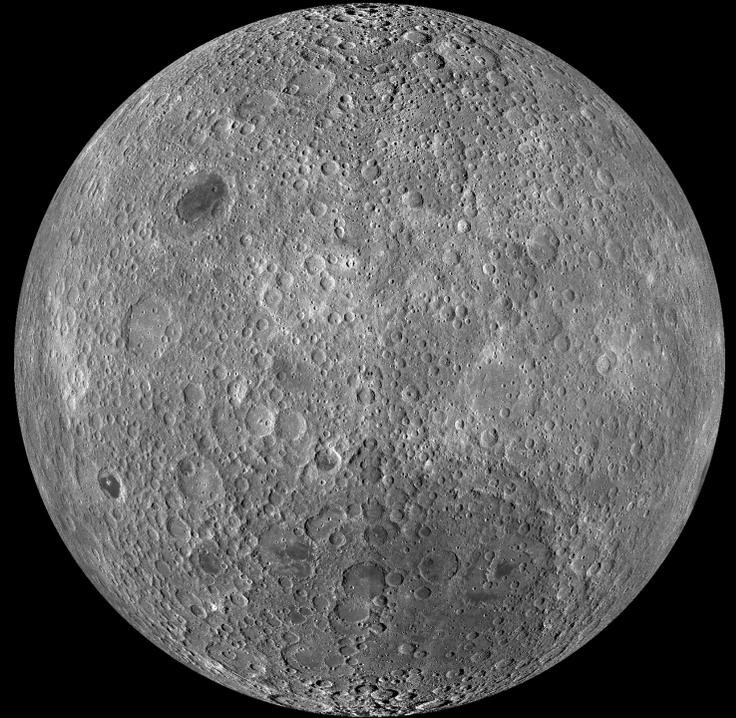


# O Sol, a Terra e a Lua: fases, eclipses e marés



# Fases da Lua

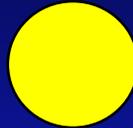
Nova



Quarto  
Crescente



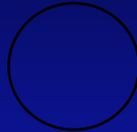
Cheia



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

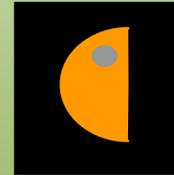
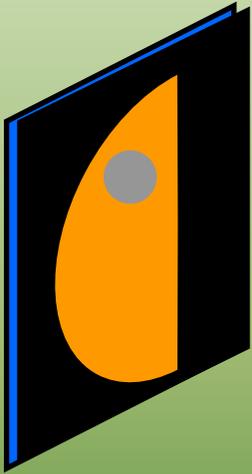
Não deixe de notar que a aparência da Lua é invertida num hemisfério em relação ao outro!

**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



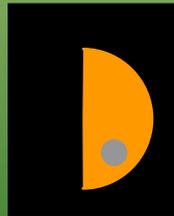
Lua Nova



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:

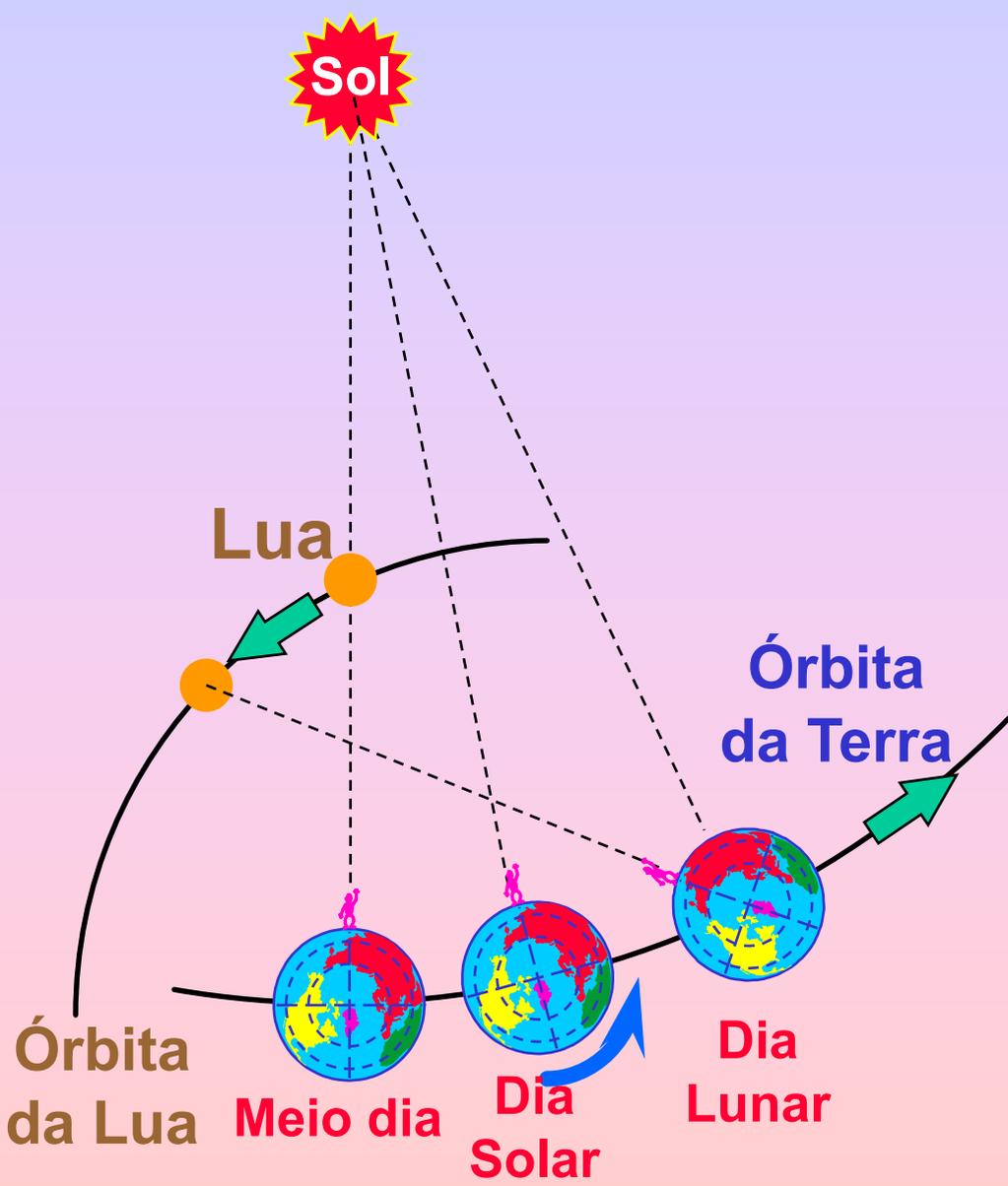
*Dark Side of the Moon* é um disco de rock!

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.

