

**Universidade de São Paulo  
Instituto de Física de São Carlos - IFSC**

**FCM 0410 Física para Engenharia Ambiental**

## ***Gravitação***

**Prof. Dr. José Pedro Donoso**

## **Agradescimentos**

**O docente da disciplina, Jose Pedro Donoso, gostaria de expressar o seu agradecimento a Flávia O. S. de Sá Lisboa pelo auxílio na montagem da página /web/ da disciplina.**

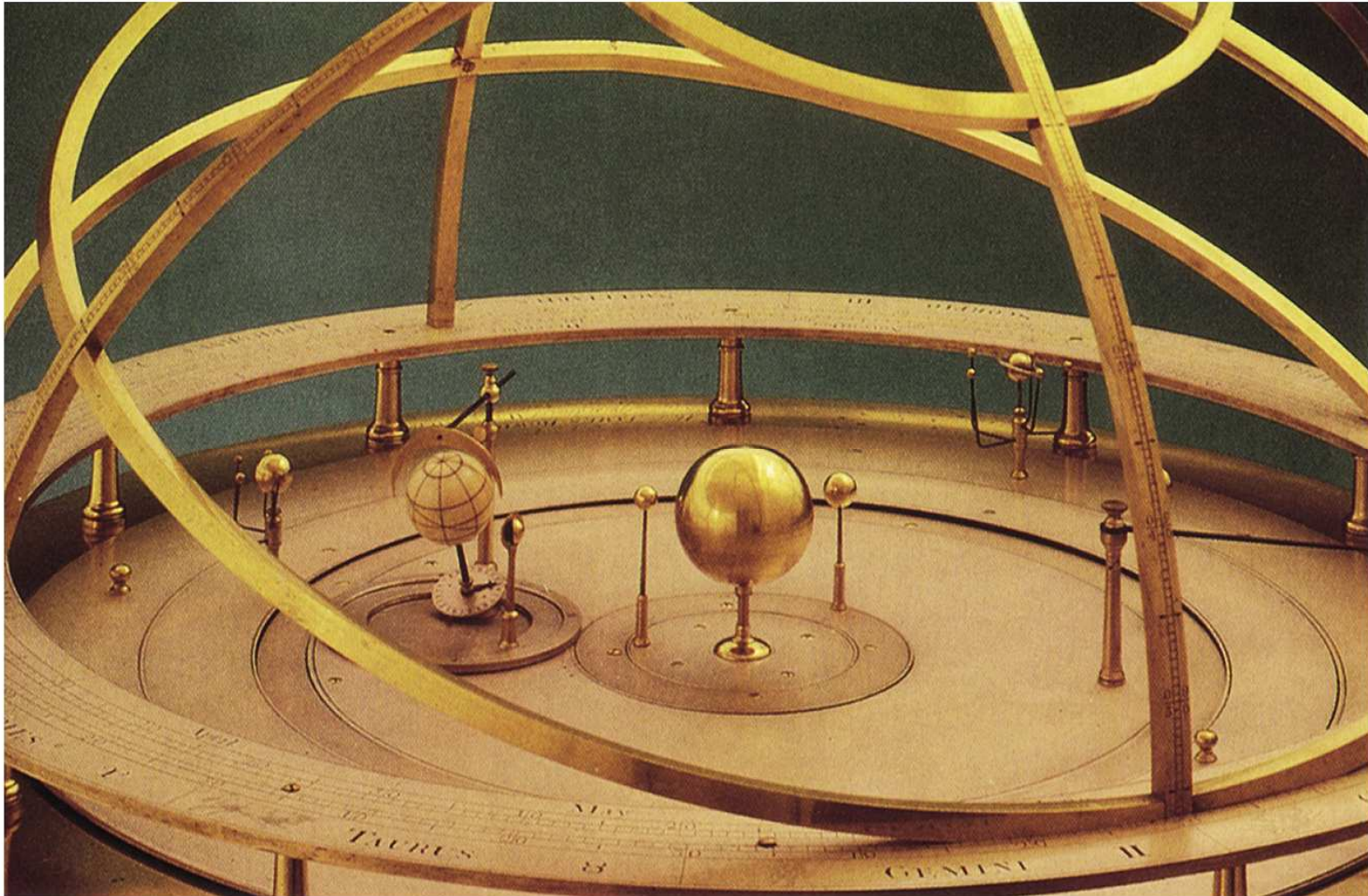
**Parte das figuras utilizadas nos slides foram obtidas dos textos "*Física*" de P.A. Tipler e G. Mosca e "Fundamentos de Física" de Halliday, Resnick e Walker, facilitadas aos professores pela editora LTC (Livros Técnicos e Científicos).**



Galáxia de Andrômeda,  
a  $2.3 \times 10^6$  anos luz da Terra.  
Ref: Halliday, Resnick, Walker,  
*Fundamentos de Física*

**Modelo mecânico do sistema solar (*planetário*)**

**Universidade de Harvard (EUA)**

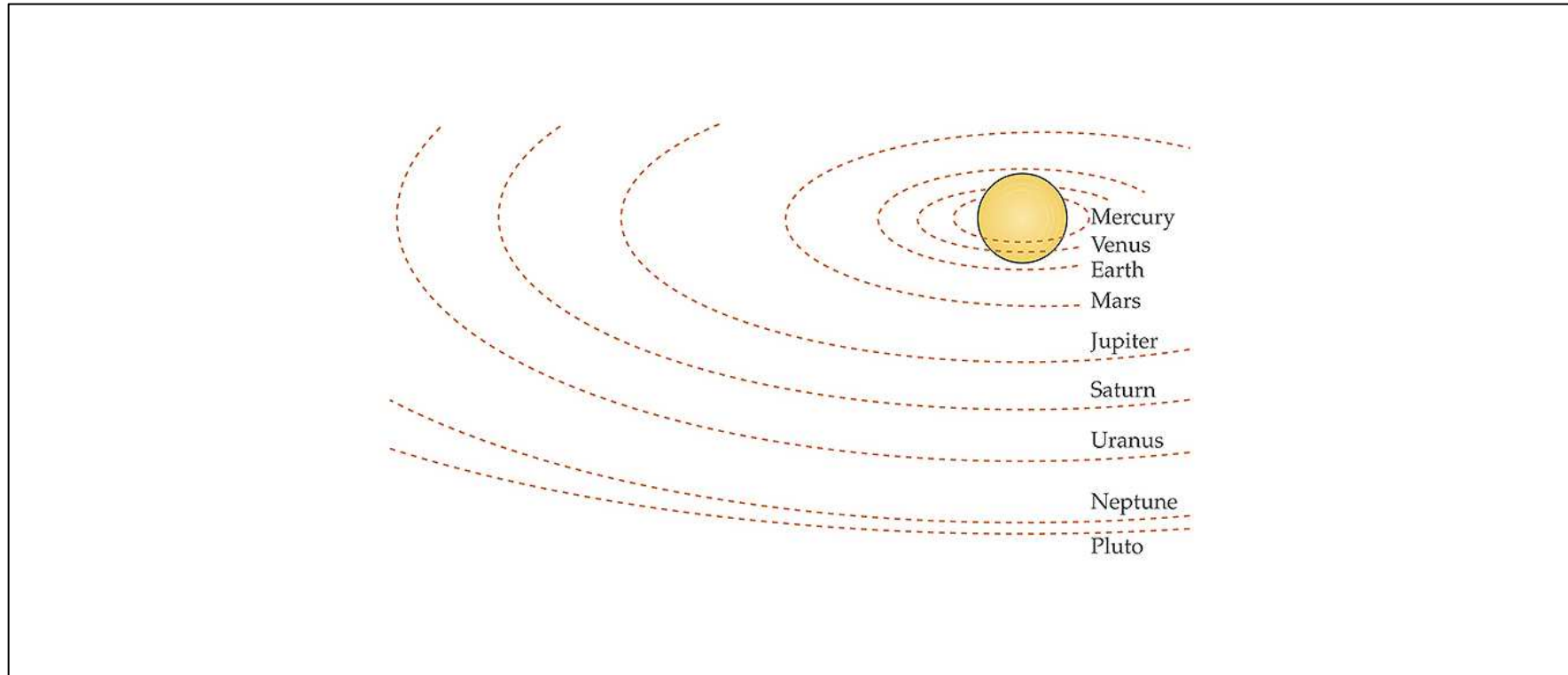


©2008 by W.H. Freeman and Company

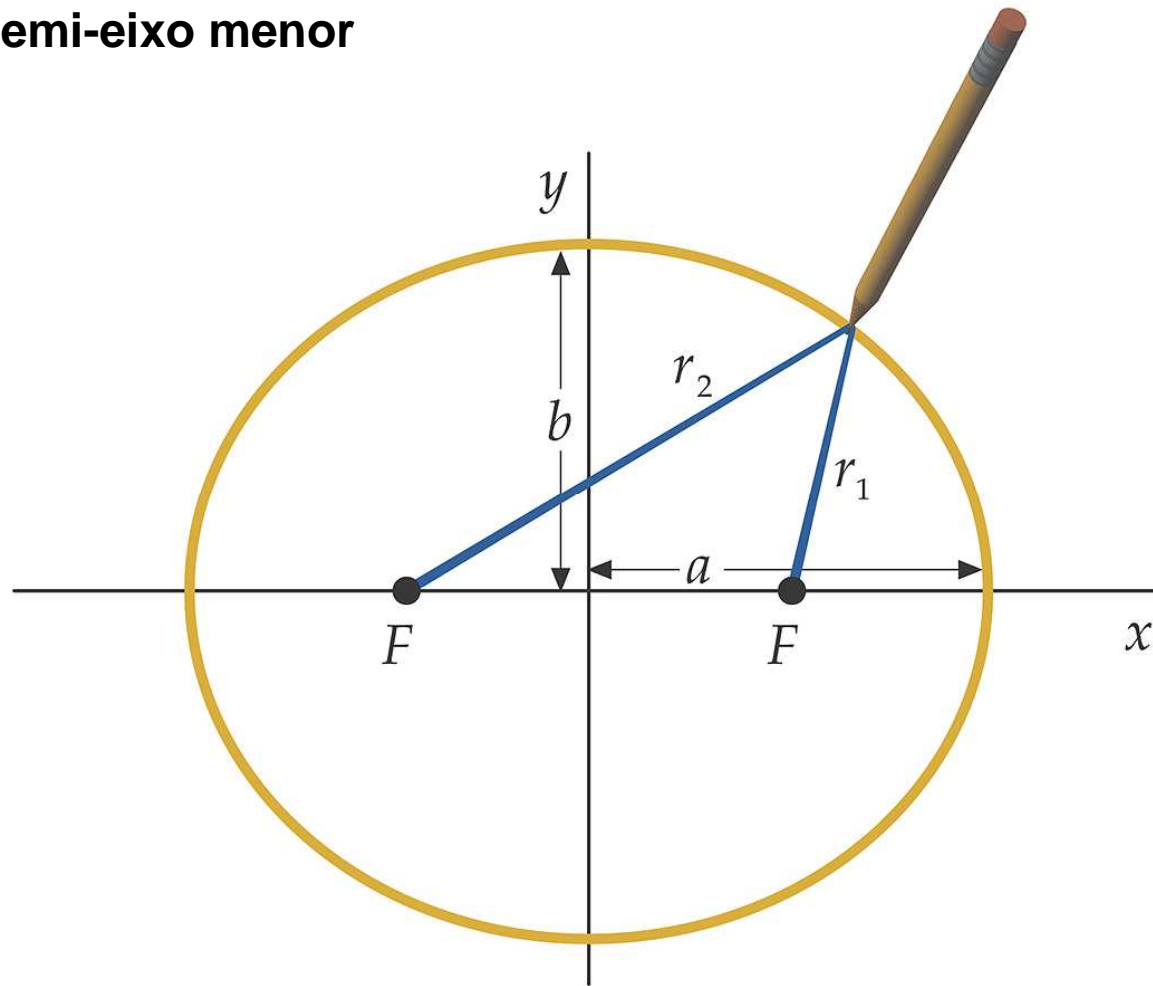
**Table 11-1****Mean Orbital Radii and Orbital Periods for the Planets**

