

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS (GNSS)



Prof. Dr. Peterson Ricardo Fiorio

Dep. Eng. de Biosistemas – ESALQ/USP



GLOBAL POSITIONING SYSTEMS

GPS

GNSS



GPS

O termo *Global Positioning System* (GPS) é aplicado para sistemas que realizam o posicionamento baseado por satélites operacionalizado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos.

GNSS

O atual GNSS é o resultado da junção dos Sistemas GPS, GLONASS e GALILEO com a finalidade de garantir melhoria na geometria, disponibilidade para todas as regiões do globo terrestre, integridade e confiança aos usuários.

INTRODUÇÃO

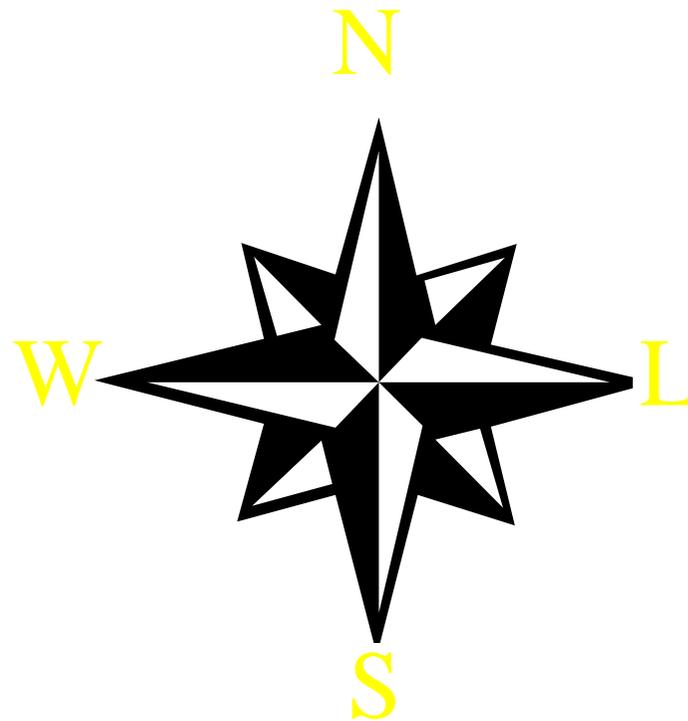


Necessidade intrínseca do Homem saber onde está e onde vai!

➔ **Inicialmente posicionava-se pelas estrelas (navegação celeste);**

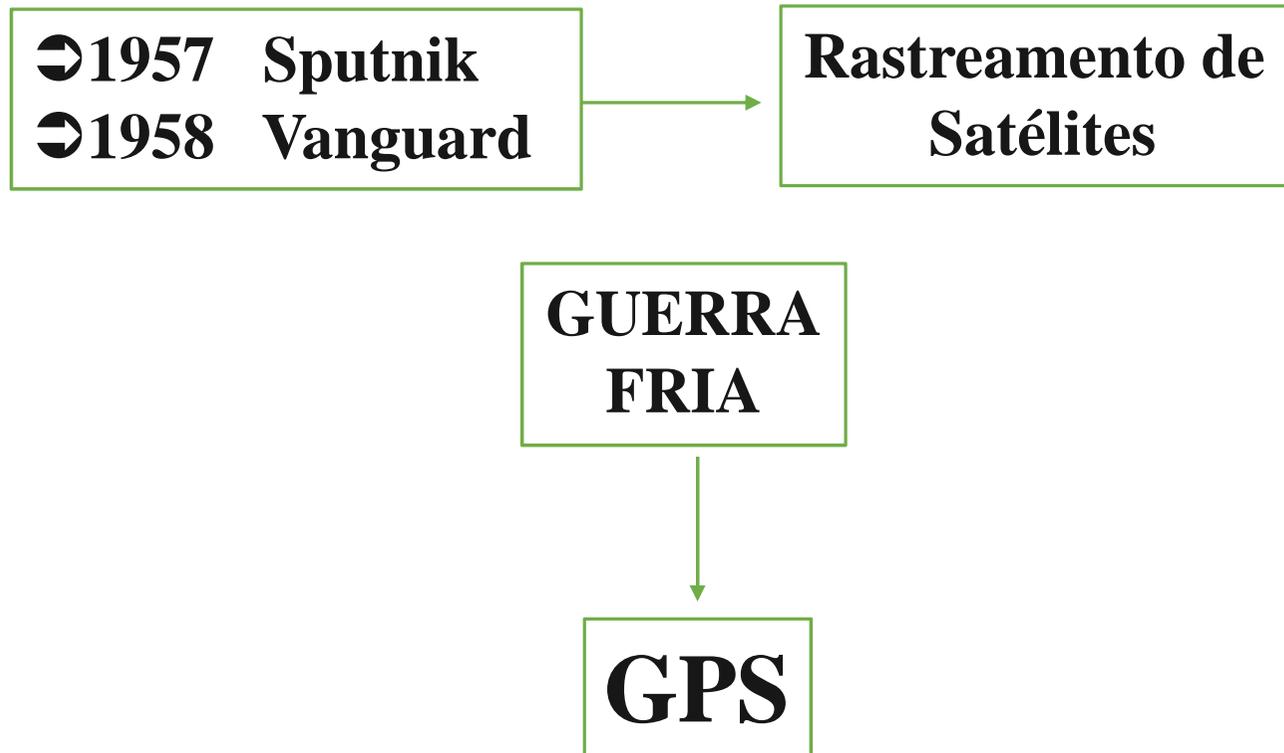


No século XIV utilizado em navegação (cartografia náutica) e mapeamento das novas rotas marítimas e do novo mundo;



Com a evolução tecnológica houve avanços no sistema de posicionamento;





⇒ O sistema GPS foi projetado para se obter o posicionamento instantâneo bem como a velocidade de um ponto na superfície da terra ou próximo a ela

CARACTERÍSTICAS

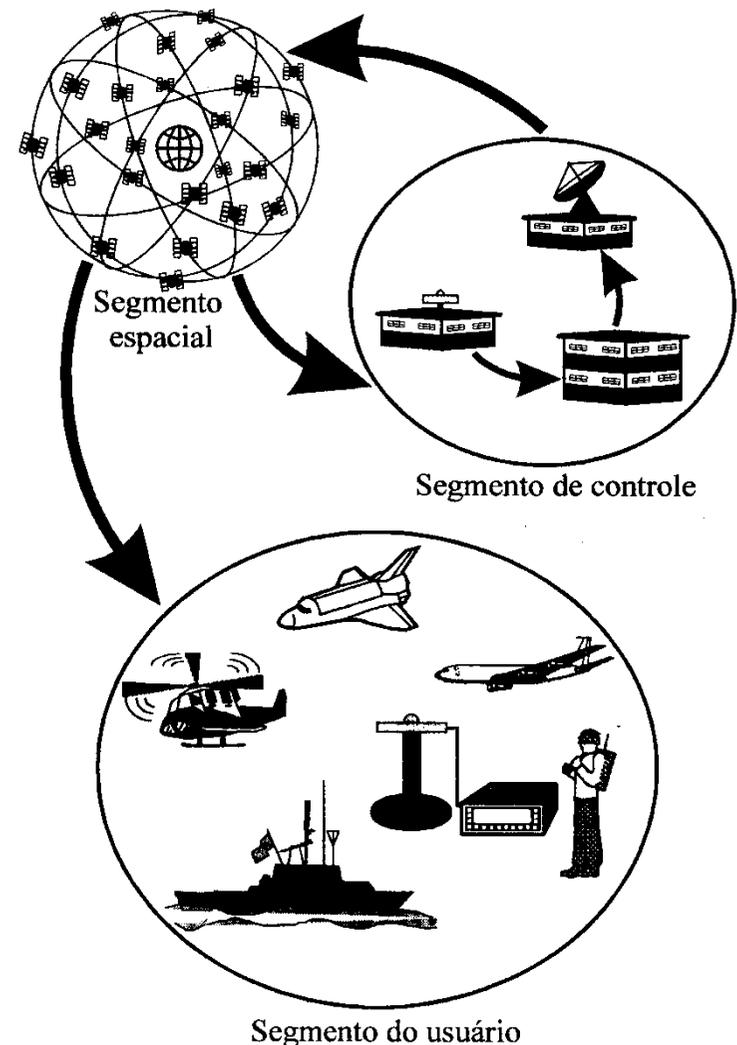
- 🌐 Disponibilidade contínua 24 horas / dia
- 🌐 Cobertura Global
- 🌐 Latitude / Longitude / Altitude / Data-hora
- 🌐 Precisão ≤ 100 metros 95% do tempo
- 🌐 Precisão diferencial sub-centimétrica

CARACTERÍSTICAS



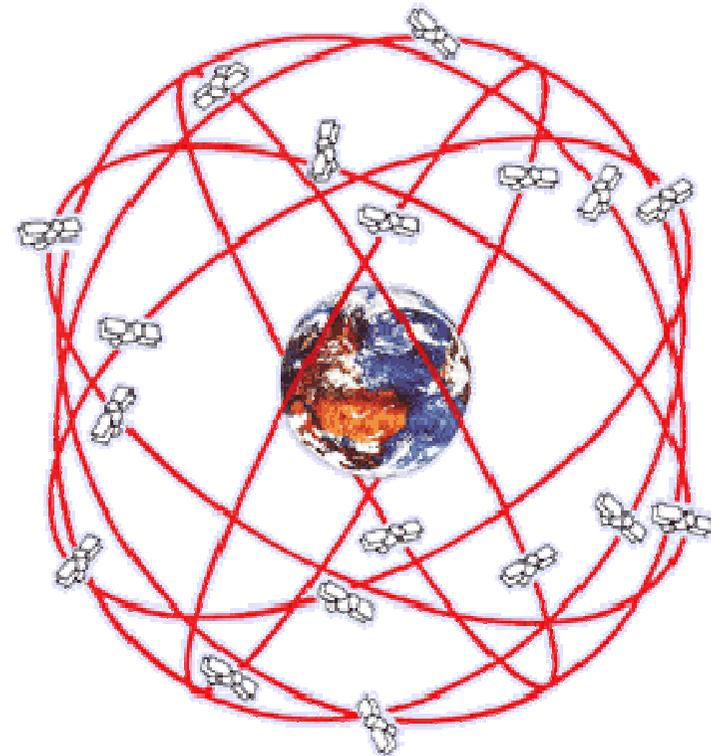
CARACTERÍSTICAS

- 🌐 O sistema GPS é dividido em três segmentos principais:
1. O segmento espacial, constituído pelos satélites que transmitem os sinais usados no posicionamento GPS;
 2. O segmento de controle, que é responsável pela manutenção do sistema;
 3. O segmento de usuários, contendo todas as aplicações e tipos de receptores.

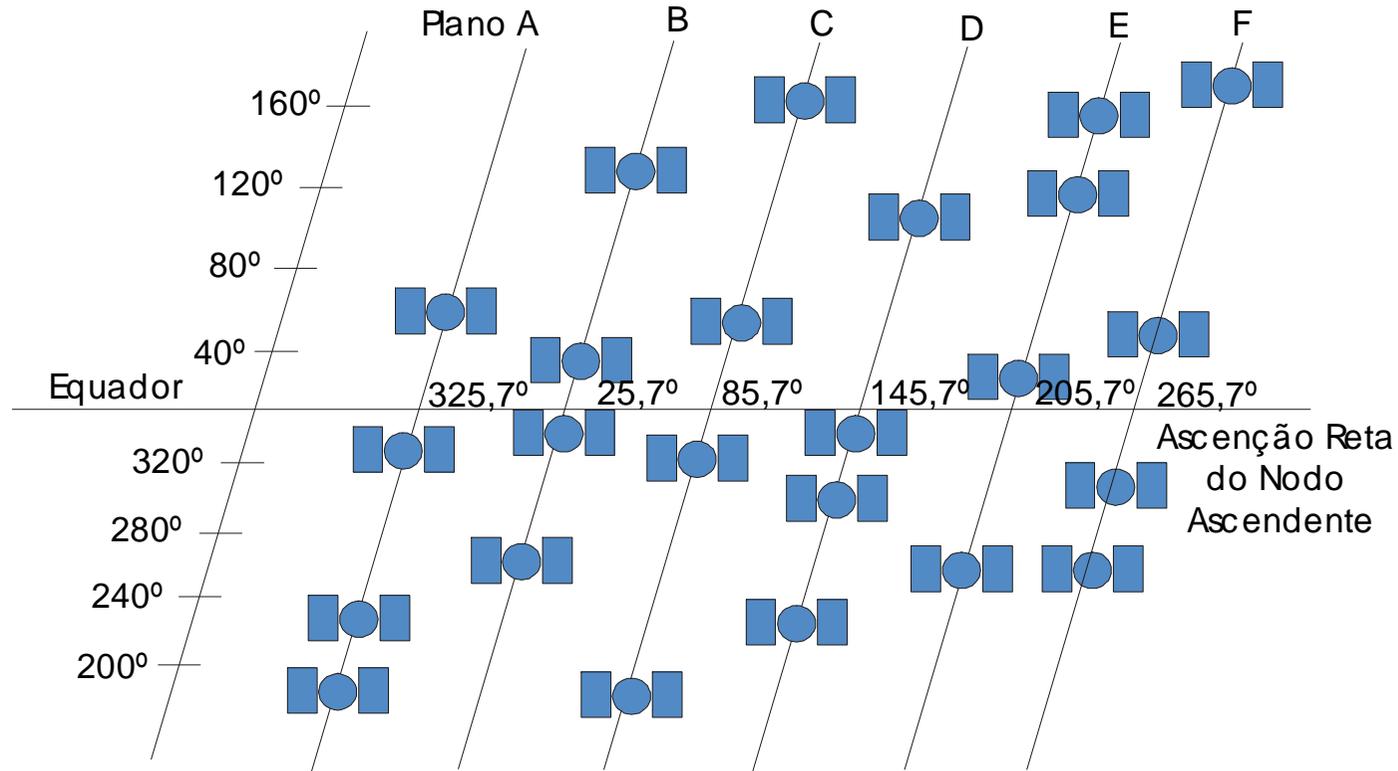


SEGMENTO ESPACIAL

- 🌐 24/25 satélites na constelação final
 - 6 planos com inclinação 55°
 - em cada plano 4 satélites
- 🌐 Órbita muito alta
 - 20.183 km, 12.545 milhas
 - período aprox. 12 horas
 - grande autonomia
 - cobertura global

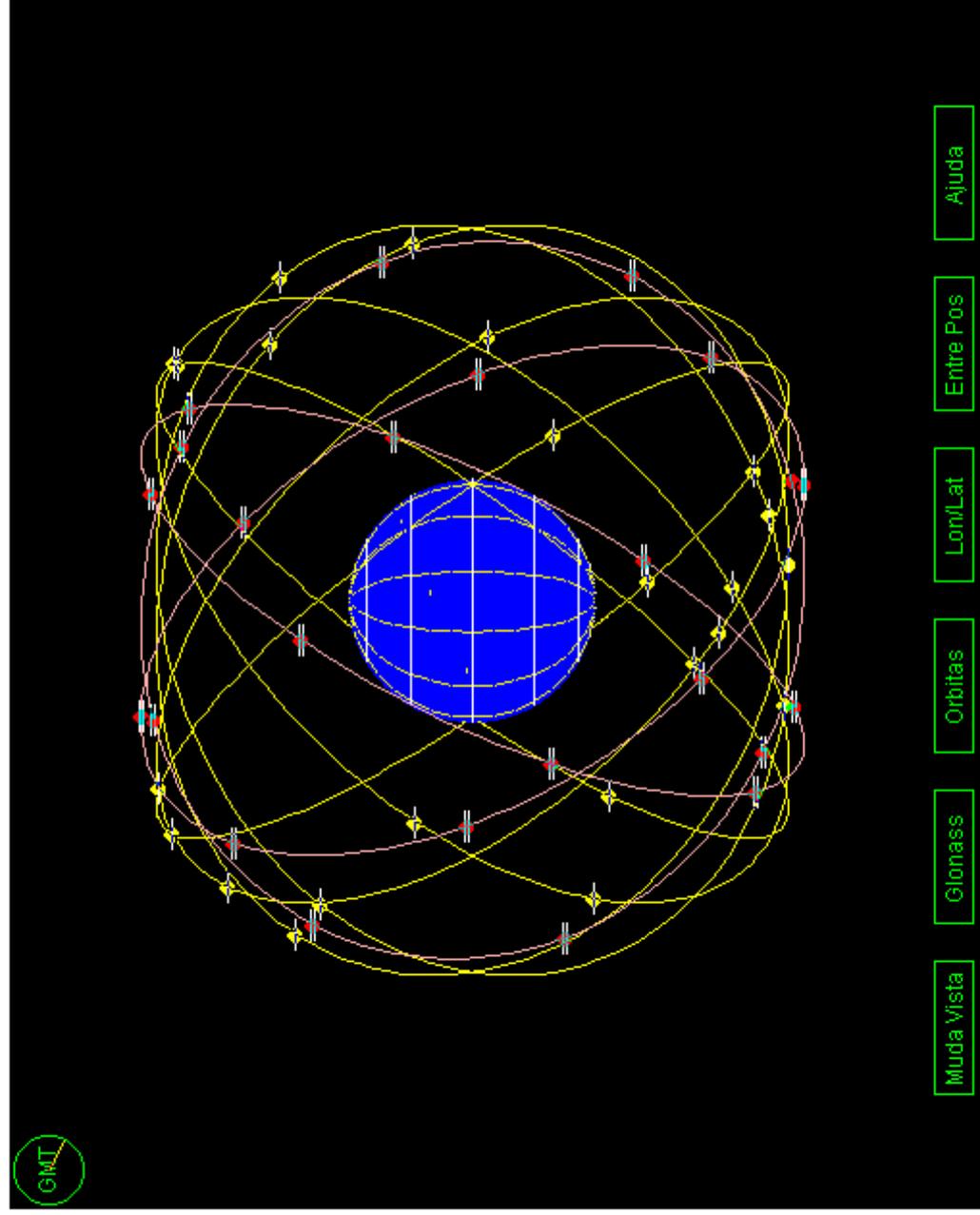


SEGMENTO ESPACIAL



Distribuição dos satélites GPS nos planos orbitais (Monico, 2000)

