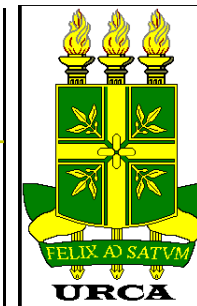


Universidade Regional do Cariri – URCA

Pró – Reitoria de Ensino de Graduação
Coordenação da Construção Civil
Disciplina: Topografia III



Sistema de Posicionamento por Satélite (GPS)



Renato de Oliveira Fernandes

*Professor Assistente
Dep. de Construção Civil/URCA
renatodeof@gmail.com*

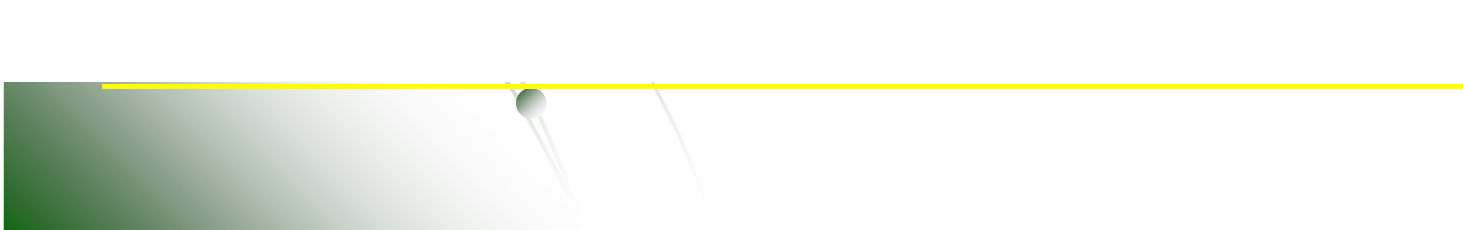
GPS



- Desenvolvido e mantido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos (DoD - *Department of Defence*);
- NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Timing And Ranging – Global Positioning System*), mais conhecido como GPS, é um sistema de posicionamento por satélites artificiais que proporciona informações de tempo e posição tridimensional em qualquer instante e lugar do planeta.



- Fins militares até 1980 (Ronald Reagan)
- Clinton em 2000 cancelou a disponibilidade seletiva (RMS 10 m)





Qual a precisão do GPS?

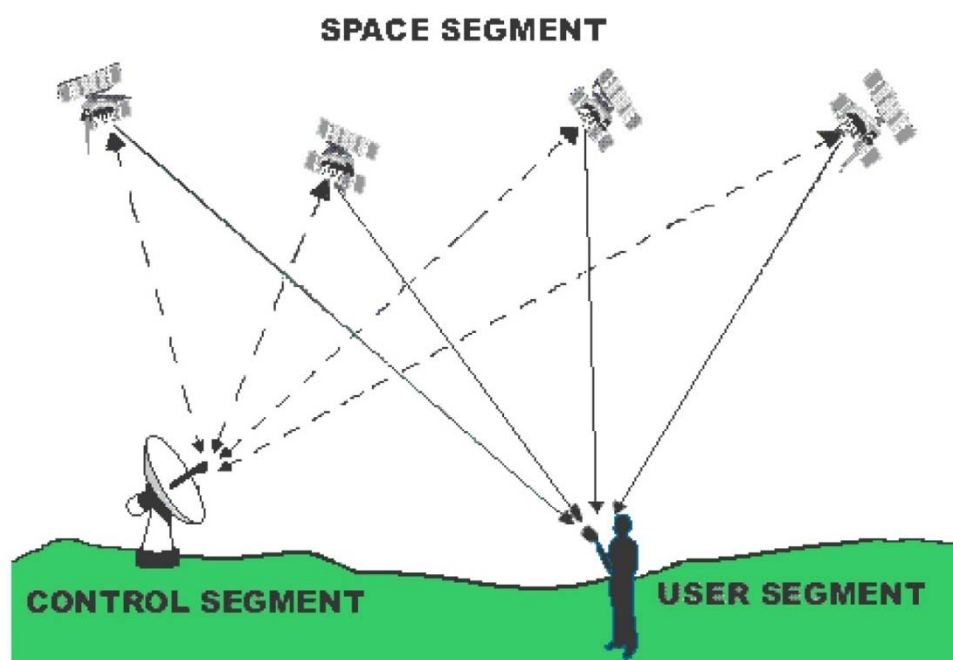
- Para cada nível de precisão é necessário receptores com características e tecnologia diferente.
- A precisão depende da localização dos satélites, topografia no local, distribuição de construções e árvores no entorno e hora do dia.





Segmentos do sistema GPS

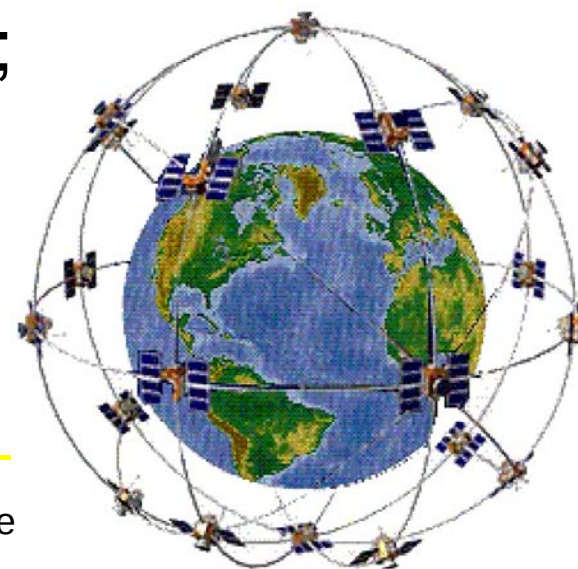
- Segmento espacial (envolve os satélites)
- Segmento de controle (monitoração, correção de todo sistema)
- Segmento do usuário (usuários e seus receptores)





Segmento espacial

- 24 satélites em 6 orbitas planas;
- 4 satélite em cada plano;
- 20.200 km de altitude;
- Inclinação de 55° em relação ao equador;
- Espaçados de 60° em longitude;
- Velocidade de viagem aproximadamente 13.917 km/h;
- Período de revolução de 11 horas e 58 min.

