

Total Lunar Eclipse of 2010 Dec 21

Ecliptic Conjunction = 08:14:33.1 TD (= 08:13:26.0 UT)

Greatest Eclipse = 08:18:03.7 TD (= 08:16:56.6 UT)

Penumbral Magnitude = 2.2807

P. Radius = 1.2538°

Gamma = 0.3214

Umbral Magnitude = 1.2561

U. Radius = 0.7118°

Axis = 0.3119°

Saros Series = 125

Member = 48 of 72

Sun at Greatest Eclipse

(Geocentric Coordinates)

R.A. = 17h57m09.6s

Dec. = -23°26'09.9"

S.D. = 00°16'15.5"

H.P. = 00°00'08.9"

Moon at Greatest Eclipse

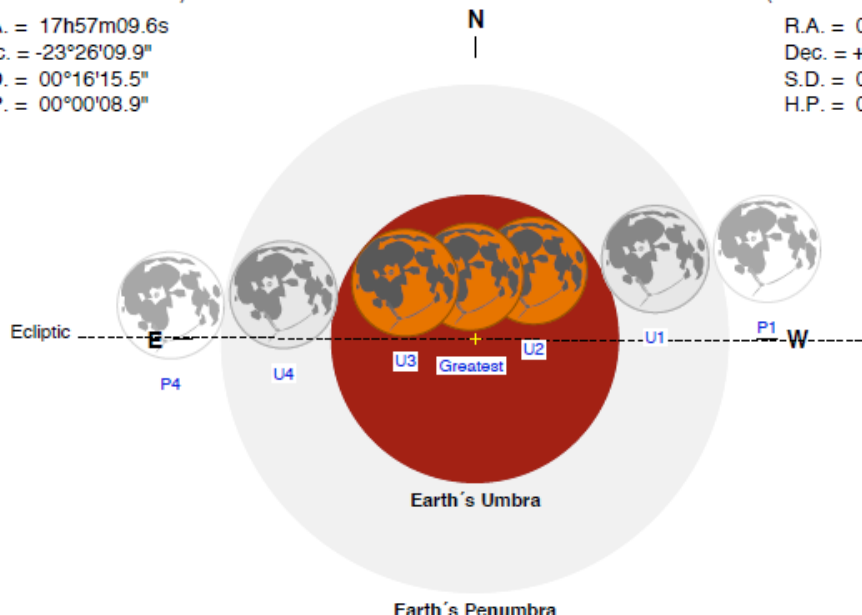
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 05h57m17.3s

Dec. = +23°44'47.8"

S.D. = 00°15'52.1"

H.P. = 00°58'14.3"



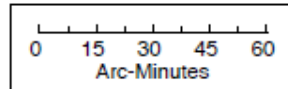
Penumbral = 05h35m14s
Umbral = 03h28m43s
Total = 01h12m21s

$\Delta T = 67$ s

Rule = CdT (Danjon)

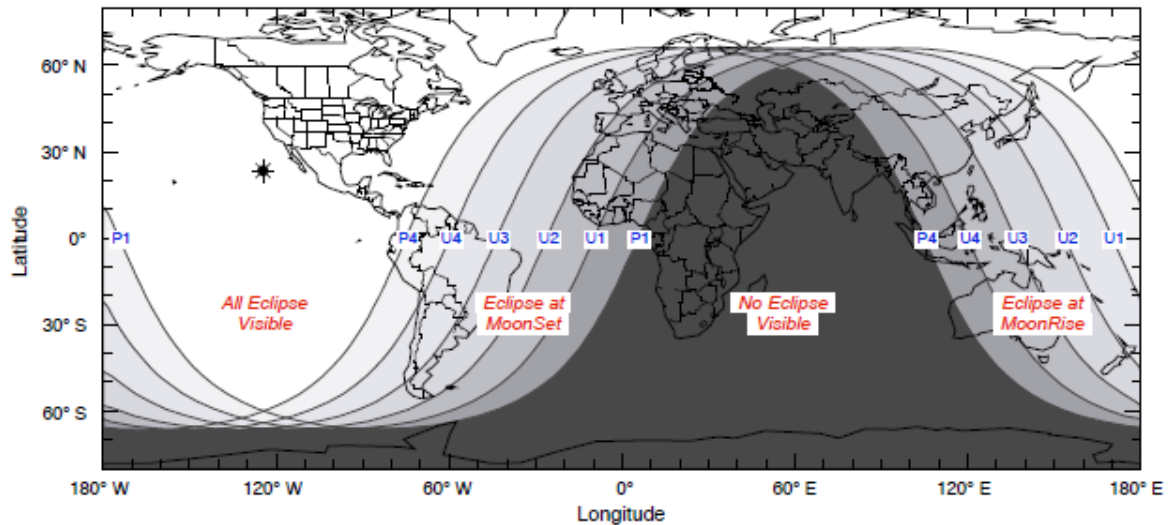
Eph. = VSOP87/ELP2000-85

S



F. Espenak, NASA's GSFC
eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html

P1 = 05:29:17 UT
U1 = 06:32:37 UT
U2 = 07:40:47 UT
U3 = 08:53:08 UT
U4 = 10:01:20 UT
P4 = 11:04:31 UT





**Seqüência de fotos
tomadas a cada 5 minutos
para o eclipse lunar total
de 20/Jan/2000**

Fotos de eclipses lunares



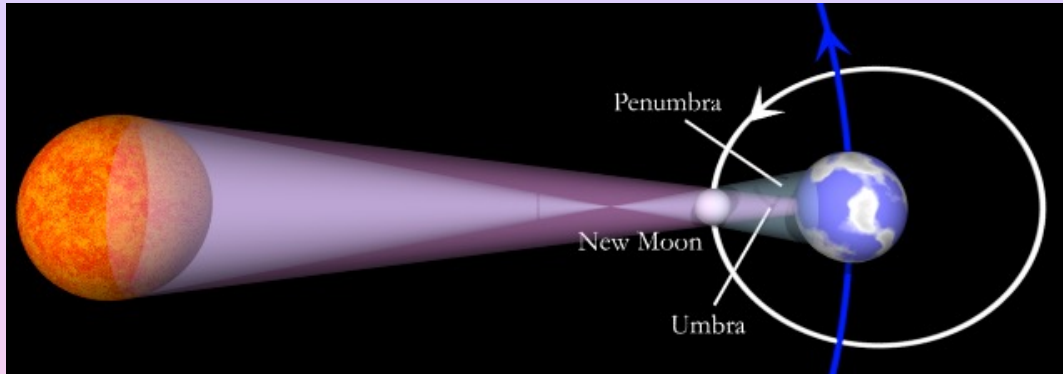


**Por que a Lua fica avermelhada durante um eclipse lunar total?
Porque a atmosfera da Terra funciona como um filtro, que deixa passar a fração amarela/vermelha da luz visível e espalha o azul.**

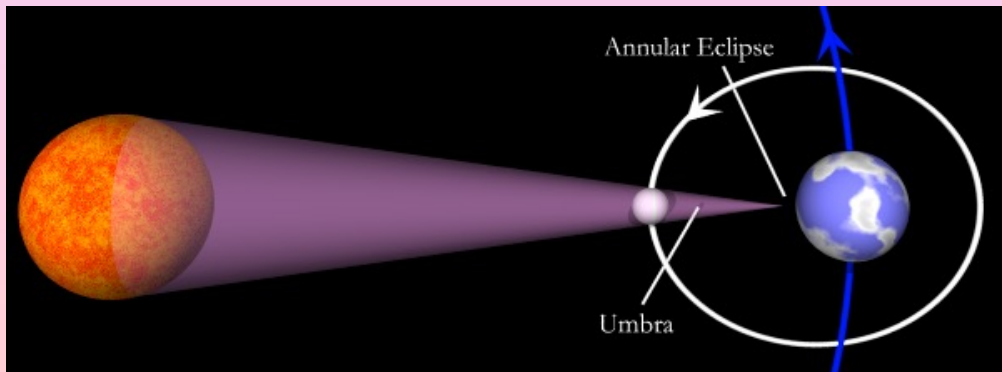
Como classificar a cor da lua nos eclipses? A Escala de Danjon

