

Ensino de Astronomia



08/04/2017

SISTEMA TERRA, LUA E SOL



Beatriz Yordaky

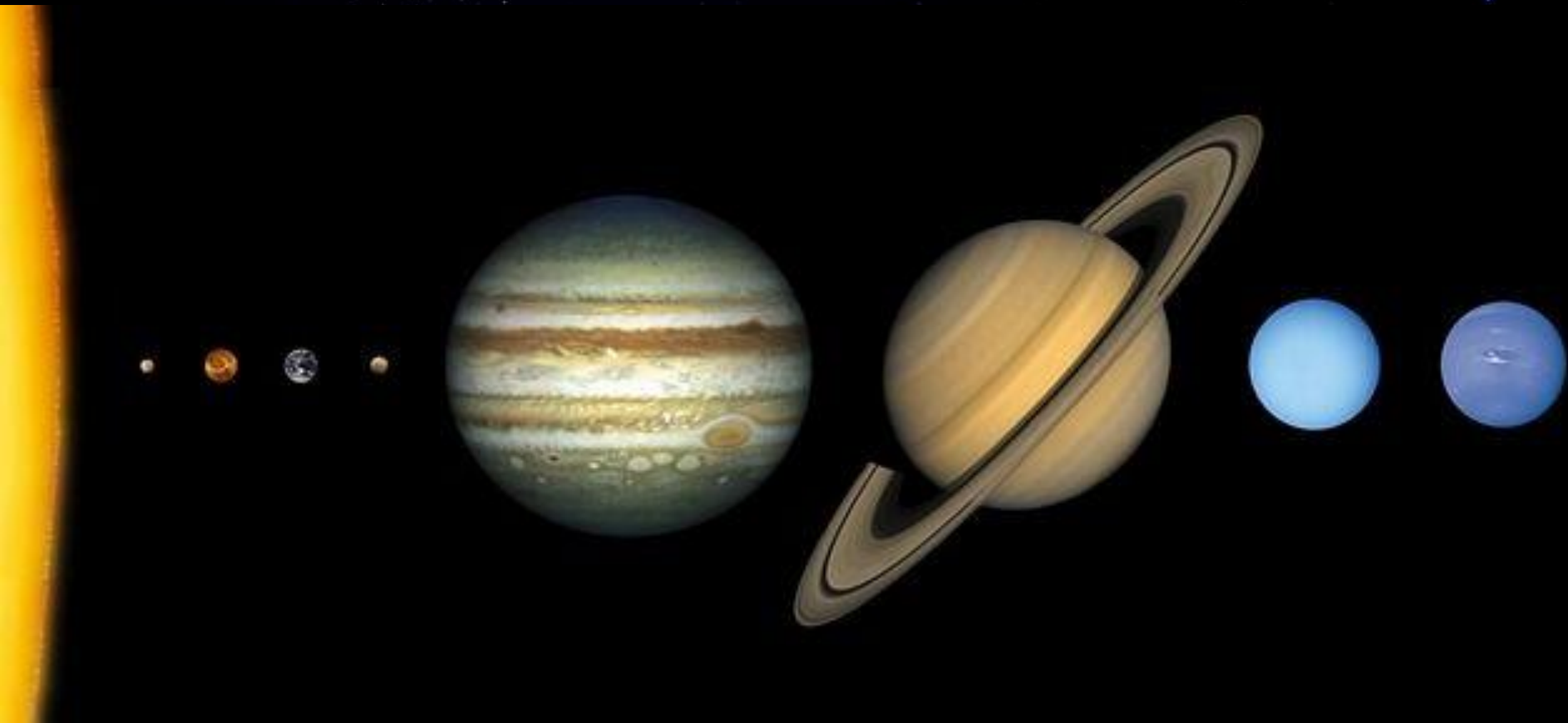
beatriz.yordaky@outlook.com

NOSSA CASA: TERRA

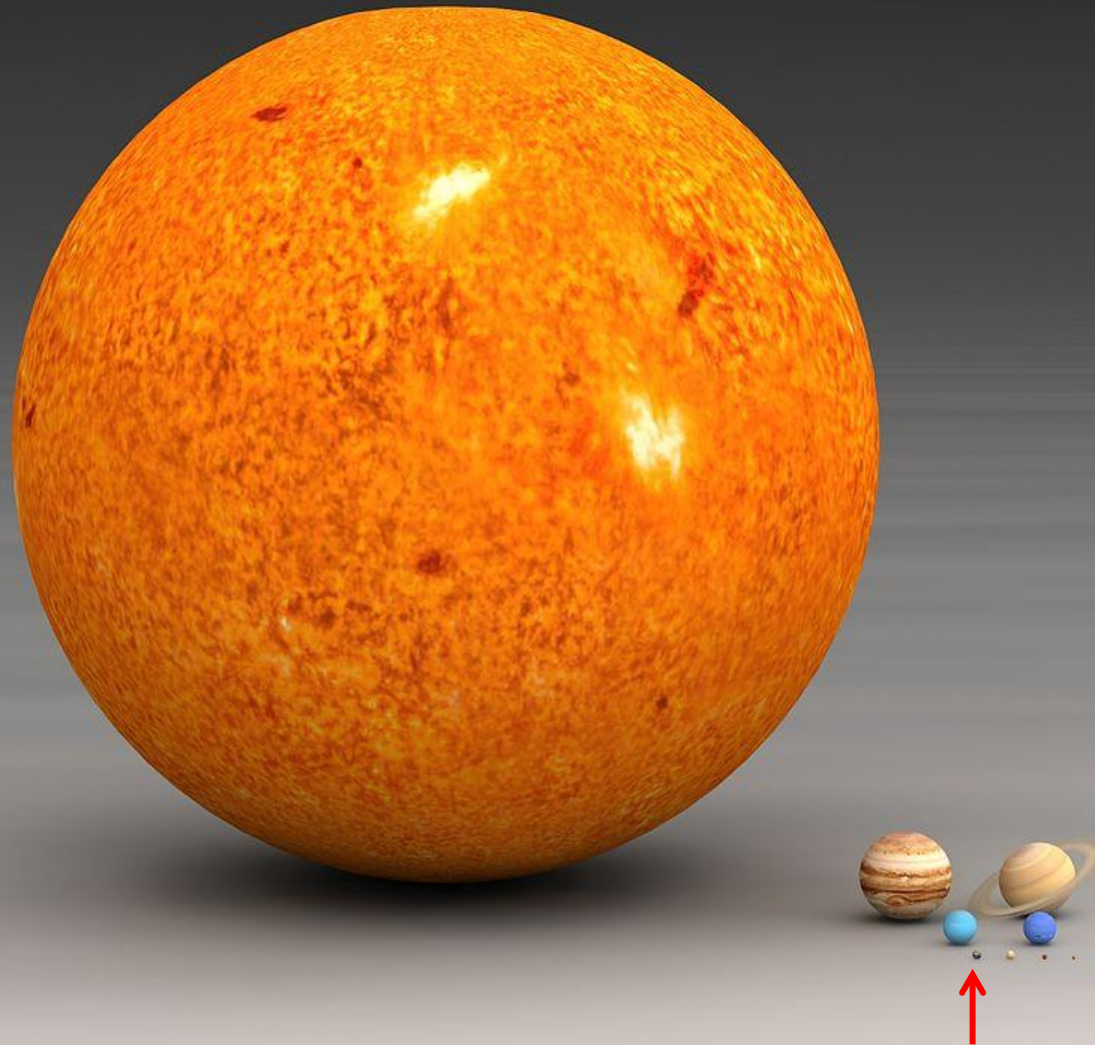
- Diâmetro médio: 12.756 km
- Abriga vida
- 3º planeta sistema solar
- Distância ao Sol: ~150 milhões de km (1 UA)



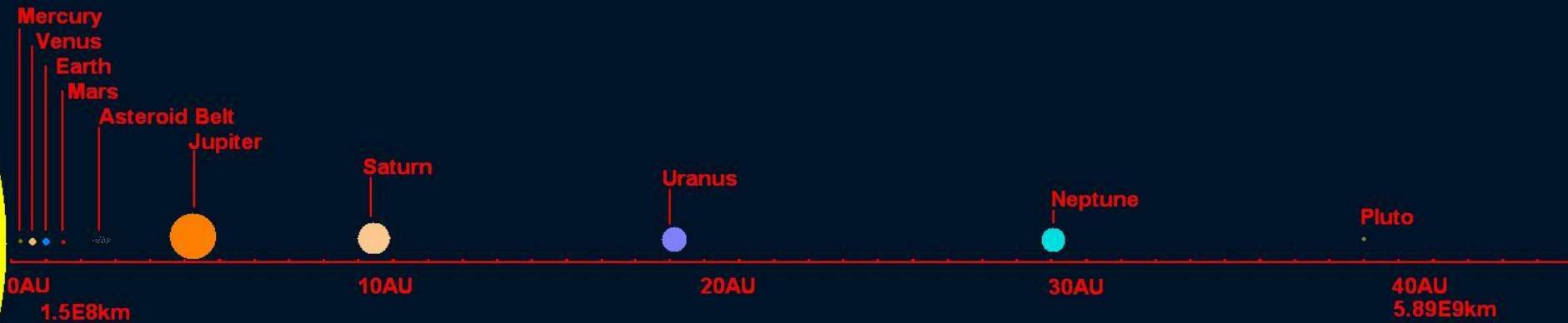
TAMANHOS DOS PLANETAS DO SISTEMA SOLAR



TAMANHOS DOS PLANETAS DO SISTEMA SOLAR

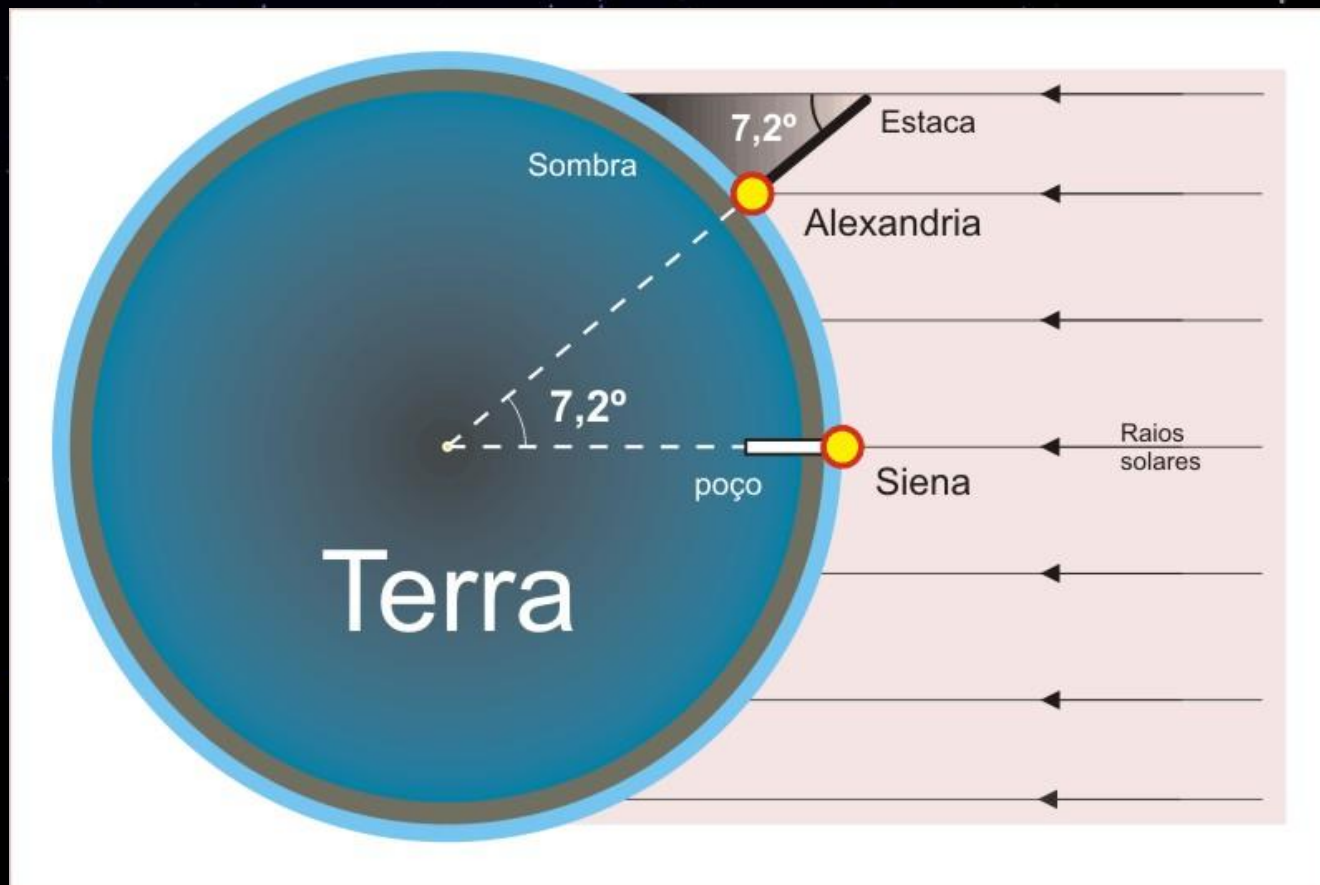


DISTÂNCIAS DOS PLANETAS AO SOL



A TERRA É ESFÉRICA

- Eratóstenes (276 a.C. – 194 a.C)



