

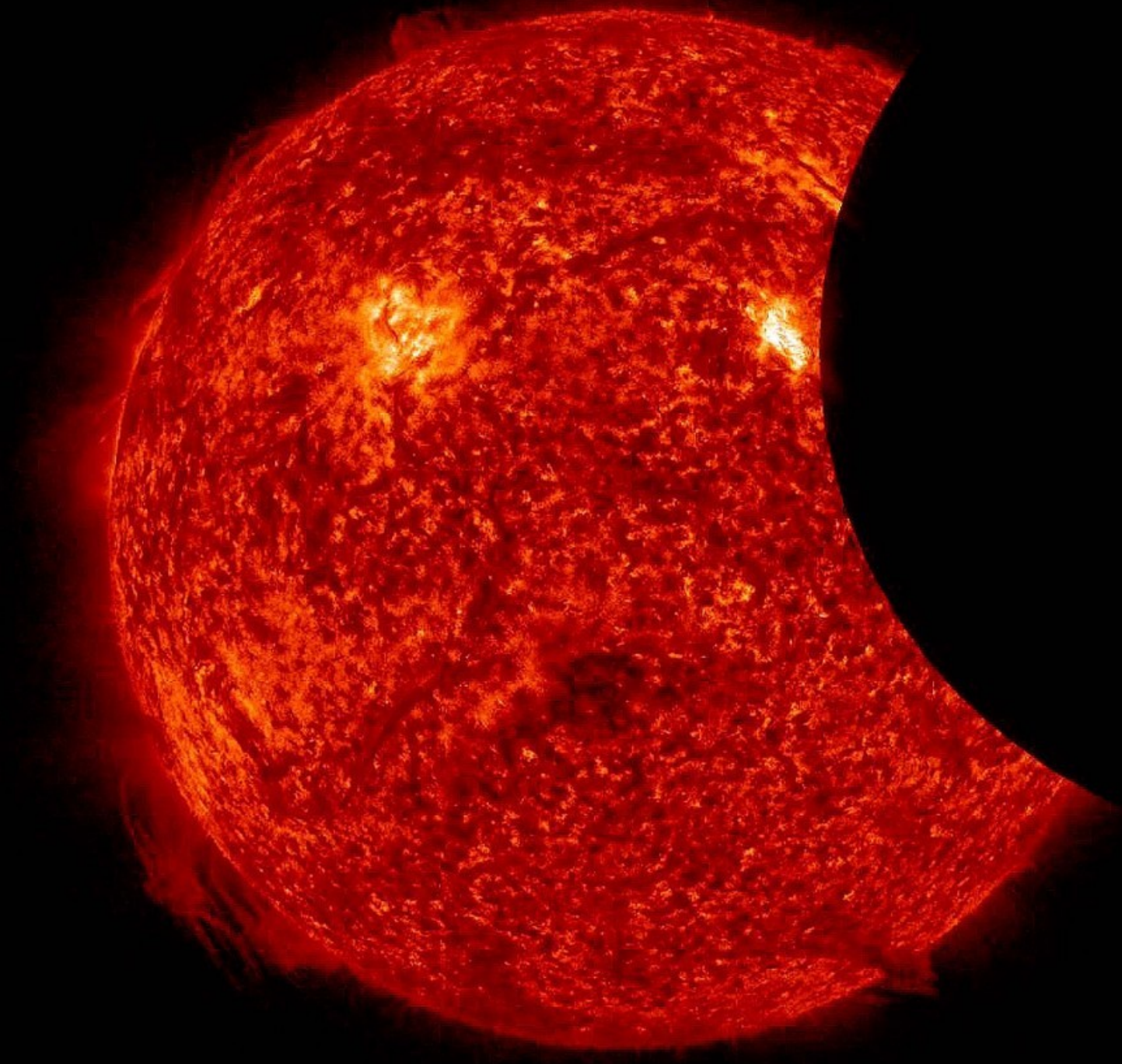
# Tópicos - 2018

Aula 05



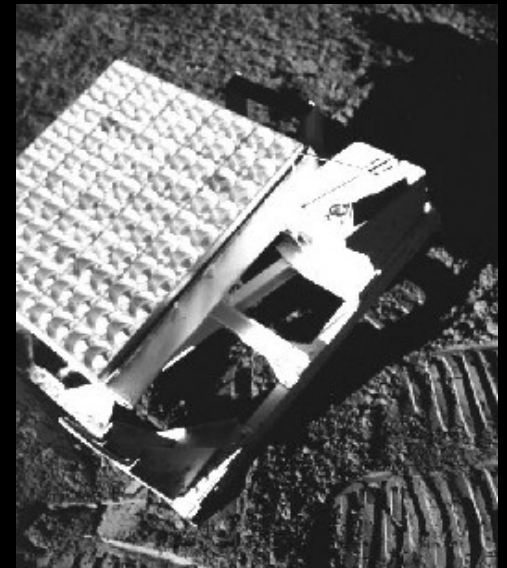
Silvia Lorenz-Martins





# A Lua

- Lua: corpo celeste mais próximo => movimentos mais notáveis
- Distância média: 384.000 km (laser)
- Plano orbital: inclinação  $5^{\circ}9'$  (eclíptica\*)
- Diâmetro aparente:  $31'5''$ , o mesmo diâmetro aparente do Sol
- Massa:  $1/81$  da massa da Terra



# Movimentos da Lua

- A Lua tem três movimentos principais: rotação em torno de seu próprio eixo, revolução em torno da Terra e translação em torno do Sol junto com a Terra, mas existe também um pequeno movimento de libração.

# O Sol e a Lua

- Venerados pelos povos antigos como deuses irmãos, geralmente consortes, o Sol e a Lua influenciam-nos bem mais do que a imaginação da humanidade supunha.
  - Os principais efeitos astronômicos no planeta são justamente produzidos pelo Sol, pela Lua ou por ambos.
  - Embora tenham tamanho aparente similar na esfera celeste, tratam-se de corpos completamente distintos, tanto em composição quanto em escala de tamanho.

# Lunações

- Além da passagem do dia, o período lunar era facilmente mensurável pela variação das fases lunares.
- Intervalo entre duas fases lunares iguais consecutivas (i.e., dois novilúnios ou dois plenilúnios, por exemplo) correspondia 29.5 dias aproximadamente.
- O ciclo de fases lunares é chamado de **lunação**. O tempo correspondente a uma lunação é chamado de **mês sinódico**. Sua duração real vale **29.530589** dias.
- A lunação motivou os antigos a agrupar a contagem dos dias em blocos de 29 e 30 dias que coincidissem com a lunação. Daí surgiu o **mês lunar**.



# Lua

- O ciclo completo dura aproximadamente 29,5 dias.
- Esse fenômeno é bem compreendido desde a Antiguidade.
- O grego Anaxágoras (430 a.C.), já conhecia sua causa, e Aristóteles (384 - 322 a.C.) registrou a explicação correta do fenômeno: **as fases da Lua resultam do fato de que ela não é um corpo luminoso, e sim um corpo iluminado pela luz do Sol.**

# Lunações

- Como todos os corpos celestes a Lua nasce no leste, se pondo no oeste. Da mesma forma que os planetas e o Sol, a Lua varia sua posição em relação às estrelas de fundo de oeste para leste.
- Se a Lua estiver próxima a uma estrela brilhante podemos acompanhar este movimento em apenas alguns minutos (a Lua desloca-se de uma distância aproximadamente igual ao seu diâmetro angular em cerca de uma hora).
- Um dos aspectos mais marcantes da Lua é o chamado “ciclo de fases lunar”, com duração de aproximadamente 30 dias. Neste período a lua passa por invisibilidade (nova), crescente, cheia e decrescente.



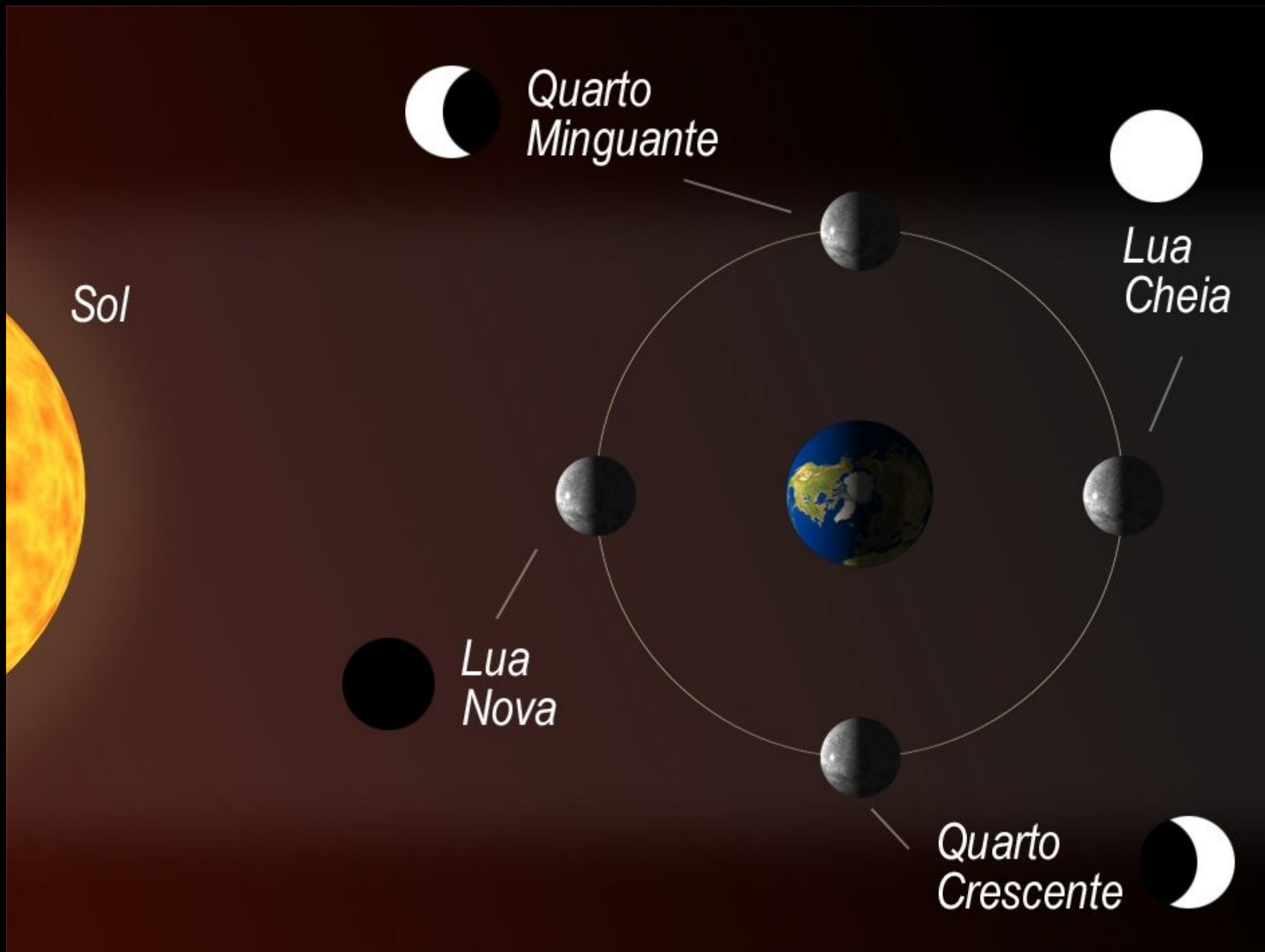


# Agosto 2016

| Domingo  | Segunda  | Terça  | Quarta   | Quinta   | Sexta  | Sábado   |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  | 1     | 2     | 3      | 4     | 5     | 6     |
| 7      | 8     | 9     | 10     | 11    | 12    | 13    |
| 14    | 15    | 16    | 17     | 18    | 19    | 20    |
| 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  |
| 28  | 29  | 30  | 31  |  |  |  |

# Lunações

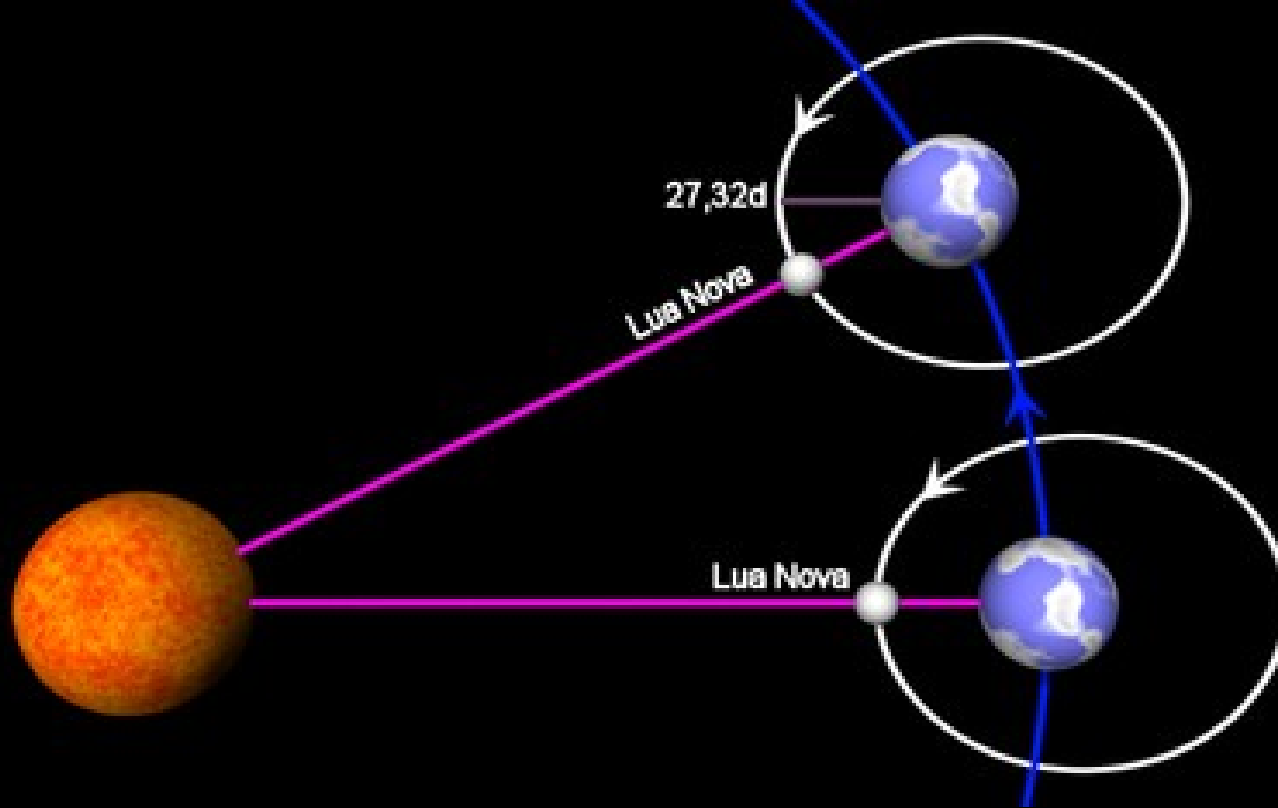
- A causa deste ciclo e da variação na posição da Lua em relação as estrelas é o **movimento orbital** desta em torno da Terra.
- A Lua nova ocorre quando a Lua localiza-se ~ **entre a Terra e o Sol** (dia, nasce e se põe junto com o Sol).
- A Lua cheia ocorre quando a Lua encontra-se do lado oposto (com a Terra entre o Sol e a Lua - noite).
- *As mudanças na aparência da Lua **não** são causadas pela sombra da Terra na Lua, mas sim pelo fato de que com o movimento da Lua vemos diferentes partes de sua metade iluminada.*



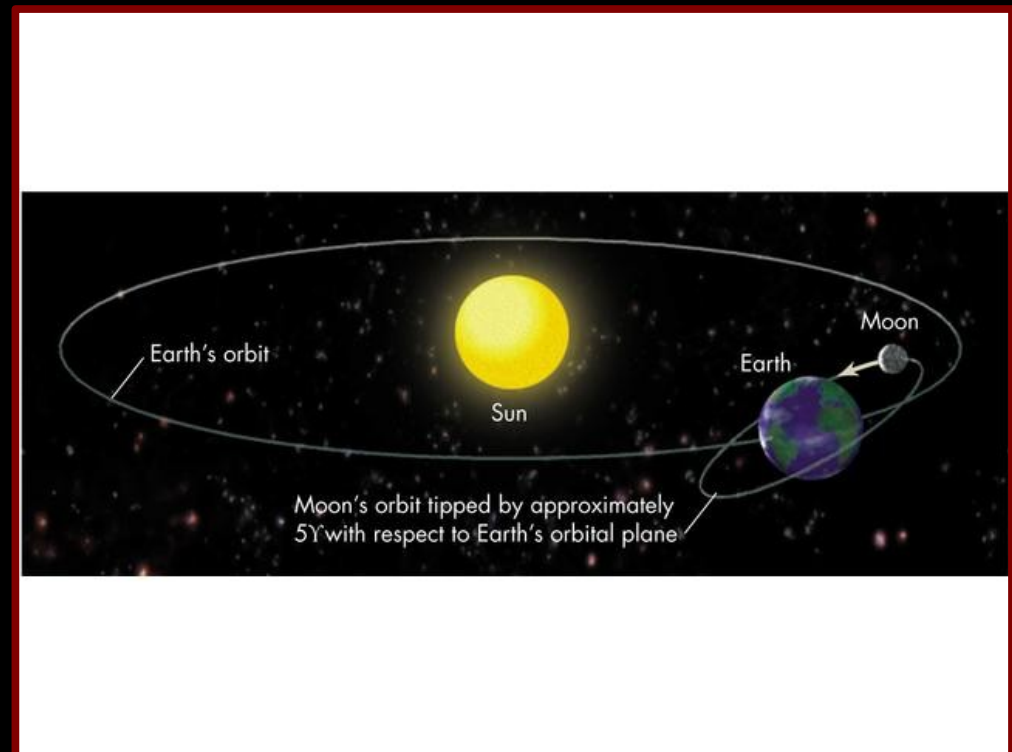
# Movimentos da Lua

- Se observarmos a Lua por algumas noites podemos perceber seu deslocamento em relação as estrelas, enquanto orbita a Terra.
- O mês sideral é o tempo necessário para a Lua completar uma volta em torno da Terra, em relação a uma estrela: 27.32 dias
- A Lua se move  $360^\circ$  em relação às estrelas para leste a cada 27,32 dias, deduz-se que ela se desloca para leste  $13^\circ$  por dia ( $360^\circ/27,32$ )

- O período sinódico da Lua, com duração de aproximadamente 29,5 dias (variando entre 29,26 e 29,80 dias), é, em média, 2,25 dias maior do que o período sideral da Lua
- porque nos 27,32 dias em que a Lua faz uma volta completa em relação às estrelas (o período sideral da Lua), o Sol se desloca [ $360^\circ / (365,25 \text{ dias})$ ]
- aproximadamente  $27^\circ = (27 \text{ dias} \times 1^\circ/\text{dia})$  para leste e, portanto, é necessário mais 2 dias [ $27^\circ / (360^\circ / 27,32 \text{ dias})$ ] para a Lua se deslocar estes  $27^\circ$  e estar na mesma posição em relação ao Sol, que define a fase.