Número de Danjon	Características da Lua quando totalmente eclipsada
L = 0	Eclipse extremamente escuro: Lua, incolor, quase invisível no meio do eclipse
L = 1	Eclipse muito escuro: Lua cor cinzenta ou marrom e detalhes somente percebidos com dificuldade
L = 2	Eclipse de luminosidade intermediária: Lua vermelha escura ou cor de ferrugem e umbra interna muito escura e a externa relativamente clara
L = 3	Eclipse relativamente claro: Lua cor de tijolo e umbra com periferia brilhante ou amarelada
L = 4	Eclipse muito claro: Lua cor de cobre ou alaranjada e umbra com periferia bem brilhante e azulada

Eclipses solares

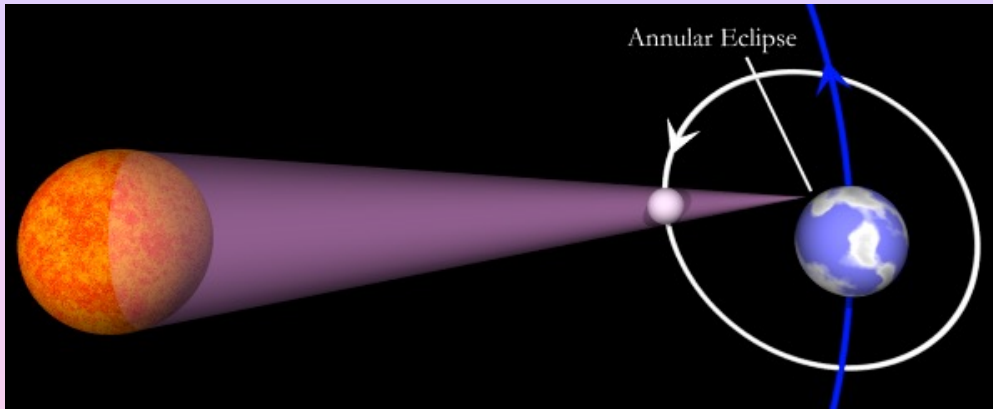


Total

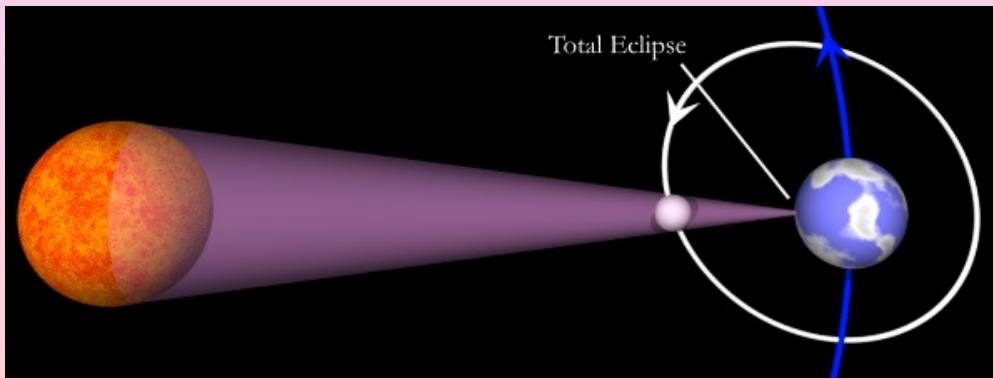


Anular

Eclipse híbrido ou anular/total



Anular no início e no final da trajetória sobre a Terra



Total no centro da trajetória

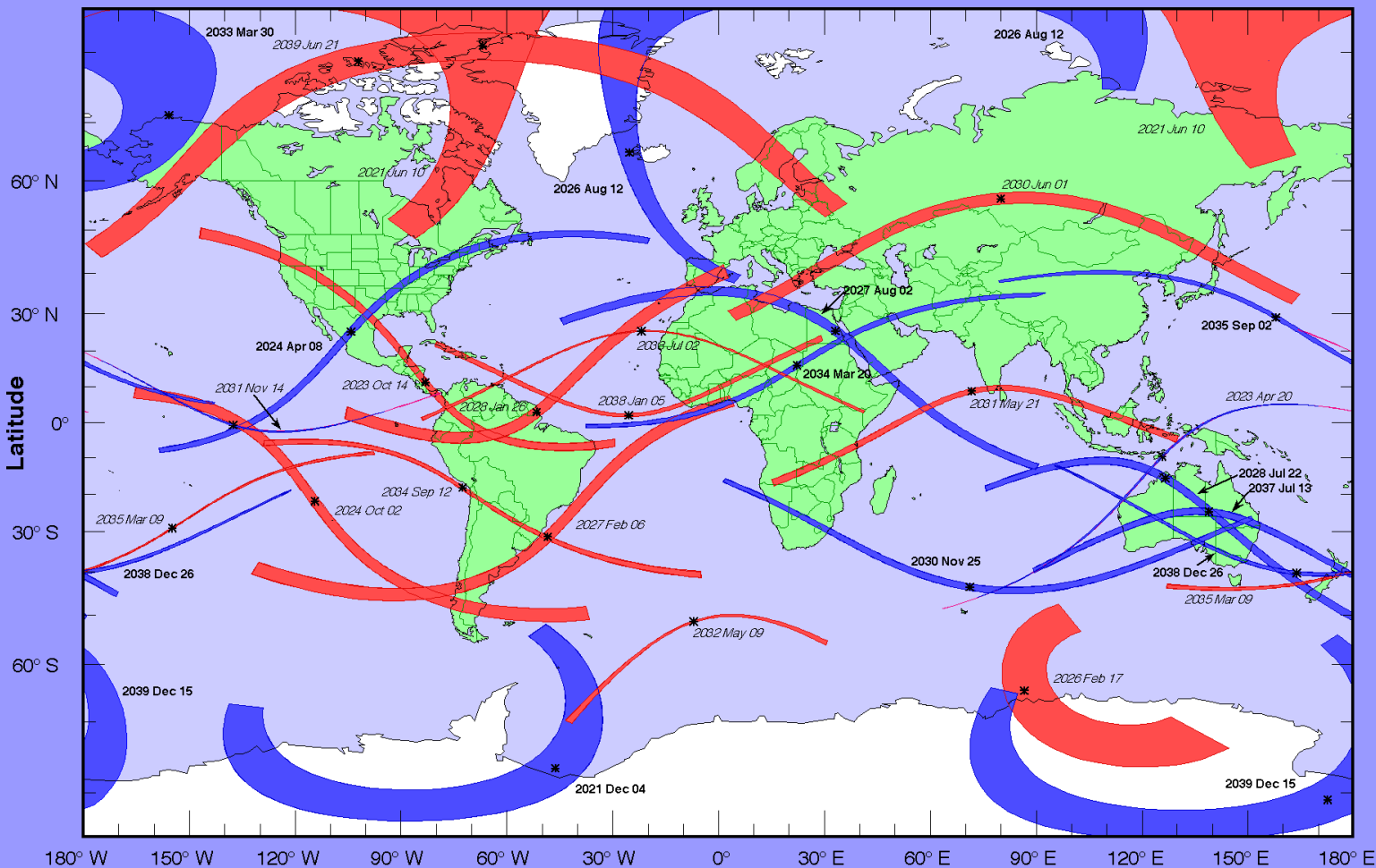
Tabela decadal de eclipses solares 2021-2030

Tabela decadal de eclipses lunares 2021-2030

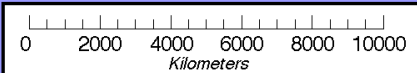
Cinco milênios de eclipses solares: catálogo de todos os eclipses solares entre os anos -1999 e +3000