EVIDÊNCIAS DE QUE A TERRA É ESFÉRICA

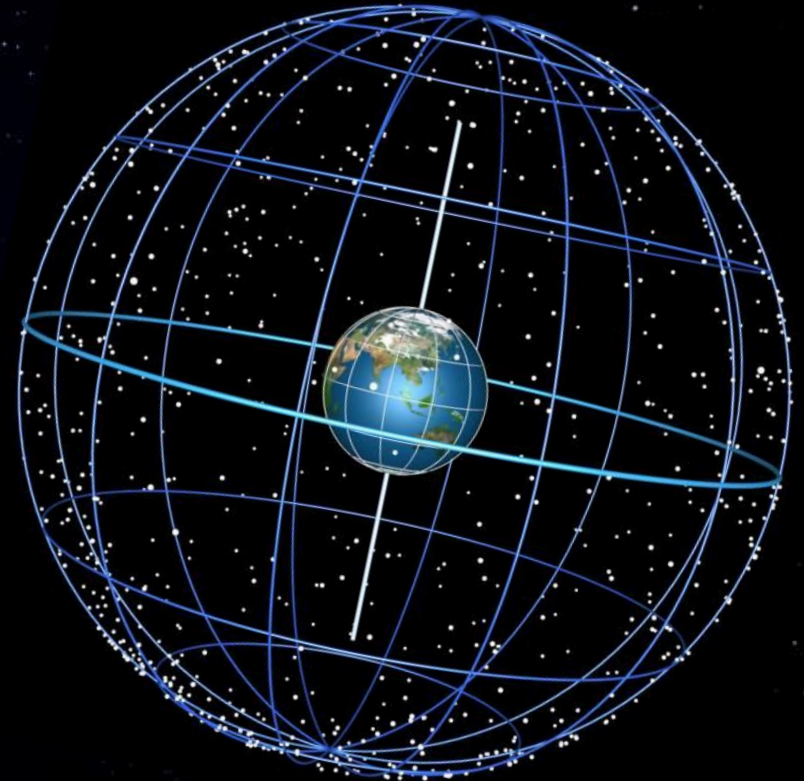
- Formato dos demais planetas
- Eclipses lunares
- Observação navio no horizonte
- O céu de cada hemisfério
- Fotos obtidas por missões espaciais



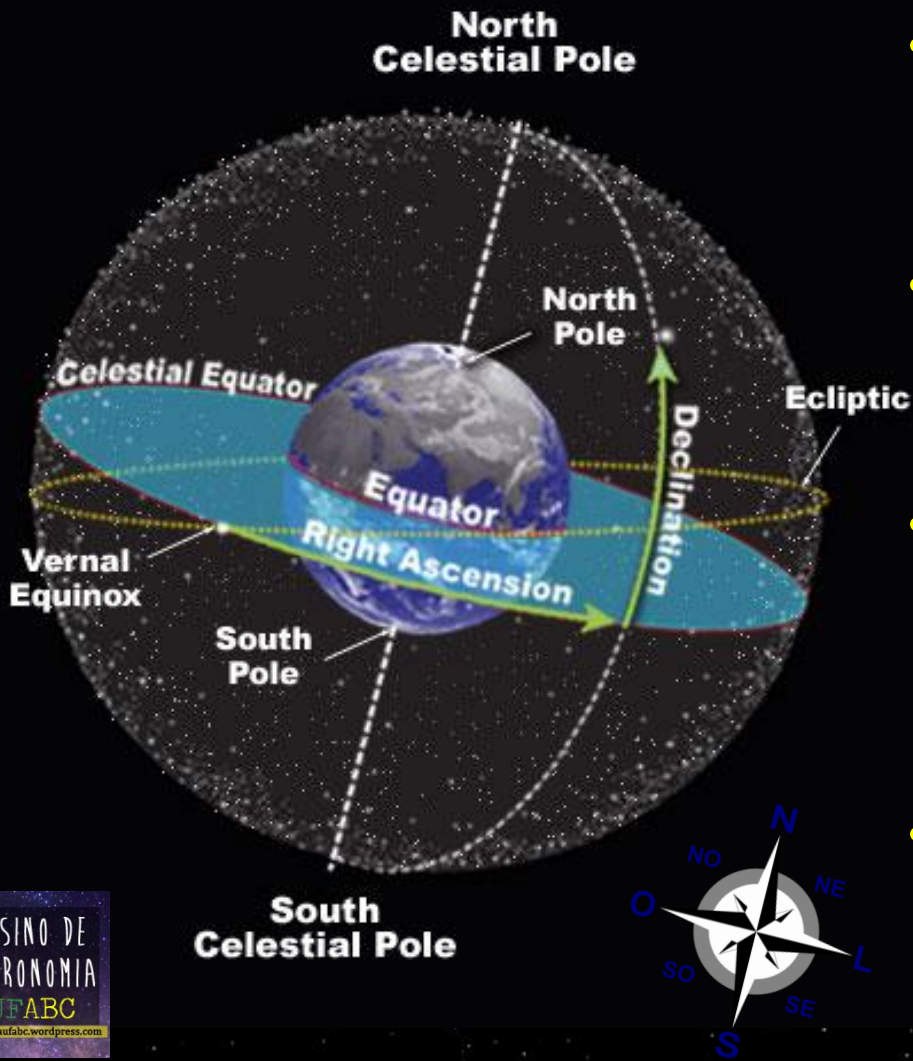
Missão Apollo 11
Fonte: NASA

A ESFERA CELESTE

- Projeção das estrelas
- Diferente da esfera celeste do modelo Platão
- A Terra rotaciona. Difícil observar movimentos próprios de estrelas

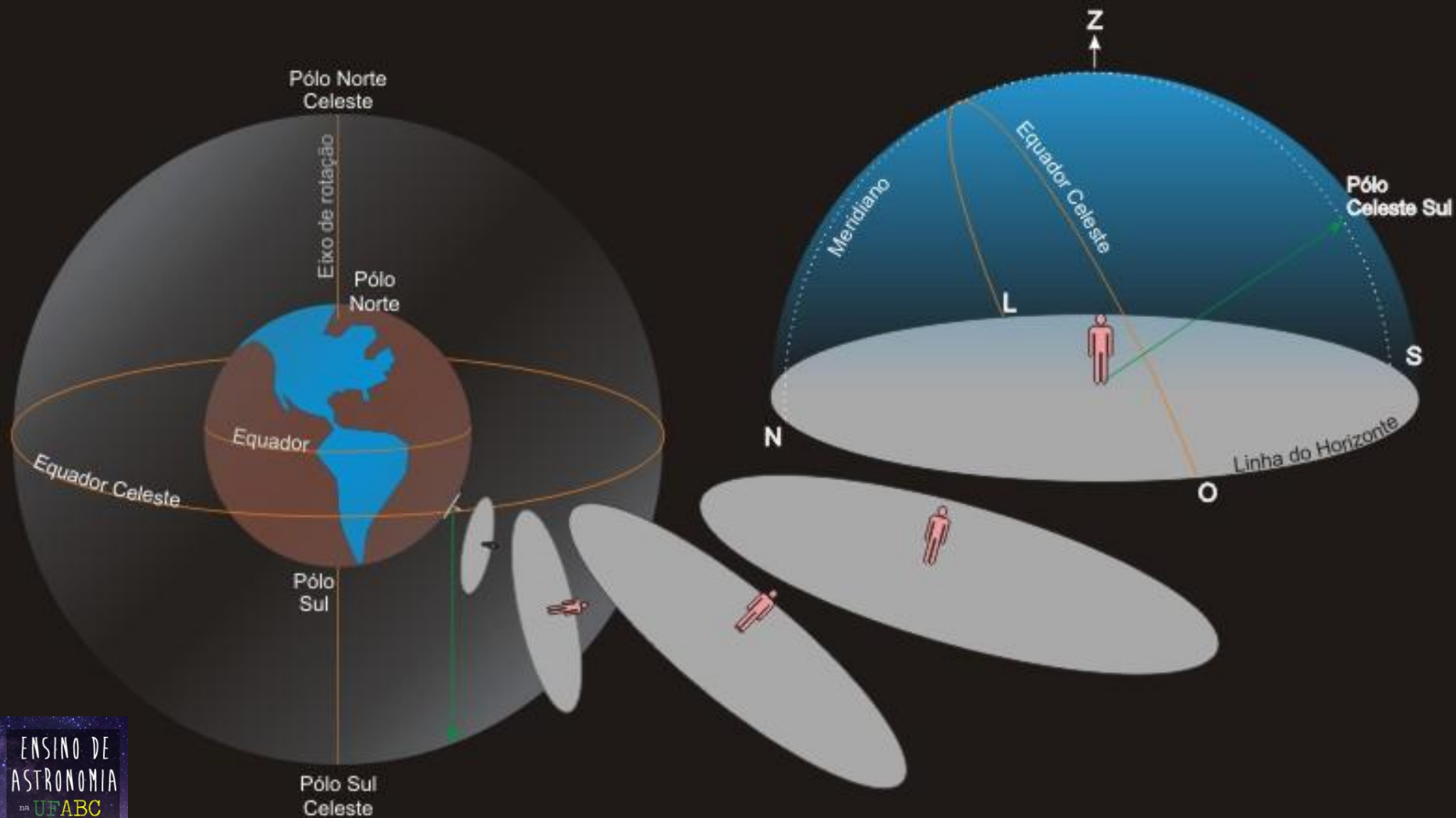


A ESFERA CELESTE



- Rotação da Terra: de Oeste a Leste
- Movimento aparente do Sol e estrelas: de Leste a Oeste
- Pólos Norte e Sul e Equador celestes: projeções na esfera
- Eclíptica: caminho aparente do Sol no céu

A ESFERA CELESTE



FOTOS DE LONGA EXPOSIÇÃO - STARTRAIL



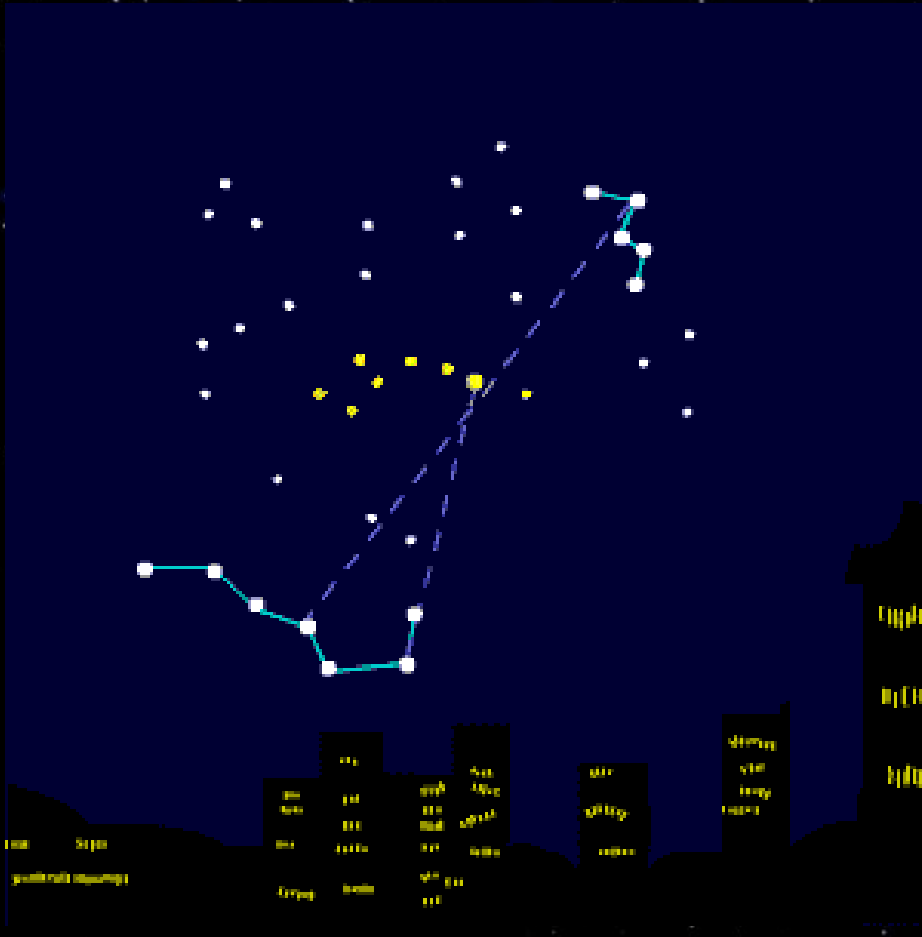
FOTOS DE LONGA EXPOSIÇÃO - STARTRAIL



Foto tirada em Socorro – SP
Crédito: Anderson Klaiber

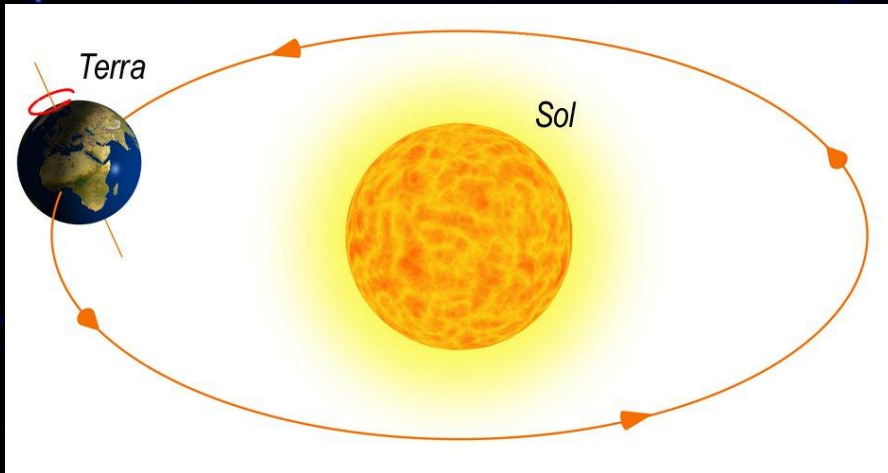
- Diferente em cada região
- Em cima dos pólos: todas as estrelas completam círculos
- Equador: nenhum círculo completo

ESTRELAS CIRCUMPOLARES



- Estrelas circumpolares: guia de navegação
- No GIF: Polaris (na constelação ursa menor), a estrela mais brilhante próxima ao centro
- No Sul: Sigma Octantis (brilho fraco)