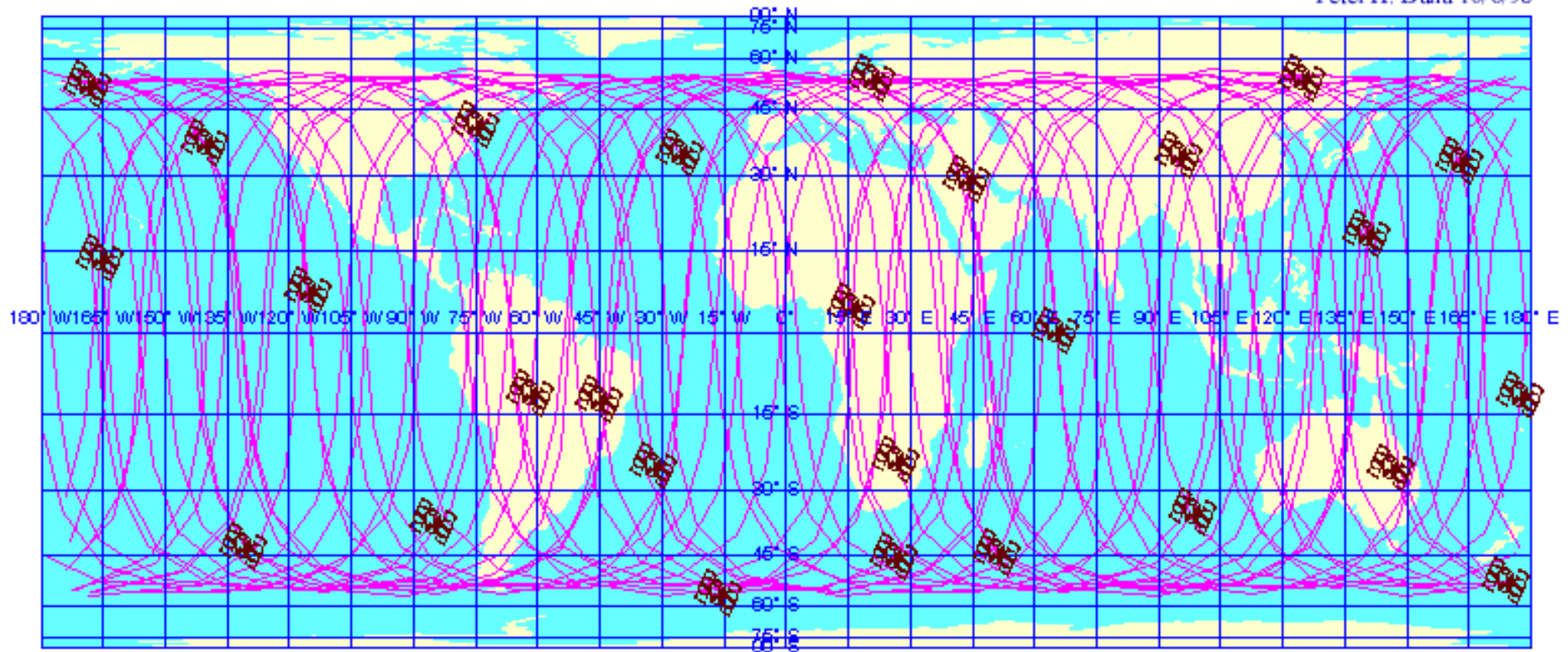


Constelação de 24 satélite

Segmento espacial



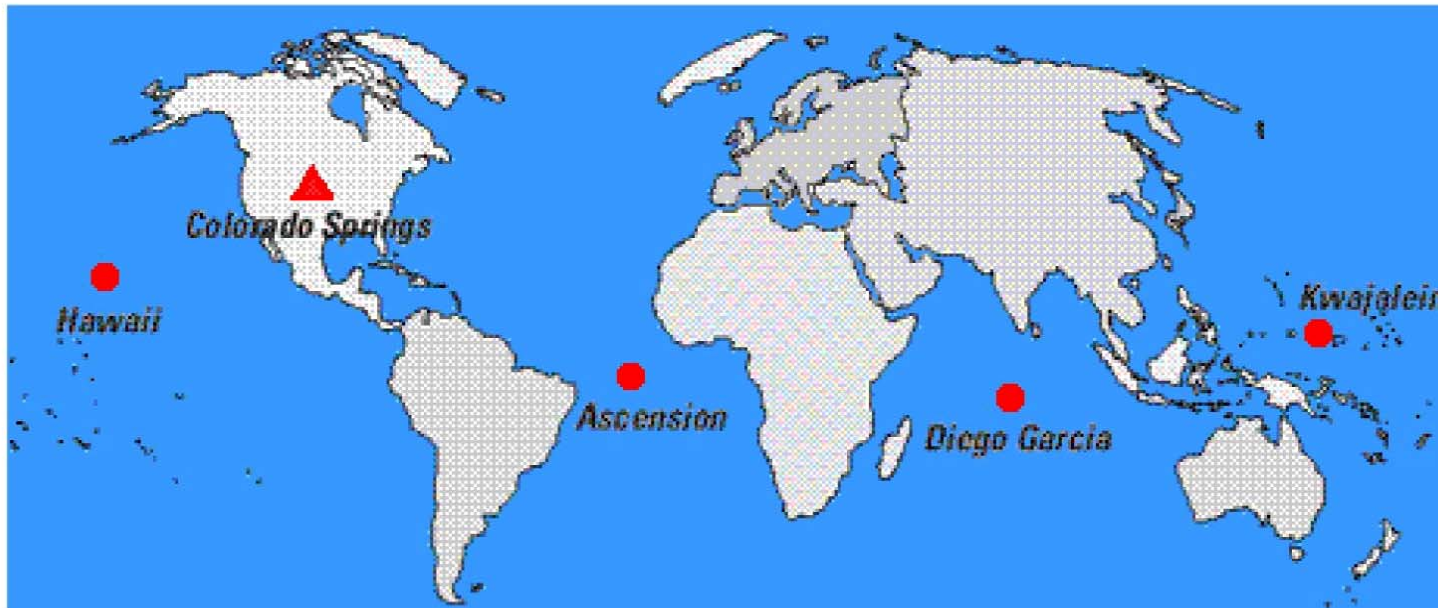
Peter H. Dana 10/6/98



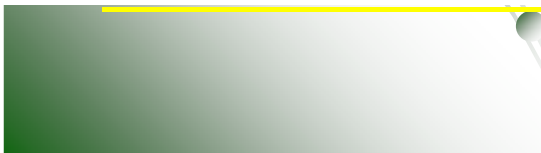
Global Positioning System Satellites and Orbits
for 27 Operational Satellites on September 29, 1998

Satellite Positions at 00:00:00 9/29/98 with 24 hours (2 orbits) of Ground Tracks to 00:00:00 9/30/98

Segmento de controle



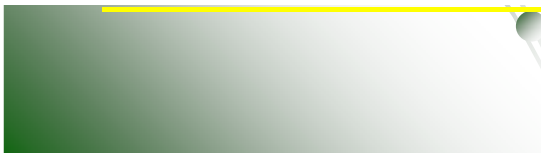
- São controladas pelas forças armadas americanas;
- São cinco estações de controle, sendo uma a principal (master) responsável por receber informações e aplicar fatores de correção;





Segmento de controle

- **Estações de monitoramento:** rastreiam continuamente todos os satélites da constelação NAVSTAR, calculando suas posições a cada 1,5 segundos.
- Através de dados meteorológicos, modelam os erros de refração e calculam suas correções, transmitidas aos satélites e através destes, para os receptores de todo o mundo.





Segmento de controle

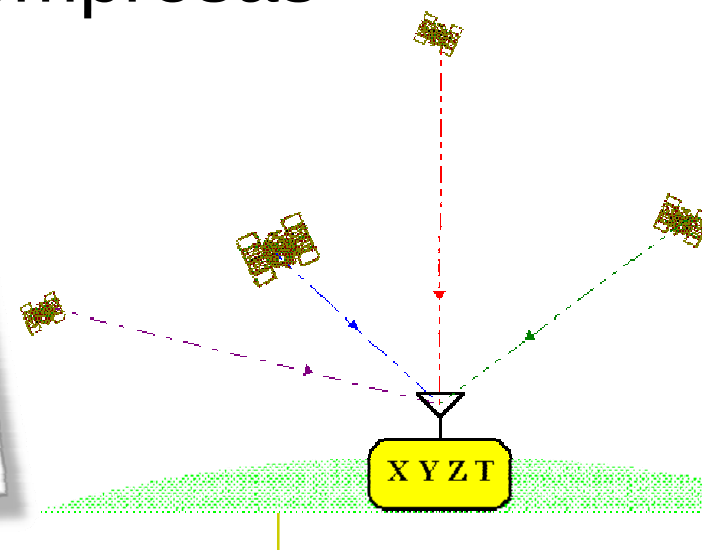
- Posição do satélite:
 - Orbita dos satélites e as dificuldades de localização (a lei de Kepler)
 - Não é possível determinar a localização de cada satélites com precisão, dessa forma o que se faz é a verificação periodicamente de sua localização (estações de monitoramento);





Segmento do usuário

- Usuários civis e militares;
- Os receptores não enviam sinal de retorno ao satélite;
- Um usuário não interfere no outro;
- Segmento influenciado por empresas privadas;





Característica do sinal

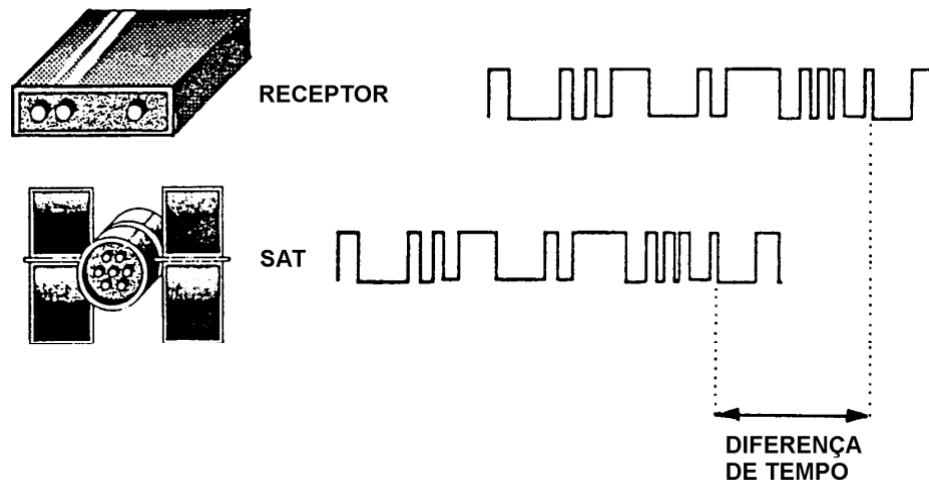
- O satélite transmite pequenos sinais de rádio (20 a 50 watt);
- Cada satélite transmite os sinais em duas bandas L chamada de L1 (link one) e L2 (link two);
 - L1 = 1575,42 MHz (código C/A e P)
 - L2 = 1227,60 MHz (código P)





Característica do sinal

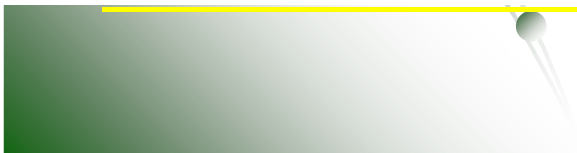
- Sobre as frequências são modulados a mensagem de navegação e os códigos pseudoaleatórios (código P e C/A)
- Na memória do receptor está uma réplica de cada um dos códigos de cada satélite.





