

NAVSTAR – GPS



- *NAVigation System with Time And Ranging - Global Positioning System*

- Sistema de rádio-navegação por satélites que fornece, a usuários que possuam equipamento apropriado, coordenadas precisas de **posicionamento tridimensional** e informação sobre a **navegação** e o **tempo**.
- Mantido e operado pelo governo dos EUA, através do **Departamento de Defesa** (DoD).
- **Não existem custos** para usar o sistema NAVSTAR-GPS, exceto o de aquisição do equipamento receptor.

NAVSTAR – GPS

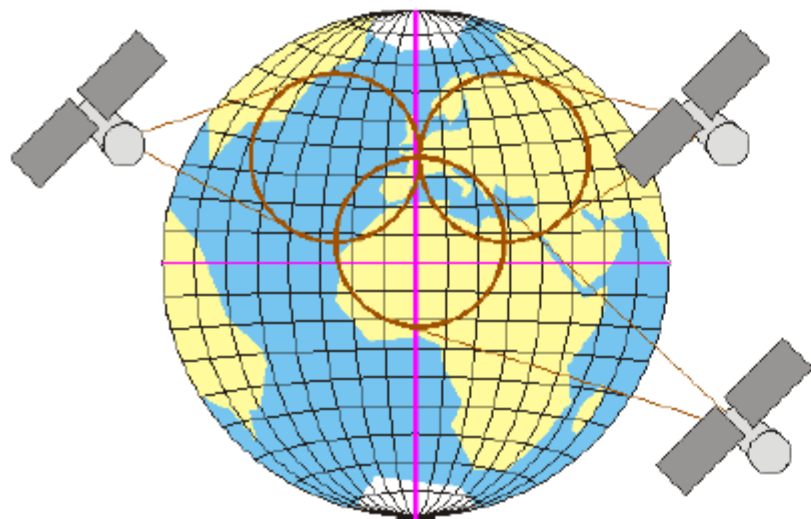
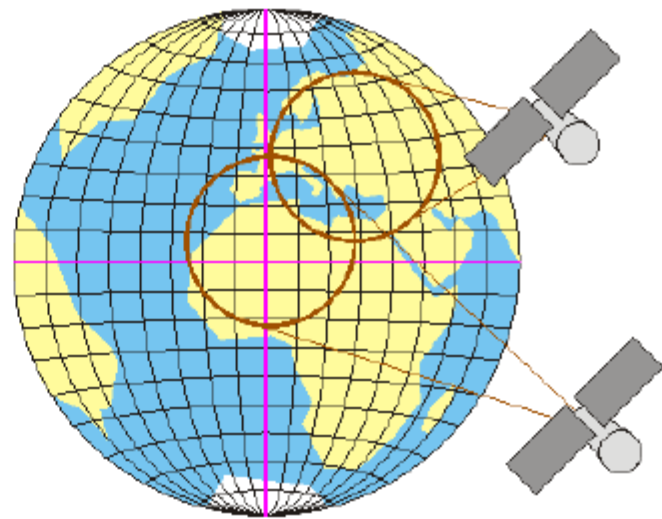
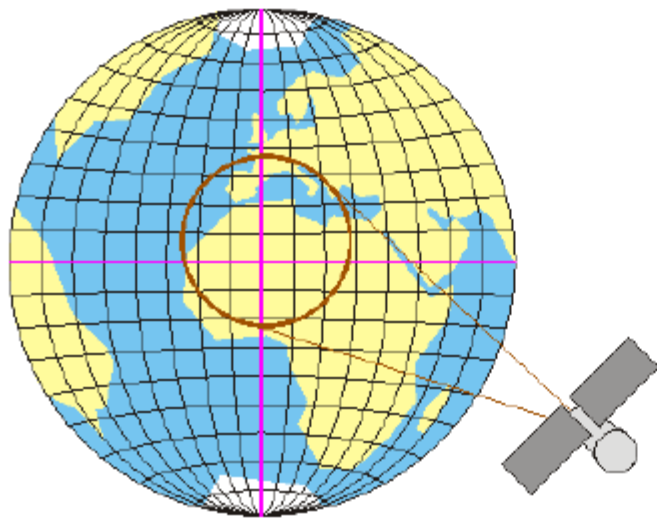
- Anteriormente ao NAVSTAR, a Marinha dos EUA já tinha um sistema de localização baseado em satélites denominado TRANSIT, iniciado em 1960.
- No sistema TRANSIT, havia 6 satélites em órbita polar.
- O sistema TRANSIT permitia a localização de navios e submarinos com precisão de 200 metros. No entanto, era necessário esperar cerca de uma hora para se ter a posição!
- O sistema TRANSIT foi colocado fora de operação a partir de 1996, com o desenvolvimento do sistema NAVSTAR – GPS.