Simulação dos satélites GPS e GLONASS



SEGMENTO ESPACIAL

- 🌐 **Bloco I:** foram lançados 11 satélites (pesando 845 kg), considerados protótipos, o primeiro foi lançado em 22/02/1978 e o último em 09/10/1985. O último satélite operacional desta série (PRN 12) foi desativado no final de 1995 . **Autonomia de 3,5 dias, sensores que detectavam explosões nucleares ocorridas na atmosfera ou no espaço, além de realizar o posicionamento na terra**

SEGMENTO ESPACIAL

- 🌐 **Bloco II:** Nesta classe, foram lançados 9 satélites (pesando 1500 kg) pela Air Force Base (AFB), entre 1989-1990, do Centro Espacial Presidente Kennedy (Cabo Canaveral, Flórida), com foguetes Delta II.
- 🌐 **Bloco IIA:** (A significa *advanced* ou avançado): nesta classe, os satélites passaram a ter capacidade de comunicação mútua. Foram lançados entre 1990 e 1997 e mantêm as demais especificações daqueles do Bloco II.

SEGMENTO ESPACIAL

-  **Bloco IIR (R significa *replacement* ou substituição):** os satélites desta classe começaram a ser lançados em 1997; atualmente há 8 deles em órbita. As principais inovações são:
1. são equipados com osciladores de hidrogênio, que são pelo menos uma ordem de grandeza mais precisos que os osciladores de césio;
 2. melhorias na parte de comunicação e predição de órbita a bordo;
 3. pesam mais de 2.000 kg, mas custam a metade dos anteriores.

SEGMENTO ESPACIAL

- 🌐 **Satélites Bloco IIR-M1: operacionais em 2005**
- 🌐 **18/09/2007 → abolida definitivamente degradação**
- 🌐 **2009 → segundo sinal civil em operação L2C**
- 🌐 **2010 → Satélites Bloco IIF e terceiro sinal civil L5**
- 🌐 **16/05/2014 → 6º satélite do bloco IIF colocado em órbita**
- 🌐 **2016 → Satélites GPS III**

SEGMENTO ESPACIAL

A cargo do DoD (Department of Defense) - USA

Tarefas:

- Determinação da órbita precisa de cada satélite;
- Modelagem matemática para predição destas

órbitas;

- Sincronização dos sistemas de relógio dos satélites;
- Controle de degradação dos sinal - (1997);
- Correção do posicionamento dos satélites;
- Controle de lançamentos de novos satélites;

➔ Estação Mestre: Base Falcon (USAF) - Colorado Springs

➔ Estações de Monitoramento : Hawaii, Atlântico Sul, Oceano Índico e Pacífico

SEGMENTO DO USUÁRIO

- ➔ Portadoras e códigos
- ➔ Conjunto de Usuários do Sistema
- ➔ Diversos Tipos de Receptores



Característica do Sinal

Portadoras:

Frequência Fundamental - 10,23 MHz

L1 = 10,23 MHz \times 154 = 1575,42 MHz, com $\lambda \approx 19$ cm

L2 = 10,23 MHz \times 120 = 1227,60 MHz, com $\lambda \approx 24$ cm

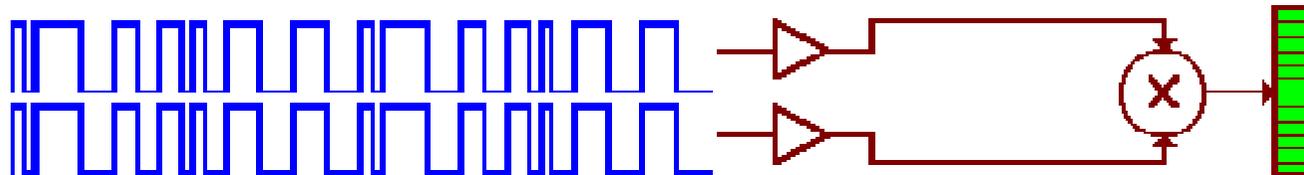
Códigos:

Código P: (precision code) com frequência de 10.23MHz. (L1 e L2)

Código C/A: (coarsel /aquisition code) com frequência de 1.023MHz (L1)

Código Y ou AS: (anti spoofing) gerada a partir de uma equação

secreta e tinha função controlar o uso do sistema. (1997)



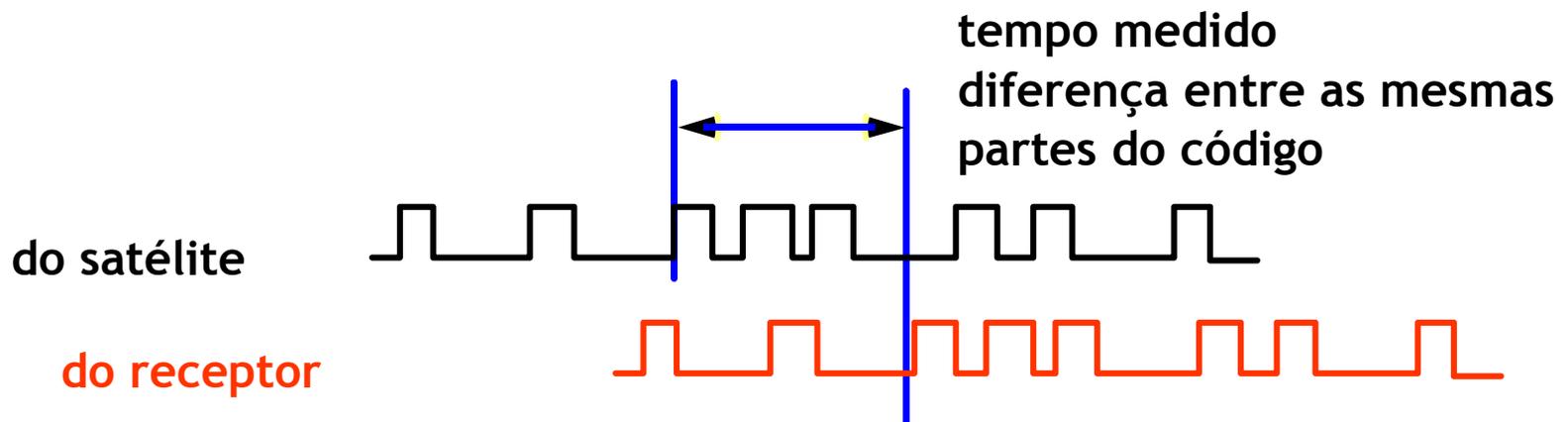
CARACTERÍSTICA DO SINAL

- ④ As portadoras trazem também moduladas as mensagens de navegação que contém os parâmetros orbitais, os dados para a correção da propagação ionosférica, os parâmetros para correção do erro dos relógios dos satélites, informações sobre a saúde dos satélites, etc.
- ④ Com esta breve explanação, pode-se observar que há três tipos de sinais envolvidos no GPS: a portadora, os códigos e os dados (navegação, relógio, etc). Esta estrutura permite não só medir a fase da portadora e sua variação, mas também o tempo de propagação. (Monico, 2000).

CARACTERÍSTICA DO SINAL

Uma das boas idéias do GPS:

- 🌐 Usar o mesmo código no satélite e no receptor;
- 🌐 Sincronizar satélite e receptor, gerando o mesmo código ao mesmo tempo;
- 🌐 Quando o código chega do satélite se conhece quanto tempo atrás o receptor gerou o mesmo código;



OS NOVOS SINAIS

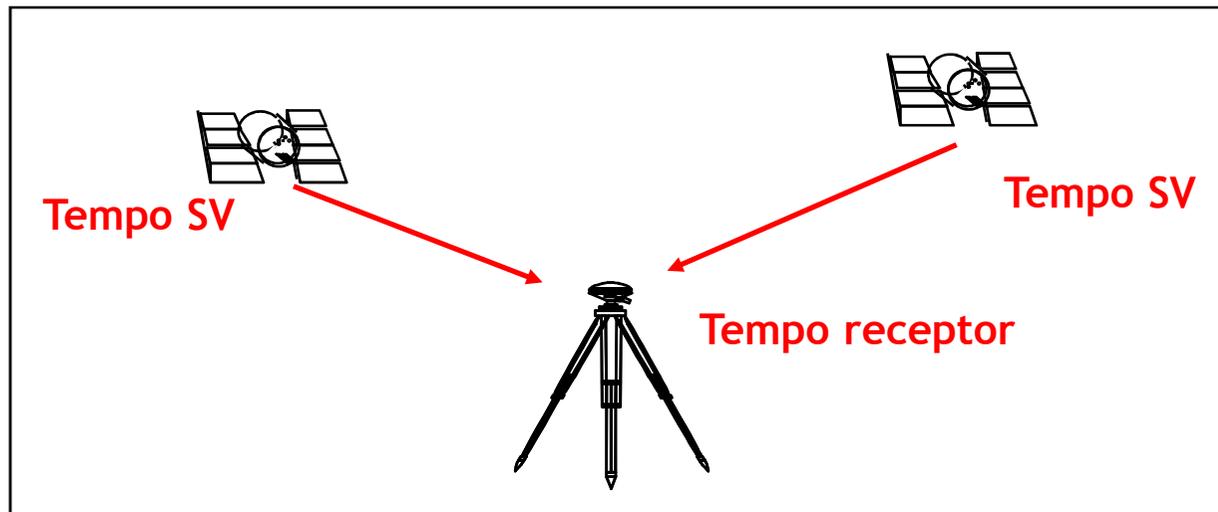
-  **L2C: é o segundo sinal civil GPS, projetado especificamente para atender às necessidades comerciais.**
-  **Para os usuários que operam com a dupla frequência existente (L1 e L2), L2C proporciona aquisição mais rápida do sinal e maior confiabilidade.**
-  **Transmissões L2C são melhores do que o sinal L1-C/A, sendo possível receber este sinal debaixo de árvores e até mesmo dentro de casa.**

OS NOVOS SINAIS

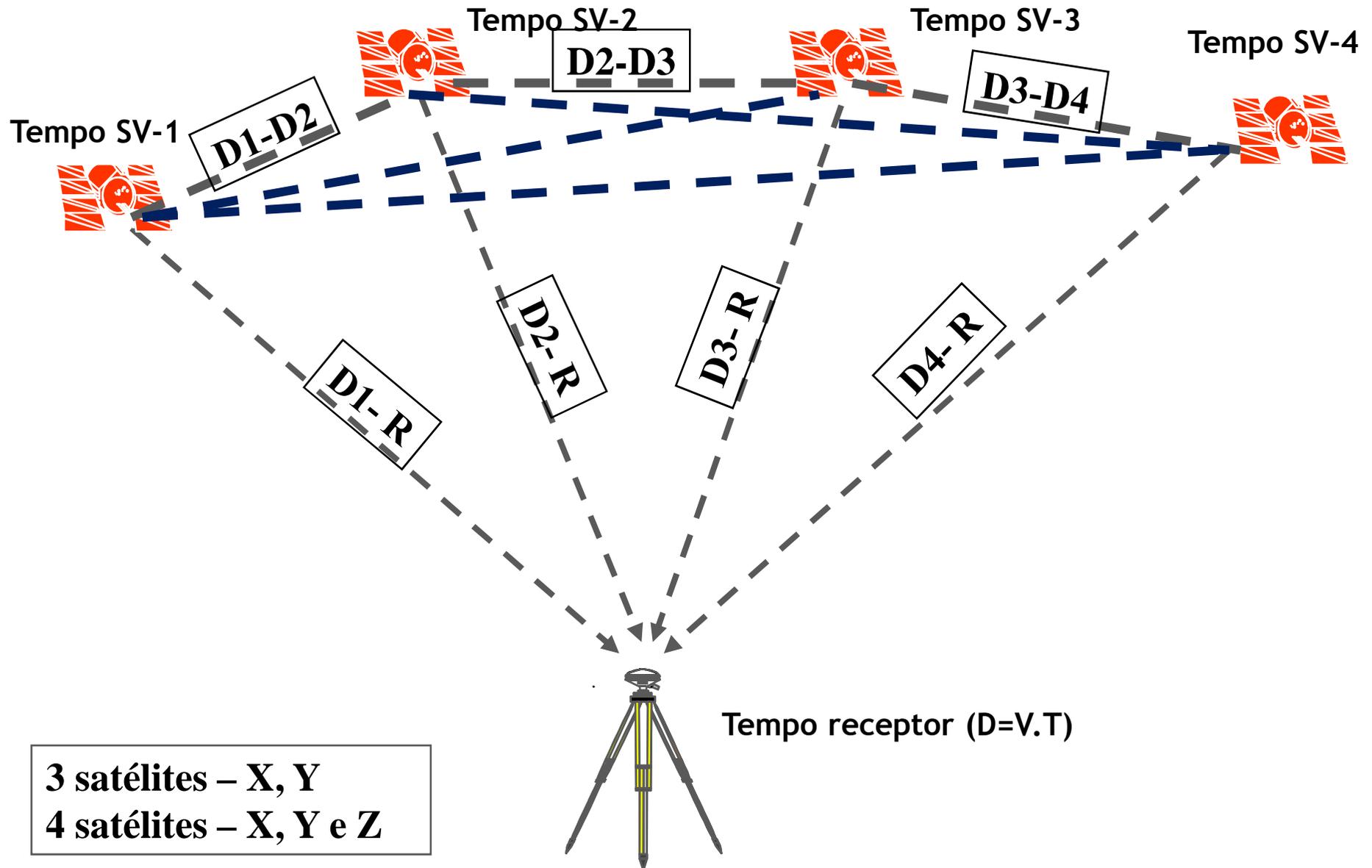
- 🌐 **L5:** é o terceiro sinal de GPS civil, projetado para atender aplicações de alta performance, como o transporte seguro de passageiros.
- 🌐 A frequência de rádio usada pelo sinal é 1176 MHz.
- 🌐 A frequência L5 tem sido transmitida em uma banda de rádio reservada exclusivamente para os serviços de segurança da aviação.
- 🌐 Futuramente será utilizada nos levantamentos topográficos e geodésicos.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

- 🌐 **Fórmula simples: $\text{Distância} = \text{Velocidade} \times \text{Tempo}$**
 - **Distância = Distância ao satélite (Pseudorange)**
 - **Tempo = tempo de percurso do sinal satélite-receptor**
 - ◆ **Quando o sinal deixou o satélite?**
 - ◆ **Quando o sinal chegou no receptor?**
 - **Velocidade = Velocidade da luz**



Princípio de Funcionamento



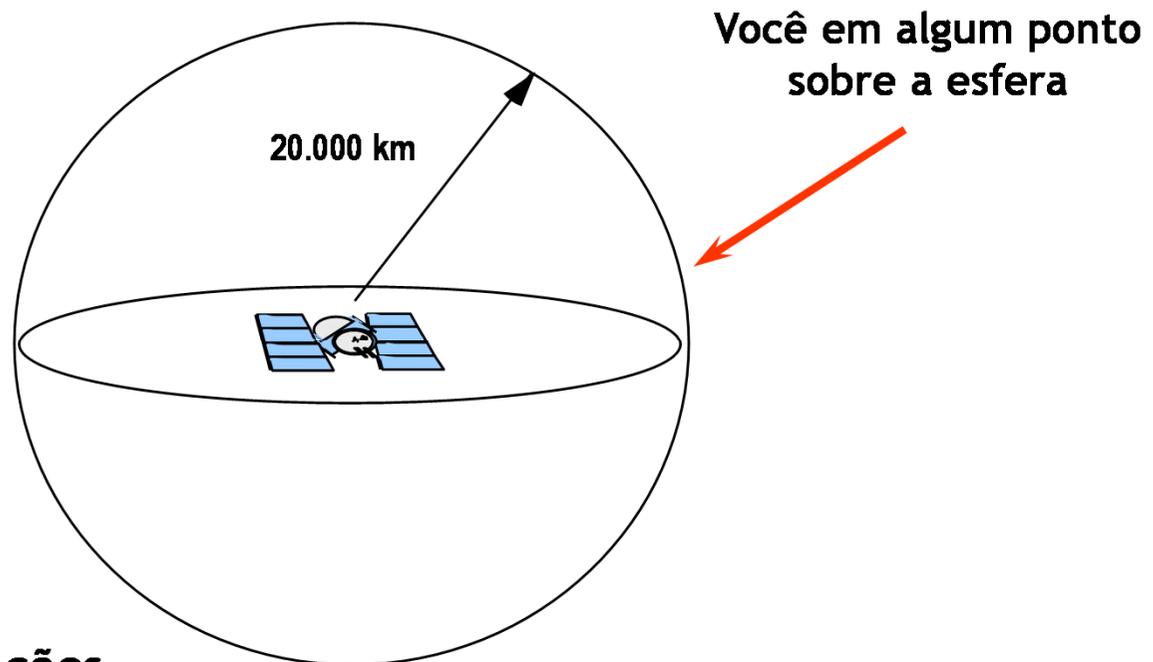
Princípio de Funcionamento

- 🌐 A partir de distâncias a vários satélites pode-se obter a posição por meio de uma equação matemática.
- 🌐 Uma medição fornece a posição sobre a superfície de uma esfera.