Cinco milênios de eclipses lunares: catálogo de todos os eclipses lunares entre os anos -1999 e +3000

Total and Annular Solar Eclipse Paths: 2021 –2040



	Total Eclipse
	Annular Eclipse
	Hybrid Eclipse



Total Eclipse
2006 Mar 29

Saros 139



Mag. = 1.052
Gam. = 0.384

Alt. = 67°
Dur. = 4^m 07^s

Geocentric Conjunction = 10:33:17.4 UT J.D. = 2453823.939784

Greatest Eclipse = 10:11:17.7 UT J.D. = 2453823.924510

Eclipse Magnitude = 1.0515 Gamma = 0.3843

Saros Series = 139 Member = 29 of 71

Sun at Greatest Eclipse
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 00h31m31.7s
Dec. = +03°24'10.3"
S.D. = 00°16'01.1"
H.P. = 00°00'08.8"

External/Internal
Contacts of Penumbra

P1 = 07:36:48.5 UT
P2 = 09:44:37.2 UT
P3 = 10:37:28.0 UT
P4 = 12:45:40.6 UT

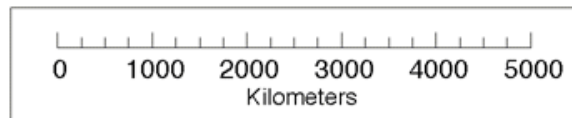
Ephemeris & Constants

Eph. = DE200/LE200
 $\Delta T = 64.9$ s
k1 = 0.2725076
k2 = 0.2722810
 $\Delta b = 0.0''$ $\Delta l = 0.0''$

Eclipse Solar total de 29/Mar/2006
Na página seguinte, a projeção
ortográfica da trajetória:

Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 23°09.1'N Sun Alt. = 67.3°
Long. = 016°44.9'E Sun Azm. = 148.6°
Path Width = 183.5 km Duration = 04m06.7s



Moon at Greatest Eclipse
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 00h30m46.6s
Dec. = +03°44'36.3"
S.D. = 00°16'35.0"
H.P. = 01°00'51.4"

External/Internal
Contacts of Umbra

U1 = 08:34:24.4 UT
U2 = 08:36:28.6 UT
U3 = 11:45:54.5 UT
U4 = 11:47:56.4 UT

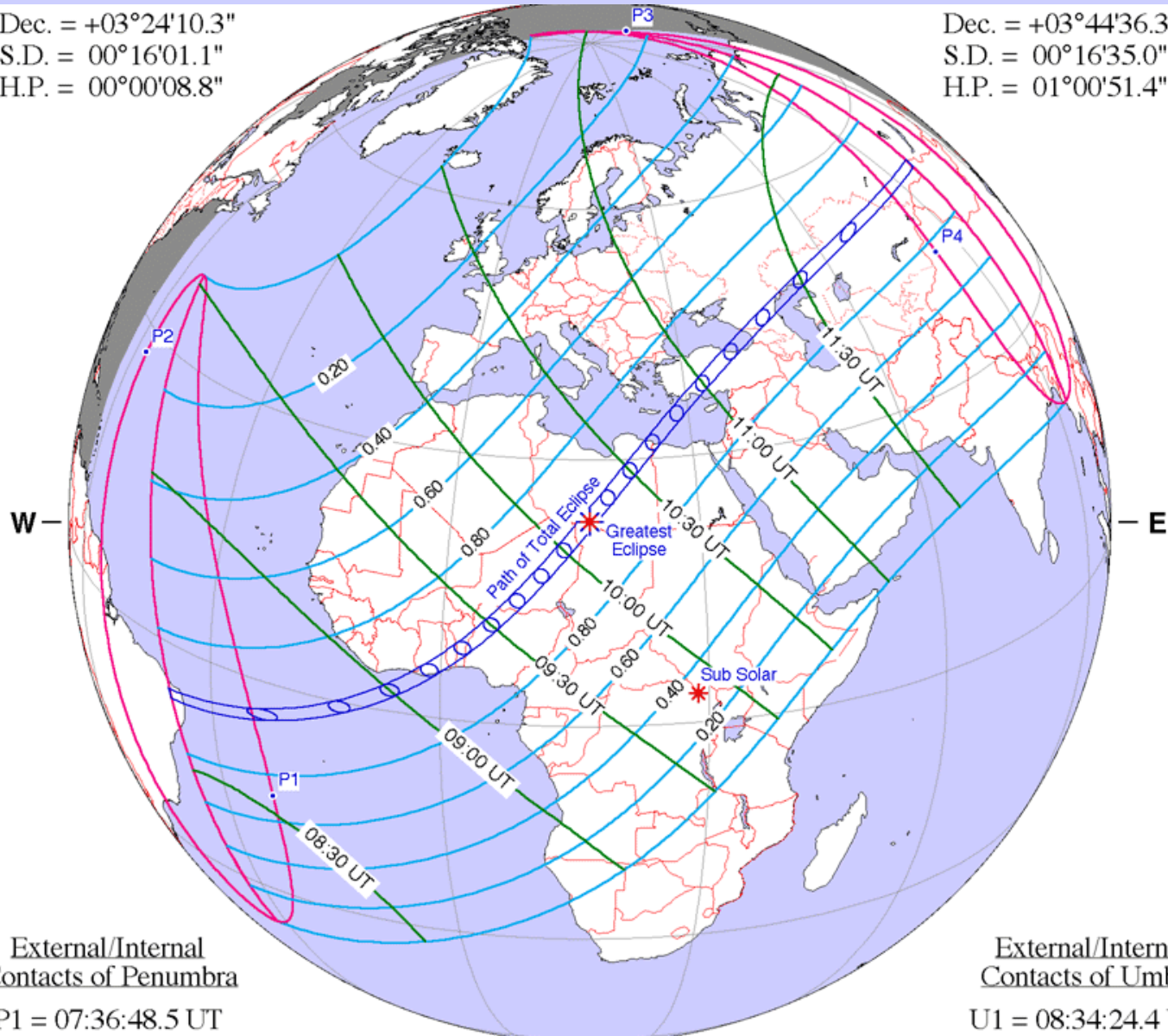
Geocentric Libration
(Optical + Physical)

l = 2.18°
b = -0.52°
c = -21.71°

Brown Lun. No. = 1030

Dec. = +03°24'10.3"
S.D. = 00°16'01.1"
H.P. = 00°00'08.8"

Dec. = +03°44'36.3"
S.D. = 00°16'35.0"
H.P. = 01°00'51.4"



