

# Cobertura terrestre

Visada do satélite, Visada da estação e Período de eclipse do satélite

# Visada do satélite

- Um satélite de imageamento é responsável pela cobertura de uma determinada área da Terra. Esta área de cobertura recebe o nome de footprint do satélite e é mostrada em um mapa de cobertura do satélite. O sistema de captação de imagens se dá por meio de micro-ondas, que são emitidas pelo satélite e captadas na Terra por meio de uma estação terrena, mais especificamente uma antena parabólica. Estes sinais são trabalhados e se tornam as imagens, a qual se pretendeu observar ou monitorar.

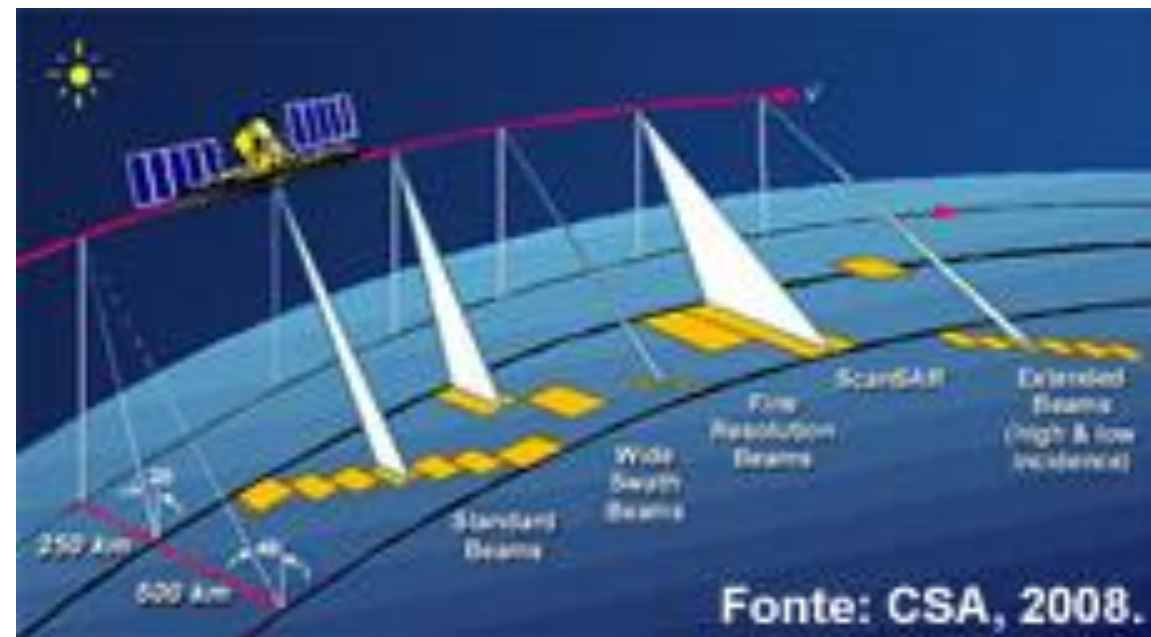


# Visada do satélite

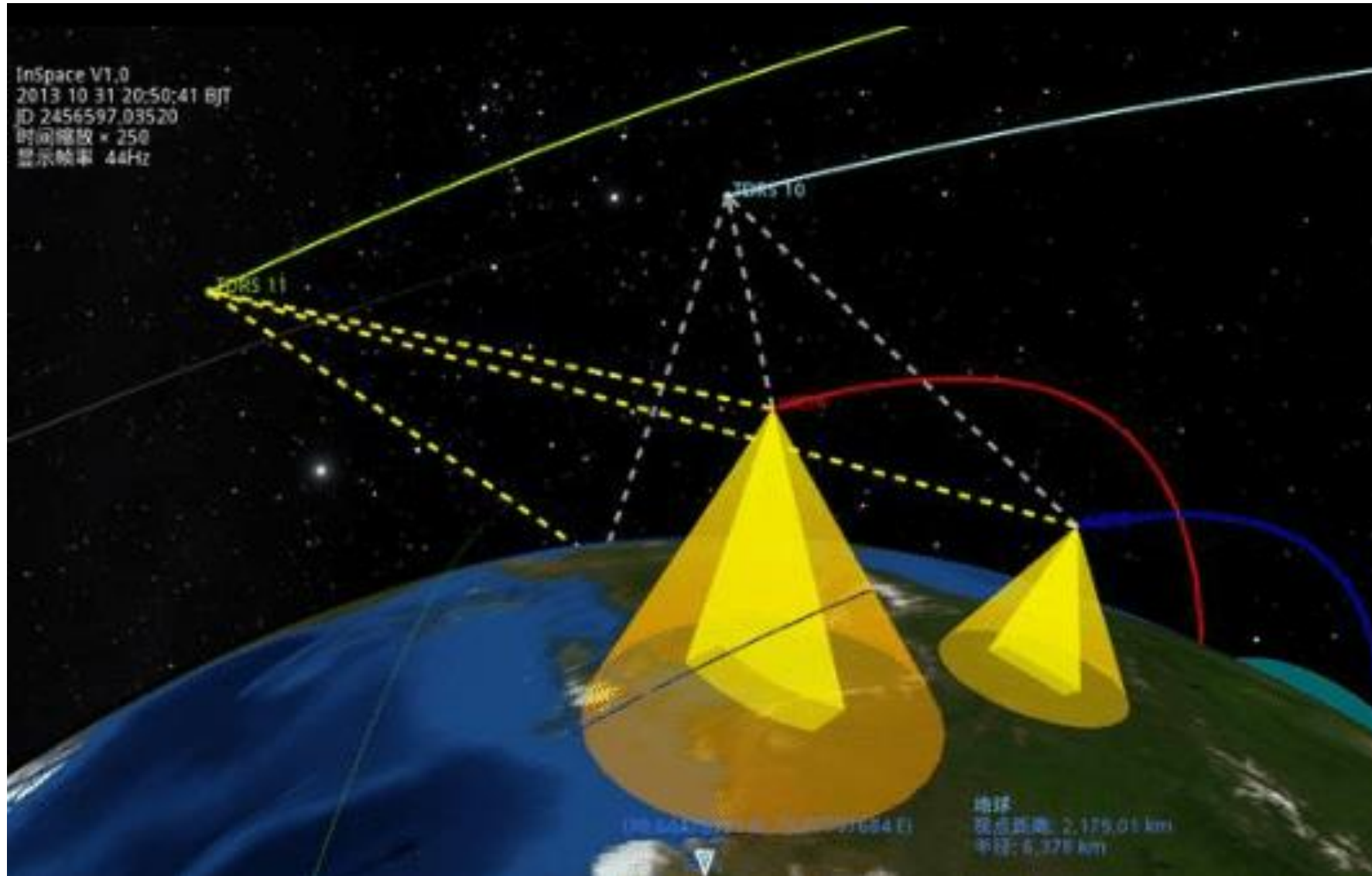
- O footprint do satélite depende de algumas variáveis:
  - As especificações orbitais do satélite;
  - A forma e o tamanho do feixe de sinal produzido pelos diferentes transponders do satélite;
  - A distância da localização em Terra da antena parabólica que está sendo apontada para o satélite.
- O footprint pode ser entendido como:
  - A área na qual se pode receber o sinal de transmissão de um determinado satélite;
  - A área em que um determinado transponder de um satélite pode ser captado (área de visada de um transponder de um satélite).

