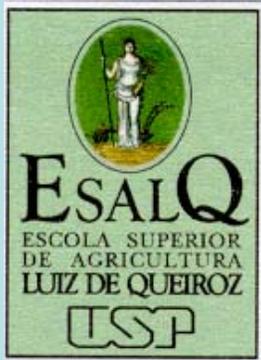
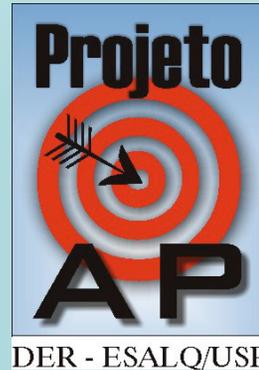


Aplicações de GPS de Navegação na Agricultura



José P. Molin
ESALQ/USP
jpmolin@esalq.usp.br



<http://www.esalq.usp.br/departamentos/ler/projap.htm>

Realização



Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão
www.projetoap.hpg.com.br/gmap



Grupo de Estudos “Luiz de Queiroz”

Apoio

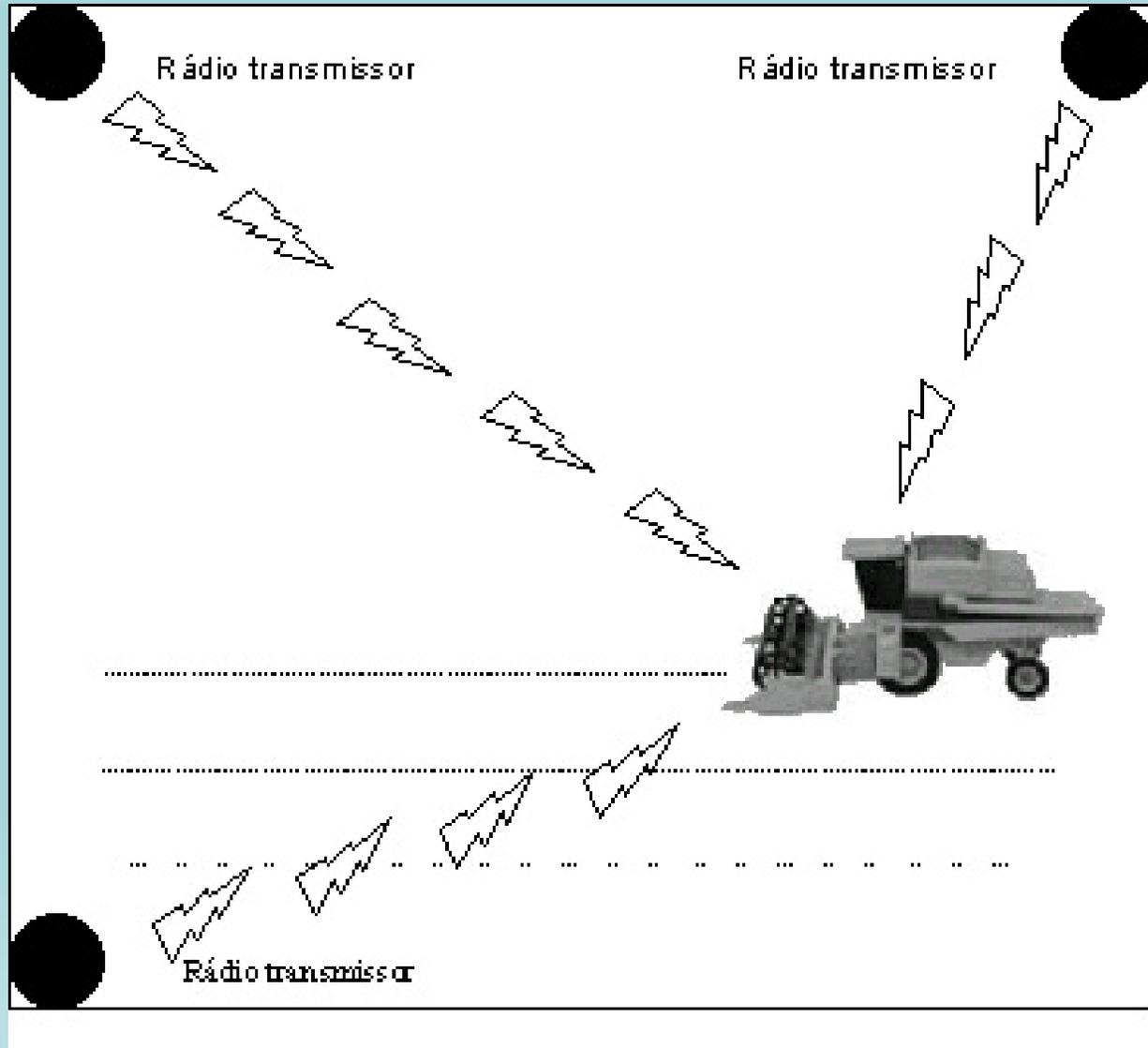


FURTADO & SCHMIDT LTDA
Sistemas e Equipamentos Topográficos

Sistemas Atuais

- GPS (Global Positioning System) – EUA.
- GLONASS (GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) – Russia.
- Novos sistemas anunciados: GALILEO (Comunidade Europeia).
- Sistema locais.

Posicionamento local por triangulação via rádios

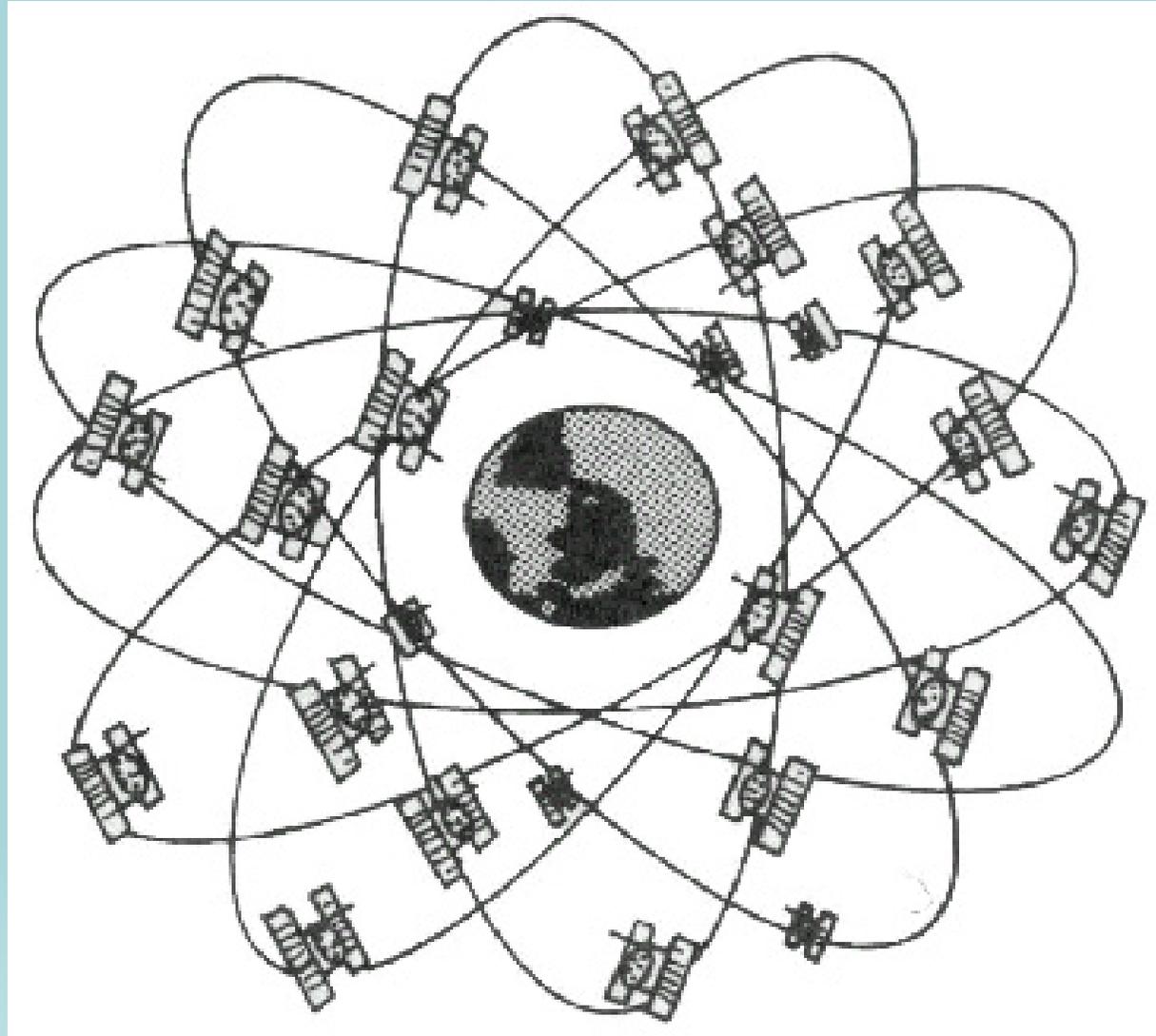


Como é o Sistema GPS

- Segmento Espacial
- Segmento de Controle
- Segmento do Usuário

Segmento Espacial

A Constelação do Sistema (GPS ou GLONASS)



Histórico

- Criado a partir de outros programas em 1973
- Satélites teste começaram a ser lançados em 1978 e os primeiros satélites operacionais em 1989
- Capacidade operacional inicial em 1993 e completa em 1995
- Desenvolvido para aplicações militares para EUA e aliados e para uso civil

Os satélites

Bloco II/IIA	Bloco IIR/IIR-M	Bloco IIF
Todos já lançados	Em produção	Em desenvolvimento
Primeiro em fevereiro de 1989	Lockheed/Martin	Boeing
Rockwell (hoje Boeing)	21 encomendados	6 já produzidos
20 operacionais	8 operacionais	Opção para mais 10
Vida útil média de 9,88/10,64 anos	1 destruído no lançamento	Vida média 11,0 anos
	Vida média 10,62/8,57 anos	

NOVO SATÉLITE GPS EM ÓRBITA

No dia 6 de novembro foi lançado na Estação de Força Aérea Cabo Canaveral, mais um satélite GPS o IIR-13, construído pela Lockheed Martins (LMT). Com mais este lançamento, a constelação de satélites em órbita passa a ser de 30 satélites para navegação global.

O IIR-13 foi o último desta série de satélites GPS enviado ao espaço pela Força Aérea Norte-americana, que lançará uma versão atualizada do IIR designado de IIR-M, que irá incorporar um segundo sinal GPS civil e dois novos militares.

O primeiro lançamento desta nova série de satélites IIR-M está marcado para o mês de maio de 2005.

(S&C News, Ano II - nº 33 - 12/11/2004)

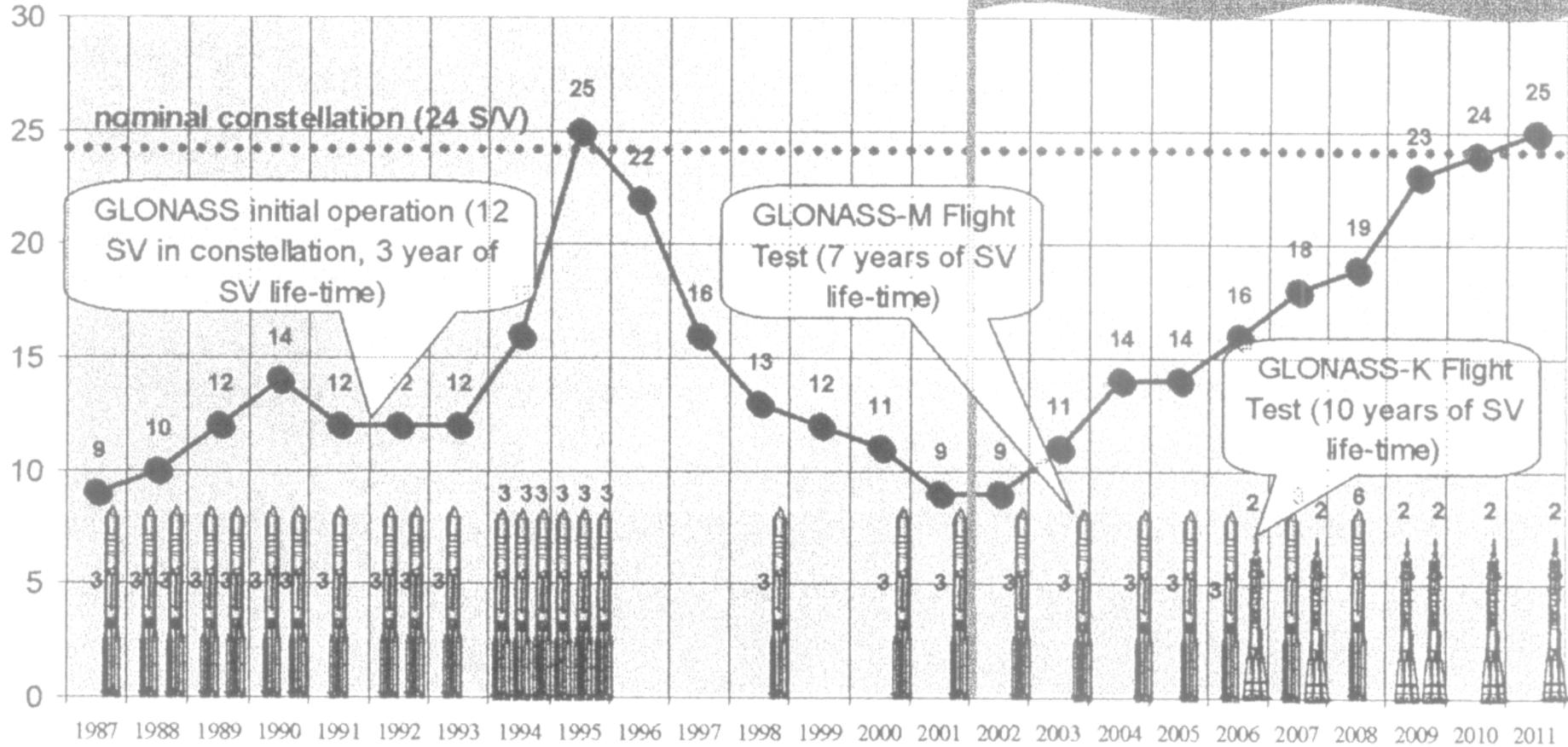
Especificações

GPS Performance Standard Metric	2 nd Edition SPS Signal Specification June 1995	SPS Performance Standard October 2001	Representative Performance
Global Accuracy All-in-View Horizontal 95% All-in-View Vertical 95%	100 meters 156 meters	13 meters 22 meters	4 meters 6 meters
Worst Site Accuracy All-in-View Horizontal 95% All-in-View Vertical 95%	100 meters 156 meters	36 meters 77 meters	6 meters 10 meters
Time Transfer Accuracy All-in-View Time Transfer User Solution 95%	340 nanoseconds	40 nanoseconds	7-10 nanoseconds
Constellation RMS User Range Error	NONE	6 meters	1.6 meters
Geometry (PDOP \leq 6)	95.87% global 83.92% site	98% global 88% site	99.9% global 98% site
Constellation Availability	NONE	95% Probability of 24 Operational Satellites	25-28 Healthy Satellites
Service Reliability Service Failure Threshold Service Failure Rate Service Failure Duration	99.97% global 99.79% worst site 500 m Horizontal Error 3/Year Up to 6 Hours/Failure	99.94% global 99.79% worst site 30 m SIS URE 3/Year Up to 6 Hours/Failure	100% global 100% worst site (28 July 2001 PRN22 Failure almost 2 hours of URE > 30 m

GLONASS

Federal GLONASS Program Implementation

Satellites in the Constellation

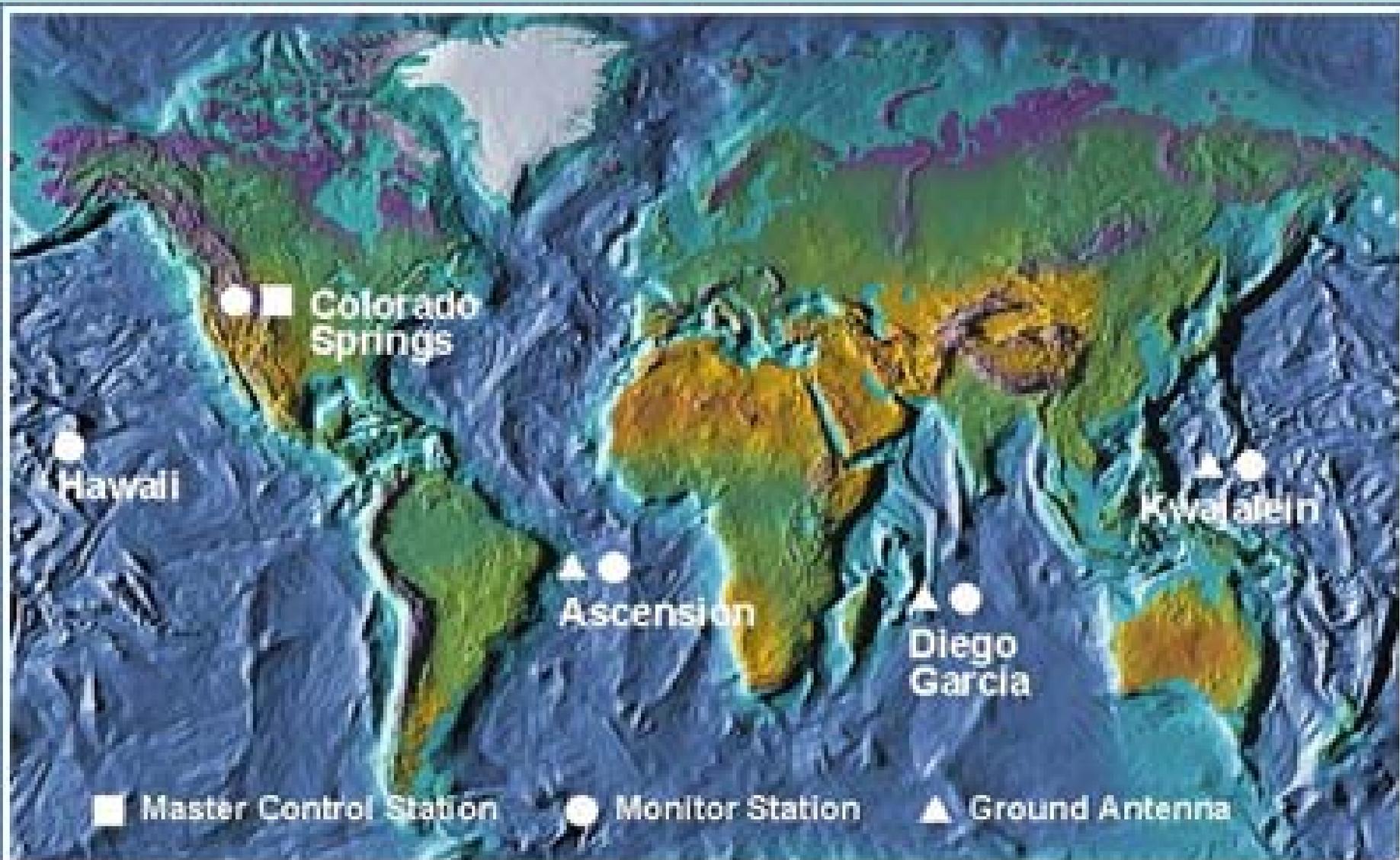


Segmento de Controle

Segmento de Controle

- Estação mestre de controle (Colorado Springs, Colorado, EUA)
- Estações de monitoramento espalhadas pelo mundo

Segmento de Controle



Segmento do Usuário



Funcionamento do GPS

Como Funciona o GPS

- Originalmente eram previstos 21 satélites ativos e mais três de reserva
- Cada satélite é equipado com emissores e receptores para enviar e receber ondas de rádio
- Os satélites giram a 20.200 km da Terra com um período de 12 h
- As ondas de rádio viajam na velocidade da luz, a 300.000 km/s no vácuo.