4 incógnitas:

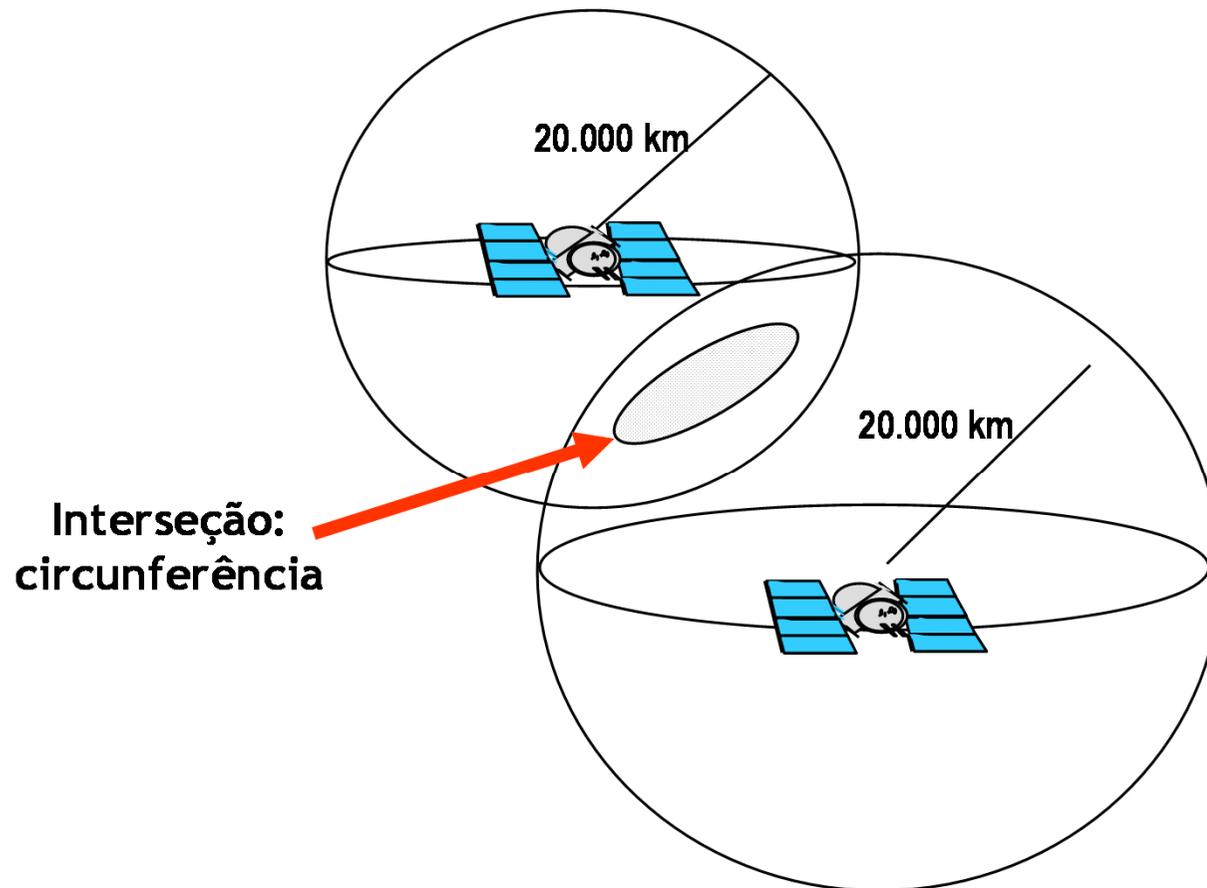
1. Latitude
2. Longitude
3. Altitude
4. Tempo

São necessárias 4 equações



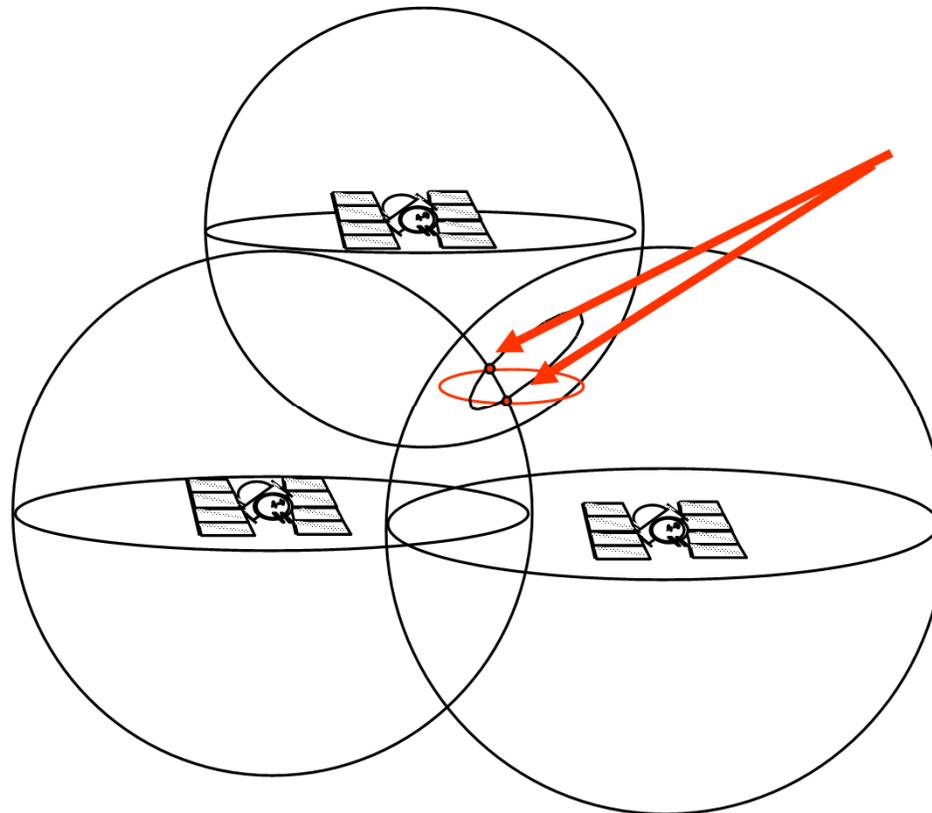
Princípio de Funcionamento

- 🌐 Uma segunda medição fornece como solução a interseção entre duas esferas: uma circunferência.



Princípio de Funcionamento

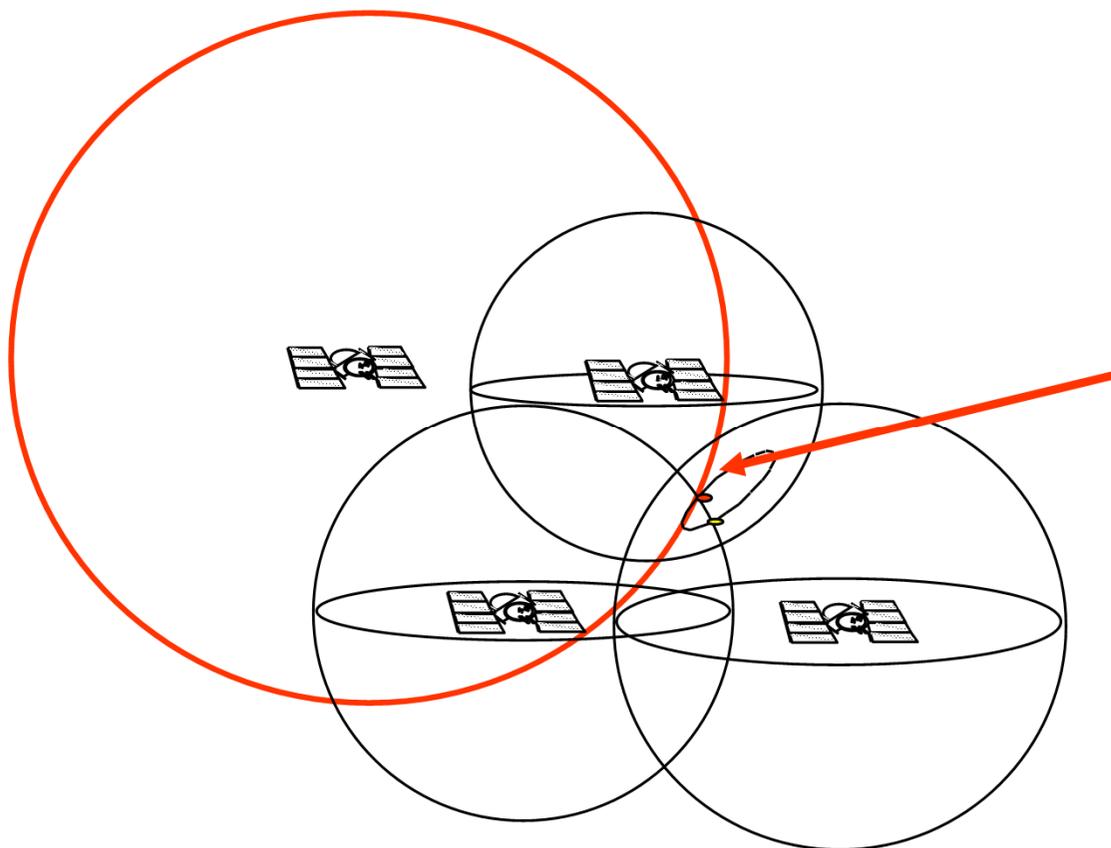
- 🌐 Na prática 3 medições são suficientes para determinar a posição. Um dos pontos (solução) é descartado já que é uma solução impossível, no espaço ou em alta velocidade.



A interseção de três esferas são só dois pontos

Princípio de Funcionamento

- 🌐 A 4ª medição permite resolver (remover) o erro do relógio (tempo) do receptor



A 4ª medição apontará para só um dos pontos

QUAIS SÃO OS PRINCIPAIS ERROS DO SISTEMA GNSS (GPS)?

- Erros do relógio

 - Efemérides

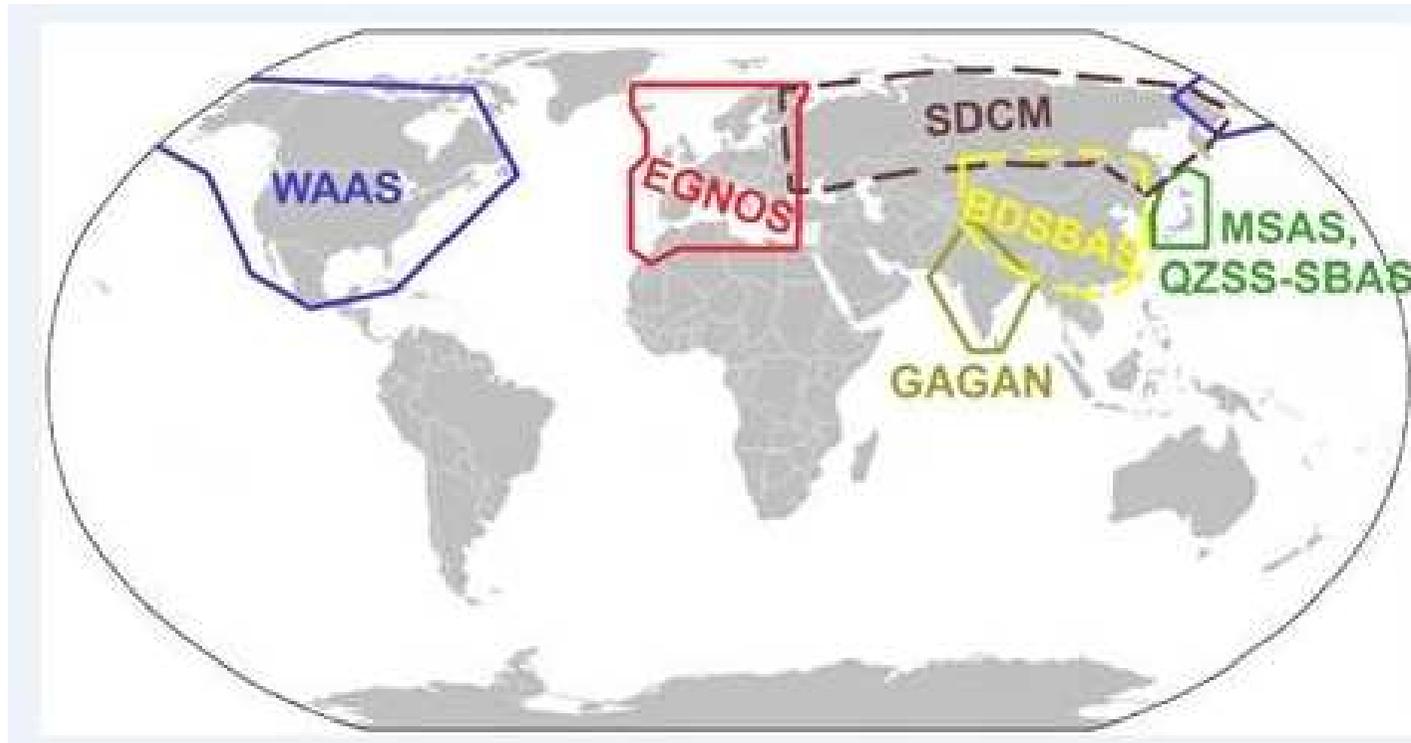
 - Atraso na atmosfera (ionosfera)