External/Internal
Contacts of Penumbra

P1 = 07:36:48.5 UT

External/Internal
Contacts of Umbra

U1 = 08:34:24.4 UT

FIGURE 3: PATH OF THE ECLIPSE THROUGH AFRICA

Total Solar Eclipse of 2006 Mar 29

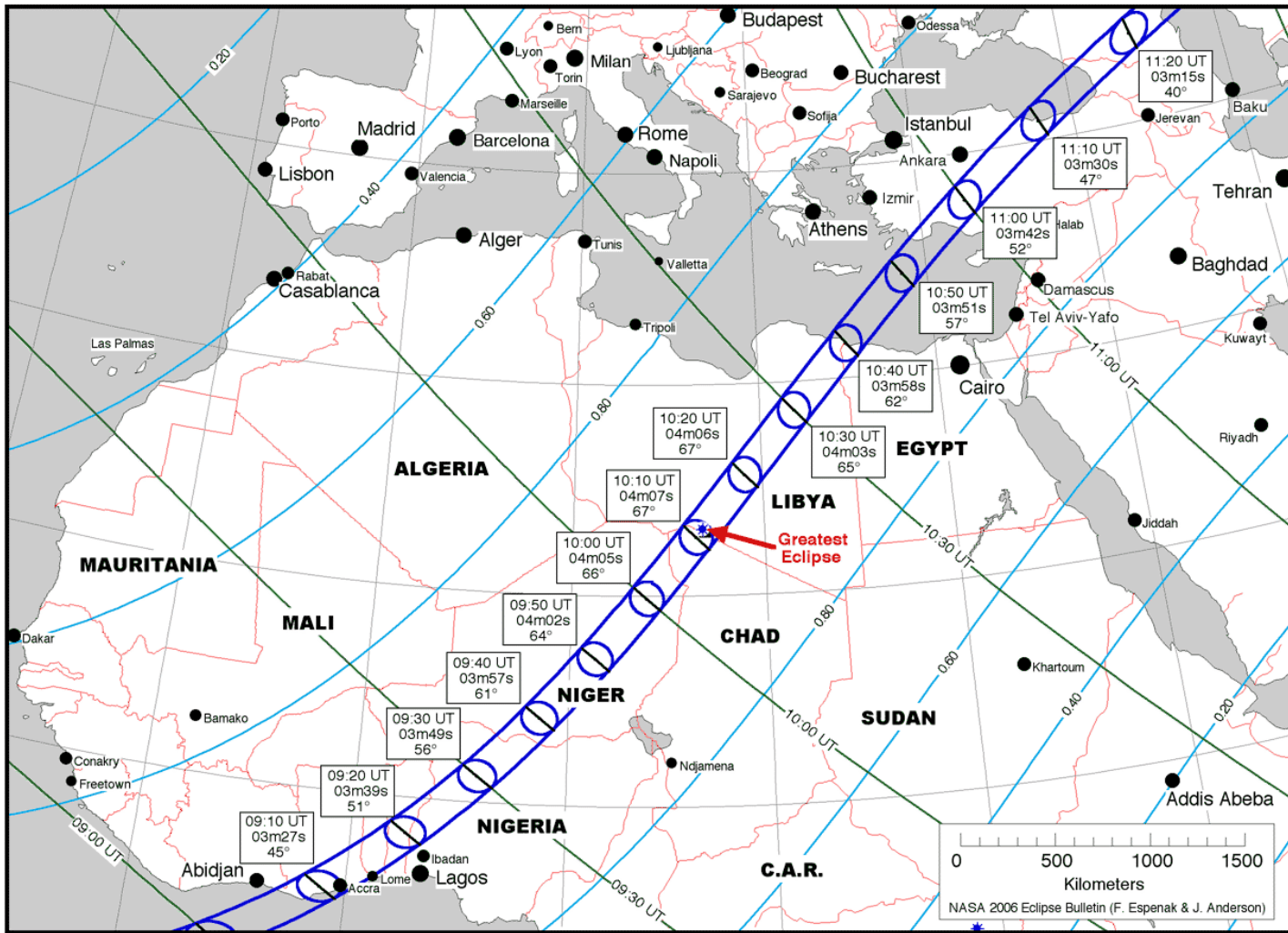
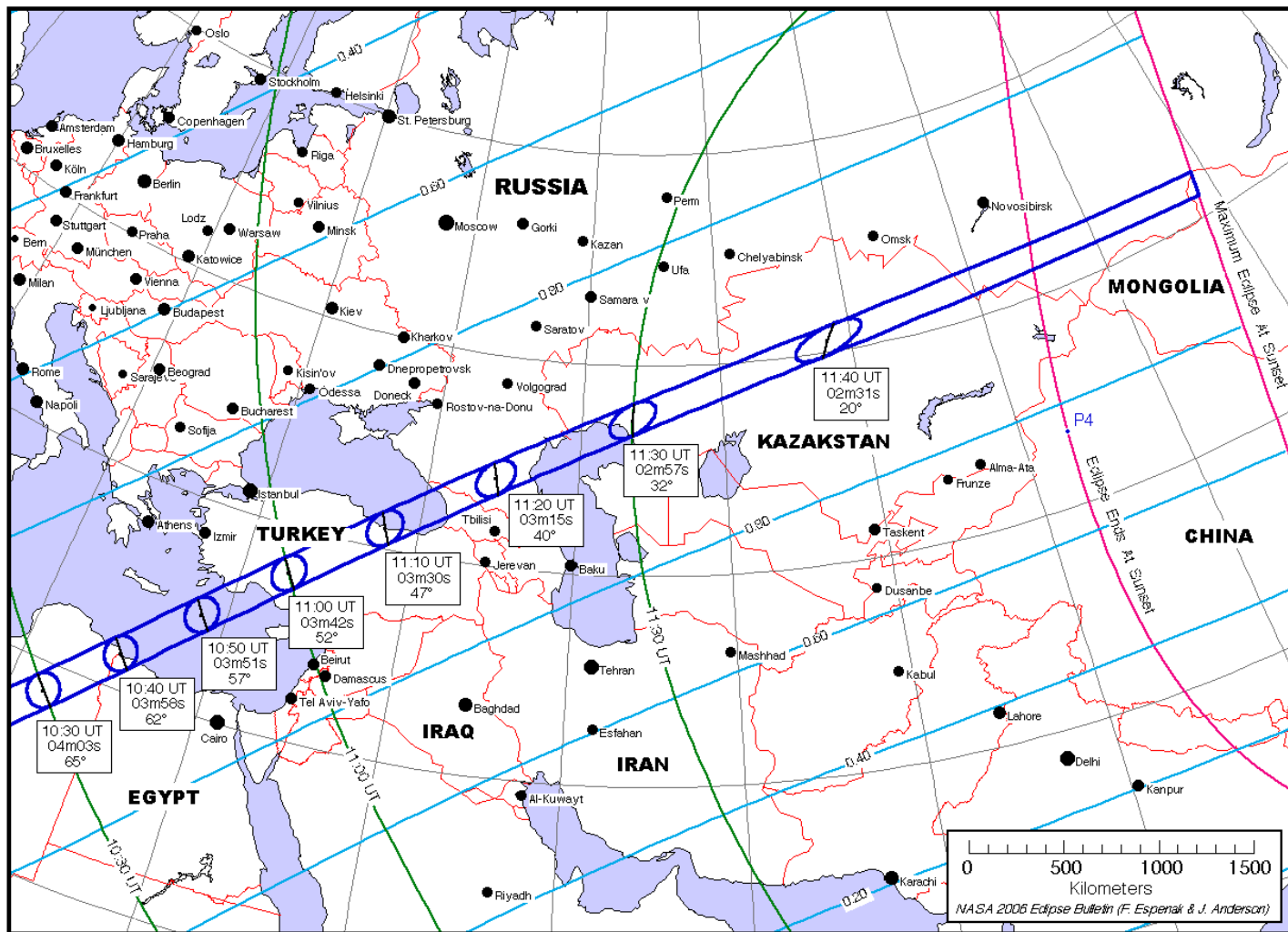
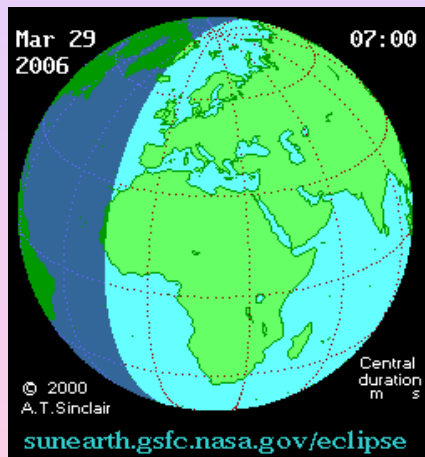


FIGURE 3: PATH OF THE ECLIPSE THROUGH ASIA

Total Solar Eclipse of 2006 Mar 29





Próximo eclipse solar total visível do Brasil :