- A órbita lunar tem uma inclinação de  $\sim 5^\circ$  relativo a órbita terrestre em relação ao Sol, sendo também inclinada em relação ao equador terrestre.

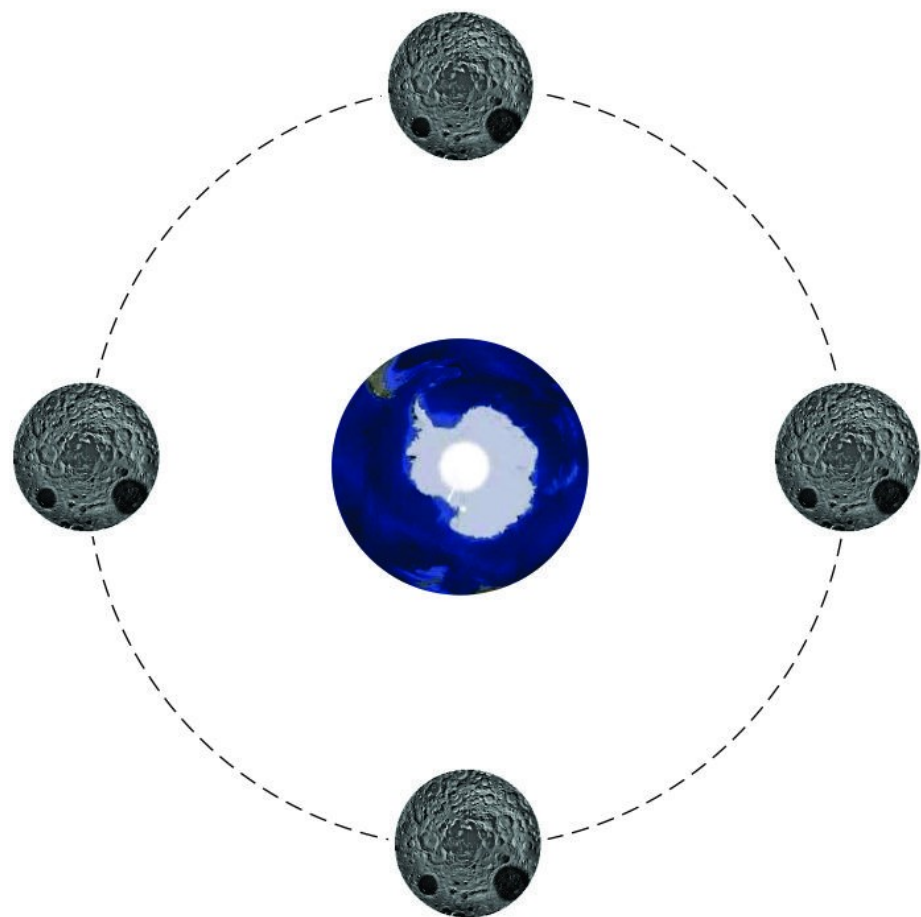




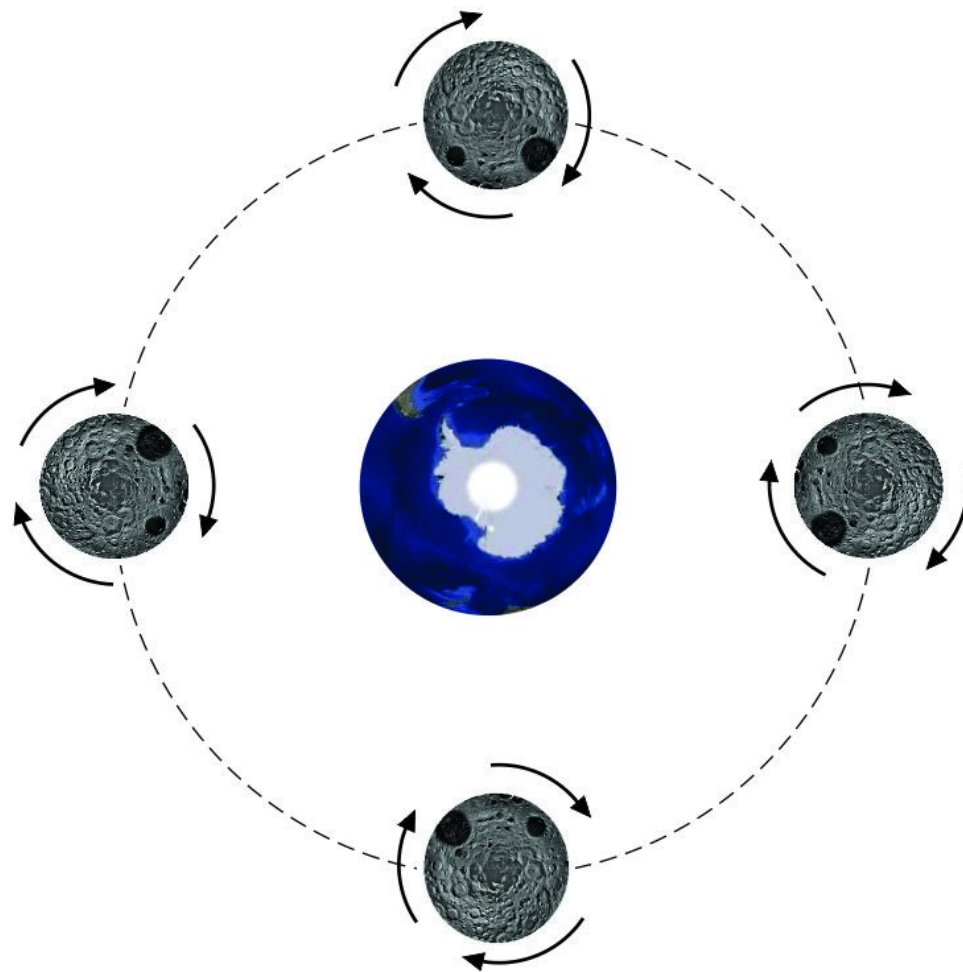
# Movimentos da Lua

Enquanto orbita a Terra a Lua mantém sempre o mesmo lado em direção a Terra.

Isso é consequência do fato do período de rotação lunar ser exatamente igual ao seu período orbital, uma condição conhecida por rotação síncrona.



Sem Rotação



Com rotação sincronizada

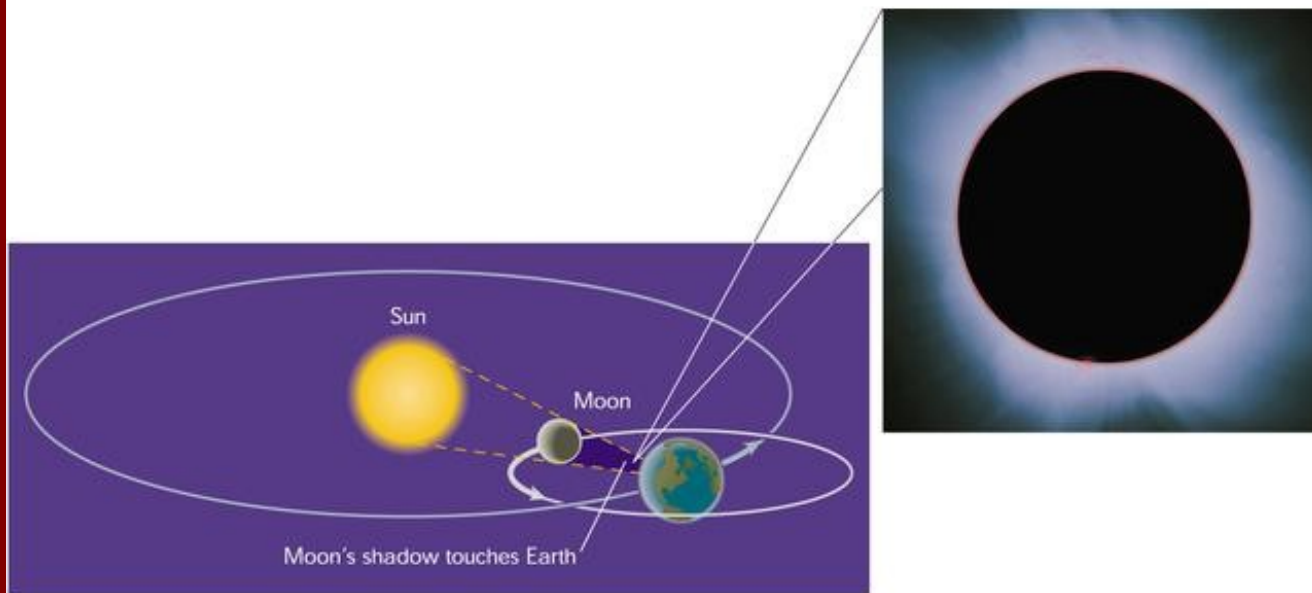
# Rotação sincronizada

- É muito improvável que essa sincronização seja casual.
- Resultado → forças de maré exercidas pela Terra na Lua no tempo em que a Lua era jovem e mais elástica.

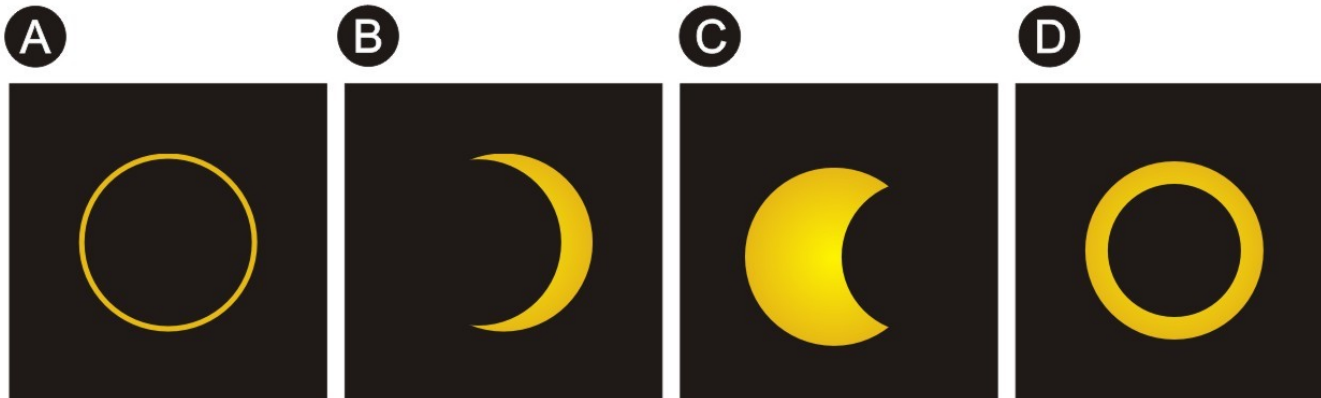
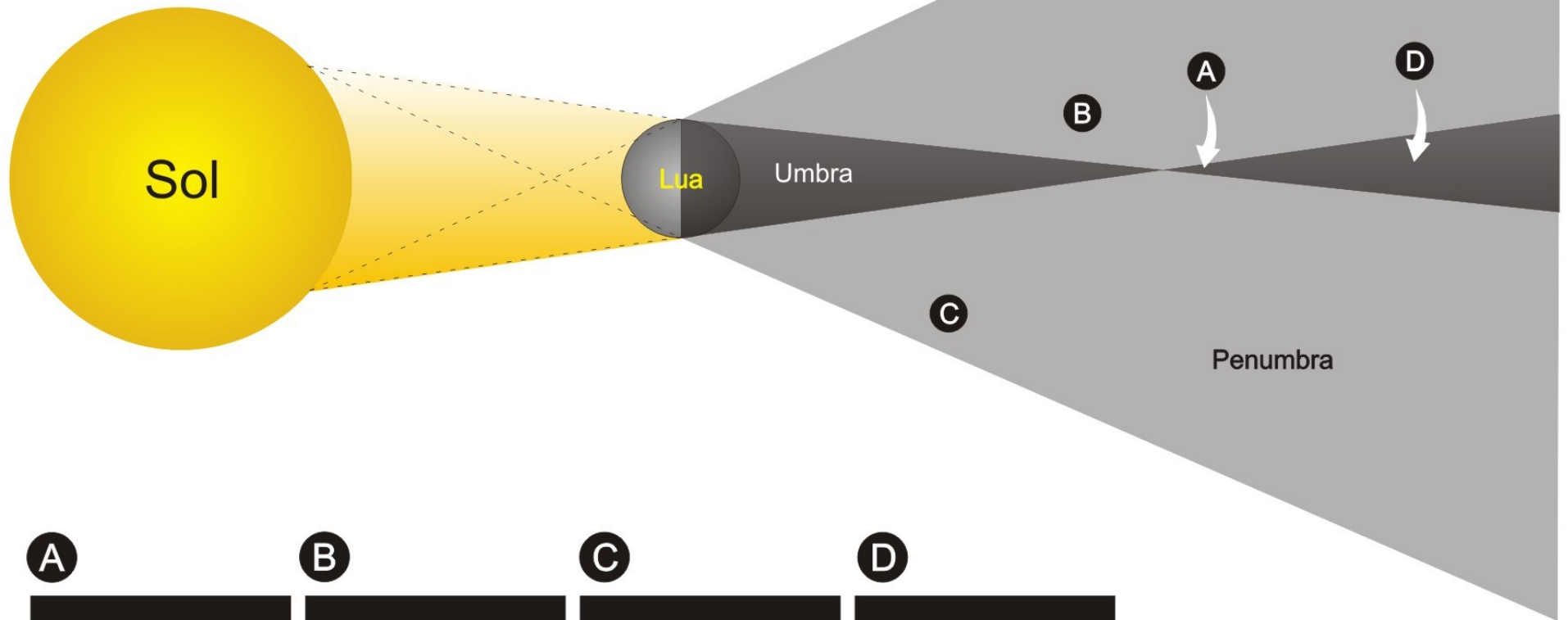
**Imagem do lado oculto (esquerda) e iluminado (direita) da Lua, fotografada pela missão Clementine, da NASA.**



- **Eclipses: movimento da Lua**
- **Eclipse ocorre quando a Lua, a Terra e o Sol estão alinhados.**
- **Eclipse solar => Lua entre o Sol e a Terra.**
- **Eclipse lunar => Terra entre o Sol e a Lua.**