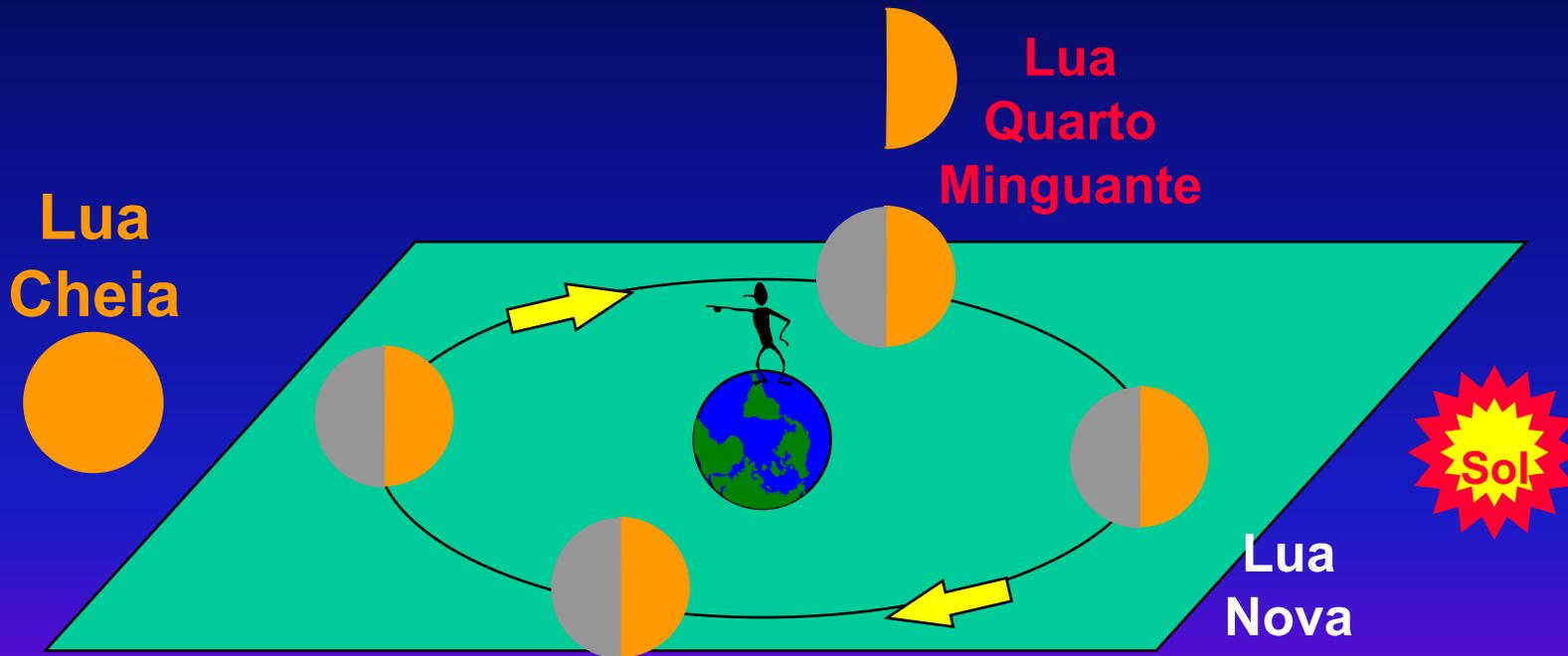


## Dia solar e dia lunar

**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

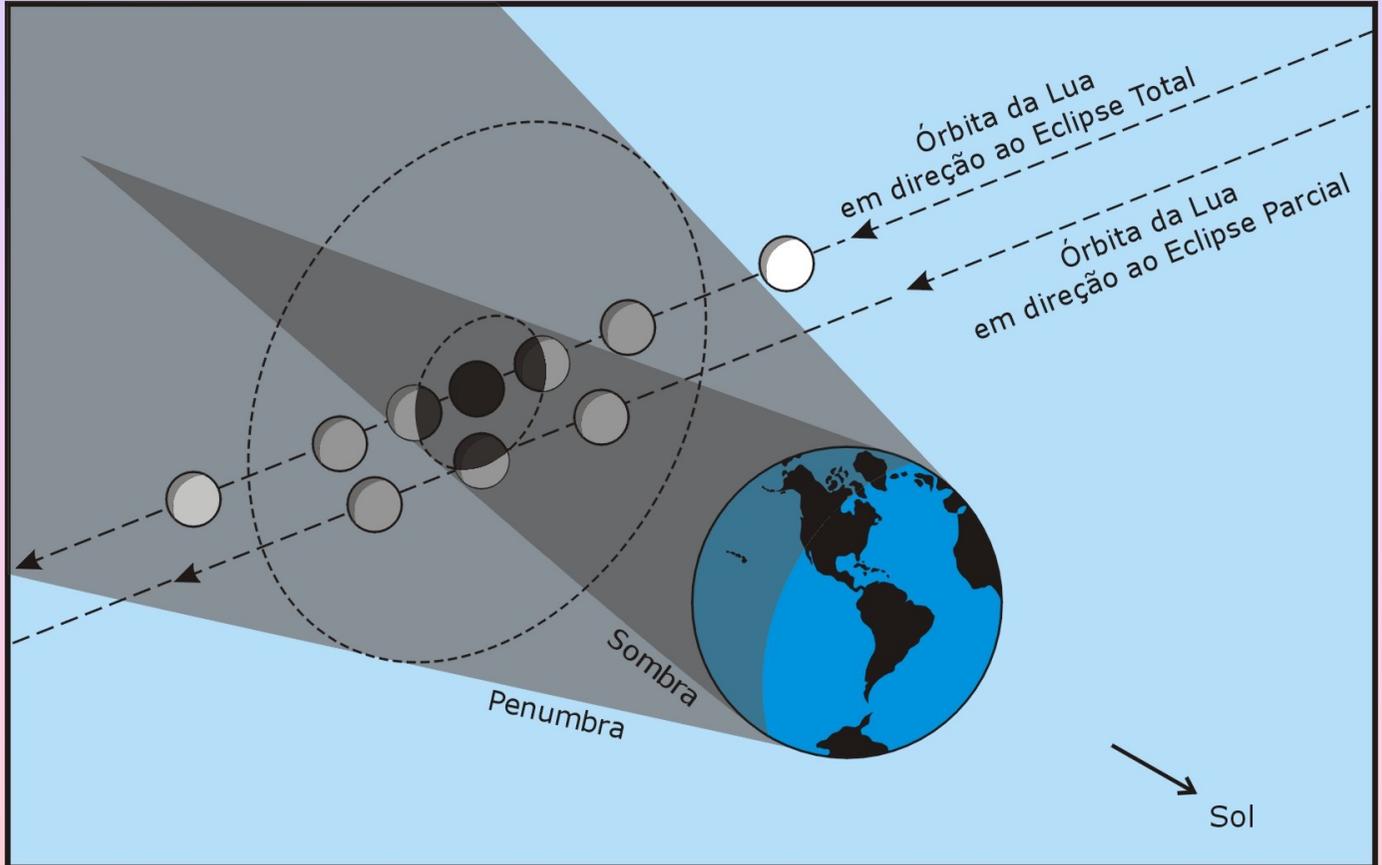
# Eclipses

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

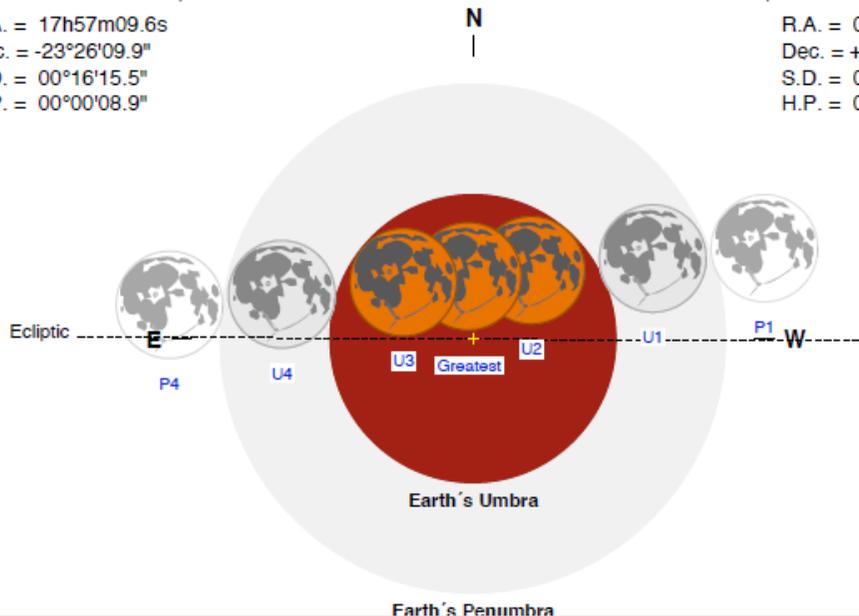
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 05h57m17.3s

Dec. = +23°44'47.8"

S.D. = 00°15'52.1"

H.P. = 00°58'14.3"



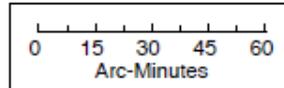
Penumbral = 05h35m14s  
Umbral = 03h28m43s  
Total = 01h12m21s

$\Delta T = 67$  s

Rule = CdT (Danjon)

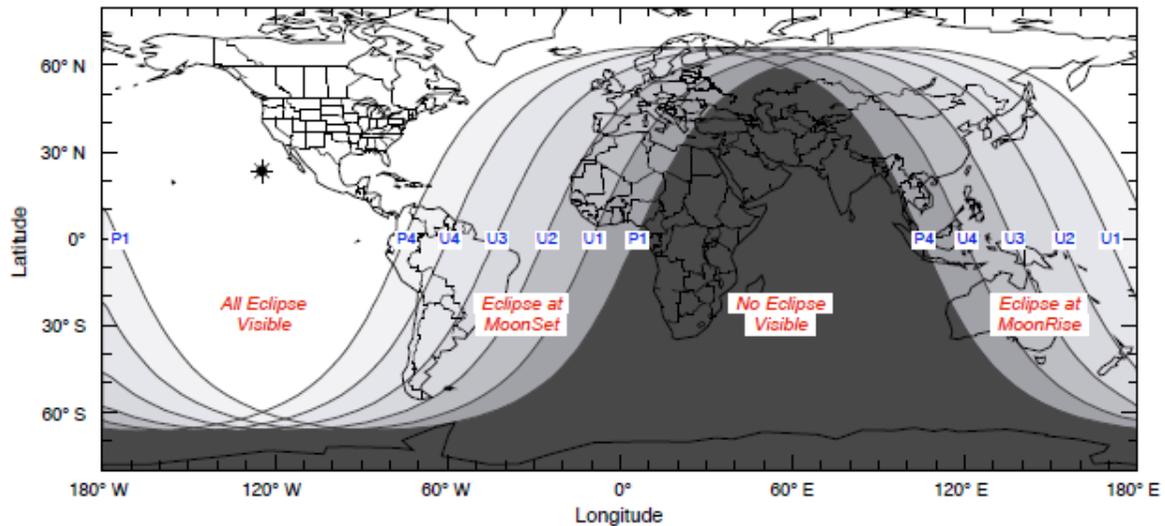
Eph. = VSOP87/ELP2000-85

S



F. Espenak, NASA's GSFC  
[eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html](http://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