**O receptor mede o tempo gasto
para que a onda chegue até ele**

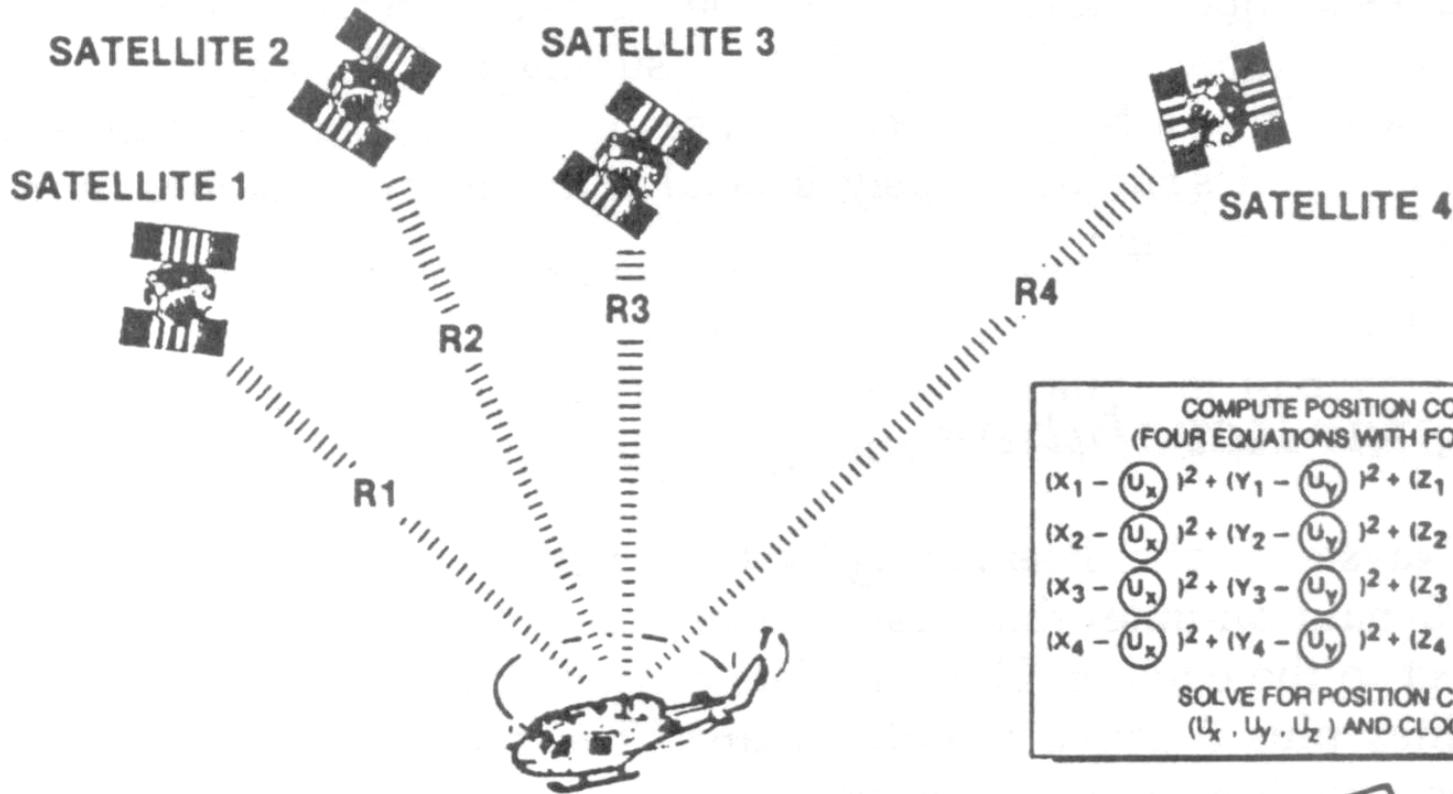
$$d = c \cdot t$$

d = distância do satélite ao receptor

c = velocidade da luz

t = tempo gasto

Solução Matemática para o GPS



COMPUTE POSITION COORDINATES
(FOUR EQUATIONS WITH FOUR UNKNOWN)

$$(X_1 - U_x)^2 + (Y_1 - U_y)^2 + (Z_1 - U_z)^2 = (R_1 - C_B)^2$$

$$(X_2 - U_x)^2 + (Y_2 - U_y)^2 + (Z_2 - U_z)^2 = (R_2 - C_B)^2$$

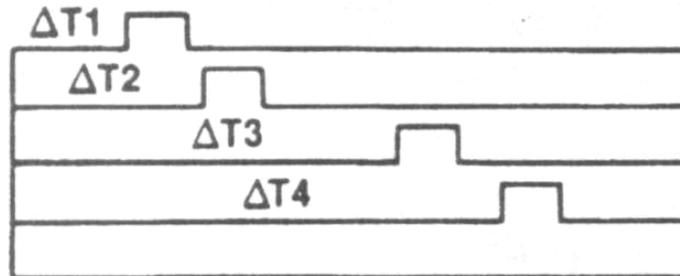
$$(X_3 - U_x)^2 + (Y_3 - U_y)^2 + (Z_3 - U_z)^2 = (R_3 - C_B)^2$$

$$(X_4 - U_x)^2 + (Y_4 - U_y)^2 + (Z_4 - U_z)^2 = (R_4 - C_B)^2$$

SOLVE FOR POSITION COORDINATES
(U_x, U_y, U_z) AND CLOCK BIAS (C_B)

COMPUTE FOUR PSEUDO-RANGE VALUES

TIME SIGNALS
TRANSMITTED
BY SATELLITE



$$R_1 = C \times \Delta T_1$$

$$R_2 = C \times \Delta T_2$$

$$R_3 = C \times \Delta T_3$$

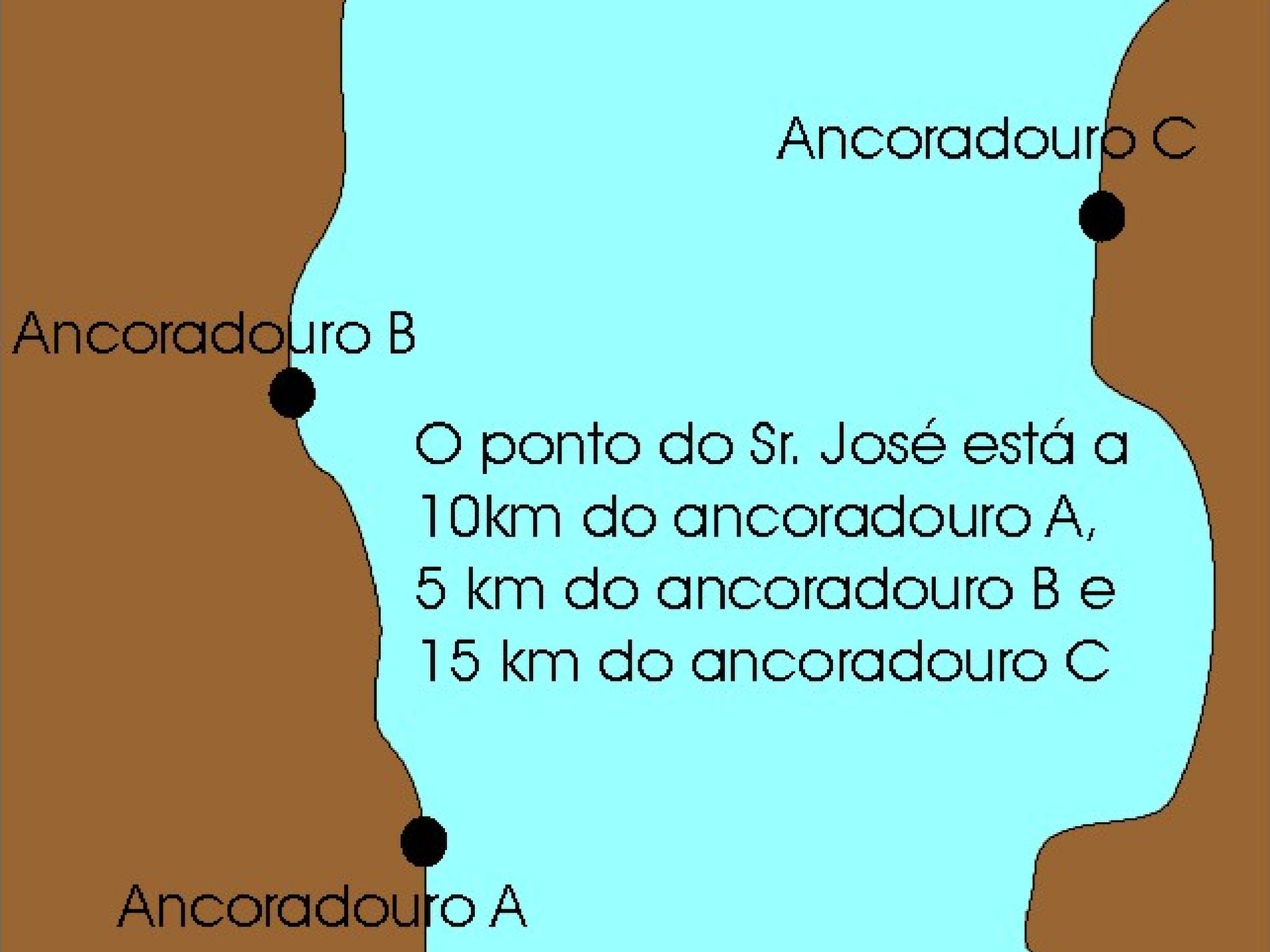
$$R_4 = C \times \Delta T_4$$

(C = SPEED OF LIGHT)

- Os satélites transmitem sinais nas bandas L1 e L2.
- A banda L1 é transmitida na frequência de 1575,42 MHz, e carrega dois códigos: “Coarse/Aquisição” (C/A) e código Preciso (P).
- A banda L2, transmitida a 1227,60 MHz, possui apenas o código P, que “podia” ser recebido apenas por aparelhos militares.
- O uso das duas bandas, L1 e L2 e dos códigos por elas produzidos (Serviço Preciso de Posicionamento - PPS), “era” de uso militar.
- O sinal livre é o C/A e é conhecido como Serviço de Posicionamento Padrão (SPS).

Vamos acompanhar um exemplo:

- O seu José é um pescador e tem um barco que navega a 60 km/h (1 km/min); costuma pescar numa represa com três ancoradouros e tem seu lugar preferido para pescar.
- Este lugar fica a 10 minutos do ancoradouro A, 5 minutos do ancoradouro B e 15 minutos do ancoradouro C.
- O seu José não tem bússola mas pode ver os três ancoradouros ao mesmo tempo.
- Como localizar este ponto de pesca?



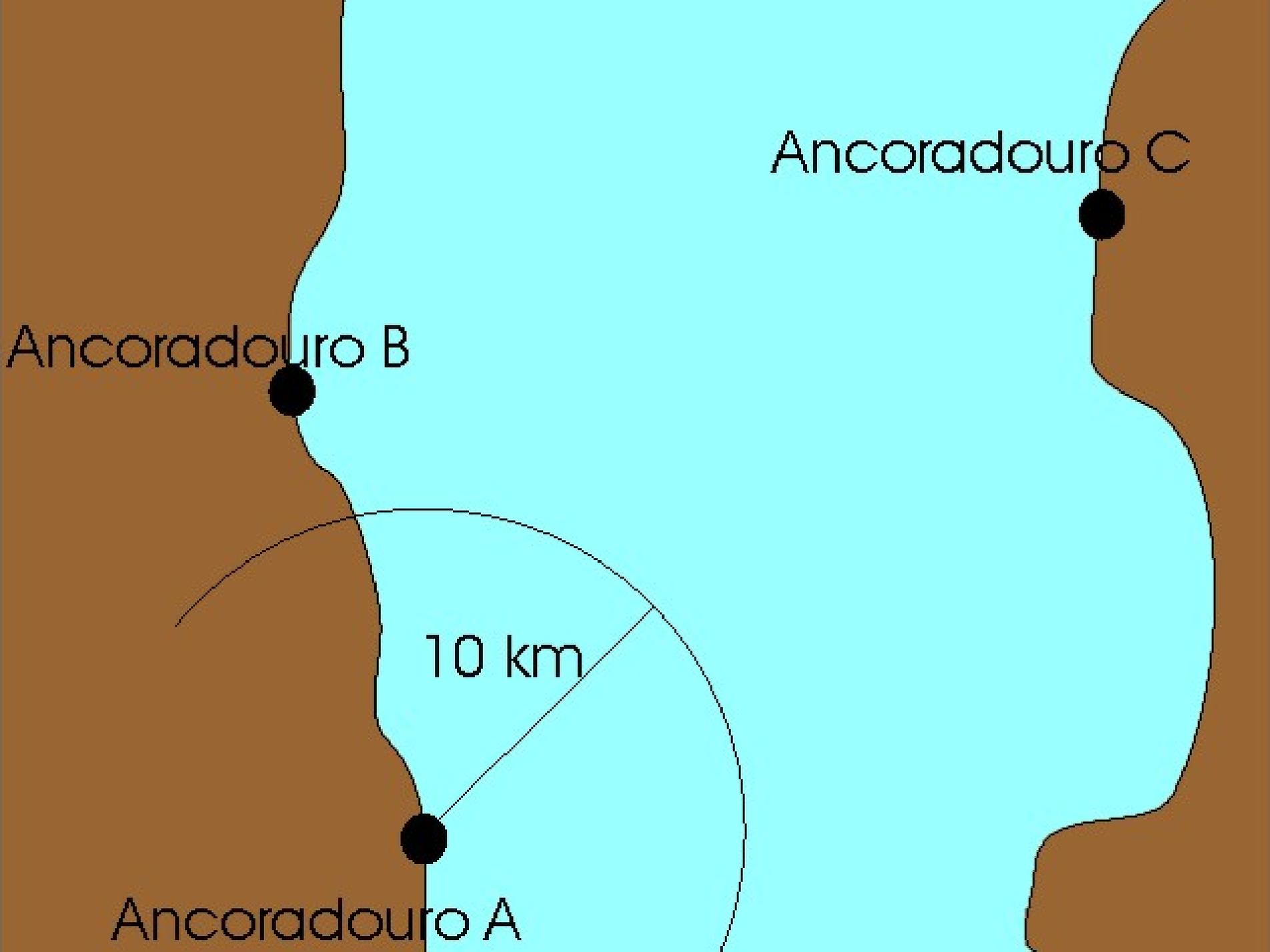
Ancoradouro C

Ancoradouro B

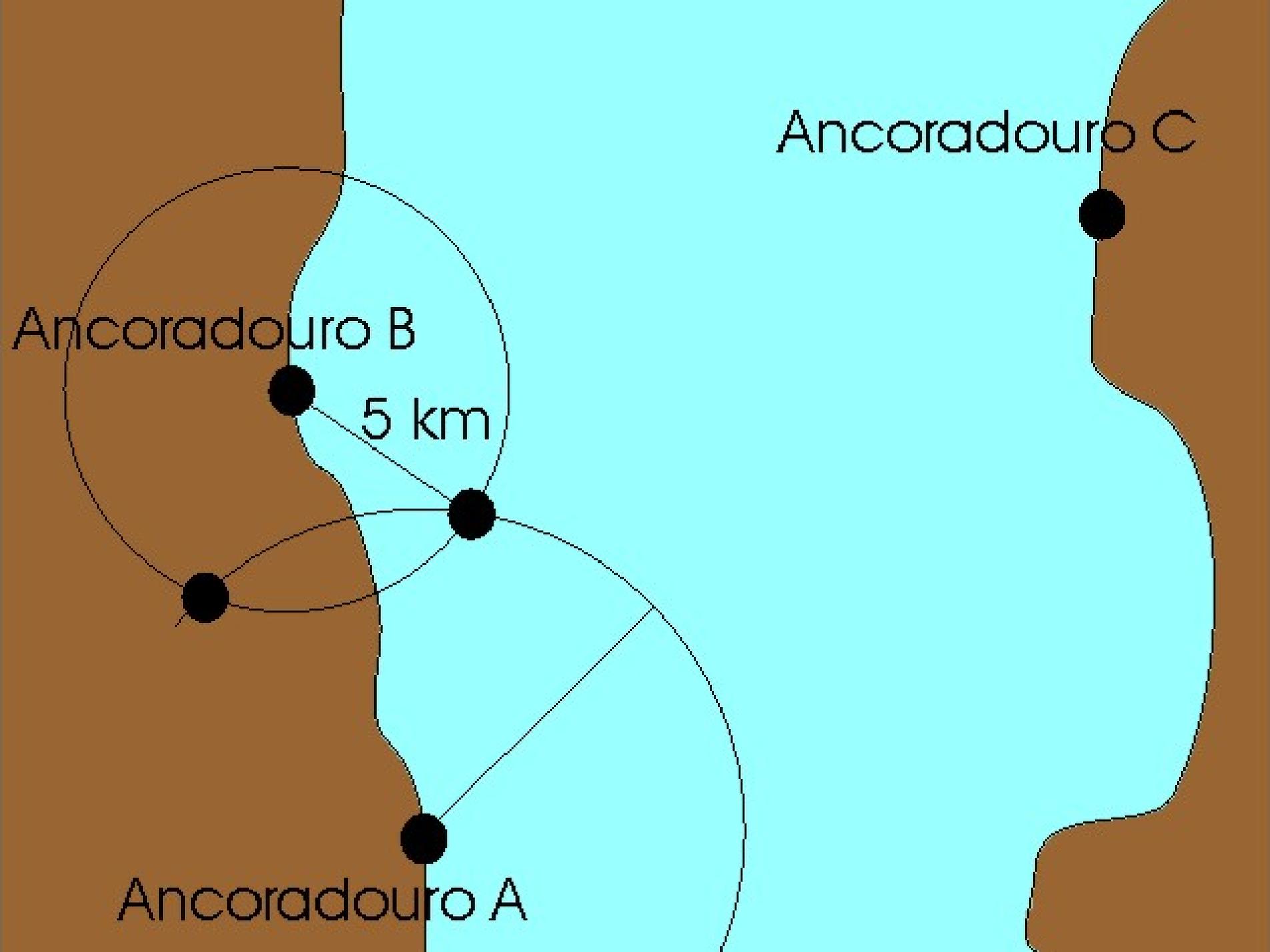
O ponto do Sr. José está a
10km do ancoradouro A,
5 km do ancoradouro B e
15 km do ancoradouro C

Ancoradouro A

- O primeiro passo é determinar a distância que o ponto está de cada ancoradouro e basta multiplicar a velocidade pelo tempo para viajar tal distância.
- Distância do ancoradouro $A = 1 \text{ km/min} \times 10 \text{ min} = 10 \text{ km}$



- O primeiro passo é determinar a distância que o ponto está de cada ancoradouro e basta multiplicar a velocidade pelo tempo para viajar tal distância.
- Distância do ancoradouro A = $1 \text{ km/min} \times 10 \text{ min} = 10 \text{ km}$
- Distância do ancoradouro B = $1 \text{ km/min} \times 5 \text{ min} = 5 \text{ km}$