Inventores do GPS

- **Roger L. Easton** (1921- 2014)
- **Bradford Parkinson** (1935-)
- **Ivan Alexander Getting** (1912-2003)



GPS: Princípio de Funcionamento



- Cada satélite emite um sinal que contém o horário exato da sua emissão.
- Todos os usuários que estiverem num círculo sobre a superfície terrestre receberão o sinal com um determinado atraso.
- 3 satélites: Latitude, Longitude
- 4 satélites: Latitude, Longitude e Altitude

Componentes do GPS

- **Segmento de Controle:** cinco estações terrestres, sendo duas de monitoramento e três de monitoramento e *uplink* com os satélites em órbita.
- **Segmento Espacial:** Constelação de satélites em órbita terrestre (24 satélites ativos + reservas).
- **Segmento dos Usuários:** unidades receptoras dos sinais de rádio GPS, geralmente incorporadas com circuitos microprocessados destinados ao cálculo da localização em coordenadas geográficas e auxílio aos deslocamentos por terra, mar ou ar.

GPS: Segmento Terrestre

Cinco estações terrestres de monitoramento e controle dos satélites

50th Space Wing
Schriever Air Force Base
Colorado Springs, CO, EUA
Master Control Monitor Station



NAVSTAR-GPS Master Control Monitor Station

50th Space Wing

Schriever Air Force Base

Colorado Springs, CO, EUA

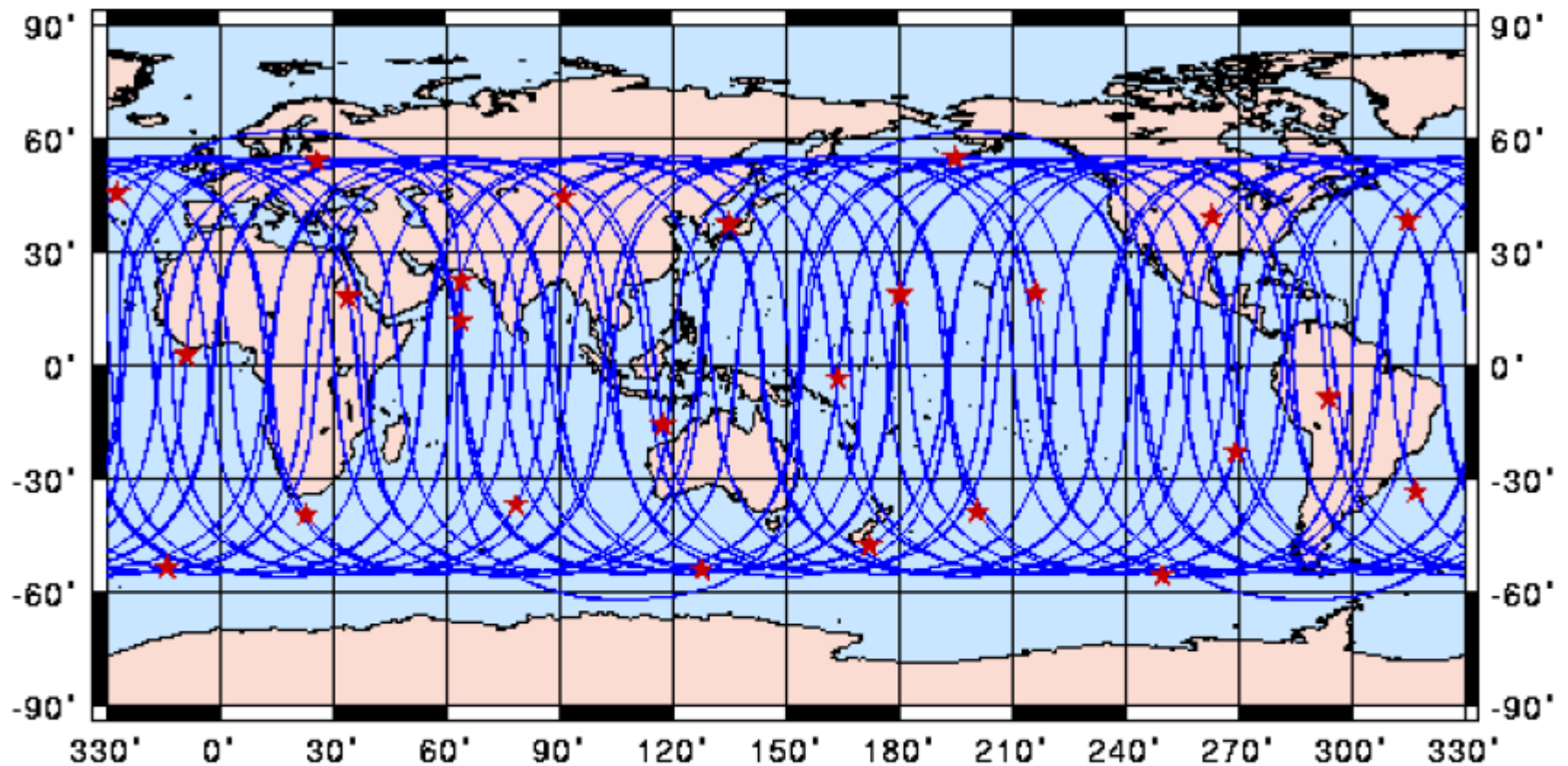


GPS: Funções das Estações Terrestres

- Monitoram a passagem dos satélites, medindo as distâncias precisas entre a estação e cada um dos satélites através de efeito Doppler dos sinais de rádio
- Adquirem continuamente dados meteorológicos e da ionosfera, enviando esses dados à estação central de controle (MCS) em Colorado Springs (EUA). Verificam também dados sobre a operação dos vários sistemas eletrônicos dos satélites.
- A estação de controle central analisa os dados ionosféricos e meteorológicos, verificando se a distância medida entre cada estação e cada satélite corresponde às previsões de órbitas.
- Caso sejam verificadas mudanças orbitais significativas, a estação central determina que o satélite atualize os dados de efeméride que transmite. Pode também determinar a substituição de um satélite defeituoso por um dos 5 de reserva já em órbita.
- As informações de retorno aos satélites são transmitidas ao espaço pelas estações da Ilha da Ascensão, Diego Garcia e Kwajalein.

GPS: Segmento Espacial

SV = Space Vehicles (Satélites)



GPS satellite orbits

GPS: Características dos satélites

- Cada satélite carrega um relógio atômico que é acertado na terra antes do lançamento, em exato sincronismo com um relógio padrão.
- Cada satélite conhece a cada instante sua posição (efeméride) em função de sua orbita pré-definida e eventuais correções enviadas pelas estações terrestres de controle.
- Cada satélite transmite, a intervalos de 1 segundo, o horário do seu relógio atômico e sua posição.
- Os sinais emitidos pelos satélites chegam ao receptor na Terra com atrasos variáveis em função da distância entre o satélite e o receptor.
- Os diferentes atrasos de transmissão são computados pelo receptor terrestre e comparados com o horário do relógio interno do receptor.
- Em função dos atrasos o receptor calcula sua distância a cada um dos satélites dos quais recebeu sinais e, portanto, calcula a sua posição atual.
- O relógio interno do receptor terrestre, apesar de ser de baixo custo e relativamente impreciso, é "acertado" periodicamente com os horários transmitidos pelos satélites e levando em conta os atrasos devido às suas distâncias.