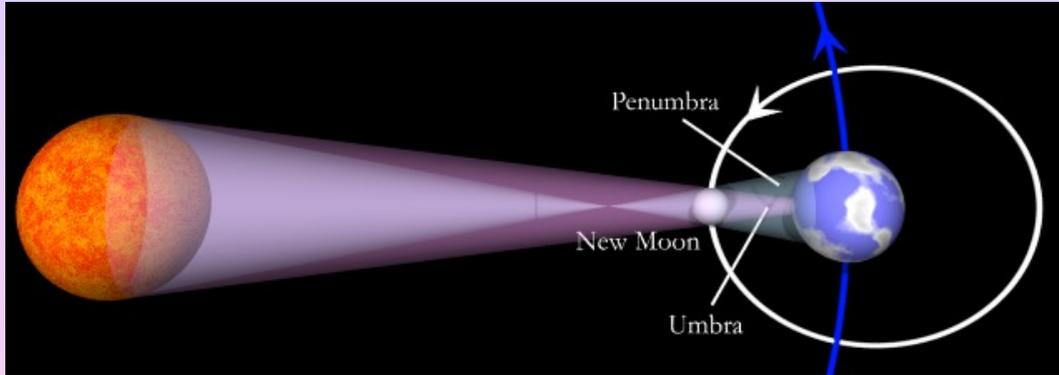


**Por que a Lua fica avermelhada durante um eclipse lunar total?  
Porque a atmosfera da Terra funciona como um filtro, que deixa passar a fração amarela/vermelha da luz visível e espalha o azul.**

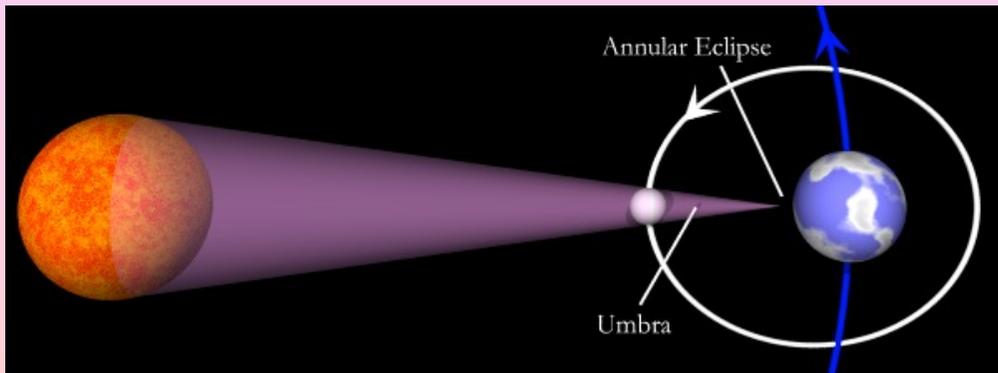
## **Como classificar a cor da lua nos eclipses? A Escala de Danjon**

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

# Eclipses solares

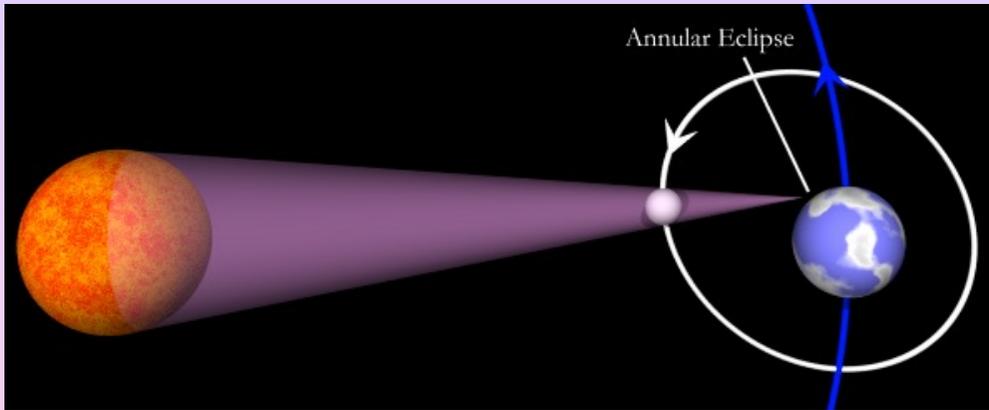


**Total**

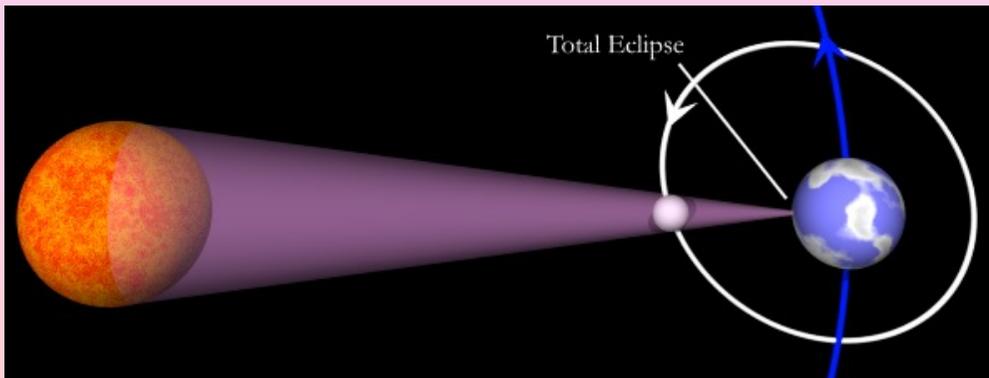


**Anular**

## Eclipse híbrido ou anular/total



**Anular no início e no final da trajetória sobre a Terra**



**Total no centro da trajetória**

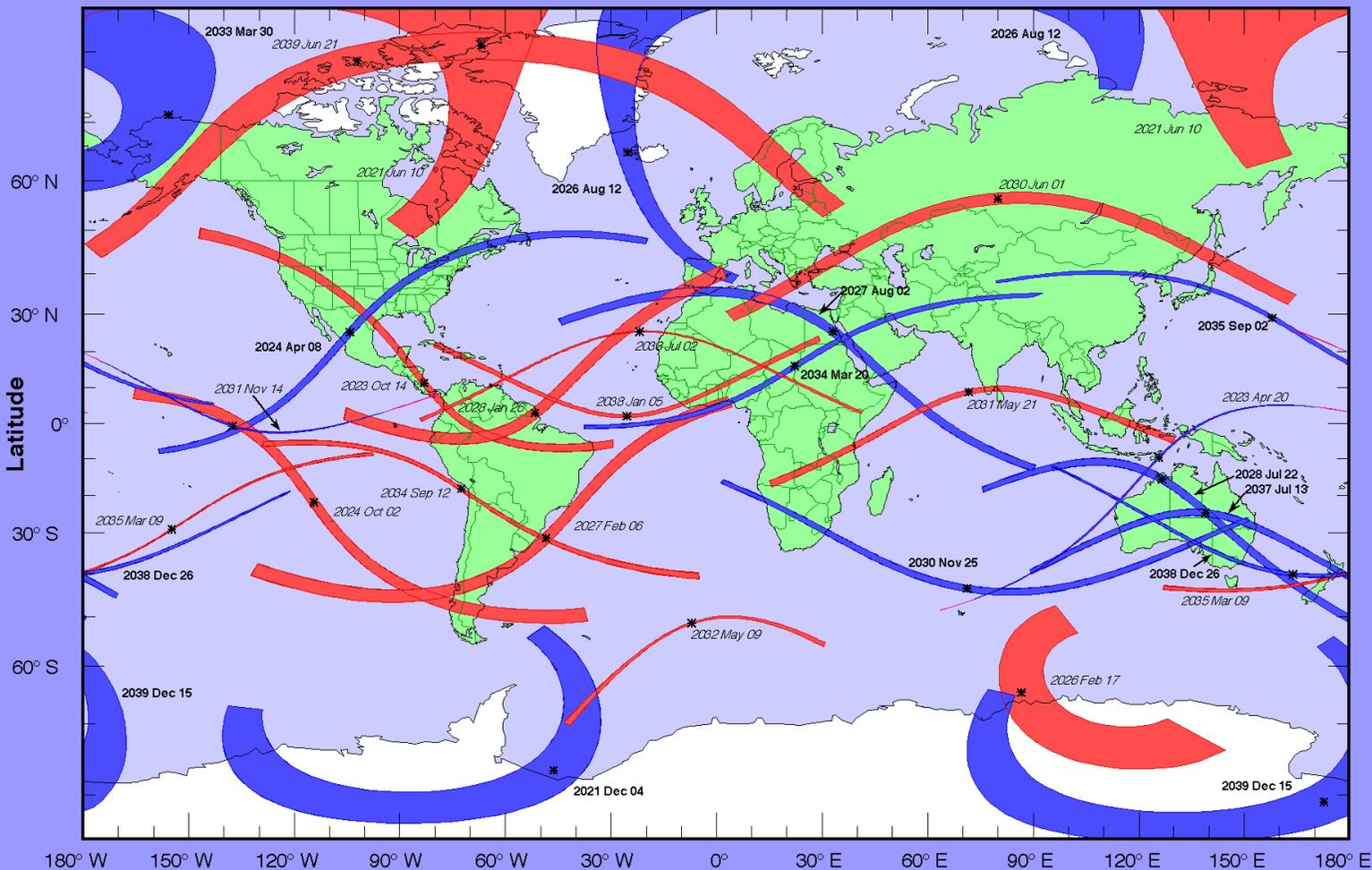
**Tabela decadal de eclipses solares 2021-2030**