# Visada do satélite

- Um mesmo satélite pode ter mapas de cobertura diferentes para grupos diferentes de transponders que ele transmite pois os transponders em um satélite podem ser destinados à cobertura de diferentes áreas geográficas possíveis para a sua área de visada. Os mapas de cobertura de um satélite mostram a medida mínima estimada para:
  - O diâmetro mínimo da antena parabólica para captar o sinal deste satélite;
  - A intensidade de sinal em dBW (decibéis watt) para as diferentes porções de áreas geográficas cobertas pelo satélite.



# Visada do satélite



# Visada do satélite

- Apesar de os mapas de cobertura mostrarem uma determinada área de cobertura para um satélite, esta área de cobertura pode não representar fielmente a real cobertura de um satélite, pois o sinal pode ser influenciado por outros fatores alheios ao controle da operadora do satélite. Sinais de alta e baixa frequência transmitidos pelo satélite também sofrem influências diferentes entre o satélite que os transmitiram e os locais de recepção em terra.
- Sinais de baixa frequência:
  - podem se espalhar por uma maior área de cobertura (maior visada para um determinado satélite);
  - tem menor potência de energia;
  - necessitam de antenas com diâmetro maior;
  - sofrem menor interferência das nuvens.
- Sinais de alta frequência:
  - Precisam de uma linha de visão mais direta entre o satélite e a antena parabólica;
  - tem maior potência de energia;
  - se dispersa mais facilmente em situações de chuva severas;
  - necessitam de antenas parabólicas com diâmetro menor.

# Visada do satélite

- Mapa de cobertura de cobertura de um dos principais satélites em órbita da América do Sul, o Amazonas 2 da HISPASAT:

- <https://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/amazonas-2>



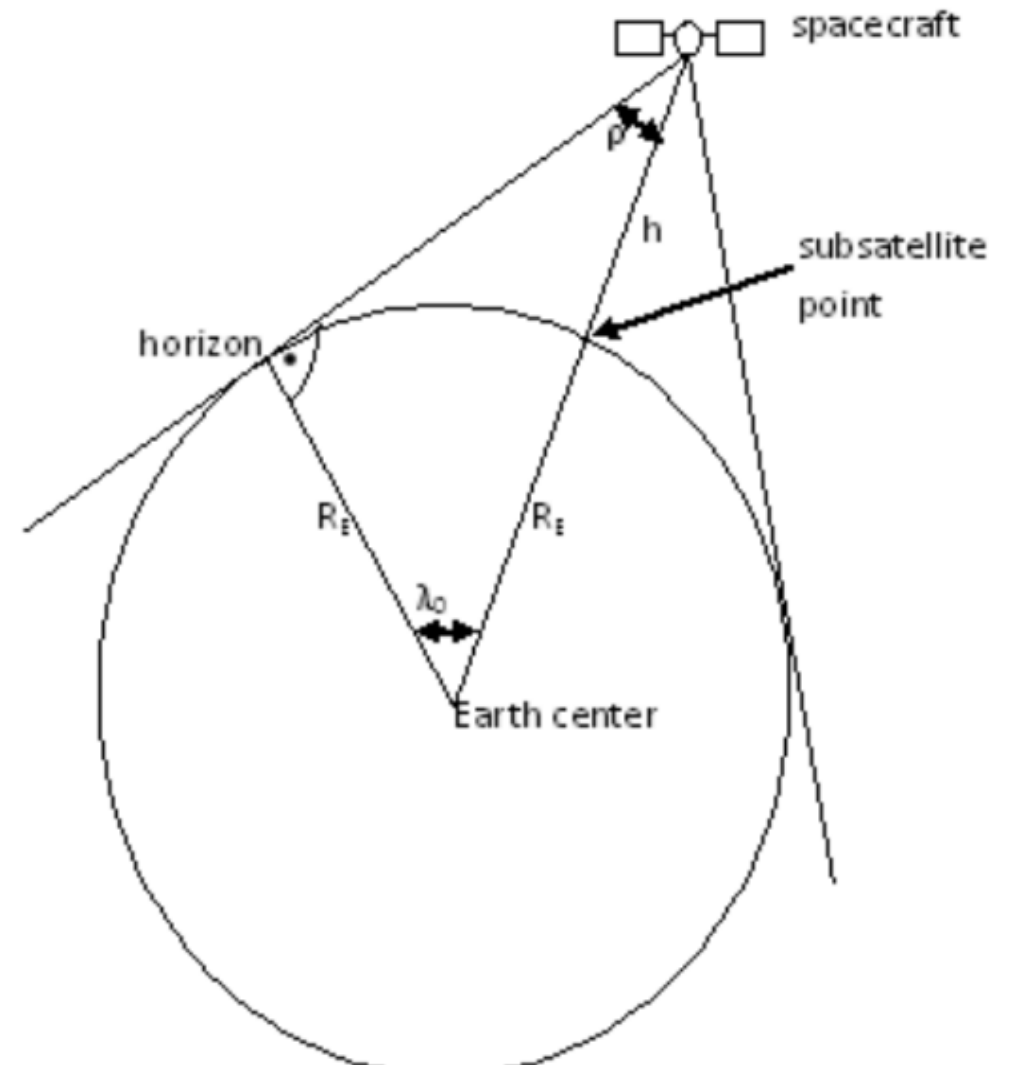
# Visada do satélite

De uma espaçonave a uma altitude  $h$  acima da superfície, o horizonte visível é caracterizado pelo ângulo  $\rho$  e pelo ângulo  $\lambda_0$  da perspectiva do centro da Terra:

$$\rho + \lambda_0 = 90^\circ$$

$$R_E = (R_E + h) \cos \lambda_0$$

$$R_E = (R_E + h) \sin \rho$$



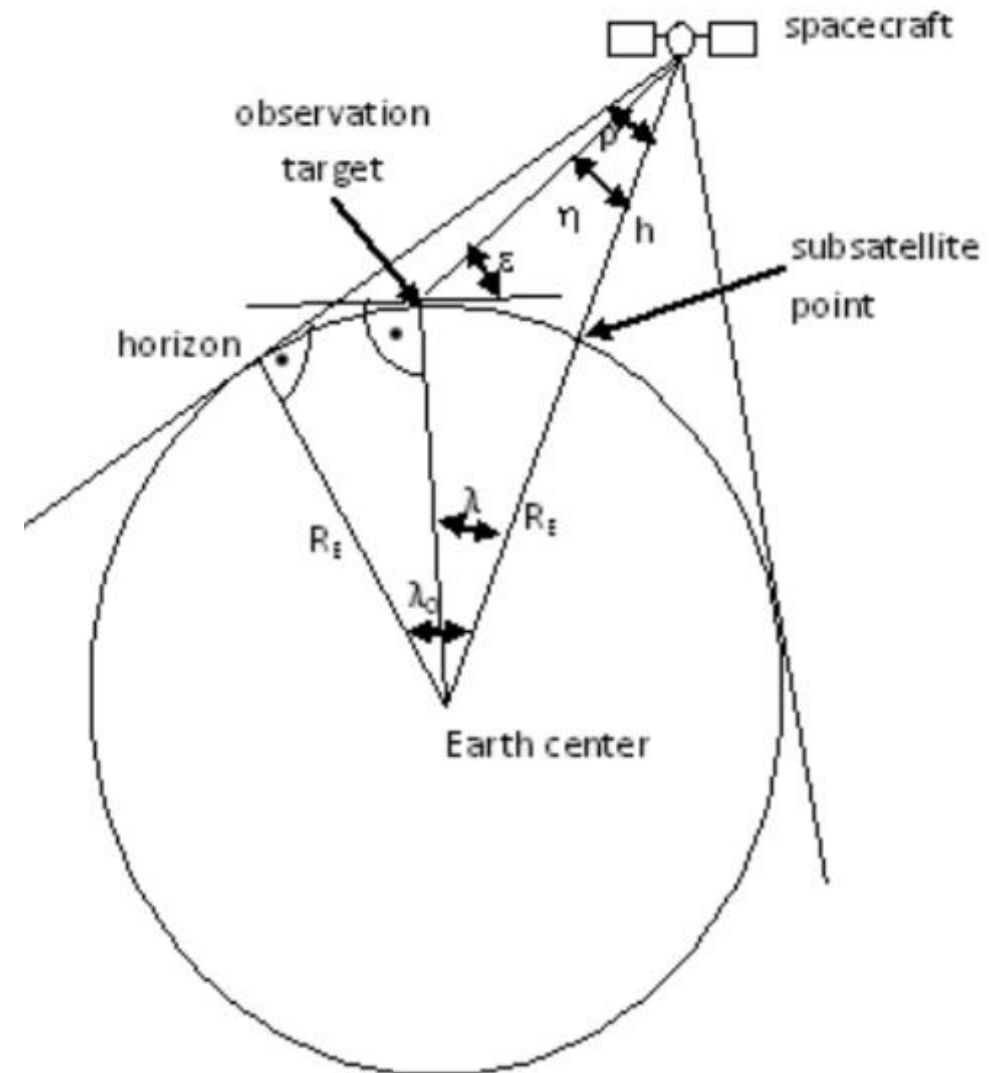


# Visada do satélite

Suponha que se deseja observar o ponto alvo na longitude  $\Lambda_t$  e latitude  $\Theta_t$  a partir de uma órbita conhecida do satélite, caracterizada por um ponto subsatélite com longitude  $\Lambda_s$  e latitude  $\Theta_s$ .