# Eclipse solar

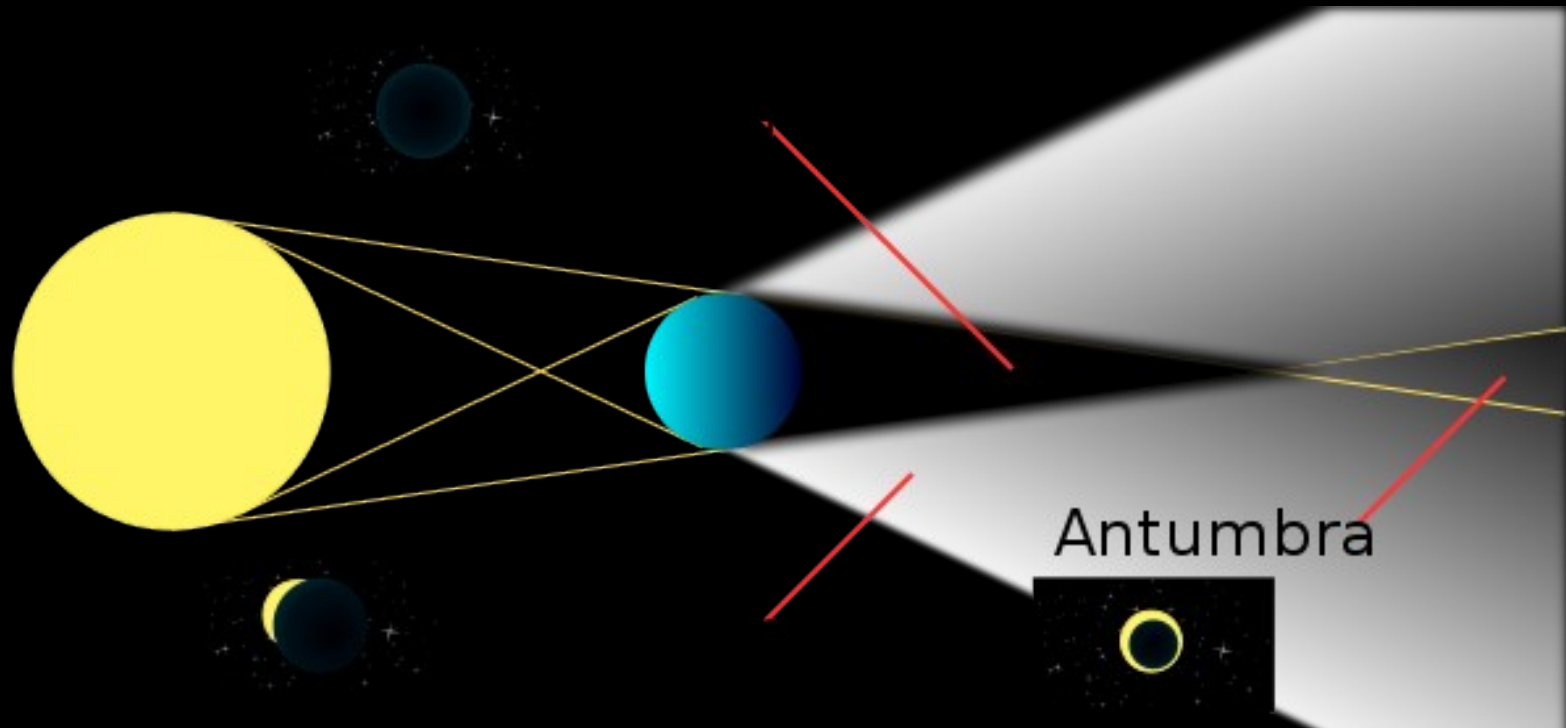


# Eclipses

- Um eclipse acontece sempre que um corpo entra na sombra de outro
- Eclipse solar: passagem da Terra pelo cone de sombra da Lua
- Eclipse lunar: passagem da Lua pelo cone de sombra da Terra

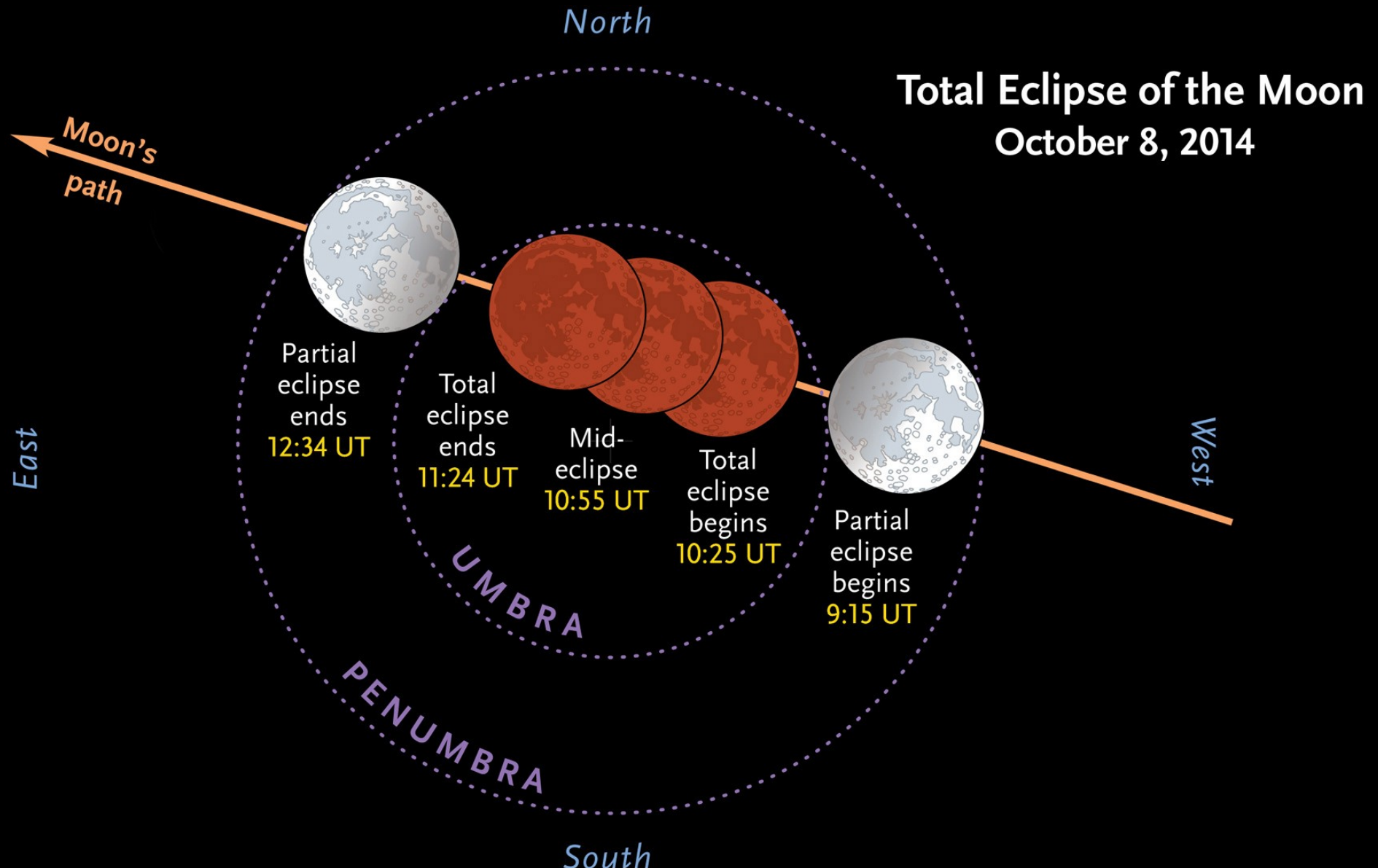


# Eclipse Total, Parcial ou Anular



- O eclipse será total, parcial ou anular se o corpo obscurecido for **observado** desde a umbra, penumbra ou antumbra do corpo interposto, respectivamente.

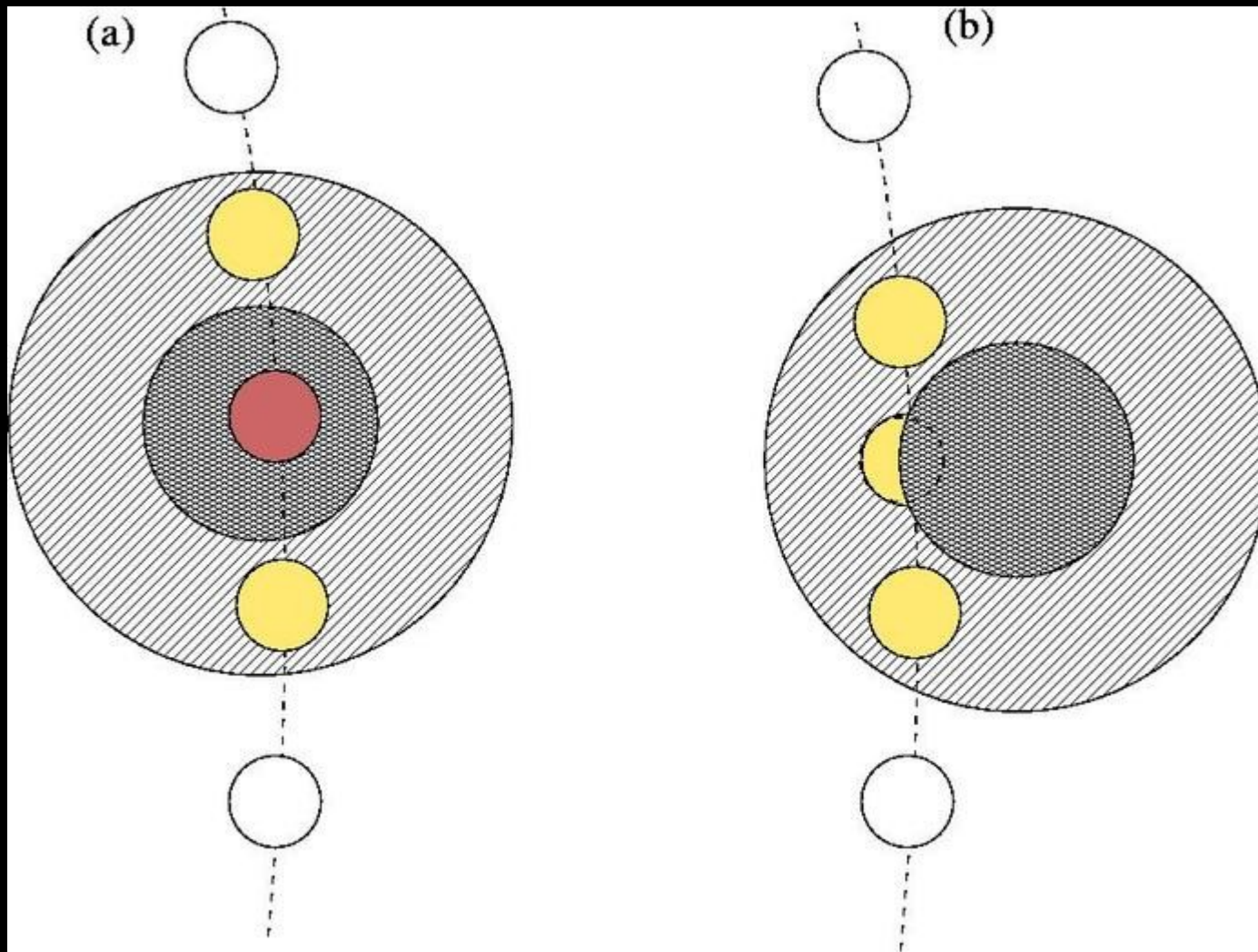
<http://www.skyandtelescope.com/press-releases/october-2014-lunar-eclipse/>



# Eclipse da Lua



# Eclipse da Lua



# Condições para Eclipses

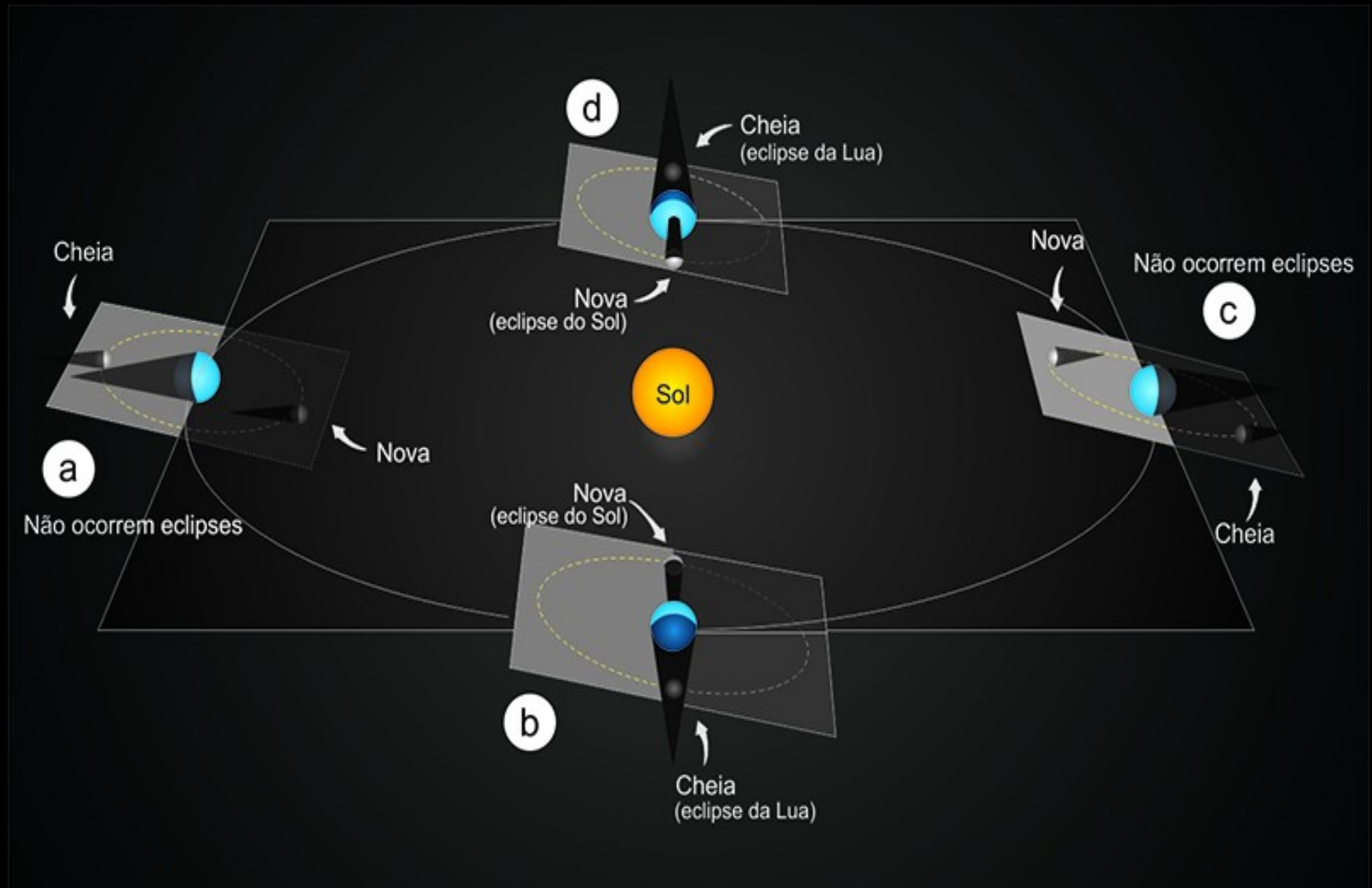
- Apesar da Lua orbitar a Terra num ciclo aproximado de 30 dias não ocorrem tantos eclipses
- A razão para tal é que a órbita lunar é inclinada em relação a órbita terrestre, de forma tal que, em geral, a Lua encontra-se acima ou abaixo da órbita terrestre.
- Em função disso, mesmo que a Lua seja nova (entre nós e o Sol) a sombra lunar pode passar abaixo ou acima da Terra, de forma que não ocorrem eclipses.

# Condições para Eclipses

- De maneira análoga a sombra terrestre pode passar acima ou abaixo da Lua, quando esta for cheia.
- Um eclipse ocorre somente quando um **alinhamento** quase exato entre a Terra, Lua e o Sol ocorre.
- Em outras palavras, um eclipse ocorre se a extensão do plano orbital da Lua intercepta o Sol.