Efemérides

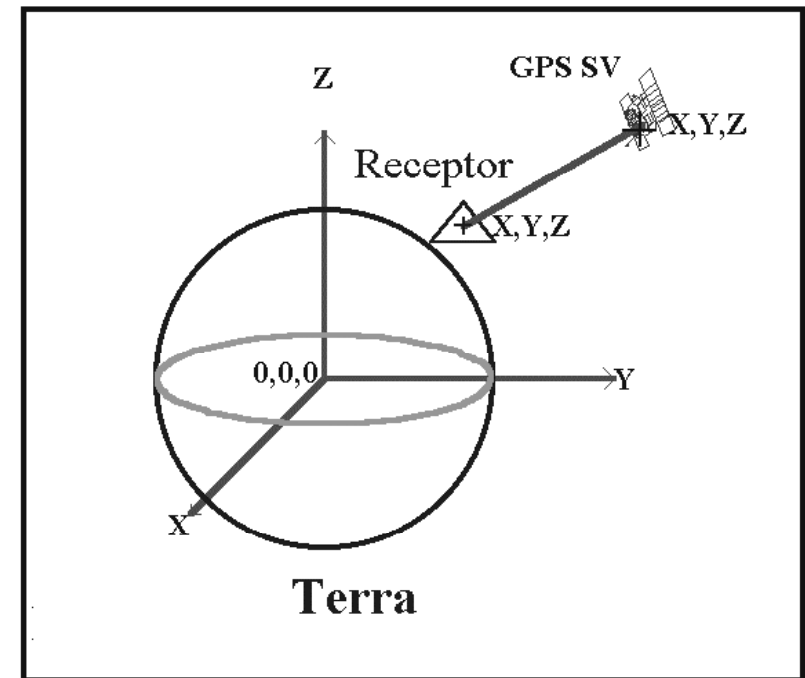
- São parâmetros orbitais que permitem determinar a posição do satélite no espaço.
 - Coordenadas X,Y e Z no WGS84
 - Efemérides transmitidas
 - Efemérides precisas (International GNSS Service) – para usuários que necessitam de melhor qualidade na posição dos satélites
- **Efemérides transmitidas é sempre melhor que efemérides transmitidas**



Determinando a posição usando satélite



- Para o receptor GPS determinar a posição este necessita da posição de cada satélite visível;
- A distância é determinada a partir do tempo que o sinal de rádio leva para chegar ao receptor de cada satélite visível;



Determinando a posição usando satélite



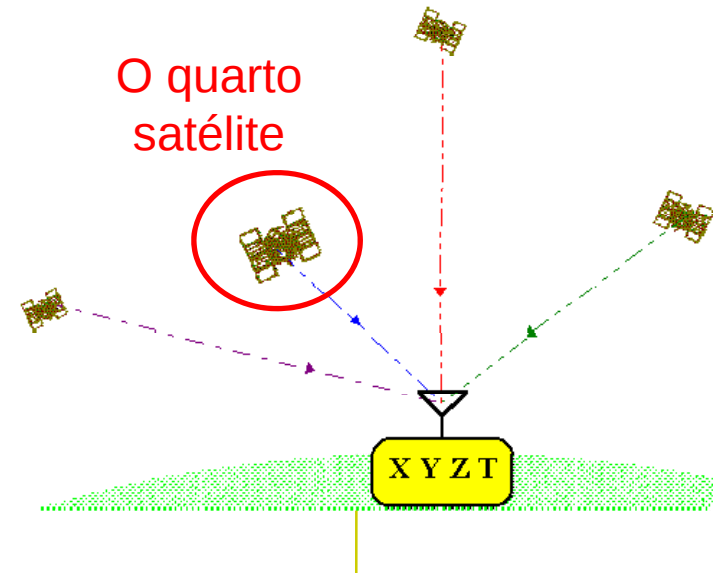
- A idéia básica:
 - velocidade = distância / tempo
 - distância = velocidade x tempo
 - Sinal do satélite corresponde a uma onda eletromagnética
 - Ondas eletromagnéticas viajam na velocidade da luz
 - Velocidade da luz no vácuo, $\cong 300.000 \text{ km/s}$



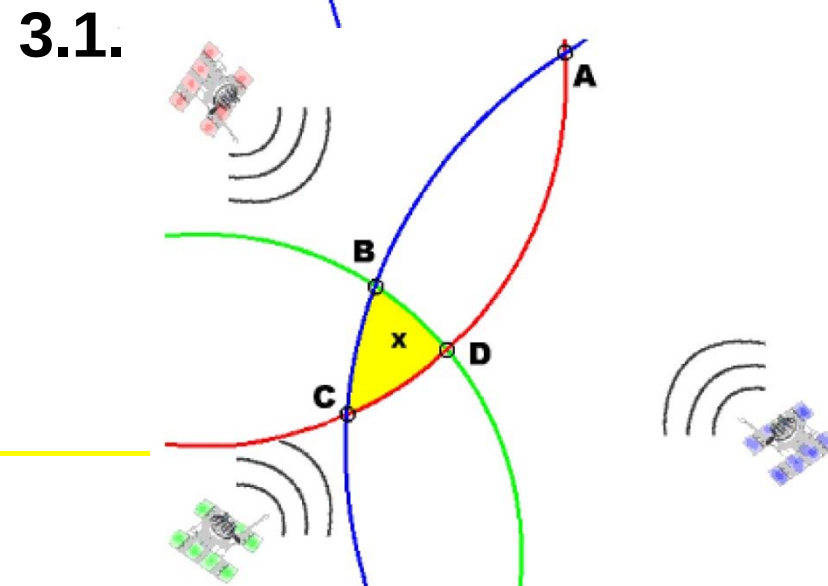
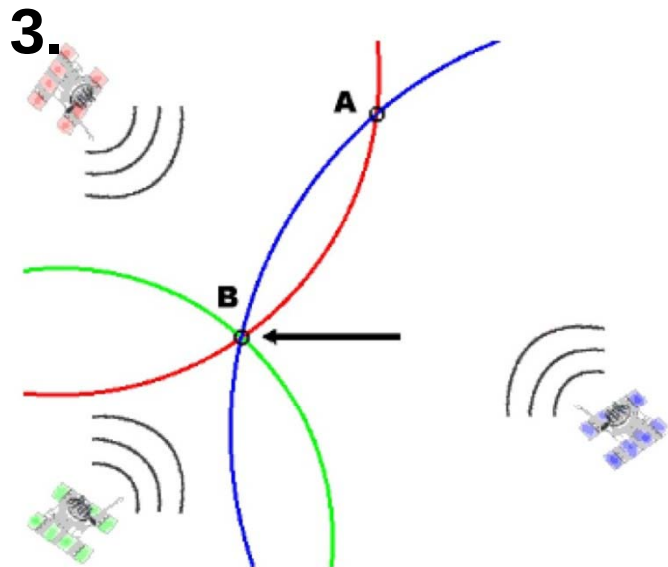
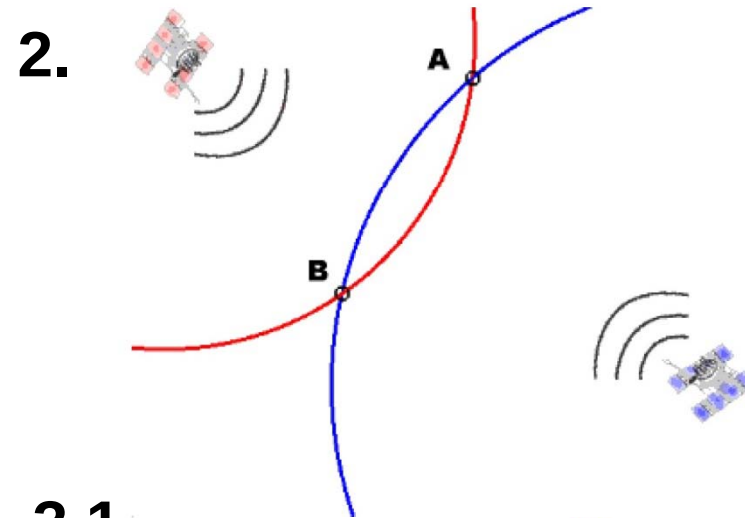
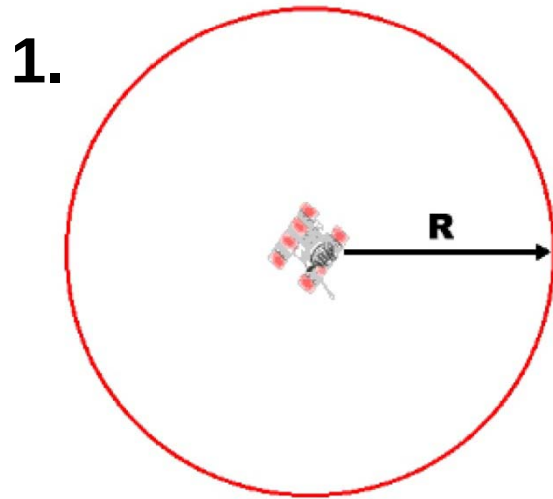
Determinando a posição usando satélite