**Tabela decadal de eclipses lunares 2021-2030**

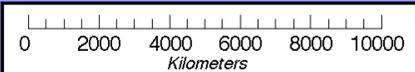
**Cinco milênios de eclipses solares: catálogo de todos os eclipses solares entre os anos -1999 e +3000**

**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

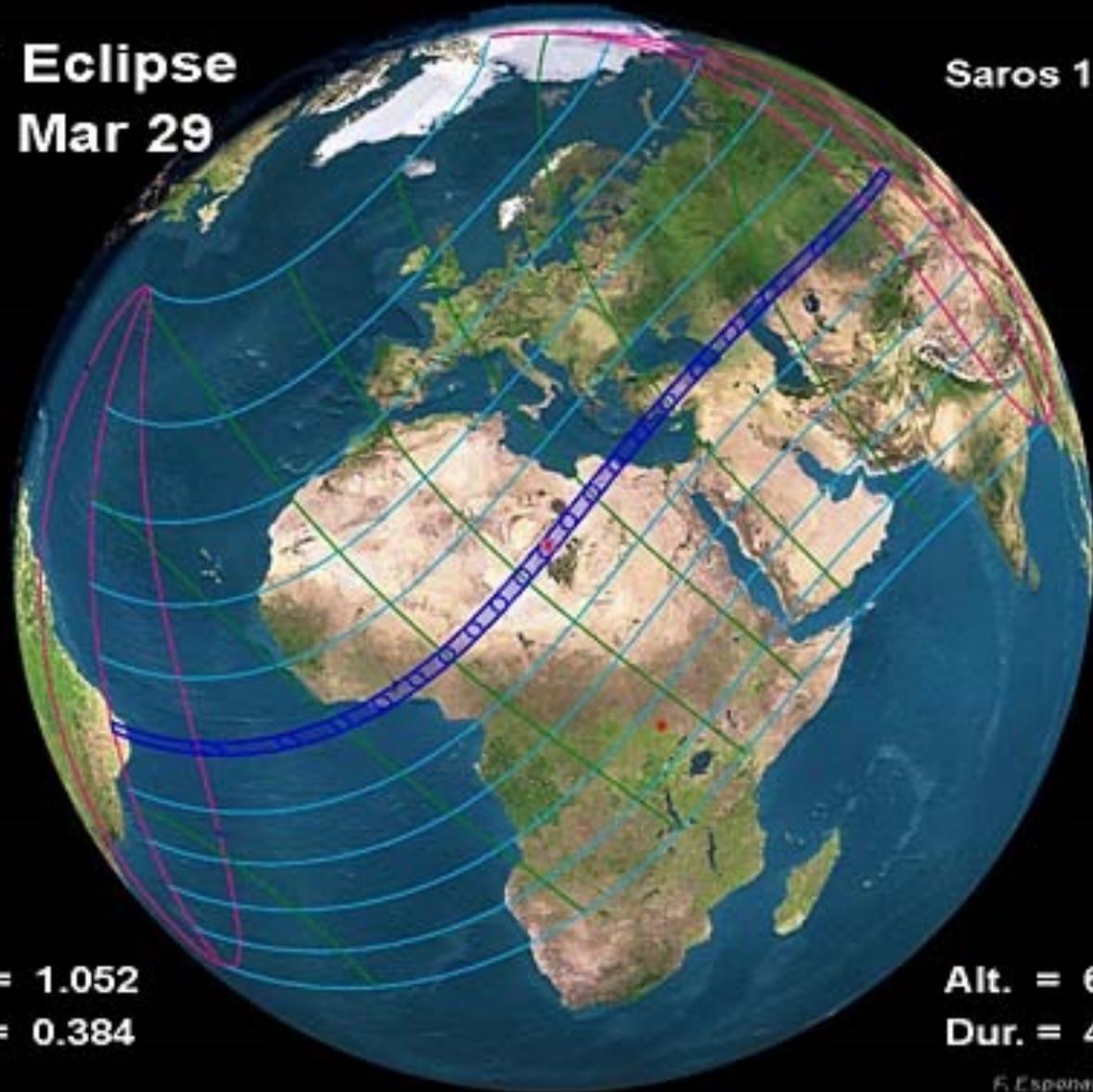


**■ Total Eclipse**  
**■ Annular Eclipse**  
**■ Hybrid Eclipse**



**Total Eclipse**  
**2006 Mar 29**

**Saros 139**



**Mag. = 1.052**  
**Gam. = 0.384**

**Alt. = 67°**  
**Dur. = 4<sup>m</sup> 07<sup>s</sup>**

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

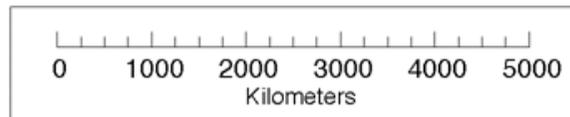
Ephemeris & Constants

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

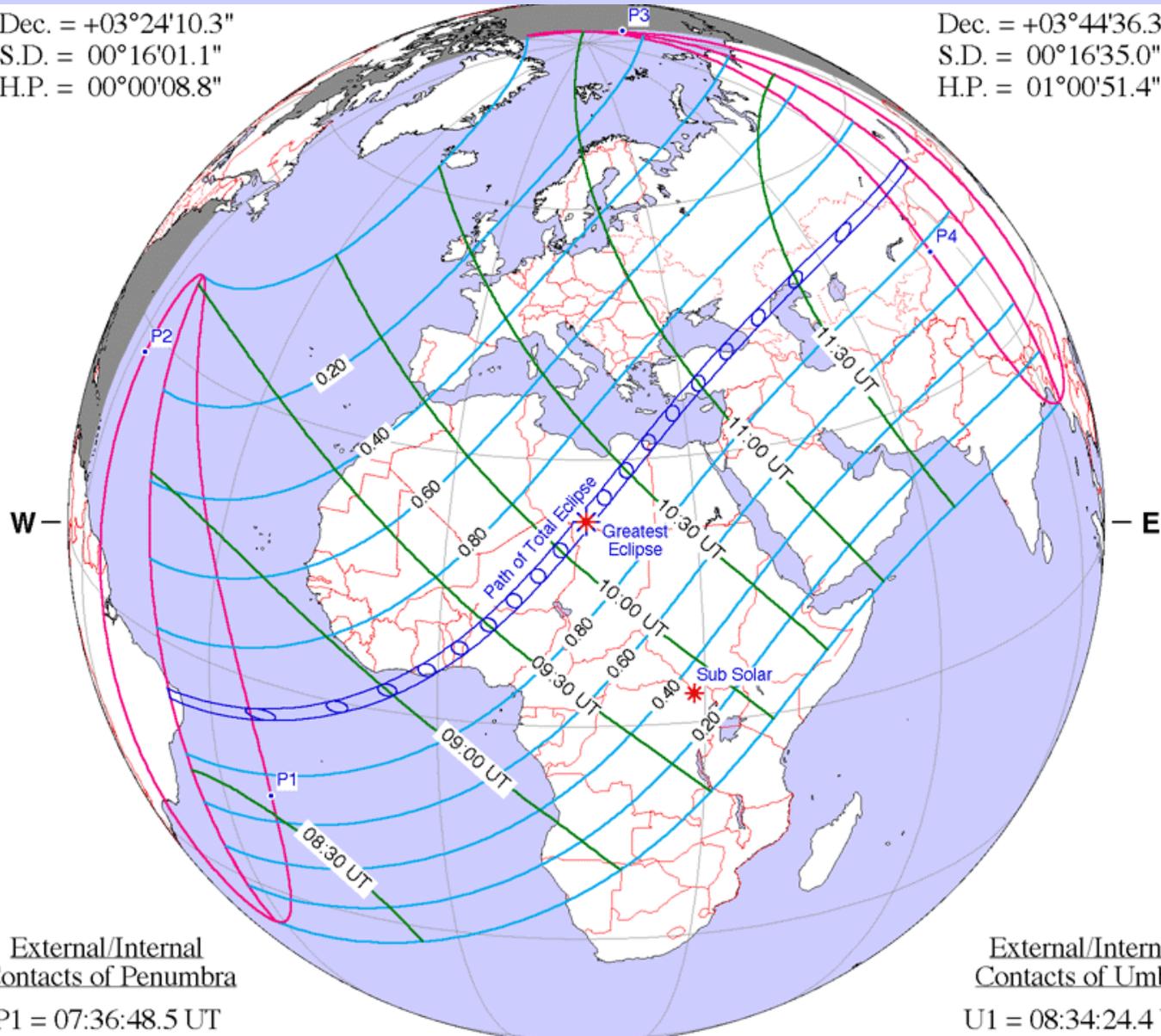
Geocentric Libration  
(Optical + Physical)