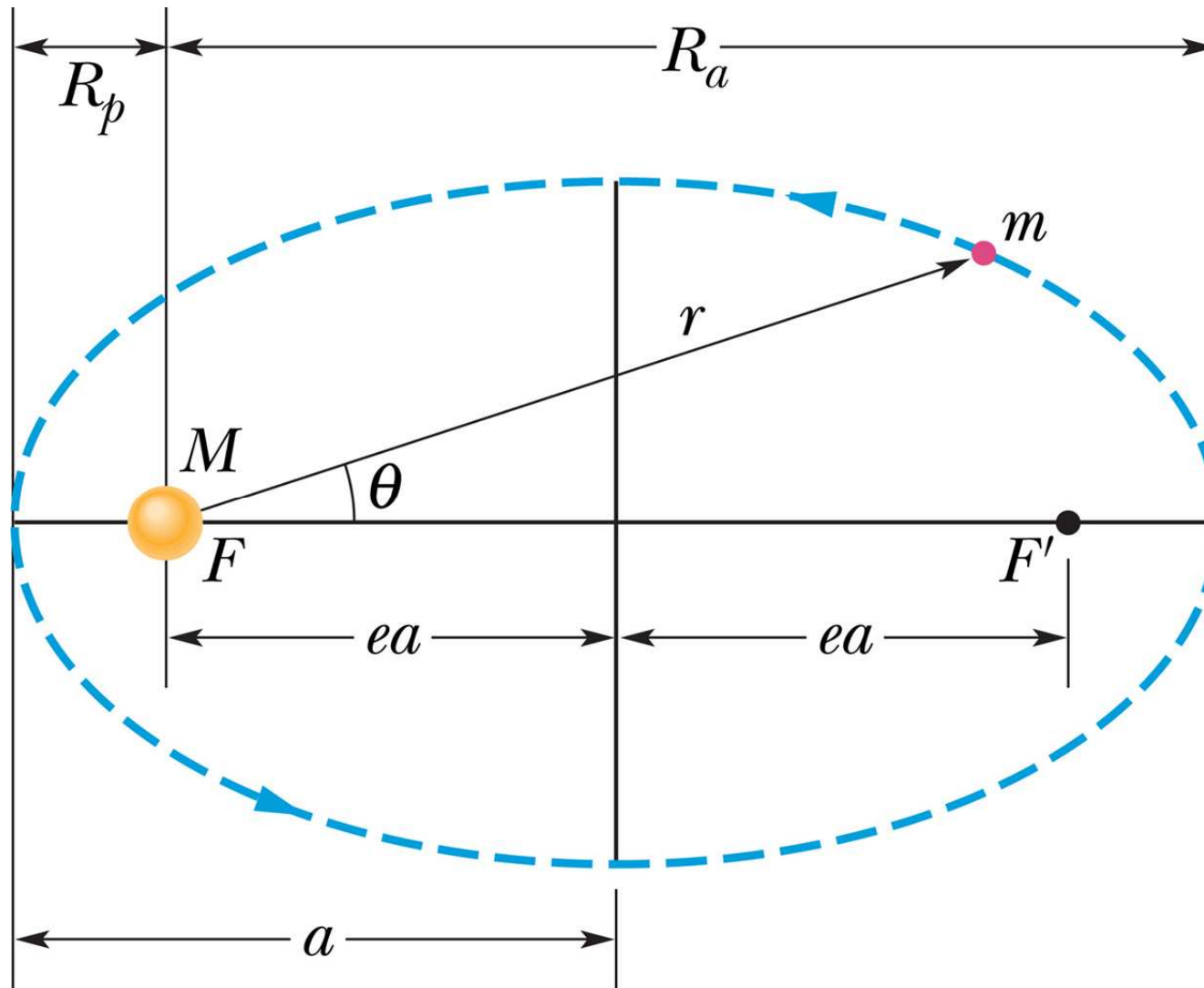
Planet	Mean Radius $r$ ( $\times 10^{10}$ m)	Period $T$ (y)
Mercury	5.79	0.241
Venus	10.8	0.615
Earth	15.0	1.00
Mars	22.8	1.88
Jupiter	77.8	11.9
Saturn	143	29.5
Uranus	287	84
Neptune	450	165
Pluto	590	248

## Orbitas dos planetas em torno do Sol (as dimensões não estão em escala)



**Elipse:**  $r_1 + r_2 = \text{constante}$   
 $F$  : foco  
 $a$  : semi-eixo maior  
 $b$  : semi-eixo menor

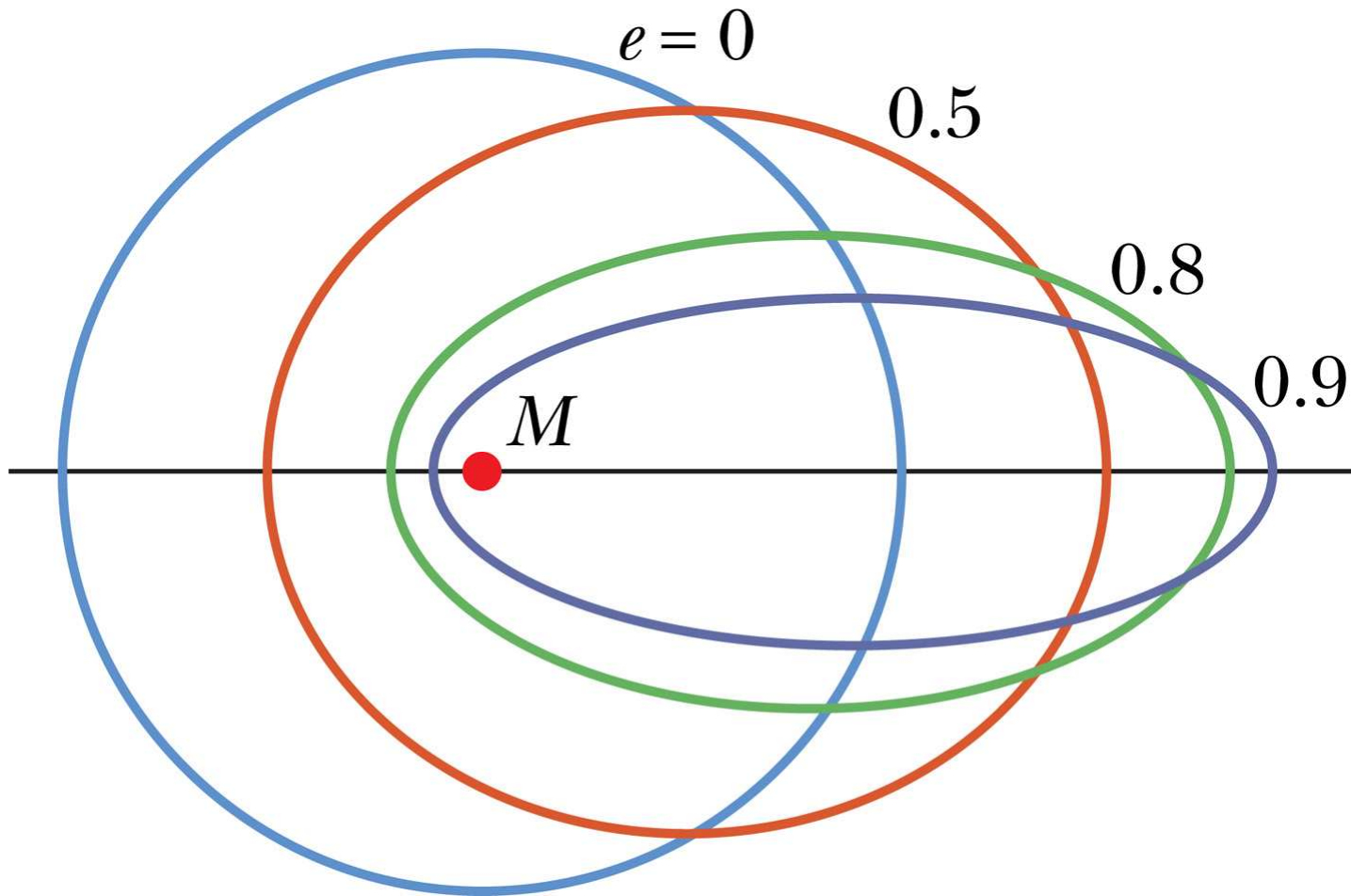




Um planeta em órbita elíptica em torno do Sol, ocupa um foco  $F$  da elipse. Os dois focos ficam a uma distância  $ea$  do centro da elipse, onde  $e$  é a excentricidade

