



Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
Divisão de Engenharia Aeronáutica e Aeroespacial

MVO-41 - Mecânica Orbital

# Sistemas de coordenadas e elementos orbitais

Professor:

Flávio Ribeiro (flaviocr@ita.br)

Site: <http://flavioluiz.github.io>

# Objetivos da aula

- Apresentar os diferentes sistemas de coordenadas utilizados classicamente em mecânica orbital;
- Apresentar os chamados “elementos orbitais”, entender suas relações com os diferentes sistemas de coordenadas e tipos de órbitas.

# Sistemas de coordenadas

Utilizados para descrever a posição e a órbita de um objeto no Espaço.  
Para definir, escolhe-se:

- um ponto central (Terra? Sol? planeta?)
- Um plano (eclíptica, equador, órbita, horizonte?)
- Uma direção relevante (ponto “fixo” do céu, Norte?)

# Sistema de coordenadas (Heliocêntrico-)Eclíptico

- Origem: Sol
- Plano fundamental: plano da eclíptica
- Direção fundamental: ponto  $\Upsilon$  - Ponto de Aries (interseção do plano da eclíptica com o plano do Equador celeste)

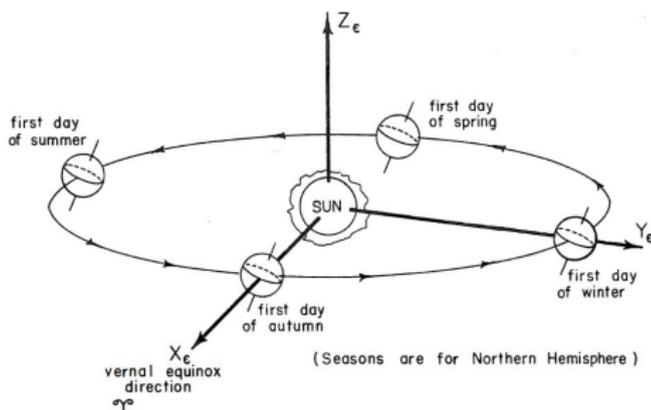


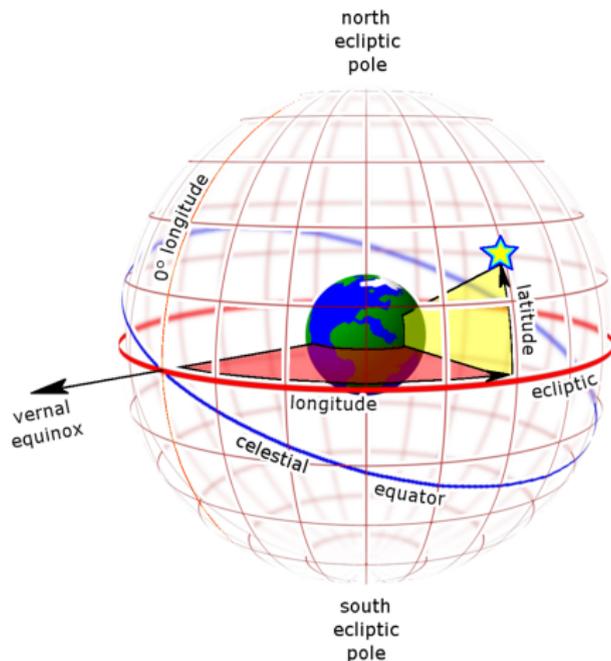
Figure 2.2-1 Heliocentric–ecliptic coordinate system

Fonte: Fundamentals of Astrodynamics, 1972

# Sistema de coordenadas (Heliocêntrico-)Eclíptico

- Obliquidade da eclíptica:  
 $\epsilon = 23$  graus, 27 minutos
- Efeitos da precessão  
(cerca de 26000 anos)
- Coordenadas de um objeto:
  - ▶ Longitude celeste/eclíptica:  
 $\lambda$  (0 a 360 graus)
  - ▶ Latitude celeste/eclíptica:  
 $\beta$  (- 90 a 90 graus)

Obs.: Esse sistema também pode ser centrado na Terra!



Fonte: Wikipedia

# Sistema de coordenadas (Geocêntrico-)Equatorial

- Origem: centro da Terra;
- Plano fundamental: plano do Equador;
- Direção principal: ponto  $\Upsilon$ .