 - Multicaminhamento

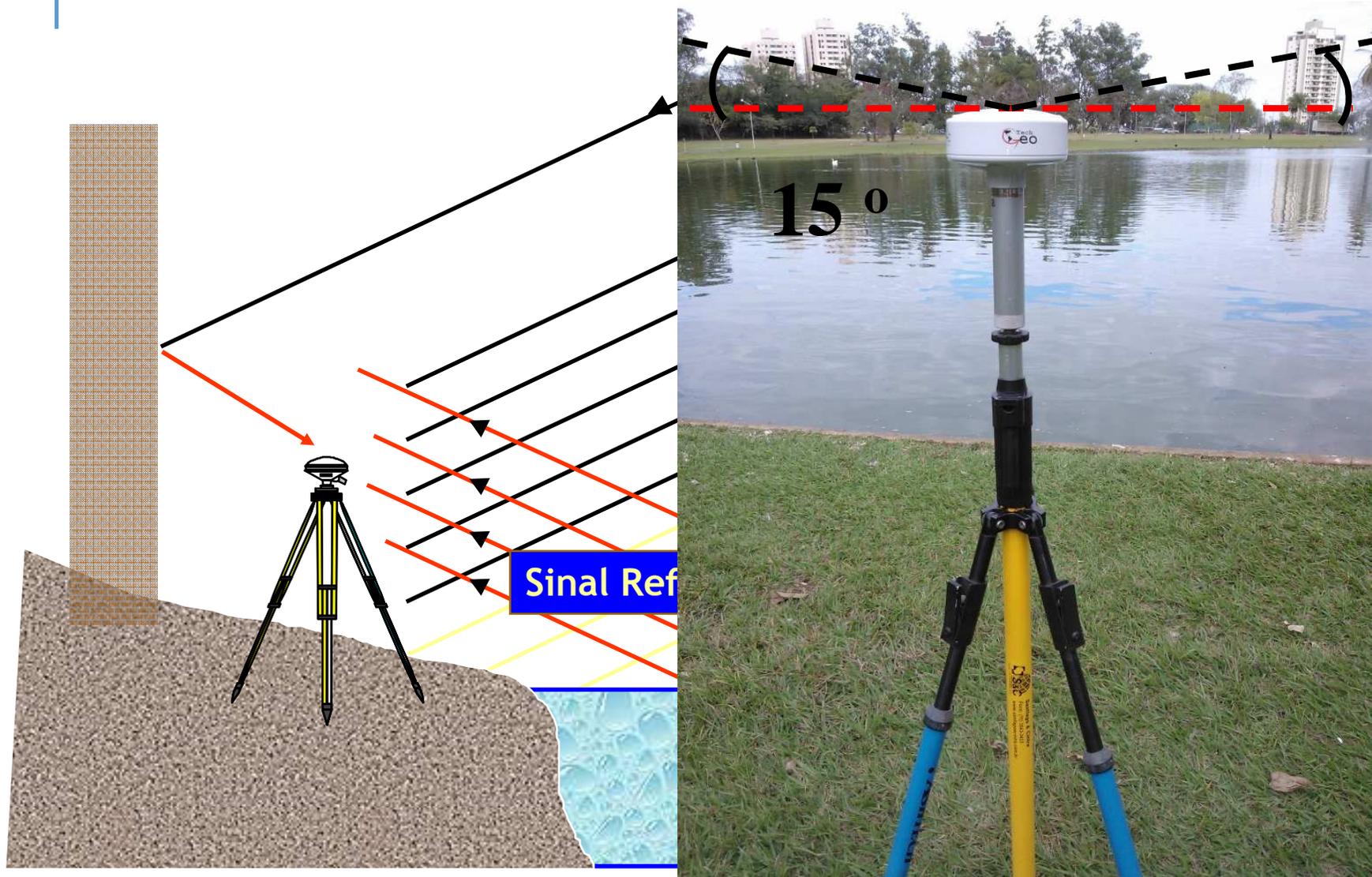
 - PDOP

ERRO NA PRECISÃO DE POSICIONAMENTO

- **Atraso na atmosfera (ionosfera)**

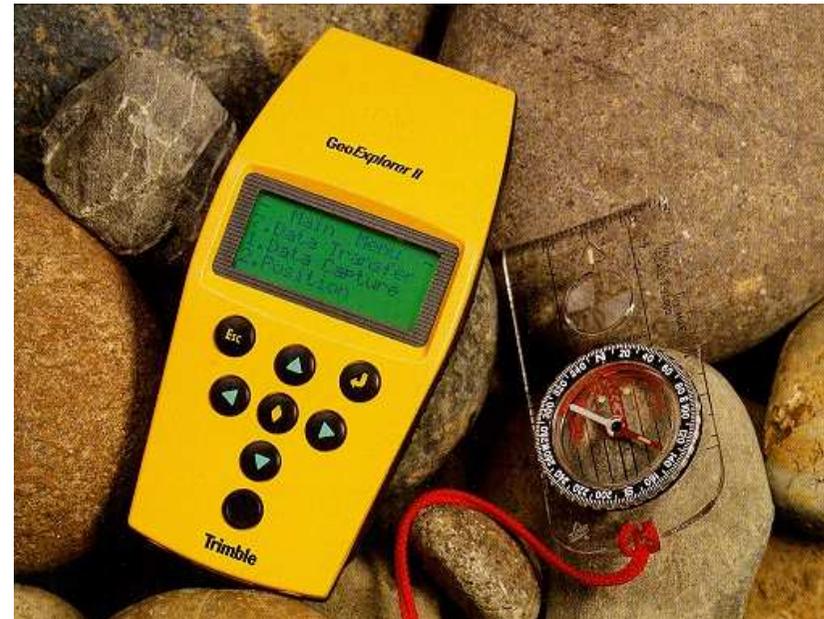


ERRO NA PRECISÃO DE POSICIONAMENTO- MULTICAMINHAMENTO

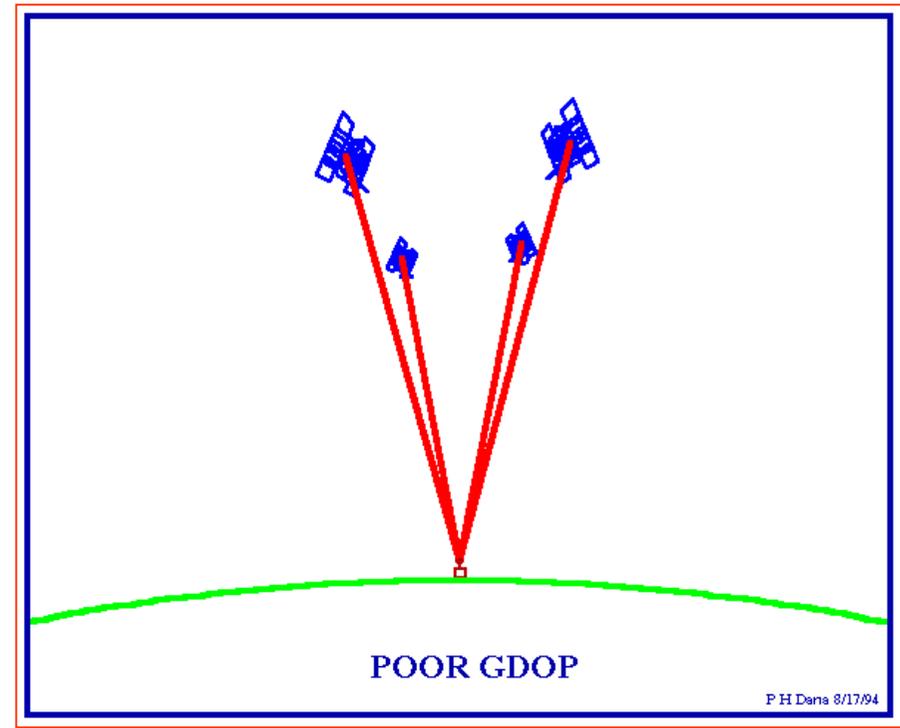
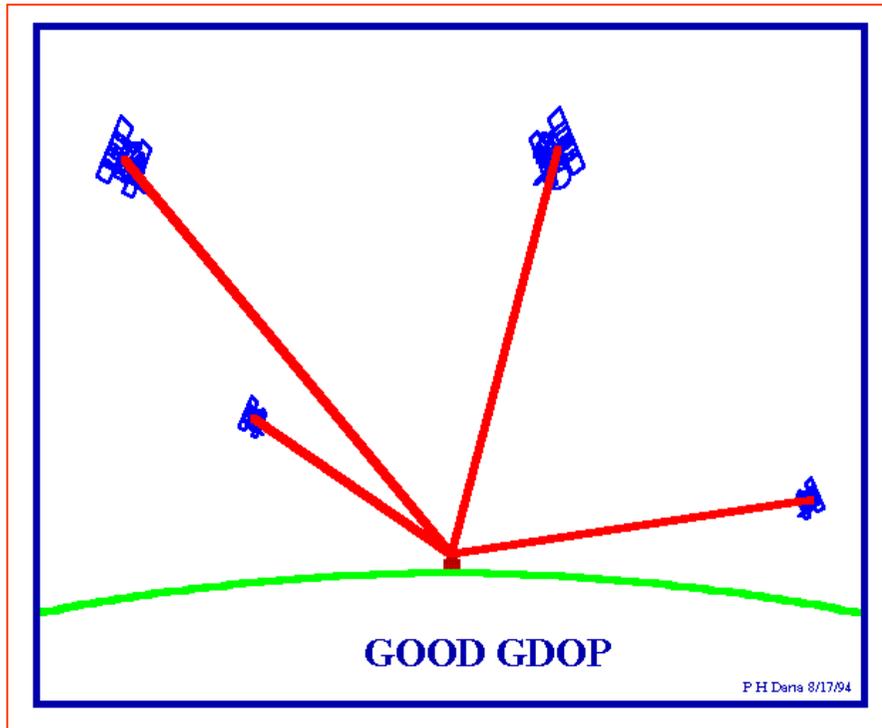


ERRO NA PRECISÃO DO POSICIONAMENTO LOCAL

Evitar proximidade a locais como, estações de transmissão de microondas, radares, antenas de rádio – repetidoras e linhas de alta voltagem, as quais representam fontes de erros para os sinais GPS. Incluí-se aqui coberturas vegetais densas.



ERROS NA PRECISÃO DO POSICIONAMENTO- DOP (DILUTION OF PRECISION) PDOP



Métodos de posicionamento

- 🌐 O posicionamento, que consiste da determinação da posição de objetos, parado ou em movimento, na superfície terrestre ou próximo a ela, utilizando GPS pode ser realizado na forma absoluta, relativa ou DGPS (*Differential GPS*).

↳ Método Absoluto

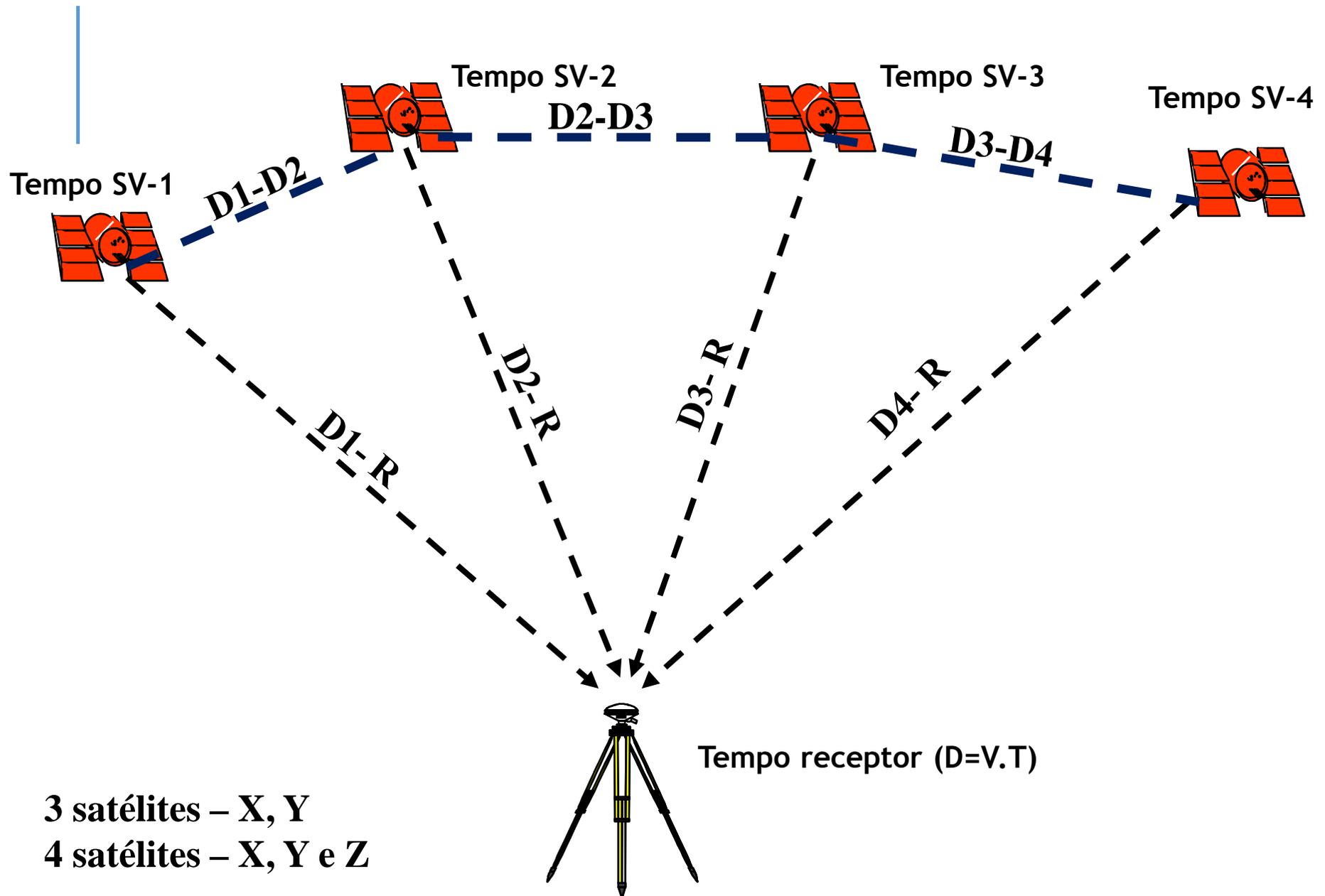
↳ Método Relativo ou Diferencial

Métodos de posicionamento

Método Absoluto

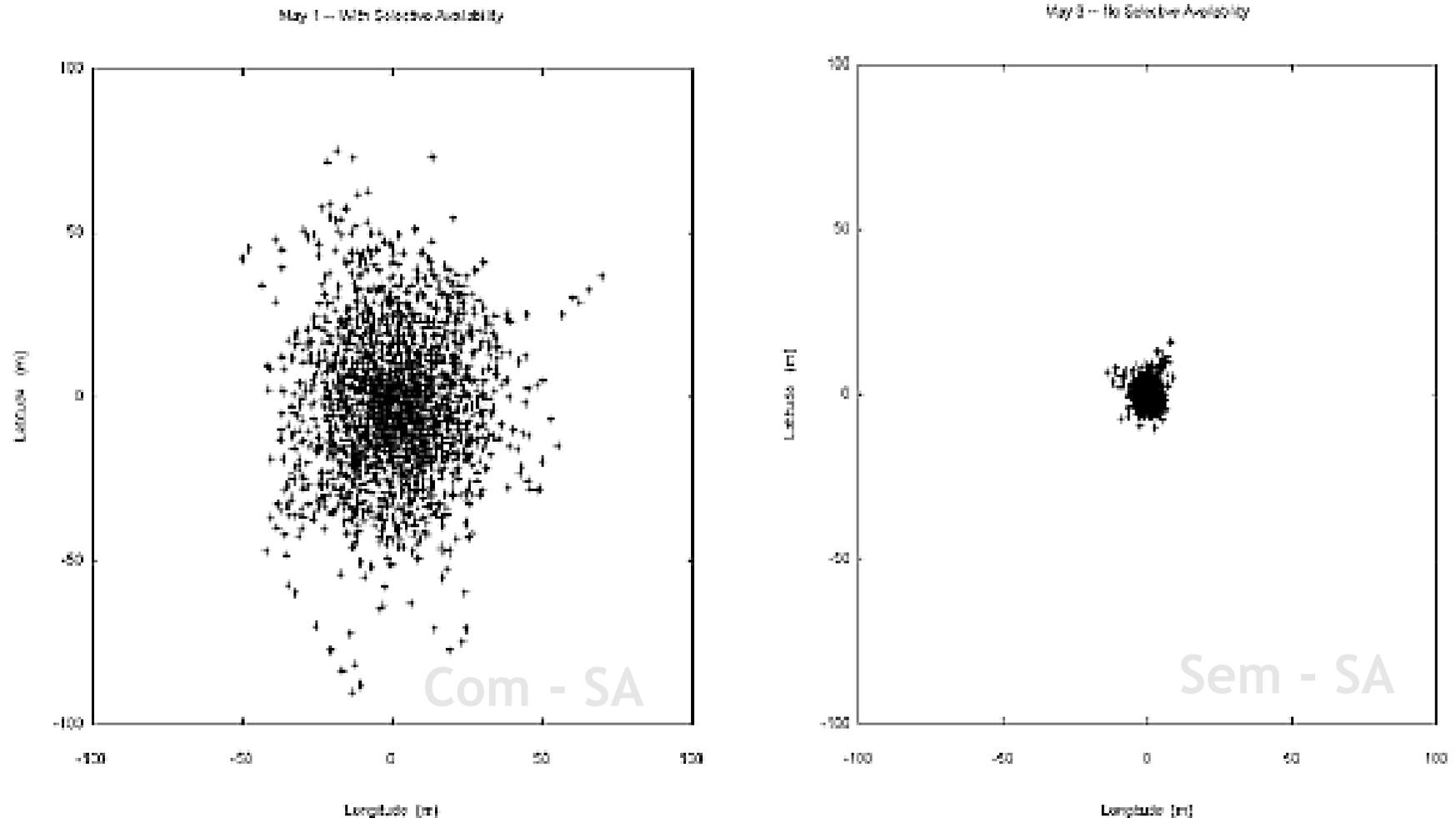
- ① **Apenas de um receptor. Método de posicionamento muito utilizado em navegação de baixa precisão e em levantamentos expeditos.**
- ① **O posicionamento instantâneo de um ponto, usando o código C/A presente na portadora L1, apresentava, até o dia 1º de maio de 2000, precisão planimétrica melhor que 100 m e altimétrica de 140 m, 95% do tempo (Monico, 2000).**
- ① **Com a desativação da SA, houve uma melhora de 10 vezes nos resultados.**
- ① **Esse método não atende os requisitos de precisão intrínsecos ao posicionamento topográfico e geodésico (Monico, 2000).**