Ancoradouro C



Ancoradouro B



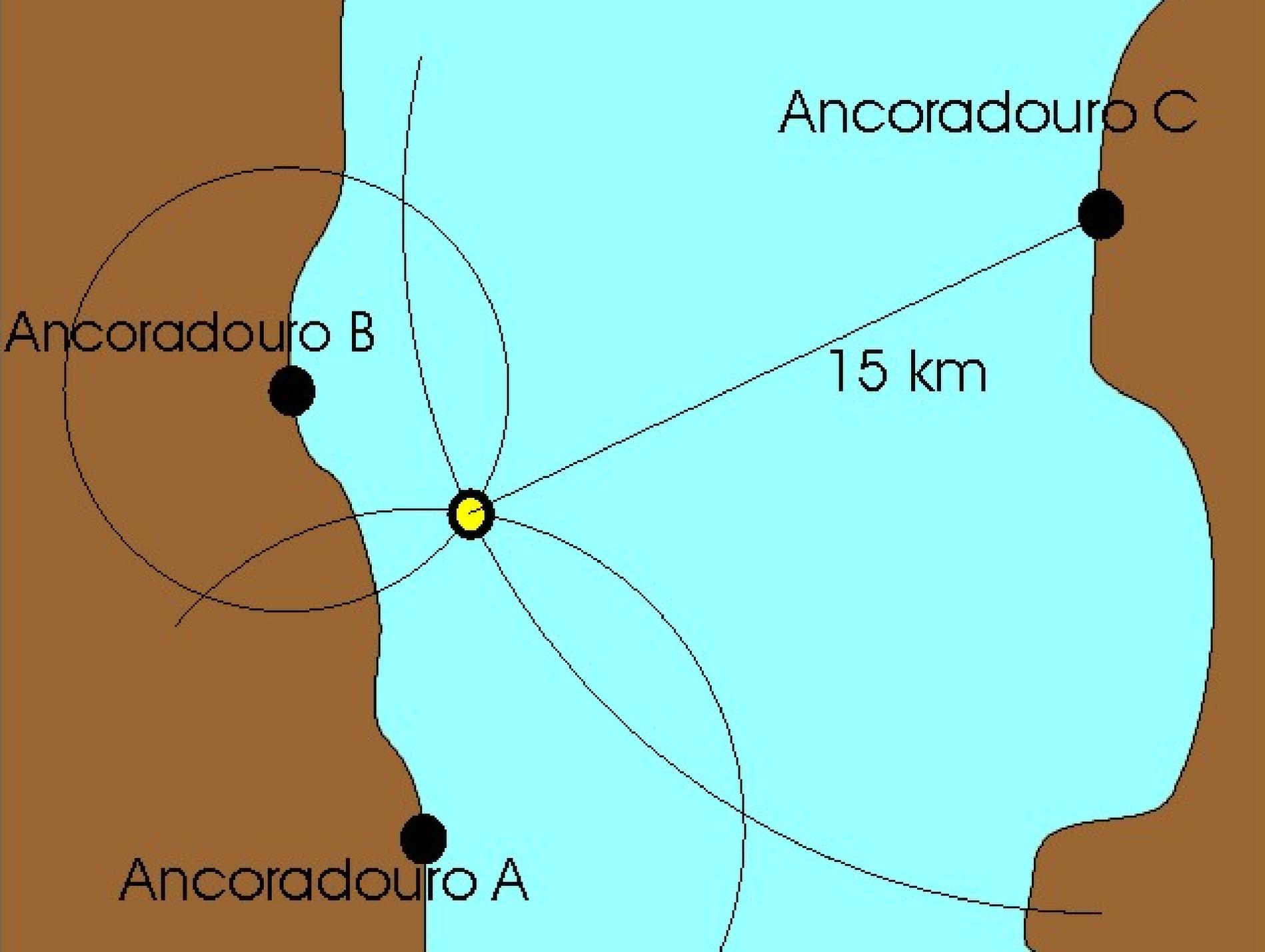
5 km



Ancoradouro A

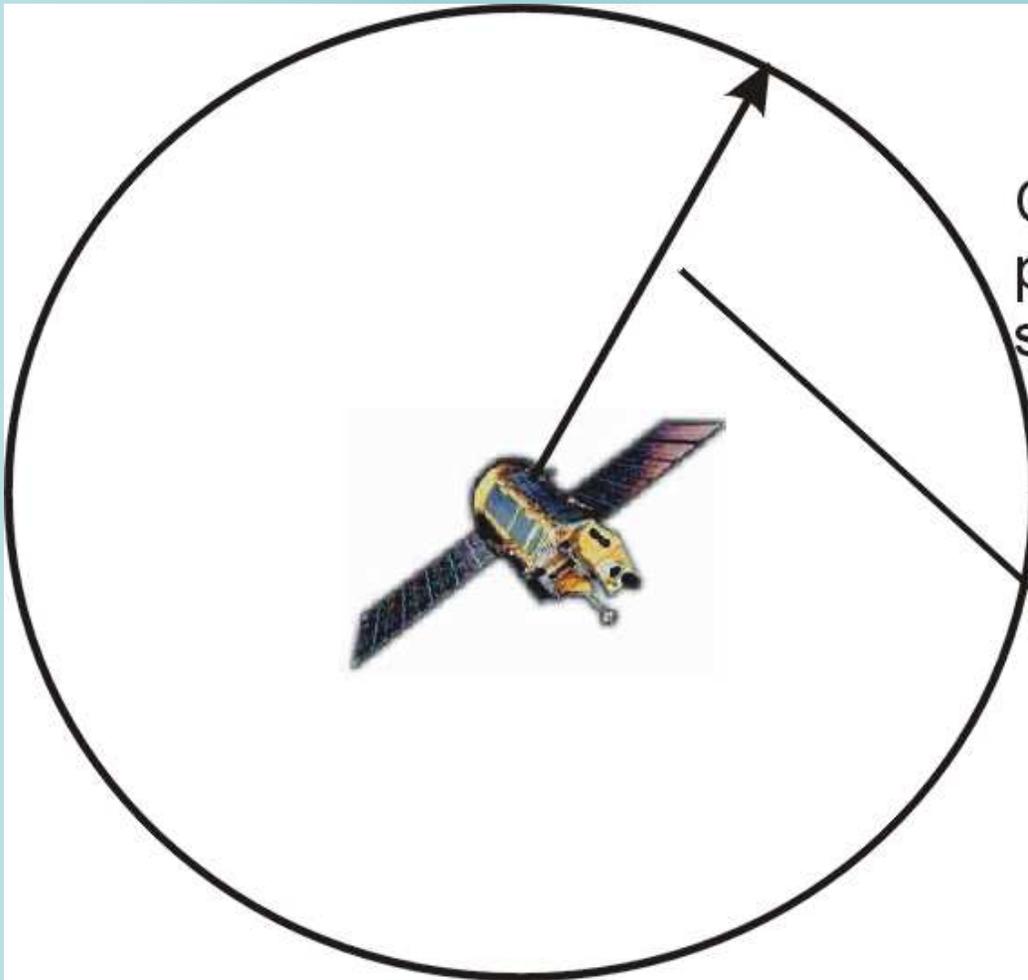


- O primeiro passo é determinar a distância que o ponto está de cada ancoradouro e basta multiplicar a velocidade pelo tempo para viajar tal distância.
- Distância do ancoradouro A = $1 \text{ km/min} \times 10 \text{ min} = 10 \text{ km}$
- Distância do ancoradouro B = $1 \text{ km/min} \times 5 \text{ min} = 5 \text{ km}$
- Distância do ancoradouro C = $1 \text{ km/min} \times 15 \text{ min} = 15 \text{ km}$



- No exemplo foi determinada a posição do ponto em duas dimensões com base no cruzamento de três círculos.
- O aparelho de GPS nos dá informações de latitude, longitude e altitude (três dimensões) usando sinais de quatro satélites.

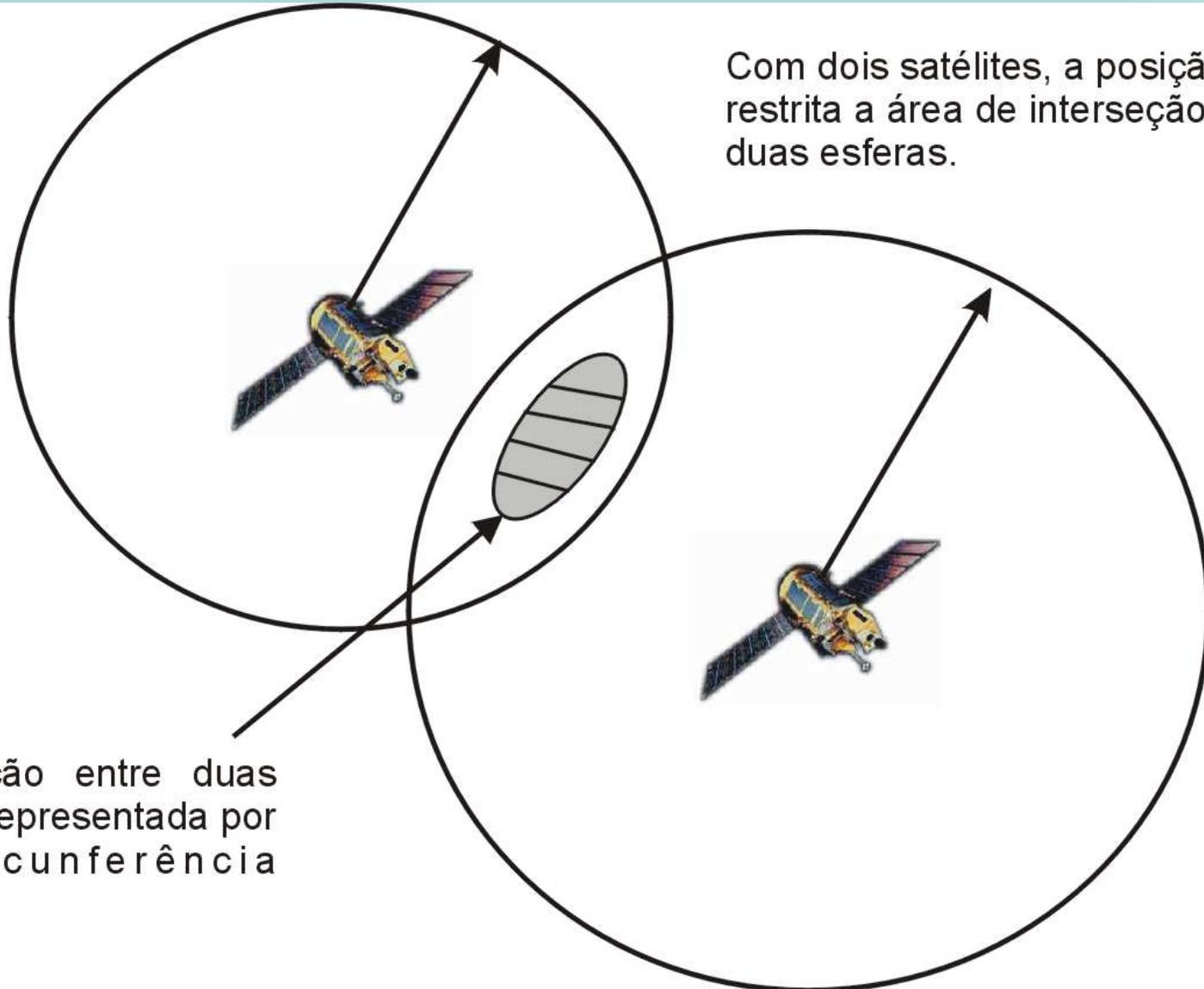
Um satélite define uma esfera



Com apenas um satélite nossa posição está em algum lugar na superfície da Terra.

Distância do satélite ao receptor de sinal GPS

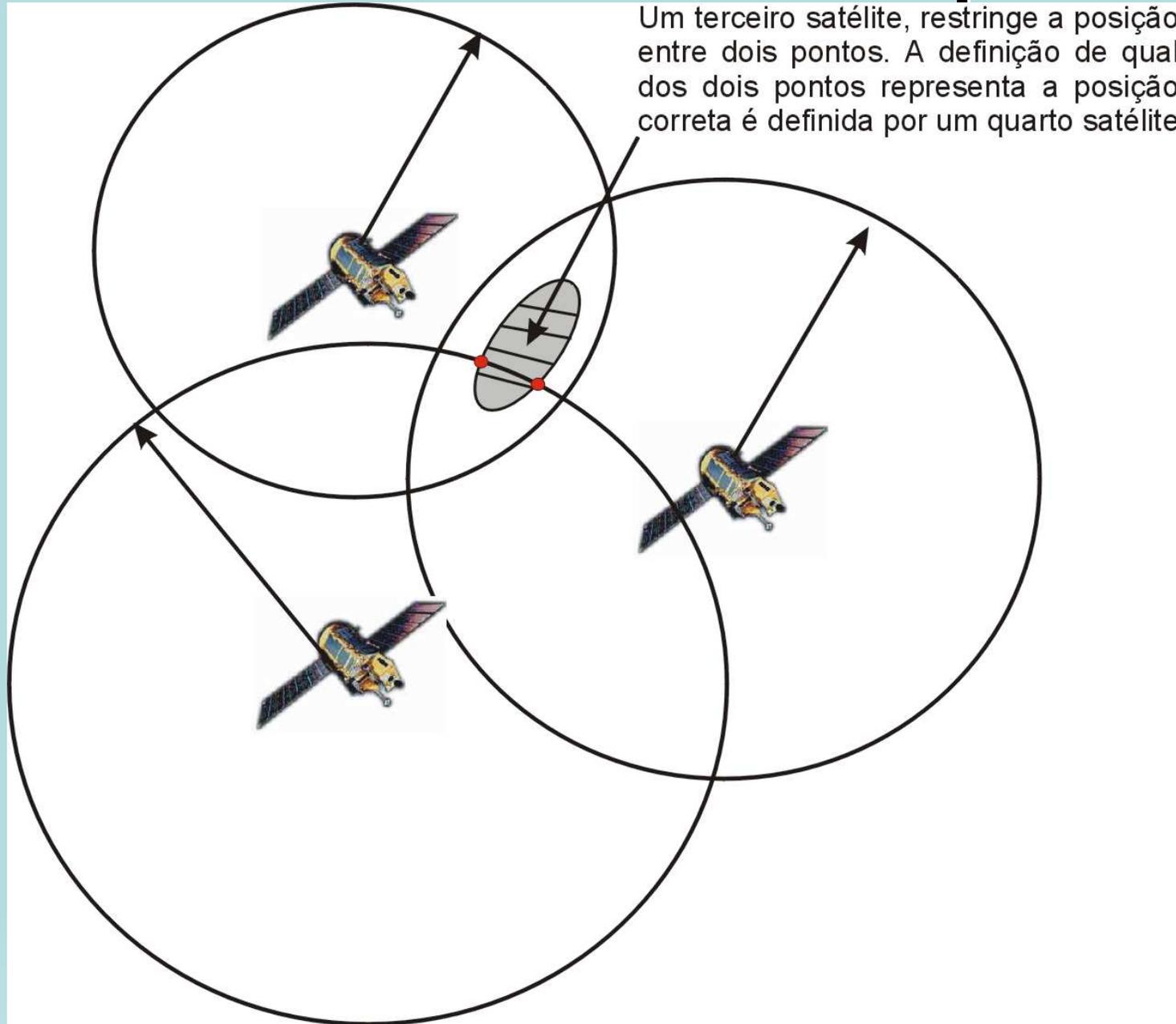
Dois satélites definem uma circunferência



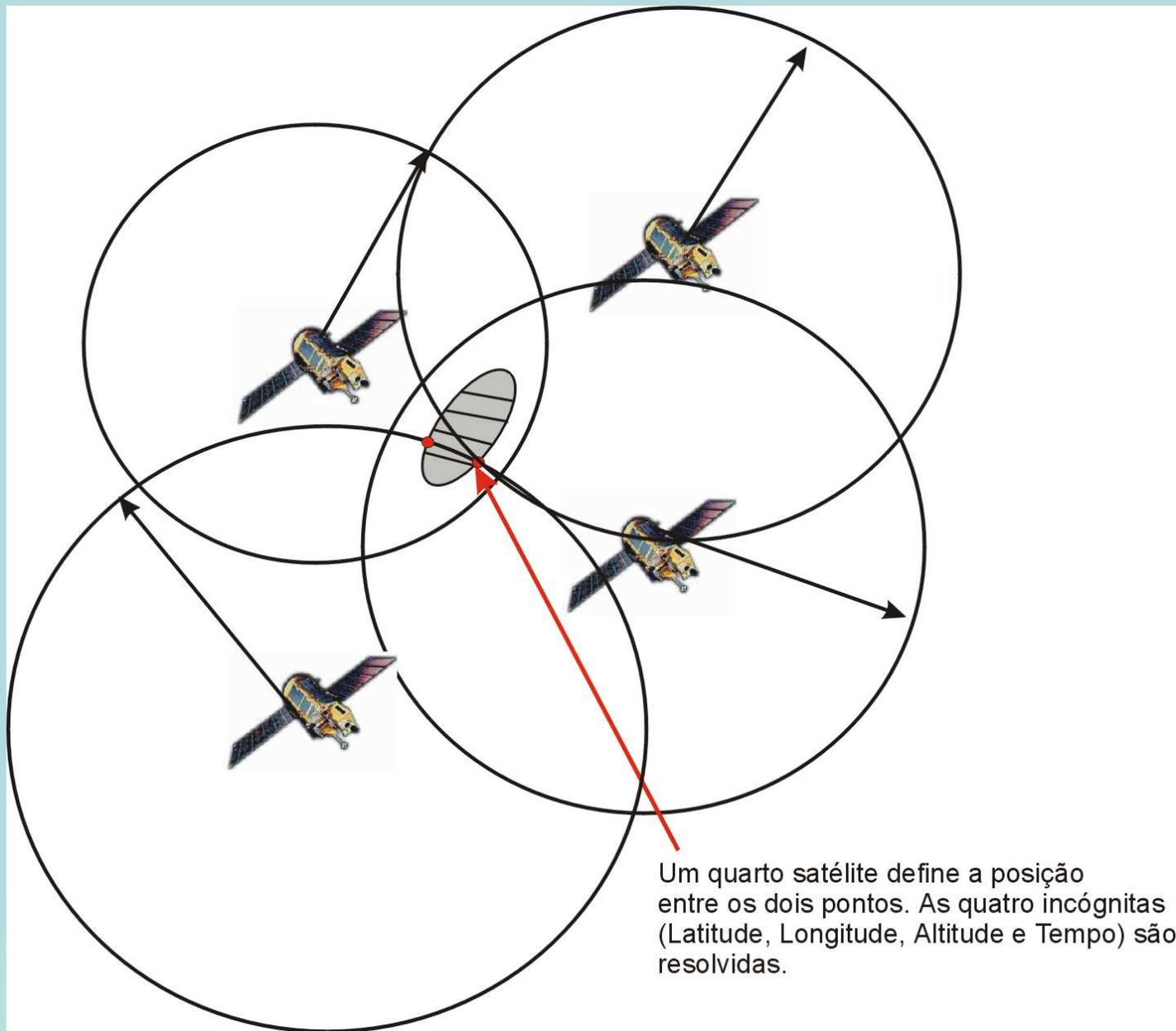
Com dois satélites, a posição fica restrita a área de interseção das duas esferas.

A interseção entre duas esferas é representada por uma circunferência

Três satélites definem dois pontos



Quatro satélites definem apenas um ponto



Um quarto satélite define a posição entre os dois pontos. As quatro incógnitas (Latitude, Longitude, Altitude e Tempo) são resolvidas.