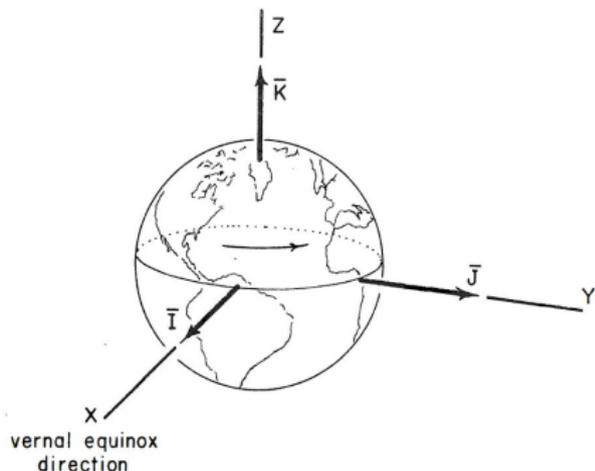


Figure 2.2-2 Geocentric-equatorial coordinate system

Fonte: Fundamentals of Astrodynamics, 1972

# Sistema de coordenadas (Geocêntrico-)Equatorial

- Ascensão reta:  $\alpha$
- Declinação:  $\delta$

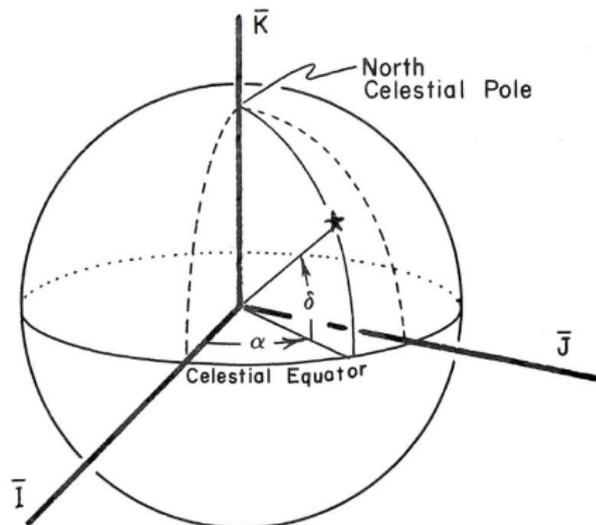
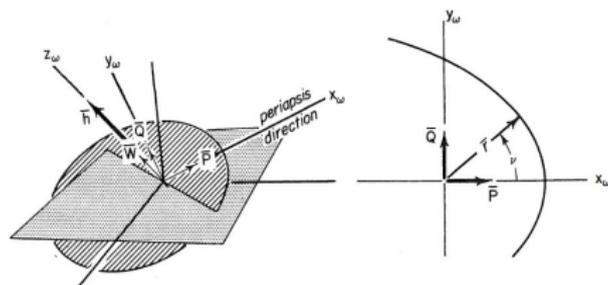


Figure 2.2-3 Right ascension–declination coordinate system

Fonte: Fundamentals of Astrodynamics, 1972

# Sistema de coordenadas perifocal

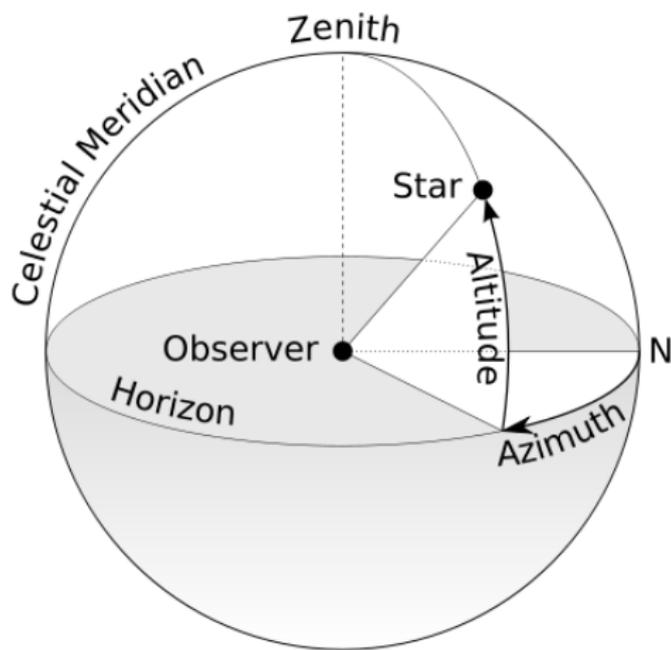
- Origem: centro da Terra (ou outro corpo);
- Plano fundamental: plano da órbita;
- Direção principal: direção do periapsis.