Total Solar Eclipse of 2045 Aug 12

Geocentric Conjunction = 17:31:15.2 UT J.D. = 2468205.230037

Greatest Eclipse = 17:40:58.3 UT J.D. = 2468205.236786

Eclipse Magnitude = 1.0774 Gamma = 0.2114

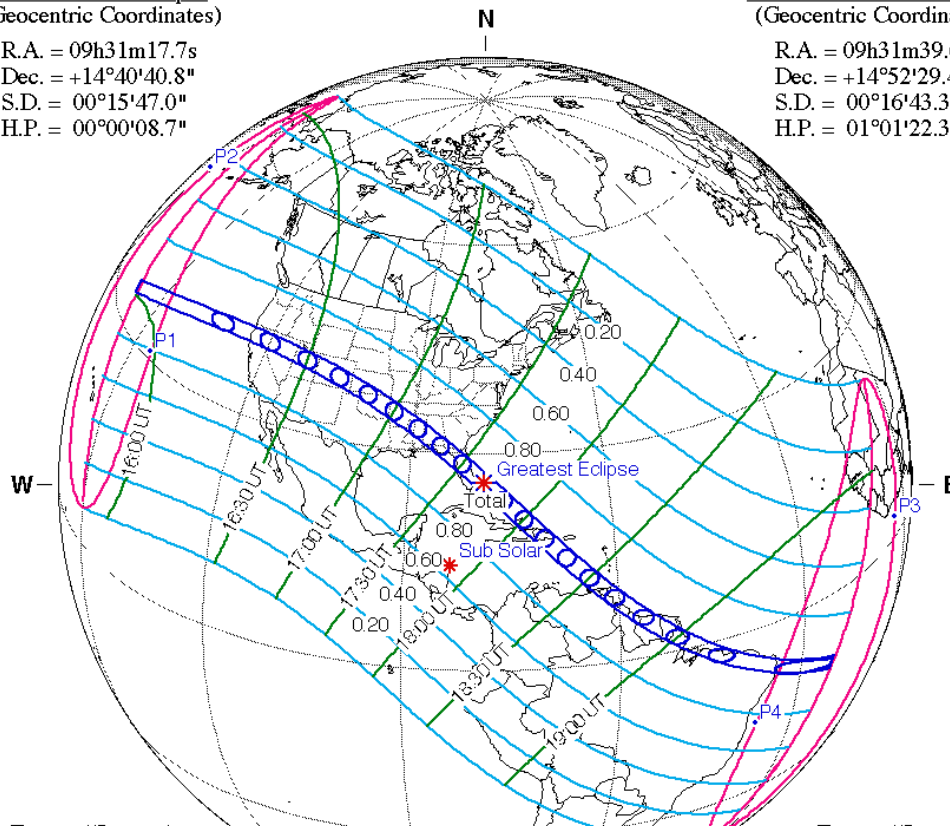
Saros Series = 136 Member = 39 of 71

Sun at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 09h31m17.7s
Dec. = +14°40'40.8"
S.D. = 00°15'47.0"
H.P. = 00°00'08.7"

Moon at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 09h31m39.6s
Dec. = +14°52'29.4"
S.D. = 00°16'43.3"
H.P. = 01°01'22.3"

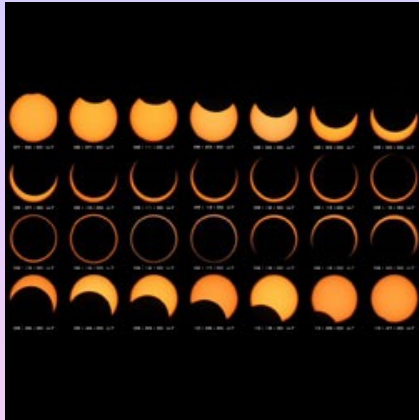


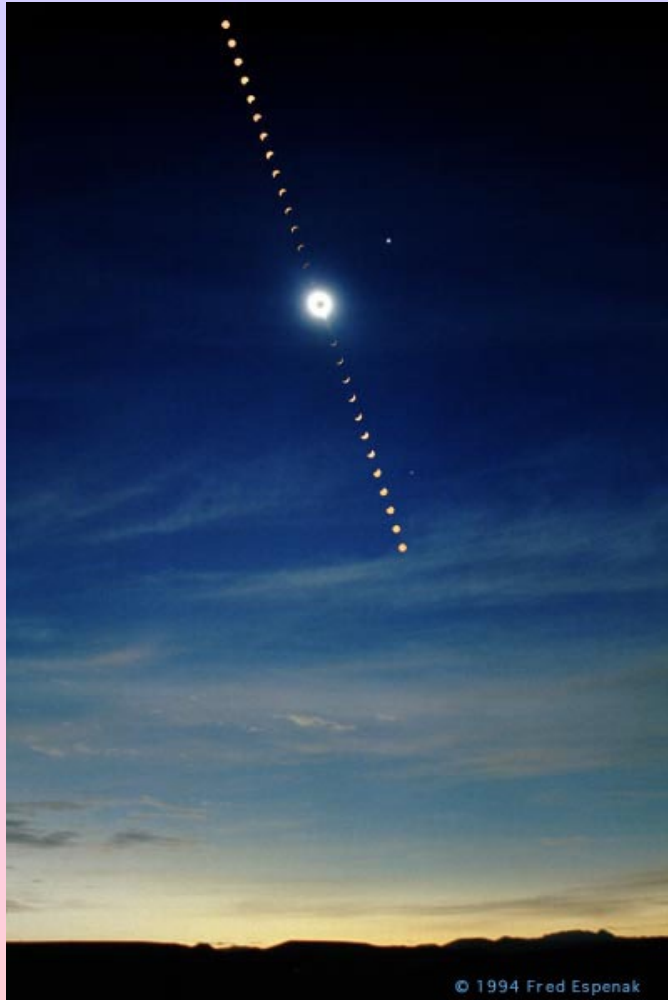
Fotos de eclipses





Eclipse total fotografado da Estação Espacial Mir em 1999





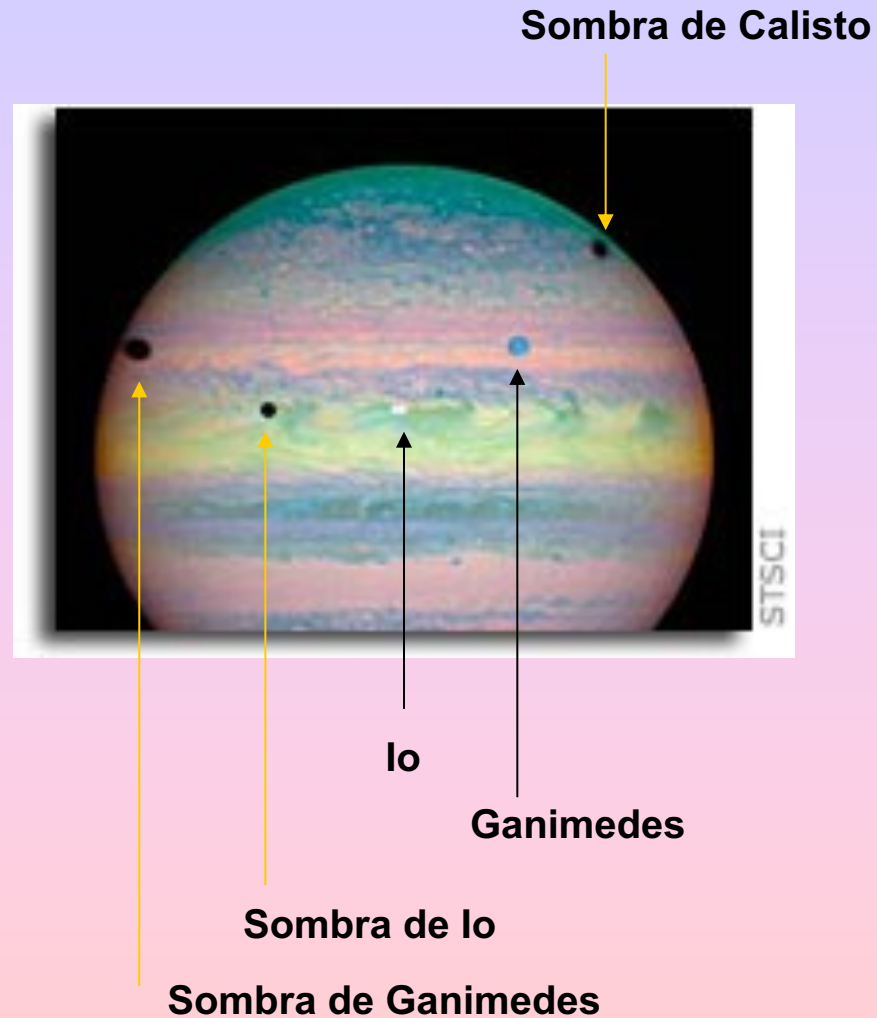


© 2002 Fred Espenak

www.MrEclipse.com

Eclipse triplo em Júpiter

(foto do Space Telescope)



O que este vira-lata está fazendo aqui ???