Acurácia do GPS e Fatores Envolvidos

Relembrando

- Acurácia – grau de aproximação da grandeza mensurada em relação ao valor verdadeiro
- Precisão – repetibilidade na mensuração de uma dada grandeza
- Resolução – é o menor intervalo de leitura

Fontes de Erro

- Relógio do Satélite.

Erro do relógio do satélite

- Um atraso de 1 segundo a cada 160.000 anos (um nanosegundo a cada 58,4 dias) equivale a um erro de aproximadamente 20 metros.
- Satélites são constantemente monitorados pela estação de controle que ajusta os relógios e reduz o erro para cerca de 0,6 m.

Fontes de Erro

- Relógio do Satélite.
- Relógio do Receptor.

Erro do relógio do receptor

- Todos os erros do relógio do receptor em conjunto colaboram com uma defasagem média de 1 a 2 m.
- Receptores de GPS mais caros têm relógios mais precisos e melhores, com menor ruído interno e maior precisão matemática.

Fontes de Erro

- Relógio do Satélite.
- Relógio do Receptor.
- Órbitas dos Satélites.

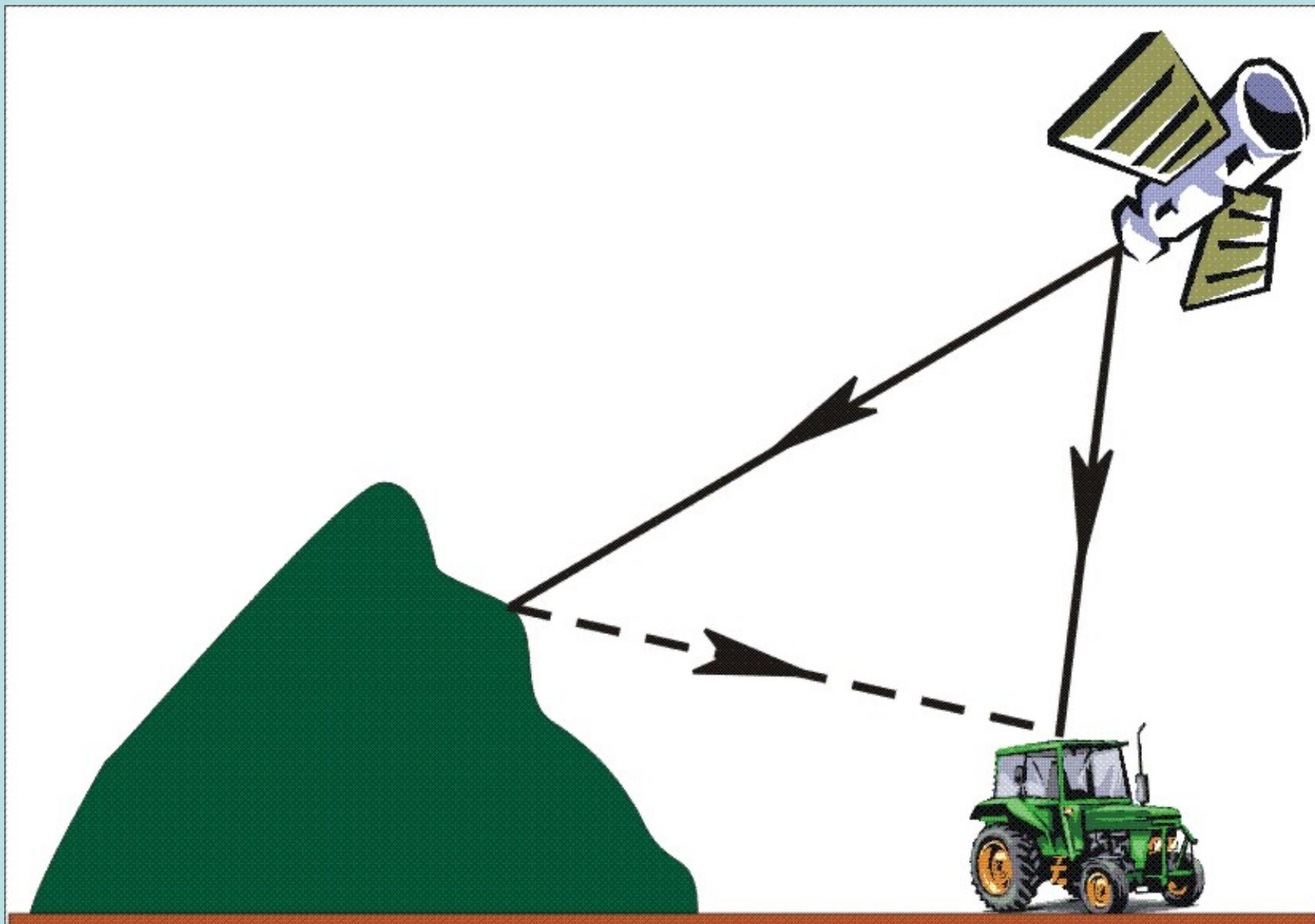
Erro de órbita

- A cada 12 horas a órbita dos satélites é rastreada e corrigida pela estação mestre de controle, o que não impede um erro médio de 0,6 m.

Fontes de Erro

- Relógio do Satélite.
- Relógio do Receptor.
- Órbitas dos Satélites.
- Reflexão.

Erro de reflexão



Fontes de Erro

- Relógio do Satélite.
- Relógio do Receptor.
- Órbitas dos Satélites.
- Reflexão.
- Refração.

Erro de refração

- Atrasos nas ondas ocorrem na Ionosfera, camada carregada eletricamente e de 80 a 400 km de espessura sobre Terra.
- A Troposfera, camada abaixo da Ionosfera, também pode atrasar os sinais, pois contém partículas de água.
- Este erro pode ser da ordem de 4 metros.

Fontes de Erro

- Relógio do Satélite.
- Relógio do Receptor.
- Órbitas dos Satélites.
- Reflexão.
- Refração.
- Disponibilidade Seletiva(S/A)

Erro de disponibilidade seletiva

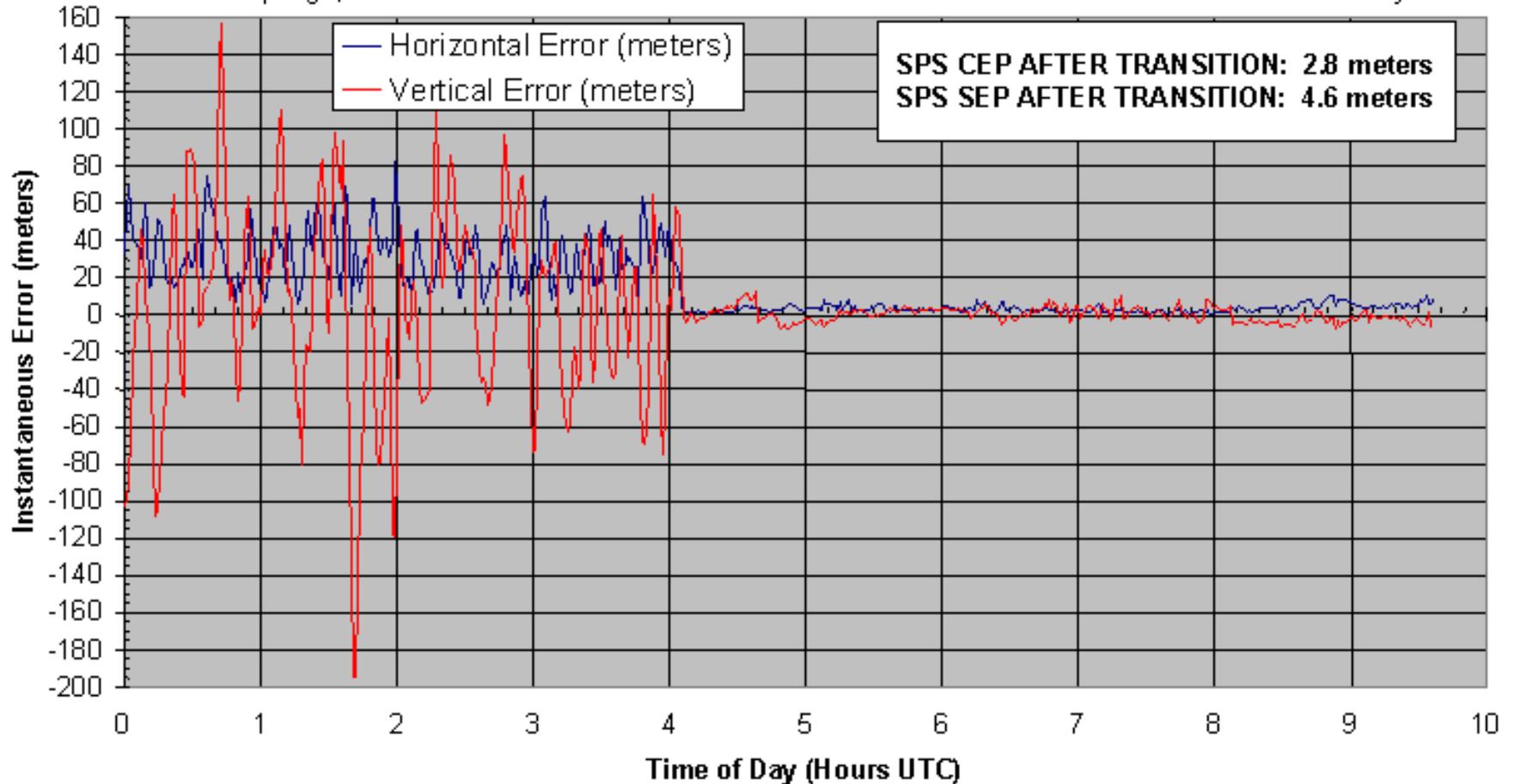
- Erro aleatório no sistema, introduzindo um ruído no relógio do satélite para limitar o uso do GPS
- Este ruído foi removido pelo governo americano no dia 1^o de Maio de 2000



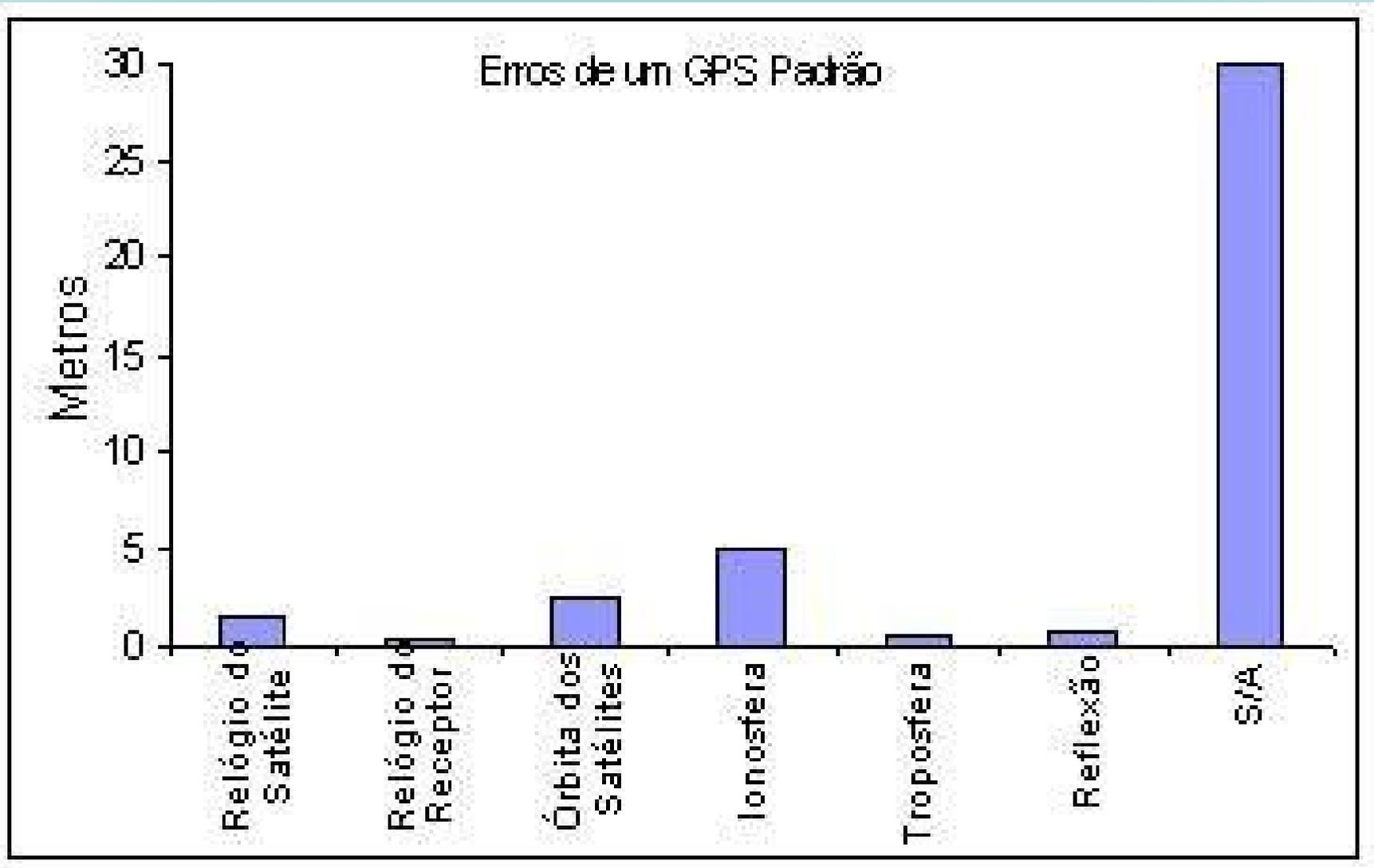
SA Transition -- 2 May 2000

Colorado Springs, Colorado

2 May 2000

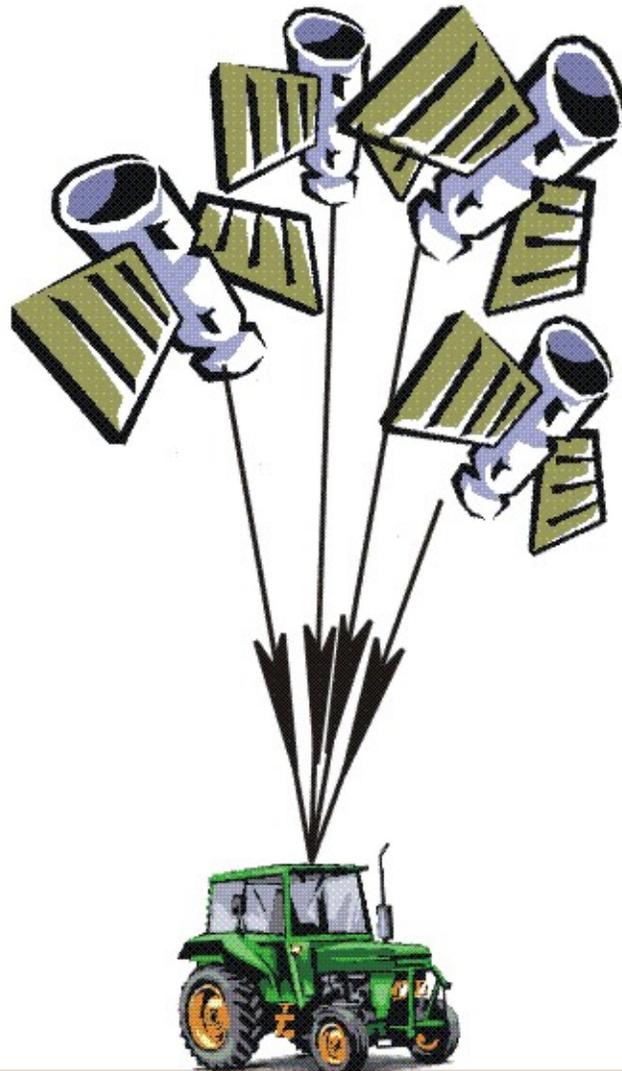


Composição do erro com S/A



Diluição da Precisão

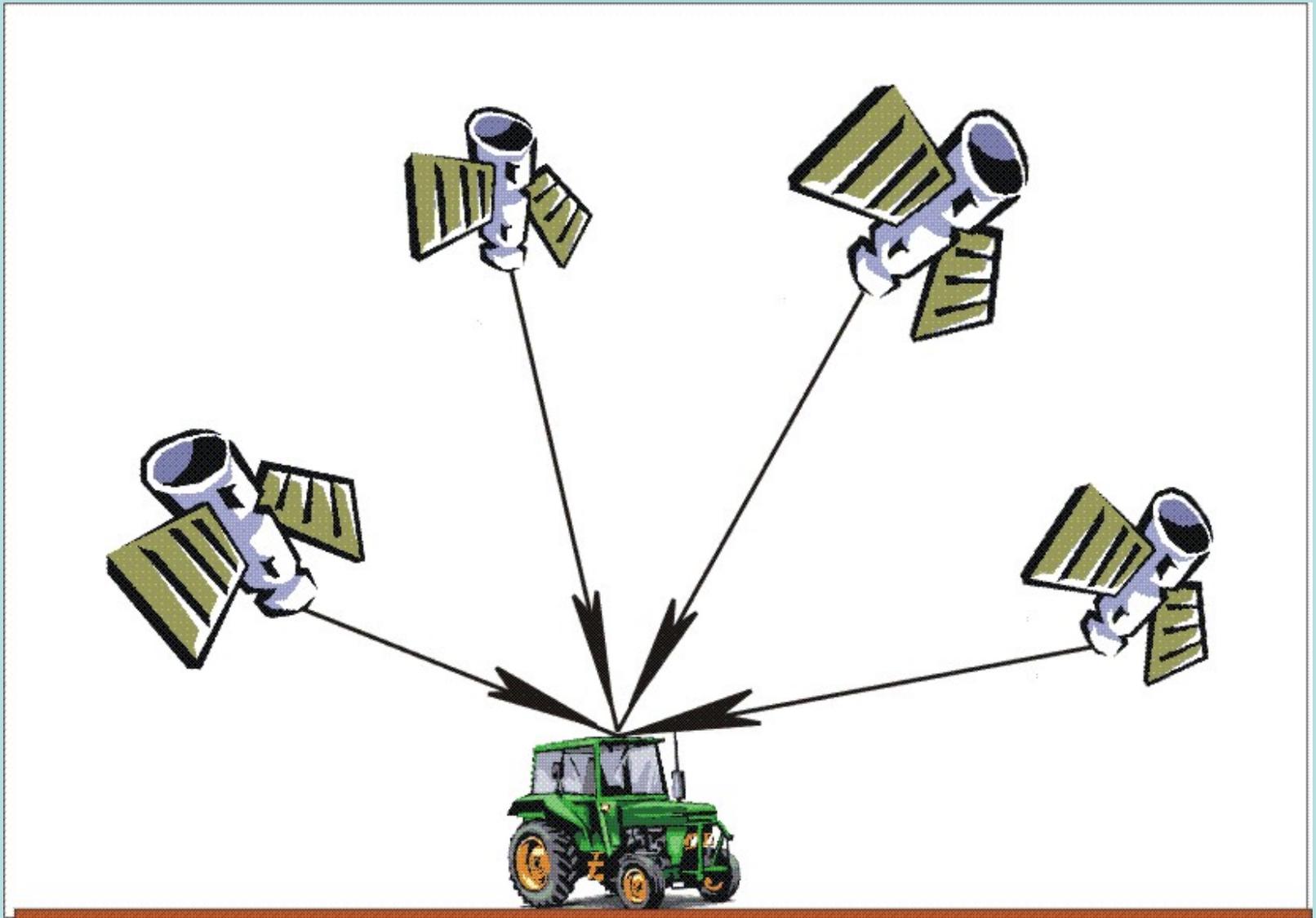
Conjunto de satélites muito próximos entre si