Métodos de posicionamento



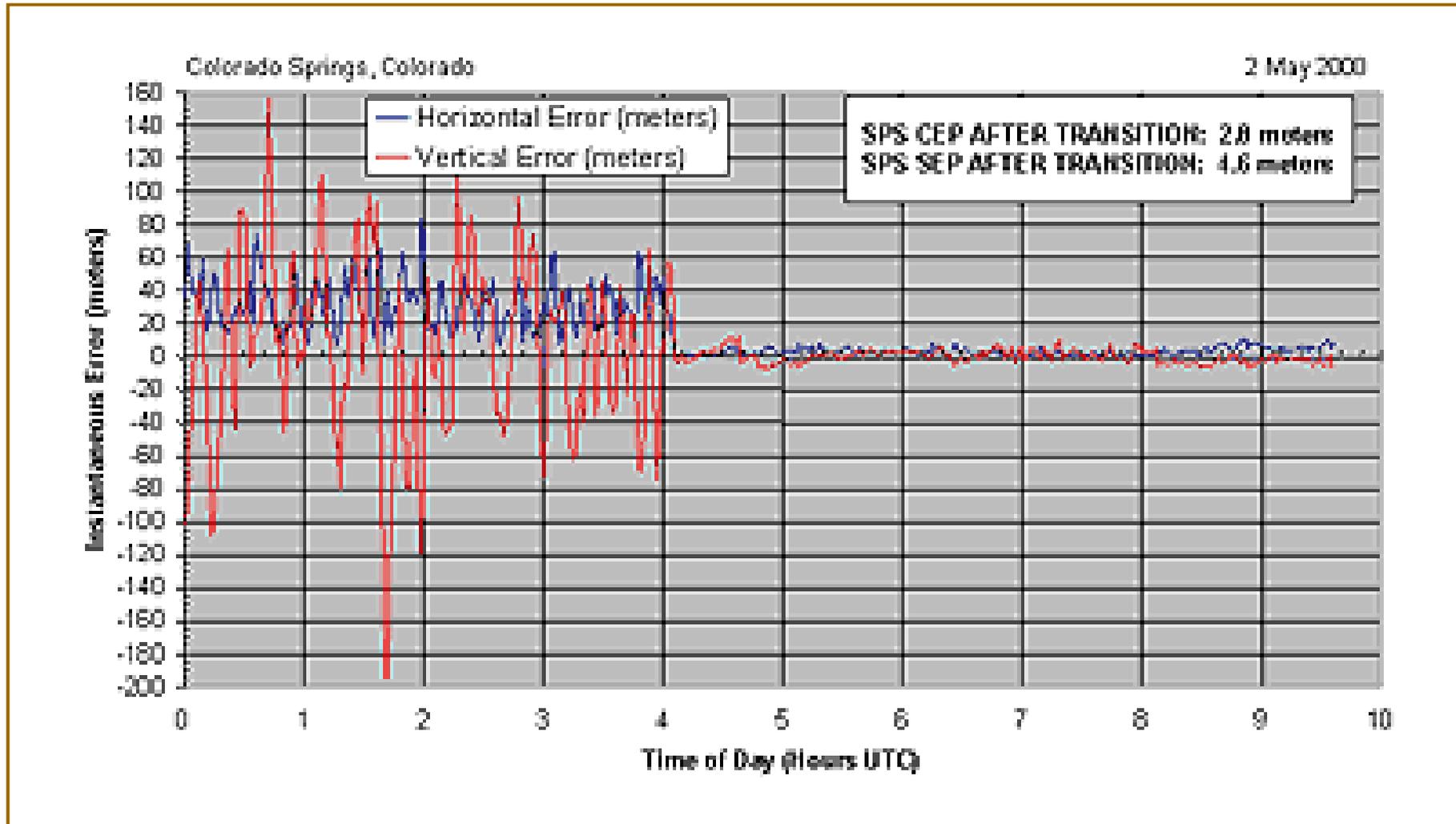
Métodos de posicionamento

Método Absoluto



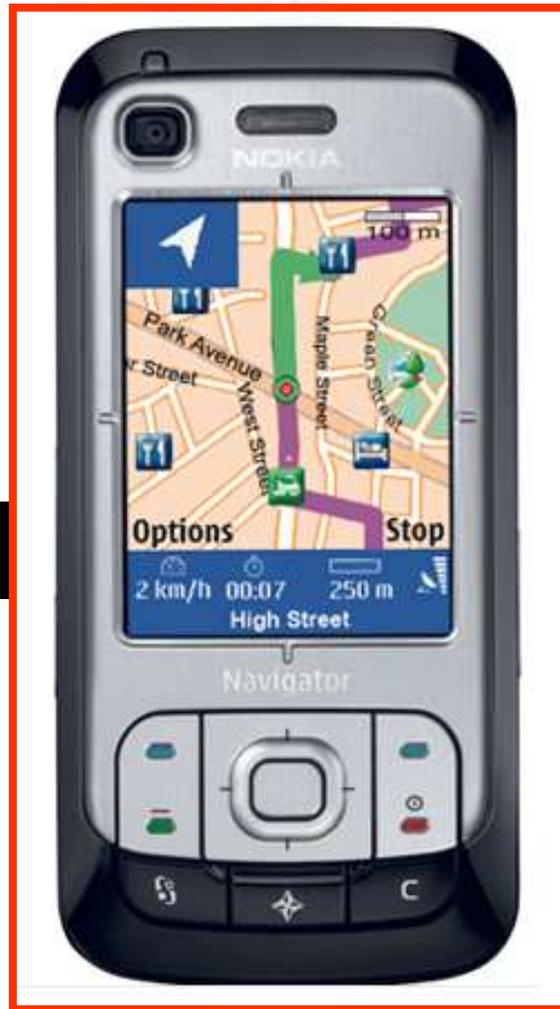
Métodos de posicionamento

Método Absoluto



Métodos de posicionamento

Método Absoluto – Receptores

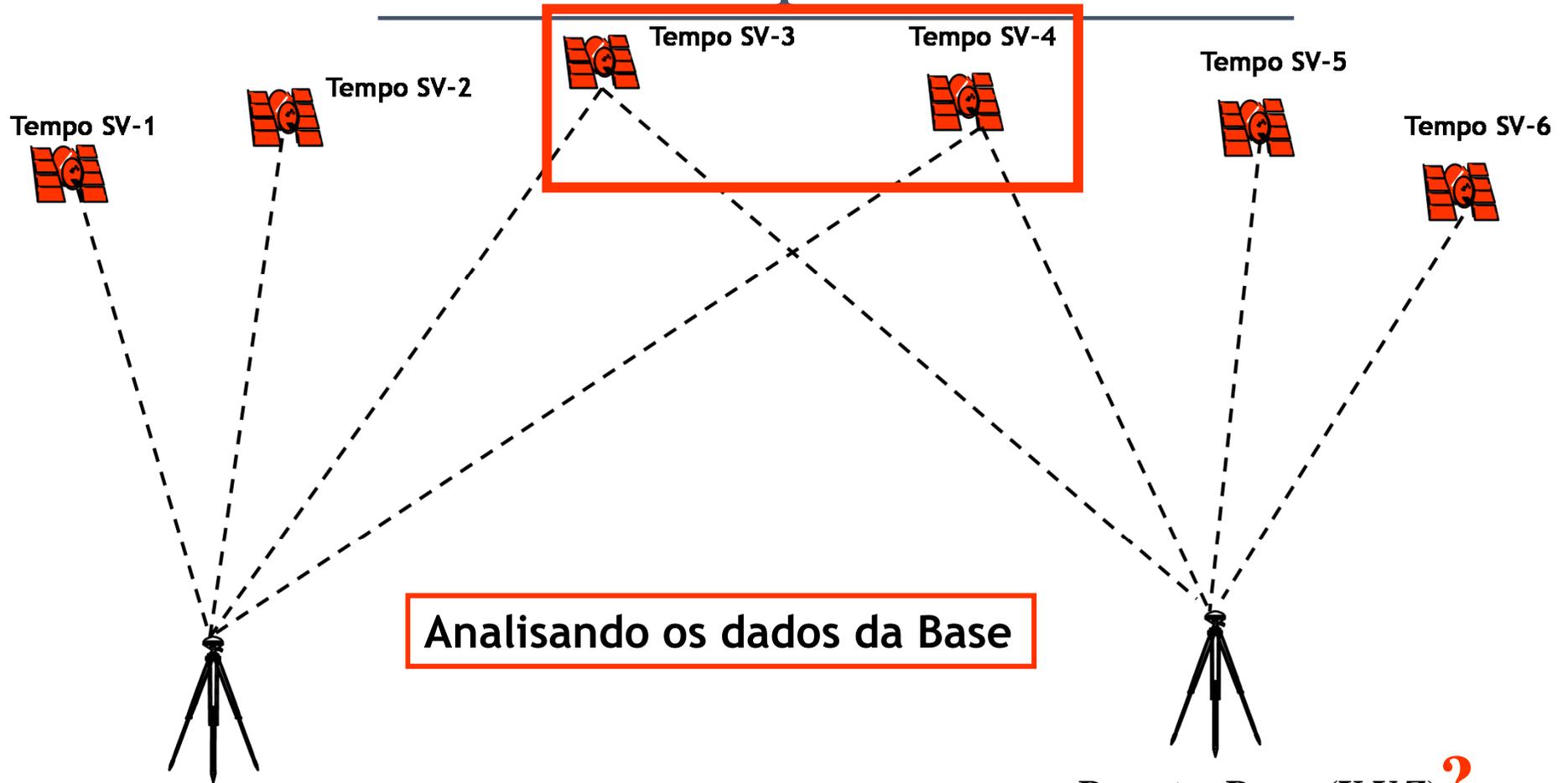


Métodos de posicionamento

Método Relativo ou Diferencial

- ① **Realizado por meio do *pós-processamento*, ou em tempo real.**
- ① **Um receptor é instalado no ponto cujas coordenadas são conhecidas (Base), e um receptor móvel (Rover) percorre os pontos para coleta de dados. (2 receptores)**
- ① **Neste método a posição de um ponto é determinada em relação à de outro(s), cujas coordenadas são conhecidas. O posicionamento relativo pode ser feito por meio dos métodos: **estático, estático-rápido, cinemático e semi-cinemático, etc.****

Métodos de posicionamento



Receptor Base (X_B, Y_B, Z_B)

Tempo 1 – Ponto 1 (X_1, Y_1, Z_1)

Tempo 2 – Ponto 2 (X_2, Y_2, Z_2)

Tempo 3 – Ponto 3 (X_3, Y_3, Z_3)

Receptor Rover (X, Y, Z) ?

Tempo 1 – Ponto 1 (X_1, Y_1, Z_1)

Tempo 2 – Ponto 2 (X_2, Y_2, Z_2)

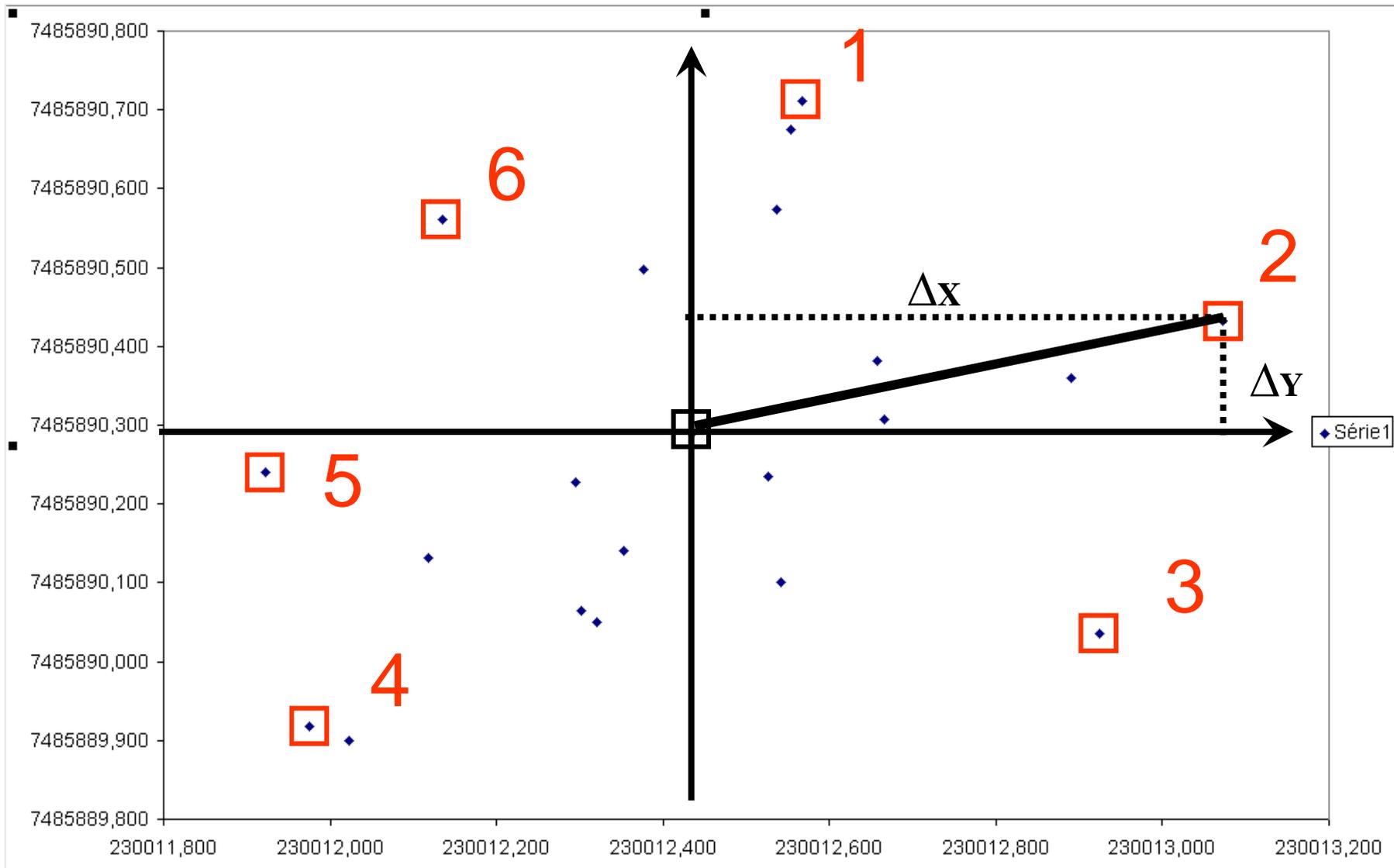
Tempo 3 – Ponto 3 (X_3, Y_3, Z_3)

Métodos de posicionamento

Método Relativo ou Diferencial

Pontos	X (W)	Y (S)	Z
T1P1	230.012,568	7.485.890,711	534,701
T2P2	230.013,072	7.485.890,432	534,507
T3P3	230.012,924	7.485.890,036	534,800
T4P4	230.011,976	7.485.889,918	534,060
T5P5	230.011,923	7.485.890,240	533,821
T6P6	230.012,136	7.485.890,561	531,688

Dados da Base (230.012,434; 7.485.890,290)



□ Dados da Base (230.012,434; 7.485.890,290)