Repare a imagem do Sol em forma de meia-lua !

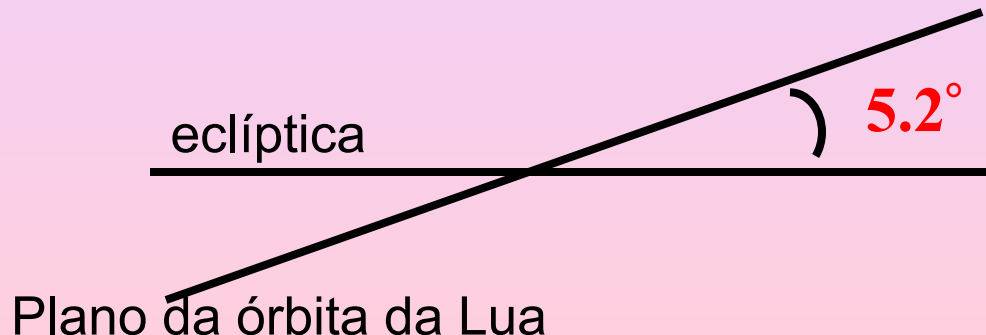


Madrid, 03 de outubro de 2005



Efeito de um eclipse anular sob a sombra de uma árvore : os espaços entre as folhas atuam como uma câmera de orifício (“pinhole”) que reproduz a imagem do Sol

Importante: o plano da órbita da Lua em torno da Terra não é o mesmo da órbita da Terra ao redor do Sol: há uma diferença de 5.2° . Assim, a Lua não está exatamente entre o Sol e a Terra quando temos Lua Nova, mas um pouco acima ou um pouco abaixo. Apenas em alguns casos acontece de os três astros ficarem alinhados, e aí teremos um eclipse.



→ Por isso não ocorrem eclipses a cada luação!

Eclipses e a forma da Terra: o argumento grego

**Lua
Cheia**

**Aristóteles (384-322 AC) já
tinha observado isso**

Lua

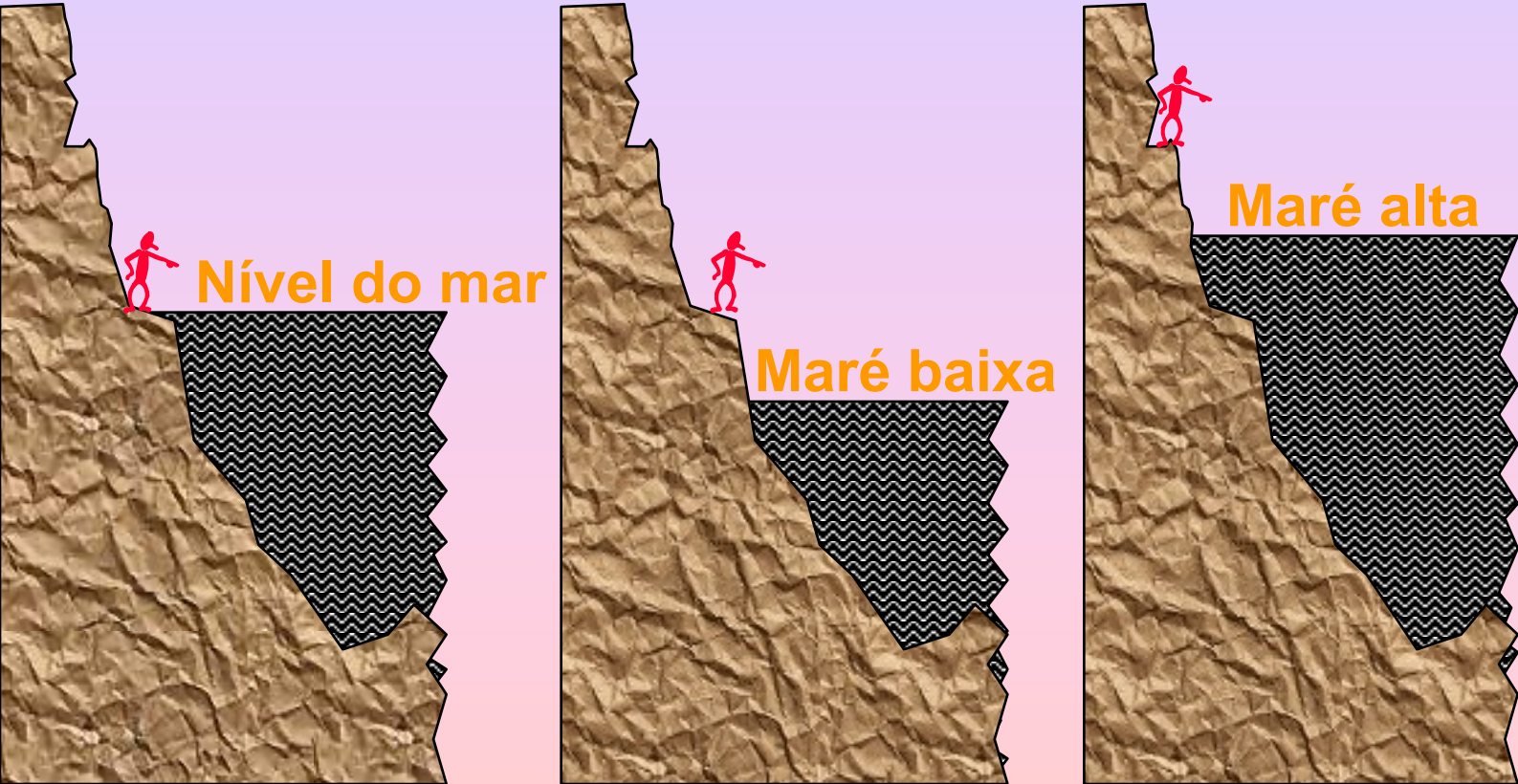
**Sombra
da
Terra**

**Durante um eclipse lunar vemos a sombra da Terra
projetada na Lua. Independente da hora do eclipse, a
sombra da Terra projetada na lua SEMPRE será um disco
→ A Terra é esférica**