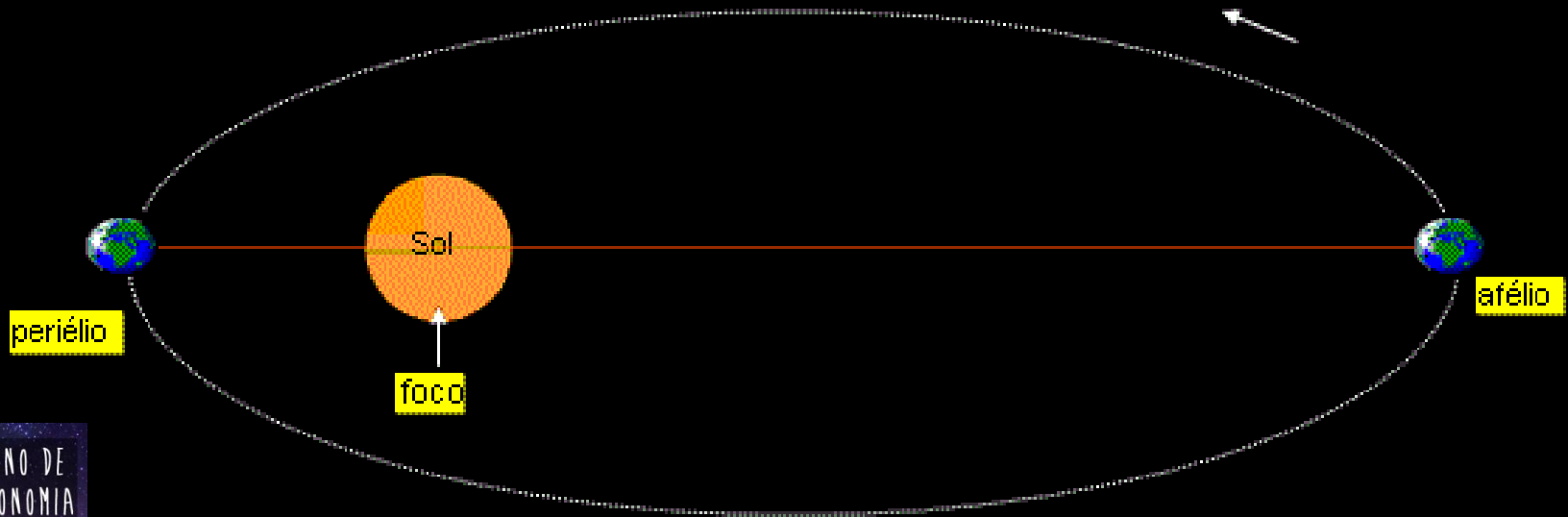
MOVIMENTOS DA TERRA



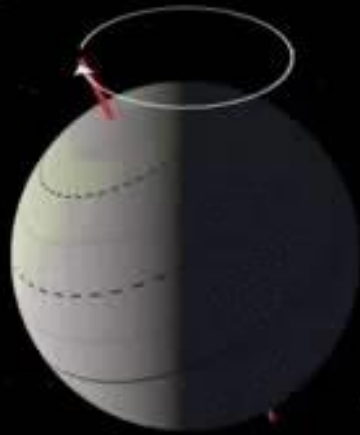
- Rotação Terrestre: regra da mão direita
- Movimento de translação ao redor do Sol
- Composição dos movimentos: efeitos interessantes
- Eclíptica: Plano da órbita da Terra em torno do Sol

MOVIMENTOS DA TERRA

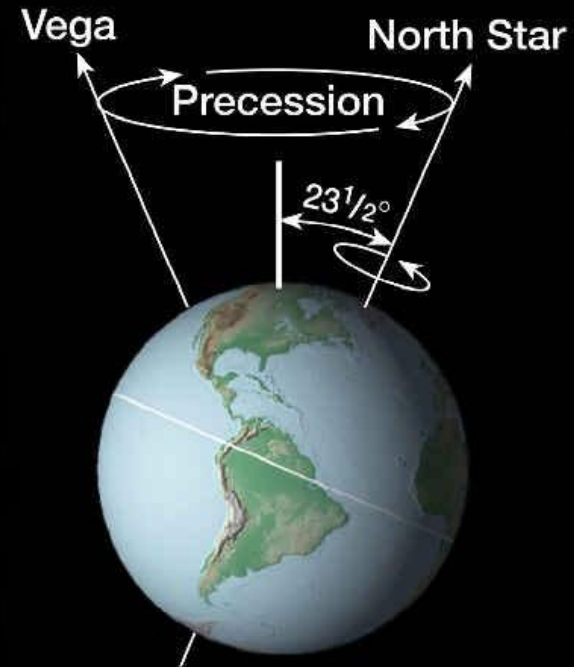
- A órbita da Terra: elipse. Sol está em um dos focos.
- Excentricidade ϵ : medida de quão “alongada” é a elipse.
Para
 $\epsilon = 0$: circunferência
- Terra: $\epsilon = 0,0167 \sim 0$ (a imagem é exagerada!)



MOVIMENTO DE PRECESSÃO DA TERRA



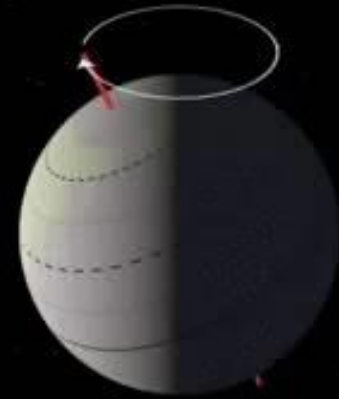
MakeAGIF.com



- Mudança de direção do eixo de rotação (Período ~ 26.000 anos).
- Precessão em torno do eixo da eclíptica
- A estrela circumpolar muda com o tempo! Será Vega em ~13.000 anos

MOVIMENTO DE PRECESSÃO DA TERRA

- A Terra é achatada nos pólos e bojuda no equador
- O plano do equador terrestre está inclinado em $23,5^\circ$ em relação à eclíptica e 5° em relação ao plano da órbita lunar
- As forças gravitacionais ocasionadas pelo Sol e pela Lua tendem a achatá-la ainda mais e a “endireitar o seu eixo”, alinhando-o ao da eclíptica

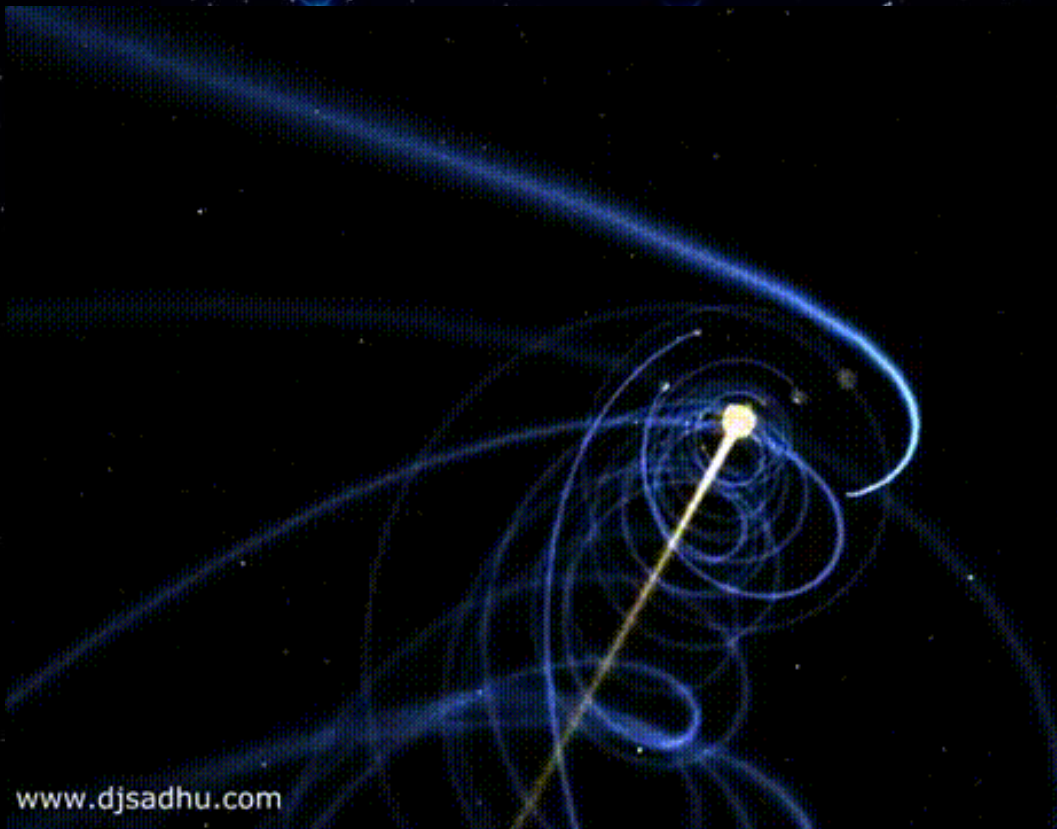


MakeAGIF.com

MOVIMENTOS DA TERRA

- Rotação Galáctica: O Sol orbita o centro da nossa galáxia e, portanto, também o faz o resto do Sistema Solar

https://www.youtube.com/watch?v=0jHsq36_NTU



www.djsadhu.com

COMO SABER QUE A TERRA QUE ESTÁ SE MOVIMENTANDO?

1. Explicação mais simples e preditiva. (mais do que esfera celeste; epiciclos nas órbitas planetárias)
2. Terra em órbita tem uma aceleração centrípeta: não é um referencial inercial. Efeitos: “forças de inércia” (ex.: pseudo-força de Coriolis)
3. Experimento incontestável: Pêndulo de Foucault (1851)

PÊNULO DE FOUCAULT

- 1ª Lei de Newton: **Lei da Inércia**
- Terra em repouso: plano de oscilação do pêndulo não mudaria
- É como se existisse uma força agindo sobre o pêndulo - força de coriolis (fictícia)
- Forças fictícias são características de **referenciais não-inerciais** (em movimento acelerado)!

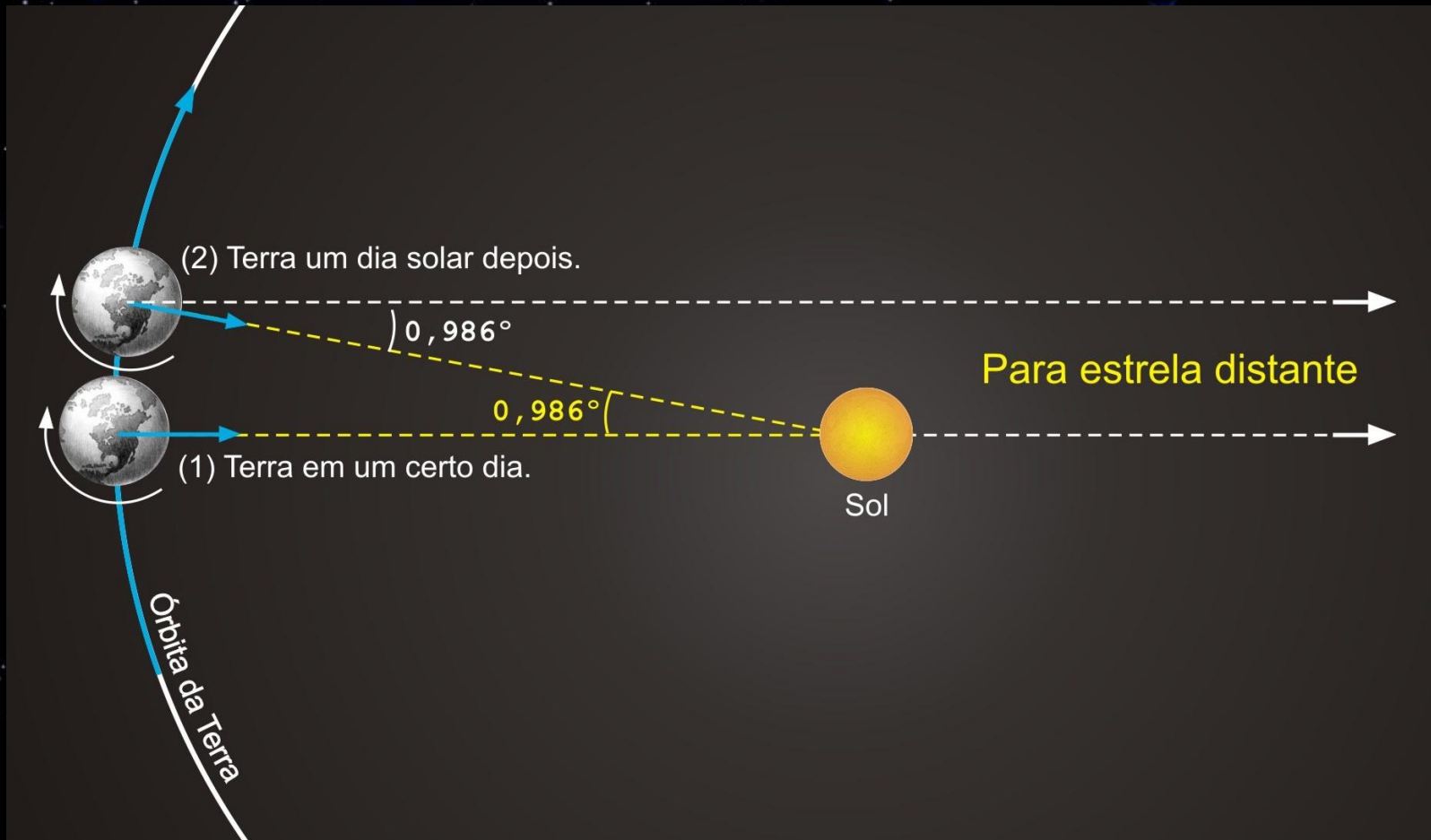


MEDIDAS DE TEMPO

- **DIA SOLAR:** intervalo de tempo entre duas passagens consecutivas do Sol pelo Meridiano Celeste do lugar. 24 hrs.
- **DIA SIDERAL:** intervalo de tempo entre duas passagens sucessivas de uma determinada estrela pelo Meridiano Celeste Local. ~23hrs e 56 min.

São diferentes, mas por quê?

MEDIDAS DE TEMPO



As estrelas aparecem no céu ~4 minutos mais cedo a cada dia

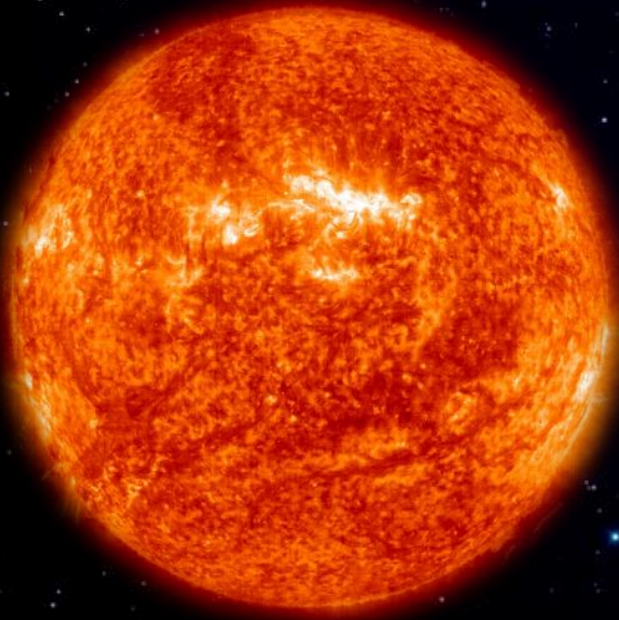
MOVIMENTO DAS ESTRELAS

- A estrelas também têm movimento próprio! Mas como estão bem longe, é difícil de ser observado!
- Em 1718 Edmund Halley observou que a posição da estrela Arcturus havia mudado 1° no céu em relação ao que foi observado por Ptolomeu. Sirius havia mudado $0,5^\circ$.