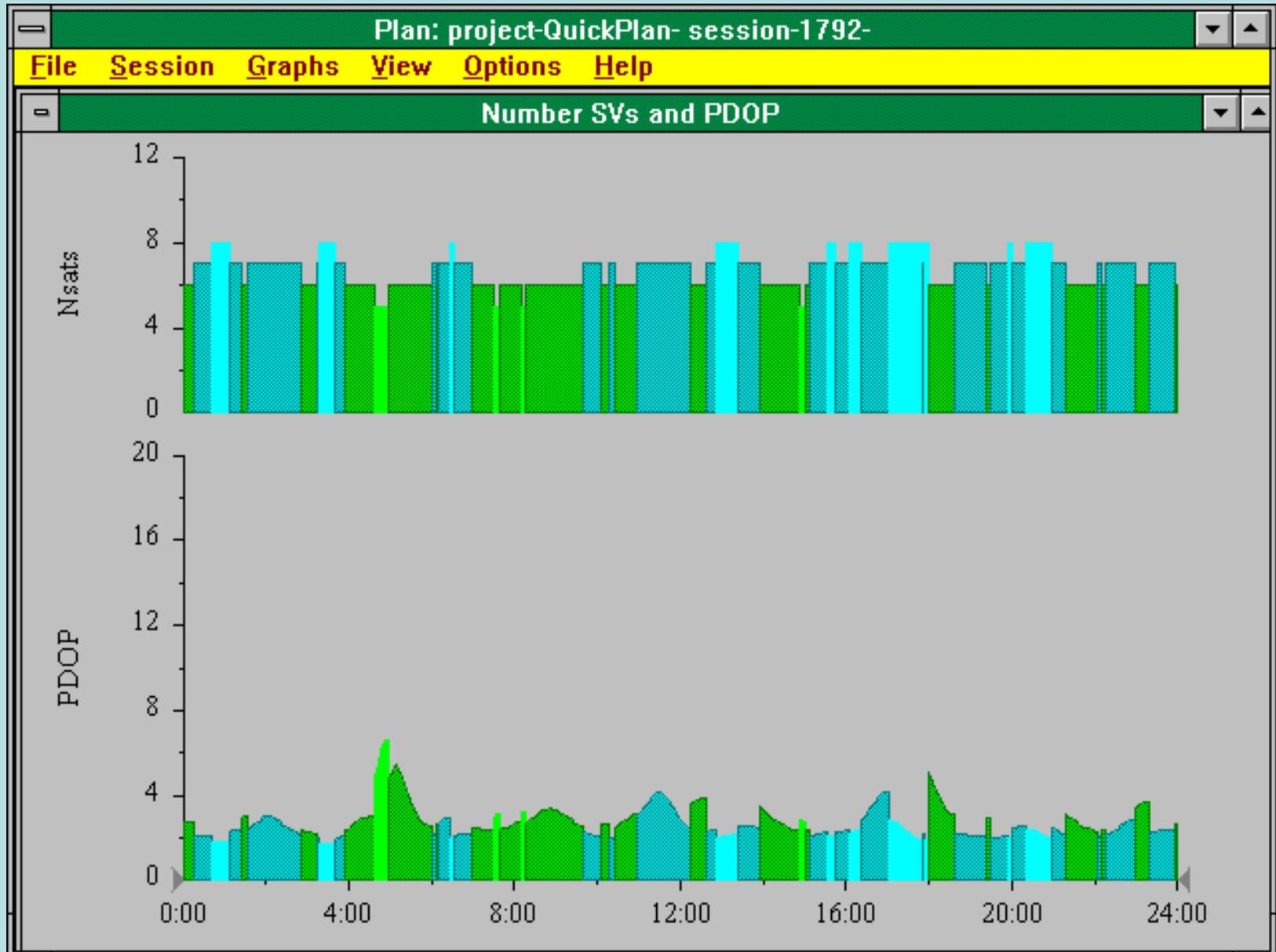
Diluição da Precisão

- Diluição de precisão horizontal (HDOP)- interfere nas coordenadas latitude e longitude;
- Diluição de precisão vertical (VDOP) – interfere na altitude;
- Diluição de precisão na posição (PDOP) – nas três dimensões;
- Diluição de precisão no tempo (TDOP).

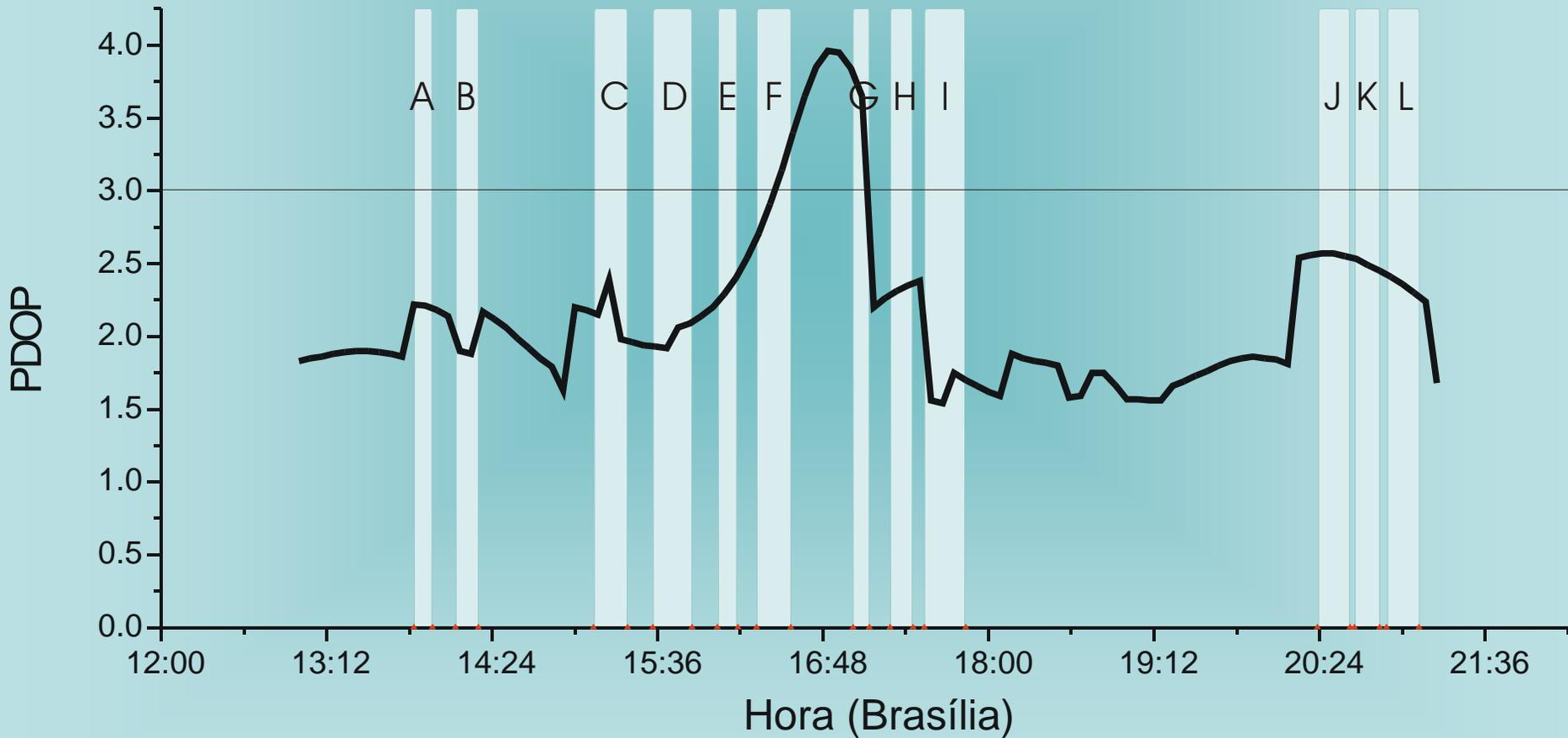
Quatro satélites bem distribuídos



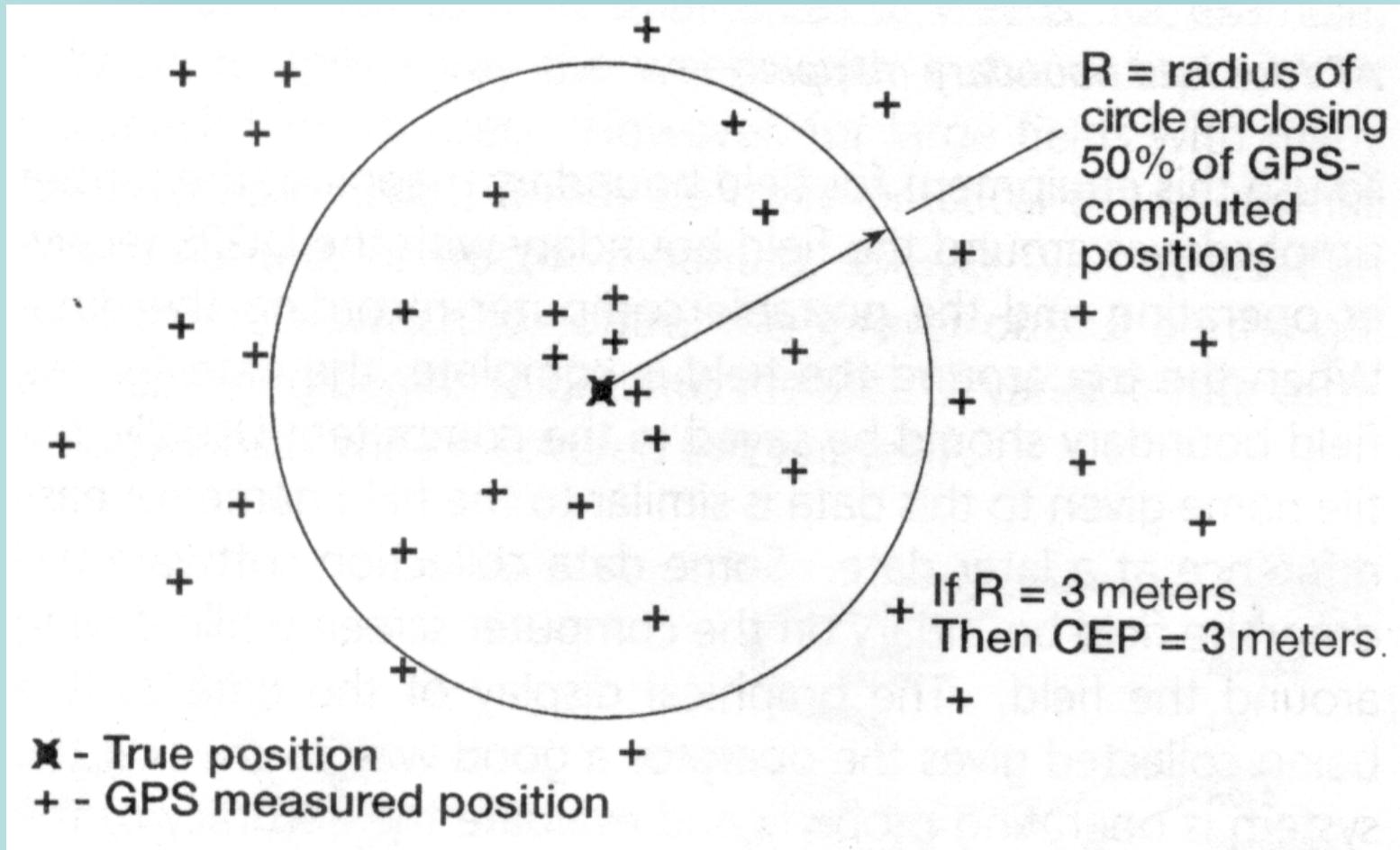
Planejamento acessando o Almanaque



PDOP em Costa Rica, MS em 13.01.2004



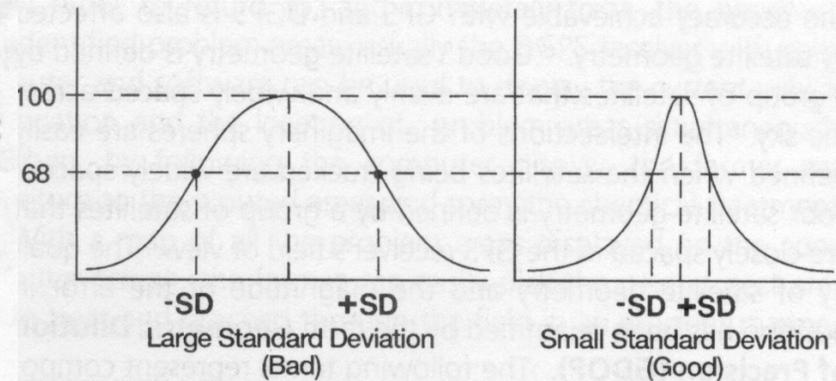
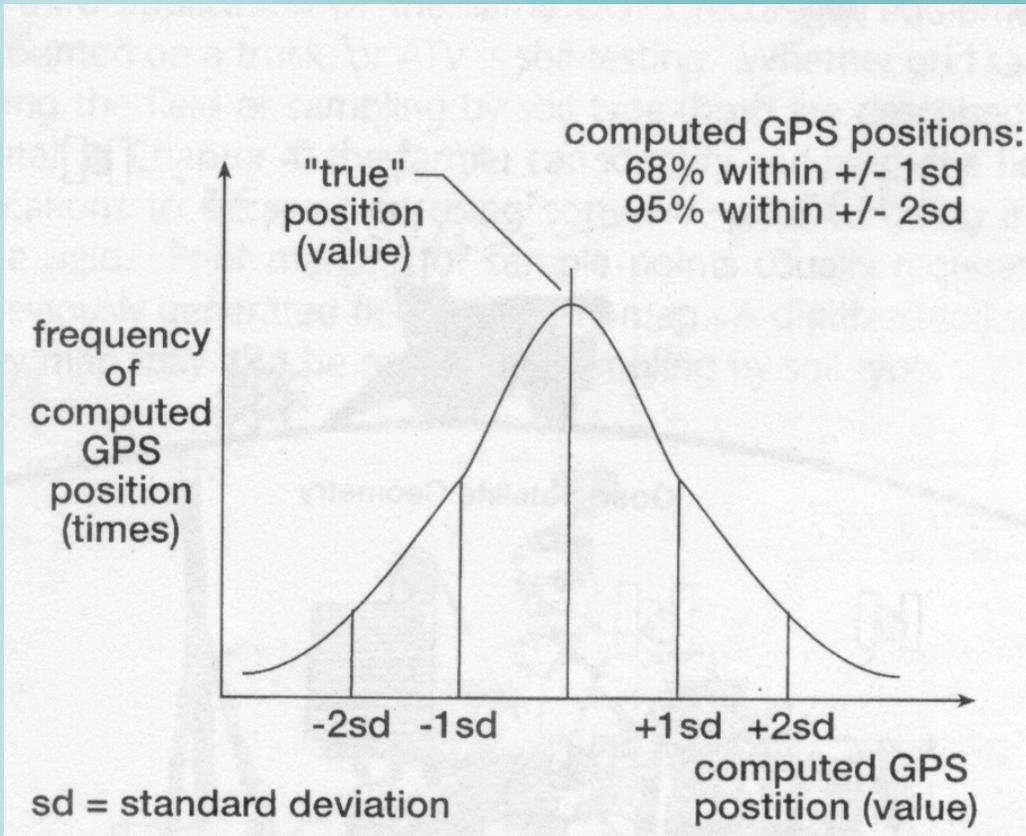
Como Expressar a Acurácia de um GPS



Erro Circular Provável

Como Expressar a Acurácia de um GPS

“Root Mean Square” - RMS (um sigma) e 2DRMS (2 sigma) ou Desvio Padrão - SD



Uma distribuição normal tem 68% dos dados entre +/- 1 SD e 95% dos dados entre +/- 2 SD

Correção Diferencial

Algumas fontes de erro são praticamente eliminadas



Métodos de Correção Diferencial

- Pós processamento
- Torre local via rádio UHF
- Torre regional via rádio AM
- Rede via rádio FM
- Satélite geoestacionário
 - Privado
 - Público
- Algoritmos internos

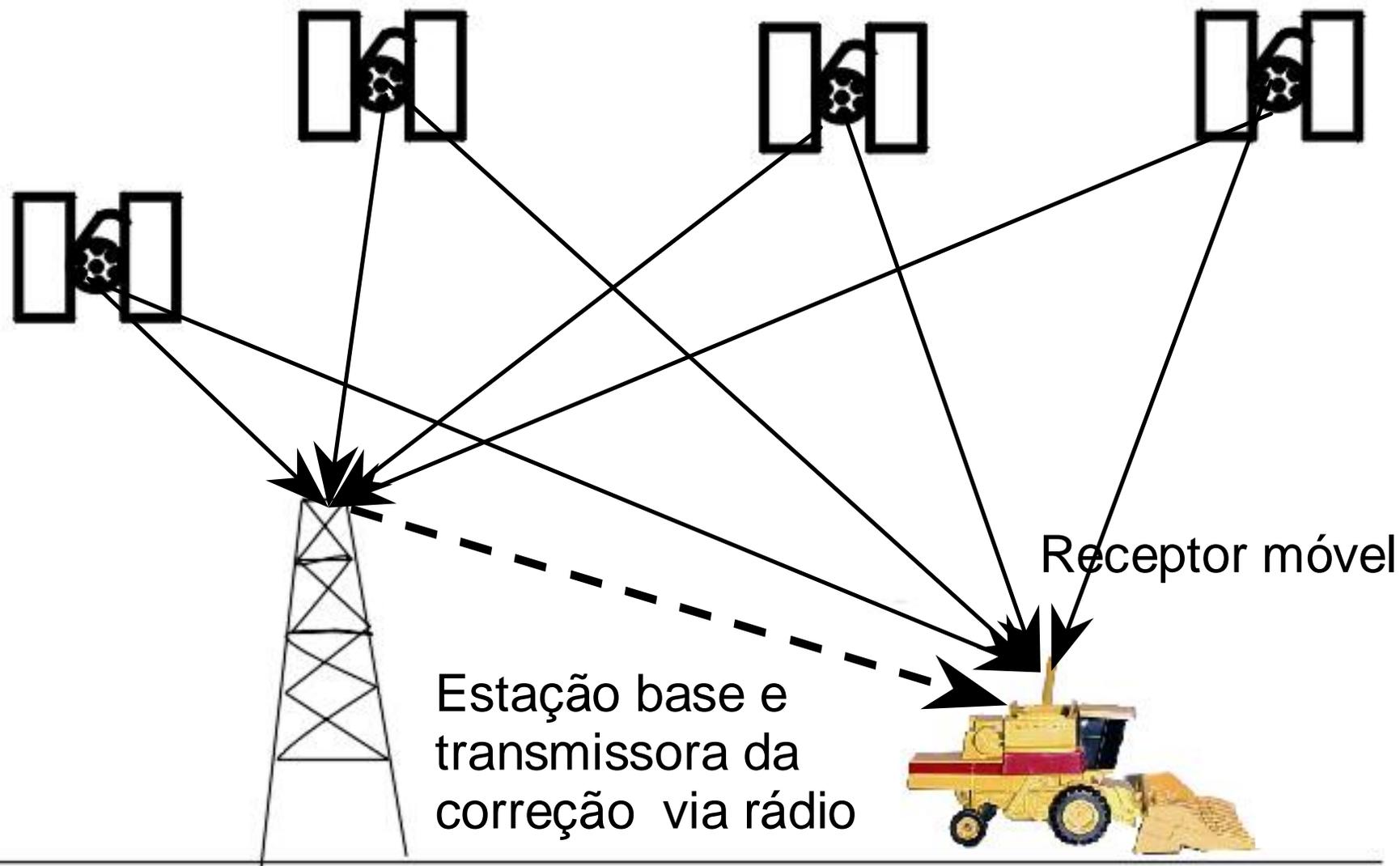
Métodos de Correção Diferencial Disponíveis para AP no Brasil