Fonte: Fundamentals of Astrodynamics, 1972

# Sistema de coordenadas topocêntrico-horizontal

- Origem: observador na superfície da Terra;
- Plano fundamental: plano horizontal;
- Direção principal: Norte (ou Sul).
- Coordenadas:
  - ▶ Altitude ou elevação;
  - ▶ Azimute;



Fonte: Wikipedia

# Resumo dos sistemas de coordenadas

Sistema de coordenadas	Ponto central	Plano fundamental	Coordenadas		Direção principal
Horizontal	observador	Horizonte	altitude ou elevação	azimute	Norte (ou Sul)
Equatorial	centro da Terra ou do Sol	equador celeste	declinação	ascensão reta	Ponto $\Uparrow$
Eclíptico	centro da Terra ou do Sol	eclíptica	latitude eclíptica	longitude eclíptica	Ponto $\Uparrow$
Galáctico	centro do Sol	plano da Galáxia	latitude galáctica	longitude galáctica	Centro da galáxia

# Elementos orbitais

Conjunto de **seis** parâmetros que descreve uma órbita e a posição de um corpo nessa órbita.

**Dois** elementos geométricos:

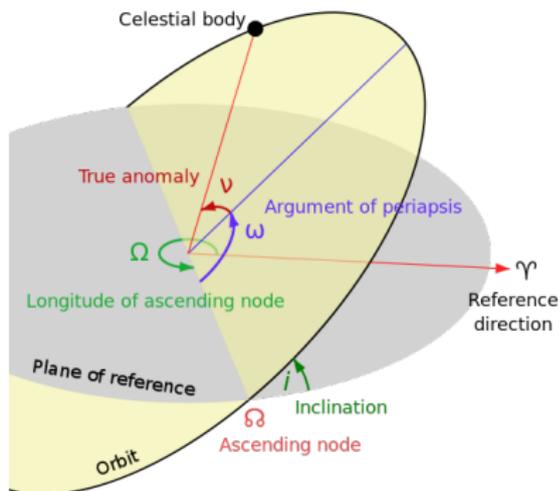
- semi-eixo maior  $a$ ;
- excentricidade  $e$

**Dois** elementos que descrevem o plano orbital:

- Inclinação ( $i$ )
- Longitude do nó ascendente ( $\Omega$ )

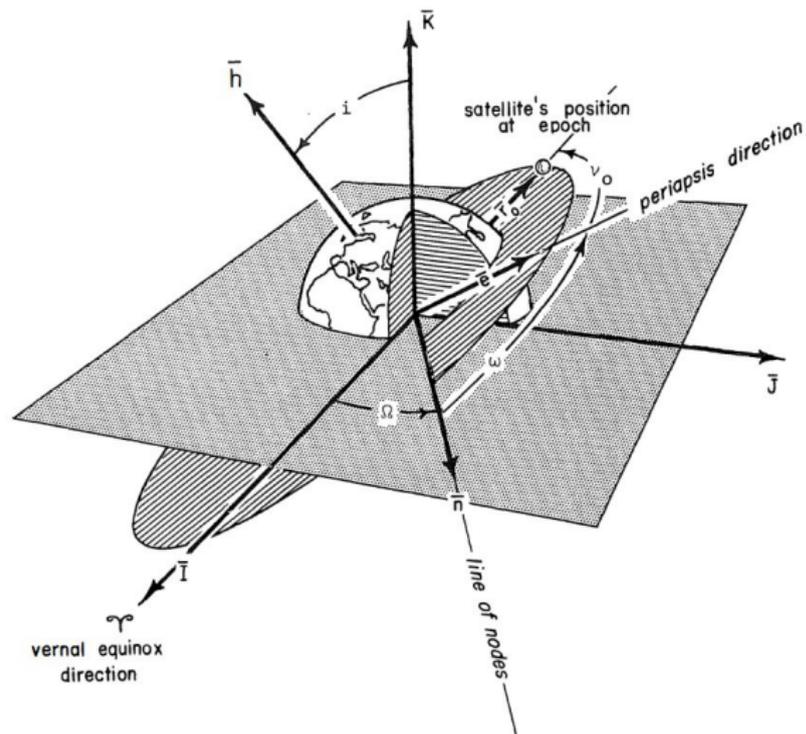
**Dois** outros elementos: orientação da cônica e posição do objeto:

- Argumento do periapsis ( $\omega$ )
- Anomalia verdadeira  $\nu_0$  em um instante  $t_0$  (época)