- *Estrela de Barnard*, ~6 anos-luz, descoberta em 1916. É a com maior movimento aparente.

O SOL



- Coração do Sistema Solar
- Grande influência gravitacional
- Sua temperatura superficial média é de 5500 °C, e detém cerca de 99,85% da massa total do sistema solar
- Tamanho diametral: Cerca de 109 vezes o diâmetro da Terra.
- Composição: Hidrogênio e Hélio

ESTAÇÕES DO ANO

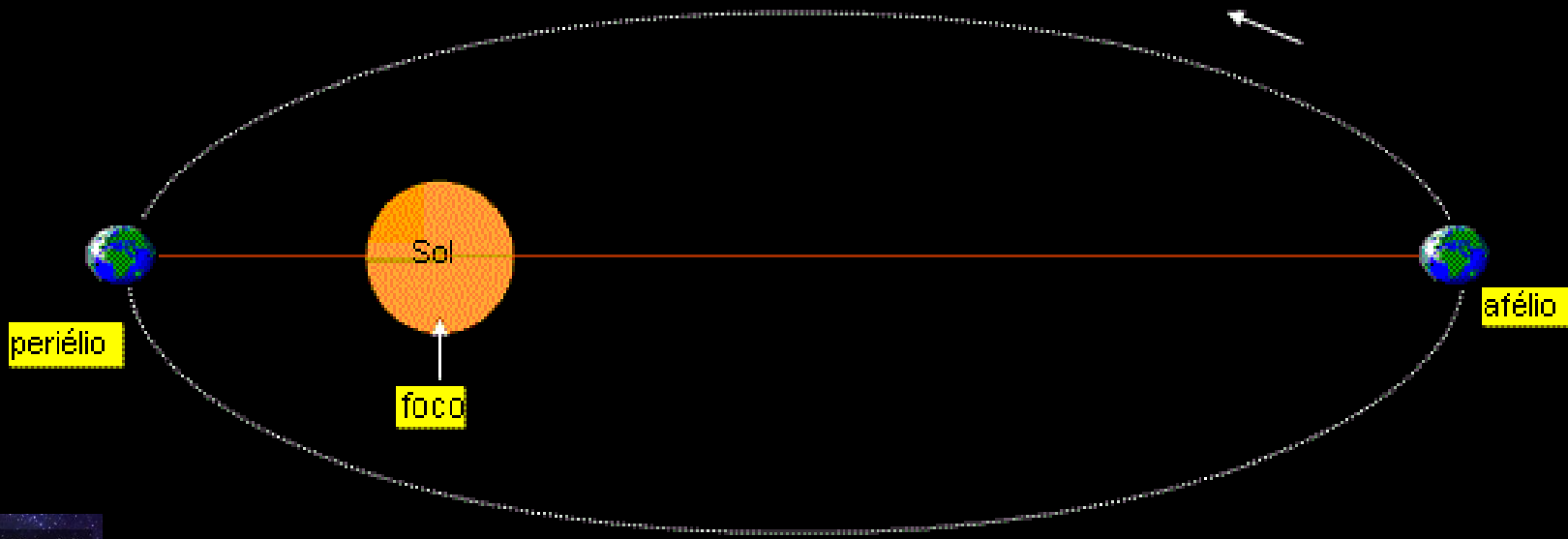
Sabemos que a temperatura de cada região varia ao longo do ano, e portanto temos diferentes estações, mas por quê?



ESTAÇÕES DO ANO

HIPÓTESE:

Como a órbita é elíptica, quando a Terra está mais próxima ao Sol (periélio) temos o verão. No afélio temos o inverno.



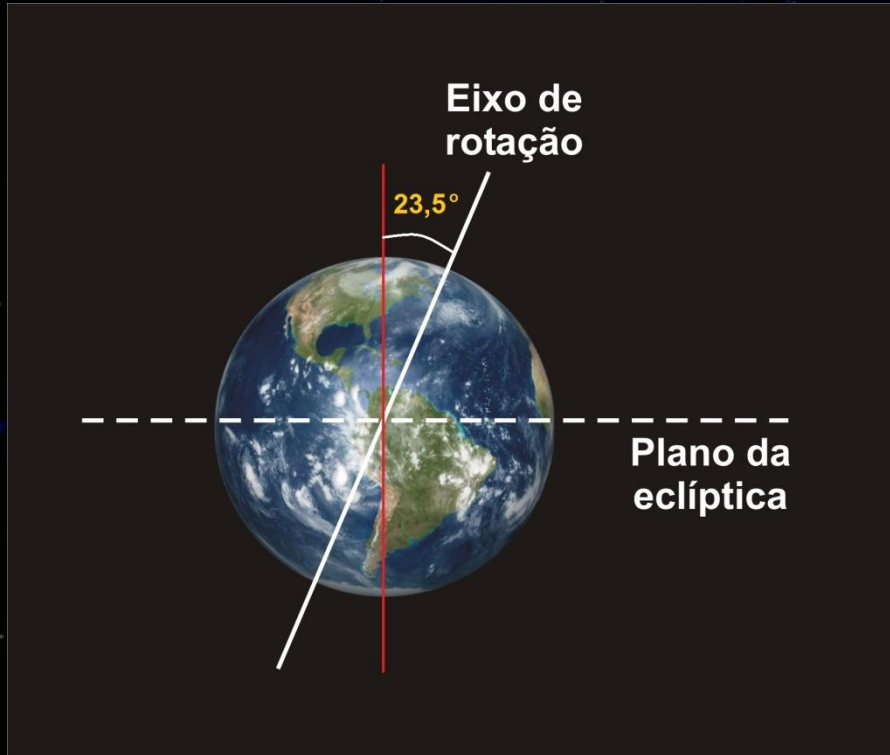
ESTAÇÕES DO ANO

HIPÓTESE:

Como a órbita é elíptica, quando a Terra está mais próxima do Sol (periélio) temos o verão. No afélio temos o inverno.

- Primavera e Outono seriam iguais
- Não haveria razão para a existência de estações opostas nos hemisférios norte e sul simultaneamente
- Variação de $\sim 3,3\%$ da distância Terra-Sol entre periélio e afélio (não é suficiente para provocar mudanças significativas na temperatura terrestre)

ESTAÇÕES DO ANO – O QUE ACONTECE

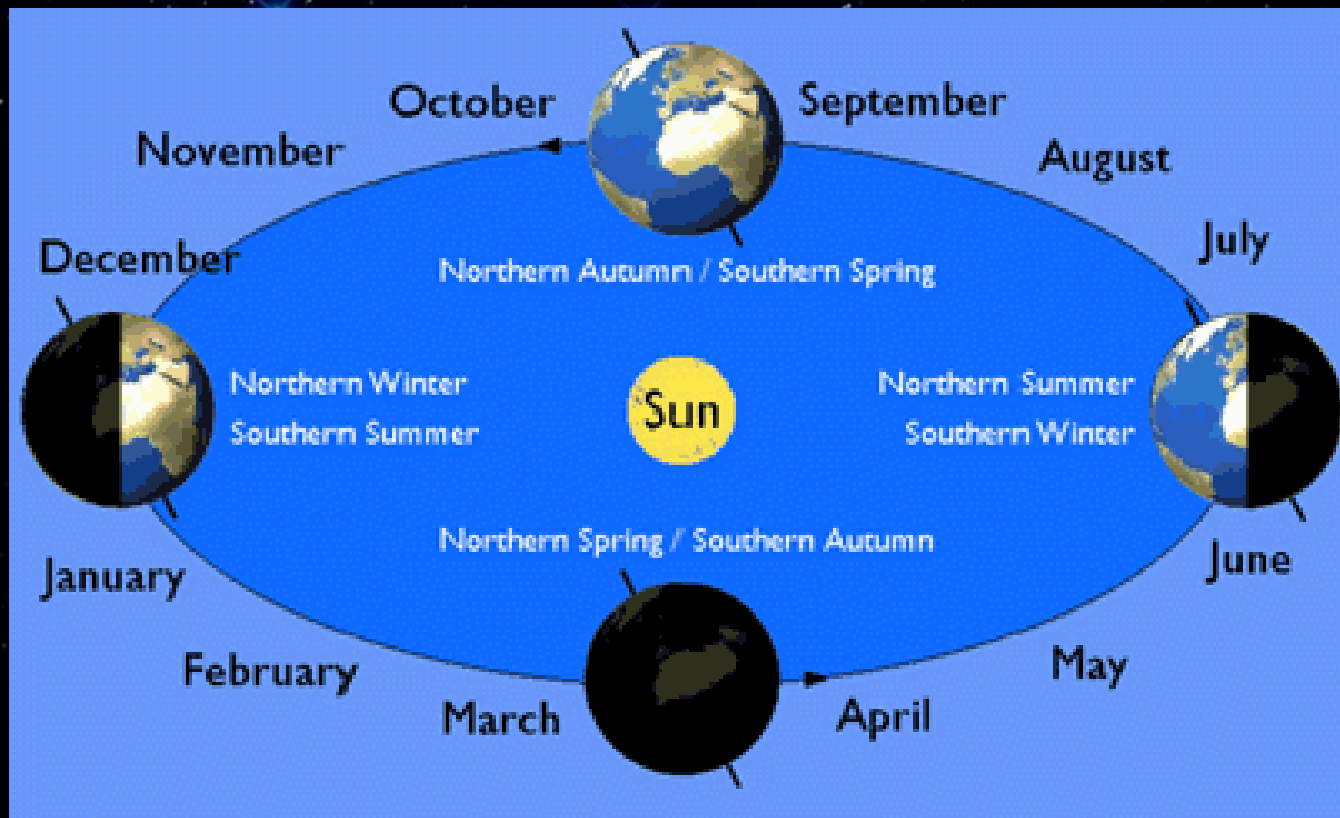


- O eixo de rotação da Terra é inclinado de $23,5^\circ$ em relação à perpendicular do plano da órbita (eclíptica)
- A iluminação dos raios solares não incide sempre da mesma forma na superfície, então a quantidade efetiva de energia recebida **do Sol varia**

http://astro.unl.edu/naap/motion1/animations/seasons_ecliptic.html

ESTAÇÕES DO ANO – O QUE ACONTECE

- Importante: A direção do eixo de rotação não muda ao longo da órbita (desconsiderando o mov. de precessão)



PONTOS NOTÁVEIS DA ÓRBITA TERRESTRE

EQUINÓCIOS: MARÇO E SETEMBRO

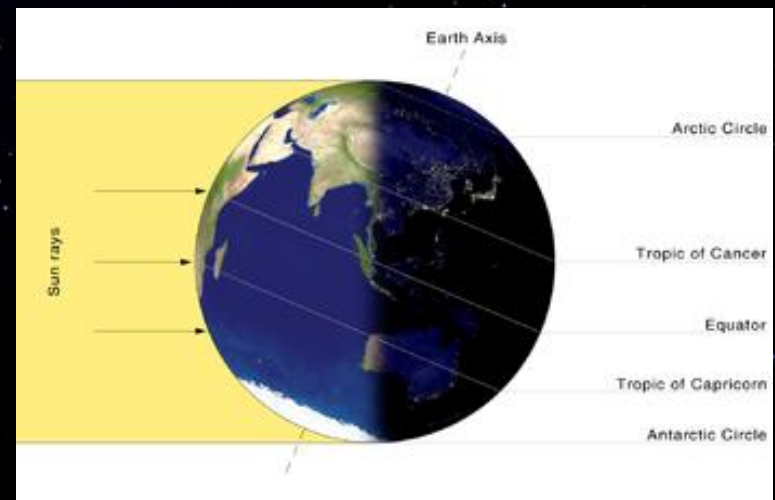
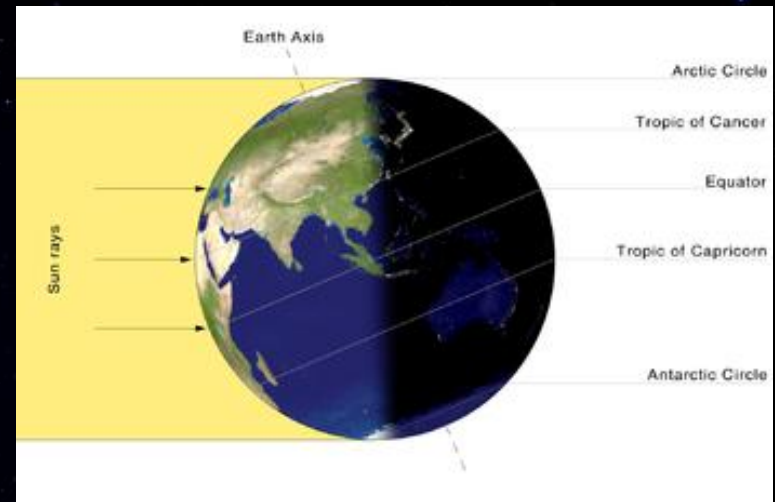
- Cruzamento dos planos do equador celeste e da eclíptica.
- Ambos os hemisférios da Terra encontram-se igualmente iluminados pelo Sol, e o dia tem a mesma duração da noite.
- Marca o começo da primavera e do outono, de maneira oposta para cada hemisfério.