- Pós processamento
- Torre local via rádio UHF
- Satélite geoestacionário
- Algoritmos internos



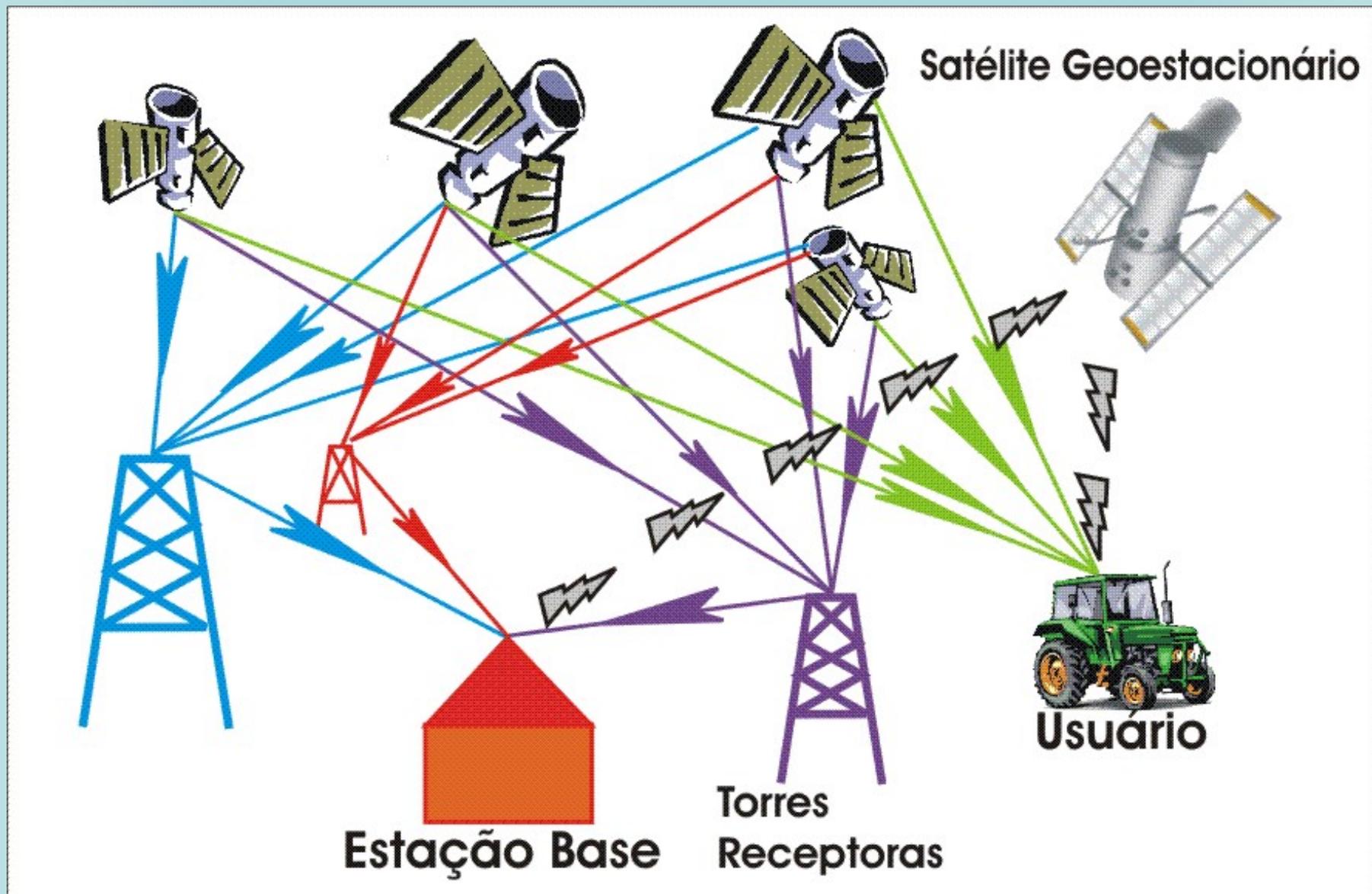
Torre com antena
para correção pós
processada na
ESALQ/USP, em
Piracicaba