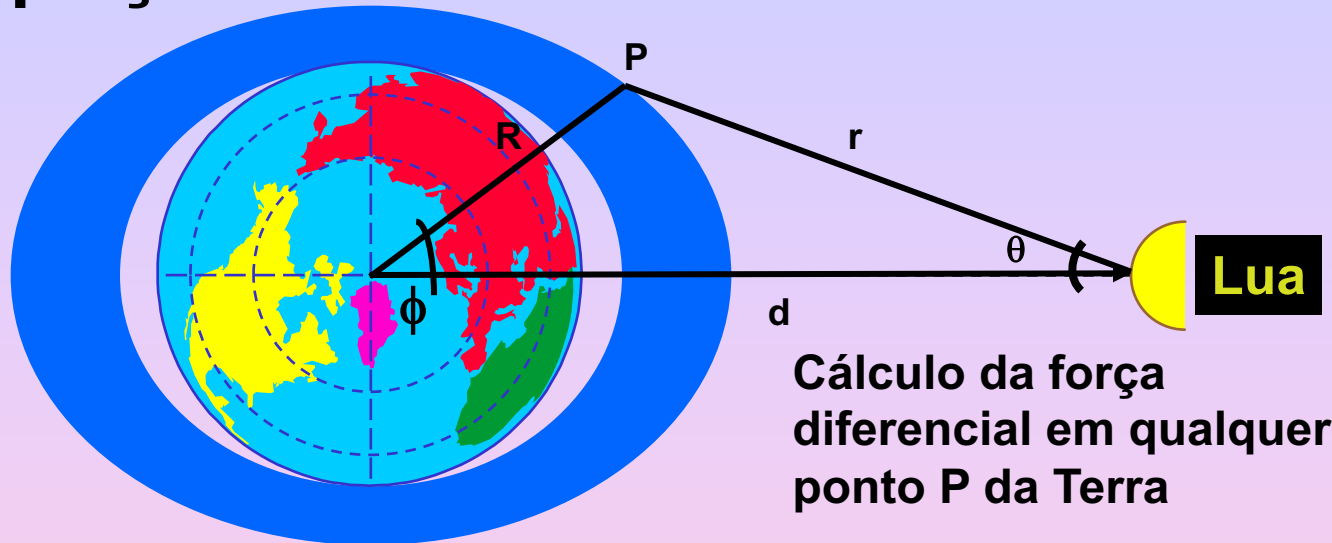
FORÇAS DE MARÉ

Observando o nível do mar

Causa das marés : força gravitacional diferencial exercida pela Lua e Sol sobre pontos diferentes na Terra (para o Sol o efeito é menor)



Equação da Maré



Considerando que a distância até a Lua é bem maior do que o raio R da Terra $\implies \theta$ pequeno.

Podemos calcular a força diferencial em qualquer ponto P em relação ao centro da Terra:

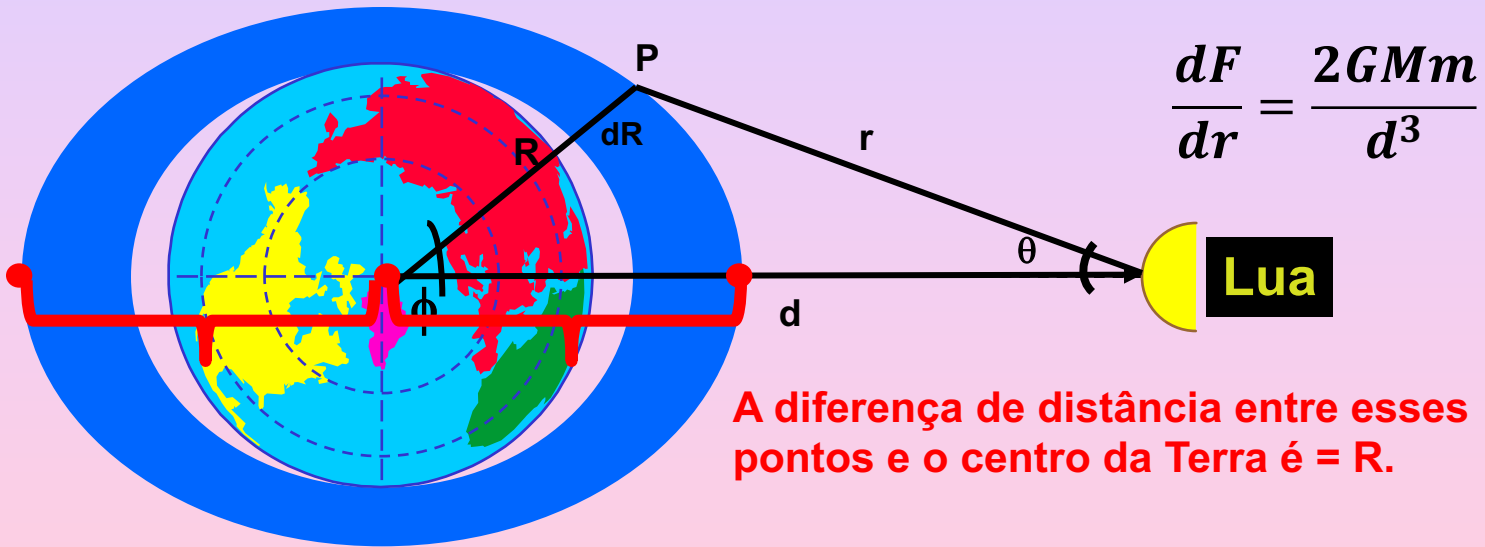
$$F = -\frac{GMm}{r^2} \quad \frac{dF}{dr} = \frac{2GMm}{d^3}$$

m = massa de uma partícula em P

M = massa da Lua

d = distância Terra-Lua

onde dr é a separação dos pontos nos quais queremos calcular a força diferencial dF .



A variação máxima nessa força acontece para os pontos que estão sobre a superfície da Terra, na direção que une os centros da Terra e da Lua ($\phi=0$).

Comparação entre as marés do SOL e da LUA

$$dF = \frac{2GmRM}{d^3}$$

- $M_{\odot} = 1,9887973 \times 10^{30}$ kg
- $M_{\zeta} = 7,3474271 \times 10^{22}$ kg
- $D_{\zeta} = 384.000$ km
- $D_{\odot} = 1,49 \times 10^8$ km

$$dF_{\zeta} \sim 2 \times dF_{\odot}$$

Sequência da Maré

Enquanto a Terra gira no seu movimento diário, o bojo de água continua sempre apontando aproximadamente na direção da Lua.

Em um dado tempo, um certo **ponto da Terra estará em maré alta**. 6h 12m mais tarde, a rotação da Terra terá levado esse ponto a 90° da Lua, e ele terá maré baixa.

Dali a + 6h 12m , o mesmo ponto estará a 180° da Lua, e terá maré alta novamente. Portanto **as marés acontecem duas vezes a cada 24h 48, que é a duração do dia lunar**.

Maré mais alta = lua nova ou cheia (sol e lua alinhados)

Maré ainda mais alta = lua nova ou cheia coincide com o perigeu da lua. Também é conhecida como maré de perigeu/sizígia ou popularmente como Superlua

Sequência da Maré



Efeito combinados do Sol + Lua (Luas nova e cheia) produzem maiores variações das marés: *marés de sizígia*.

As maiores variações ocorrem nas *marés de perigeu-sizígia* (superluas)



Efeito combinados do Sol + Lua (Luas crescente e minguante) produzem menores variações das marés