PONTOS NOTÁVEIS DA ÓRBITA TERRESTRE

SOLSTÍCIOS: JUNHO E DEZEMBRO

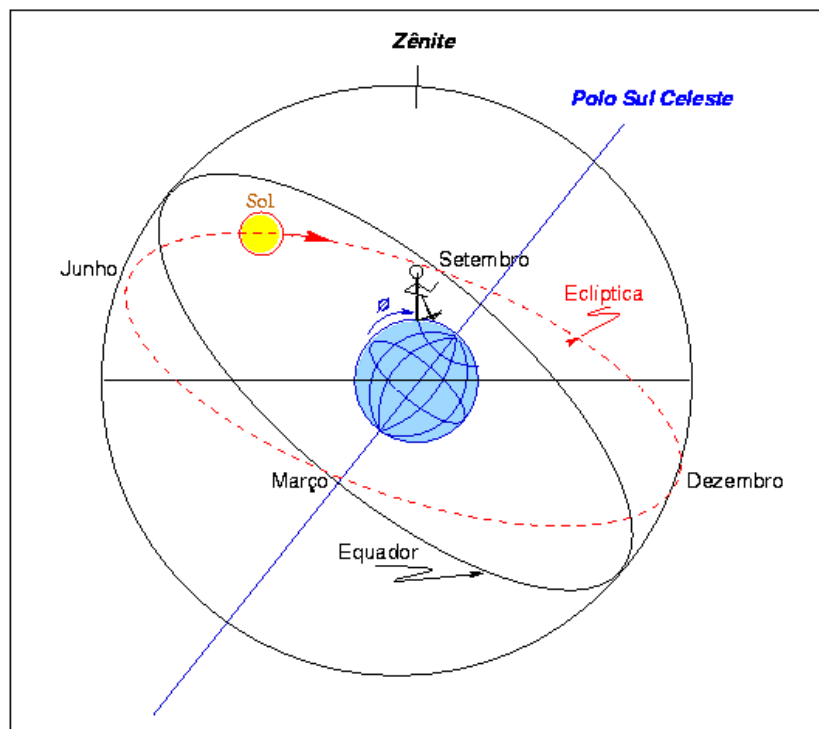
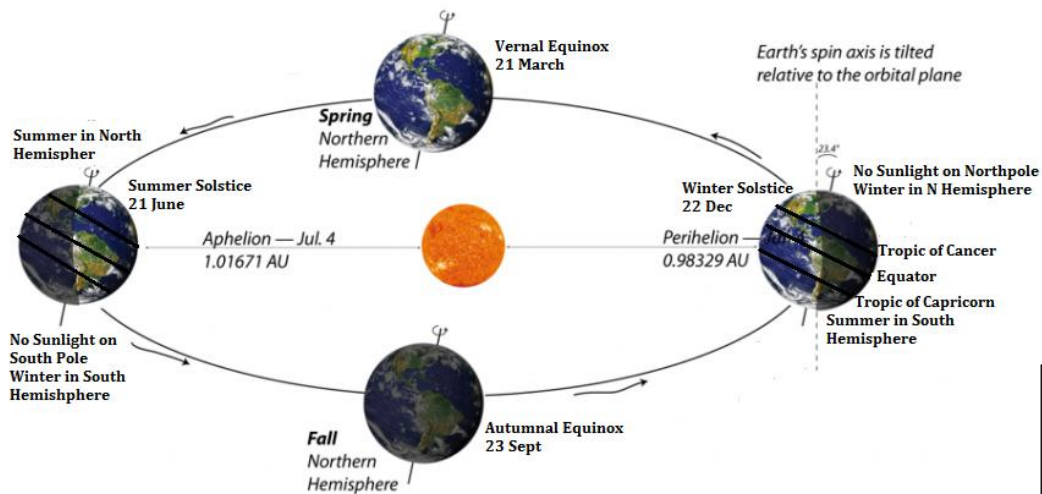
- Ponto mais distante entre o equador celeste e a eclíptica
- Enquanto em um hemisfério ocorre o de Inverno (noite mais longa), no outro ocorre o de Verão (dia mais longo).
- Marca o começo do Verão ou do Inverno



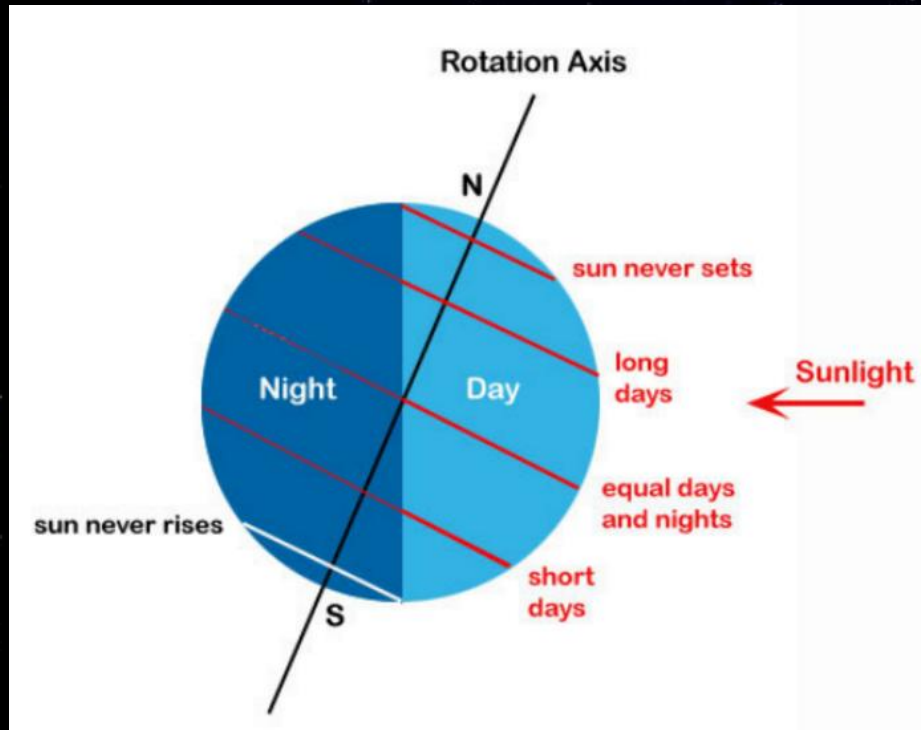
http://astro.unl.edu/naap/motion1/animations/seasons_ecliptic.html

PONTOS NOTÁVEIS DA ÓRBITA TERRESTRE

Earth's Orbit, Axial Tilt, and the Seasons



ESTAÇÕES DO ANO



- **Inverno:** dias mais curtos, noites mais longas
- **Verão:** dias mais longos, noites mais curtas
- **SOL DA MEIA-NOITE:** Regiões polares. O Sol é visível por 24 hrs (datas próximas ao solstício de verão)
- **NOITE POLAR:** Também nas regiões polares. O Sol não nasce (datas próximas ao solstício de inverno)

ESTAÇÕES DO ANO

Se não houvesse inclinação entre o plano equatorial e a eclíptica, toda a Terra teria a mesma temperatura? NÃO!

- Terra esférica: raios solares (paralelos) têm diferentes ângulos de incidência ao longo da superfície. Distribuição desigual de luz ao longo do planeta.
- No caso a temperatura de uma região não mudaria ao longo do ano, mas essas diferenças entre regiões permaneceriam!

Obs.: Também não tem a ver com a distância dessas regiões ao Sol

PRECESSÃO DOS EQUINÓCIOS

- Mudança do eixo de rotação da Terra por conta do movimento de precessão.
- A direção do plano do equador celeste também muda, logo, a intercessão entre ele e a eclíptica varia com o tempo – Precessão dos Equinócios
- Adiantamento dos equinócios
- <https://www.youtube.com/watch?v=qIVgEoZDjok>

MEDIDAS DE TEMPO

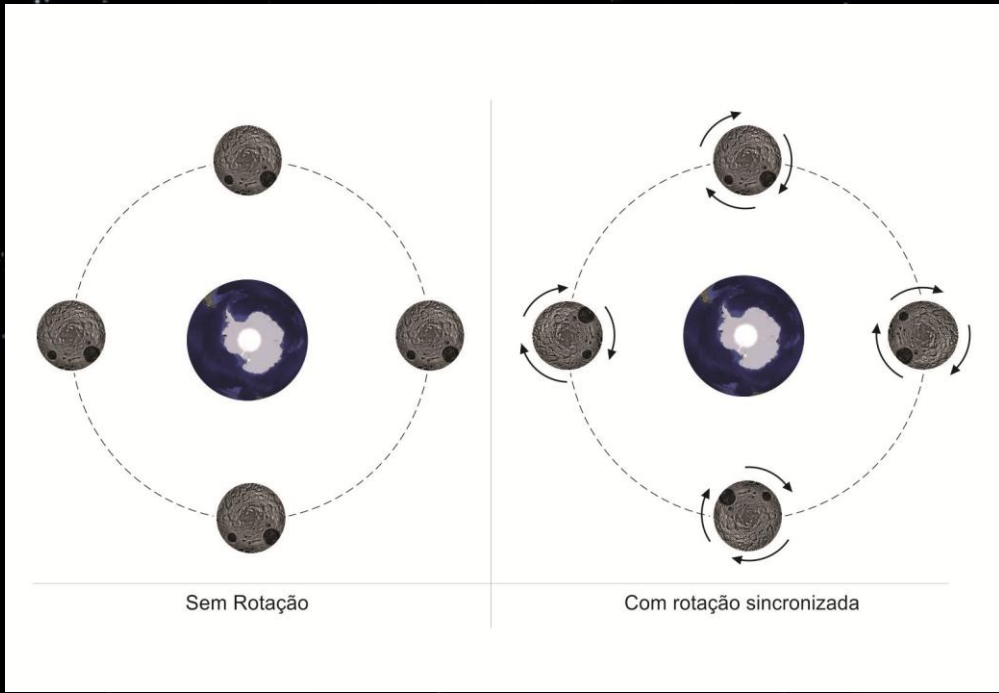
- **ANO SIDERAL:** Tempo para a Terra dar uma volta completa em torno do Sol, em relação às estrelas. 365,2564 dias solares.
- **ANO TROPICAL:** Período entre Equinócios Vernais. 365,2422 dias solares (Levemente menor que o ano sideral) – Mov. Precessão!
- **ANO BISSEXTO (366 DIAS):** a cada 4 anos, exceto anos múltiplos de 100 que não são múltiplos de 400. Para compensar o “tempo excedente” da translação da Terra.

LUA



Vemos apenas uma face da Lua!

- Único satélite natural da Terra. Não tem luz própria;
- Distância lua-terra ~ 384.400 km;
- Movimento de translação e rotação (ambos de mesmo período). Tem órbita elíptica;
- Também aparece no céu diurno (fase crescente ou minguante)



<https://www.youtube.com/watch?v=4P4R8pSvDaU>

The Moon at Perigee and Apogee



July 2005
Distance to Moon 357345km



February 2006
Distance to Moon 406237km

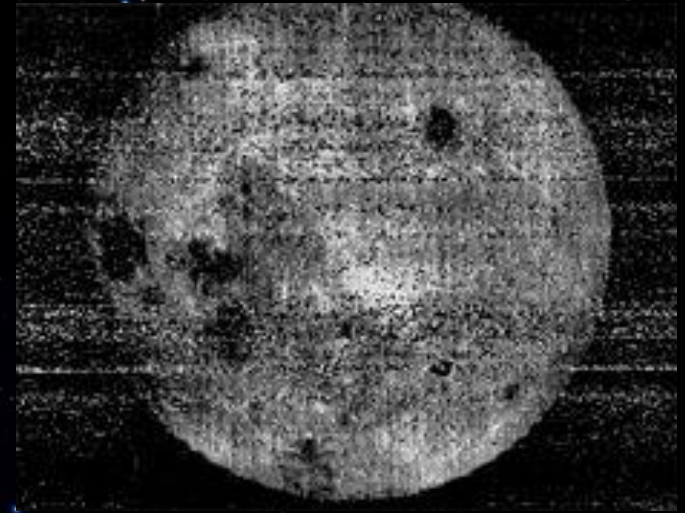


© Christopher J. Picking
www.starrynightphotos.com

MISSÕES LUNARES

AS MAIS NOTÁVEIS:

1. Luna 2 (URSS): Primeira espaçonave a chegar com sucesso à superfície lunar; set 1959
2. Luna 3 (URSS): Obteve pela 1ª vez fotos do lado oculto da Lua, out 1959
3. Apollo 8 (EUA): Primeira missão tripulada a entrar em órbita lunar; 1968
4. Apollo 11 (EUA): Homem pisa na Lua pela primeira vez (Neil Armstrong); 1969



Lado oculto por Luna 3

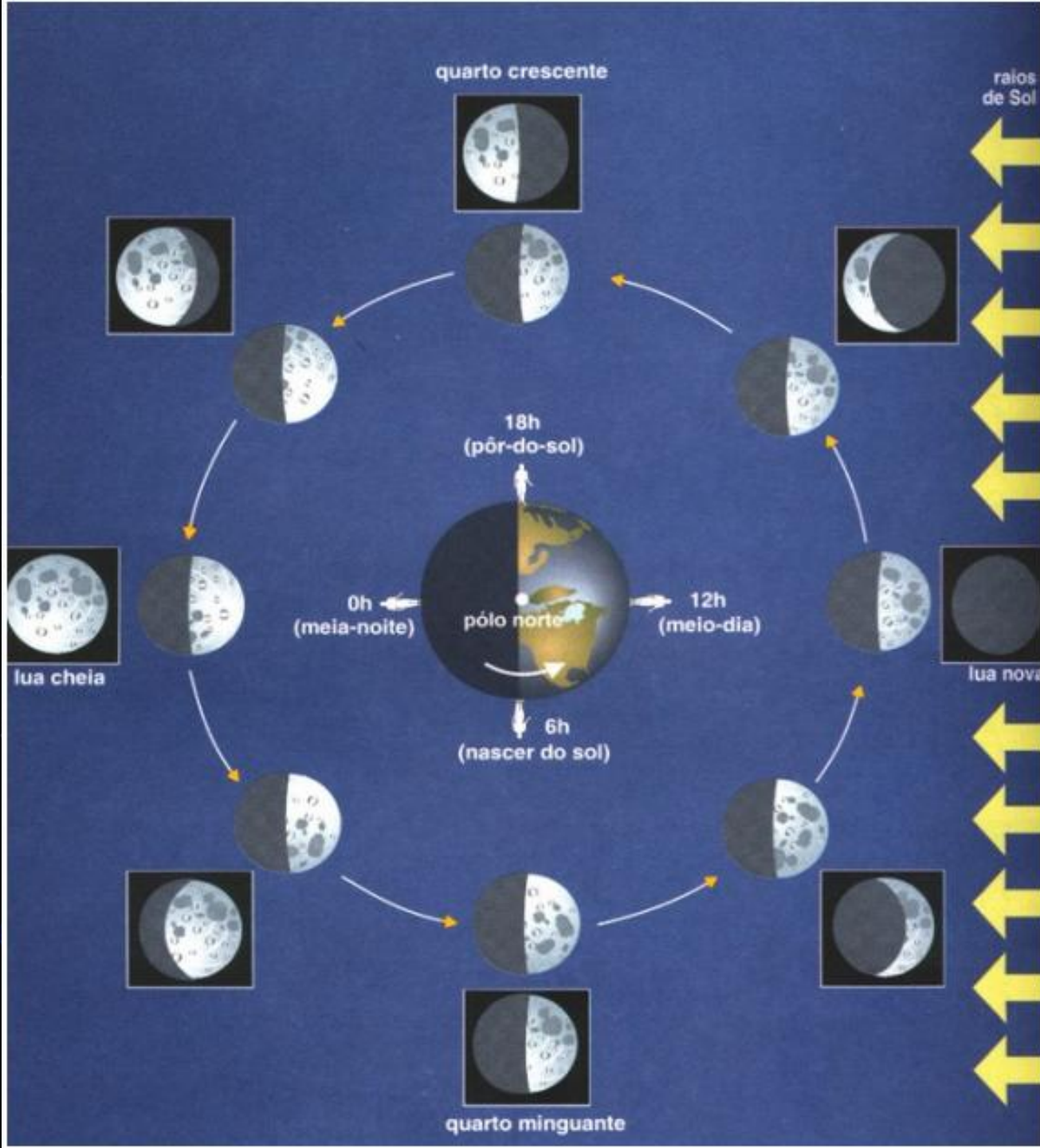


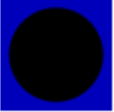
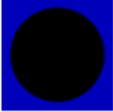