Posição dos satélites GPS

- http://wikipedia.org/wiki/Van_Allen_radiation_belt



GPS: Equações

$$d_1 = c(t_{t,1} - t_{r,1} + t_c) = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}$$

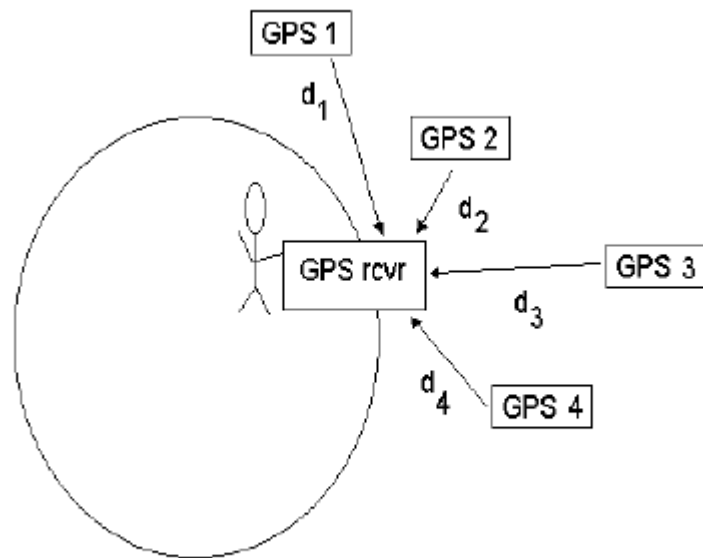
$$d_2 = c(t_{t,2} - t_{r,2} + t_c) = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2}$$

$$d_3 = c(t_{t,3} - t_{r,3} + t_c) = \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2}$$

$$d_4 = c(t_{t,4} - t_{r,4} + t_c) = \sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2}$$

onde

- c = velocidade da luz (3×10^8 m/s)
- $t_{t,1}, t_{t,2}, t_{t,3}, t_{t,4}$ = horários em que os satélites GPS 1, 2, 3 e 4, respectivamente, transmitiram seus sinais (estes horários são fornecidos ao receptor como parte da informação transmitida pelo satélite).
- $t_{r,1}, t_{r,2}, t_{r,3}, t_{r,4}$ = horários em que os sinais oriundos dos satélites GPS 1, 2, 3 e 4, respectivamente, foram recebidos no receptor (horário de acordo com o relógio interno do receptor GPS)
- x_1, y_1, z_1 = coordenadas do satélite GPS 1 (estas coordenadas são transmitidas pelo satélite em função da sua órbita)
- x_2, y_2, z_2, etc = coordenadas dos outros satélites