Métodos de posicionamento

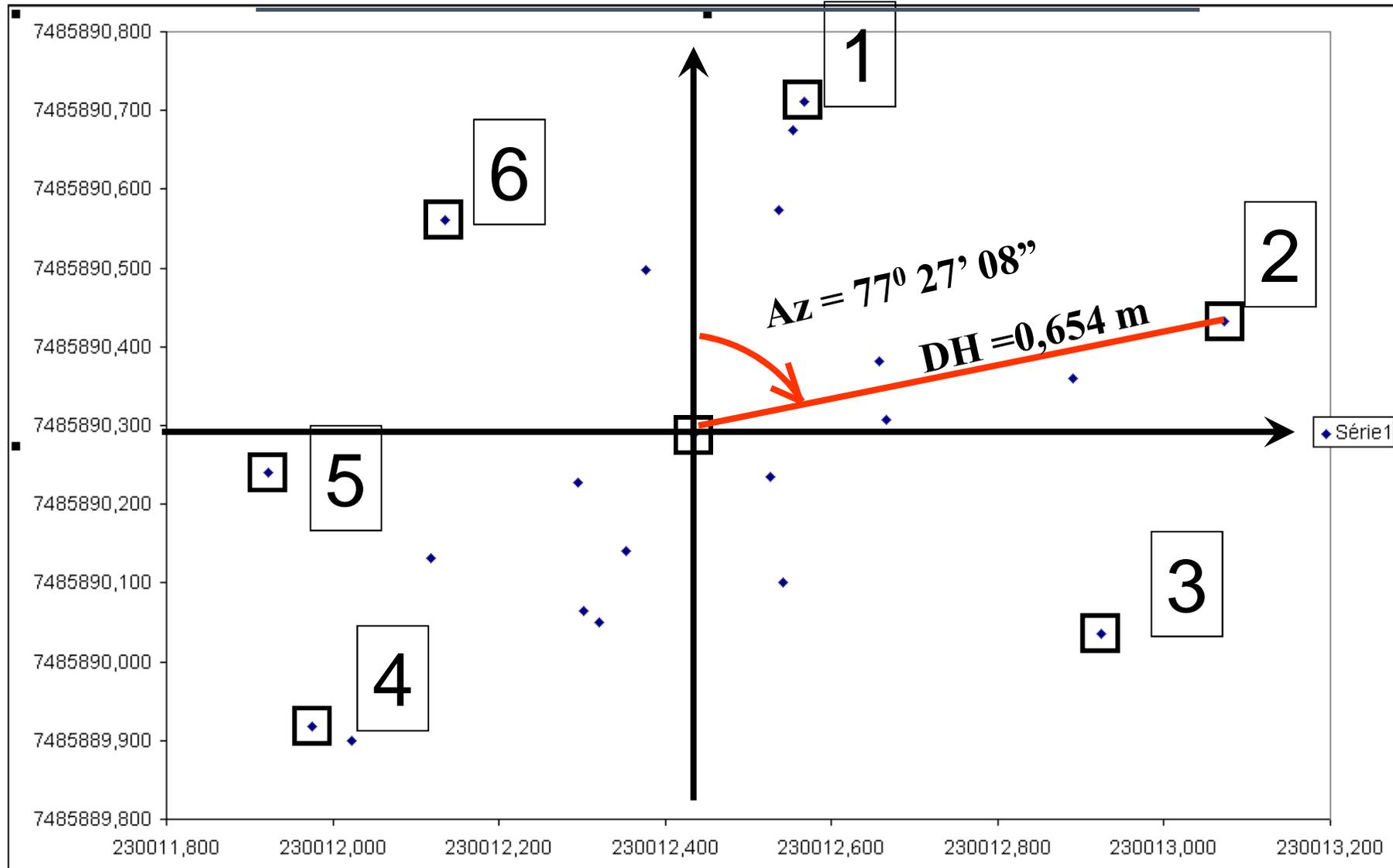
Método Relativo ou Diferencial

Pontos	ΔX	ΔY	DH	Az.
T1P1	0,134	0,421	0,442	17⁰ 39' 21''
T2P2	0,638	0,142	0,654	77⁰ 27' 08''
T3P3	0,490	-0,254	0,552	117⁰ 24' 03''
T4P4	-0,458	-0,372	0,590	230⁰ 54' 56''
T5P5	-0,511	-0,050	0,514	264⁰ 24' 41''
T6P6	-0,298	0,271	0,403	312⁰ 17' 00''

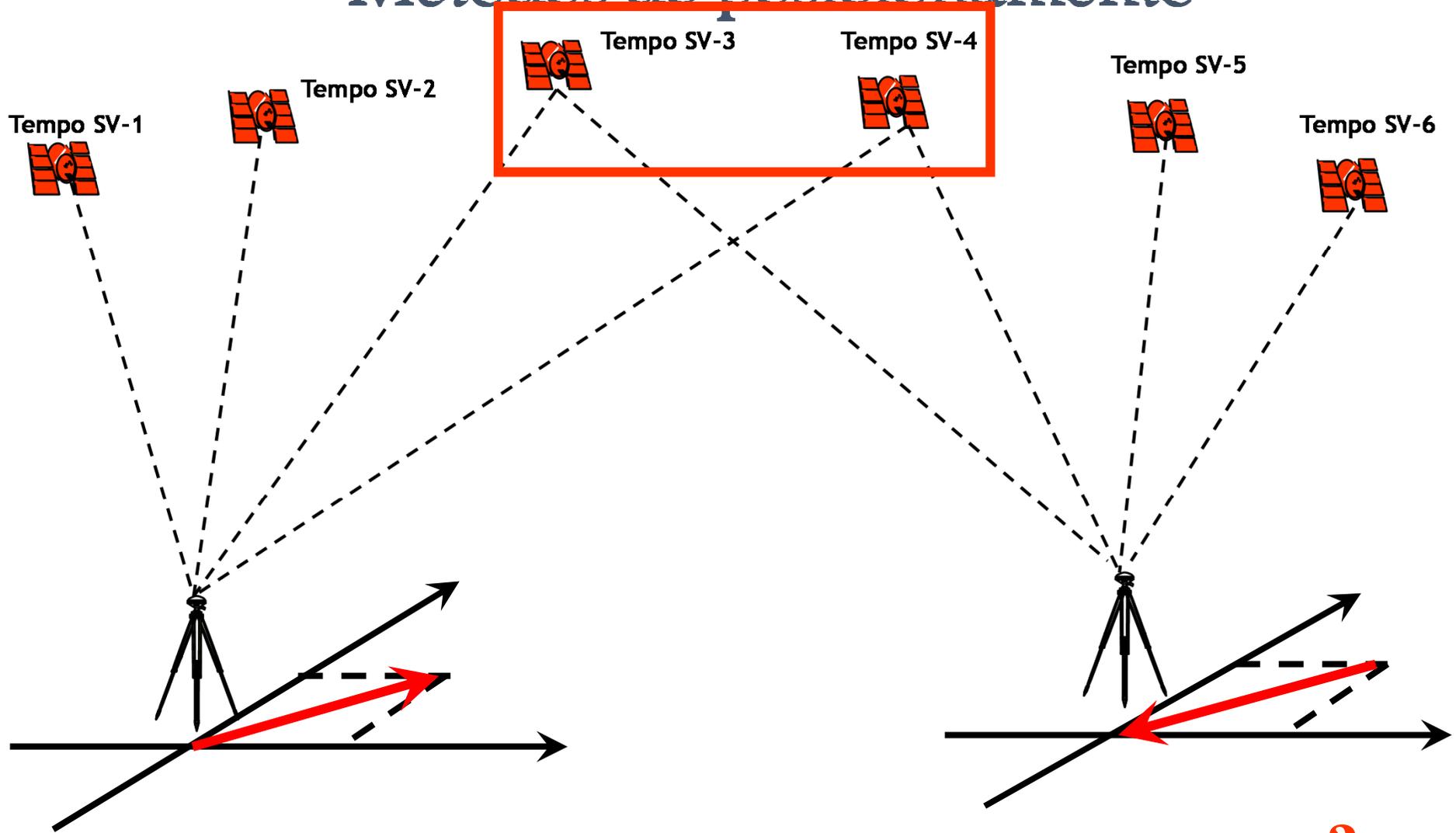
DADOS DOS VETORES DE ERRO EM RELAÇÃO A BASE

Métodos de posicionamento

Método Relativo ou Diferencial



Métodos de posicionamento



Receptor Base (X_B, Y_B, Z_B)

Tempo 1 – Ponto 1 (X_1, Y_1, Z_1)

Tempo 2 – Ponto 2 (X_2, Y_2, Z_2)

Tempo 3 – Ponto 3 (X_3, Y_3, Z_3)

X,Y,Z Corrigido

Receptor Rover (X, Y, Z) ?

Tempo 1 – Ponto 1 (X_1, Y_1, Z_1)

Tempo 2 – Ponto 2 (X_2, Y_2, Z_2)

Tempo 3 – Ponto 3 (X_3, Y_3, Z_3)

Métodos de posicionamento

Método Relativo ou Diferencial



Georreferenciamento de imóveis rurais - 20 km (Base e Rover)

Métodos de posicionamento

Método Relativo ou Diferencial

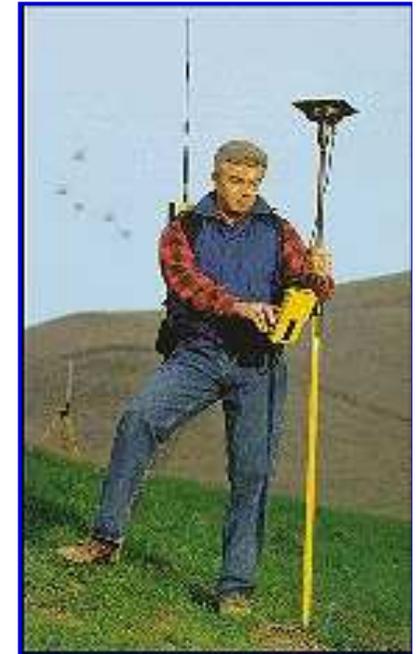
- 🌐 **Método Estático:**
 - **L1 ou L1/L2 – C/A**
 - **60 minutos de observação (recomendado)**
 - **Uma ocupação (estação) por arquivo de dados**
 - **Dados normalmente gravados a cada 15 segundos - taxa de sincronismo**



Métodos de posicionamento

Método Relativo ou Diferencial

- 🌐 **Método Estático Rápido:**
- **L1/L2 com código C/A**
- **Tempo de ocupação varia entre 5-20 minutos, dependendo do número de SV's**
- **Ocupação múltipla é possível num só arquivo de dados**
- **Dados normalmente gravados a taxa de sincronismo de 5 ou 15 segundos**



Métodos de posicionamento

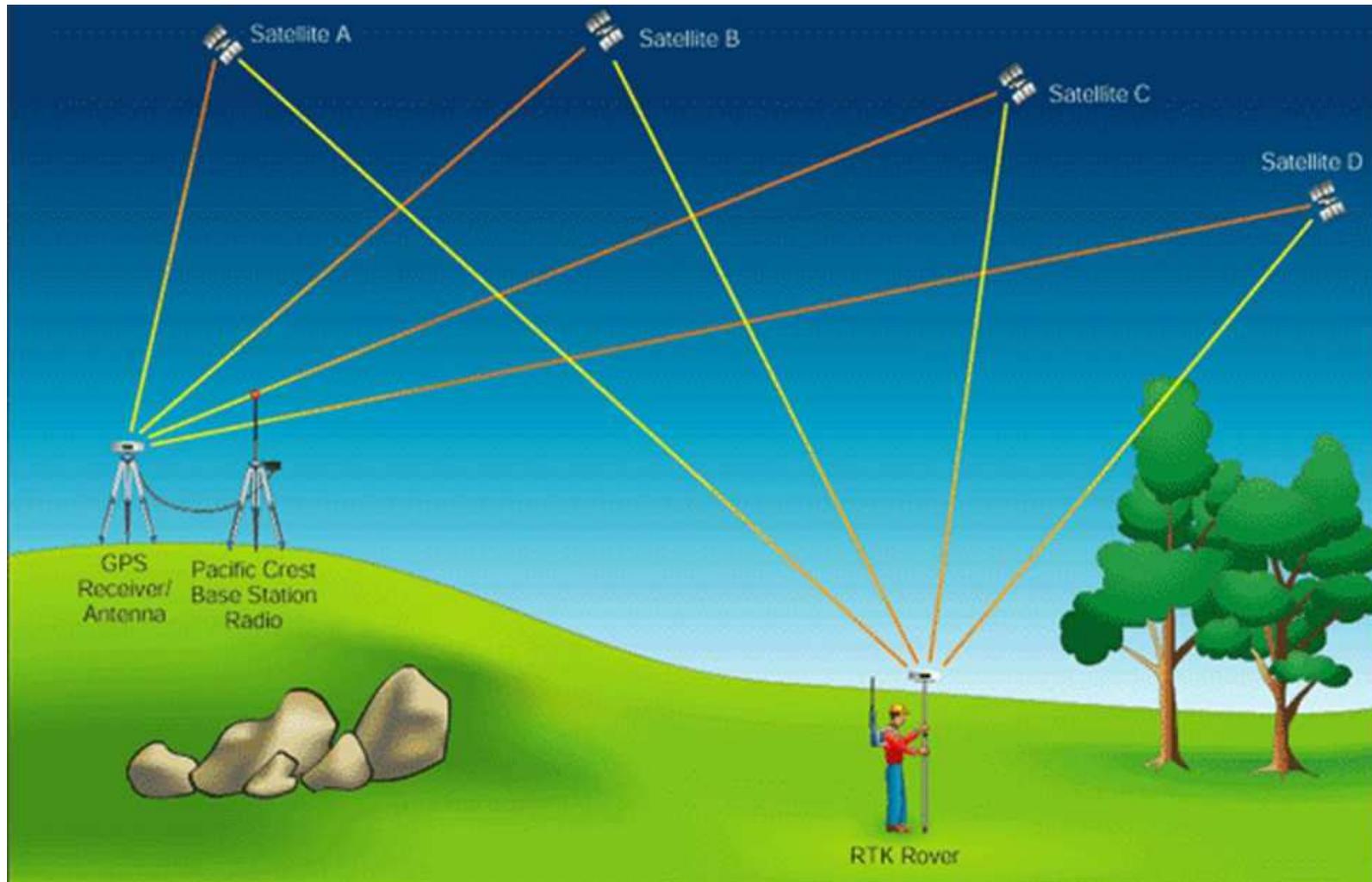
Método Relativo ou Diferencial

🌐 **Método Cinemático:**

- **L1 é suficiente (C/A)**
- **Varias estações num só arquivo de dados**
- **Taxa de sincronismo normalmente 2 - 5 segundos (ou até 15 segundos, dependendo da velocidade da antena)**

Métodos de posicionamento

Método Relativo ou Diferencial – DGPS



Métodos de posicionamento

Método Relativo – Receptores



Aparelhos: Sub-métricos
Aparelhos: Geodésicos

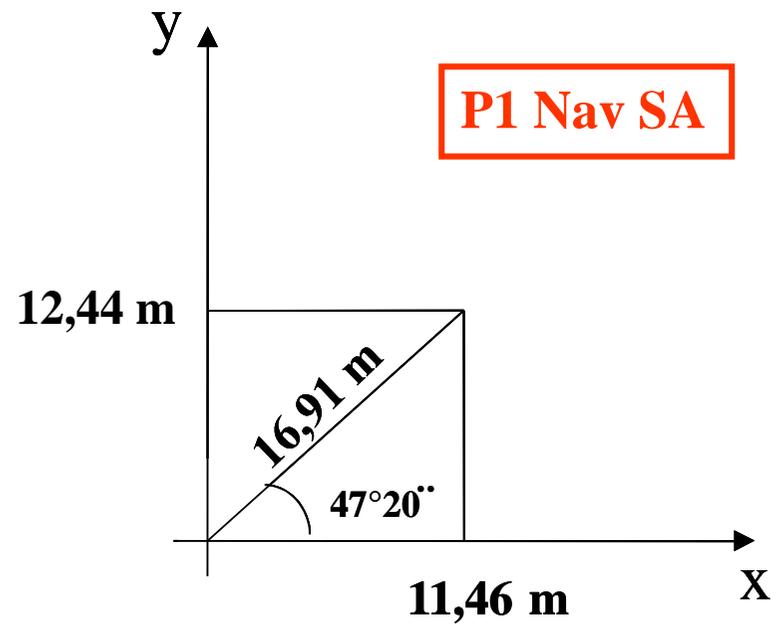
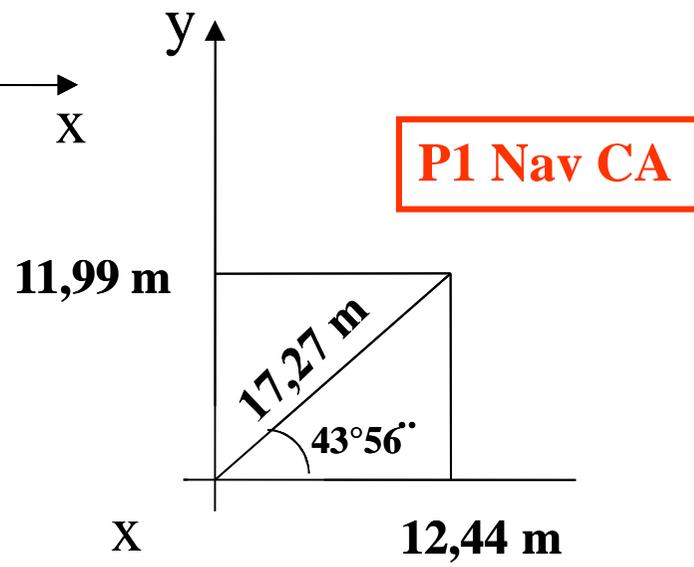
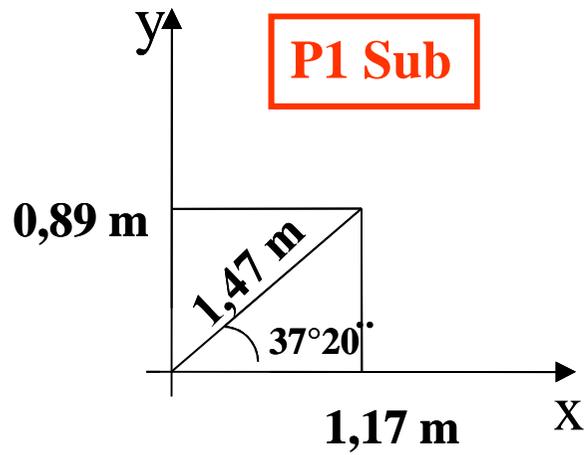
COMPARAÇÃO DE RECEPTORES GPS