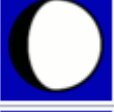
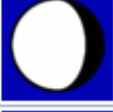








Fonte: NASA

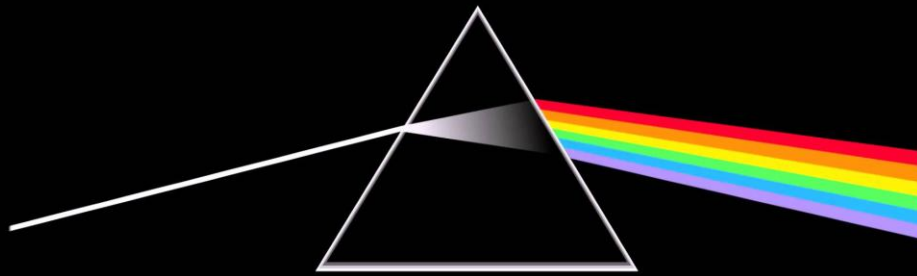
FASES DA LUA

- O aspecto (fase) da Lua varia ciclicamente, se repetindo em pouco mais de 29 dias
- Sabe-se que as fases são resultado de como observamos, da Terra, a iluminação do Sol sobre a Lua ao longo do tempo



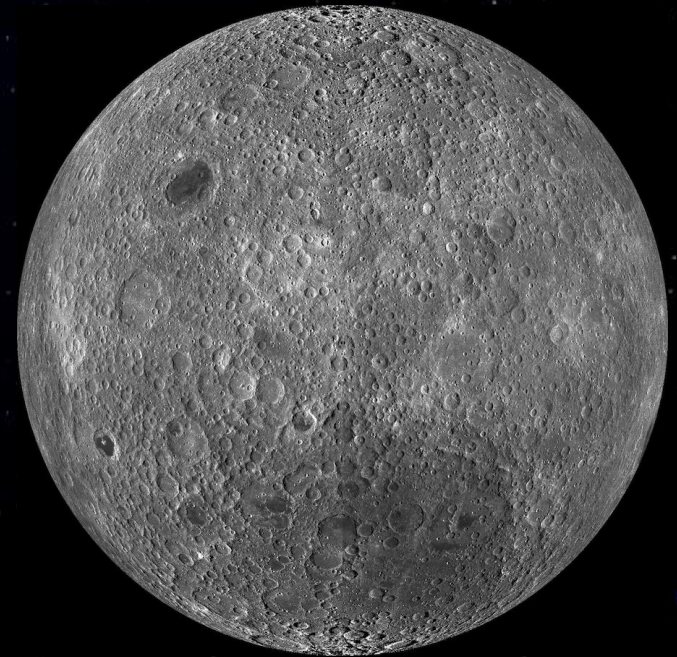


Nome	Hemisfério Norte	Hemisfério Sul	Porção visível da Lua	Período visível
Lua nova			0-2%	Não visível
<i>Lua crescente/ou crescente côncava</i>			Norte: 3-34% (<i>direita</i>) Sul: 3-34% (<i>esquerda</i>)	À tarde e pouco após o pôr-do-sol
Quarto crescente			Norte: 35-65% (<i>direita</i>) Sul: 35-65% (<i>esquerda</i>)	À tarde e na primeira metade da noite
<i>Lua crescente convexa/ ou crescente gibosa</i>			Norte: 66-96% (<i>direita</i>) Sul: 66-96% (<i>esquerda</i>)	Fim da tarde, grande parte da noite
Lua cheia			97-100%	Toda a noite
<i>Lua minguante convexa/ ou minguante gibosa</i>			Norte: 96-66% (<i>esquerda</i>) Sul: 96-66% (<i>direita</i>)	Grande parte da noite, começo da manhã
Quarto minguante			Norte: 65-35% (<i>esquerda</i>) Sul: 65-35% (<i>direita</i>)	Madrugada e de manhã
<i>Lua minguante/ ou minguante côncava</i>			Norte: 34-3% (<i>esquerda</i>) Sul: 34-3% (<i>direita</i>)	Fim da madrugada e de manhã



Lado oculto da Lua
para nós:

Não há um lado escuro
da Lua! Todos os
lados são iluminados
periodicamente.

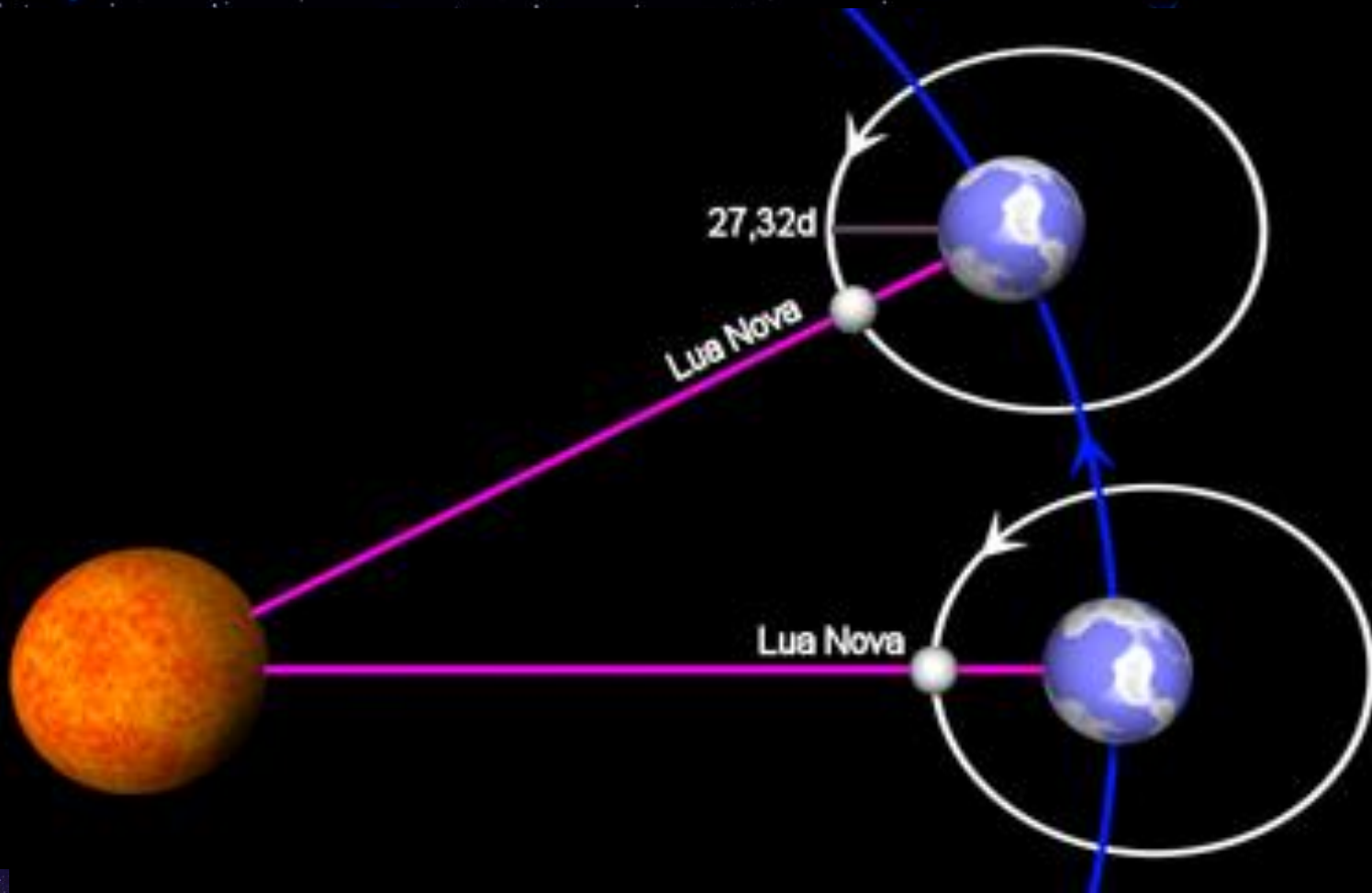


MEDIDAS DE TEMPO

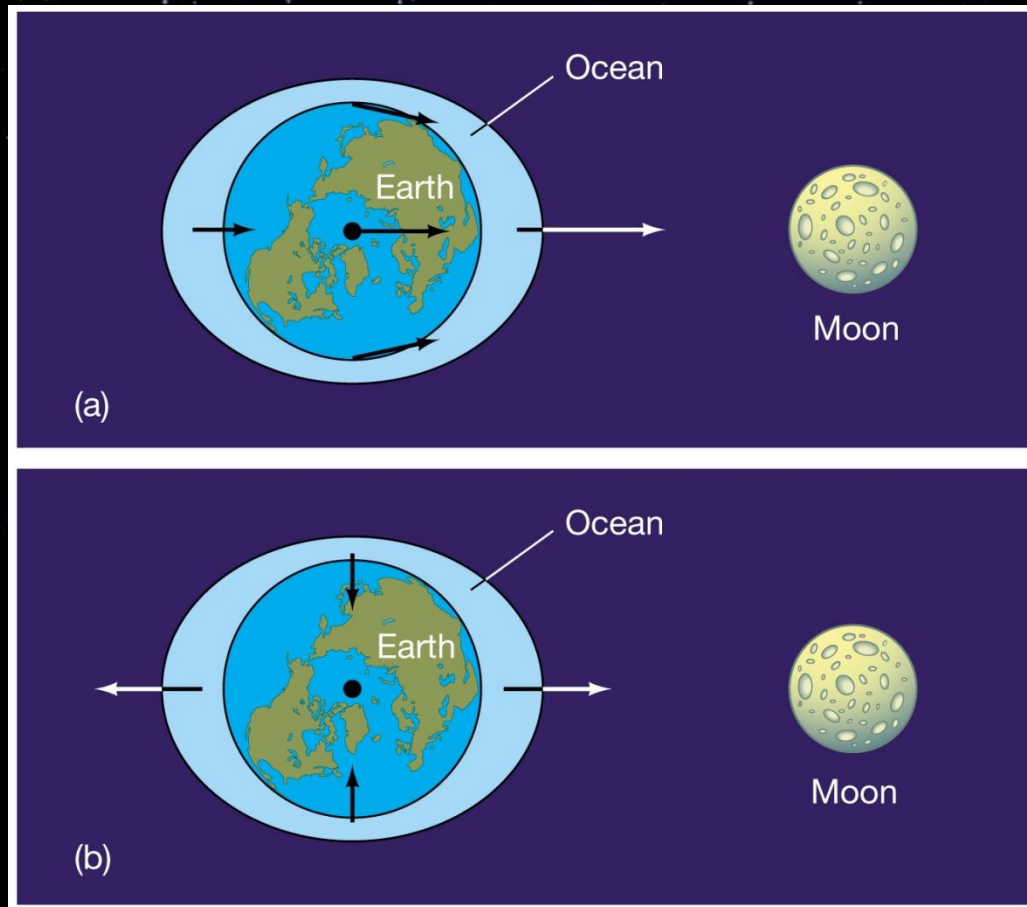
- **MÊS SIDERAL**: tempo necessário para a Lua completar uma volta em torno da Terra, em relação às estrelas. ~27,32 dias
- **MÊS SINÓDICO**: tempo entre duas fases consecutivas da Lua ~29,5 dias

São diferentes, mas por quê?