Ref: Halliday, Resnick, Walker, *Fundamentos de Física*



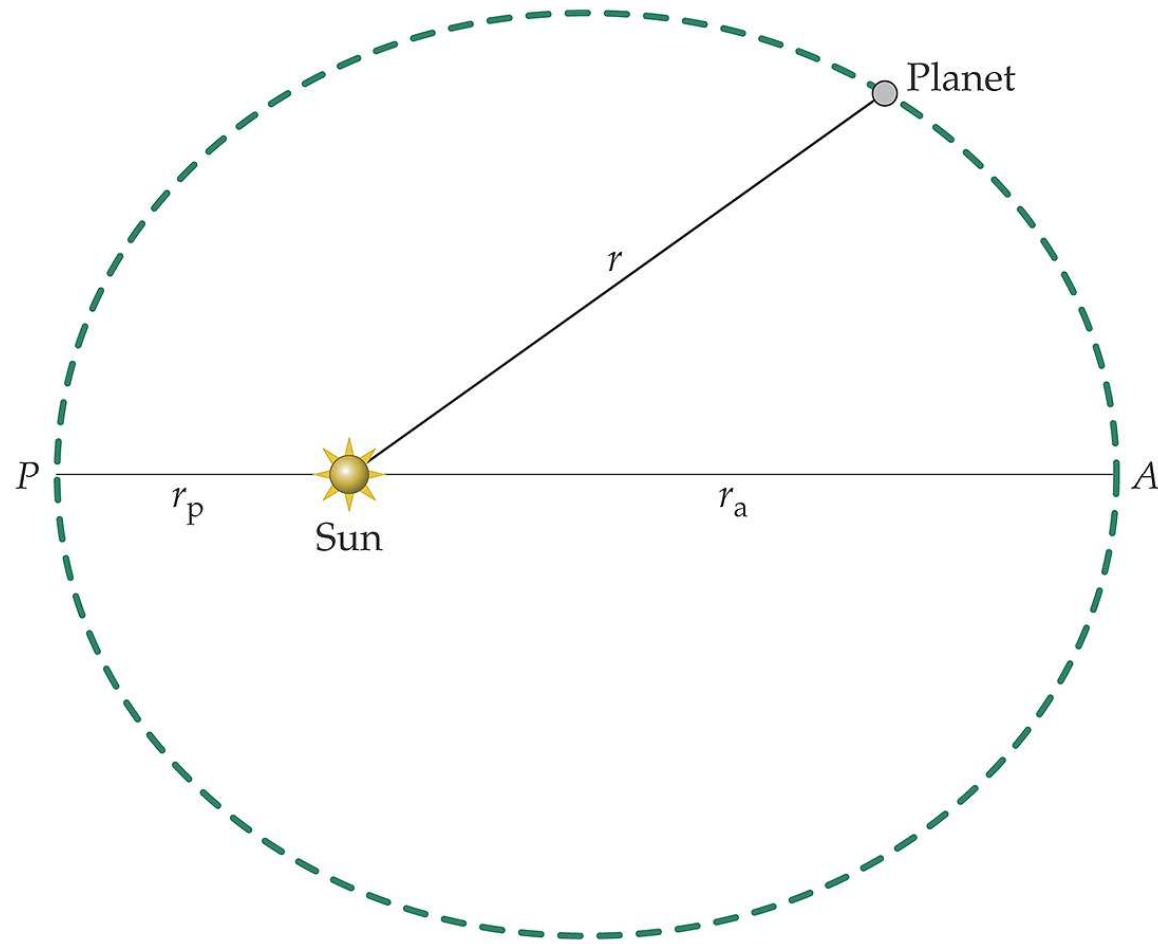


Orbitas com diferentes excentricidades em torno de um corpo de massa  $M$ . As quatro órbitas têm o mesmo semi-eixo maior  $a$  e, portanto, a mesma energia mecânica.

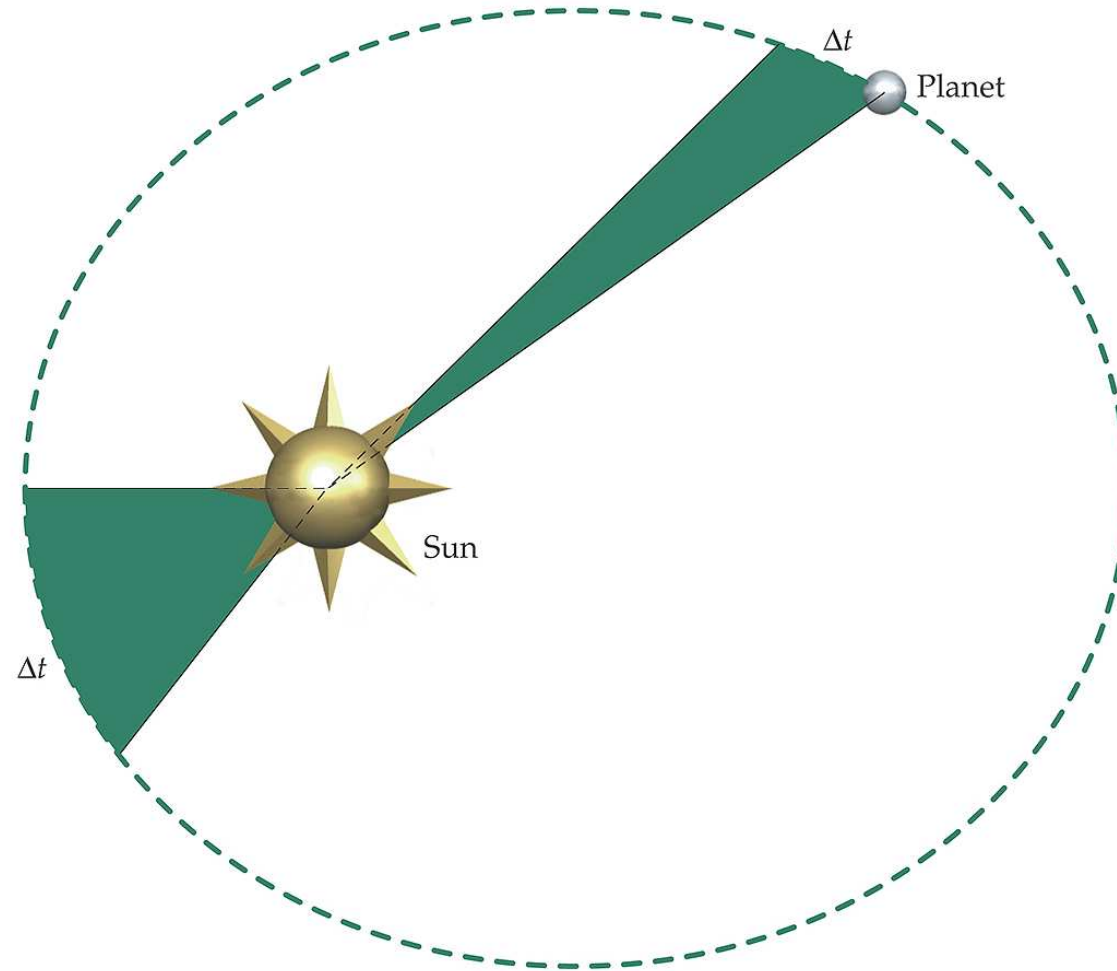
Ref: Halliday, Resnick, Walker, *Fundamentos de Física*

## Trajétória elíptica de um planeta com o Sol em um dos focos

Ponto  $P$  : periélio, ponto  $A$ : afélio

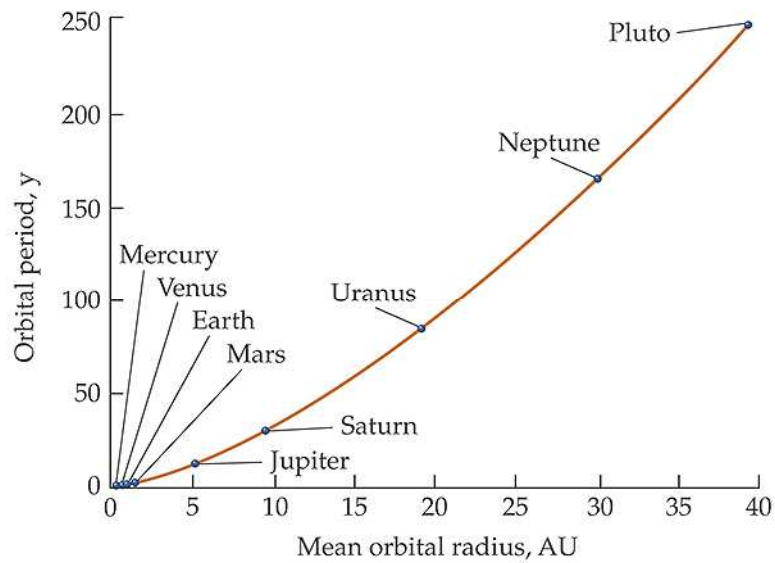


Quando um planeta está próximo do Sol, ele se move mais rapidamente do que quando está mais afastado. As **áreas** varridas num dado intervalo de tempo são iguais.