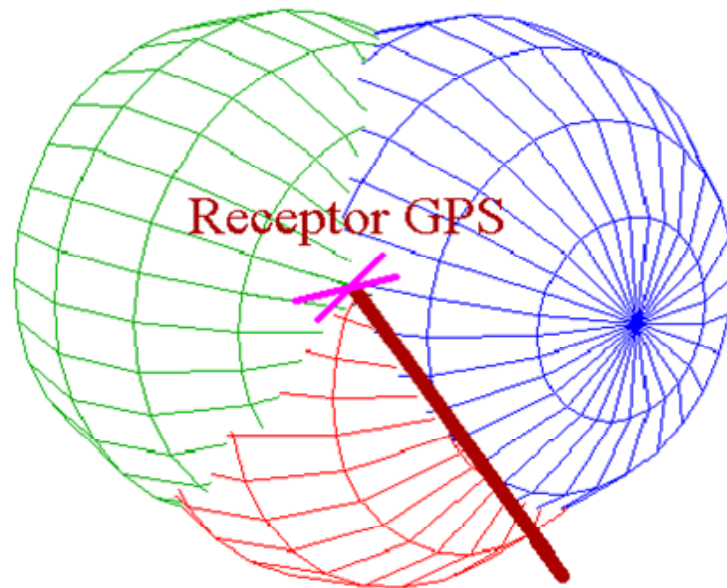
- **Sincronismos de relógios**
- Nos satélites:
 - Quatro relógios atômicos (custam cerca de US\$ 100.000)
 - O quarto satélite serve para ajustar o relógio do receptor com o do satélite
- Nos receptores:
 - Um relógio de quartzo



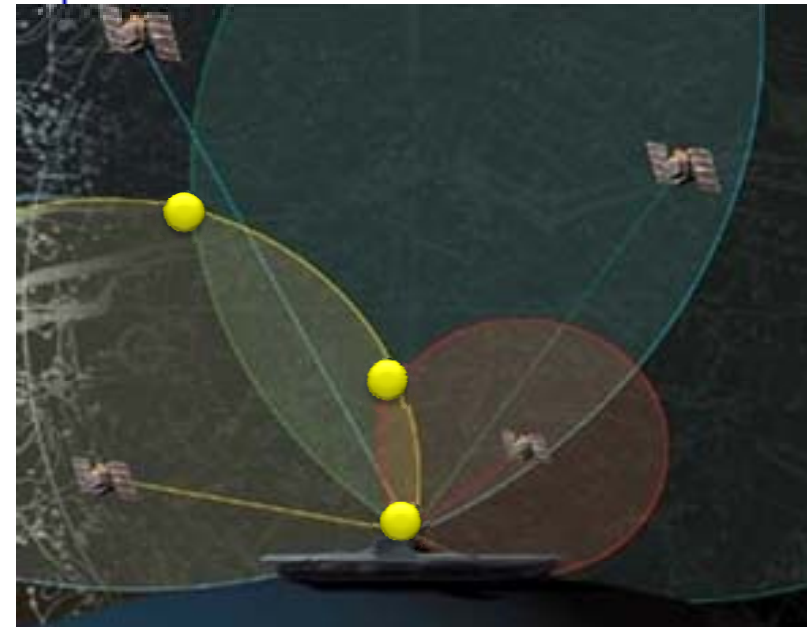
Determinando a posição usando satélite



Determinando a posição usando satélite



Intersecção do Sinal de 3 Satélites GPS





O tempo e o erro!

- Um erro de 0,1 seg. →
 - $(0,1 \text{ s}) \times (300.000 \text{ km/s}) = 30.000 \text{ km}$
- Os melhores GPS modernos medem o tempo com aproximação de 1 nanossegundo ($0,0000000001 \text{ s}$).
 - $(0,0000000001 \text{ s}) \times (300.000 \text{ km/s}) = 0,3 \text{ m}$





Degradação do sinal (erros)

Fonte	Erro
Satélite	Atraso entre as duas portadoras no hardware do satélite Erro de órbita Erro do relógio
Propagação do sinal	Refração troposférica Refração ionosférica Perdas de ciclos Multicaminho
Receptor/antena	Erro do relógio Erro entre os canais Variação do centro de fase da antena
Estação	Erro nas coordenadas Multicaminho

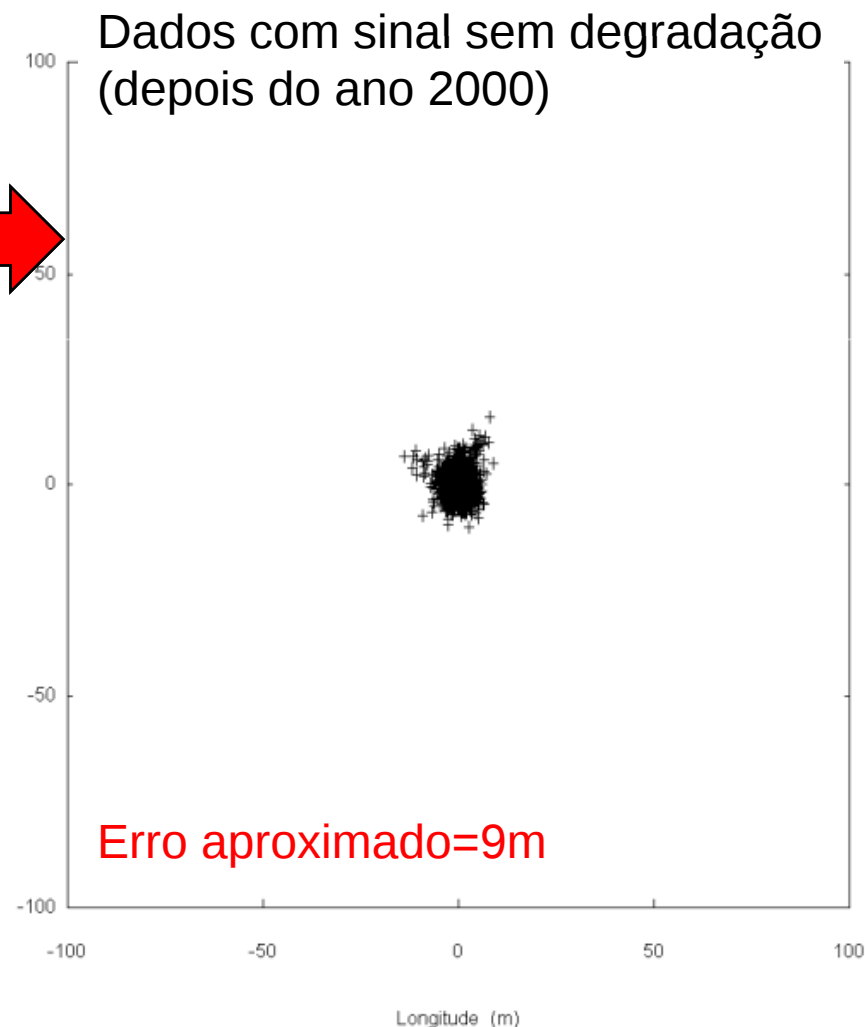
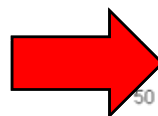
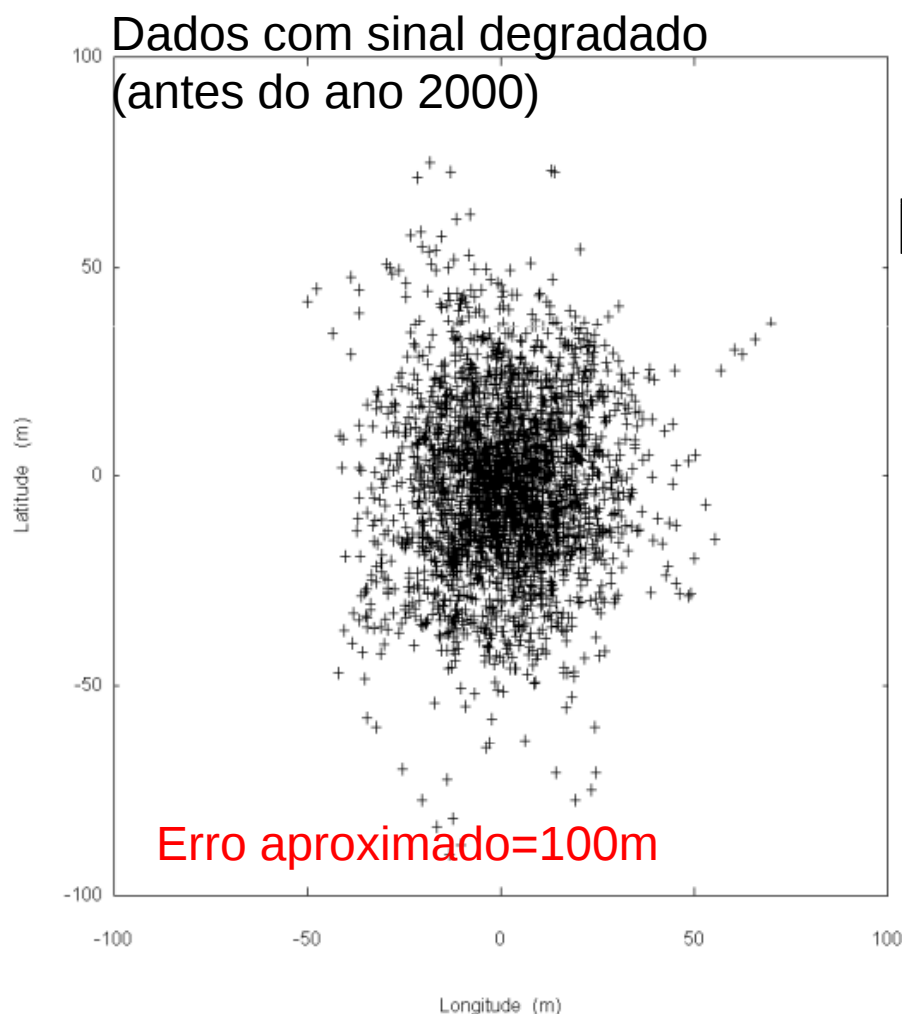