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

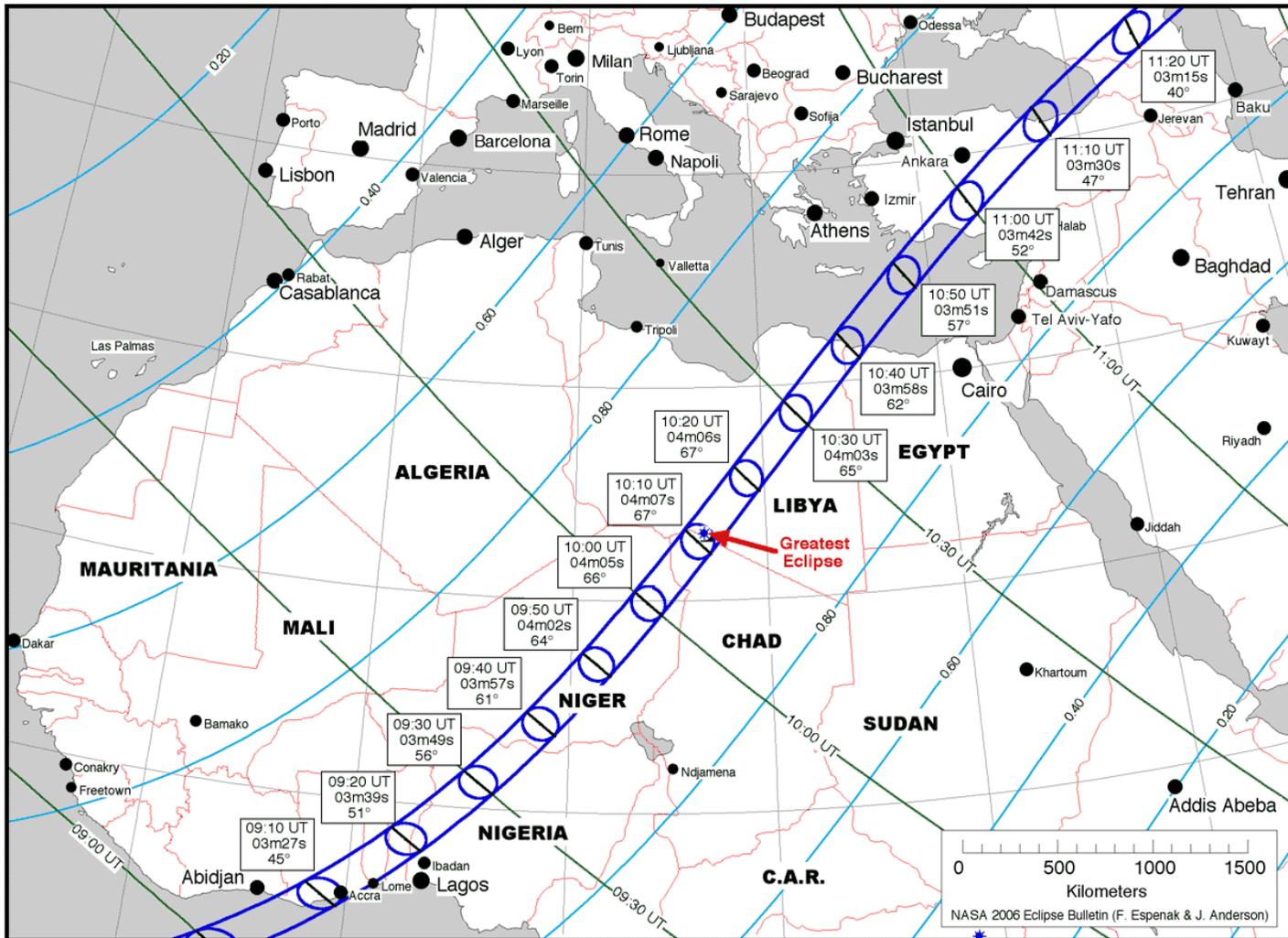
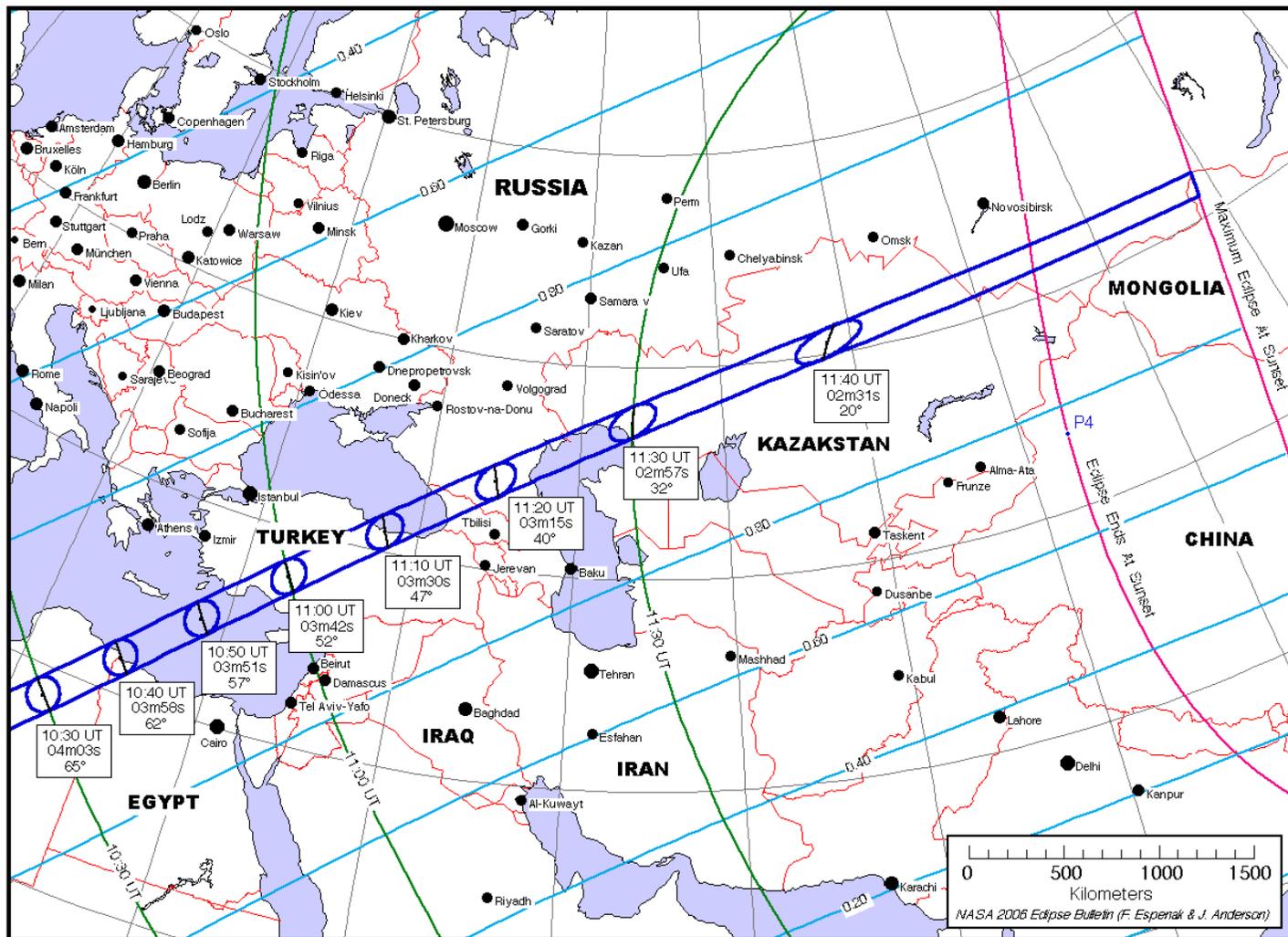
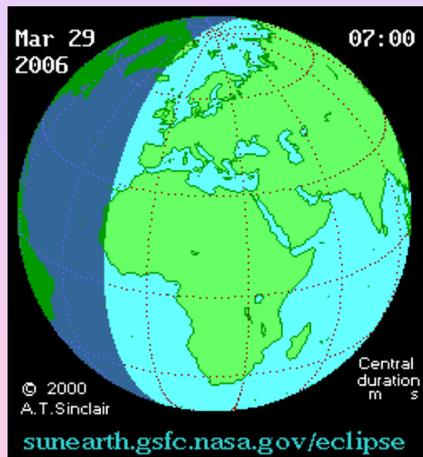