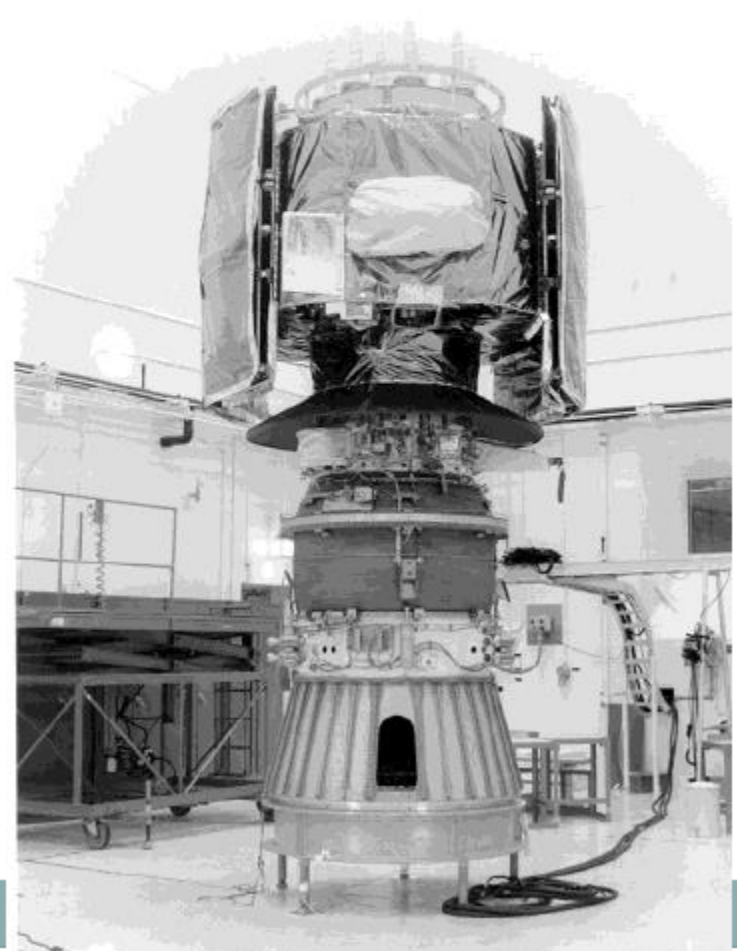
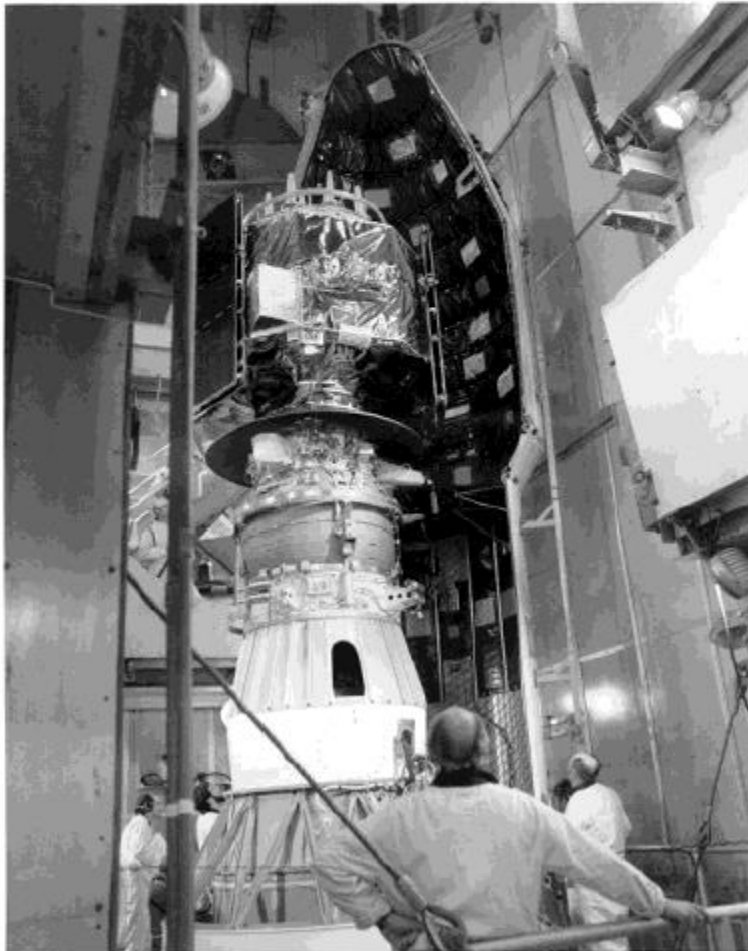
SV = *Space Vehicles* (Satélites)

Bloco I

Fabricante: Rockwell International

11 SVs Lançados ao espaço entre 1978 e 1985

Objetivo: Desenvolvimento e testes do sistema NAVSTAR