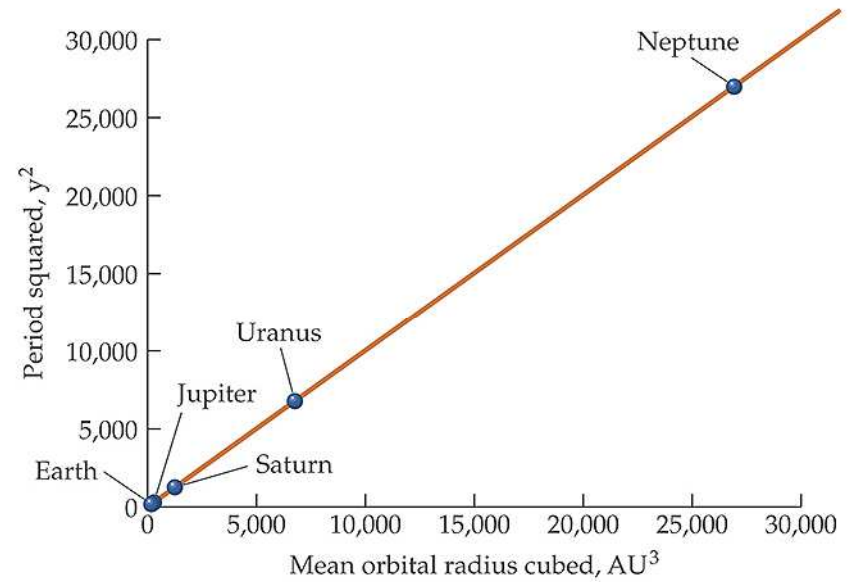


(a) Periodos dos Planetas ( $T$ ) em função de seus raios orbitais médios ( $r$ )

(b) Gráfico  $T^2$  vs  $r^3$  (Terceira Lei de Kepler). Os pontos caem numa linha reta

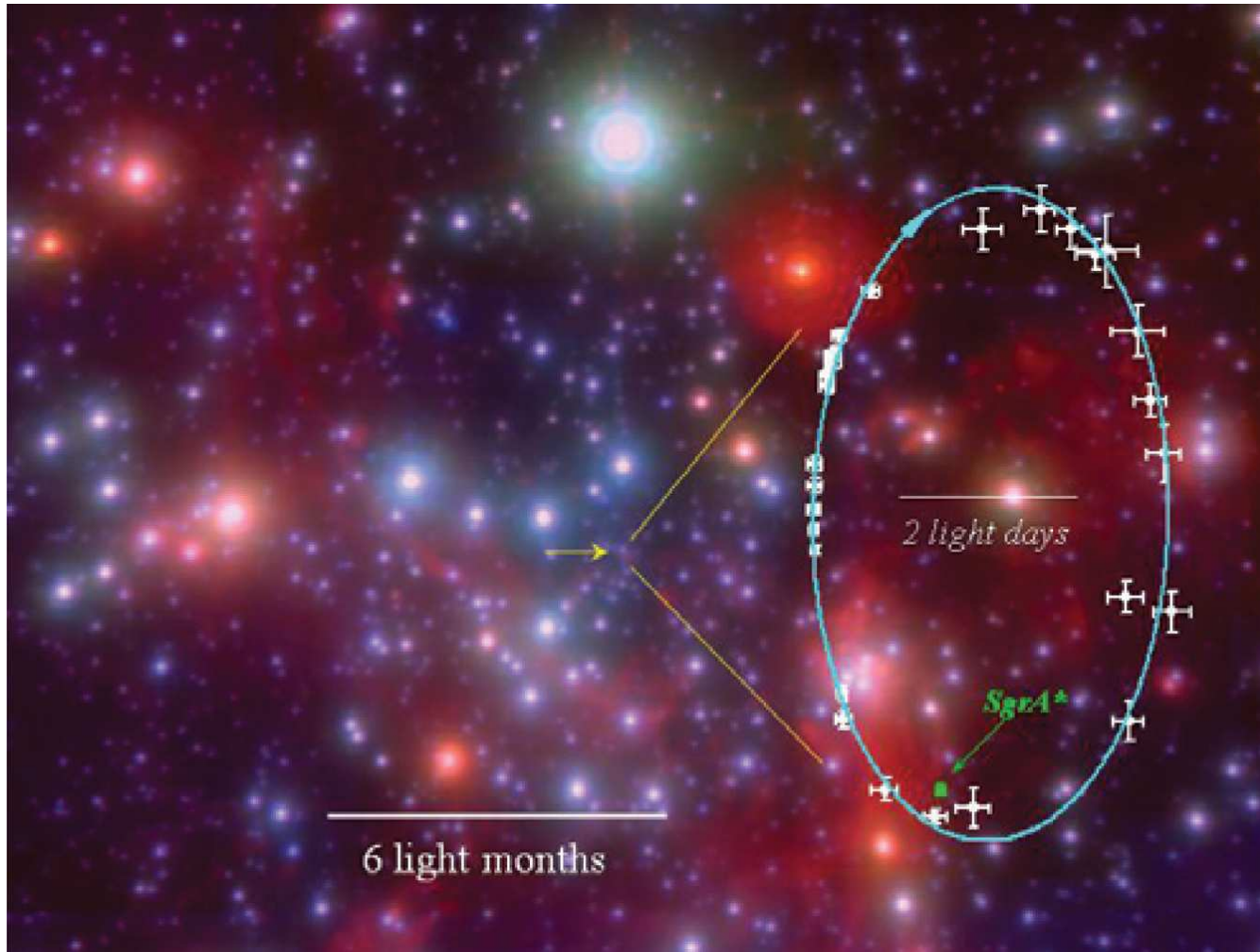


(a)



(b)

Orbita da estrela S2 em torno de Sagitarius (sgrS\*): O periodo e o valor do semi-eixo da órbita permitem estimar o valor da massa de SgrA\*