FIGURE 3: PATH OF THE ECLIPSE THROUGH ASIA

### Total Solar Eclipse of 2006 Mar 29





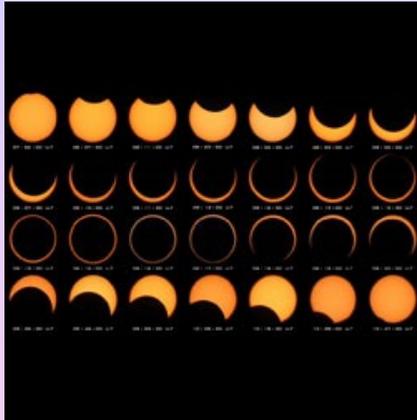


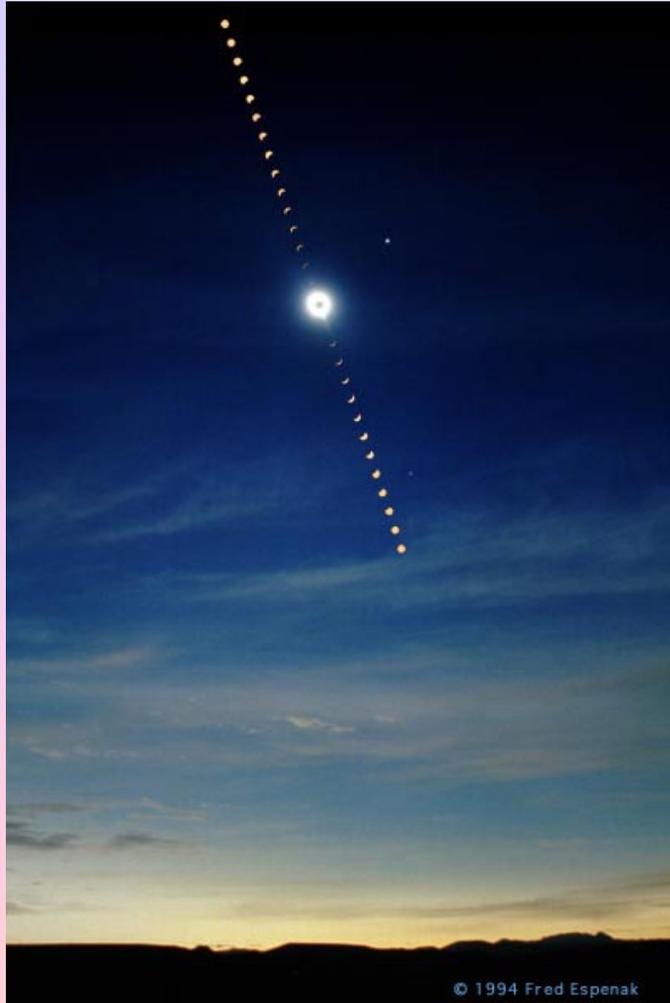
# Fotos de eclipses

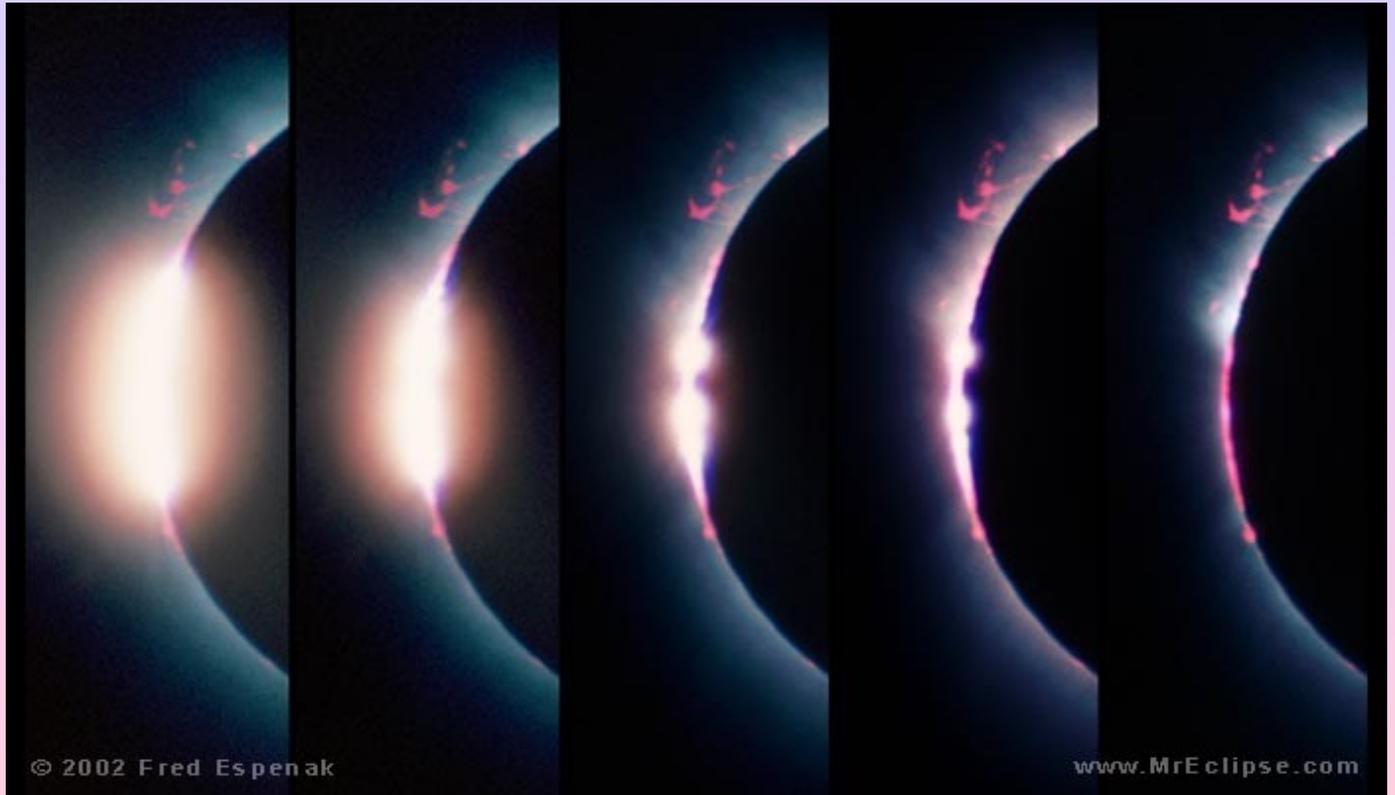




**Eclipse total fotografado da Estação Espacial Mir em 1999**





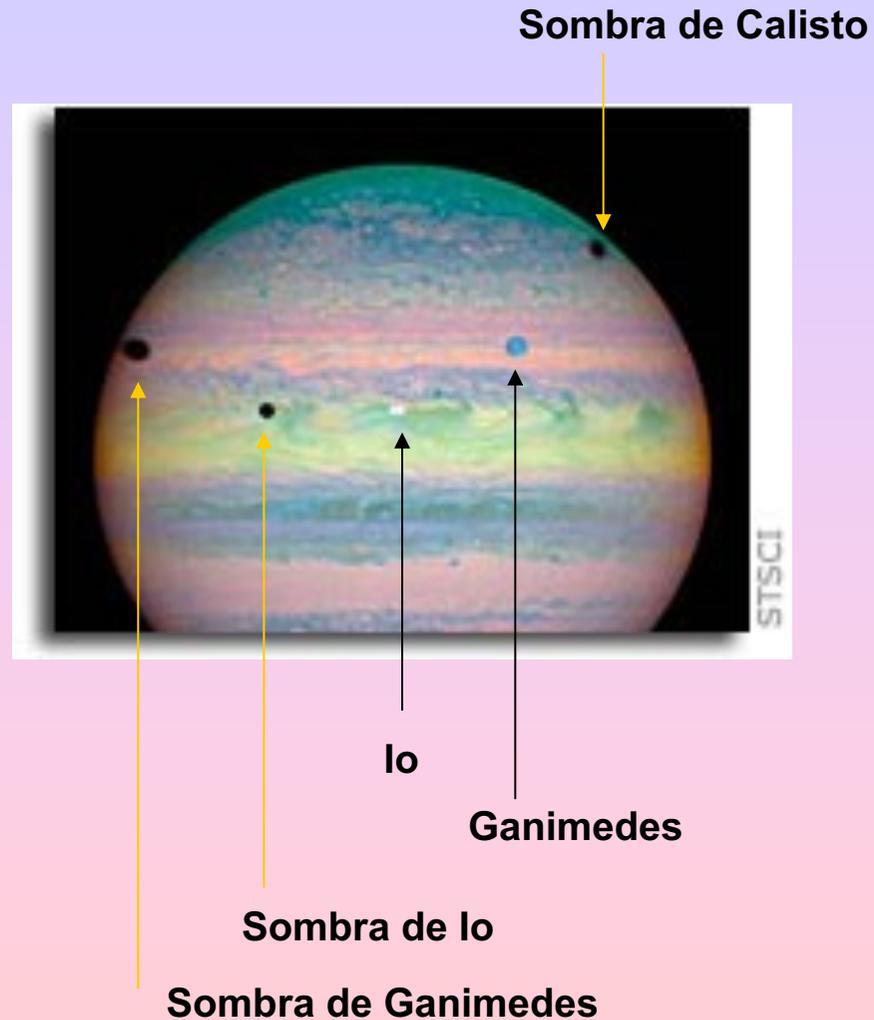


© 2002 Fred Espenak

[www.MrEclipse.com](http://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 !**

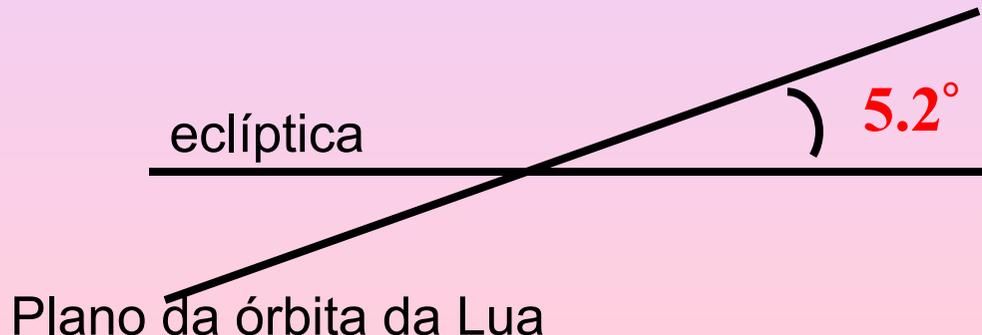