Degradação do sinal (erros)

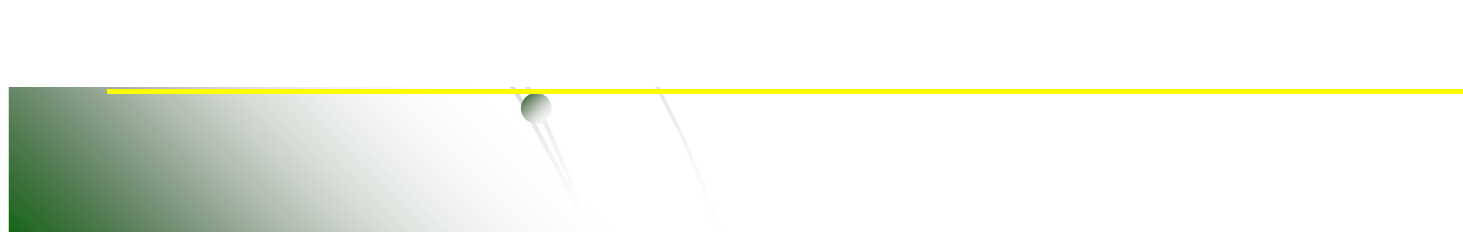
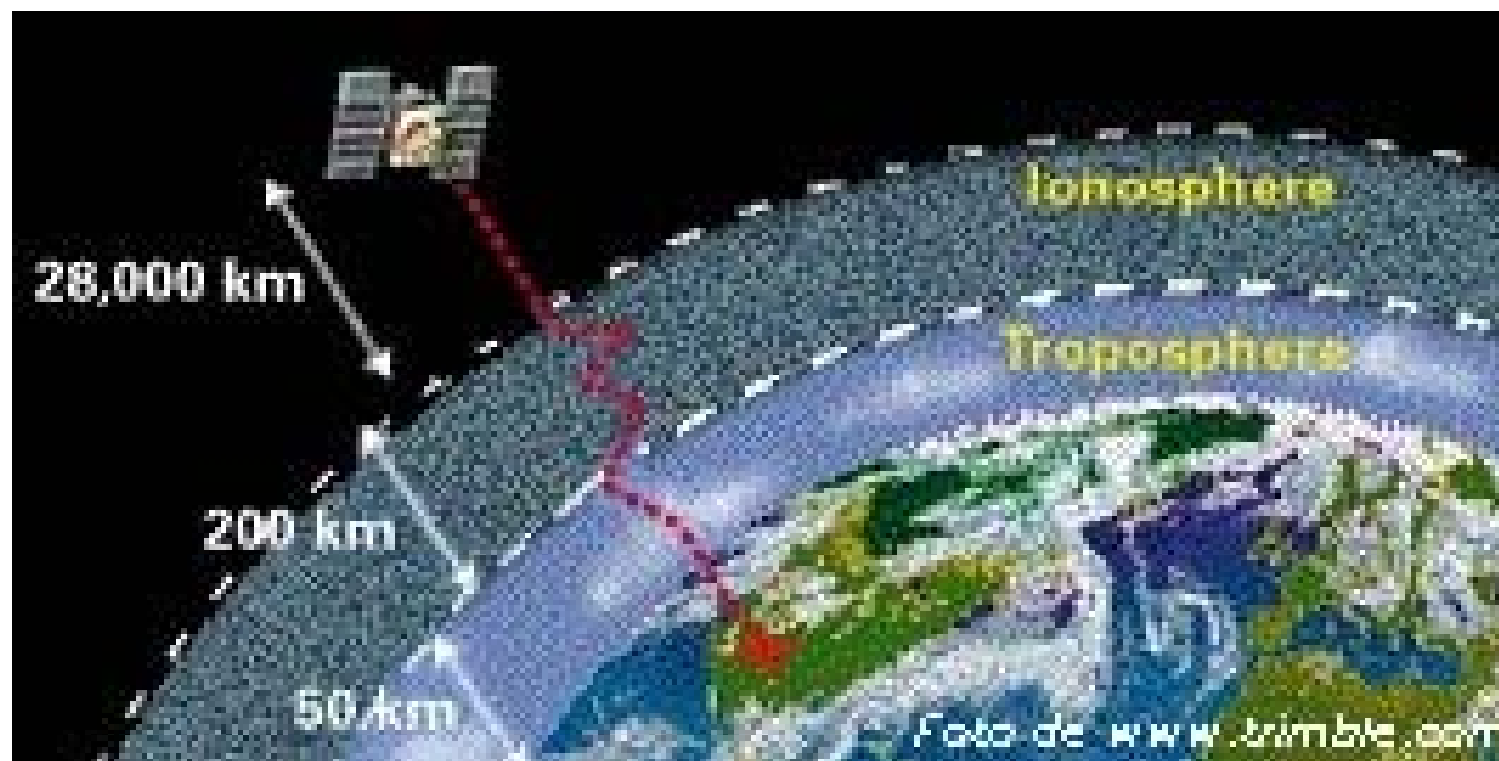
Fonte de erro	Erro típico ou máximo
Ionosfera	10 m
Troposfera	1 m
Sincronização do relógio do satélite	1 m
Interferência eletrônica	2 m
Caminhos múltiplos	0,5 m
Posição do satélite	1,0 m
Degradação intencional (disponibilidade seletiva)	0,0 m
Erro na rede (RMS)	10 m
Erro geométrico (GDOP)	4
Erro final RMS (4 x 10)	40 m
Erro típico atual	10,0 m



Degradação intencional do sinal

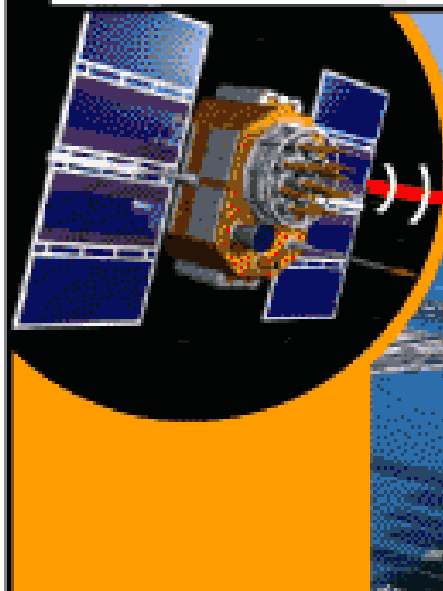


Fonte: IBGE (http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/ApresRBMC_IP.pdf)