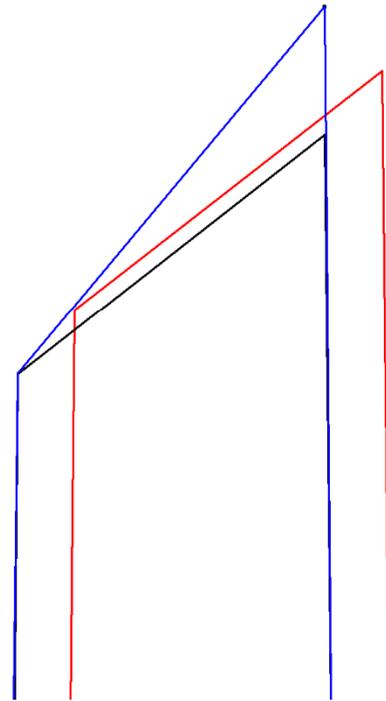
GPS – SUB-MÉTRICO – Método Relativo

Ponto	Média			Desvio Padrão			Variância			Erro Padrão Médio		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
P1	211244,76	7294200,13	443,22	1,17	0,89	1,71	1,37	0,80	2,93	0,28	0,21	0,40
P2	211234,58	7295106,07	414,32	1,08	0,88	1,74	1,18	0,78	3,02	0,25	0,21	0,41
P3	210981,92	7294920,95	416,45	1,07	0,88	1,71	1,15	0,77	2,94	0,25	0,21	0,40
P4	210974,39	7294236,59	439,69	1,10	0,88	1,71	1,22	0,77	2,93	0,26	0,21	0,40
P5	211244,69	7294200,13	443,24	1,14	0,88	1,72	1,30	0,78	2,96	0,27	0,21	0,40
BASE	211558,99	7293493,73	414,86	1,07	0,89	1,70	1,14	0,79	2,90	0,25	0,21	0,40

GPS – NAVEGAÇÃO – Método Absoluto

Pontos	Antena	Média			Desvio Padrão			Variância			Erro Padrão Médio		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
P1	CA	211197,92	7294120,05	414,49	11,99	12,44	2,17	143,77	154,67	4,72	2,75	2,85	0,49
	SA	211197,14	7294151,82	411,95	11,46	12,79	3,40	131,38	163,59	11,57	2,63	2,93	0,78
P2	CA	211187,71	7295056,64	386,88	11,99	12,09	1,54	143,97	146,29	2,38	2,75	2,77	0,35
	SA	211187,28	7295056,14	384,75	14,21	13,04	2,23	201,92	169,98	4,96	3,26	2,99	0,51
P3	CA	210934,98	7294870,89	388,78	11,35	12,62	1,77	128,87	159,22	3,13	2,60	2,89	0,41
	SA	210934,83	7294871,21	387,32	11,35	12,47	1,76	128,81	155,64	3,09	2,60	2,86	0,40
P4	CA	210928,17	7294186,15	411,61	10,92	12,04	2,20	119,17	144,93	4,85	2,50	2,76	0,50
	SA	210926,20	7294188,05	409,42	11,38	12,59	2,38	129,63	150,98	5,66	2,61	2,82	0,54
P5	CA	211198,51	7294149,90	415,49	11,88	12,48	2,42	141,11	155,87	5,84	2,72	2,86	0,55
	SA	211196,99	7294151,81	413,50	11,58	12,01	2,05	134,03	144,29	4,20	2,65	2,75	0,47





— GPS Sub: 208.042,219 m²

— GPS Nav CA: 211.879,869 m²

GPS Nav SA: 220.878,978 m²

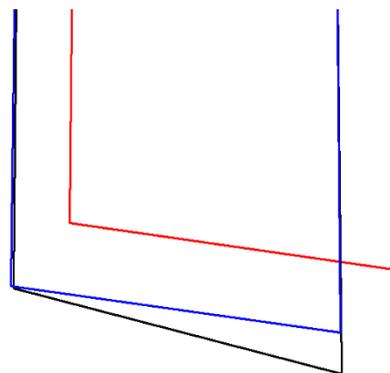
Área Teodolito: 208.089,769 m²

Teodolito - GPS Sub = 47,55 m²

Teodolito - GPS Nav CA = 3.790,10 m²

Teodolito - GPS Nav SA = 12.789,21 m²

GPS SA - GPS CA = 8.999,11 m²

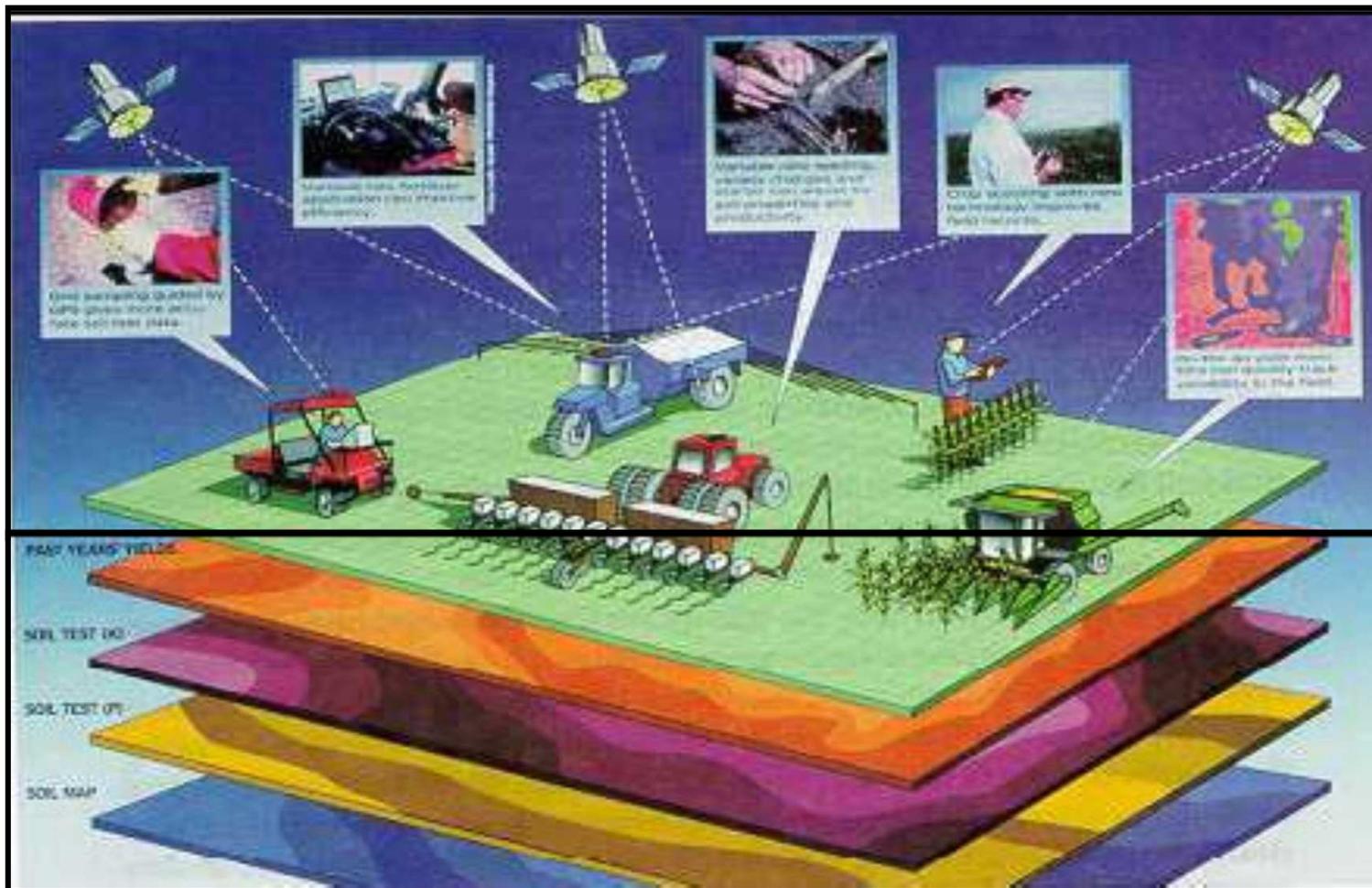


Flanialtimétrico Cadastral		01
Propiedad: _____		
Categoría: _____		
Superficie: _____		
Lote: _____		
Código de lote: _____		
Fecha de inscripción: _____		
Firma: _____		
Fecha: _____		