**Madrid, 03 de outubro de 2005**



**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  $5.2^\circ$ . 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**

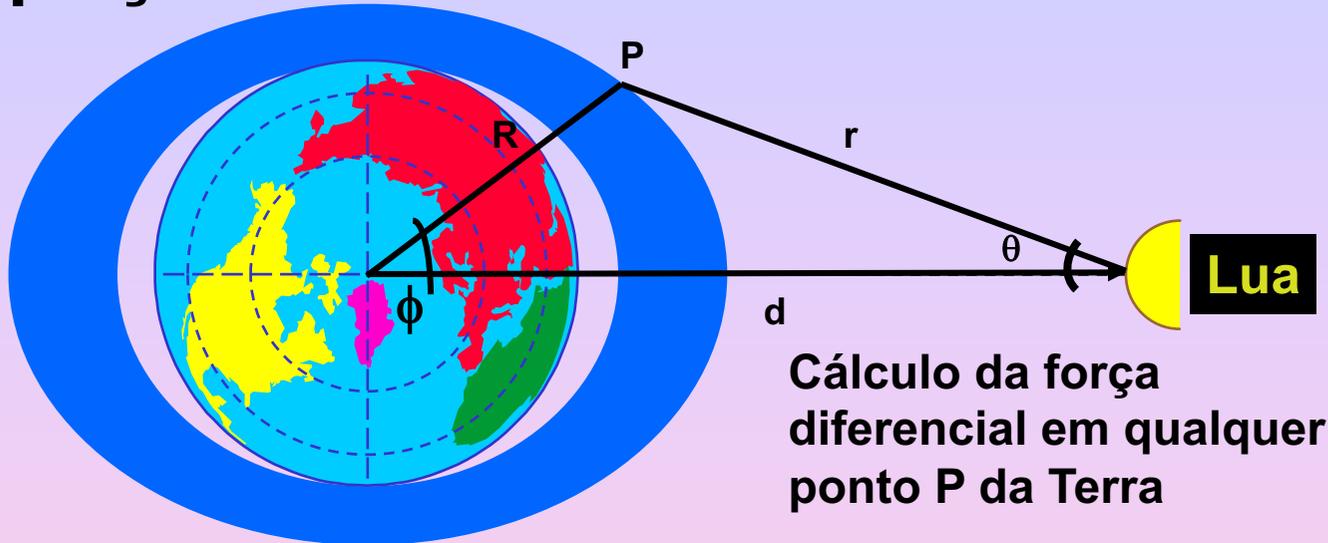
# FORÇAS DE MARÉ

# 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:

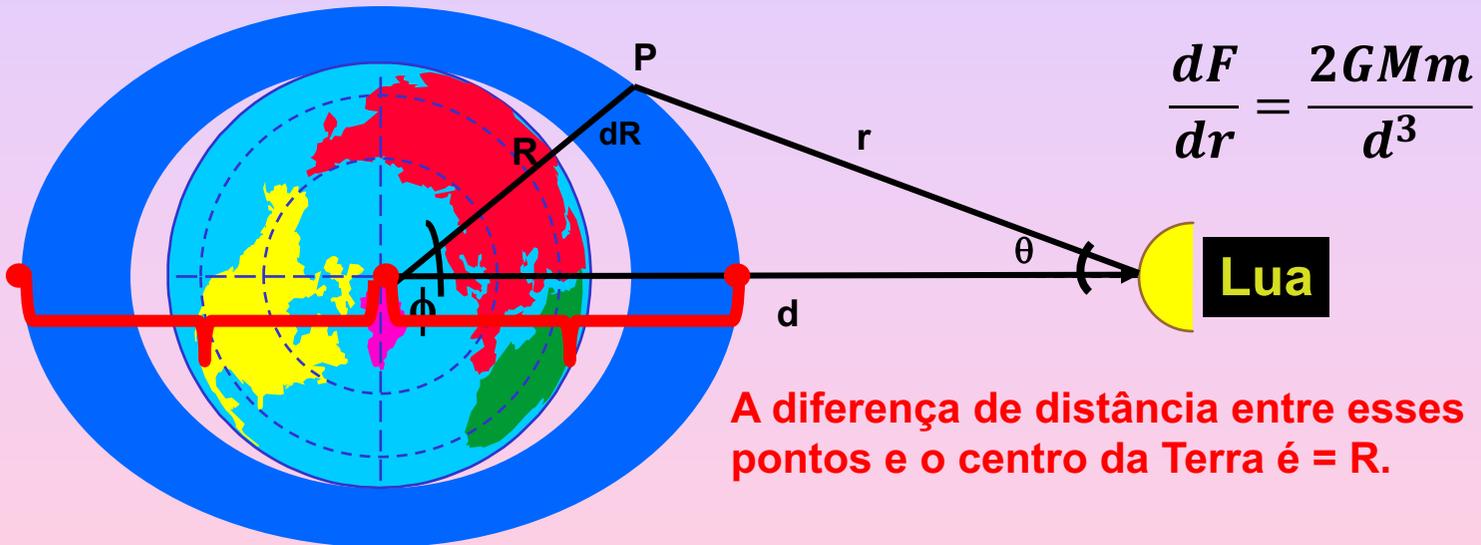
$$F = -\frac{GMm}{r^2} \quad \frac{dF}{dr} = \frac{2GMm}{d^3}$$

$m$  = 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  $90^\circ$  da Lua, e ele terá maré baixa.