1 Blocked Signal

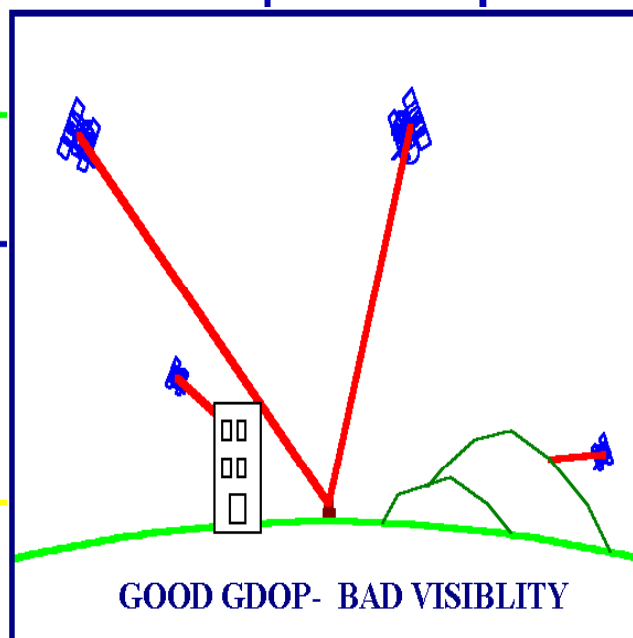
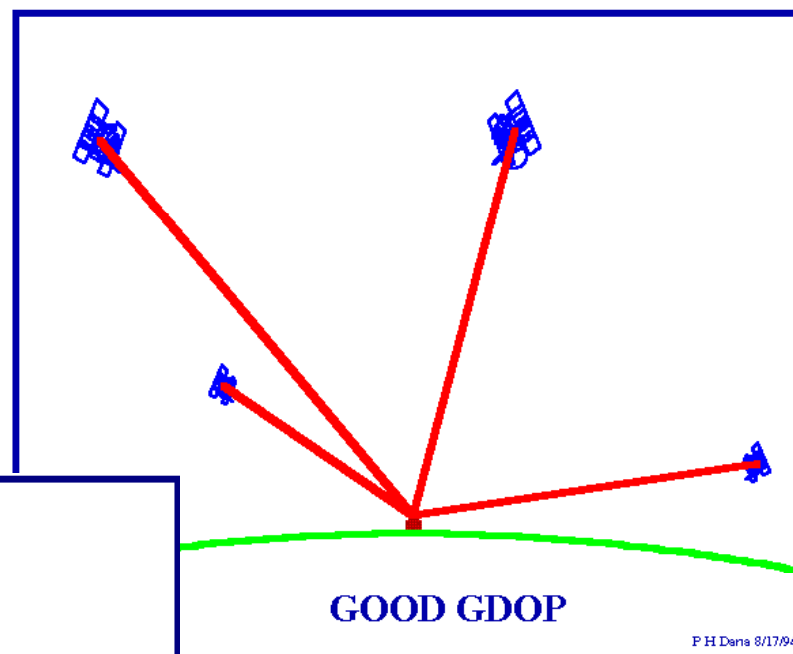
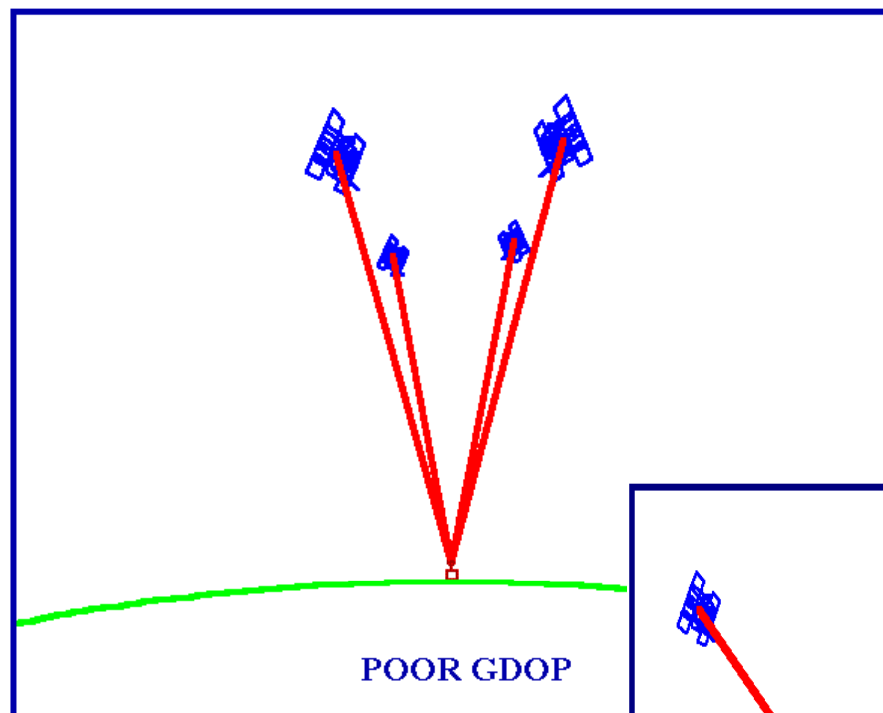


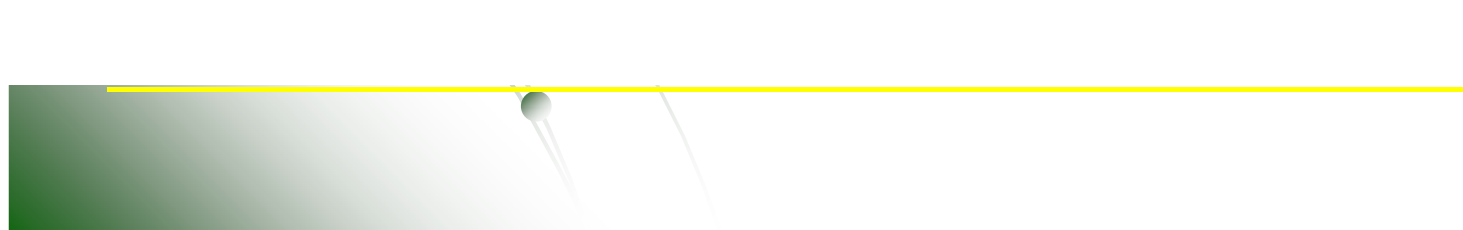
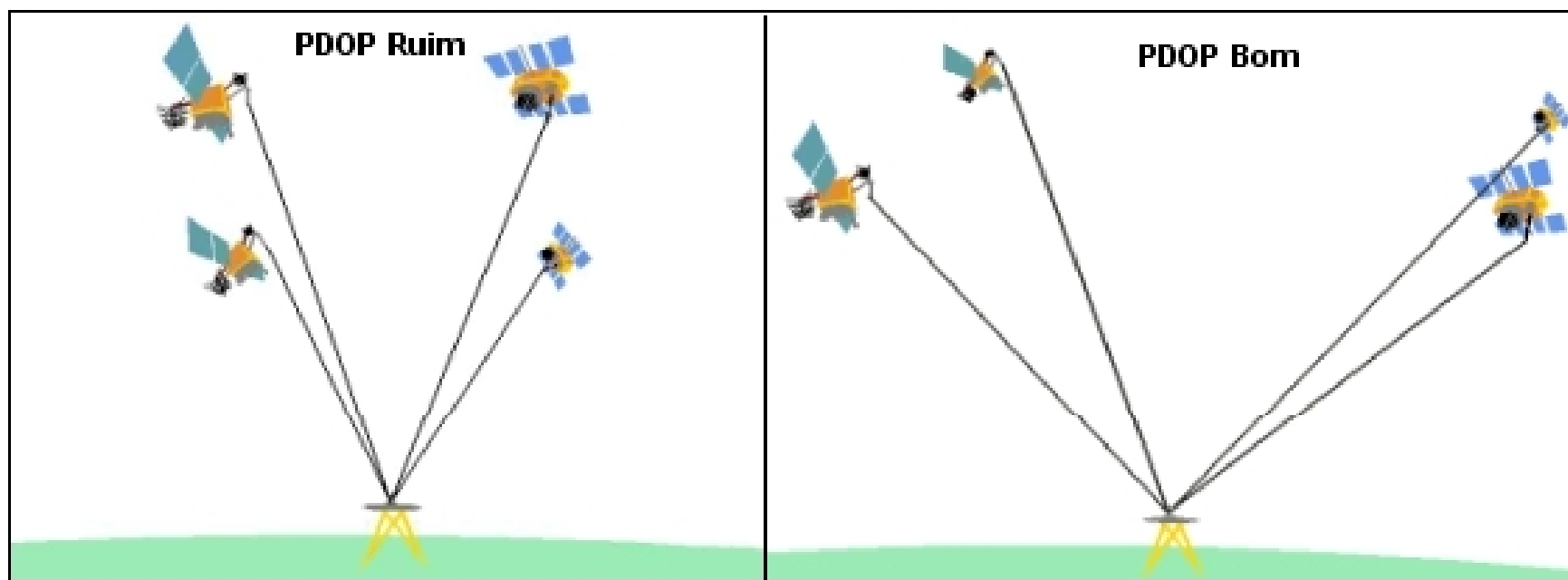
2 Multipath Error