SV = Space Vehicles (Satélites)

Bloco II e IIA

Fabricante: Rockwell International

28 SVs Lançados ao espaço entre 1990 e 1997

Objetivo: Substituição de satélites do Bloco I



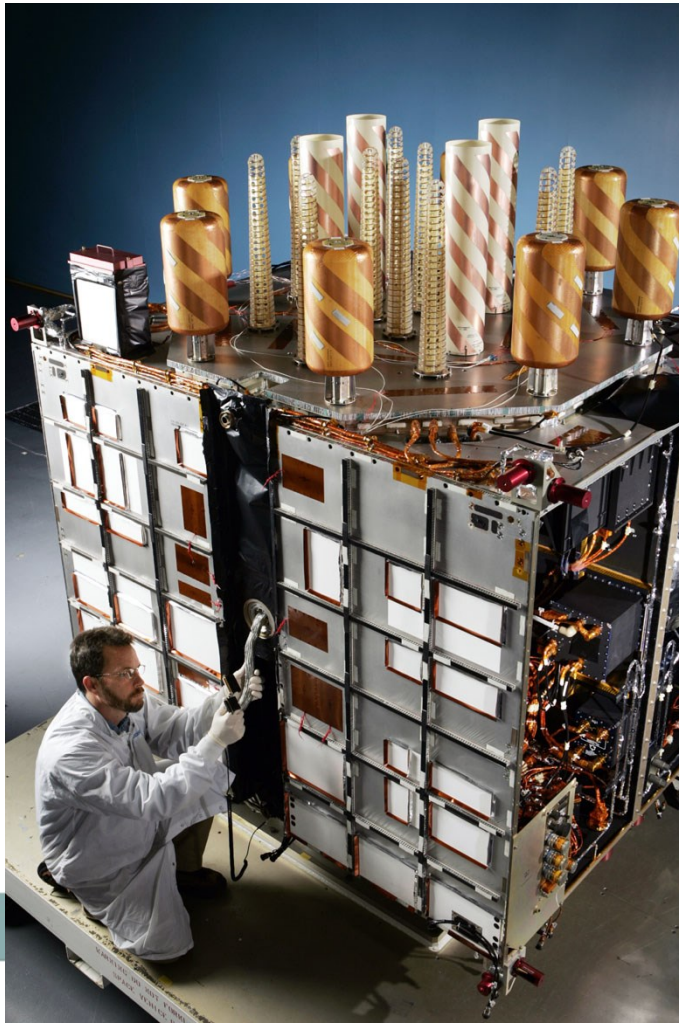
SV = Space Vehicles (Satélites)