Os parâmetros característicos são:

- ângulo do nadir ( $\eta$ ) no satélite (o ângulo do centro da Terra/nave espacial/alvo);
- ângulo central da Terra ( $\lambda$ ) (o espaçador angular/centro da Terra/alvo);
- ângulo de elevação da nave espacial ( $\varepsilon$ ) do horizonte local no alvo em direção ao satélite.



# Visada do satélite

A distância angular  $\lambda$  pode ser determinada a partir de geometria esférica (para  $\lambda < 180^\circ$ ):

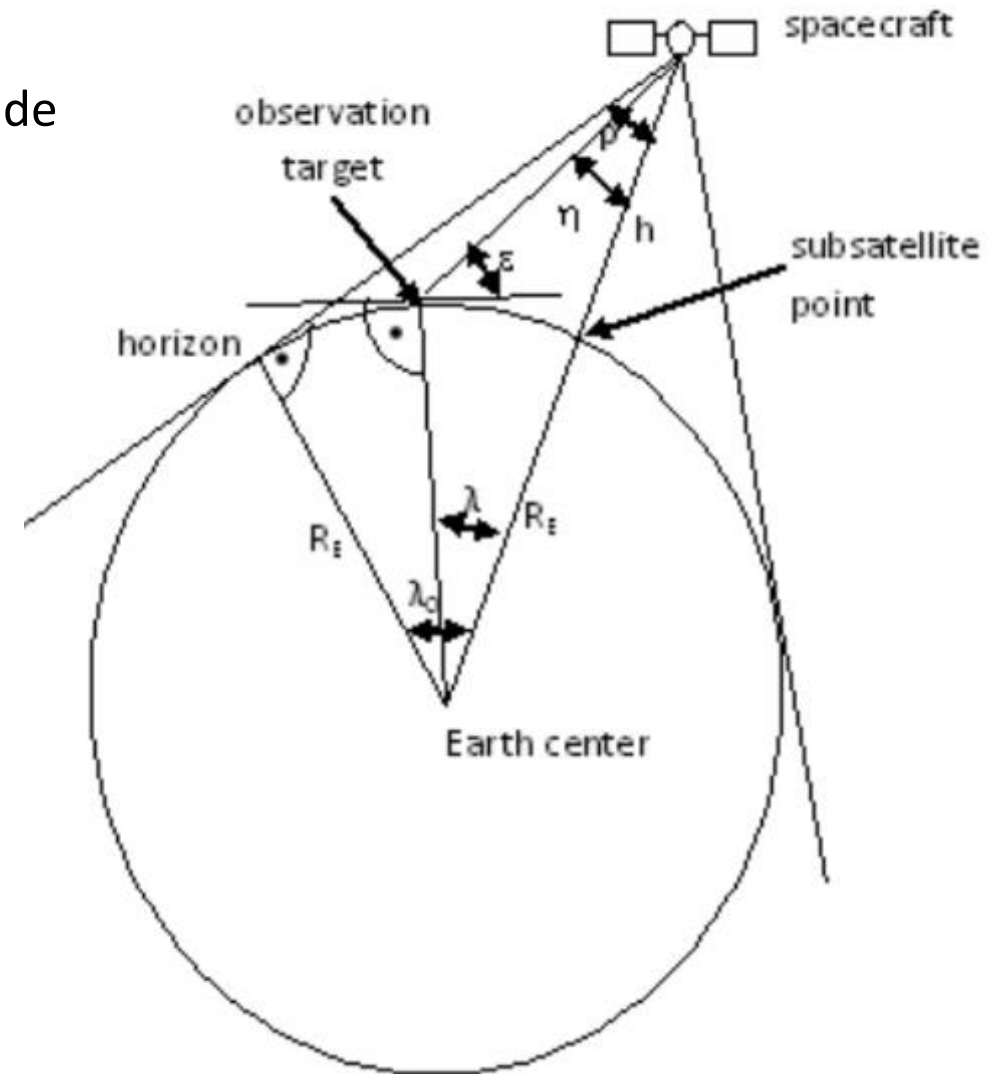
$$\lambda = \cos^{-1}[\sin \Theta_s \sin \Theta_t + \cos \Theta_s \cos \Theta_t \cos |\Lambda_s - \Lambda_t|]$$

De  $\lambda$ , calcula-se  $\eta$ :

$$\eta = \tan^{-1} \left[ \frac{\frac{R_E}{h + R_E} \sin \lambda}{1 - \frac{R_E}{h + R_E} \cos \lambda} \right]$$