APLICAÇÕES DO GNSS

AGRICULTURA DE PRECISÃO



AGRICULTURA DE PRECISÃO



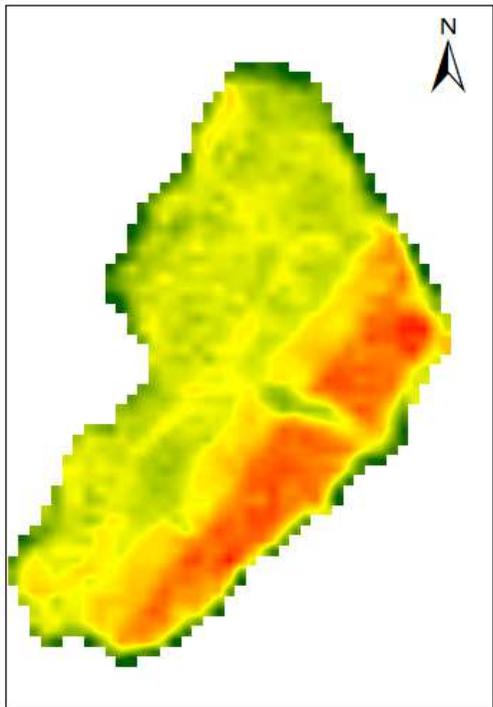
AGRICULTURA DE PRECISÃO



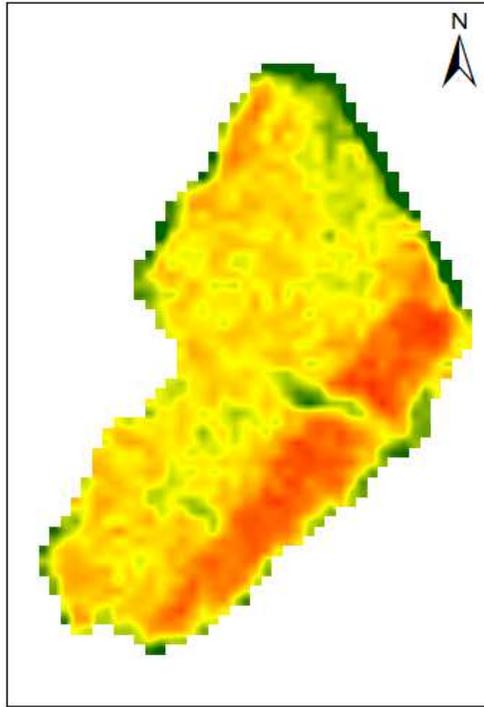
AGRICULTURA DE PRECISÃO

MILHO/ 2009

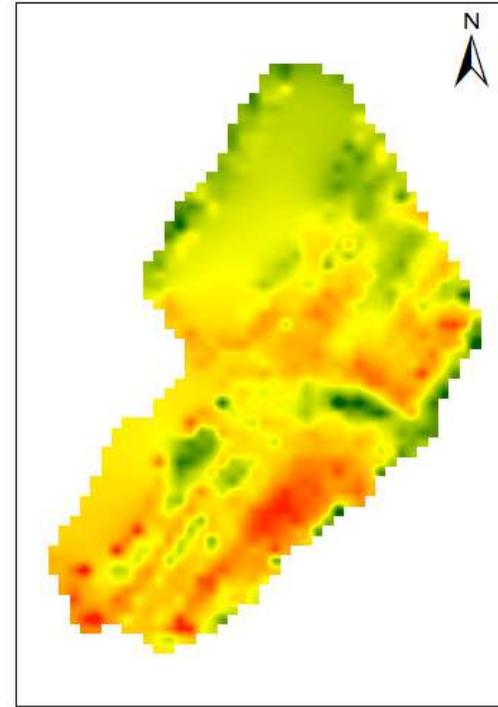
NDVI



EVI



Produtividade



Baixa Média Alta

0 255 510 1.020 m

TOPOGRAFIA E GEODÉSICA



TOPOGRAFIA E GEODÉSICA



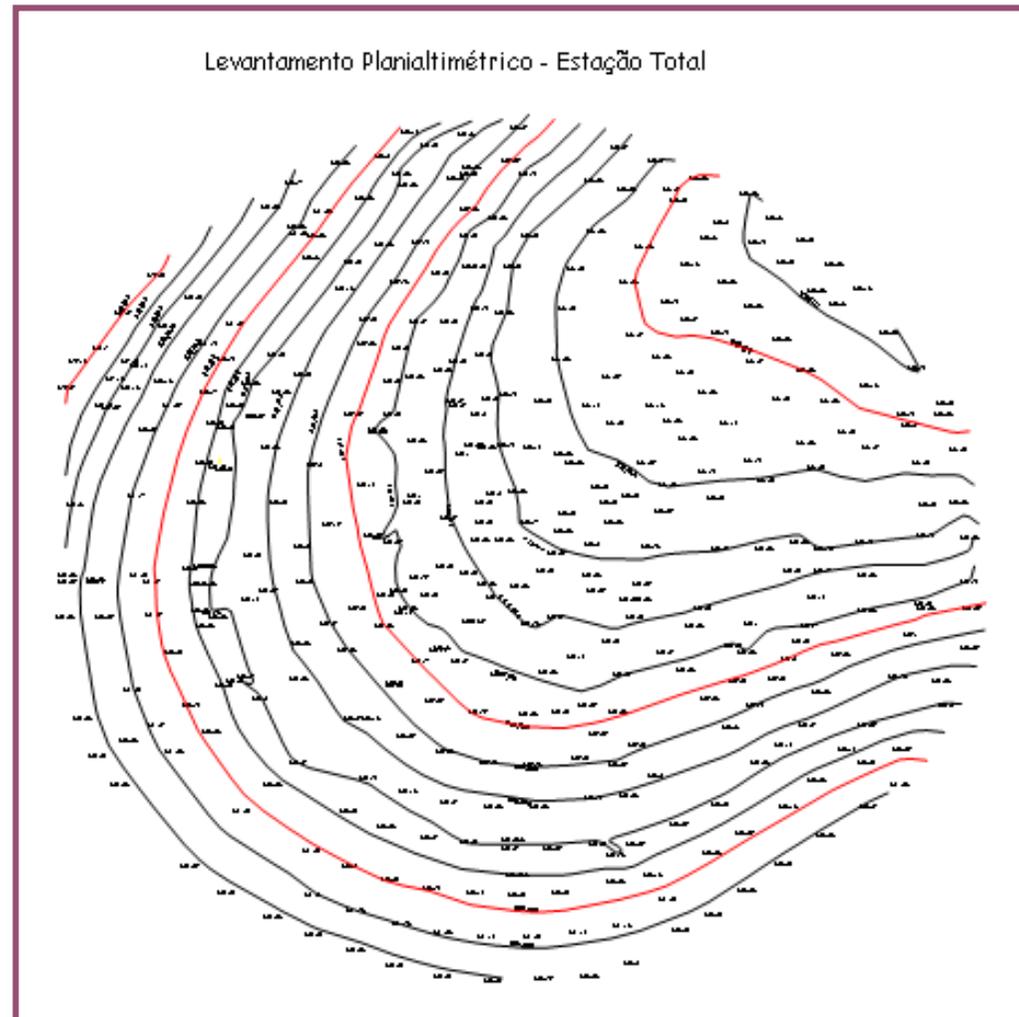
TOPOGRAFIA E GEODÉSICA



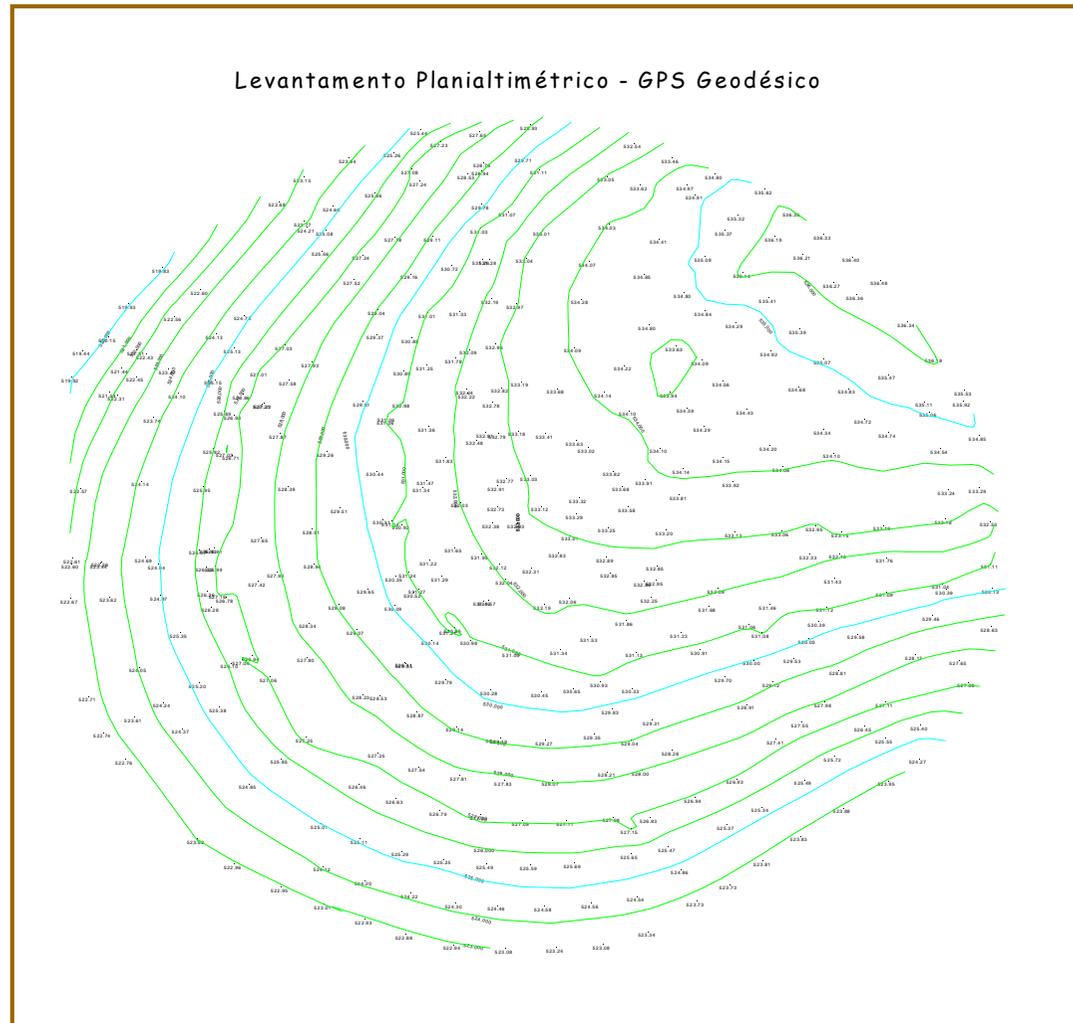
TOPOGRAFIA E GEODÉSICA



TOPOGRAFIA E GEODÉSICA

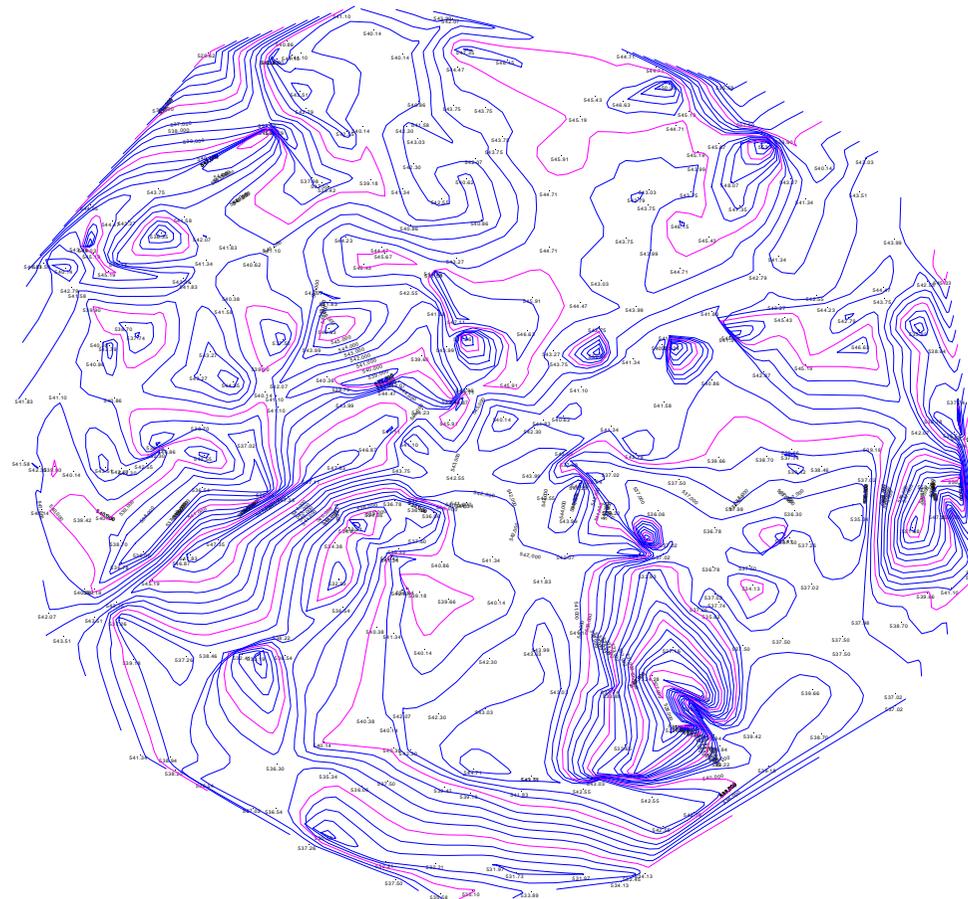


TOPOGRAFIA E GEODÉSICA



TOPOGRAFIA E GEODÉSICA

Levantamento Planialtimétrico - GPS Navegação



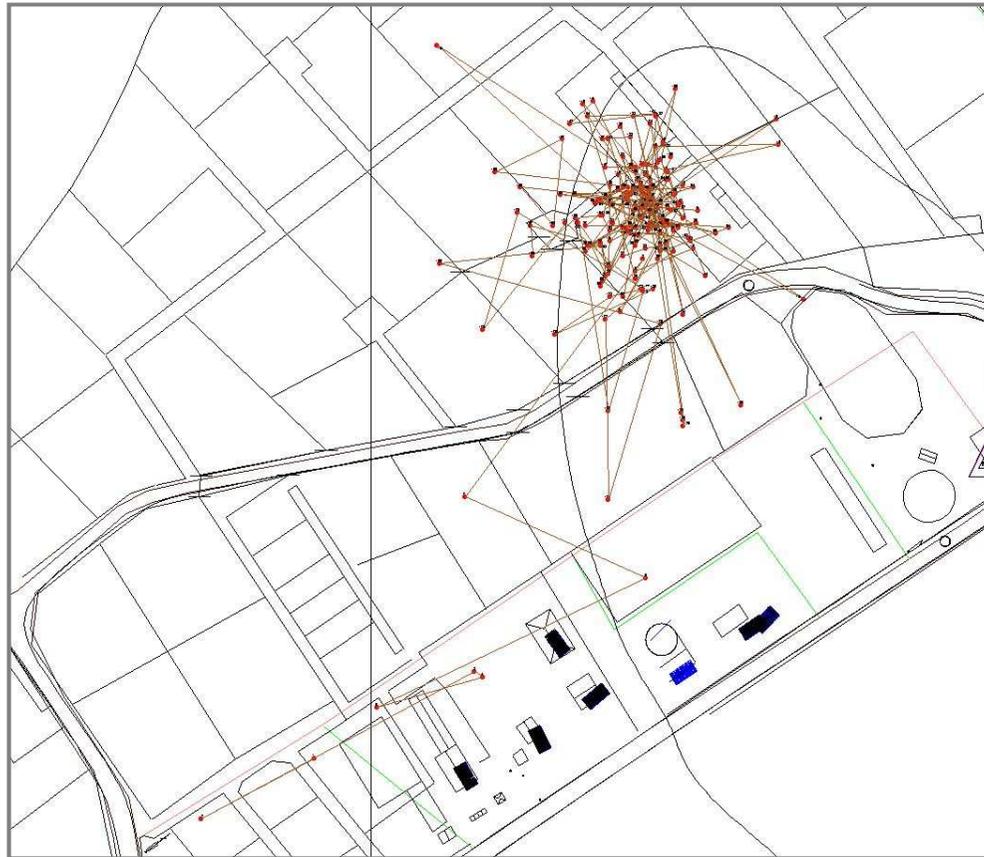
ZOOTECNIA DE PRECISÃO



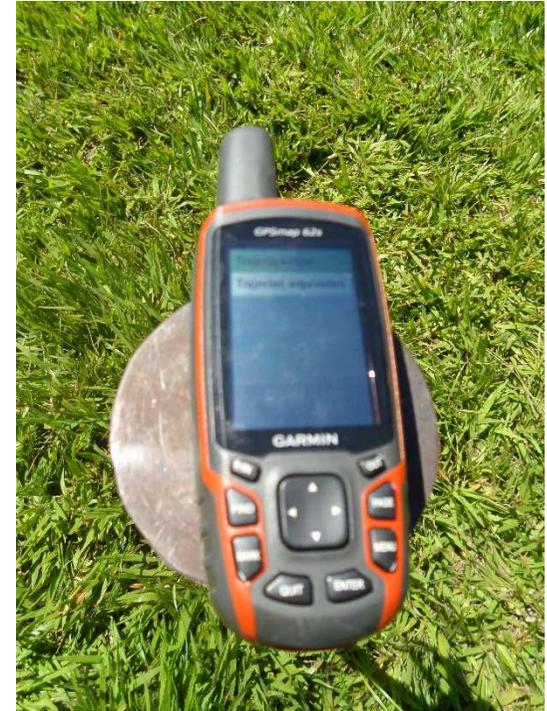
MONITORAMENTO DE ANIMAIS



MONITORAMENTO DE ANIMAIS



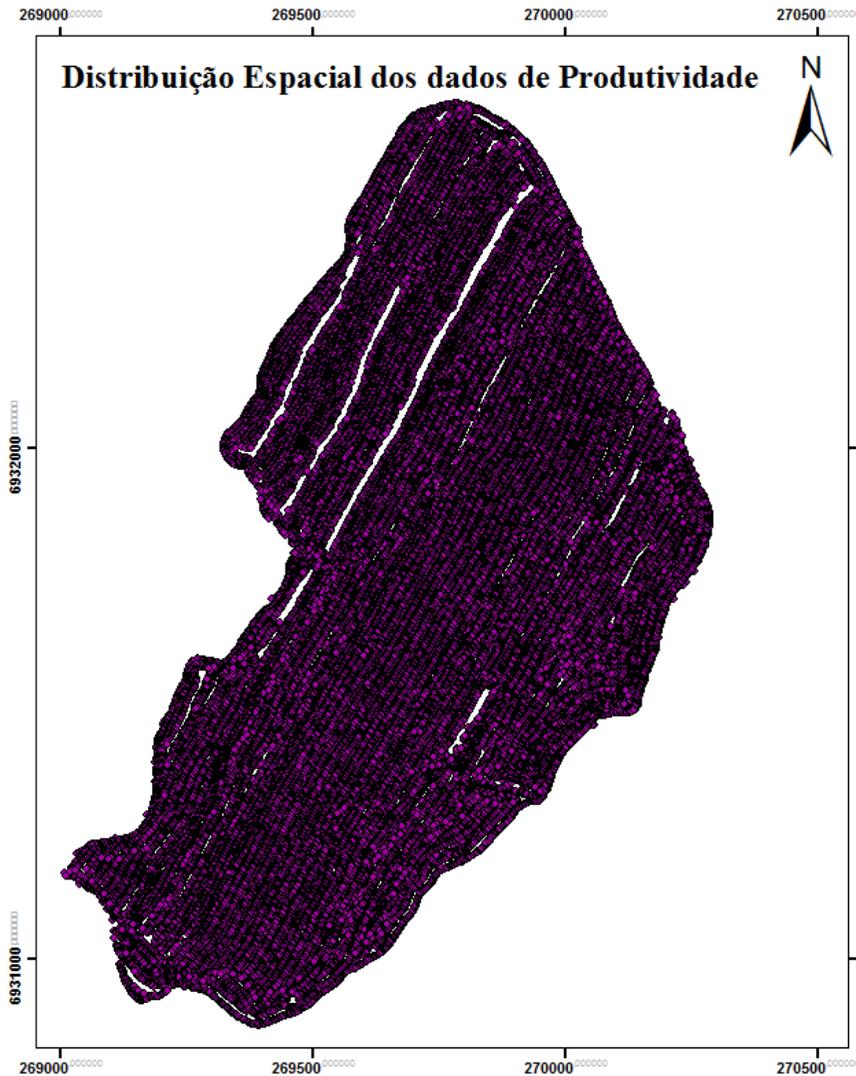
NAVEGAÇÃO



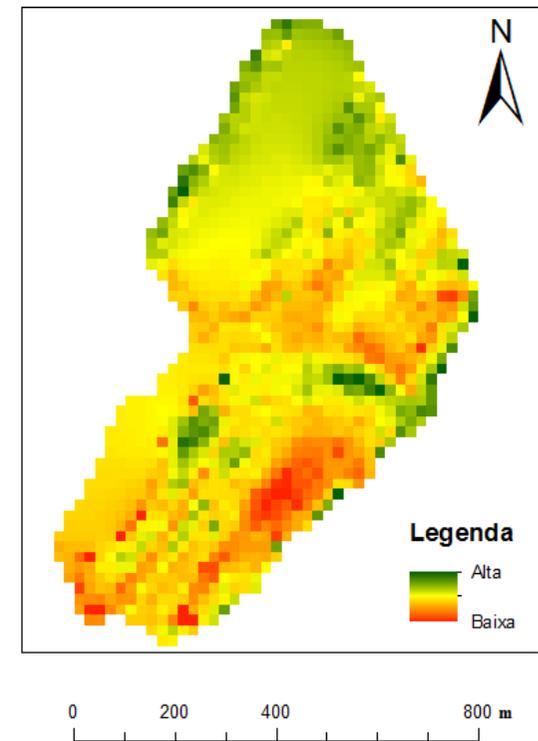
MONITORAMENTO AMBIENTAL



COLHEITA



Strabeli e Vargas Posada, 2014



Aplicações do GNSS

Outras Aplicações em Ciências Agrárias

- Dentre as aplicações do GNSS em Ciências Agrárias, podem ser citados:
 - a. mapeamentos cadastrais;
 - b. agricultura de precisão;
 - c. elaboração de mapas temáticos;
 - d. georreferenciamento de imóveis rurais;
 - e. mapeamentos com a finalidade de venda de madeira;
 - f. levantamentos de áreas silvestres;
 - g. mapeamentos de estradas e trilhas;
 - h. determinação de pontos de controle para imagens de satélites;
 - i. detecção e mapeamento de incêndios florestais;
 - j. atualização das bases de dados cartográficos.