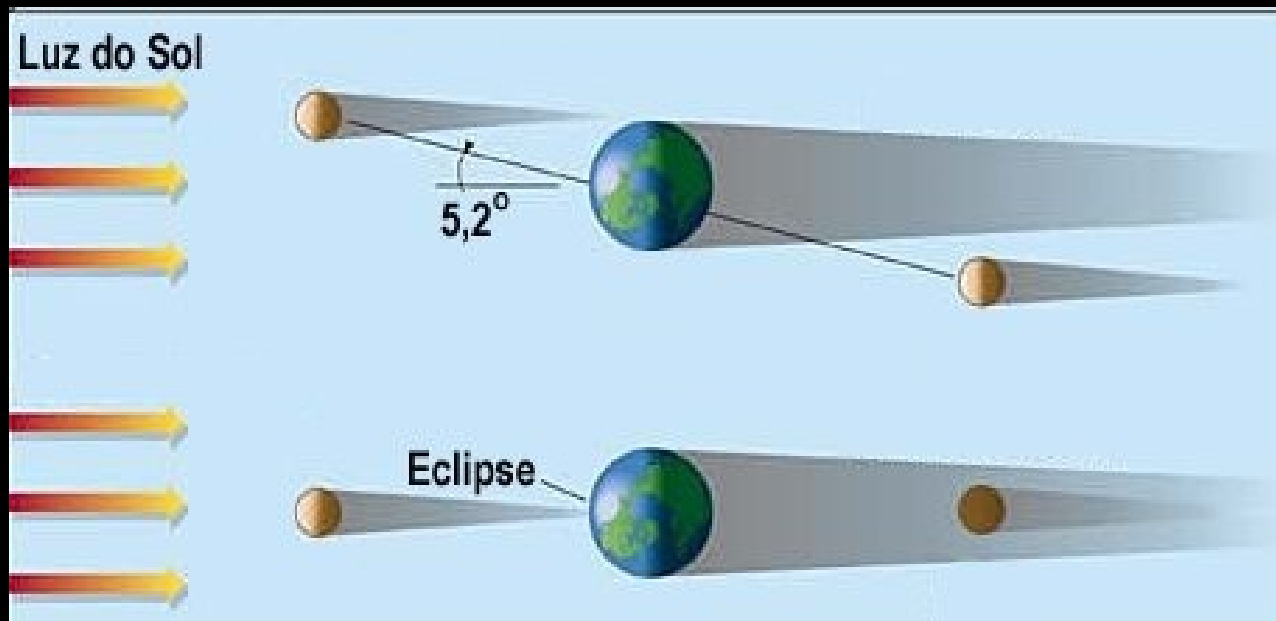


A órbita da Terra em torno do Sol, e a órbita da Lua em torno da Terra, não estão no mesmo plano, ou ocorreria um eclipse da Lua a cada Lua Cheia, e um eclipse do Sol a cada Lua Nova.





- O plano da órbita da Lua está inclinado  $5,2^\circ$  em relação ao plano da órbita da Terra.
- Portanto só ocorrem eclipses quando a Lua está na fase de Lua Cheia ou Nova, e quando o Sol está sobre a linha dos nodos, que é a linha de intersecção do plano da órbita da Terra em torno do Sol com o plano da órbita da Lua em torno da Terra.



# Eclipses lunares

Total Lunar Eclipse - 2000 Jan 20-21



[www.MrEclipse.com](http://www.MrEclipse.com)

©2000 by F. Espenak

- A Terra se interpõe entre a Lua e o Sol.
- Pode ser total ou parcial, jamais anular.
- Durante o eclipse lunar, é possível constatar a esfericidade da superfície terrestre a partir da sombra da Terra.

# Condições para eclipses

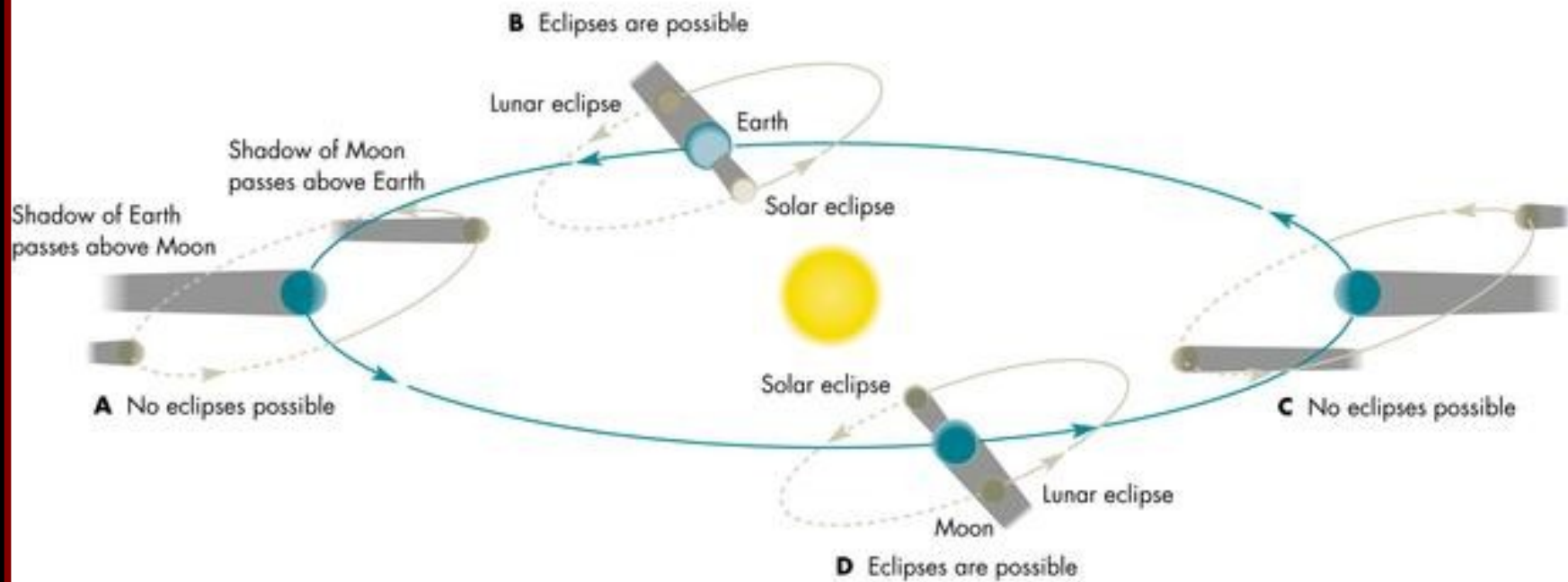
- Por conservação do momento angular a inclinação da órbita lunar é mantida aproximadamente fixa.
- Como consequência, duas vezes por ano o plano orbital da Lua (se estendido) intercepta o Sol. Estas épocas são chamadas de **temporadas de eclipses**. Estes então ocorrerão quando a Lua cruzar o plano orbital terrestre (a eclíptica).
- Quando um eclipse solar ocorre na Lua nova, as condições existem para que um eclipse lunar ocorra na Lua cheia, anterior ou próxima.

# Condições para eclipses

Portanto, os eclipses, geralmente, ocorrem em pares, com um eclipse solar sendo seguido 14 dias depois por um lunar, ou vice-versa.

- Este padrão (de temporadas de eclipses) só não é totalmente verdadeiro porque a inclinação da órbita lunar não é totalmente fixa. O eixo de rotação lunar varia lentamente, precessionando em cerca de 18.6 anos.
- Por causa disso as datas das temporadas de eclipses variam por  $1/18.6$  ano (cerca de 20 dias) a cada ano.

# Condições para eclipses



# Curiosidades sobre eclipses

Os eclipses não são visíveis de todas as partes da Terra.

- Eclipses solares podem ser vistos somente numa faixa estreita.
- Já eclipses lunares podem ser vistos de qualquer local onde a Lua esteja acima do horizonte no período do eclipse.

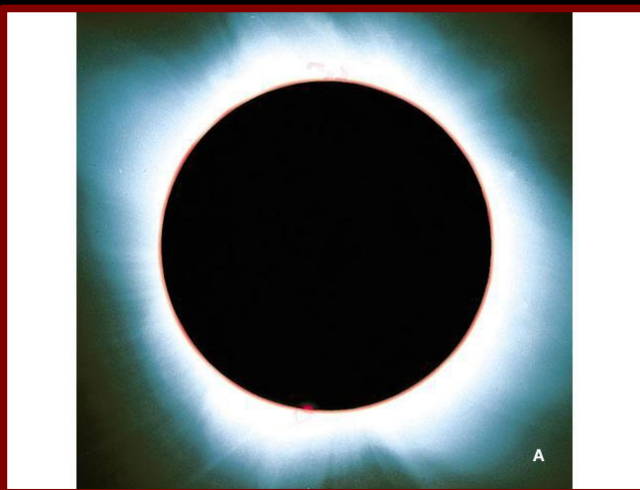
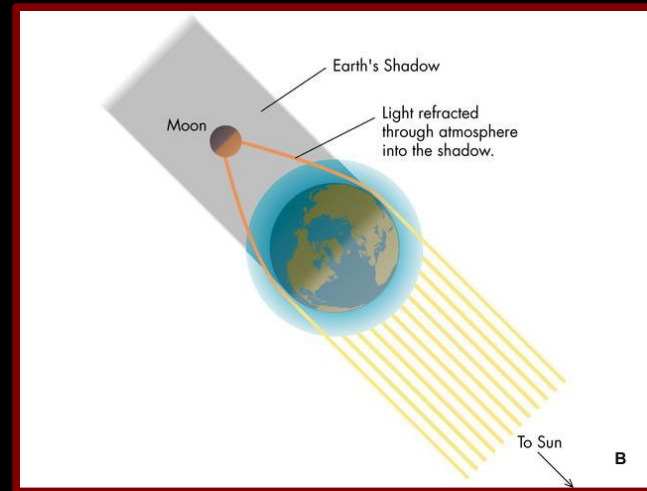
# Curiosidades

- Entre dois e sete eclipses ocorrem anualmente. Em cada temporada usualmente acontece um eclipse solar e um anular, mas podem acontecer três eclipses por temporada, numa sucessão de eclipse solar, lunar e solar novamente, ou lunar, solar e lunar novamente.
- Quando acontecem dois eclipses lunares na mesma temporada os dois são penumbrais.
- As temporadas de eclipses são separadas por 173 dias  $[(1 \text{ ano} - 20 \text{ dias})/2]$ .



# Curiosidades sobre eclipses

Eclipses são impressionantes! Durante um eclipse solar podemos ter céu escuro como noite por alguns minutos. Durante um eclipse lunar a Lua pode desaparecer por mais de uma hora, ou tomar uma aparência avermelhada, em função de luz solar espalhada pela atmosfera terrestre e projetada na Lua.



# Total Solar Eclipse of 1994 Nov 03

Geocentric Conjunction = 13:47:06.8 UT J.D. = 2449660.074385  
 Greatest Eclipse = 13:39:05.4 UT J.D. = 2449660.068813

Eclipse Magnitude = 1.0535 Gamma = -0.3521

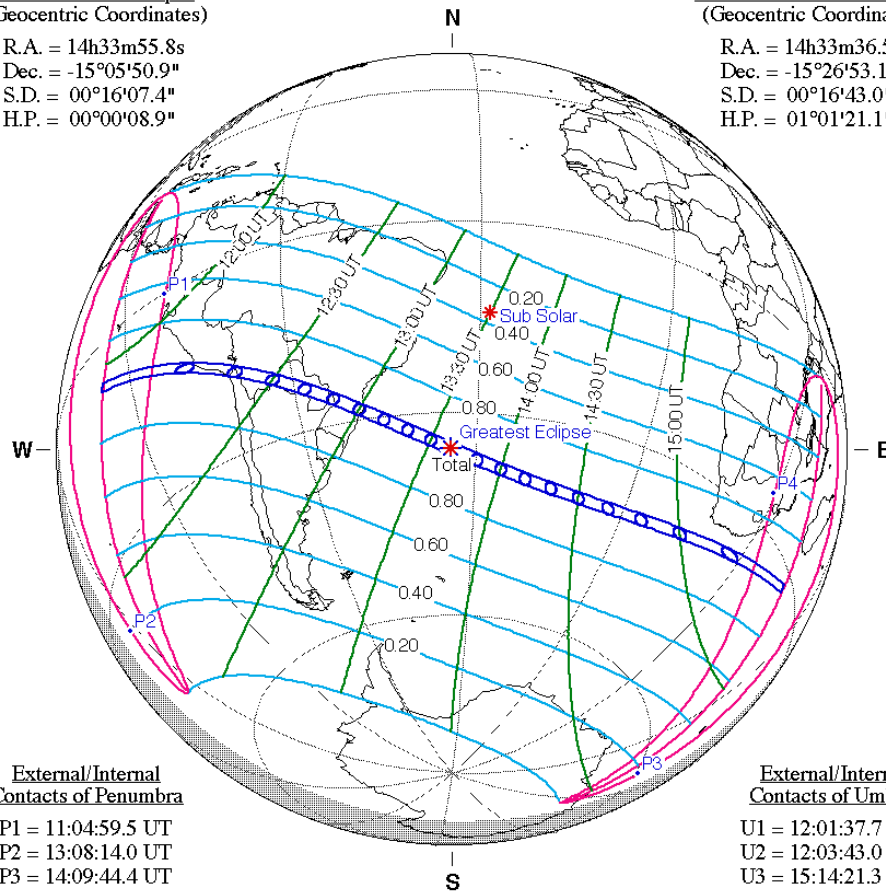
Saros Series = 133 Member = 44 of 72

## Sun at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 14h33m55.8s  
 Dec. = -15°05'50.9"  
 S.D. = 00°16'07.4"  
 H.P. = 00°00'08.9"

## Moon at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 14h33m36.5s  
 Dec. = -15°26'53.1"  
 S.D. = 00°16'43.0"  
 H.P. = 01°01'21.1"



## External/Internal Contacts of Penumbra

P1 = 11:04:59.5 UT  
 P2 = 13:08:14.0 UT  
 P3 = 14:09:44.4 UT  
 P4 = 16:13:06.4 UT

## External/Internal Contacts of Umbra

U1 = 12:01:37.7 UT  
 U2 = 12:03:43.0 UT  
 U3 = 15:14:21.3 UT  
 U4 = 15:16:27.6 UT

## Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 35°21.1'S Sun Alt. = 69.2°  
 Long. = 034°13.1'W Sun Azm. = 14.7°  
 Path Width = 189.0 km Duration = 04m23.3s

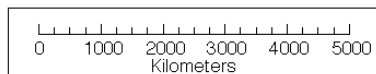
## Ephemeris & Constants

Eph. = Newcomb/ILE  
 $\Delta T = 60.7$  s  
 $k_1 = 0.2724880$   
 $k_2 = 0.2722810$   
 $\Delta b = 0.0'' \Delta l = 0.0''$

## Geocentric Libration (Optical + Physical)

$l = -0.78^\circ$   
 $b = 0.47^\circ$   
 $c = 19.67^\circ$

Brown Lun. No. = 889



F. Espenak, NASA's GSFC - 2004 Jul 07

[sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html](http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html)

# Caminho do Eclipse



# Total Lunar Eclipse of 2008 Feb 21

Geocentric Conjunction = 03:48:27.4 UT J.D. = 2454517.65865

Greatest Eclipse = 03:26:04.8 UT J.D. = 2454517.64311

Penumbral Magnitude = 2.1707 P. Radius = 1.2473° Gamma = -0.3993

Umbral Magnitude = 1.1110 U. Radius = 0.6973° Axis = 0.3802°

Saros Series = 133 Member = 26 of 71

## Sun at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 22h15m30.0s

Dec. = -10°48'31.5"

S.D. = 00°16'10.5"

H.P. = 00°00'08.9"

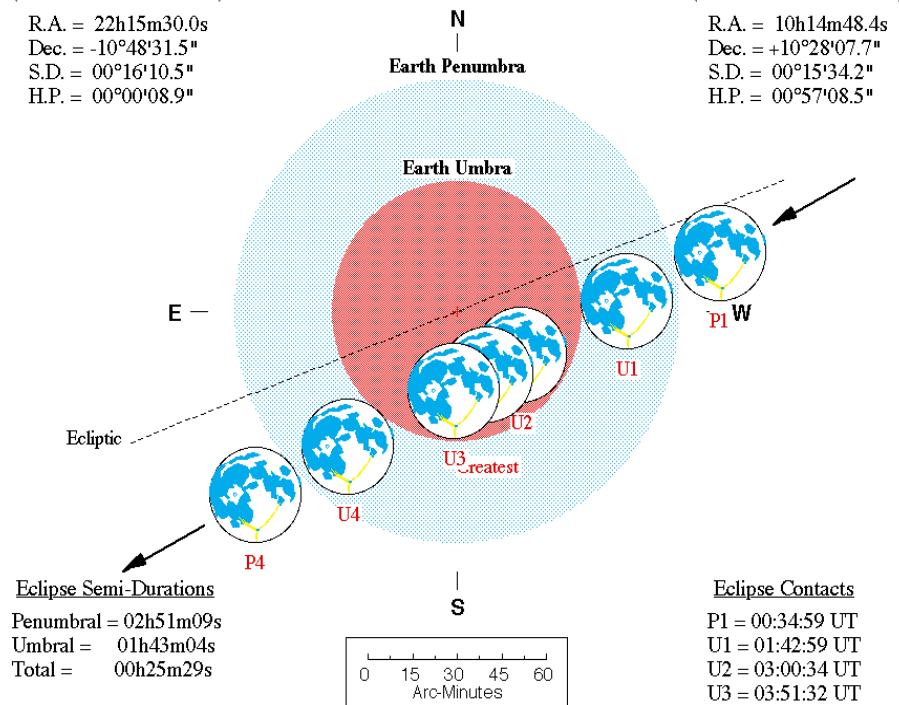
## Moon at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 10h14m48.4s

Dec. = +10°28'07.7"

S.D. = 00°15'34.2"