Fonte: Wikipedia

# Elementos orbitais



Fonte: Fundamentals of Astrodynamics, 1972

## Elementos orbitais - outros

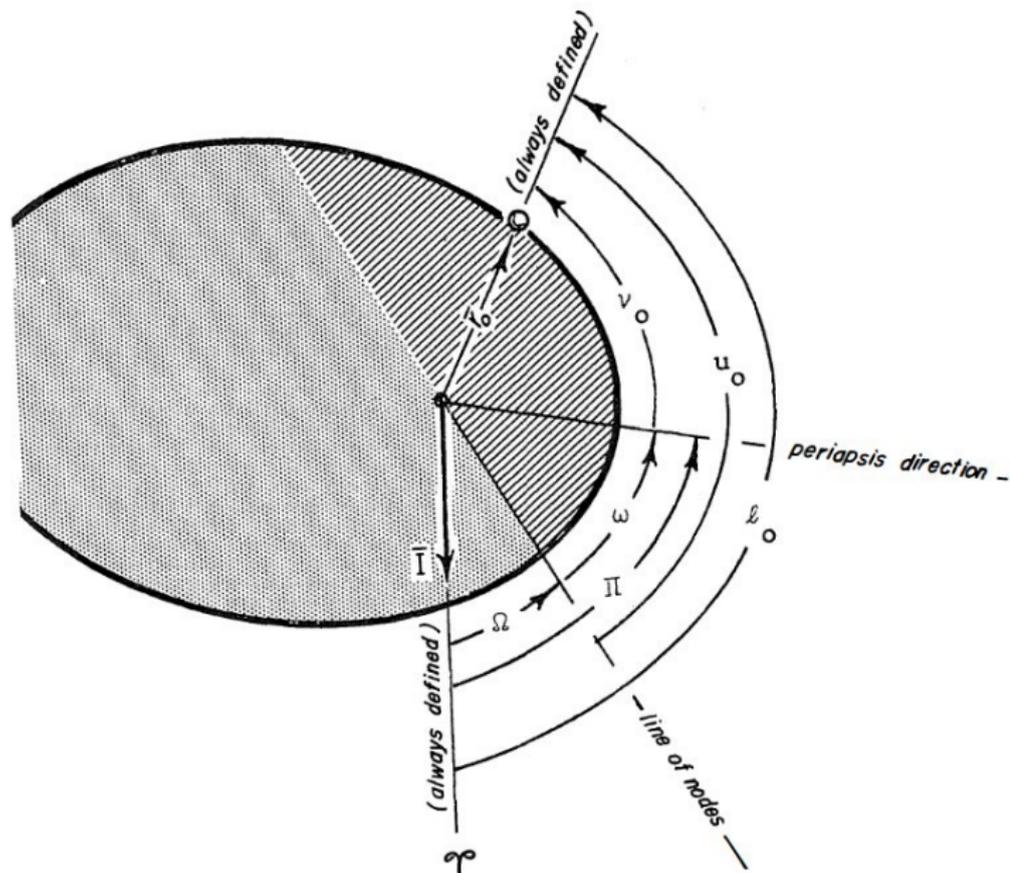
Note que os parâmetros anteriores não são únicos!

Por exemplo, para definir a geometria da órbita, pode-se usar o semi-latus rectum  $p$ .

Outros:

- Argumento do periapsis  $\omega$ : longitude do periapsis:  $\Pi = \Omega + \omega$
- Anomalia verdadeira:
  - 1 anomalia excêntrica  $E$  em um tempo  $t_0$
  - 2 anomalia média  $M = \frac{2\pi}{T}(t - t_0)$
  - 3 outra posição em um tempo específico (ex.: tempo no periapsis)
  - 4 argumento de latitude na época: ângulo entre linha dos nós e  $\vec{r}_O$ :  
 $u_O = \omega + \nu_O$ ;
  - 5 longitude verdadeira na época: ângulo entre o eixo  $x$  ( $\Upsilon$ ) e  $r_O$   
*passando pela linha dos nós*:  $l_O = \Omega + \omega + \nu_O = \Pi + \nu_0 = \Omega + u_O$   
(obs.: ângulos não estão no mesmo plano!!).

# Elementos orbitais



Fonte:

# Elementos orbitais - órbitas circulares e equatoriais

Em órbita circular:

- Não existe periapsis, logo: argumento/longitude do periapsis não estão definidos (são desnecessários).
- Anomalia verdadeira não está definida, pode-se usar a anomalia média  $M$ , argumento de latitude  $u_0$ , ou longitude verdadeira  $l_0$ .

Em órbita equatorial:

- Não existe linha dos nós (ascendente, descendente), logo longitude do nó ascendente não está definida;
- Pode-se usar: longitude do periapsis  $\Pi = \Omega + \omega$

Em órbita circular e equatorial:

- Pode-se utilizar a longitude verdadeira na época:  $l_0$  ou a anomalia média  $M$ .