MEDIDAS DE TEMPO



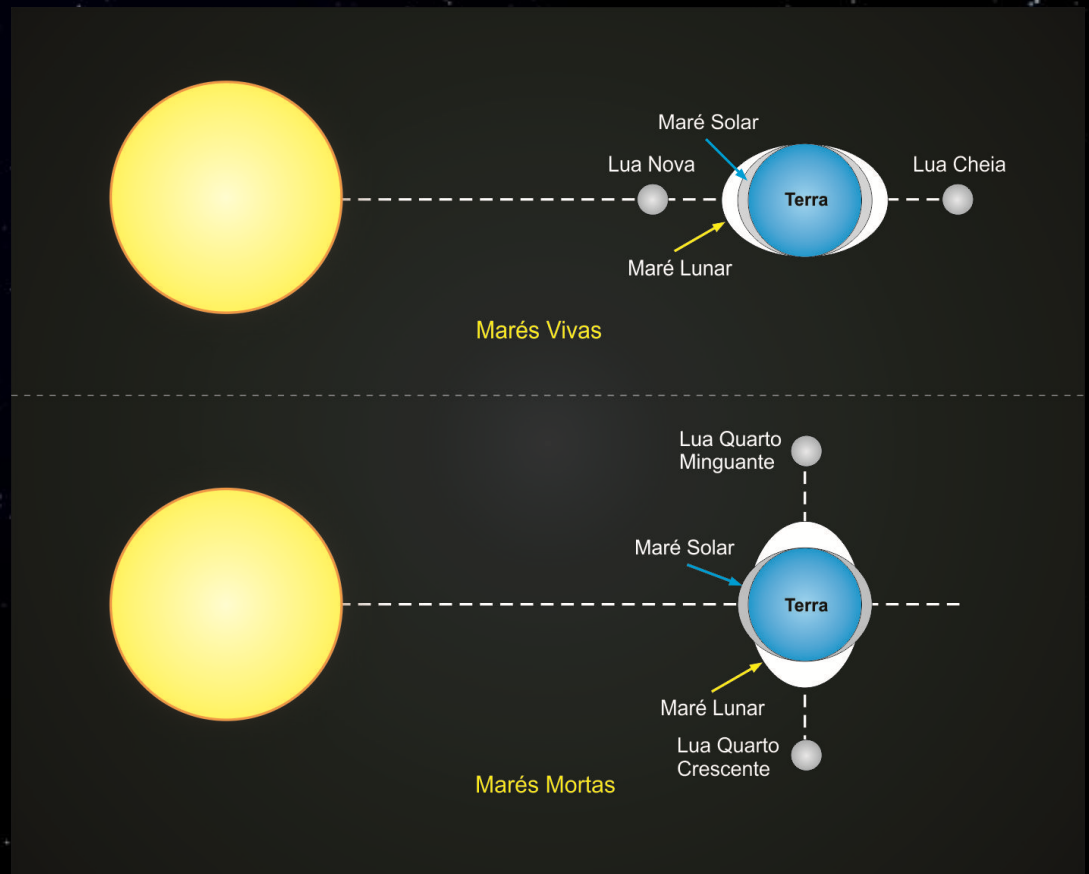
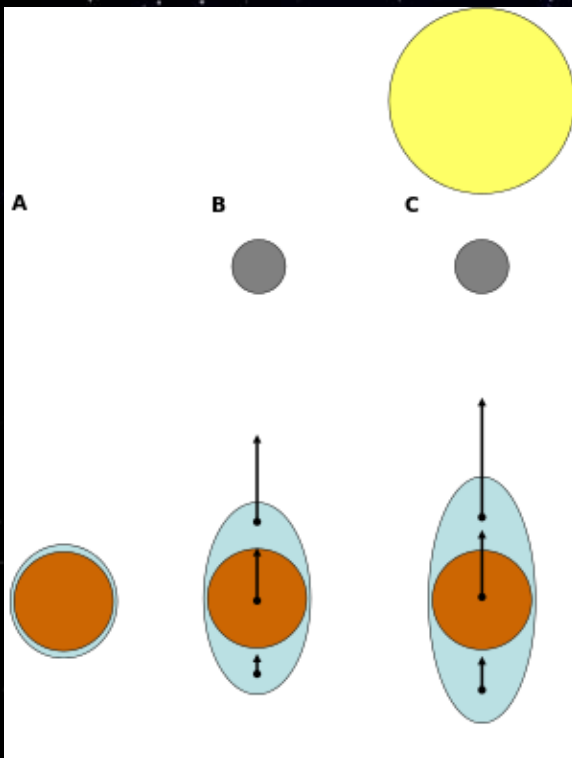
FORÇAS DE MARÉ



- A Terra: corpo extenso
- Força gravitacional depende da distância
- Forças em relação ao centro de massa da Terra
- Maior elevação dos oceanos, pela fluidez deles
- Elevação da crosta terrestre (~10cm) e da crosta Lunar (~20m) em maré alta

FORÇAS DE MARÉ

- Não só a Lua provoca forças de maré, mas o Sol também (metade da intensidade)



ACOPLAMENTO DE MARÉ

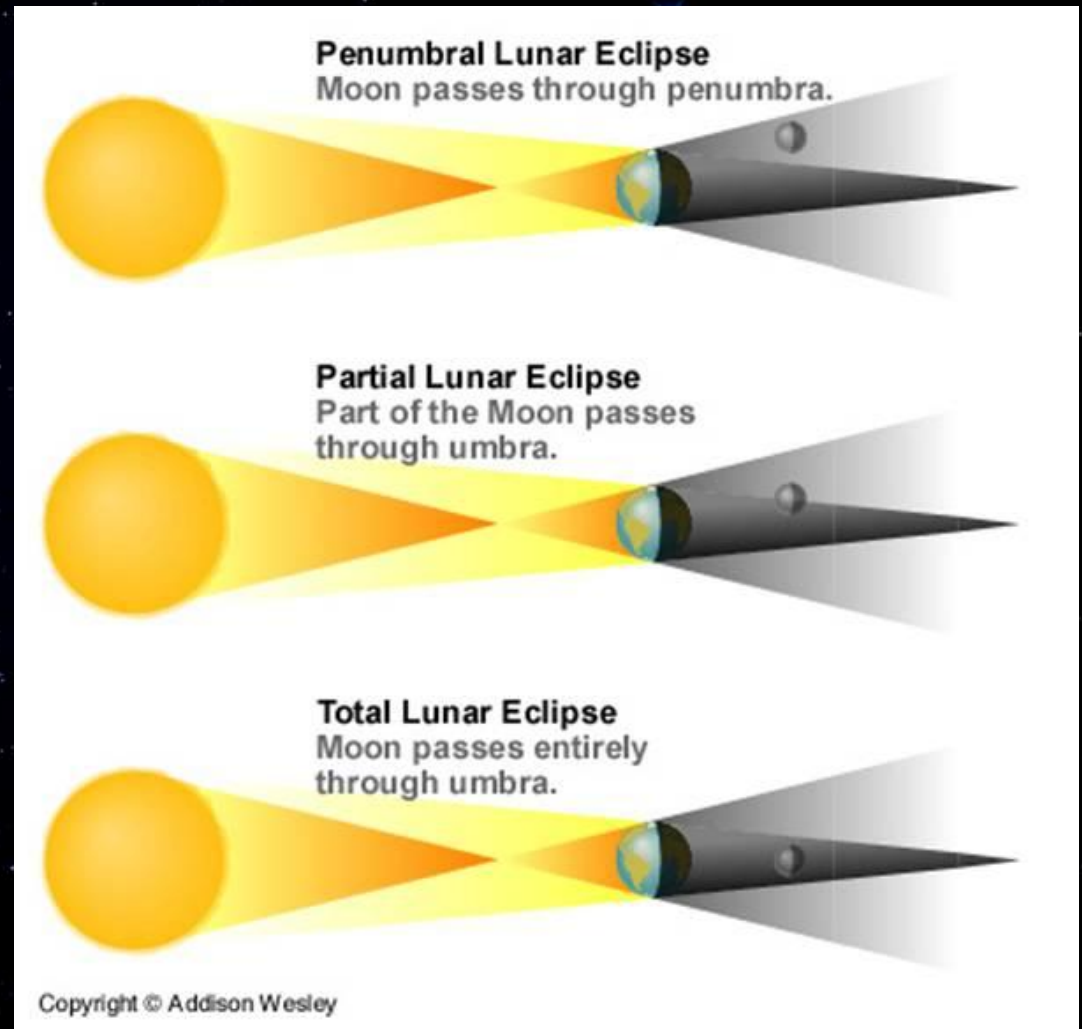
- As marés não surgem e nem se desfazem instantaneamente, então vão rotacionando junto com a Terra
- A força gravitacional da Lua sobre elas é mais expressiva, o que provoca um freamento da rotação terrestre
- A duração de um dia aumenta por 0.0016 s cada século
- Isso acontece de maneira igual com a Lua.
- A energia do Sistema não pode ser perdida! Para compensar isso, a Lua se afasta da Terra! (3-4 cm por ano). O mês também aumenta (menos do que o dia).

ACOPLAMENTO DE MARÉ

- O fenômeno deveria ocorrer até que a Terra e a Lua ficassem “travadas gravitacionalmente”, ou sincronizadas, com o mesmo lado de uma apontando para o mesmo lado da outra. ~50 bilhões de anos → nesse tempo o Sol (gigante vermelha) já terá nos engolido ~5 bilhões de anos
- Esse fenômeno é uma tendência em sistemas binários compostos por um objeto bem mais massivo que o outro. → Plutão e Caronte
- No início do Sistema Terra-Lua a rotação e translação lunares não tinham o mesmo período. O dia na Terra também durava 12 horas.

ECLIPSE LUNAR

- Terra entre o Sol e a Lua
- Só acontece em Lua Cheia
- Observado por metade da Terra

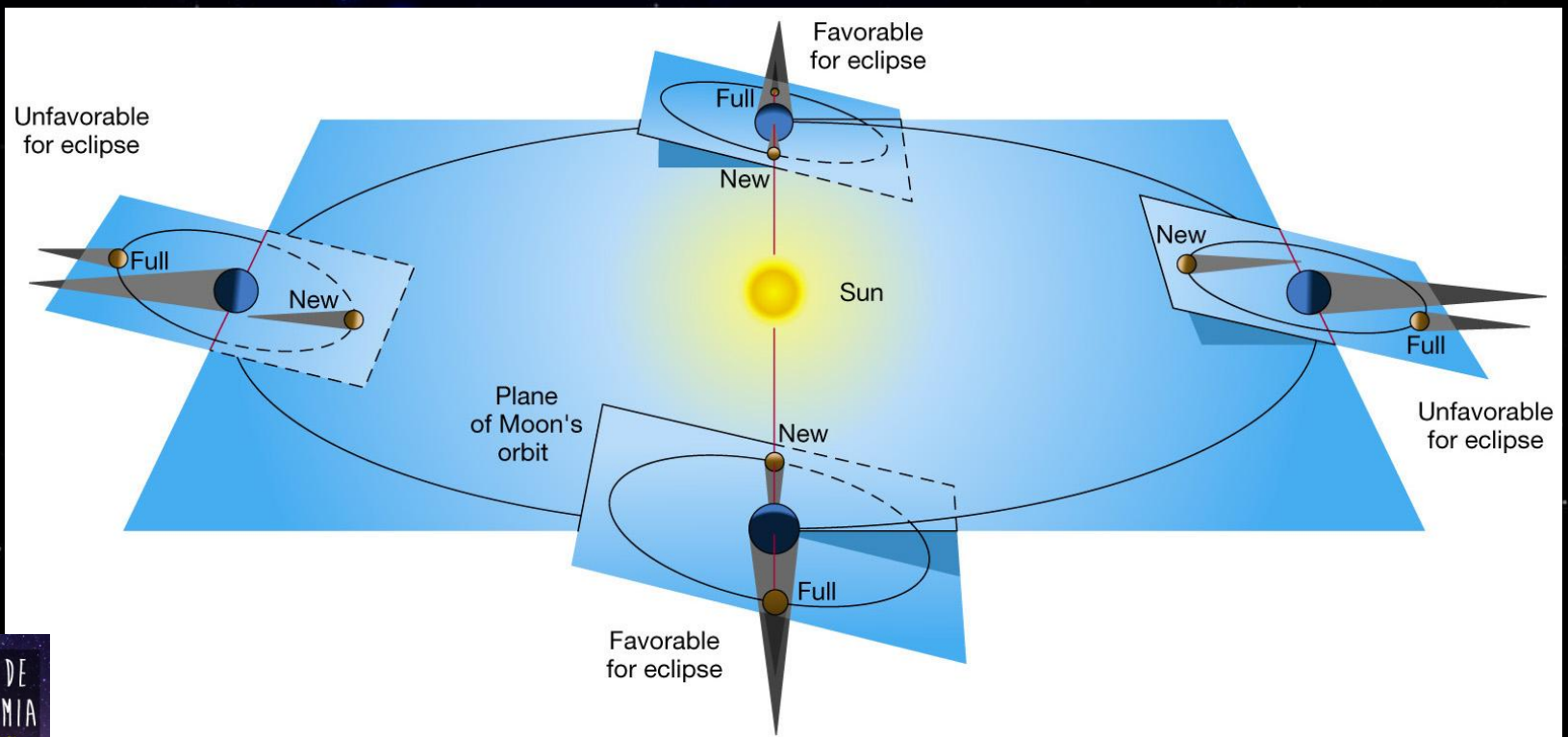


ECLIPSE LUNAR

POR QUE NÃO ACONTECE TODO MÊS?

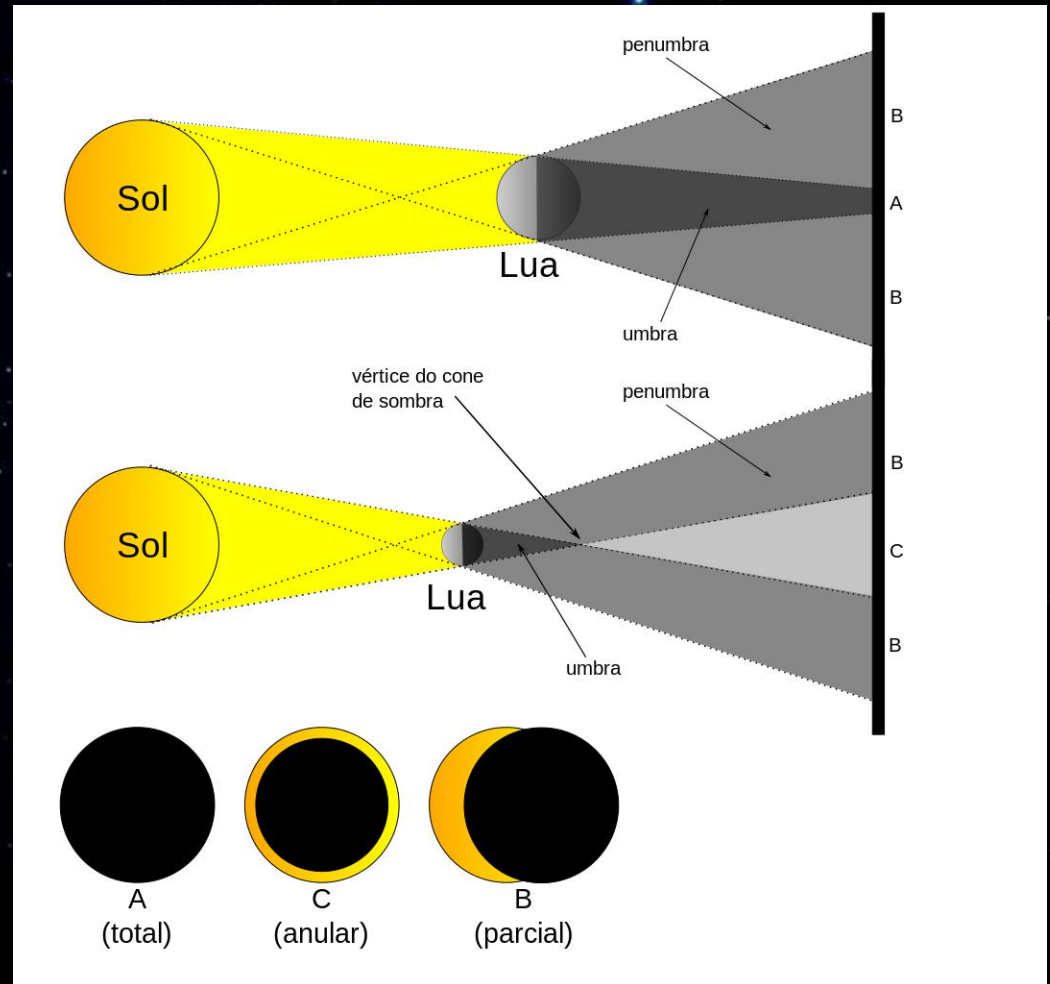
O plano orbital da Lua é inclinado em relação à eclíptica!