H.P. = 00°57'08.5"



## Eclipse Semi-Durations

Penumbral = 02h51m09s

Umbral = 01h43m04s

Total = 00h25m29s

Eph. = Newcomb/ILE

ΔT = 65.2 s

## Eclipse Contacts

P1 = 00:34:59 UT

U1 = 01:42:59 UT

U2 = 03:00:34 UT

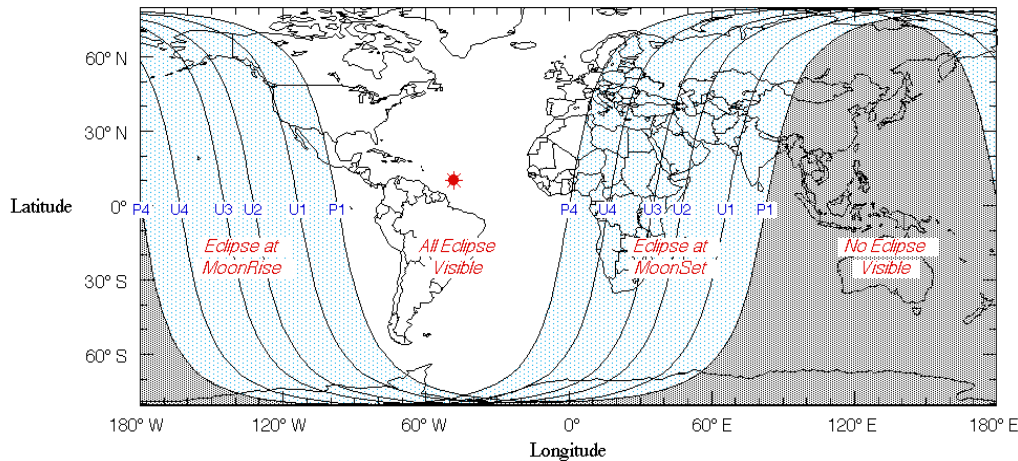
U3 = 03:51:32 UT

U4 = 05:09:07 UT

P4 = 06:17:16 UT

F. Espenak, NASA's GSFC - 2004 Jul 07

<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html>



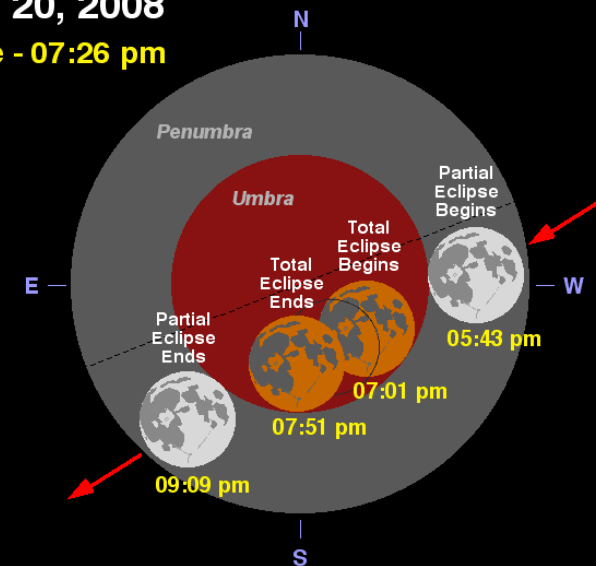
# Visibilidade de um Eclipse lunar

## Total Eclipse of The Moon

February 20, 2008

Mid-Eclipse - 07:26 pm

Pacific  
Standard  
Time

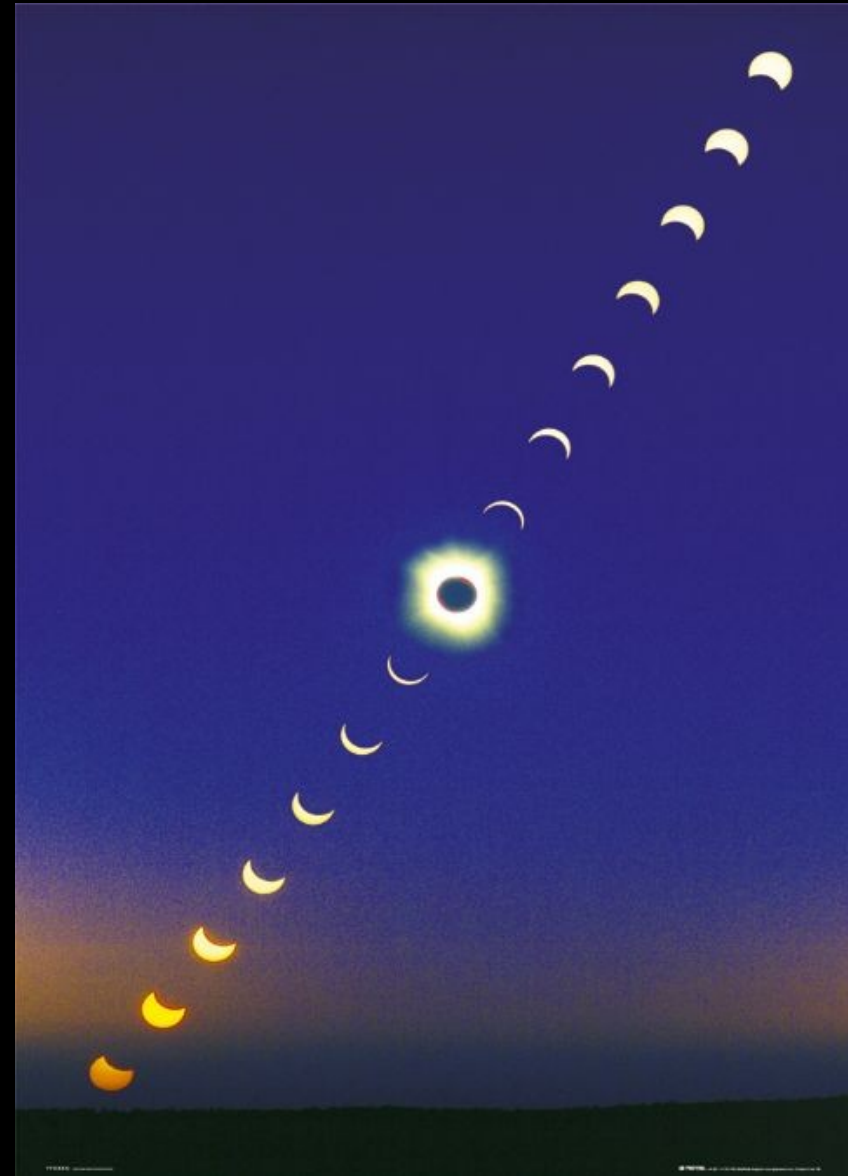


Courtesy of F. Espenak  
NASA's GSFC

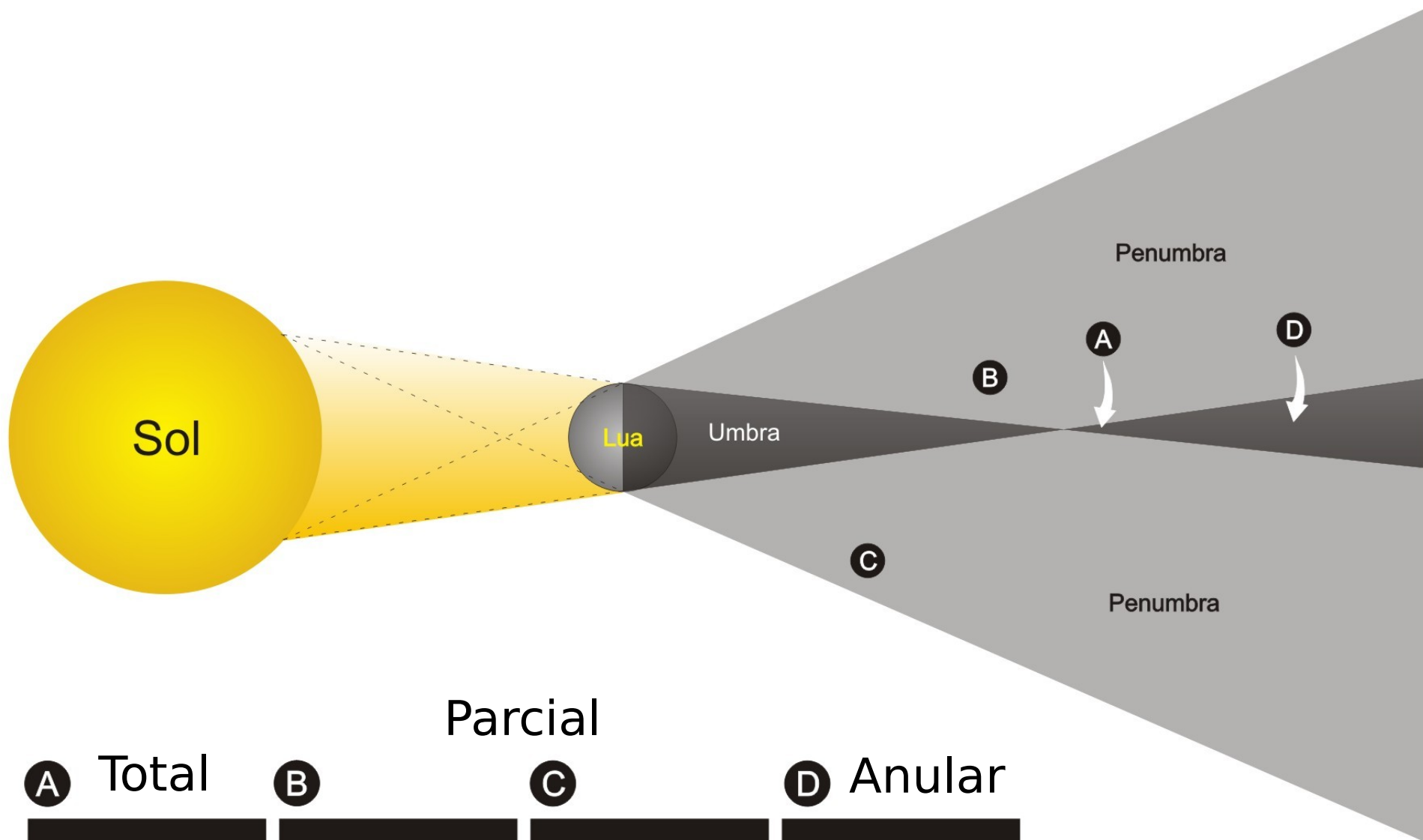
[sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse](http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse)

# Eclipses solares

- A Lua se interpõe entre a Terra e o Sol.
- Pode ser total, parcial ou anular.







**A** Total



**B**



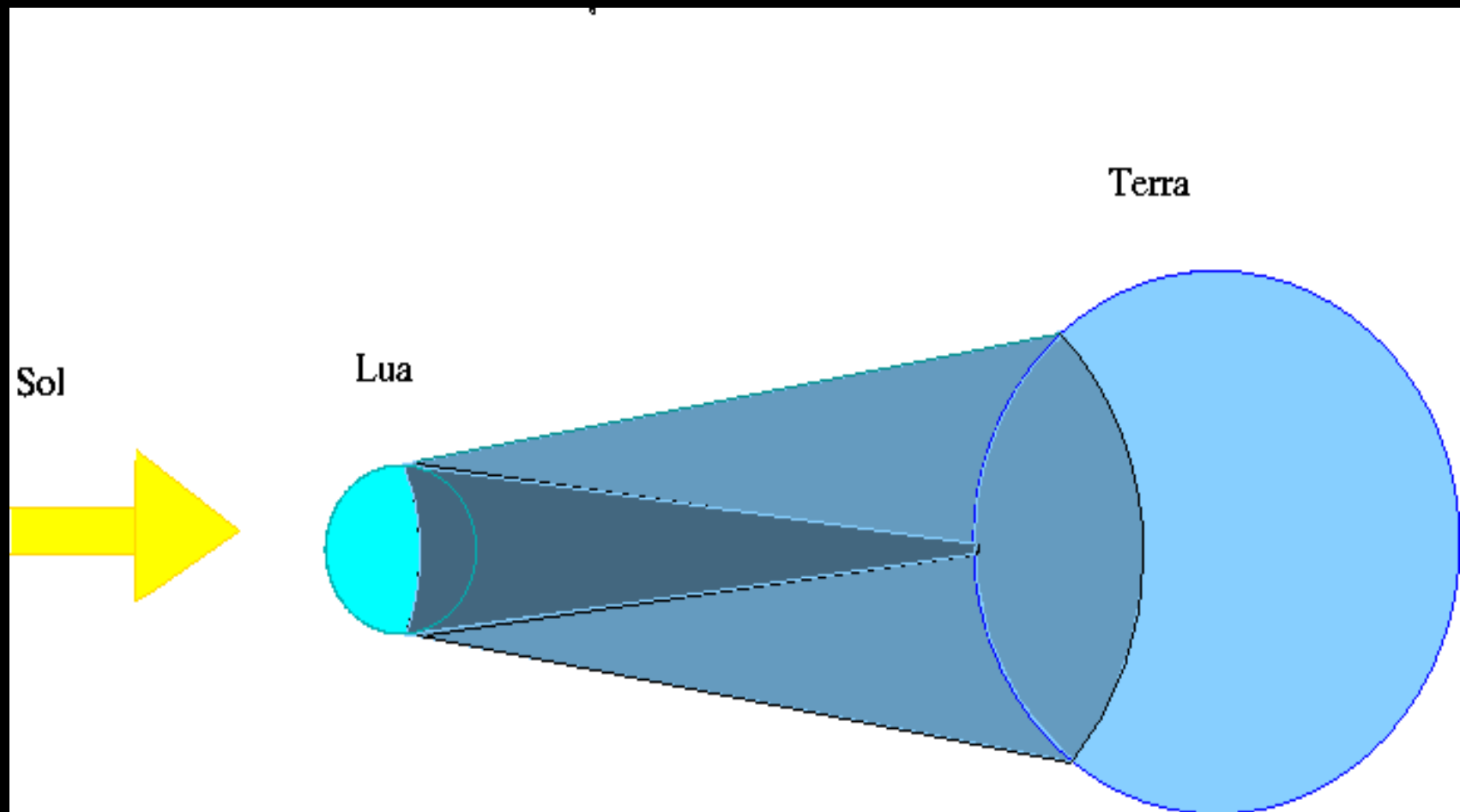
**C**



**D** Anular



# Eclipses do Sol

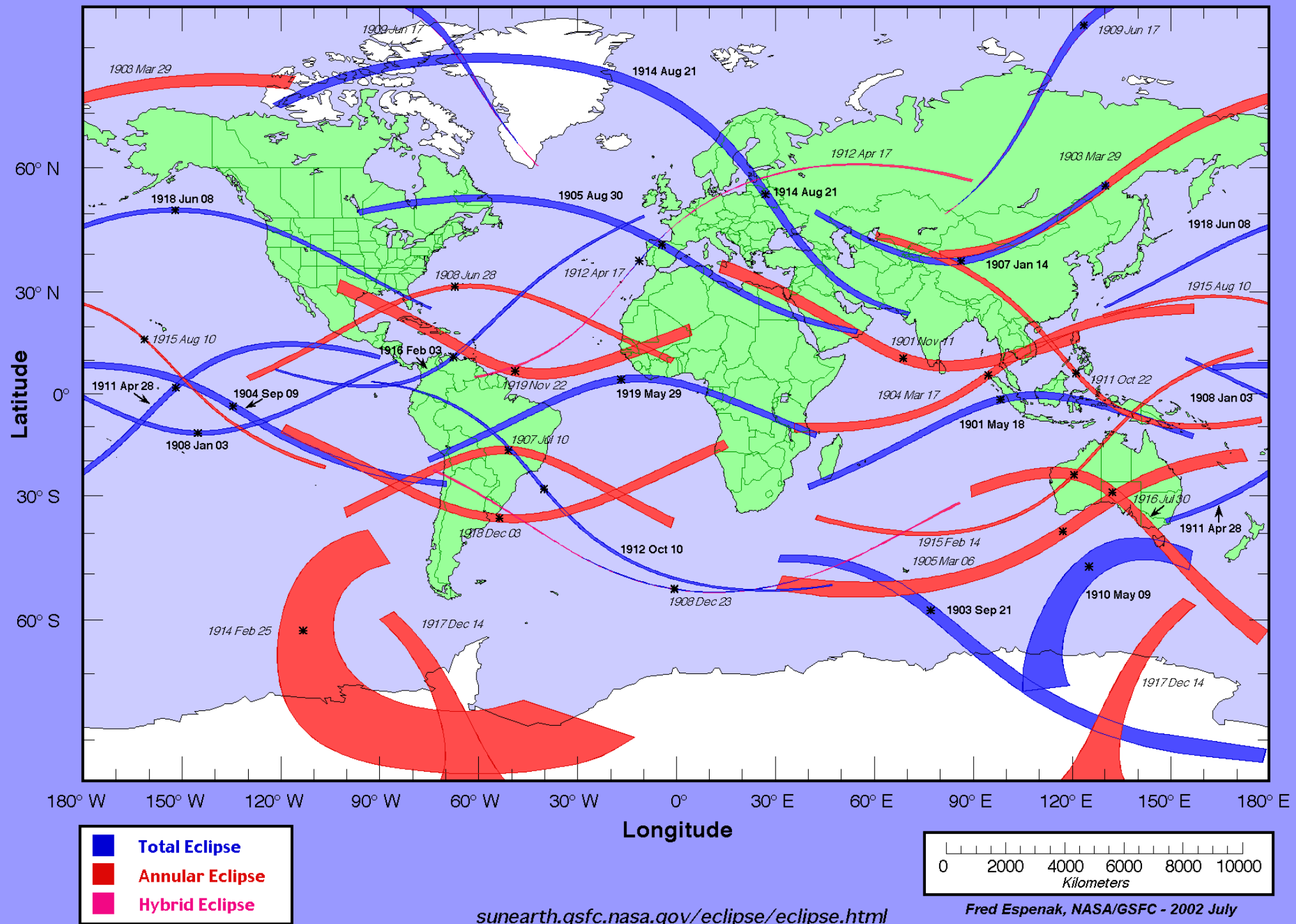


# Fenômenos durante eclipses



- O momento em que o Sol começa a despontar de um eclipse solar costuma ser chamado de “anel de diamante”
- Antes e após a totalidade de um eclipse solar, a luz solar chega num padrão de interferência, que pode ser observado no solo.