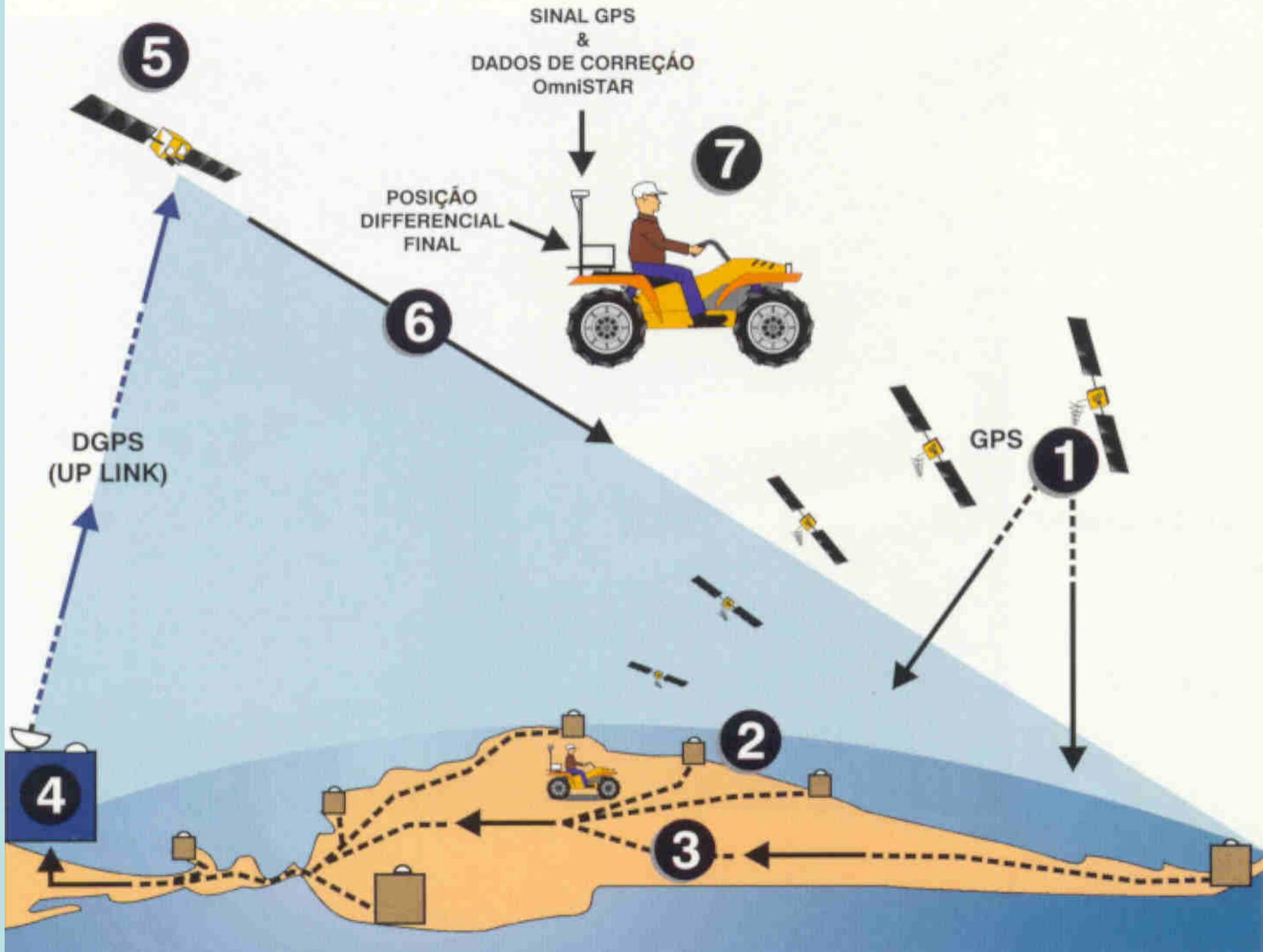
Correção com torre local via rádio UHF

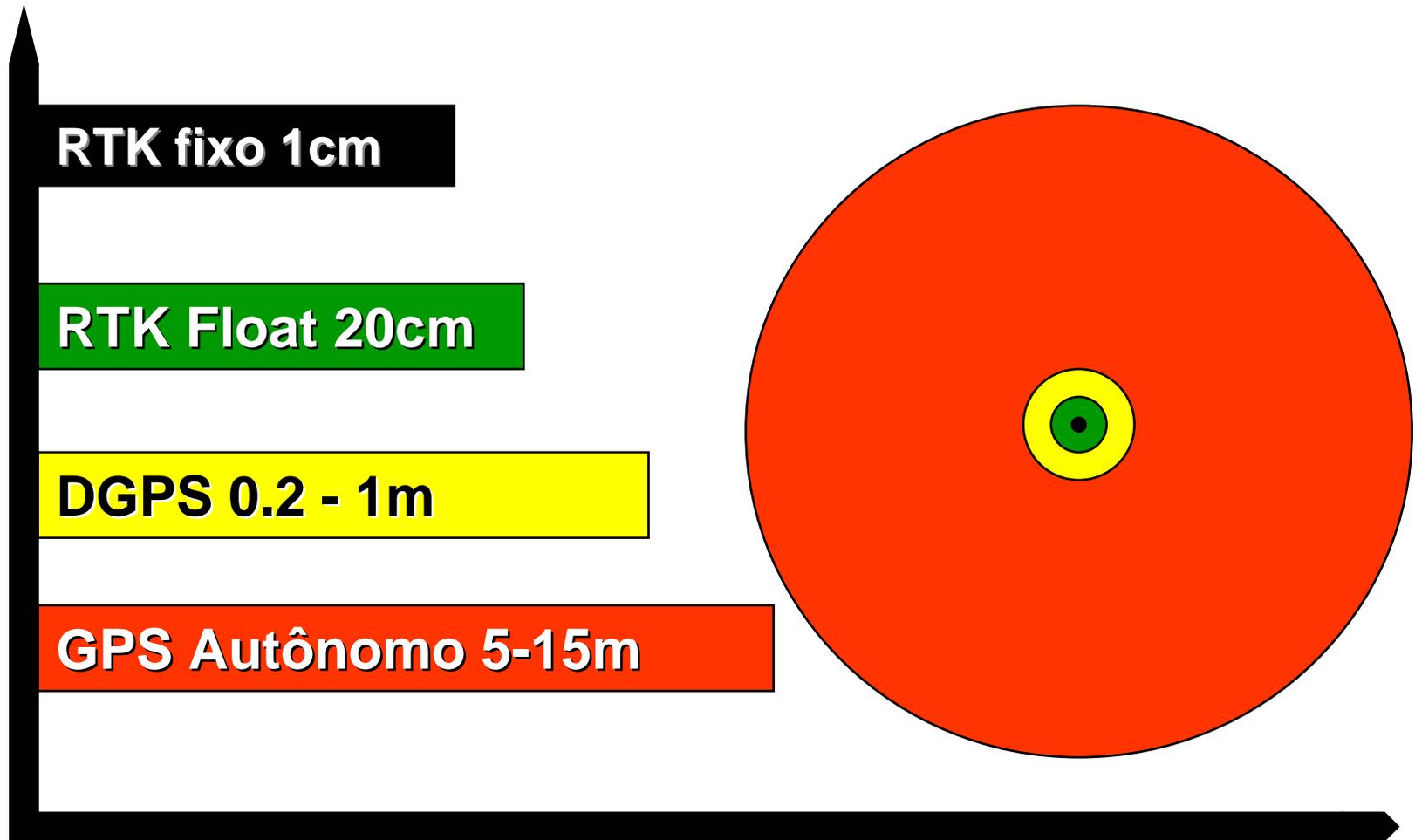




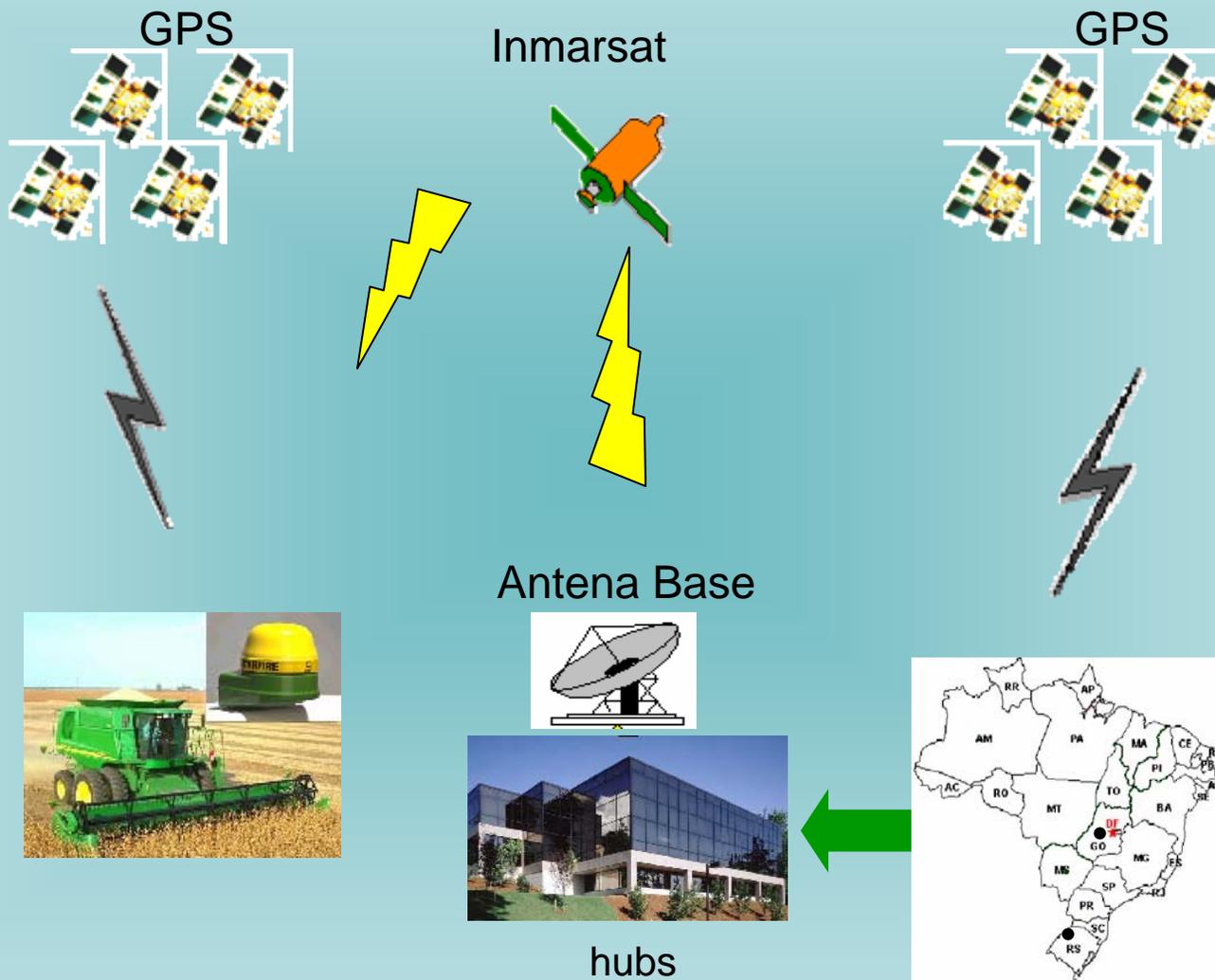
Correção via satélite geostacionário



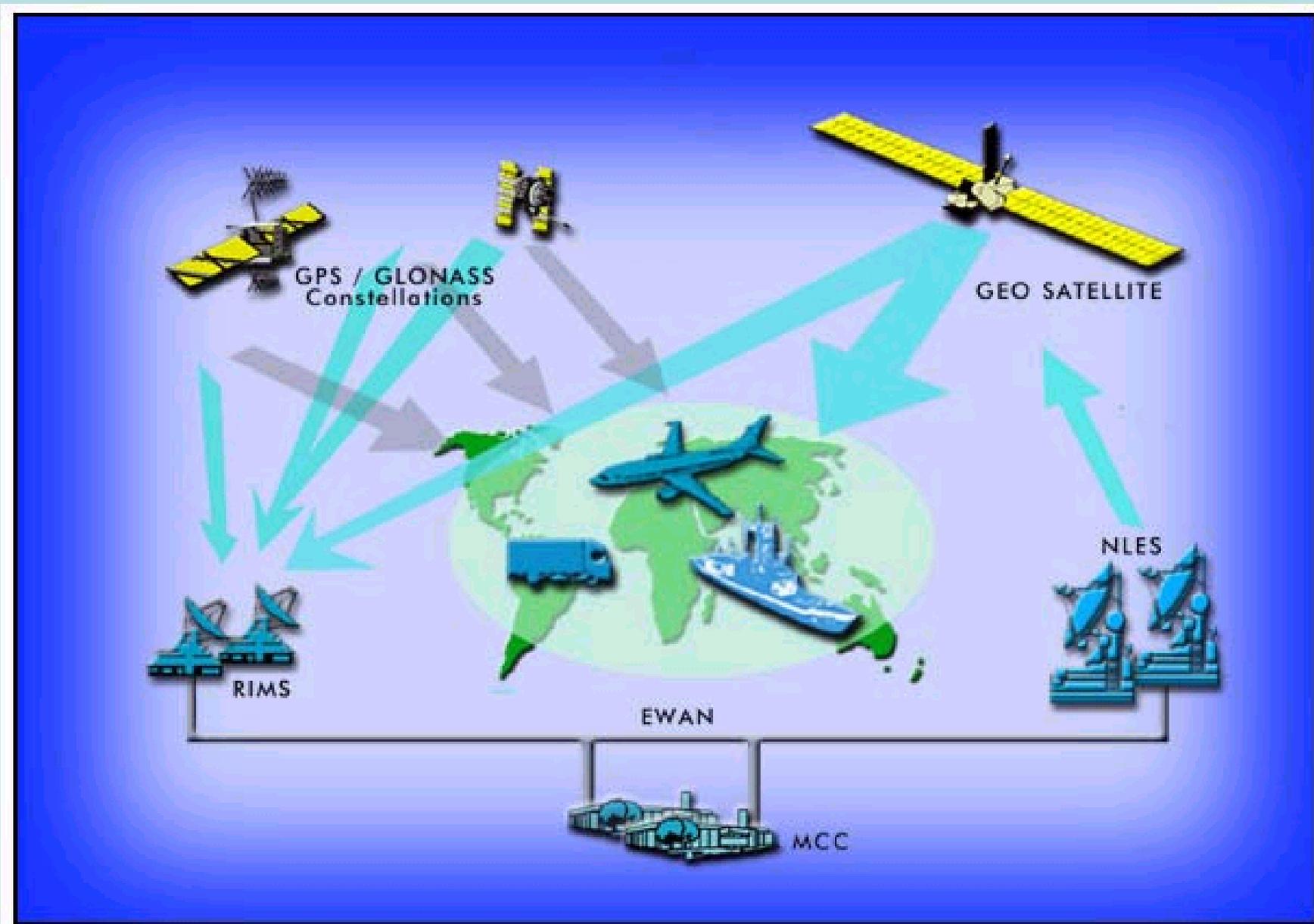




• Sistema StarFire-JOHN DEERE



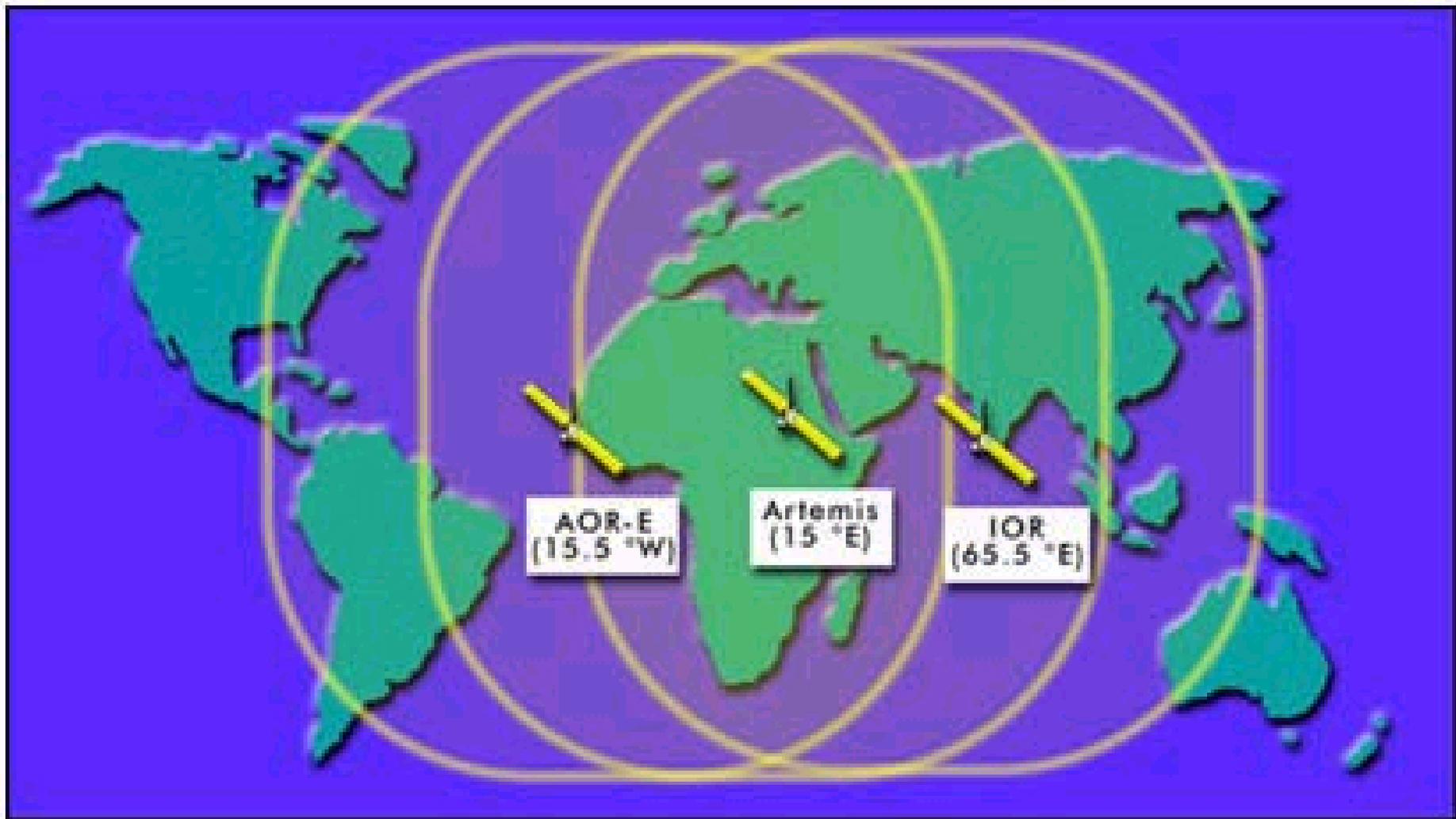
Sistemas Públicos: EGNOS, WAAS, MSAS...



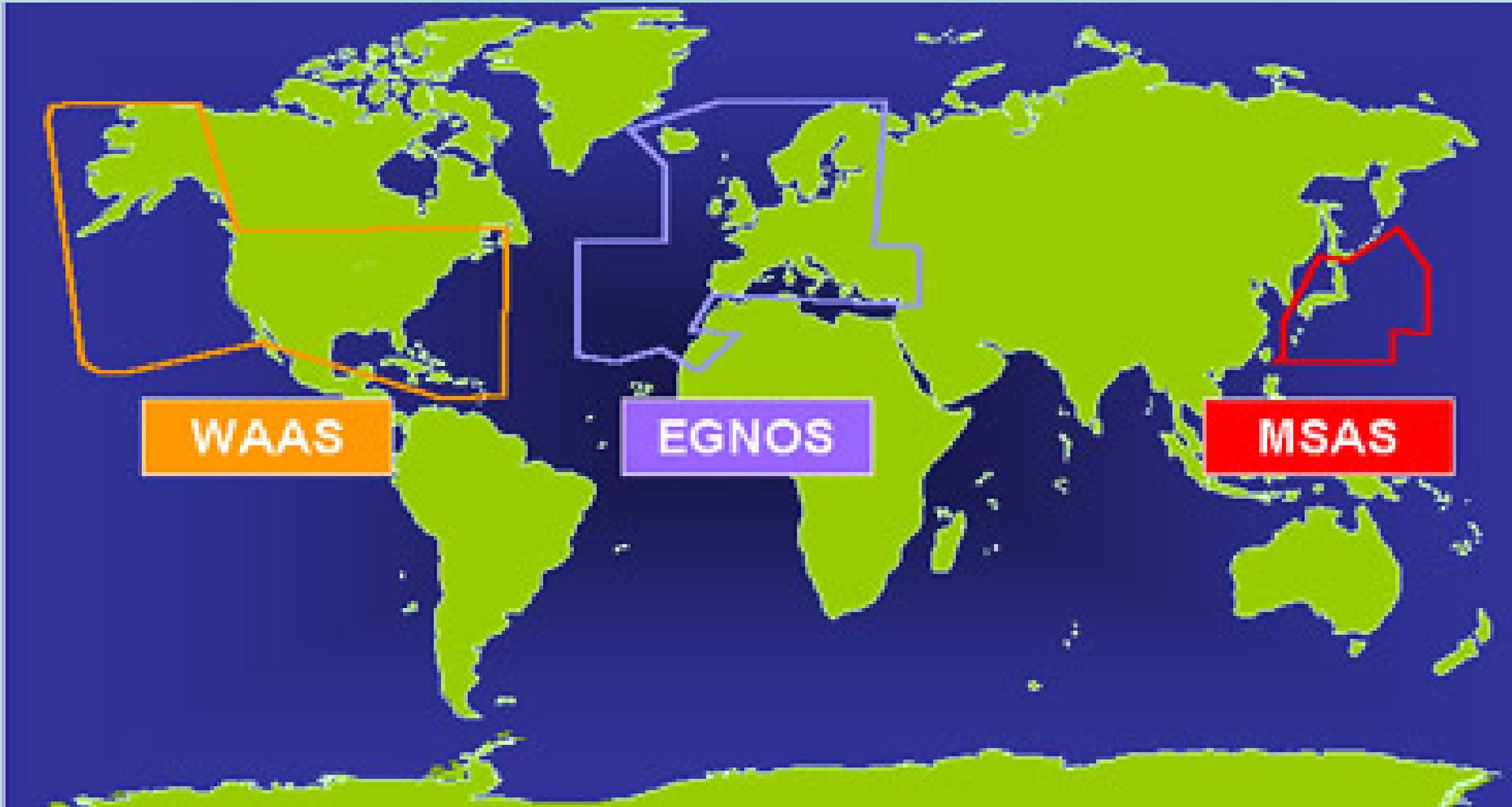
Sistema EGNOS



Sistema EGNOS

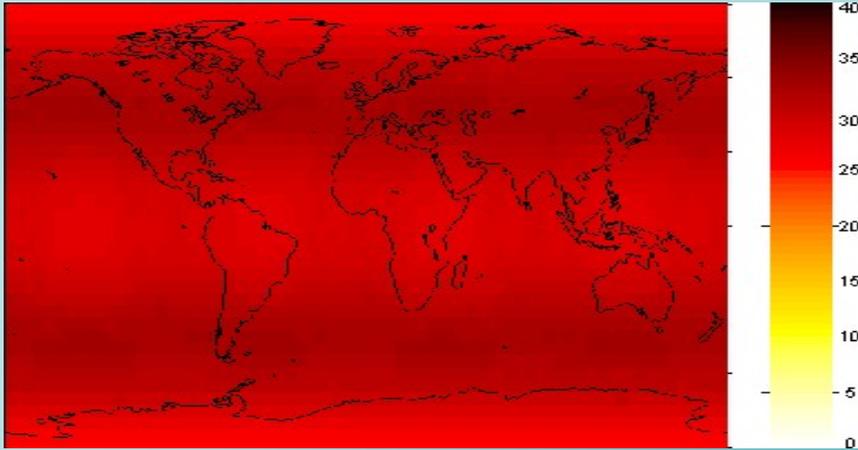


Áreas de cobertura em 02.04.2003

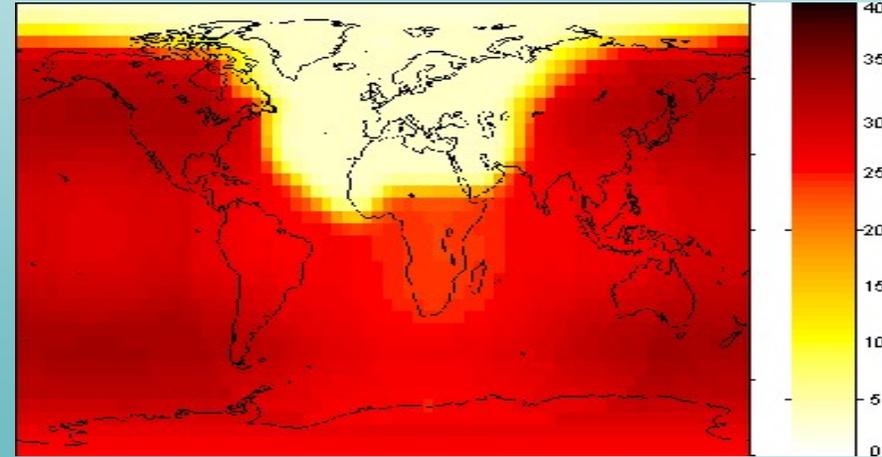


Horizontal Accuracy (95%)