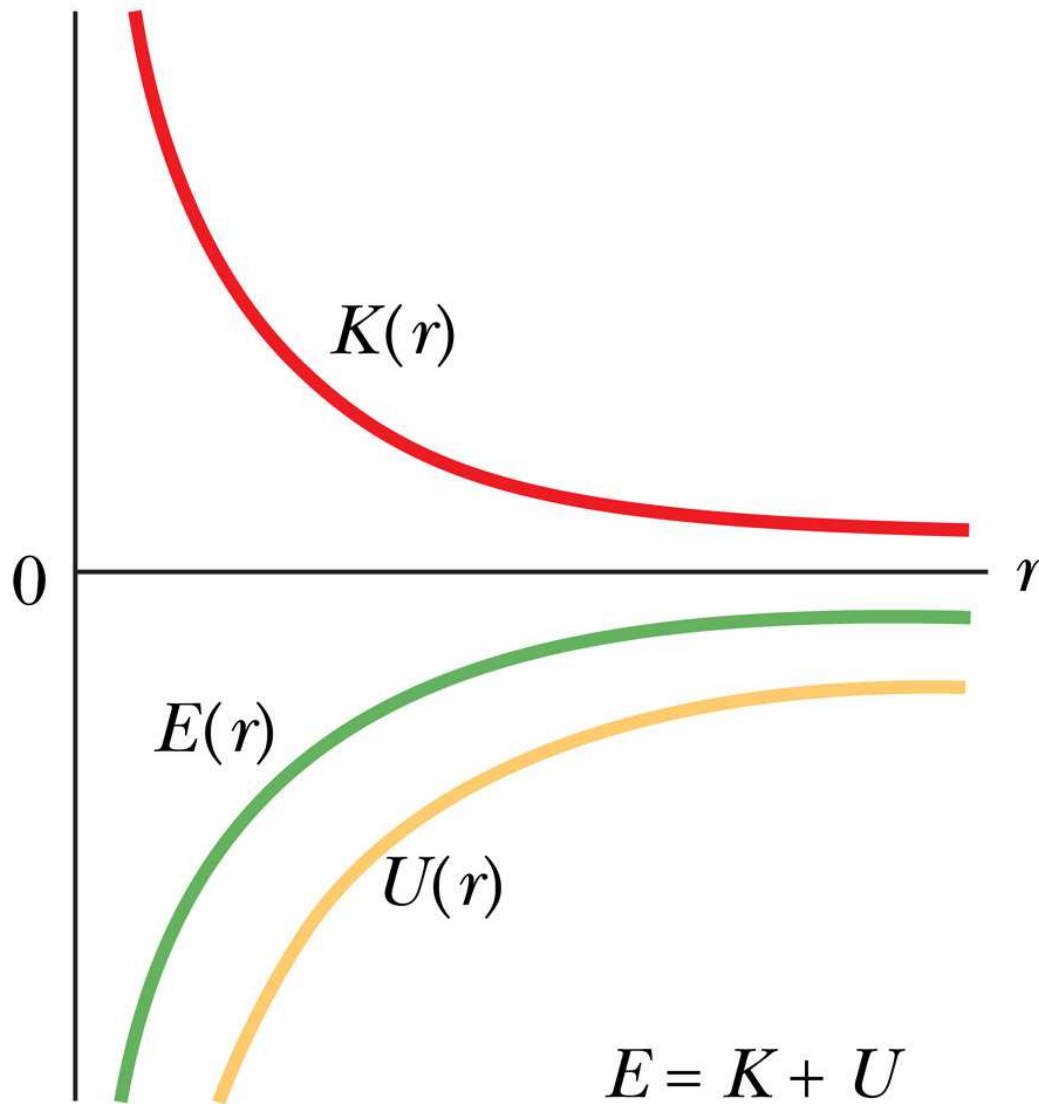


Halliday, Resnick, Walker, *Fundamentos de Física*



©2008 by W.H. Freeman and Company

Energy



**Satélite em órbita circular**

Varição da energia com o raio da órbita

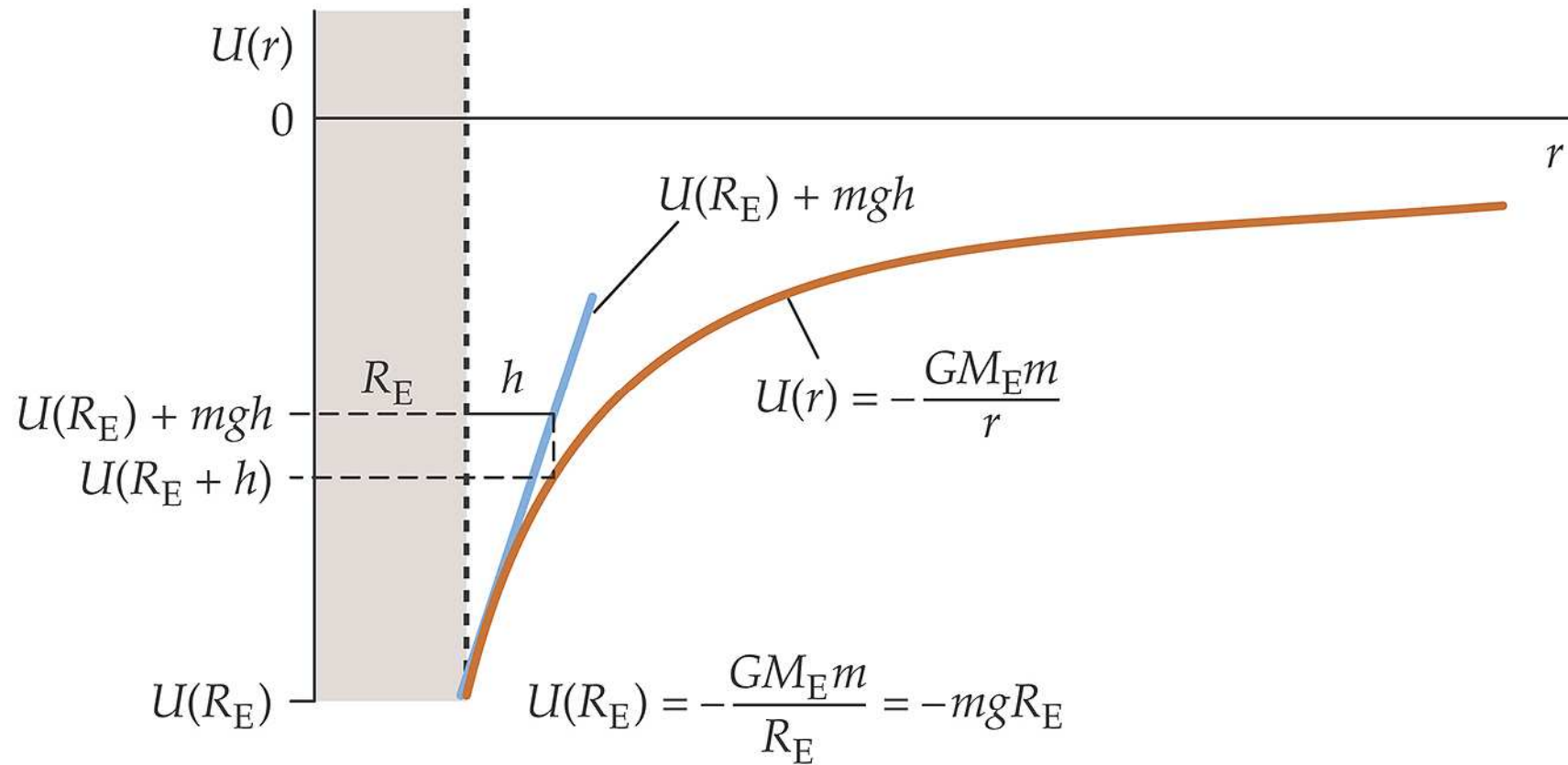
K : energia cinética

U : energia potencial

E : energia total

Ref: Halliday, Resnick, Walker,  
*Fundamentos de Física*

**Energia potencial gravitacional:** começa no valor negativo na superfície da Terra, e cresce quando  $r$  cresce, tendendo a zero quando  $r \rightarrow \infty$



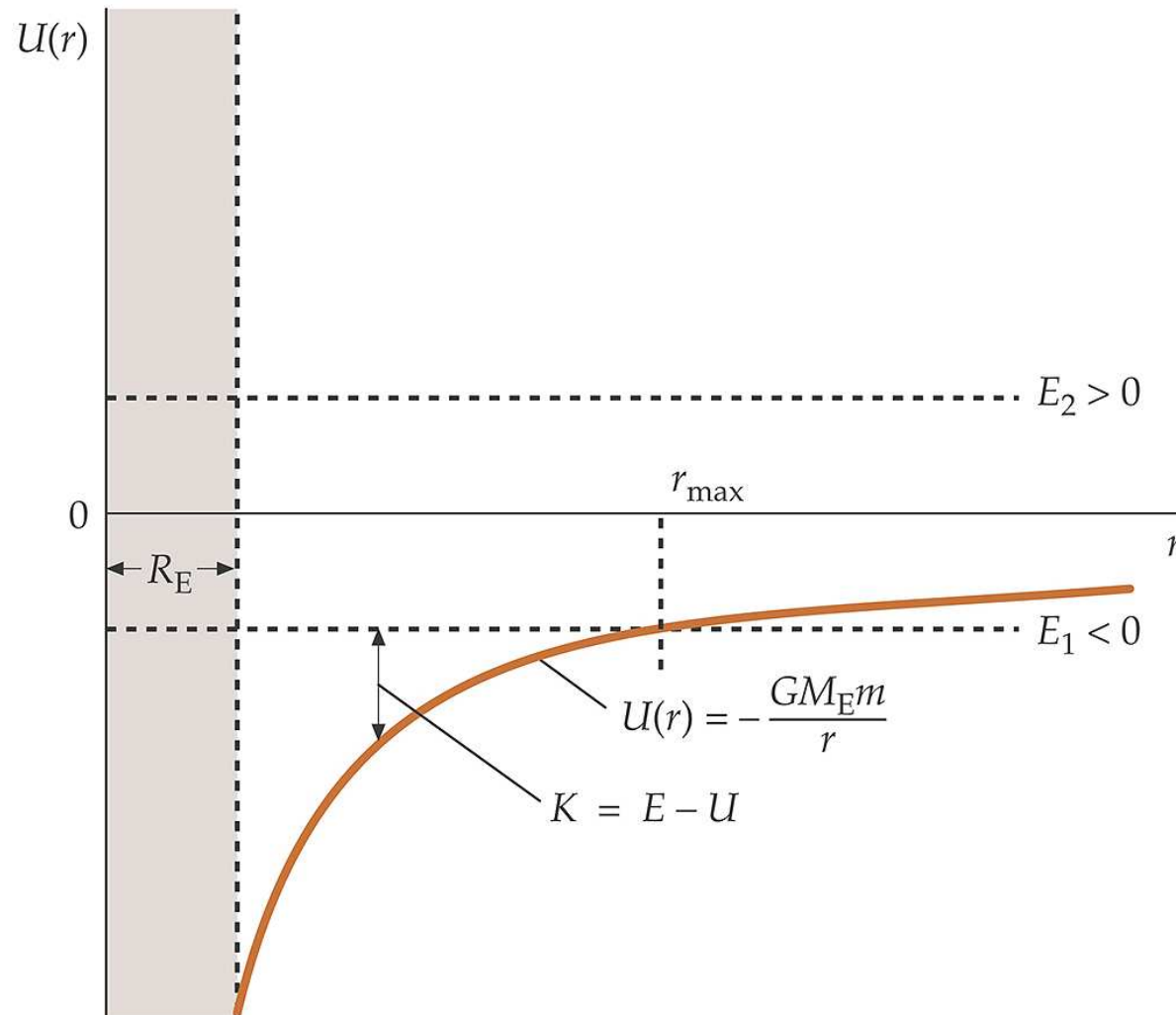


**Velocidade de escape** (para escapar da gravidade da Terra)

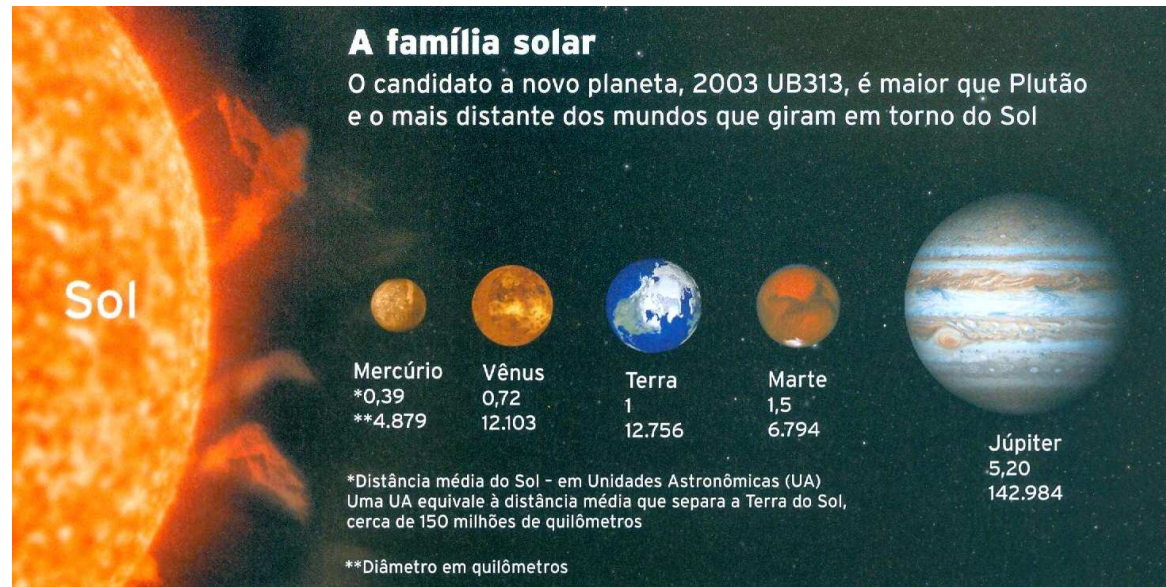


©2008 by W.H. Freeman and Company

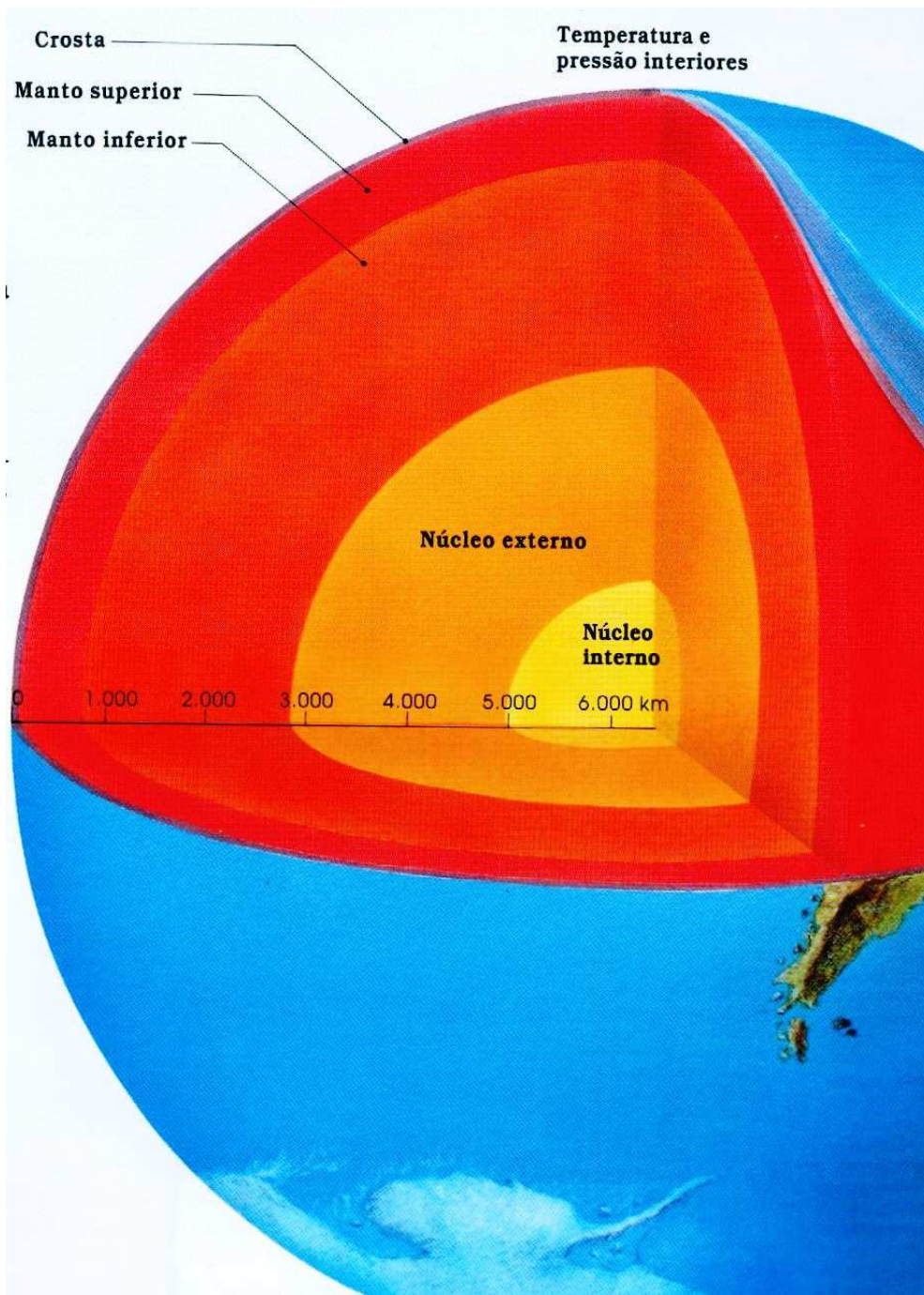
**Velocidade de escape:** quando a energia total é maior que zero ( $E_2$  na figura), o objeto pode escapar da Terra