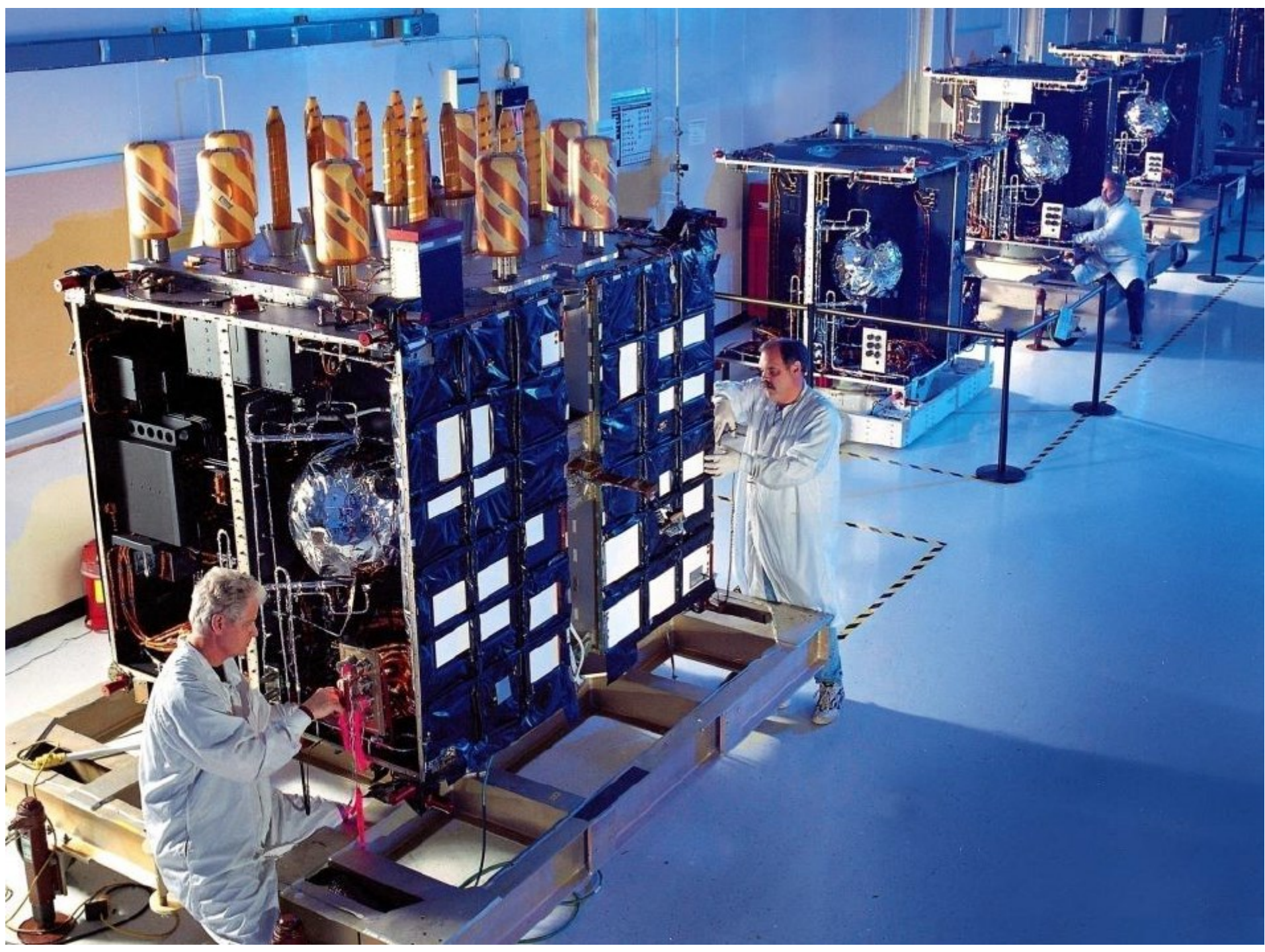
Bloco IIR - ("replenishment SVs")