Eclíptica: “plano dos eclipses”



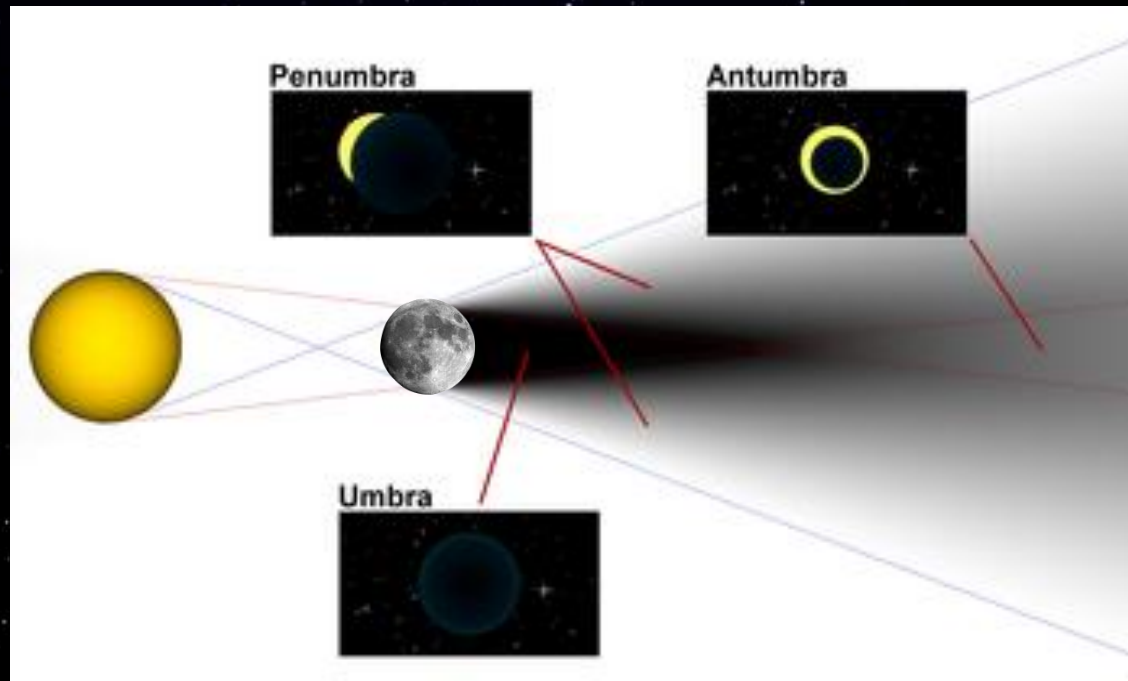
ECLIPSE SOLAR

- Lua entre a Terra e Sol. Só acontece em Lua Nova
- O diâmetro angular do Sol é praticamente igual ao da Lua!
- Não acontece mensalmente pelo mesmo motivo do eclipse lunar



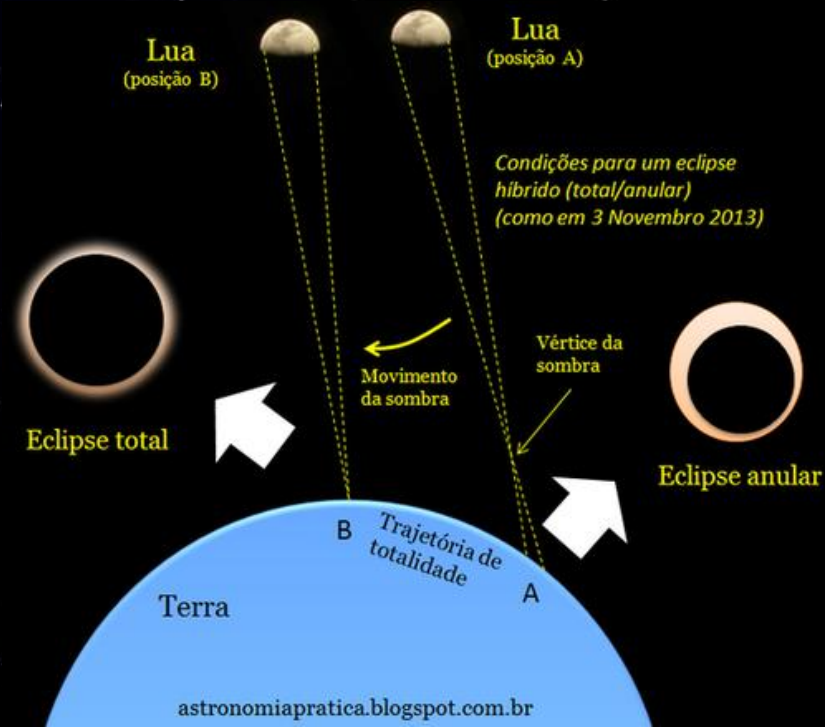
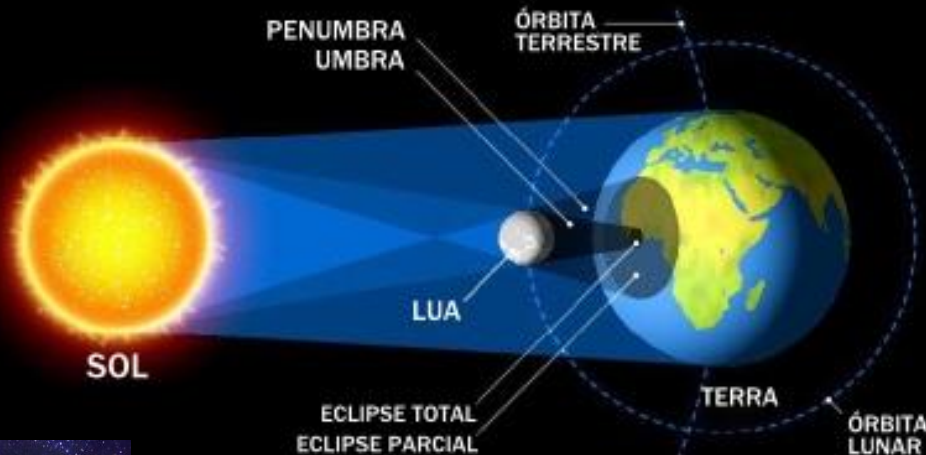
ECLIPSE SOLAR

- ECLIPSE PARCIAL: Observador na penumbra
- ECLIPSE TOTAL (umbra): Lua no (ou perto do) perigeu
- ECLIPSE ANULAR (antumbra): Lua no (ou perto do) apogeu



ECLIPSE SOLAR

- Mais raro observar um eclipse solar de uma mesma região
- Com o afastamento da Lua, no futuro não teremos mais eclipses solares totais (mas apenas anulares)
- Eclipse híbrido: total por parte de sua duração e anular pela outra (a Lua está a uma dada distância entre o apogeu e o perigeu)

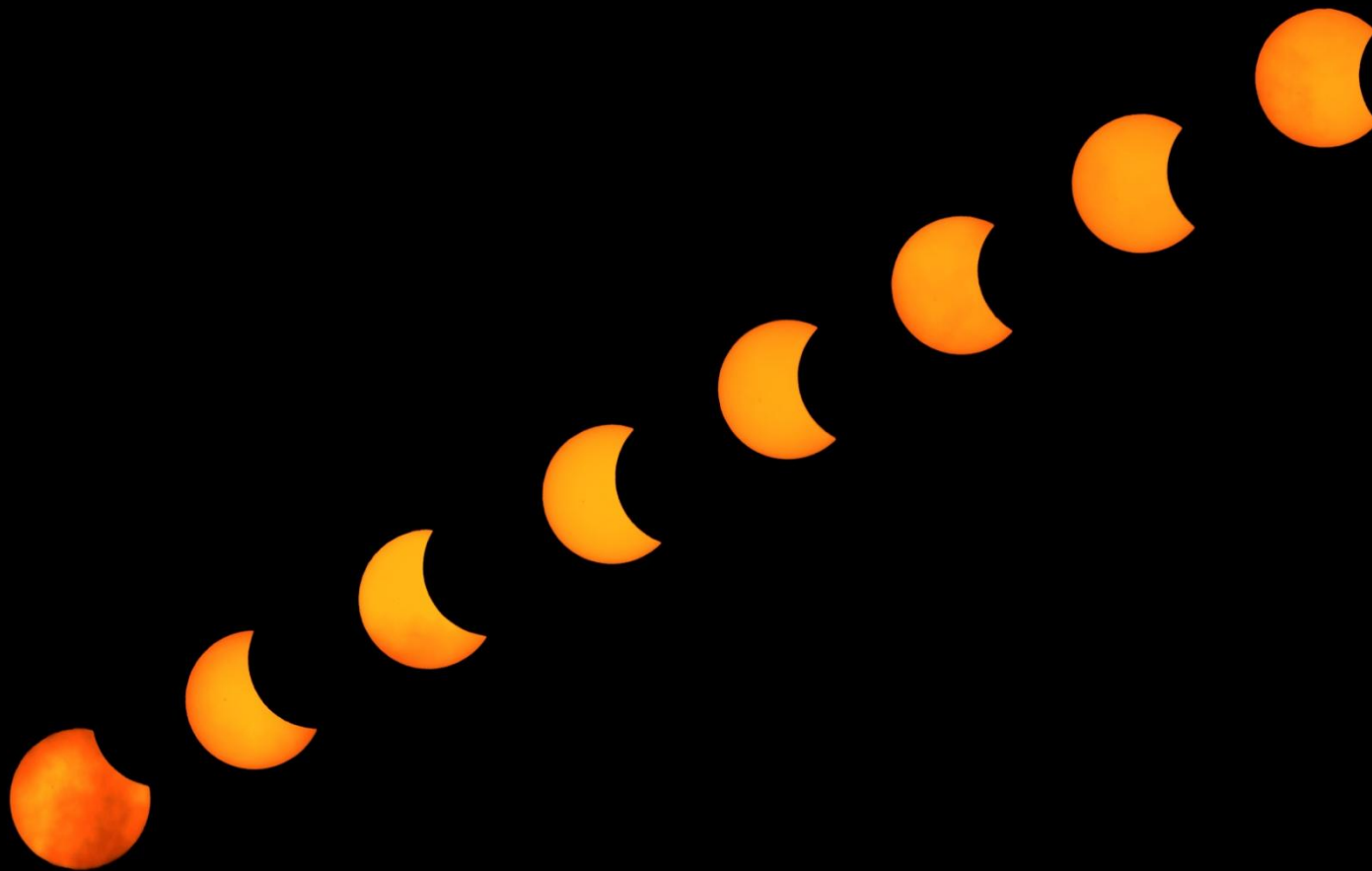


ECLIPSES

- Interseção dos planos da Lua e da Eclíptica + Lua nova/cheia
- Interseção: Linha dos nodos → coincide com a linha Terra-Sol
- Períodos de 1 a 2 meses → dois ou três eclipses (lunares/solares) por ano
- Saros: Período de 18 anos, 11 dias e 8 horas. Previsão de eclipses quase idênticos



Eclipse Solar parcial visto de SP em 26/02/2017



Eclipse Lunar total visto de SP em 28/09/2015



BEATRIZ YORDAKY

Obs.: Nuvens impediram a captura de todo o evento! ☹️

REFERÊNCIAS

- J.E.Horváth. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica**
- Bradley W. Carroll, Dale A. Ostlie. **An Introduction to Modern Astrophysics**
- Astronomia e Astrofísica UFRGS <http://astro.if.ufrgs.br>
- NASA <https://www.nasa.gov/>
- Missões Lunares:
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_missions_to_the_Moon
- Aula Prof. Dr. Pieter Westera
<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/AstroAula04.pdf>
- A Terra Ficará Travada Gravitacionalmente Com a Lua?
<https://www.youtube.com/watch?v=RbV3WaAjed8>

LINKS E DICAS

- Astronomy pic of the day <https://apod.nasa.gov/apod/>
- The scale of the Universe
<https://www.youtube.com/watch?v=nxs5wye0JXs>
- Céu da Semana <https://www.youtube.com/watch?v=-XBvgBPiH0&list=PL8C28045FAE408575&index=1>
- Ebook grátis “O Céu que nos envolve”
<http://www.astro.iag.usp.br/OCeuQueNosEnvolve.pdf>
- Ebook grátis “Introdução à Astronomia e Astrofísica”, INPE
http://staff.on.br/maia/Intr_Astron_eAstrof_Curso_do_INPE.pdf

LINKS E DICAS

- Ebook grátis “À luz das estrelas”, Lilia Irmeli Arany-Prado
<http://ciencianautas.com/wp-content/uploads/2017/01/%C3%80-luz-das-estrelas.pdf>
- Software Stellarium (de graça): <http://www.stellarium.org/pt/>
- Planetário Carmo (sessões na cúpula, cursos, palestras, observações) <https://pt-br.facebook.com/planetariodocarmooficial/>
- Planetário Parque Ibirapuera/EMA (sessões na cúpula, cursos, palestras, observações)
<https://www.facebook.com/escoladeastrofisicaoficial/>

CLUBE DE ASTRONOMIA ARCTURUS - UFABC

- Página no Facebook: <https://pt-br.facebook.com/arcturus.acaabc/>
- I Workshop de Astronomia. Inscrições através do site: <https://workshoparcturus.wordpress.com>



PRÓXIMAS DATAS

- **15/04:** [feriado] – não haverá aula
- **22/04:** [feriado] – não haverá aula
- **29/04:** Sistema Solar – Planetas Internos (Thays, Michelle)

MUITO OBRIGADA!

Você encontra essa aula em:

- <https://astronomiaufabc.wordpress.com/slides-das-aulas-2017/>

Dúvidas:

- beatriz.yordaky@outlook.com
- <https://www.facebook.com/Ensino-de-Astronomia-na-UFABC-387315644700222/>