## Velocidade de escape: atmósferas dos planetas



NASA/JPL/ESA/IPAC



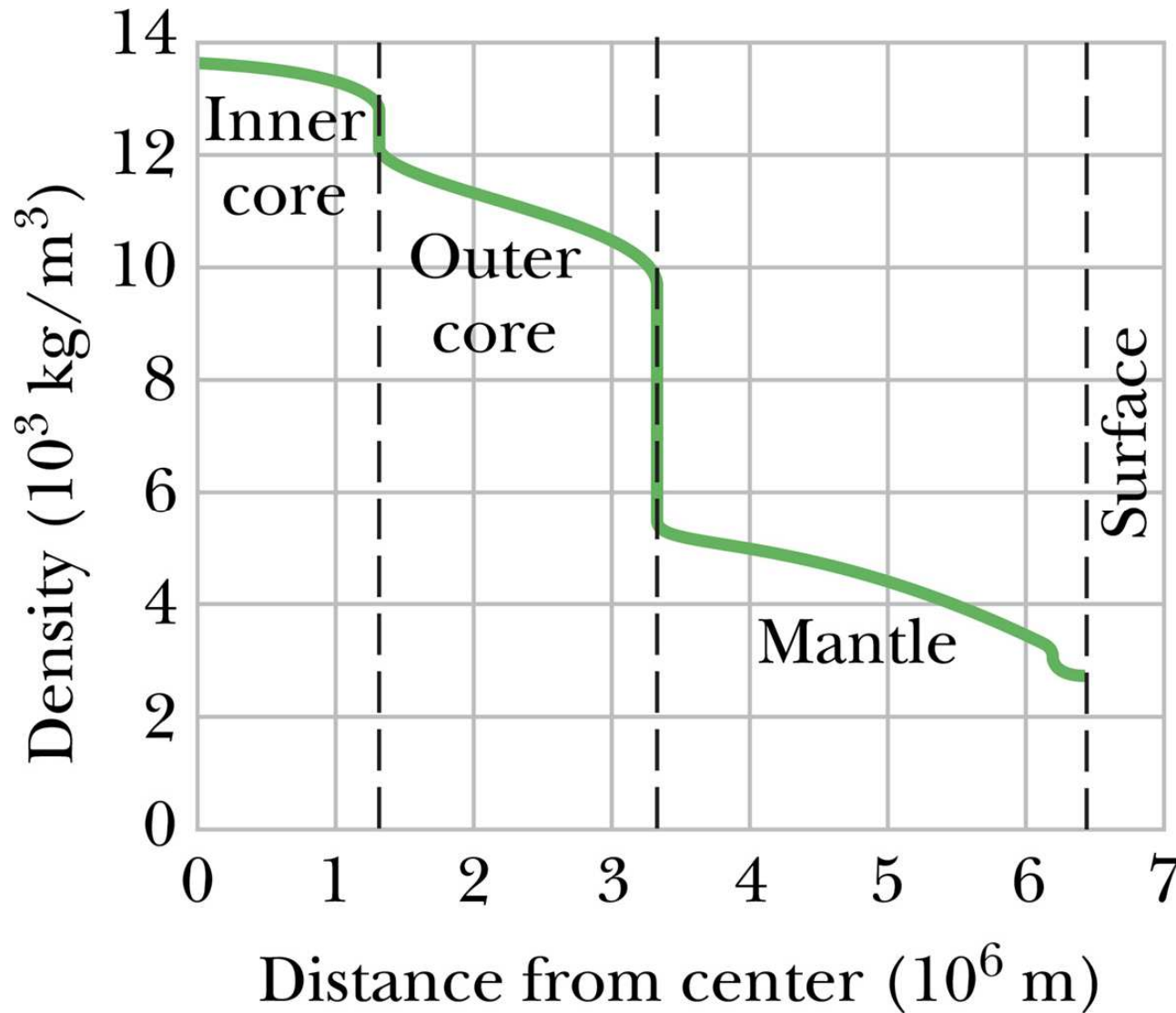
## Interior da Terra

A crosta continental é composta de granito e basalto.

O manto, que representa 85% do volume da Terra, consiste de rocha sólida muito quente que se comporta como um fluido viscoso. No manto inferior a rocha é mais densa por causa das grandes pressões.

O núcleo, de níquel e ferro, consiste de uma camada externa fluida e um núcleo interno sólido.

*Planeta Terra. Coleção Ciência & Natureza  
Time & Life / Abril Livros, 1996*



**Densidade da Terra em função da distância do centro.**

Limites visíveis:

1 - núcleo sólido interno,

2 - núcleo externo

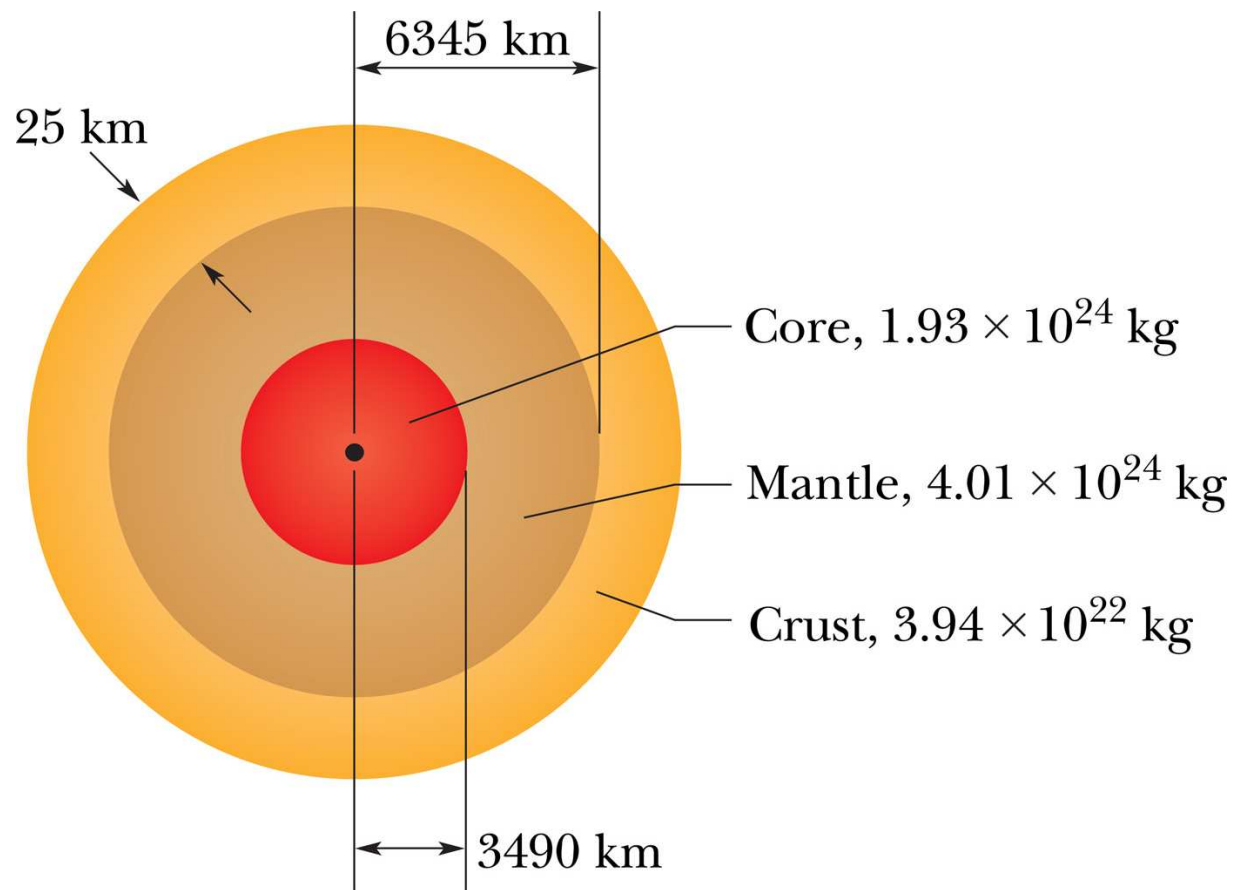
semilíquido

3 – manto sólido

Ref: Halliday, Resnick,

Walker,

*Fundamentos de Física*

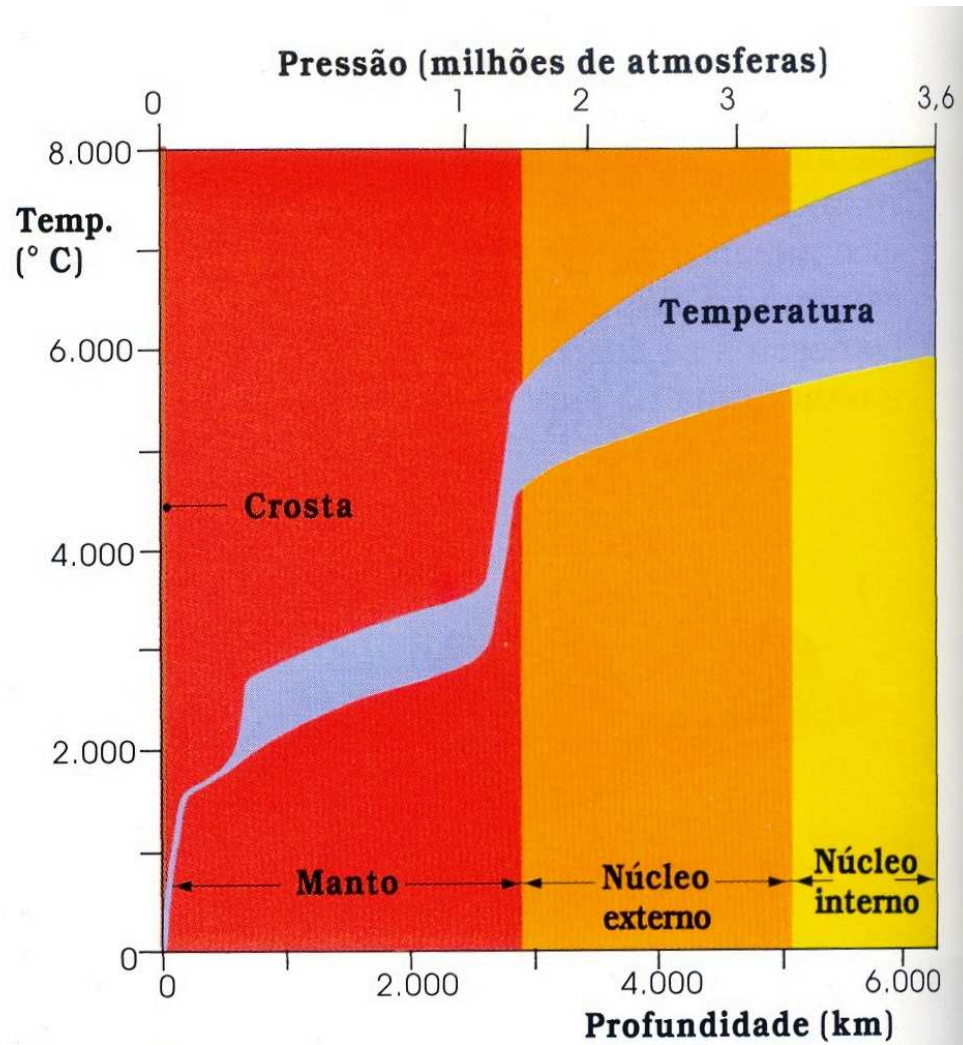


## Corte transversal da Terra

O interior da Terra pode ser dividido em três regiões:

- 1 - a crosta,
- 2 - o manto
- 3 - o núcleo

Ref: Halliday, Resnick, Walker,  
*Fundamentos de Física*



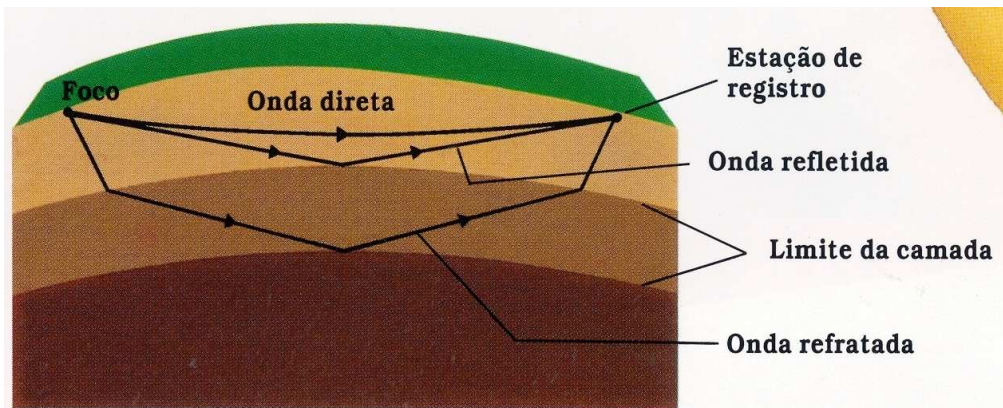
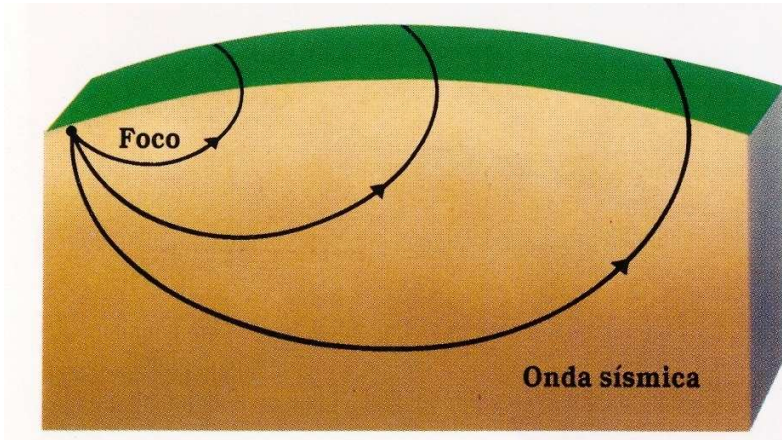
## Interior da Terra

Temperatura e pressão interiores

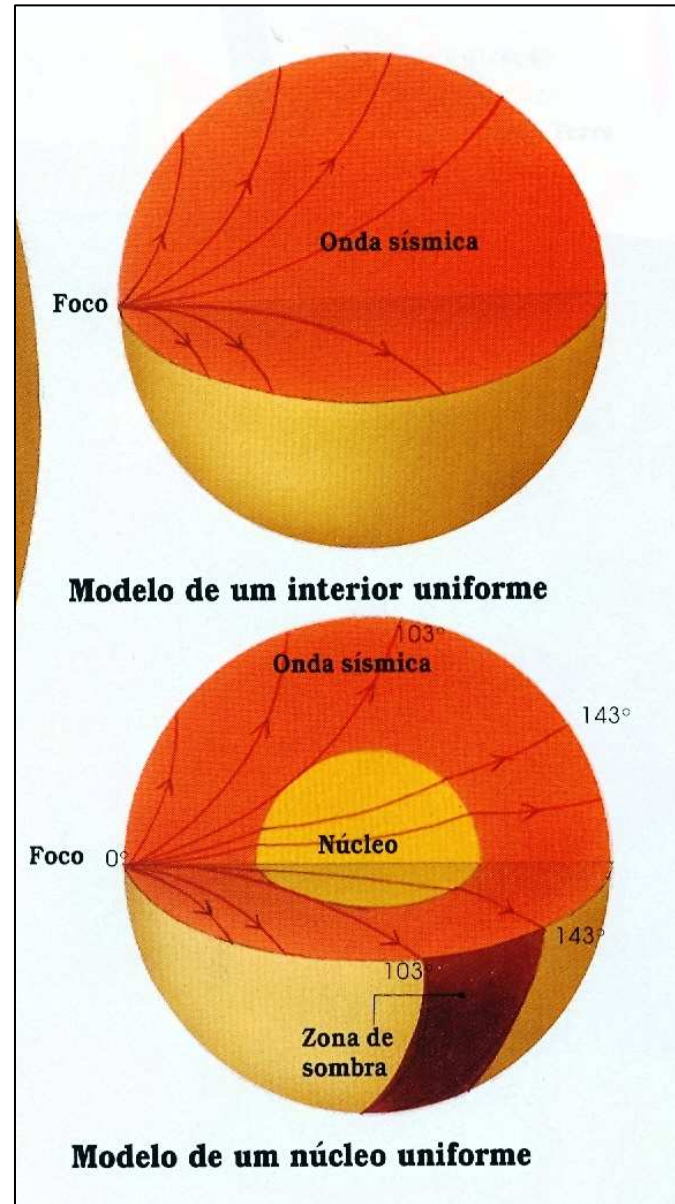
Raio da Terra: 6370 km

*Planeta Terra. Coleção Ciência & Natureza*  
Time & Life / Abril Livros, 1996

**Estudando o interior da Terra:** a técnica de tomografia sísmica permite obter uma visão 3D da densidade no interior da Terra