Fabricante: Lockheed Martin (comprada pela Boeing)

Lançados ao espaço entre 2000 e 2004

Satélites comunicam-se entre si





Uso do Veículo
Lançador
Delta II para
lançamento
dos satélites
GPS do
Bloco IIR



Uso do Veículo Lançador Delta II para lançamento dos satélites GPS do Bloco IIR

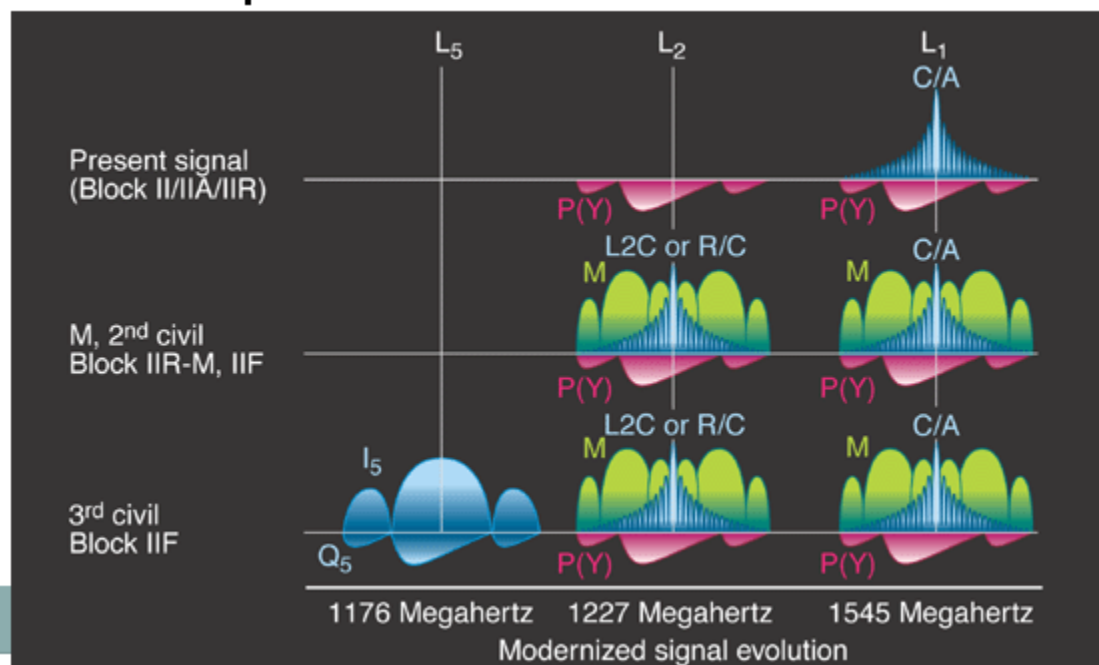


SV = *Space Vehicles* (Satélites)

Bloco IIF

Fabricante: Boeing

- 33 SVs lançados ao espaço entre 2007 e 2009
- Substituição dos SVs do Bloco IIR
- Satélites comunicam-se entre si
- Maior potência de transmissão
- Autonomia do Controle Central de 6 meses
- Satélites conseguem corrigir automaticamente suas órbitas
- Inclusão do canal L5 para uso civil



SV = *Space Vehicles* (Satélites)