# Total and Annular Solar Eclipse Paths: 1901 – 1920





# O eclipse de 1912

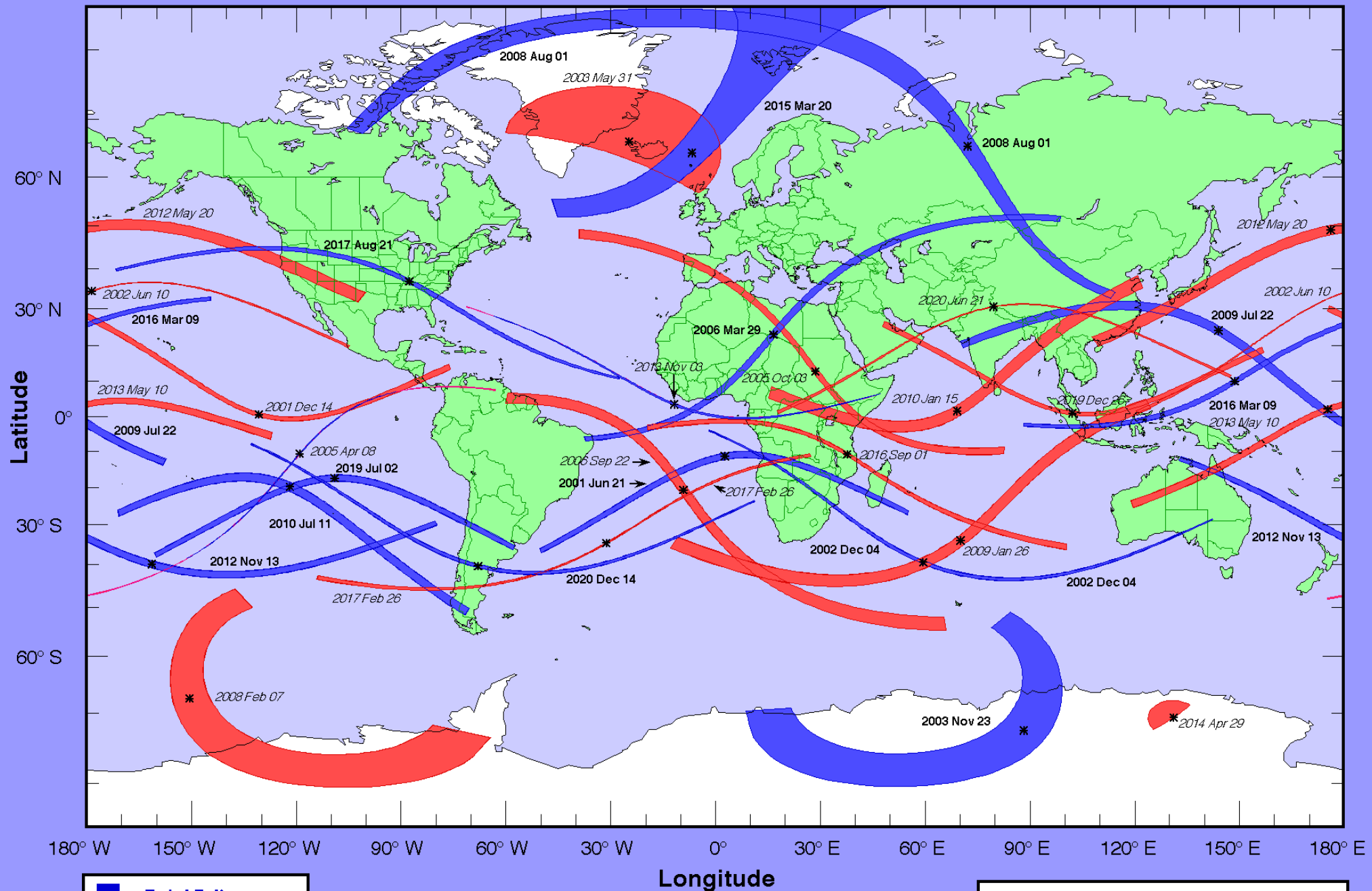
- O eclipse de 1912 foi um grande evento para a elite carioca. Houve muitos comentários na imprensa e o próprio presidente foi observá-lo. Mas choveu, no dia...



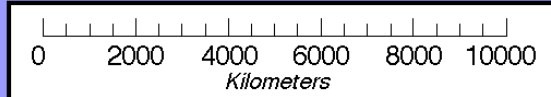
O presidente Hermes da Fonseca na fazenda do Sr. Hess, em Passa Quatro  
Fotografia de Olyntho Barreto  
Fonte: Fon-fon, 19/10/1912 / Arquivo: BN



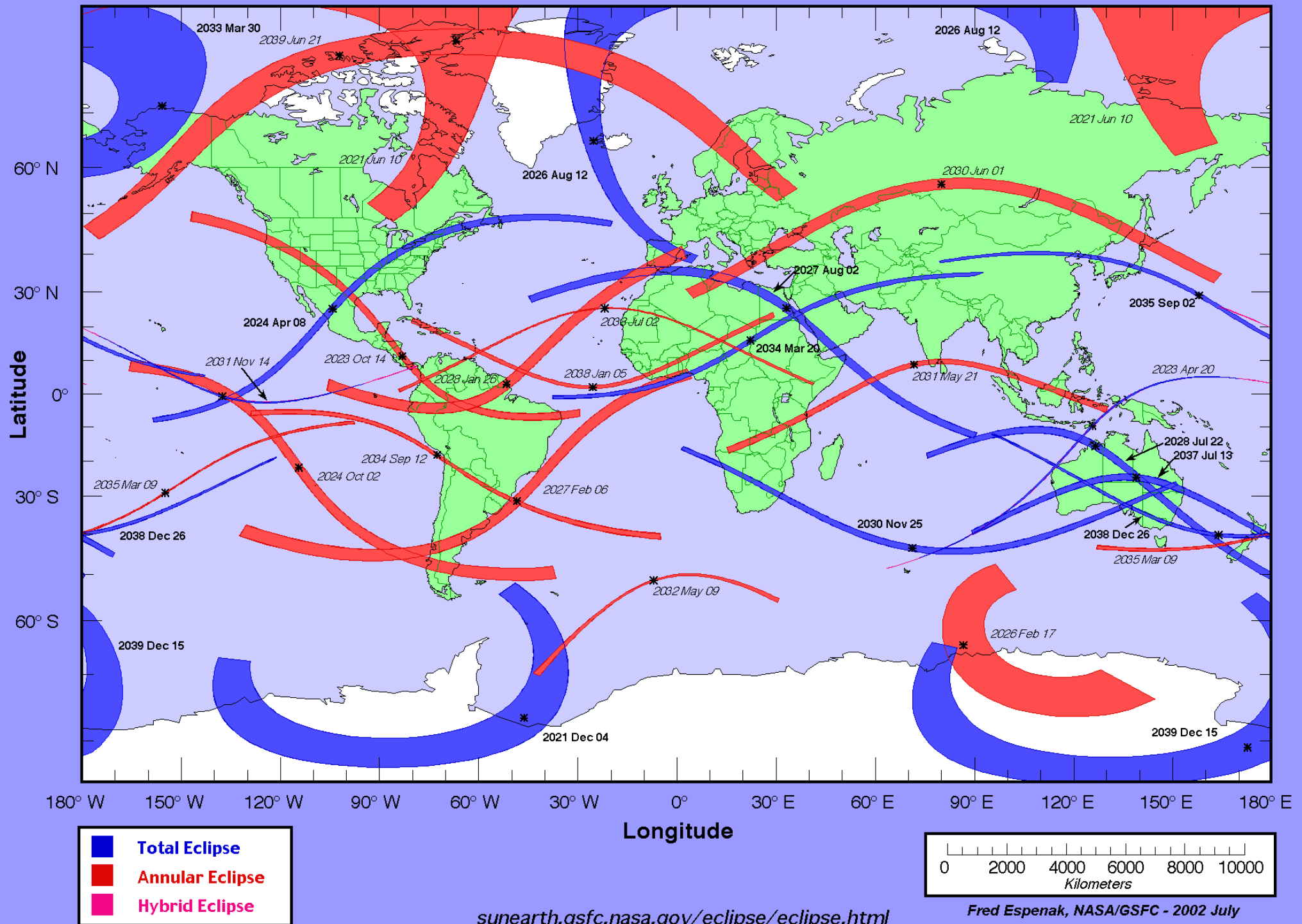
# Total and Annular Solar Eclipse Paths: 2001 – 2020



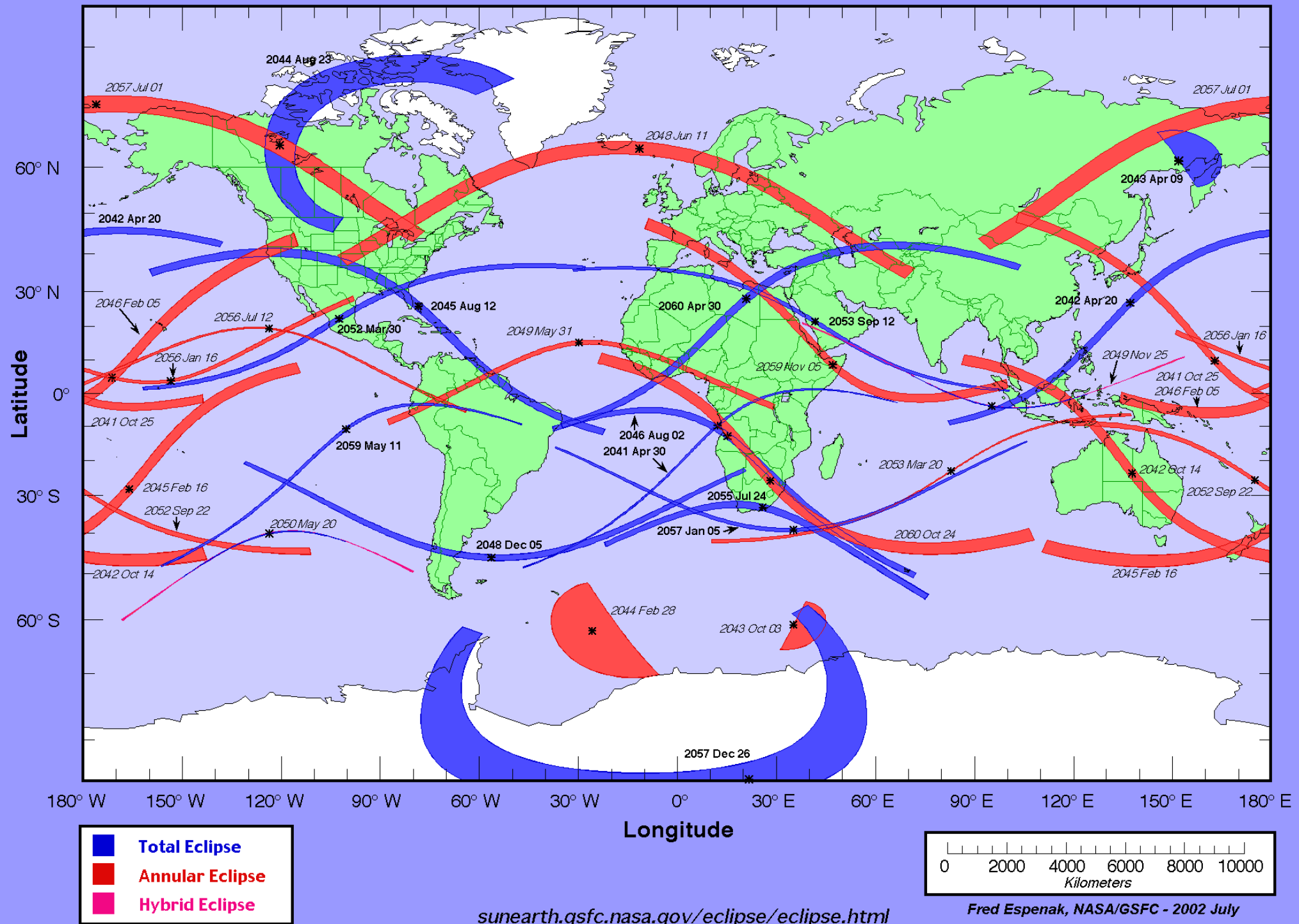
- Total Eclipse
- Annular Eclipse
- Hybrid Eclipse