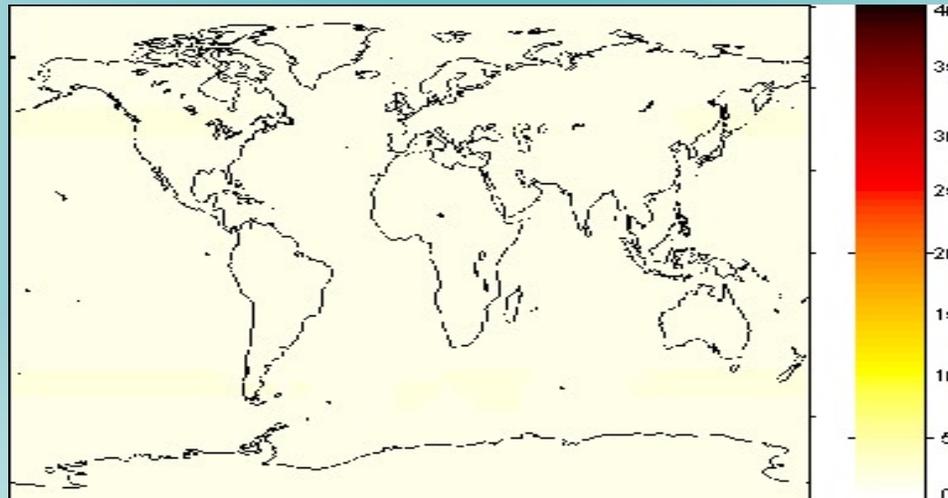
GPS



GPS/EGNOS

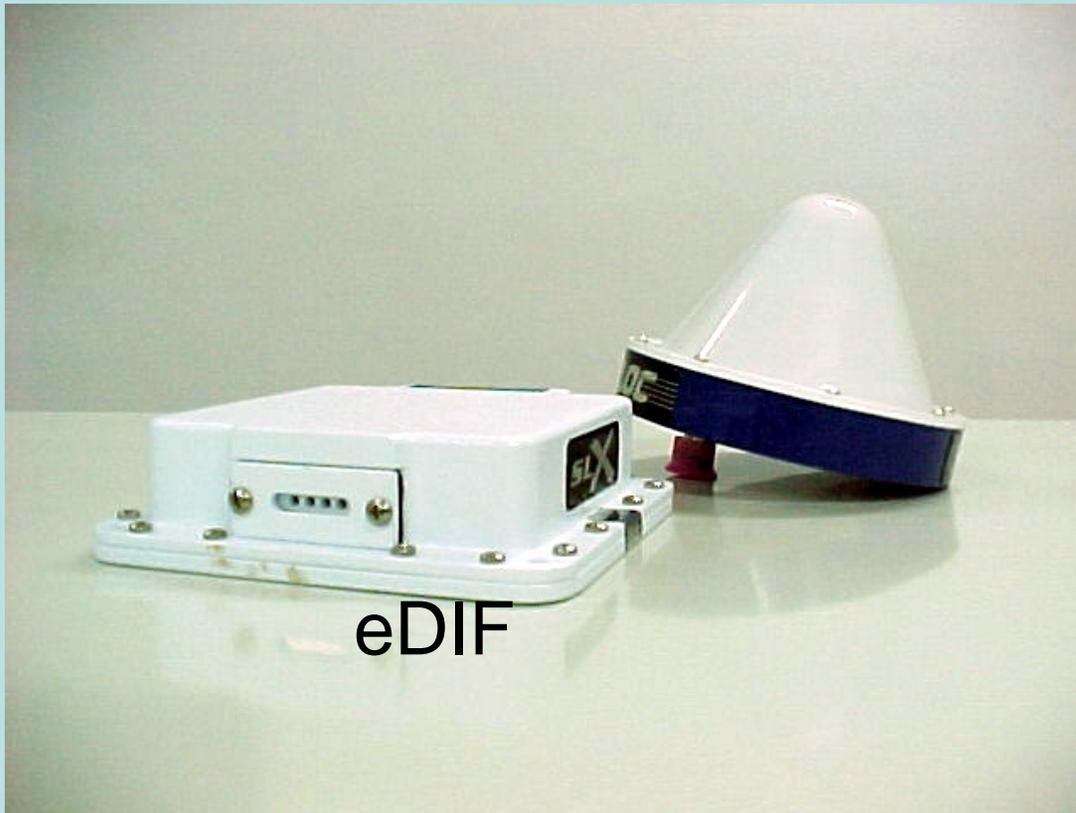


GPS/EGNOS/Galileo



Increased
accuracy, integrity
and availability
worldwide

Correção por algoritmos internos



eDIF



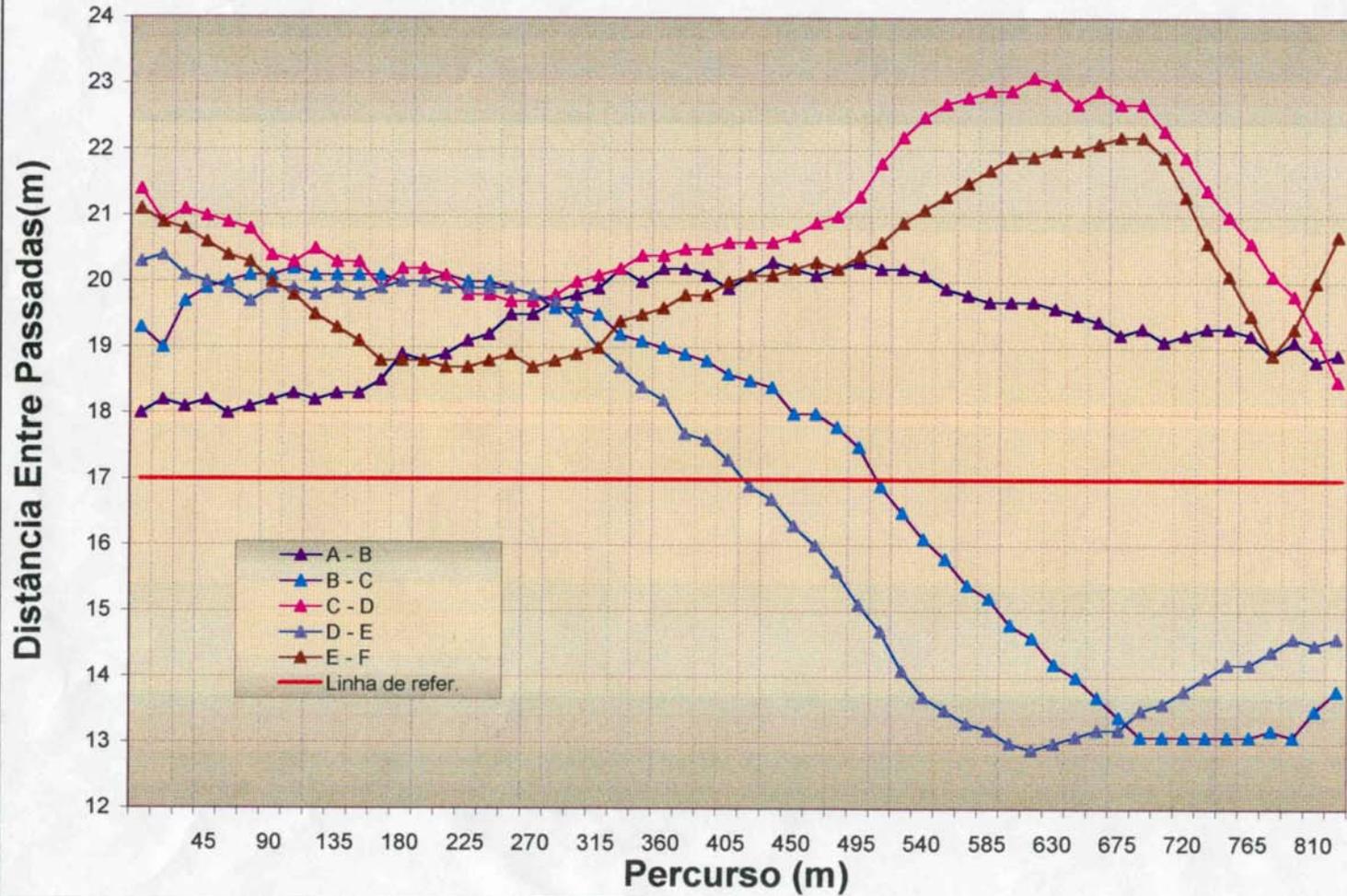
Firmware

Aplicação de GPS em Agricultura

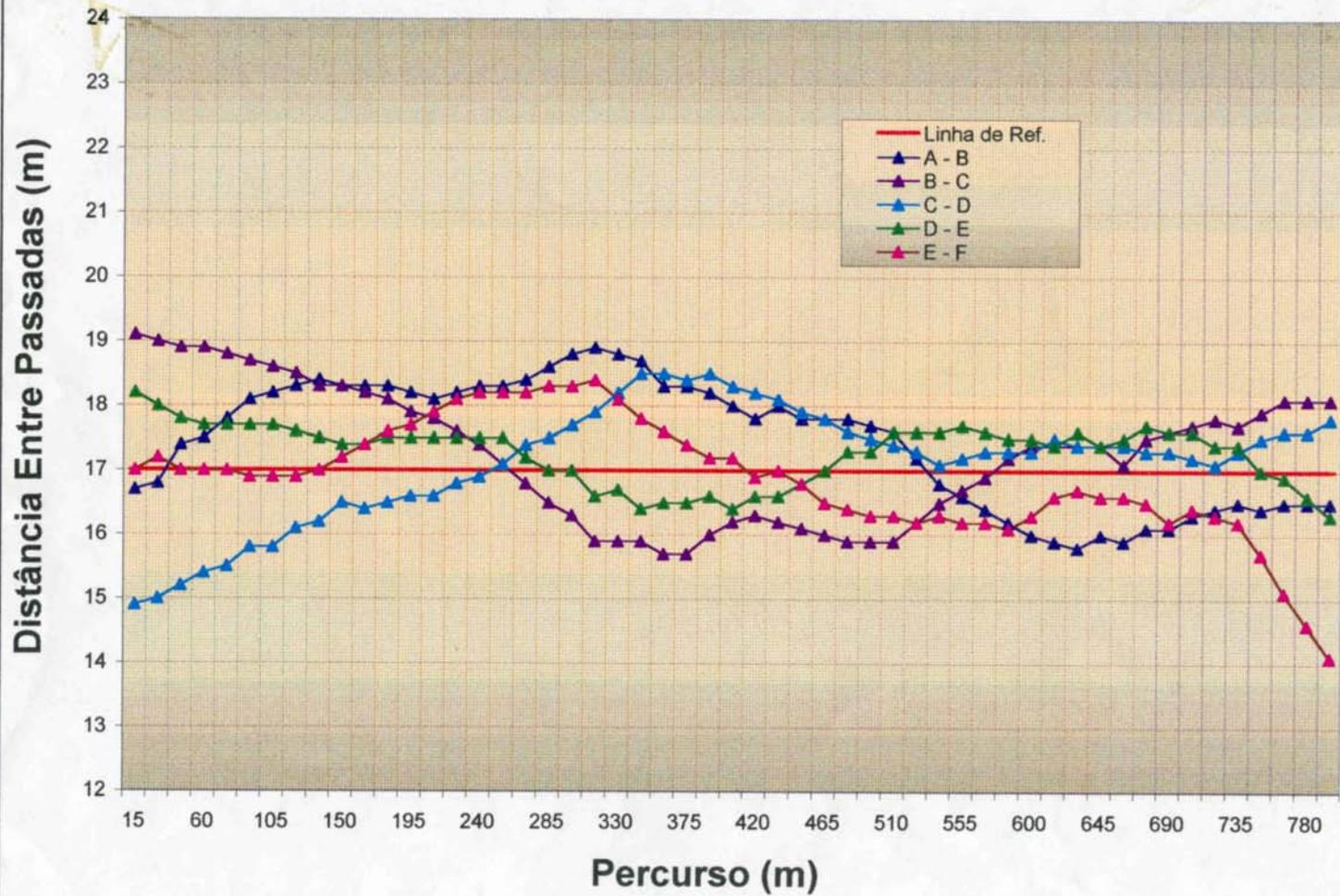
Barra de luz em aviação – o primeiro usuário agrícola de GPS no Brasil



Orientação por Bandeiras

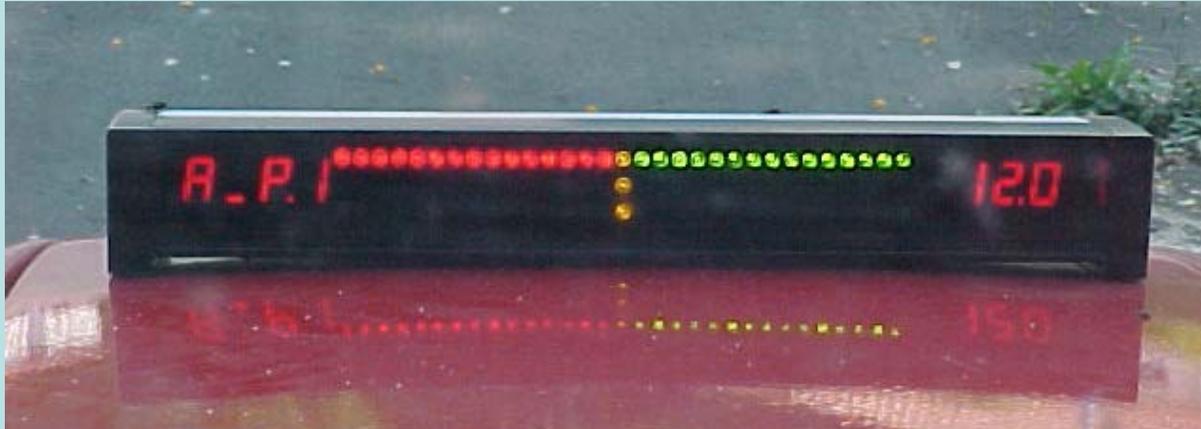


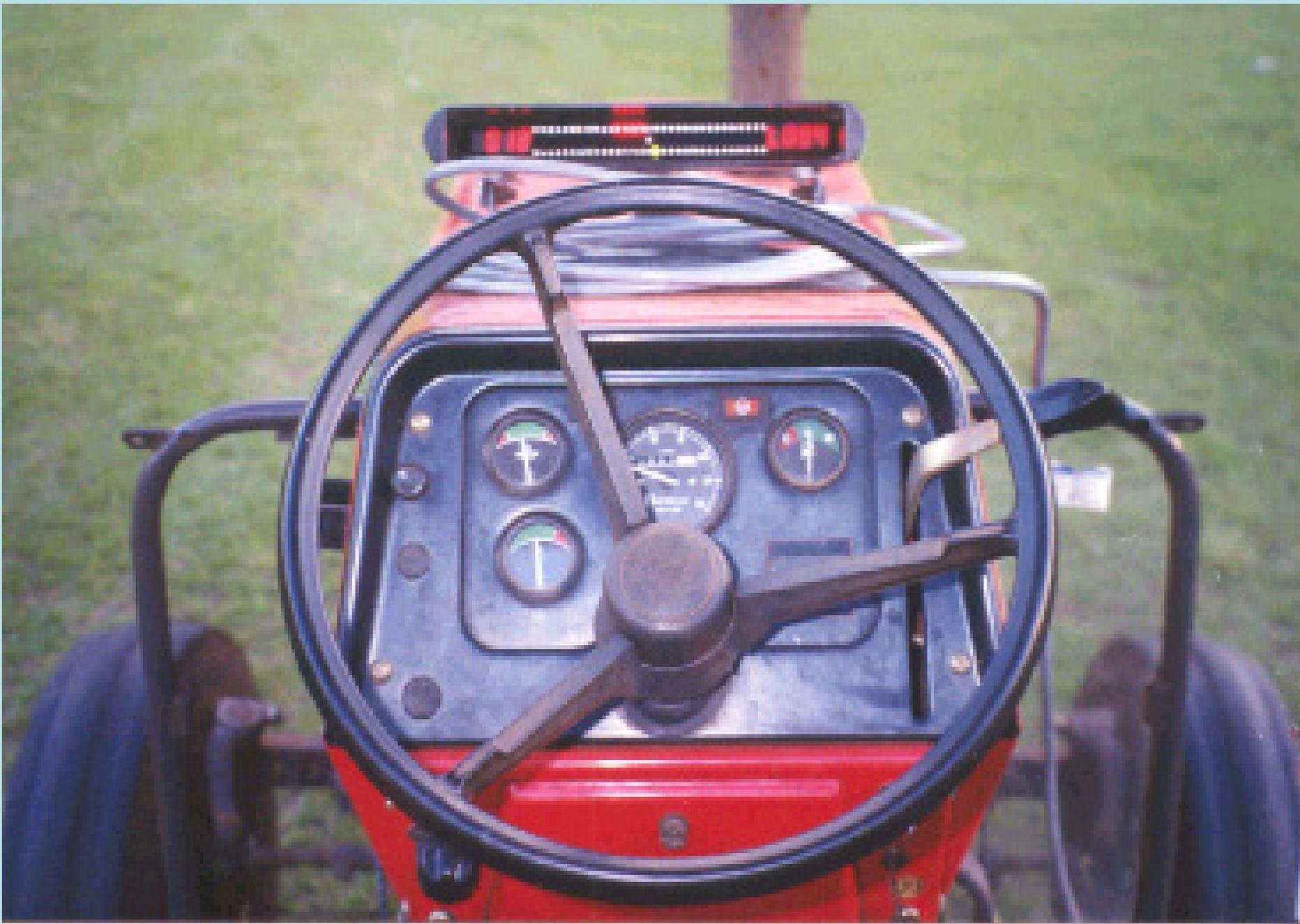
Orientação por GPS





Barra de luz para faixas paralelas





Autopilot Trimble



New GreenStar AutoTrac Assisted Steering System!

Hands-free steering lets you work smarter and more efficiently







Auteq
SV18GPS

VALTRA

Auteq

SV18GPS
Sensor de Velocidade







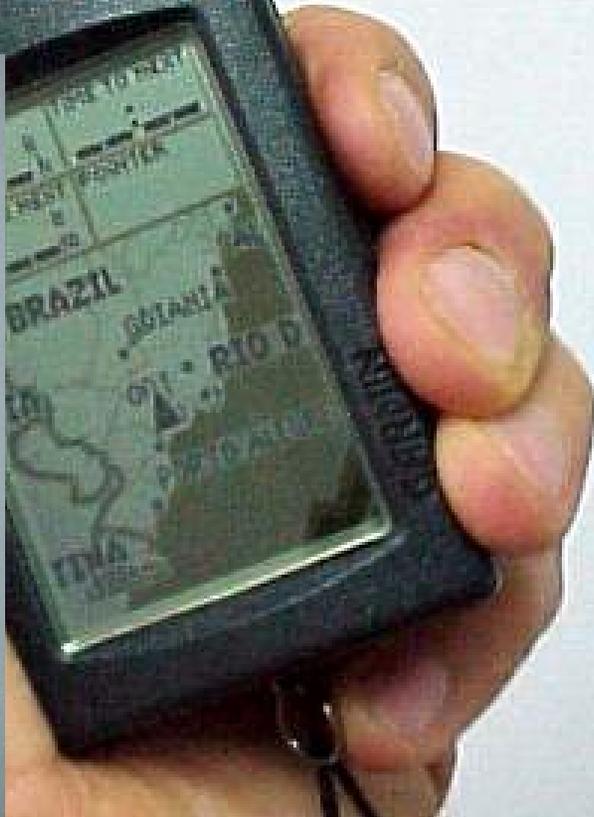












Area2; 99 (17.7 ha.)

Date: 10.02.1999

Field Name: Area2; 99

Farm Name: APiloto2

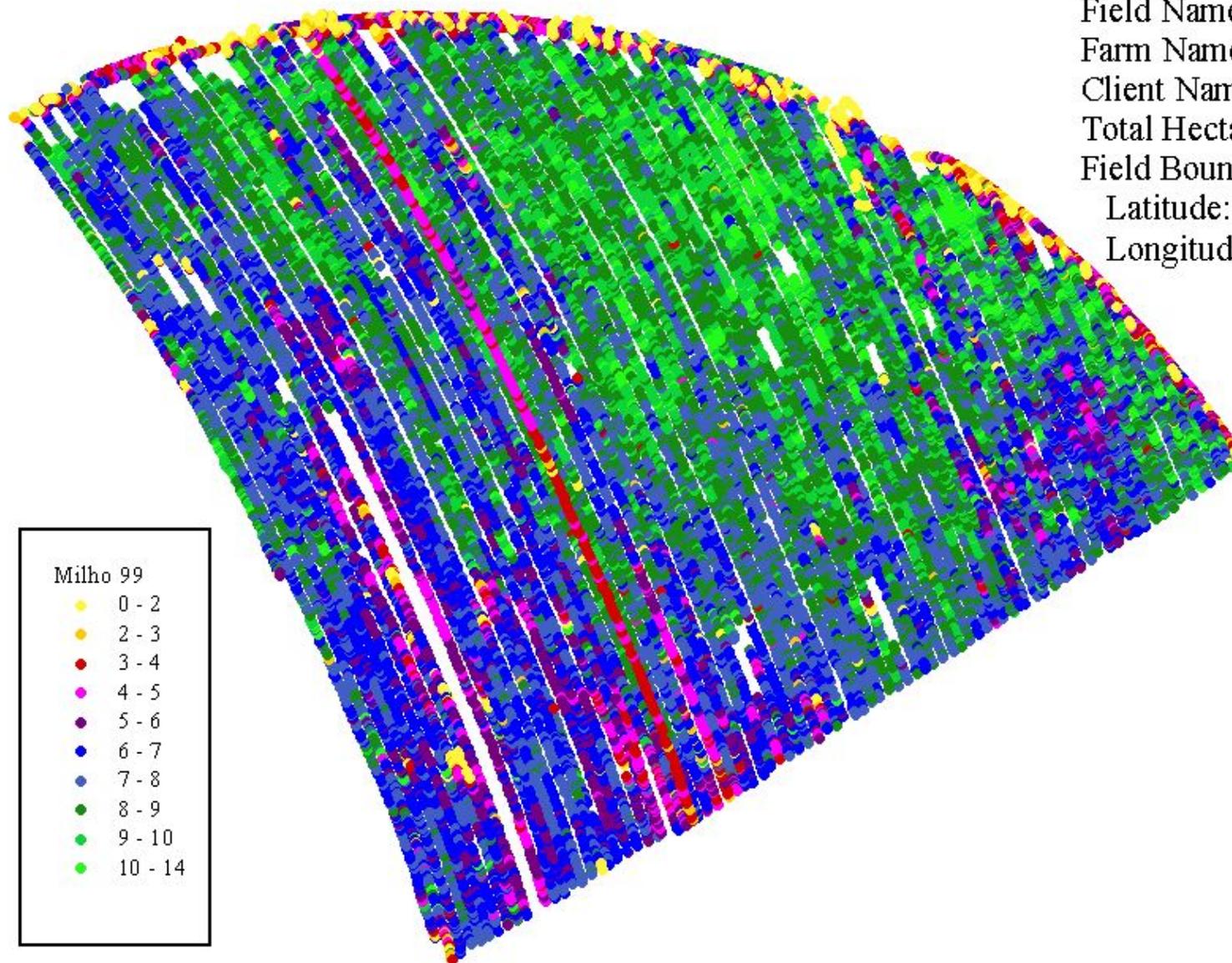
Client Name: Pinunga

Total Hectares: 17.7

Field Boundary Start Location:

Latitude: -21.96468134

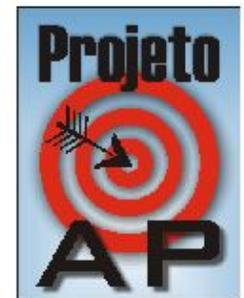
Longitude: -47.46880393



Milho 99

- 0 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- 5 - 6
- 6 - 7
- 7 - 8
- 8 - 9
- 9 - 10
- 10 - 14

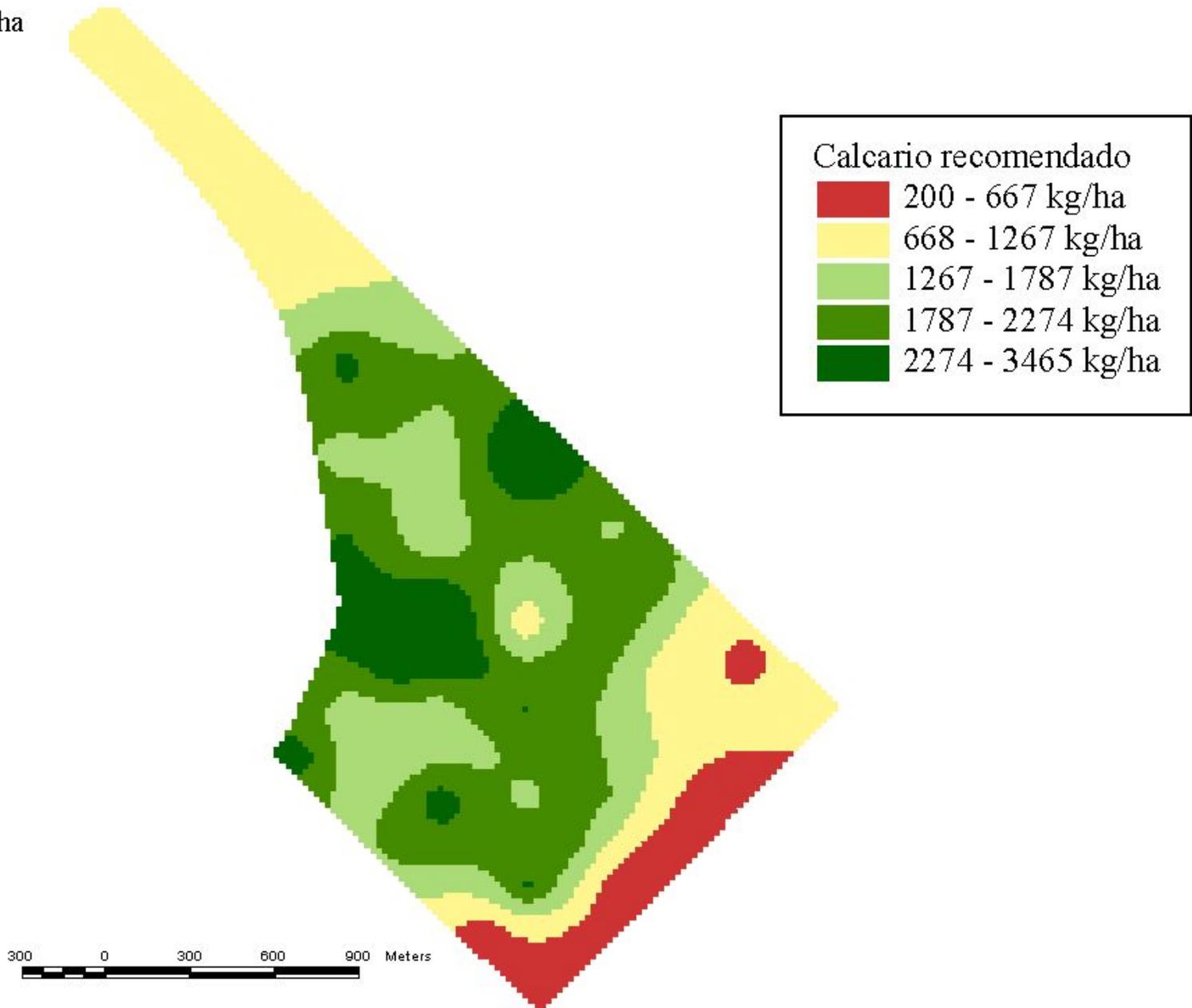
100 0 100 Meters

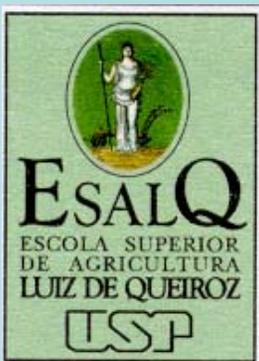


DER - ESALQ/USP



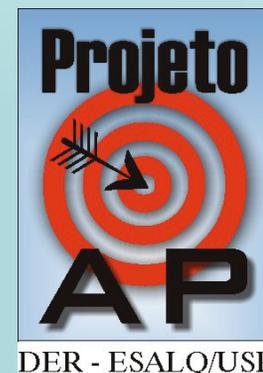
Talhão 302.2 ha





FIM!

José P. Molin
ESALQ/USP
jpmolin@esalq.usp.br



<http://www.esalq.usp.br/departamentos/ler/projap.htm>

Realização



Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão
www.projetoap.hpg.com.br/gmap



Grupo de Estudos “Luiz de Queiroz”

Apoio