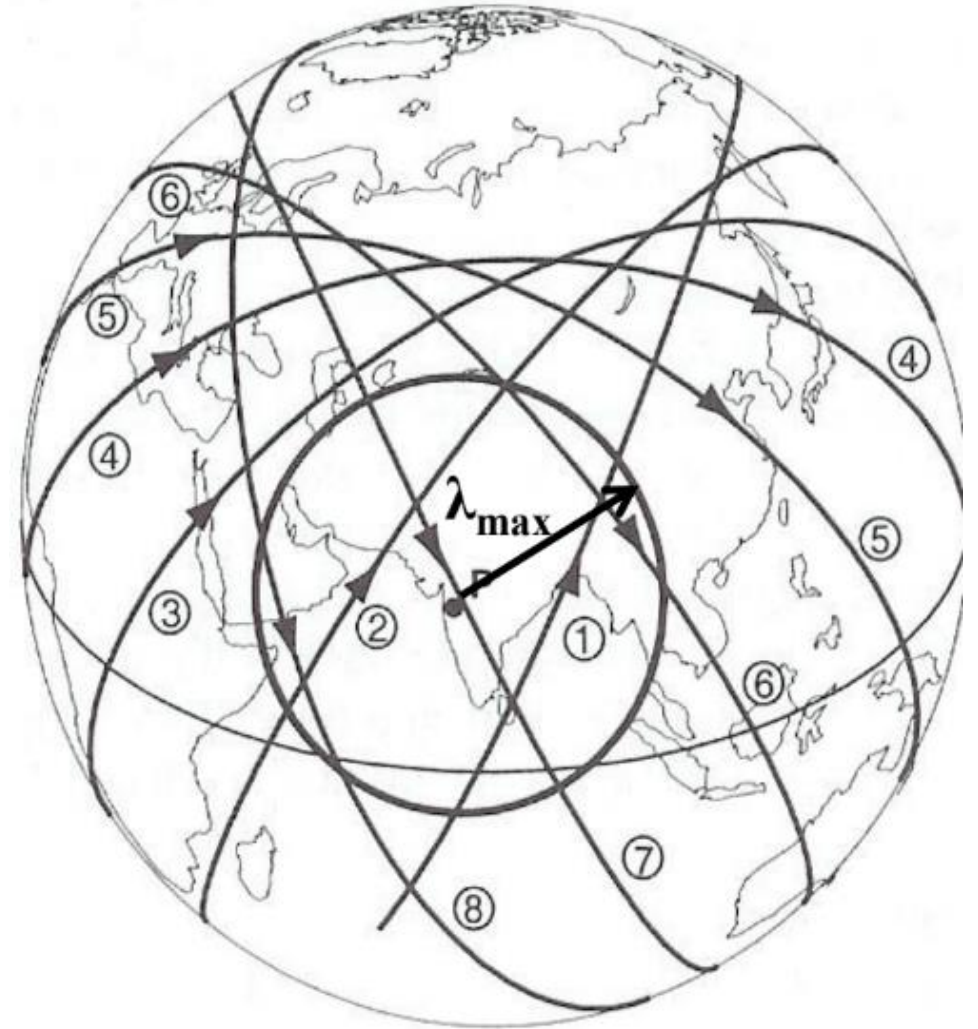
$$\varepsilon = \cos^{-1} \left[ \frac{\sin \eta}{\frac{R_E}{h + R_E}} \right]$$

Exercício:  
Quanto vale  $\lambda + \eta + \varepsilon$ ?



# Visada do satélite

$\lambda_{\max}$  é o ângulo central máximo da Terra alcançável selecionando apontamento apropriado do instrumento e atitude da nave espacial. Então, para cada ponto no tempo, um círculo sobre a superfície da Terra em torno do ponto subsatélite atual, com raio relativo a  $\lambda_{max}$ , determina a área de acesso para observações. Assim, uma largura de faixa de  $2\lambda_{\max}$  (um desvio angular de  $\lambda_{\max}$  em ambos os lados perpendicular ao segmento no solo) caracteriza a cobertura da superfície da nave espacial.

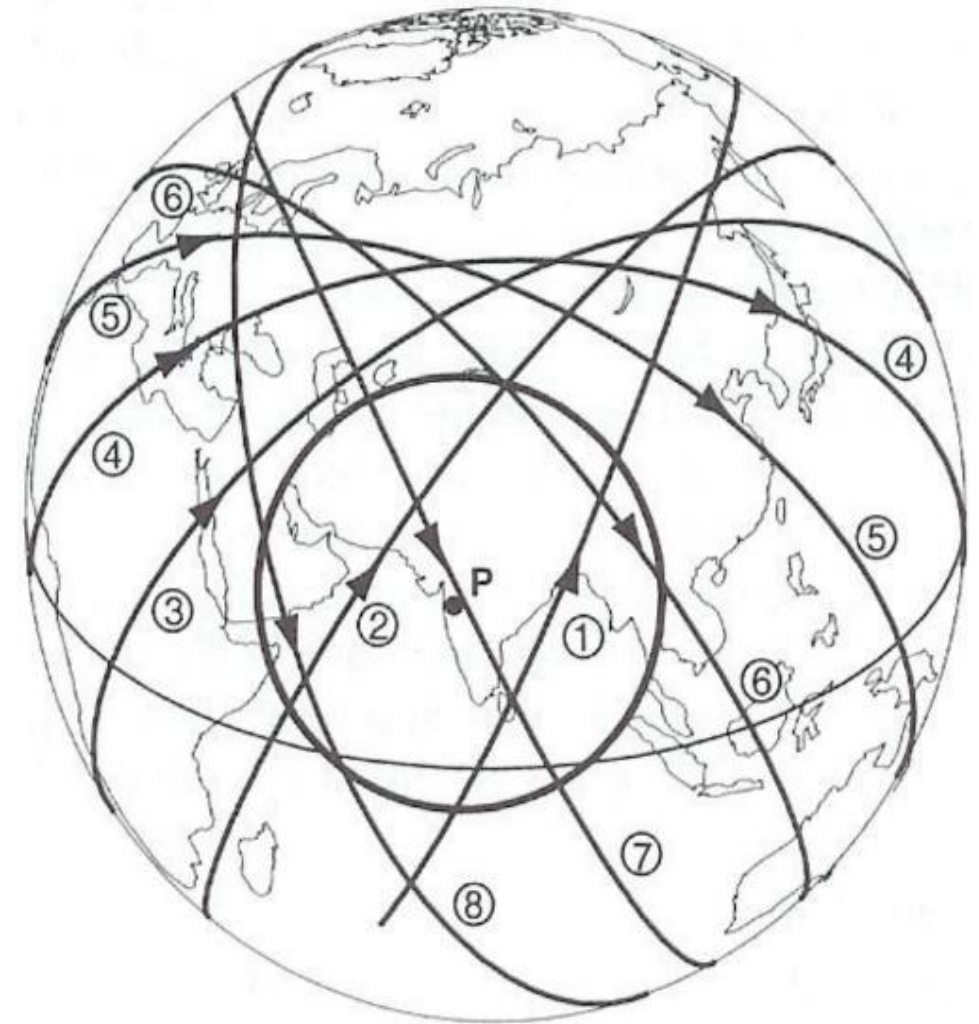


# Visada do satélite

O tempo de visada  $T_v$  de um ponto específico  $P$  da superfície depende crucialmente do ângulo off-track  $\lambda$  (o ângulo entre  $P$  e sua projeção perpendicular ao segmento de solo, necessariamente  $\lambda < \lambda_{max}$ ). Para uma órbita circular com o período  $T$ , o tempo de exibição é:

$$T_v = \frac{T}{180^\circ} \cos^{-1} \left[ \frac{\cos \lambda_{max}}{\cos \lambda} \right]$$