3 Correct Signal









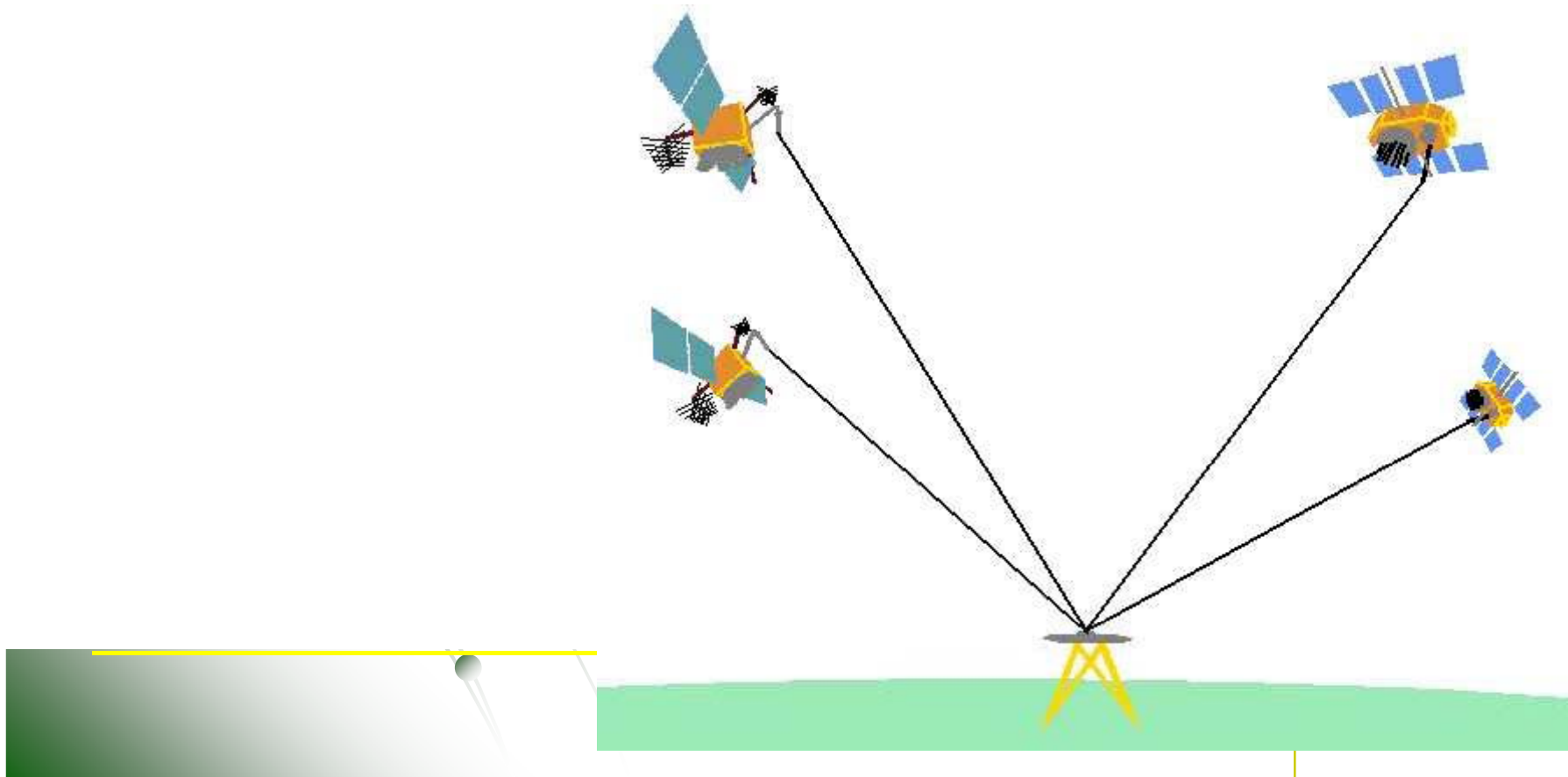
Técnica de posicionamento

- Posicionamento por ponto absoluto
- Posicionamento relativo
 - Estático, estático rápido e cinemático (RTK)
- Quanto a mobilidade do receptor
 - Estático
 - Cinemático
- Correção do erro
 - Em tempo real
 - Pós-processado

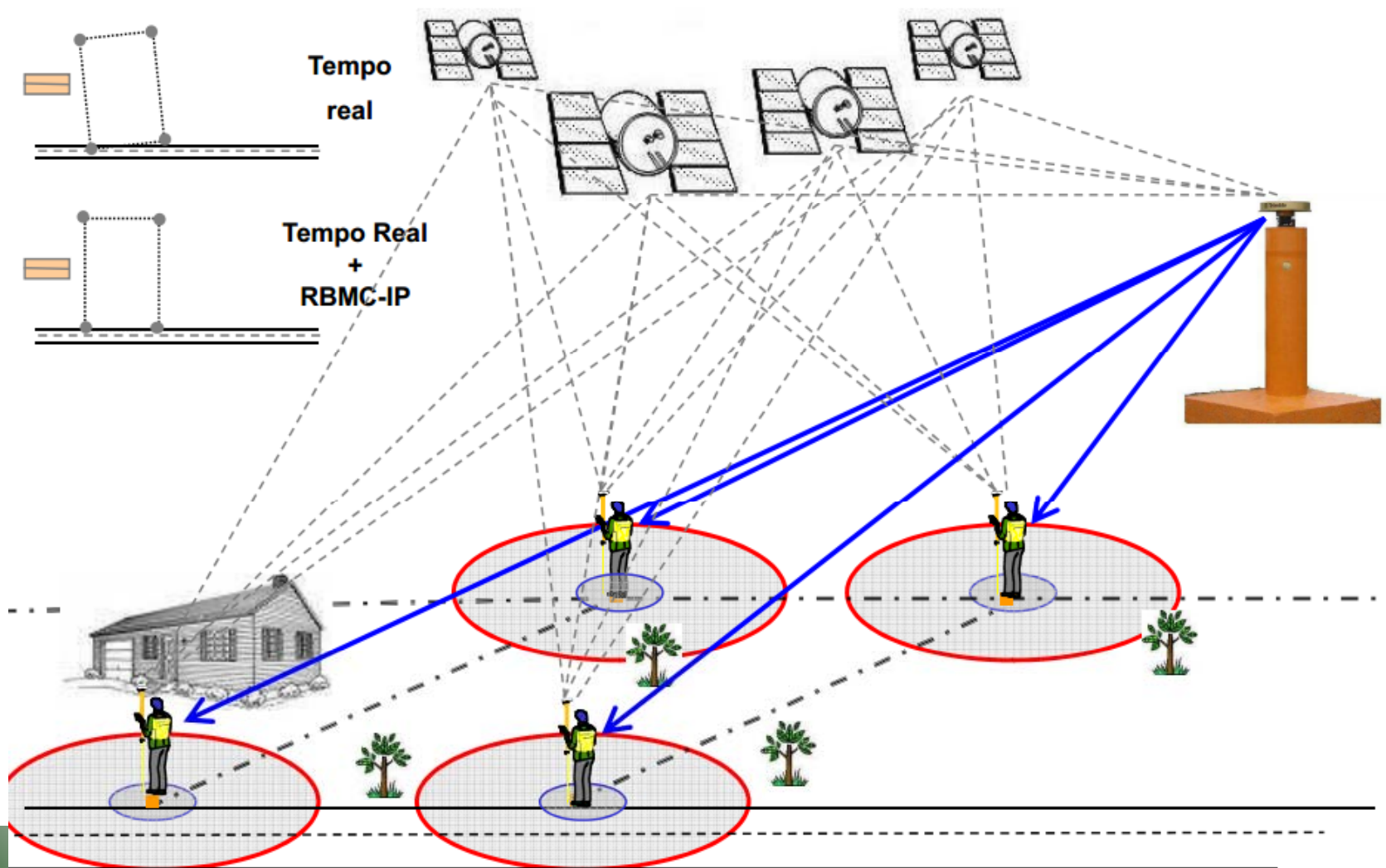
Posicionamento por ponto absoluto



- Um único receptor



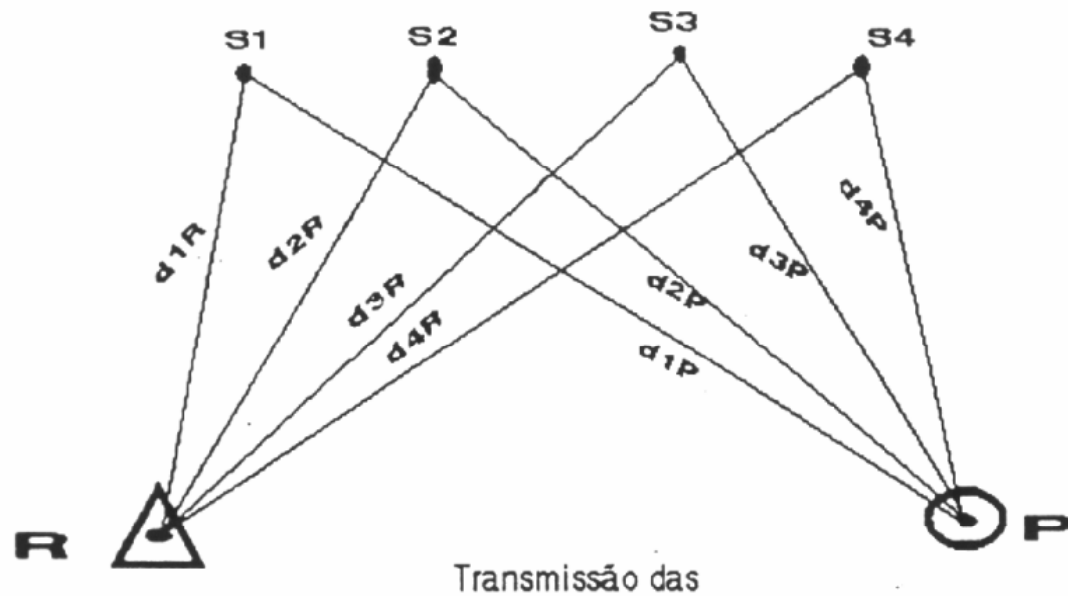
Método de Posicionamento relativo



Fonte: IBGE (http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/ApresRBMC_IP.pdf)