Dali a + 6h 12m , o mesmo ponto estará a  $180^\circ$  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)**

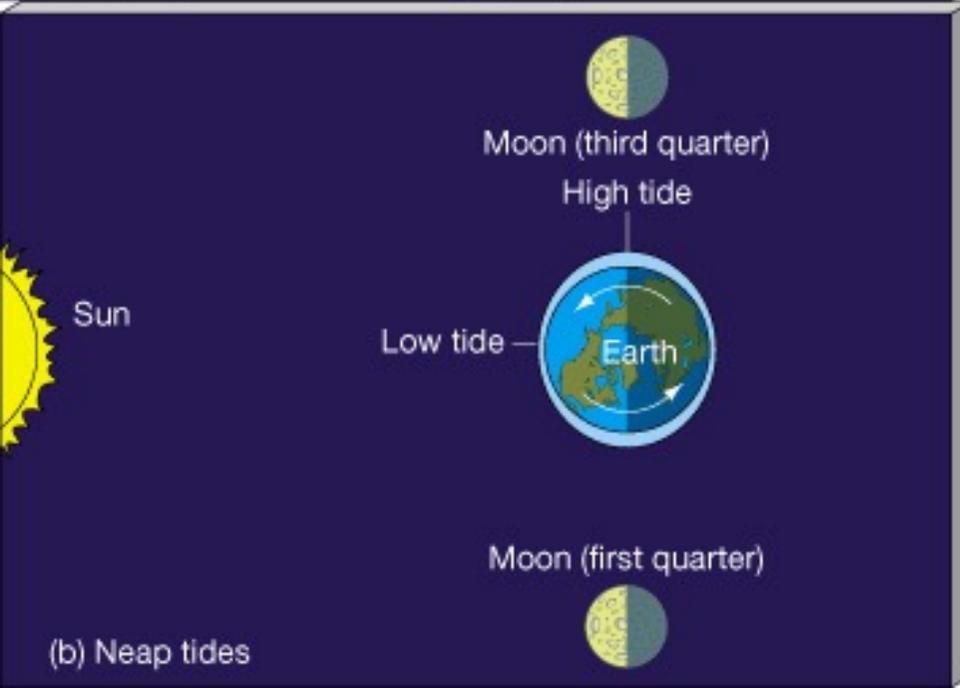
**Maré ainda mais alta = lua nova ou cheia coincide com o perigeu da lua. Também é conhecida como maré de perigeu/sizígia ou popularmente como Superlua**

# 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

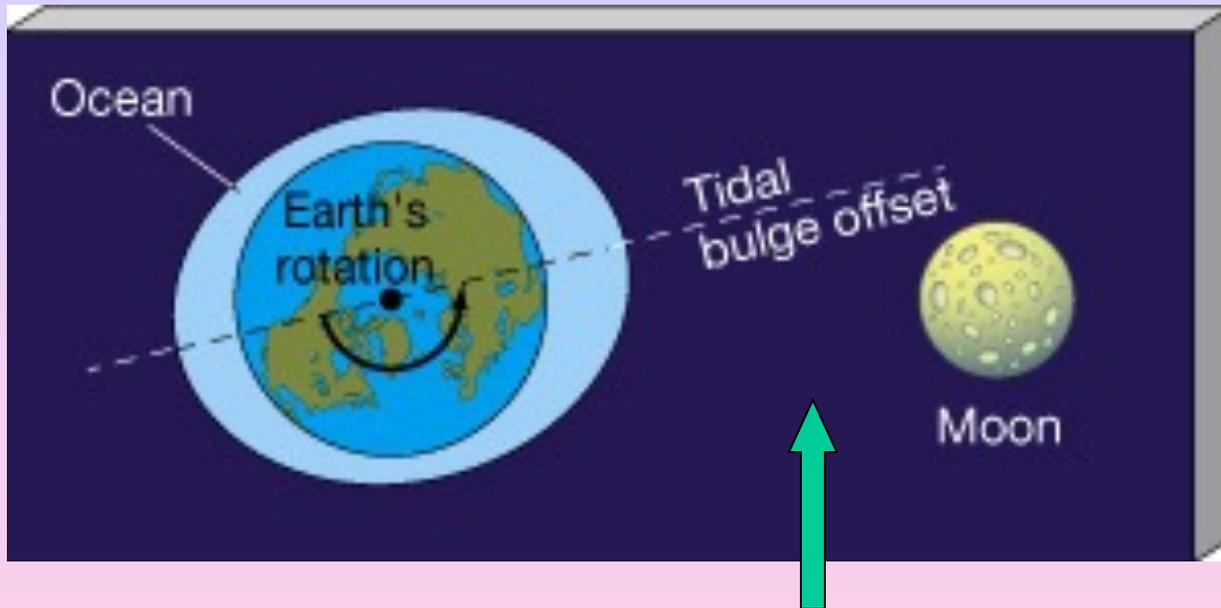
# Efeitos das Marés

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.

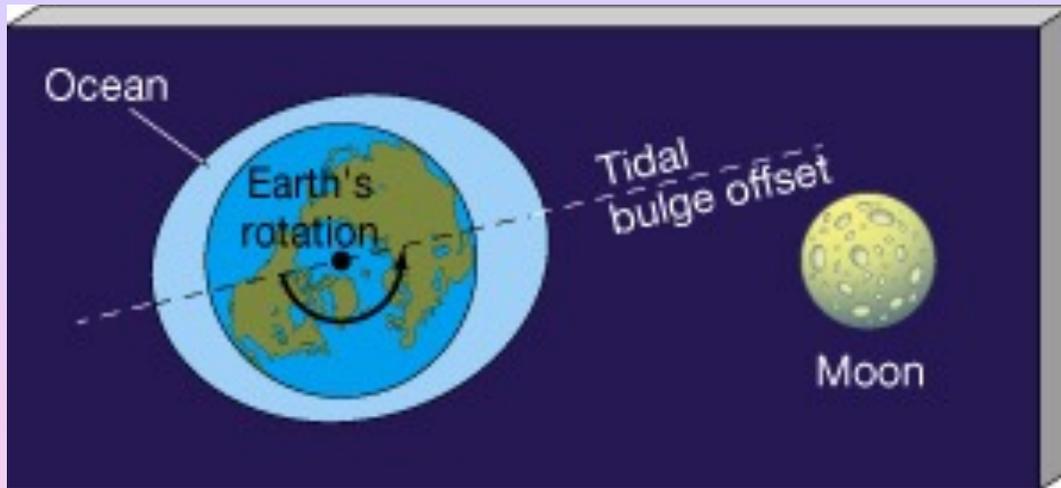
# Efeitos das Marés



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.

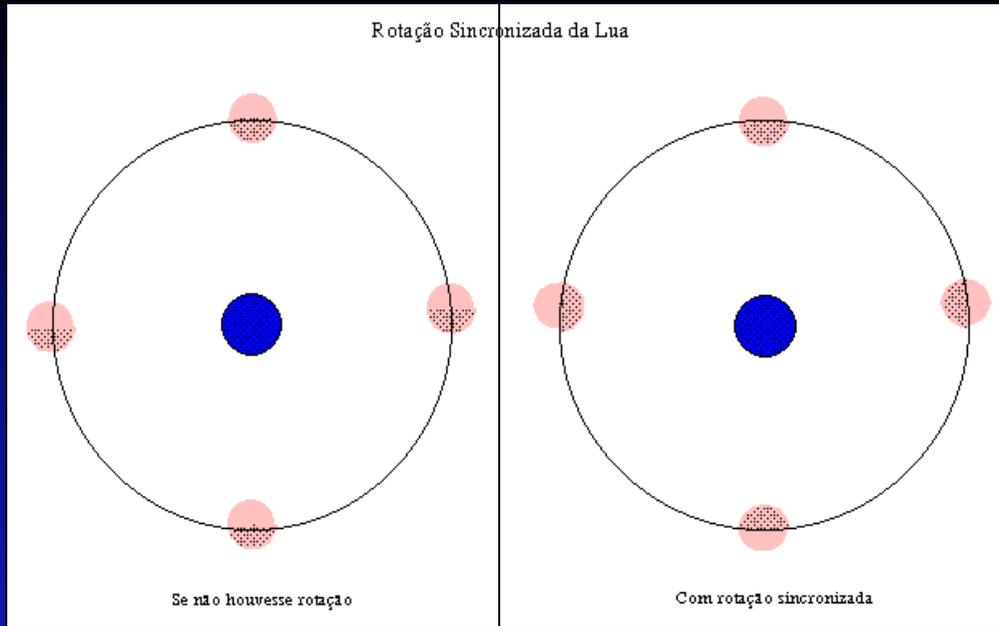
**ANIMAÇÃO**

**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)**