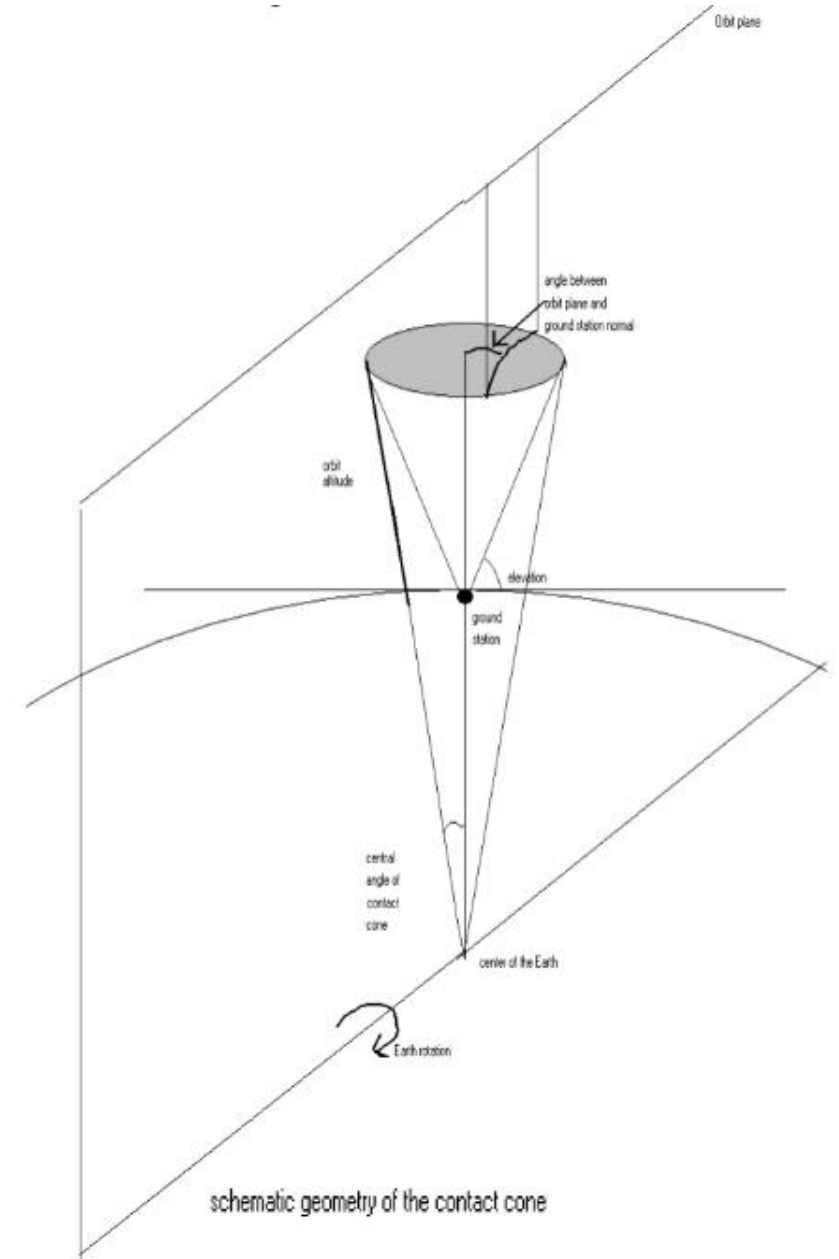
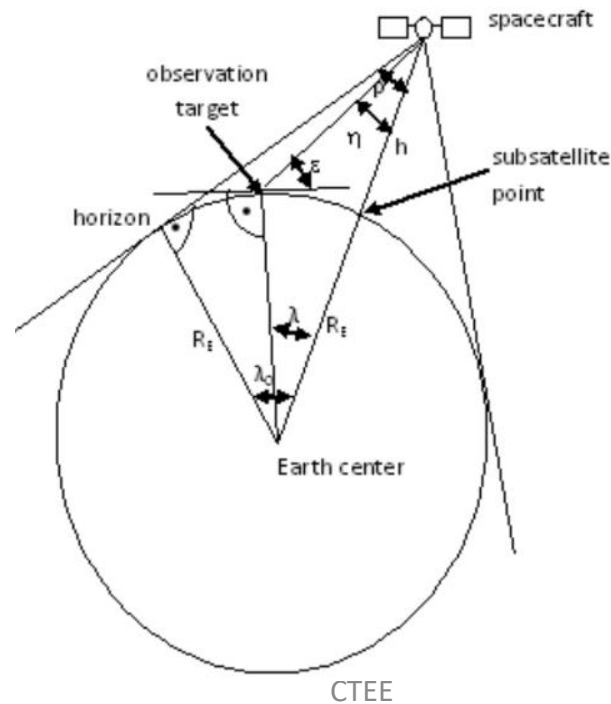
Onde  $2 \cos^{-1} \left[ \frac{\cos \lambda_{max}}{\cos \lambda} \right]$  é o alcance da anomalia verdadeira na qual  $P$  pode ser mantida no campo de visão.