# Total and Annular Solar Eclipse Paths: 2021 –2040

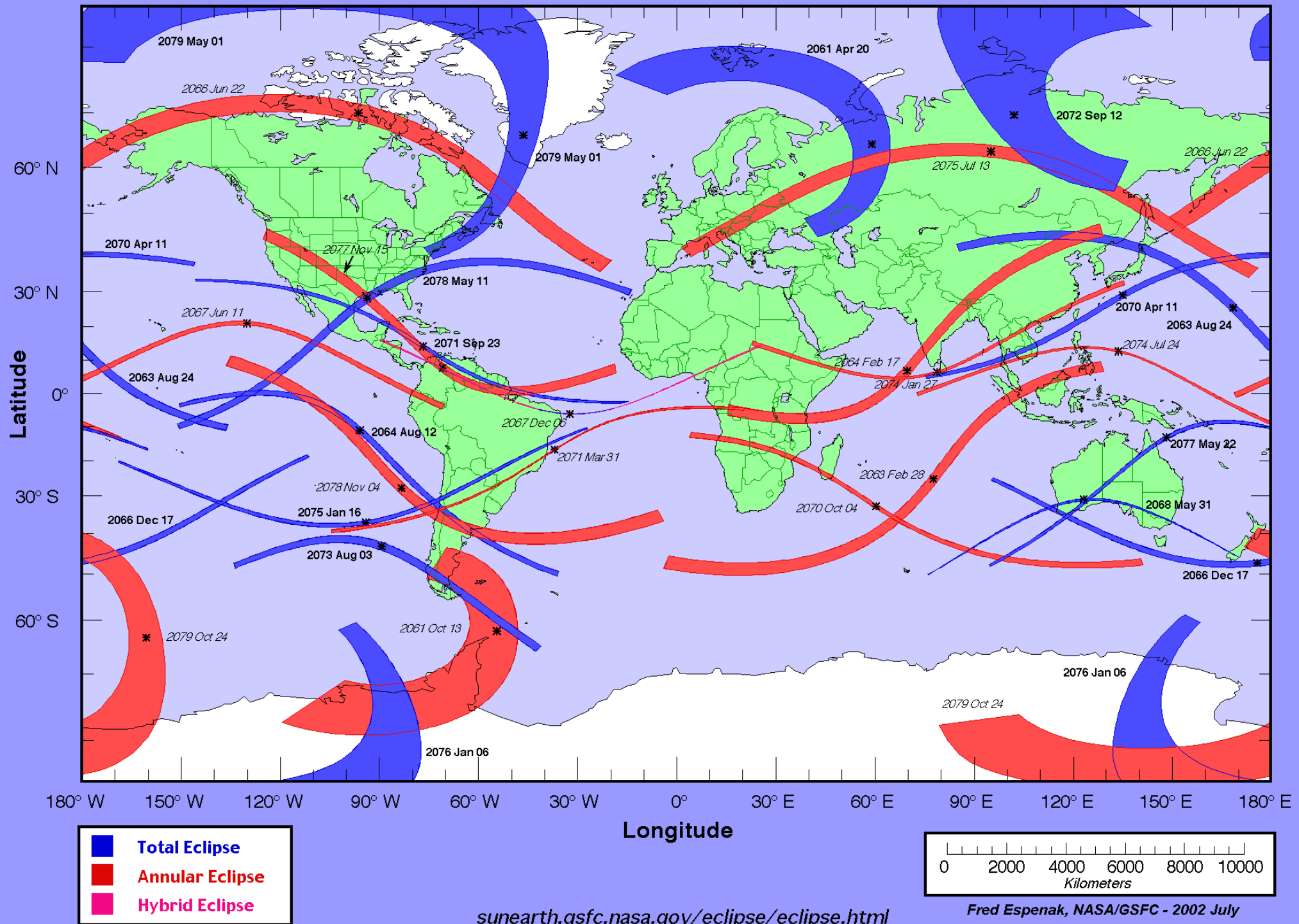


# Total and Annular Solar Eclipse Paths: 2041 – 2060

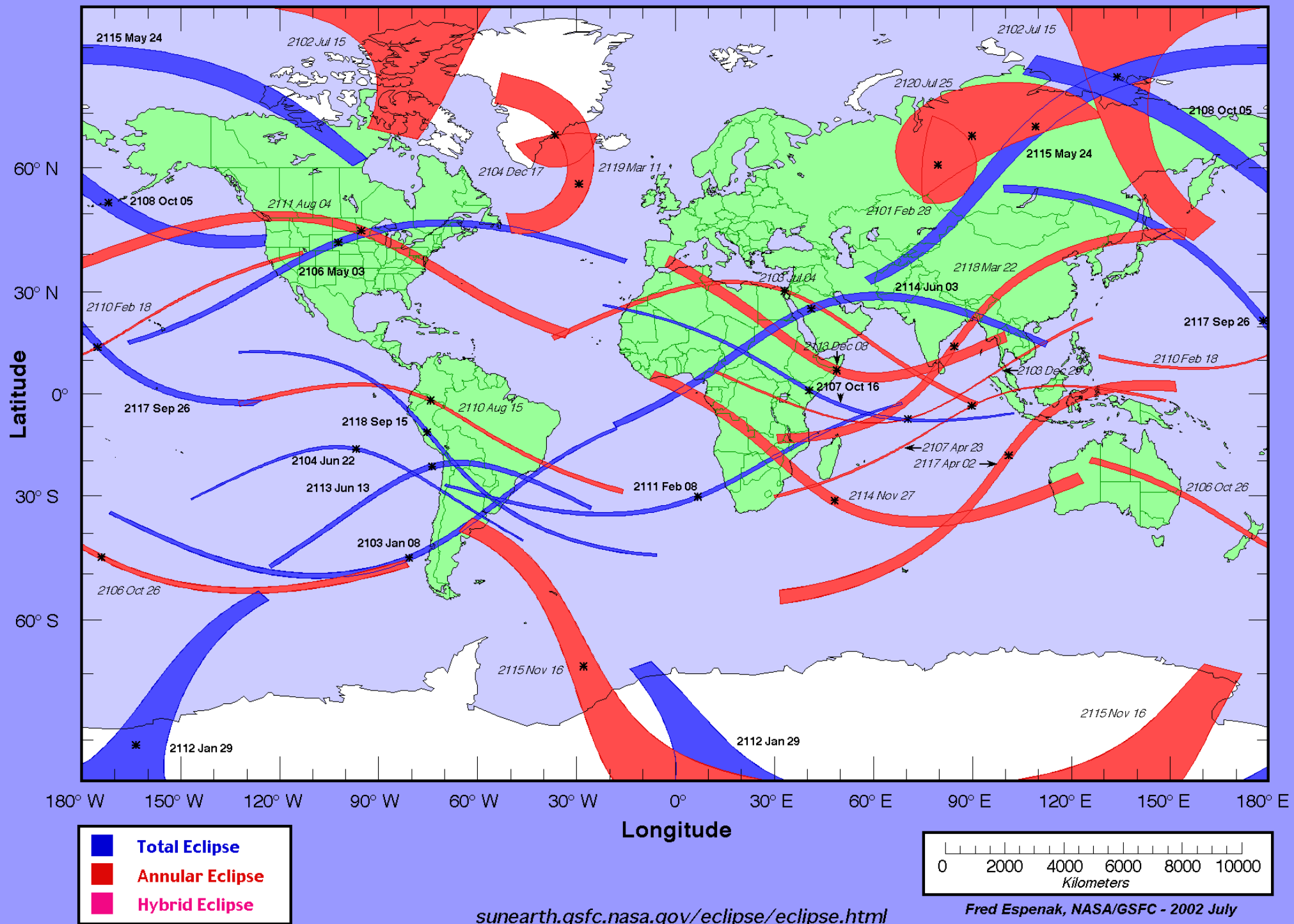




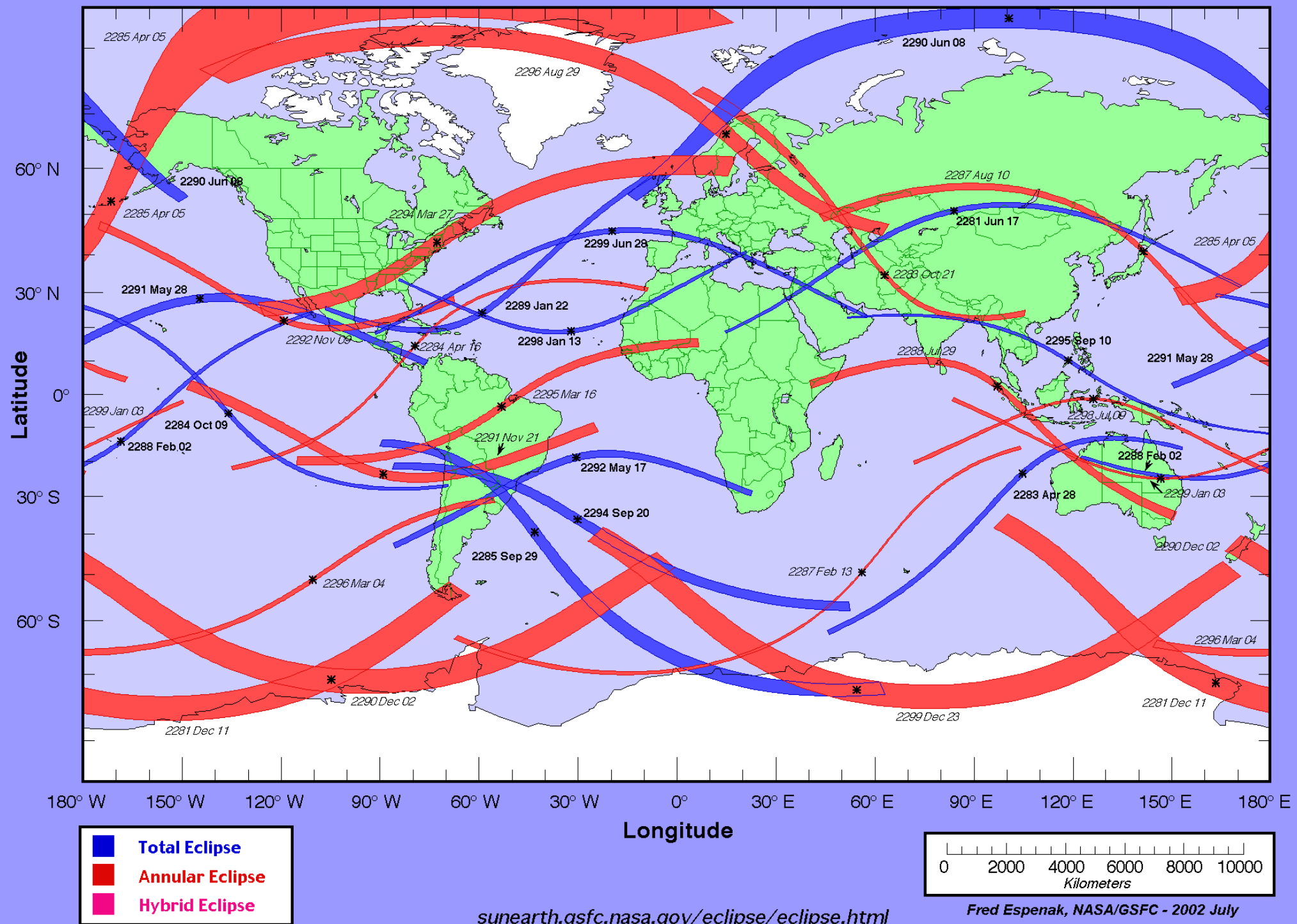
# Total and Annular Solar Eclipse Paths: 2061–2080



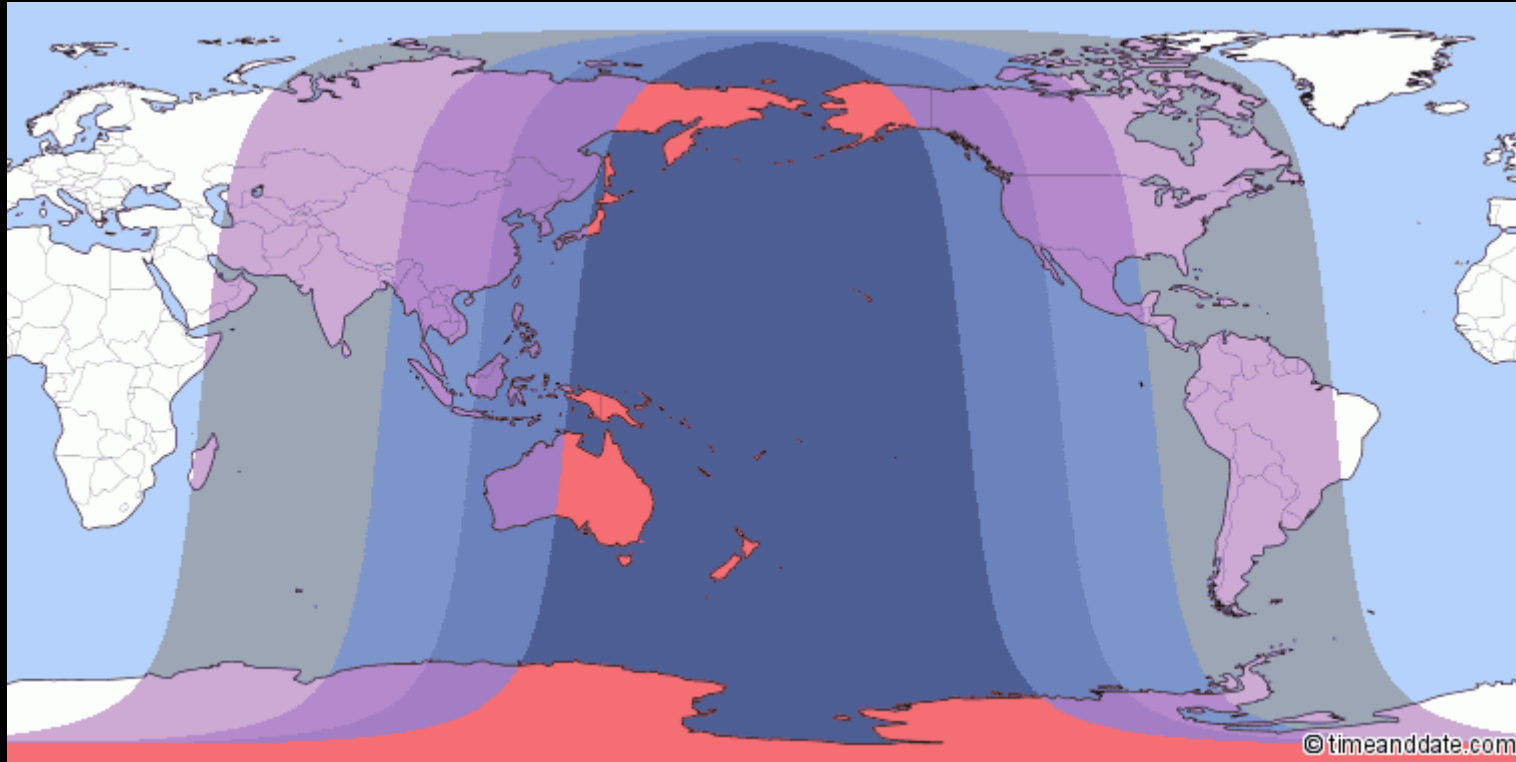
# Total and Annular Solar Eclipse Paths: 2101–2120



# Total and Annular Solar Eclipse Paths: 2281–2300



Esse eclípsse Lunar Total ou Lua de Sangue foi visto em Abril de 2015, como podemos ver na figura abaixo. Ele ficou na totalidade somente 5 minutos e 43 segundos.



Azul escuro-rosa: 100% visible (start to end).

Azul\_roxinho: More than 75% of the event is visible.

Less than 75% of the event is visible.

Less than 50% of the event is visible.

Fora das cores: Eclipse is not visible at all

<http://www.timeanddate.com/eclipse/in/brazil/rio-de-janeiro?iso=20150404>





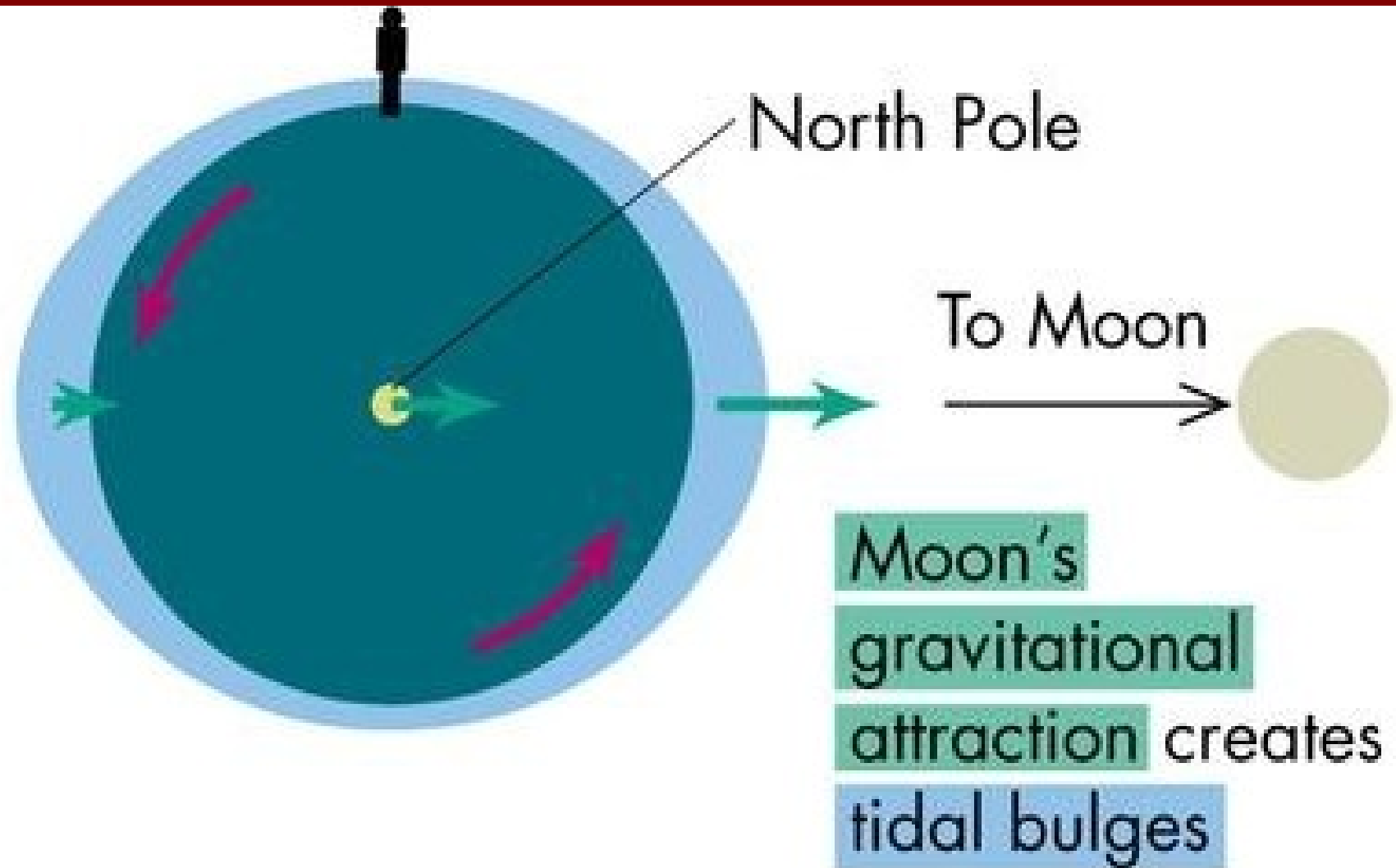
Fox Observatory

# Marés

A variação regular na altura do oceano é chamada de maré, sendo causada principalmente pela Lua.

- **Causas das marés:** Da mesma forma que a Terra atrai a Lua, esta exerce uma atração gravitacional na Terra e seus oceanos. A atração é mais forte no lado da Terra mais próximo da Lua porque a força da gravidade varia inversamente com o quadrado da distância. A diferença entre as forças dos dois lados da Terra é chamada de **força gravitacional diferencial**.
- A gravidade diferencial faz com que a água dos oceanos gere um **bojo de maré** no lado da Terra voltado para a Lua. No outro lado da Terra também é criado um bojo de maré, como se a Terra *fosse puxada* por sob a água.