*Planeta Terra. Coleção Ciência & Natureza*  
Time & Life / Abril Livros, 1996



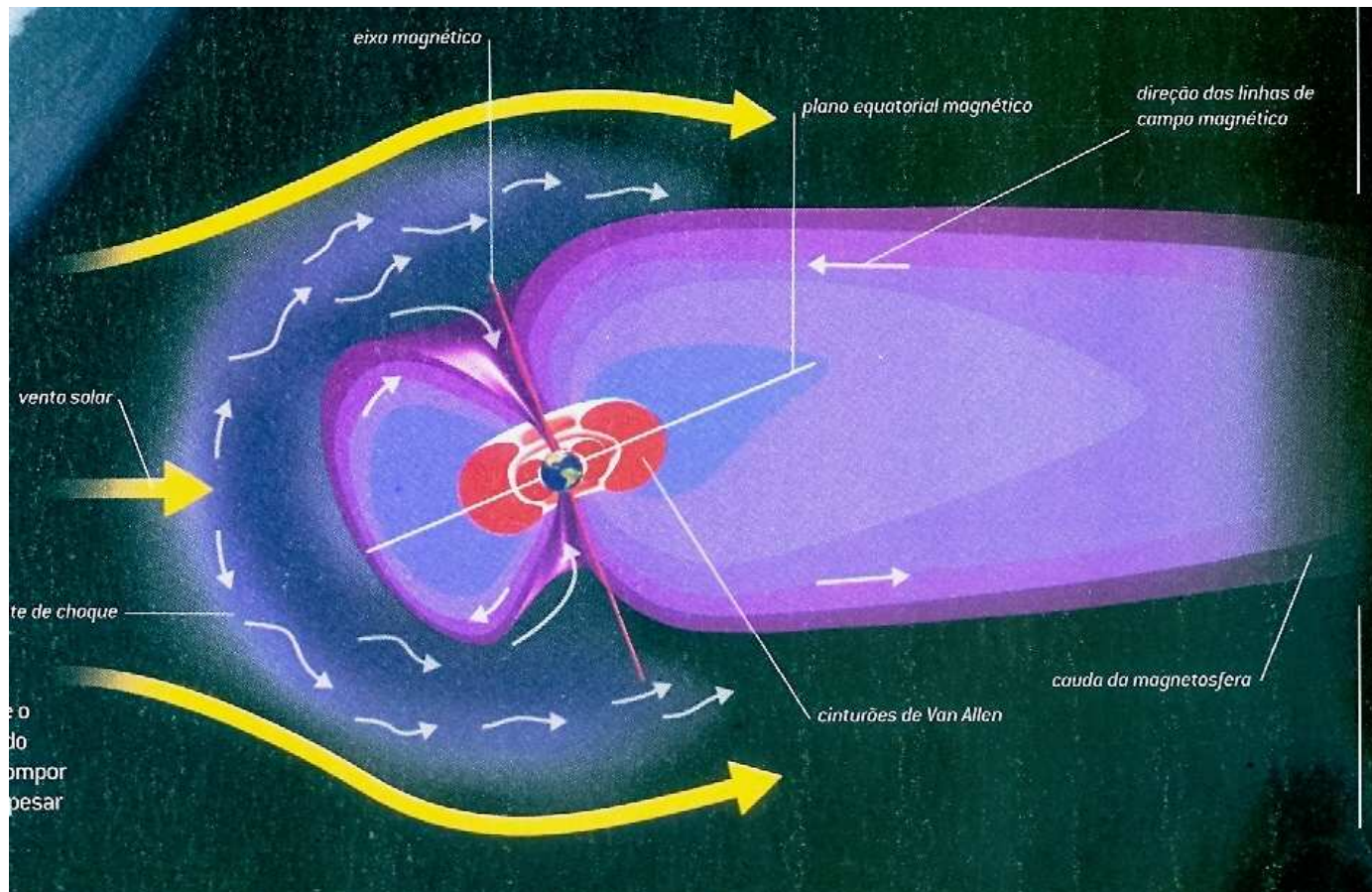


## O interior da Terra



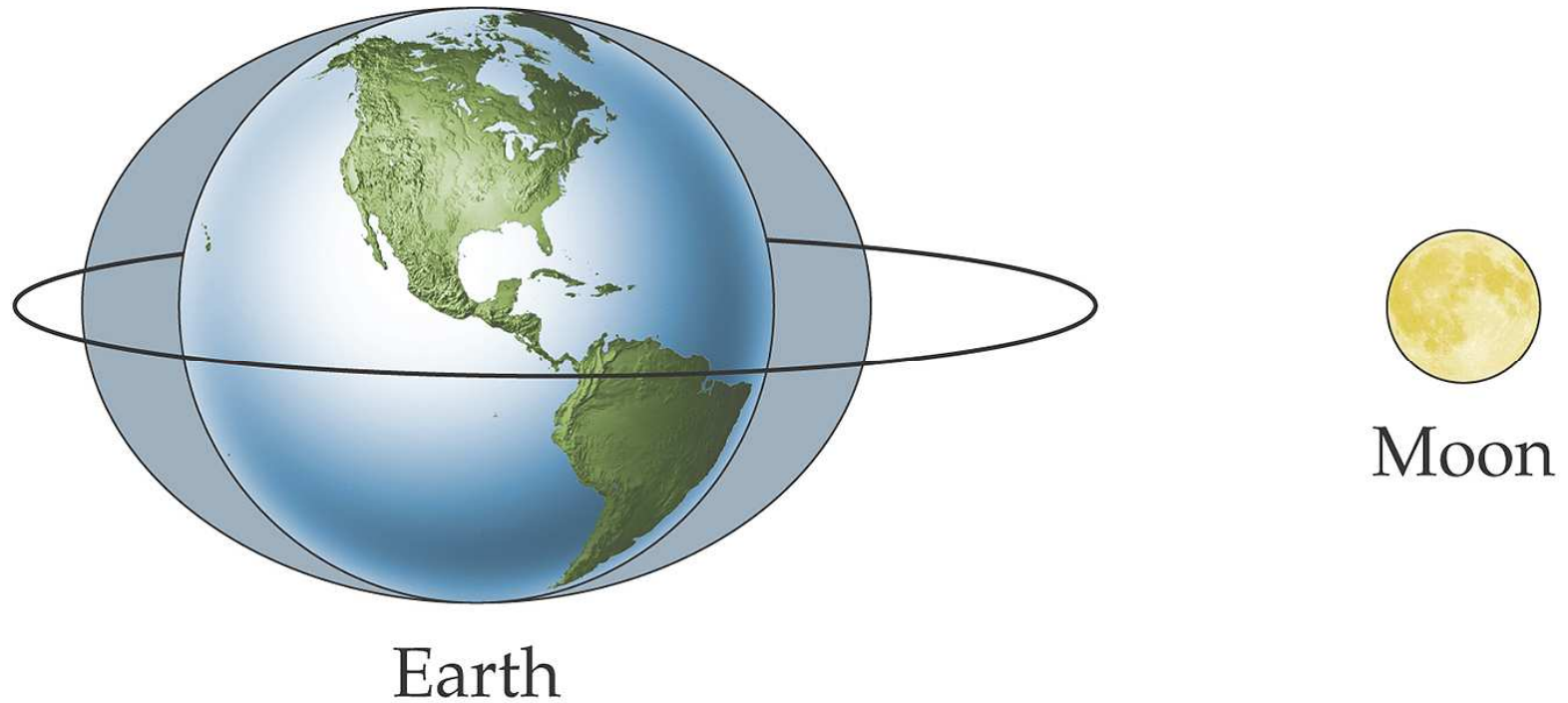
*Enciclopedia Ilustrada do Universo*  
Duetto Editorial, 2008

**Magnetosfera terrestre:** o campo magnético terrestre deflete o vento solar. As linhas de campo impedem a penetração das partículas de altas energias carregadas pelo vento solar

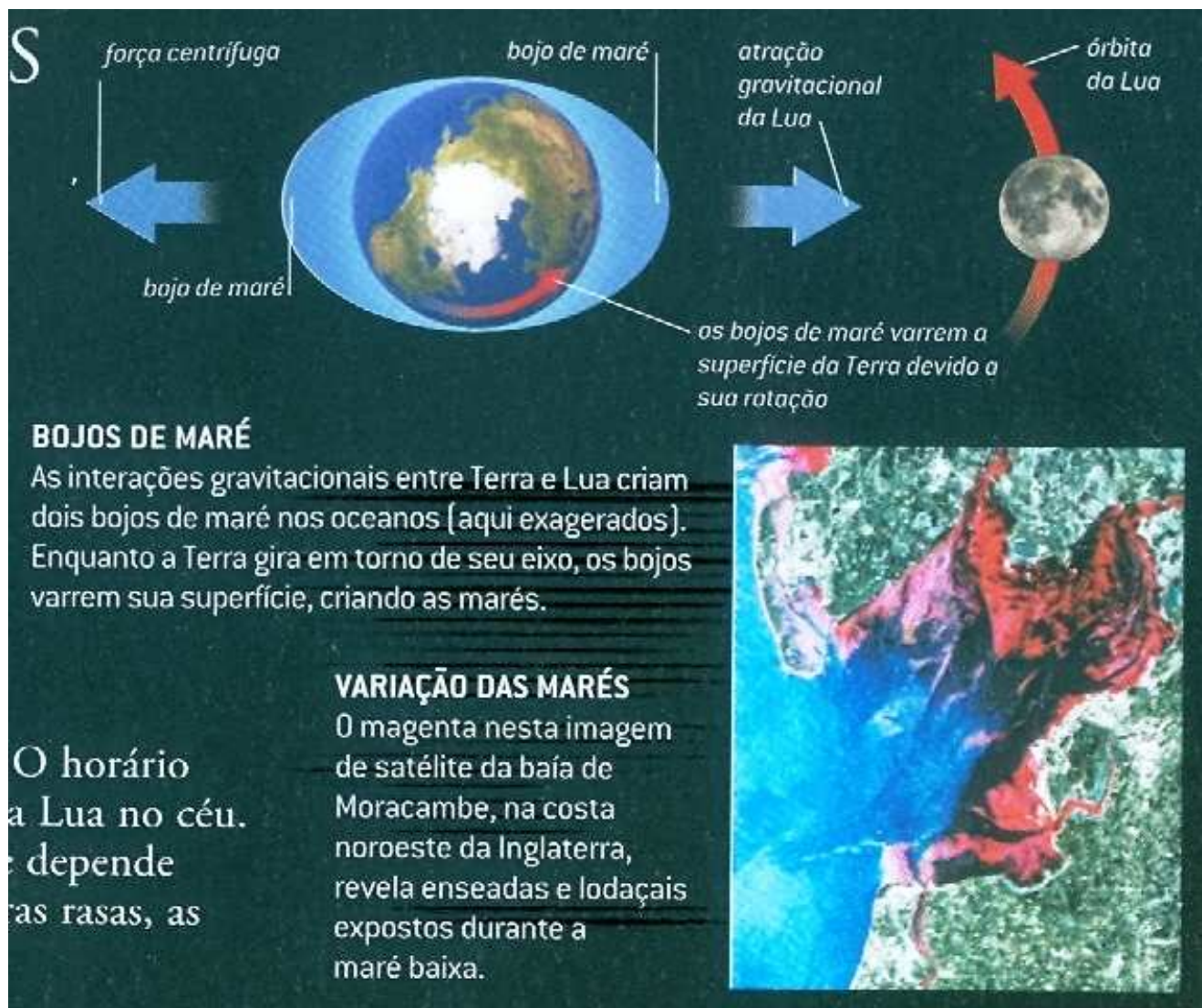


*Enciclopedia Ilustrada do Universo*  
Duetto Editorial, 2008

**Marés:** a protuberância das marés (exageradas na figura) são causadas pela Diferença entre as ações gravitacionais da Lua sobre lados opostos da Terra)



## Influencias lunares: as marés



*Enciclopedia Ilustrada do Universo*  
Duetto Editorial, 2008