# Visada da estação

Pontos alvo de superfície = estações terrestres

A área de visibilidade da estação terrestre é um cone com ângulo central que depende do ângulo de elevação  $\epsilon$ . Este cone cruza com uma bola, ao redor do centro da Terra, com raio  $R_E + h$  de órbita em um segmento circular.



# Visada da estação

- Se o percurso de voo atravessar este segmento, na entrada, bem como na saída, os parâmetros  $\lambda_{max}$ ,  $\eta_{max}$ ,  $\varepsilon_{min}$  aplicam-se, na aproximação mais próxima do caminho para a estação terrestre  $\lambda_{min}$ ,  $\eta_{min}$ ,  $\varepsilon_{max}$  ocorrem. Estes ângulos podem ser calculados com uma elevação mínima necessária conhecida da estação terrestre  $\varepsilon_{min}$  (dependendo da topologia do ambiente, geralmente é de aproximadamente  $5^\circ$ ).

$$\eta_{max} = \sin^{-1} \left[ \cos \varepsilon_{min} \frac{R_E}{R_E + h} \right]$$

$$\lambda_{max} = 90^\circ - \varepsilon_{min} - \eta_{max}$$

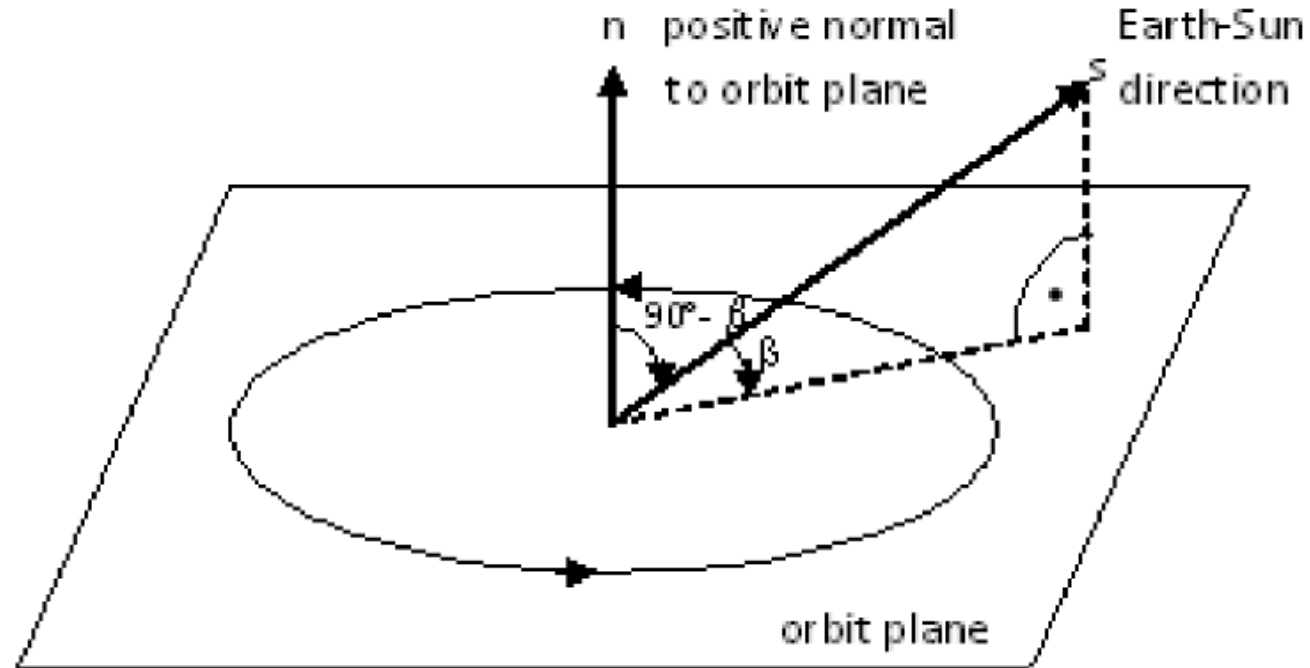
- Isso corresponde ao intervalo máximo  $D_{max}$  entre estação terrestre e satélite.

$$D_{max} = R_E \frac{\sin \lambda_{max}}{\sin \eta_{max}}$$

# Período de eclipse do satélite

- O ângulo  $\beta$  entre o vetor Terra-Sol e o plano da órbita do satélite é derivado usando o vetor normal  $\vec{n}$  para o plano da órbita:

- $\sin \beta = \vec{s} \cdot \vec{n}$

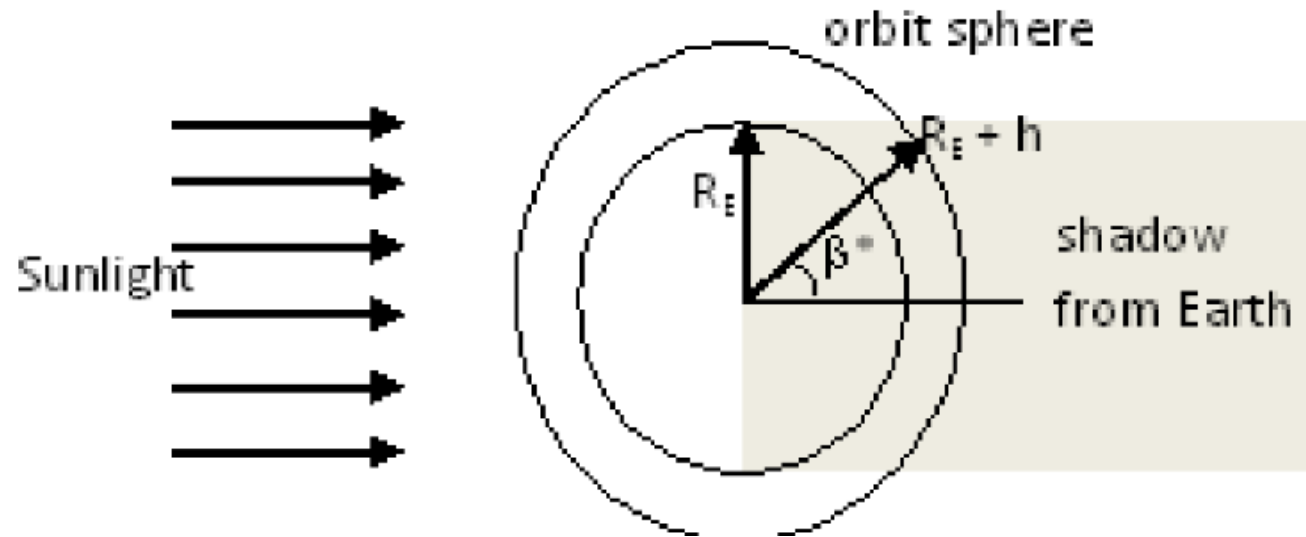




# Período de eclipse do satélite

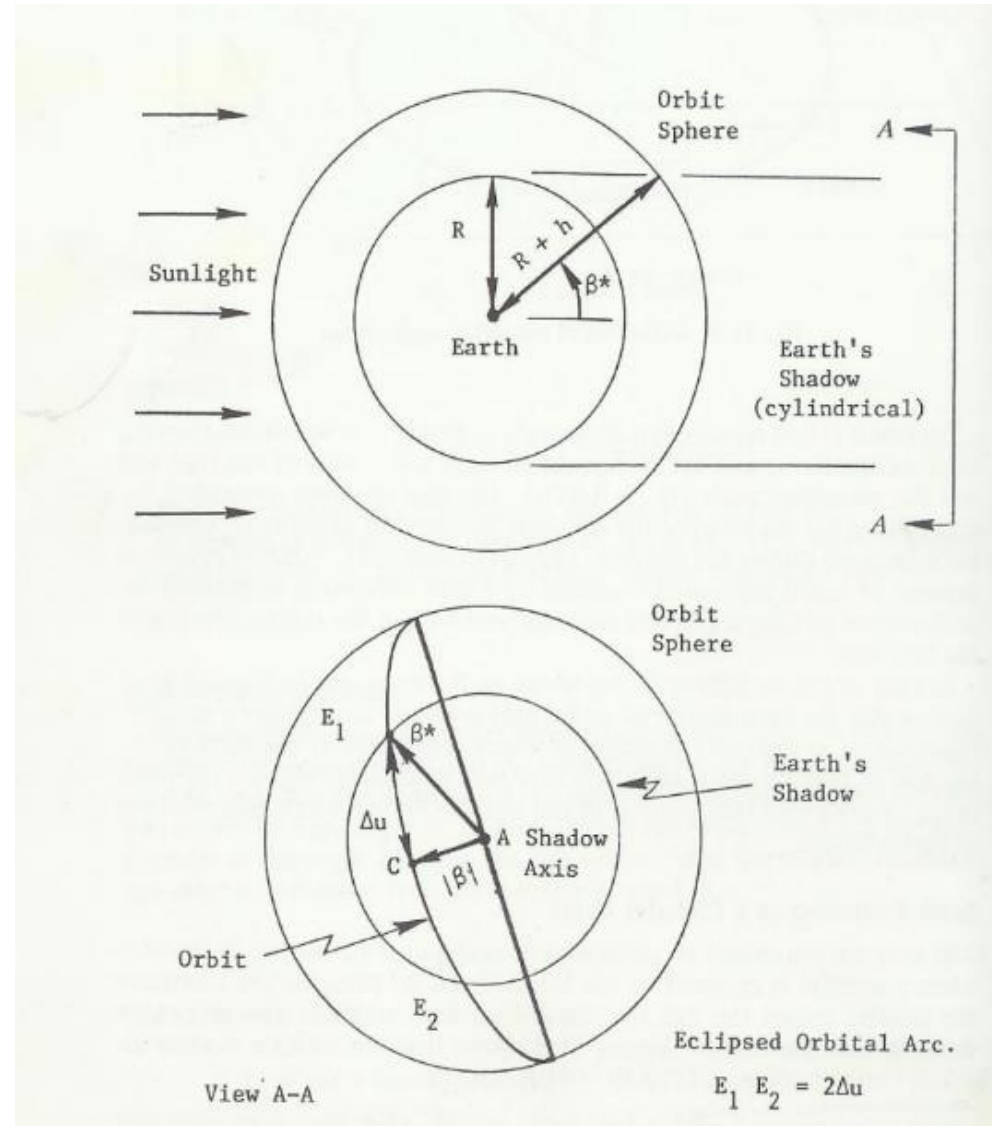
- Assumindo que a Terra gera uma sombra cilíndrica, como primeira aproximação, o raio angular central da Terra  $\beta^*$  na entrada no eclipse é:

$$\beta^* = \sin^{-1} \left[ \frac{R_E}{R_E + h} \right]$$



- O arco angular da órbita na sombra cilíndrica é  $\cos^{-1} \left[ \frac{\cos \beta^*}{\cos \beta} \right]$

# Período de eclipse do satélite



# Período de eclipse do satélite

- A fração eclipsada da órbita,  $F_e$ , depende do ângulo da órbita solar ( $\beta$ ) é:

$$F_e = \frac{\cos^{-1} \left[ \frac{\cos \beta^*}{\cos \beta} \right]}{180^\circ} = \frac{1}{180^\circ} \cos^{-1} \left[ \frac{\sqrt{h^2 + 2R_E h}}{(R_E + h) \cos \beta} \right]$$