# Marés

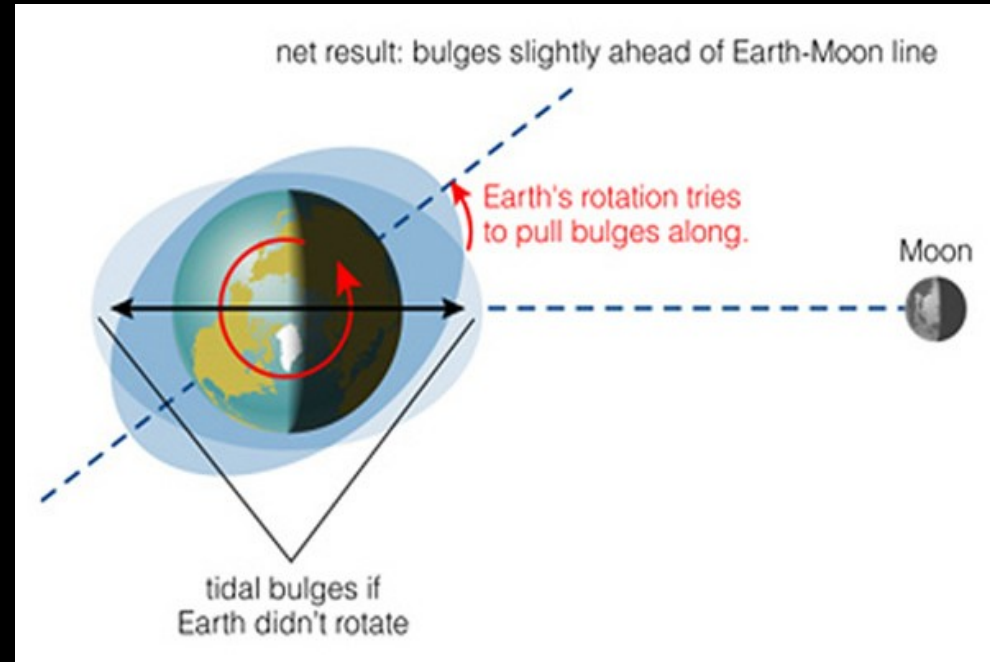


# Marés

A ação gravitacional de um corpo sobre o outro deforma ligeiramente a forma de ambos: os corpos se esticam ao longo da linha que une os dois centros de massa. Essa deformação é chamada de “**bojo mareal**”

A ação da Lua sobre a Terra provoca o surgimento de **bojos oceânicos** .

Ademais, a Terra rotaciona mais velozmente do que a revolução lunar, de modo que os bojos oceânicos mudam de posição, acarretando o fenômeno das marés.



# Marés

Para o entendimento do efeito de marés também devemos considerar a rotação terrestre. Os bojos de maré estão aproximadamente alinhados com a Lua, mas a Terra gira.

Sendo assim, nós somos levados a um bojo e depois a outro. Na medida que entramos num bojo o nível da água sobe; descendo quando o deixamos.

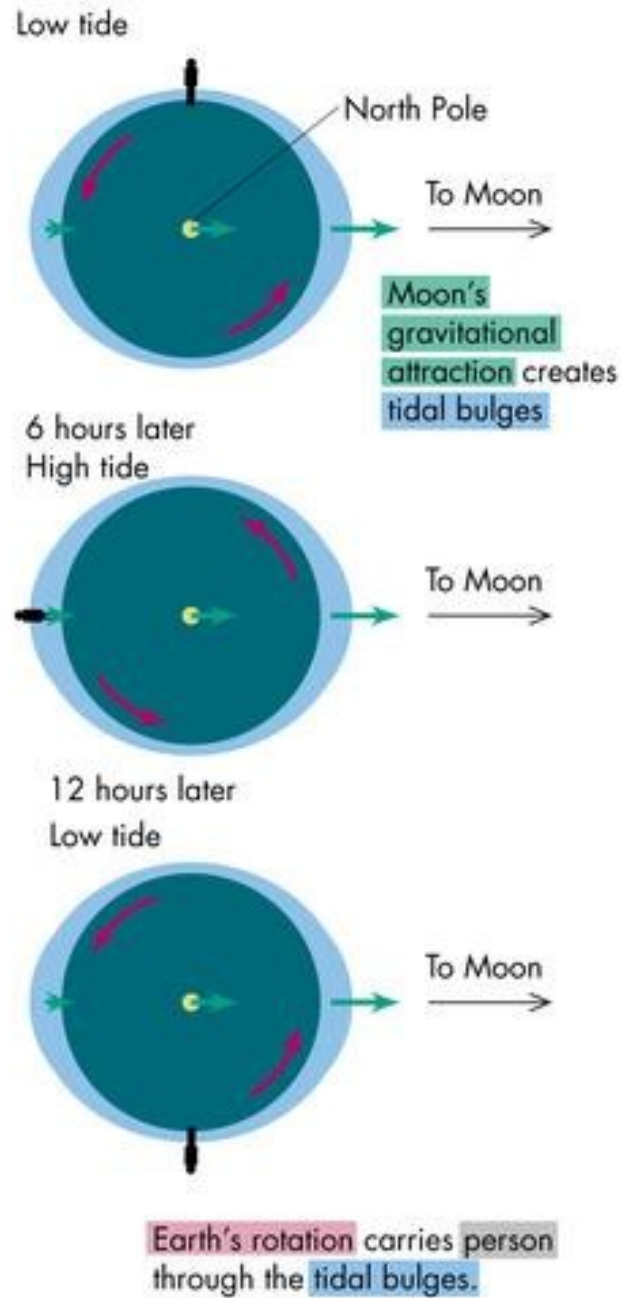
Como existem dois bojos somos levados a águas altas duas vezes por dia, criando duas marés altas. Quando saímos destes bojos temos duas marés baixas por dia.

# Marés

Na maioria dos locais os efeitos de maré levam a variações de 2 m, mas em algumas baías longas estas mudanças podem alcançar 10 m.

O movimento da Lua em sua órbita faz com que o bojo de maré desloque-se de um dia pro outro, de forma que as marés altas ocorrem cerca de 50 minutos mais tarde a cada dia.

# Marés



# Marés

**Marés solares:** O sol também cria marés na Terra, mas apesar de muito mais massivo que a Lua, está muito mais distante. Como consequência a força de maré solar é aproximadamente  $\frac{1}{4}$  da lunar.

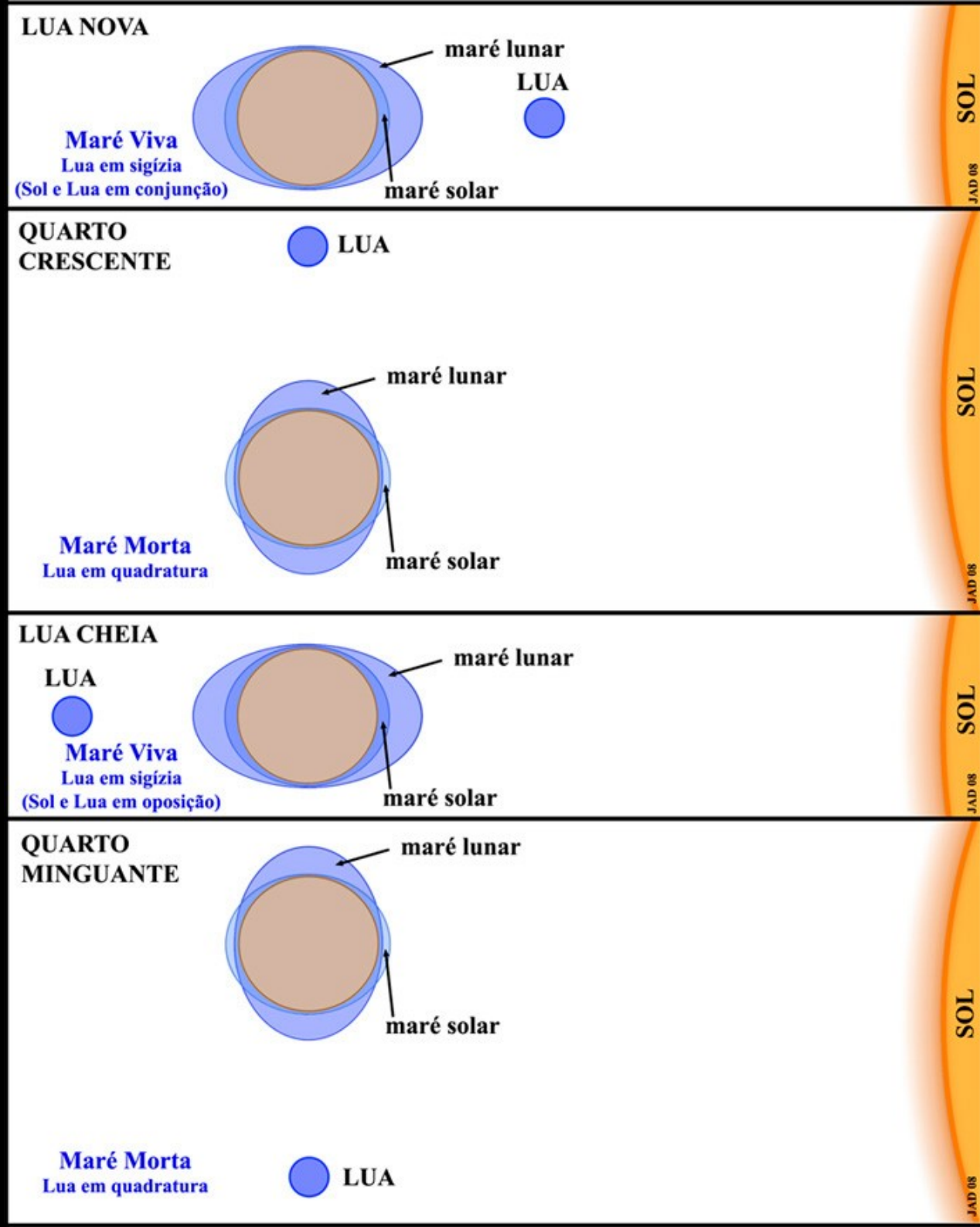
- No entanto, o efeito da maré solar é visível nas Luas nova e cheia quando acumula-se com a maré lunar, causando marés muito maiores. Nestes períodos os bojos de maré causados pela Lua e Sol acumulam-se, criando um efeito maior.
- Por outro lado no primeiro e terceiro quartos os efeitos de maré da Lua e do Sol geram bojos de maré com ângulos retos entre eles. A maré resultante acaba sendo menor que as regulares.



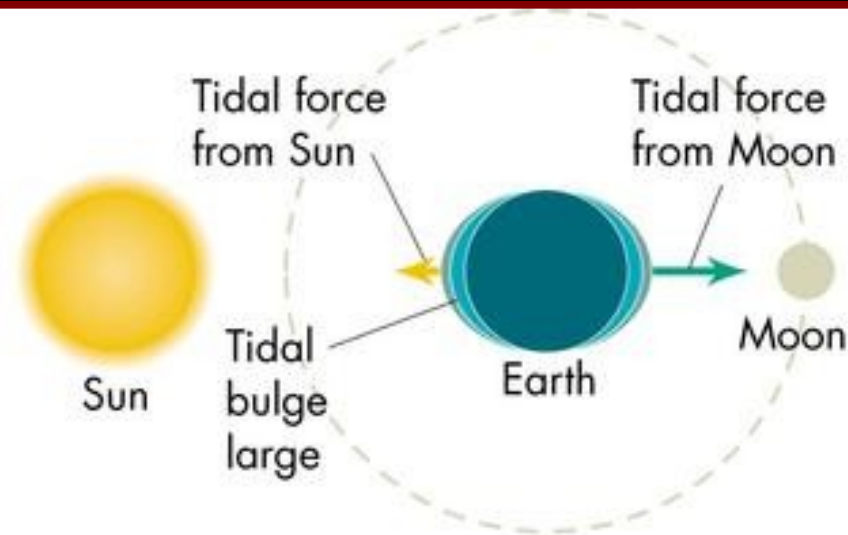
# Marés

Tanto a Lua quanto o Sol produzem marés.

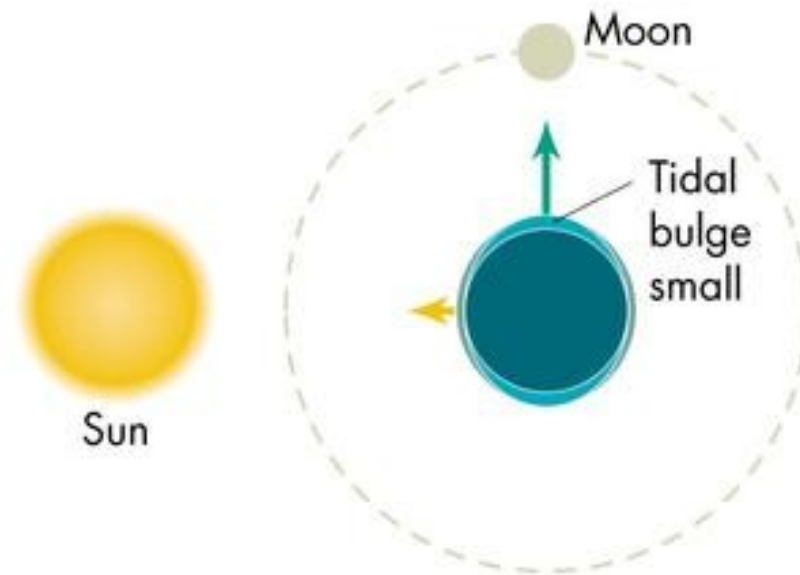
As marés provocadas na Terra pela gravidades dos outros planetas é desprezível.



# Marés



**A**



**B**

# Evolução mareal das órbitas

Uma vez que a Terra está se movendo, seus bojos mareais são arrastados para fora da linha que une os centros de massa da Terra e da Lua.

Os bojos mareais terrestres acabam por afetar a órbita lunar, arrastando a Lua consigo. O efeito global destas forças é **levar a Lua para uma órbita cada vez mais distante.**

Simultaneamente, a Lua atrai o bojo mareal terrestre, **diminuindo lentamente a velocidade de rotação da Terra.**

# Evolução mareal das órbitas

O atrito das águas com o fundo dos oceanos causa desaceleração da rotação da Terra: há 400 milhões de anos o dia tinha 22 horas.

Em função disso, daqui a milhões de anos, o dia terá bem mais do que 24 horas e a Lua estará mais distante.

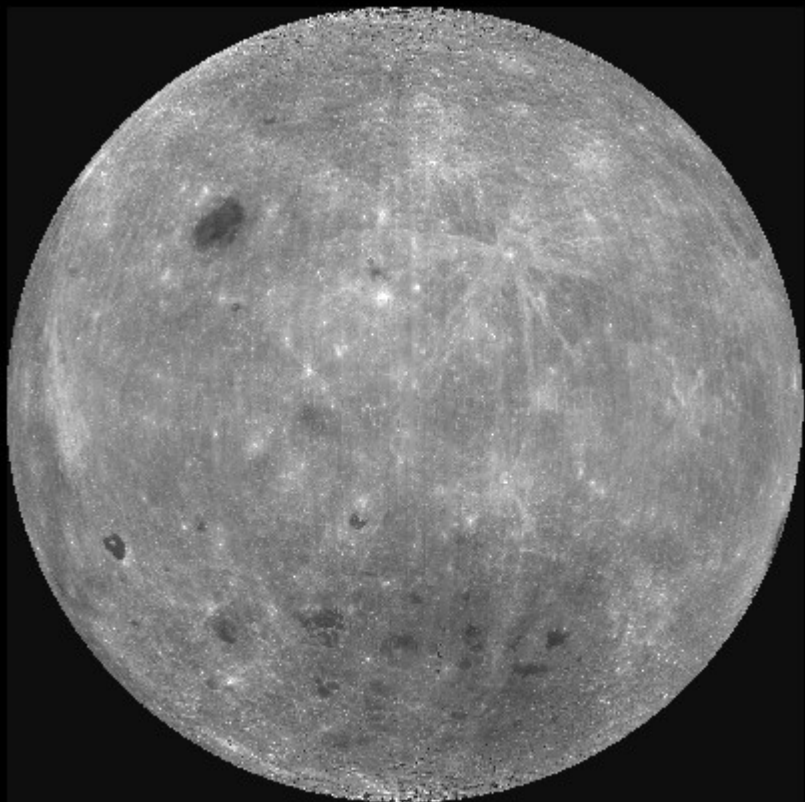
A Lua se afasta da Terra cerca de 3 cm por ano.

# O lado oculto da Lua

A Lua mostra sempre o mesmo lado de sua superfície para observadores da Terra. Qual o motivo disto?



Near Side



Far Side