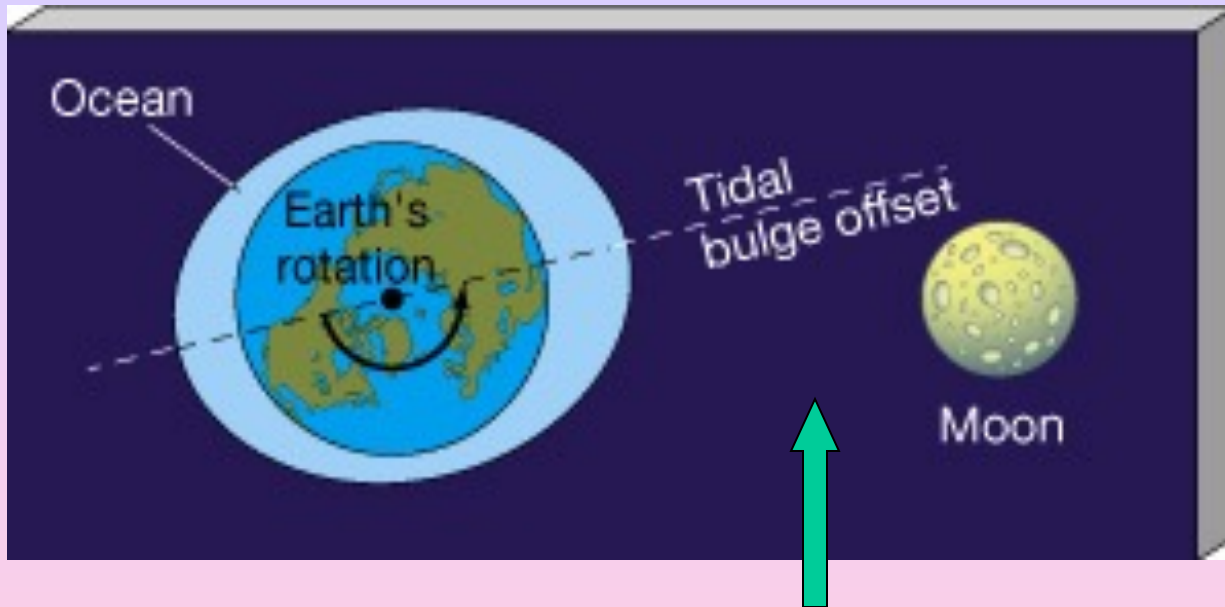
Efeitos das Marés

O atrito das águas com o fundo dos oceanos +força gravitacional da Lua causam a desaceleração da rotação da Terra (há 400 milhões de anos o dia tinha 22 horas)



1) A massa de água mais alta (bojo) não aponta diretamente para a Lua. Efeitos de atrito da crosta terrestre com os oceanos fazem com que a rotação da Terra mova o bojo junto com a mesma. Isso causa um deslocamento do bojo de um pequeno ângulo de aproximadamente 3° em relação a linha Terra-Lua, na mesma direção da rotação.

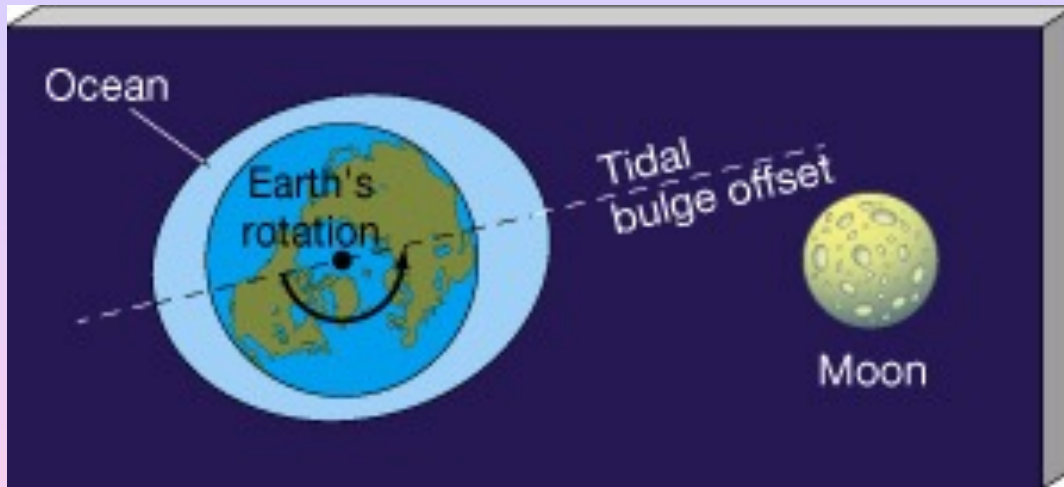
Efeitos das Marés



2) O efeito líquido da força gravitacional da Lua é reduzir a velocidade de rotação da Terra. Taxa = 1.5 ms por século. Aumenta o dia em 0,002 segundos por século.

Este processo continuará até a Terra rotar com a mesma velocidade com que a Lua gira em torno da Terra: rotação síncrona. Terra terá a mesma face voltada para a Lua. Será preciso bilhões de anos para que isso ocorra.

Efeitos das Marés



3) Ao mesmo tempo, a Lua vai se afastando cada vez mais para longe da Terra, na taxa de 2.5 cm por ano.

No limite: período de translação = 47 dias e distância Terra-Lua = 43% maior que a atual.



Conservação do momentum angular do sistema Terra-Lua: se o momentum angular de rotação da Terra diminui → Lua aumenta o seu momentum angular orbital.

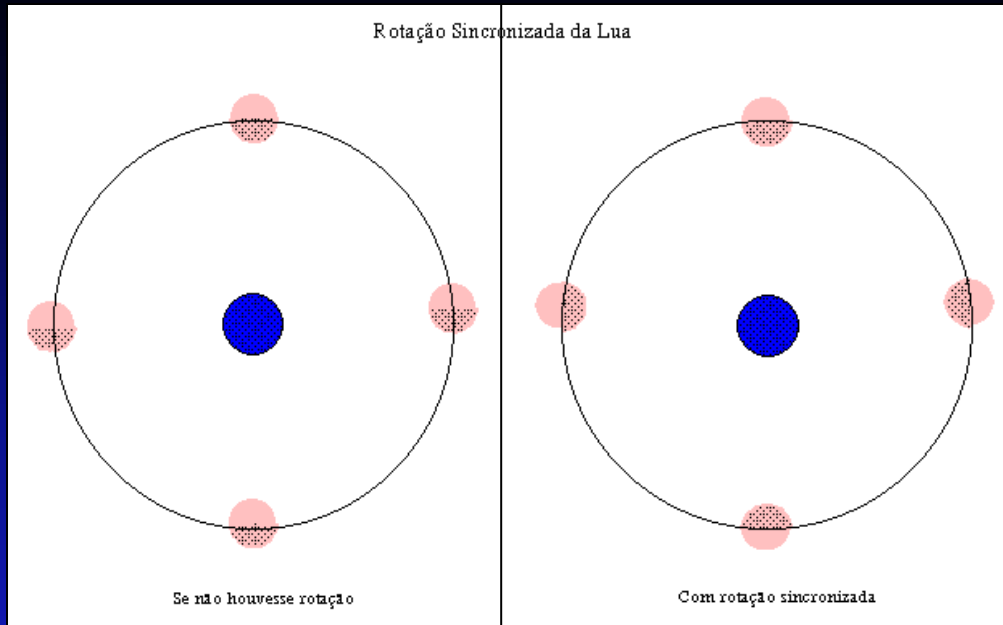
ANIMAÇÃO

O ciclo das mares

ROTAÇÃO SÍNCRONA DA LUA

No passado o período de rotação da Lua era **menor** do que o seu período de translação em torno da Terra. Ao girar, ela tentava arrastar consigo os bojos de maré, que sempre ficavam alinhados na direção da Terra: **movimento relativo entre as diferentes partes da Lua** ⇒ **gerava atrito** ⇒ **freamento da rotação**.

Devido a esse atrito a Lua foi perdendo energia de rotação até ficar com a *rotação sincronizada*, estado em que o período sideral é exatamente igual ao período de revolução.



- A Lua gira em torno de seu eixo exatamente no mesmo intervalo de tempo em que completa uma volta em torno da Terra. → A mesma face está sempre voltada para a Terra
- Nesta configuração as marés na Lua, produzidas pela Terra, ocorrem sempre no mesmo ponto não gerando atrito nem perda de energia (configuração de mínima energia).

ANIMAÇÃO

Rotação síncrona da Lua

MOVIMENTO DE LIBRAÇÃO

Causas:

Libração em longitude: órbita da Lua em torno da Terra não é perfeitamente circular.

Libração em latitude: inclinação do eixo de rotação da Lua em relação ao plano da órbita em torno da Terra.

Consequência:

PODEMOS OBSERVAR MAIS 9% DA LUA ALÉM DA METADE VOLTADA PARA A TERRA

O período da libração é de 18.6 anos

ANIMAÇÃO

Ciclo das Fases e Libração da Lua **(para o hemisfério sul)**