Estação no campus da URCA/CRATO

Posicionamento diferencial



$$\begin{aligned}\Delta x &= X_r - X_{rt} \\ \Delta y &= Y_r - Y_{rt} \\ \Delta z &= Z_r - Z_{rt}\end{aligned}$$

Correções Diferenciais

$$\begin{aligned}X_p &= X_{pt} + \Delta x \\ Y_p &= Y_{pt} + \Delta y \\ Z_p &= Z_{pt} + \Delta z\end{aligned}$$



Minimização do erro

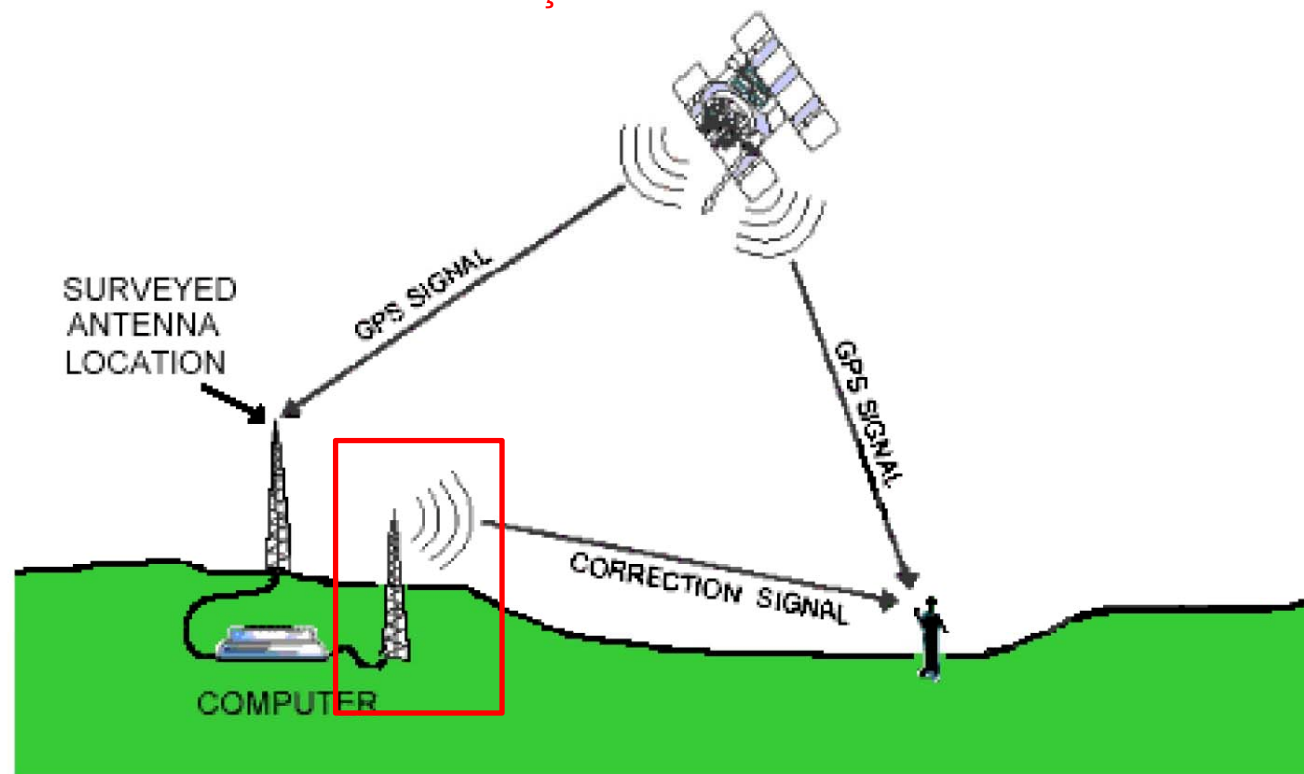
Posicionamento relativo



Erro da medição = Distância conhecida - distância teórica

Erro de sincronismo = Erro de medição / vel. da luz

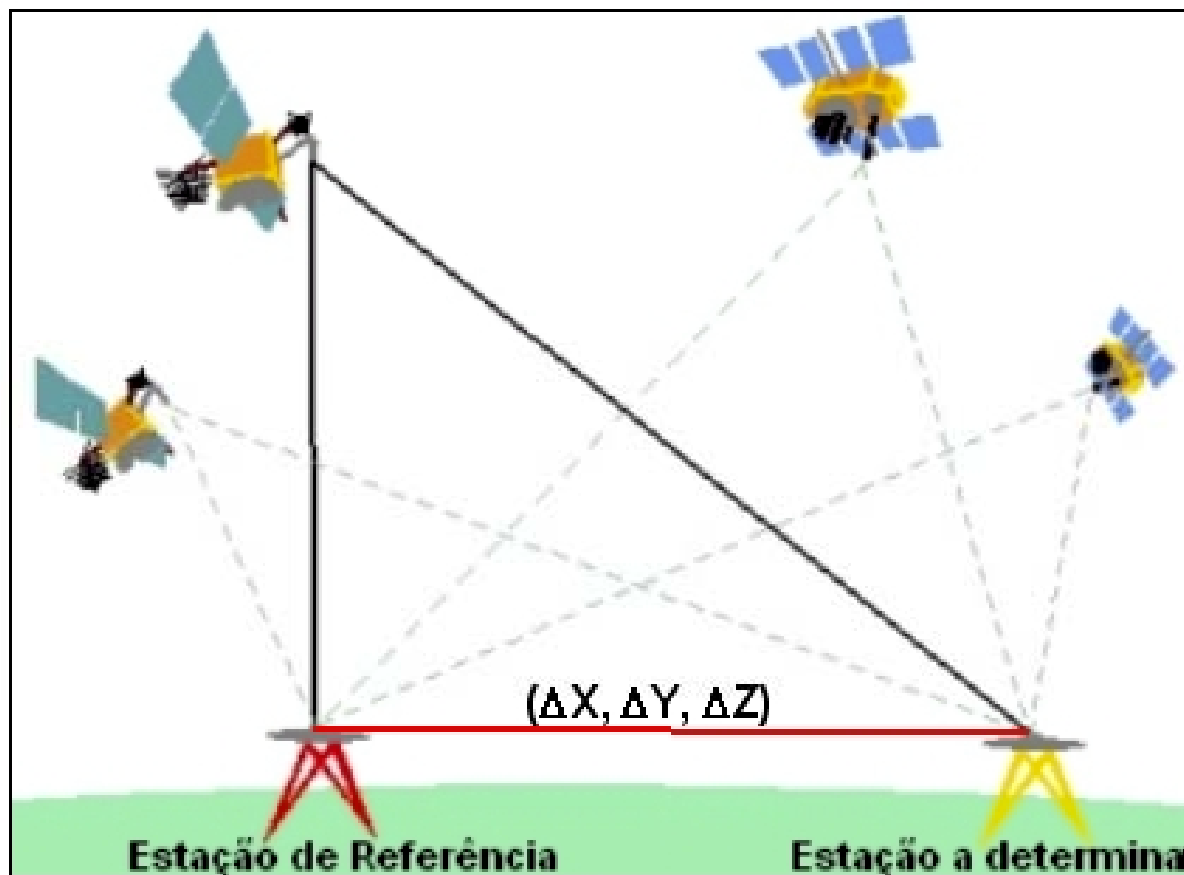
Erro de sincronismo da estação de referência = Erro de sincronismo da estação móvel





Minimização do erro

- A distância entre satélite e **estação de referência** é extremamente grande quando comparado com a estação de referência e estação móvel.



Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real (RTK) - IBGE



REDE RBMC-IP