1978-2004

Bloco I

Rockwell
759 kg
410 W

Bloco II

Rockwell
1660 kg
710 W

Bloco IIA

Rockwell
1816 kg
710 W

Bloco IIR

Lockheed
2032 kg
1,13 kW

2010-

Bloco IIF

Lockheed-Martin (Boeing)
1630 kg
2,44 kW

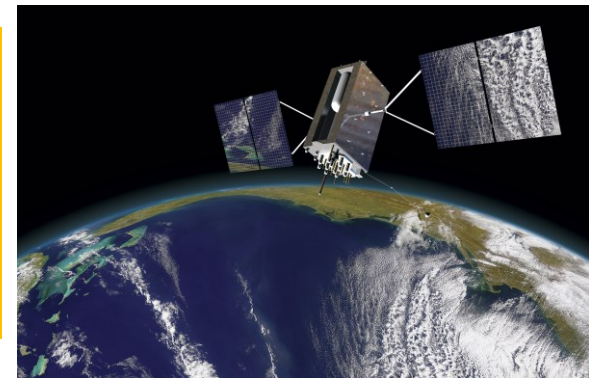
- Inclusão do canal L5



2018

Bloco IIIA

Lockheed-Martin (Boeing)
2269 kg
4,5 kW



LOCKHEED MARTIN HAS A STRONG HERITAGE OF BUILDING AND SUSTAINING GLOBAL POSITIONING SYSTEMS (GPS). OUR ON-ORBIT GPS IIR AND IIR-M SATELLITES NOW HAVE OVER 235 COLLECTIVE YEARS OF OPERATIONS – MAKING UP 60% OF THE CURRENT GPS CONSTELLATION. WE ARE BUILDING ON THIS PROVEN PERFORMANCE TO EXPAND CAPABILITIES WITH THE NEXT GENERATION SYSTEMS – GPS III

GPS HERITAGE



GPS IIR

Since the launch of the first GPS IIR, the system has become completely woven into all aspects of modern life – delivering sustained, reliable capabilities to meet the needs of more than one billion GPS users worldwide.

- 12 satellites launched 1997-2004
- Design life: 7.5 years
- Status: 12 satellites still operational
- Frequencies: L1, L2
- Increased signal reliability
- Reprogrammable processors onboard



GPS IIR-M

To enhance operations and navigation, eight of the GPS-R satellites were modernized. Perhaps most important, GPS IIR-M satellites included new Civil and Military signals providing additional capabilities.

- 8 satellites launched 2005-2009
- Design life: 7.5 years
- Status: 8 satellites still operational
- L2C Civilian signal added
- L1M and L2M Military signals added
- Anti-jam flex power



GPS III

GPS III will meet users' emerging needs and respond to tomorrow's threats with improved safety, signal integrity and unbelievable accuracy.

- On contract for 10 GPS III satellites
- Doubled design life of 15 years
- 3 times more accurate
- 8 times improved anti-jam capability
- L1C Global Navigation Satellite Systems (GNSS) compatibility
- Search and Rescue, Laser Reflector Array and Digital Payload at SV 11+
- Designed to evolve to incorporate new technology and changing mission needs

GPS III Specification

Customer	U.S. Air Force Space and Missile Systems Center
Mission	Highly accurate 3-D position, velocity and precise time
Orbit	Six orbit planes at 55° inclination
Altitude	10,898 nautical miles
Design life	15 years; 13-year MMD
Launch weight	8,553 lb
On-orbit weight	5,003 lb
Size	97 in wide, 70 in deep, 134 in high
Position accuracy	Under one meter, with daily updates from the control segment

Electrical Power System

Solar array	307 ft ² ; high-efficiency UTJ cells; 4,480-W EOL capability
Battery system	Nickel hydrogen (NiH ₂); rechargeable
Electronics	Central controller with redundant discharge converters, battery chargers

Propulsion Subsystem

Design approach	Bipropellant; Hydrazine, NTO oxidizer
Propellant capacity	5180 lbm
Thrusters	100-lb Liquid Apogee Engine, twelve 0.2-lb REAs, six 5-lb REAs

GPS IIA, GPS IIR GPS IIR-M, GPS IIF GPS III



Basic GPS

- Standard Positioning Service
 - Single Frequency (L1)
 - Coarse Acquisition (C/A) Code Navigation
- Precise Positioning Service
 - Y-Code (L1Y & L2Y)
 - Y-Code Navigation

IIR-M: IIA/IIR

Capabilities Plus

- 2nd Civil Signal (L2C)
- M-Code (L1M & L2M)
- Anti-jam Flex Power

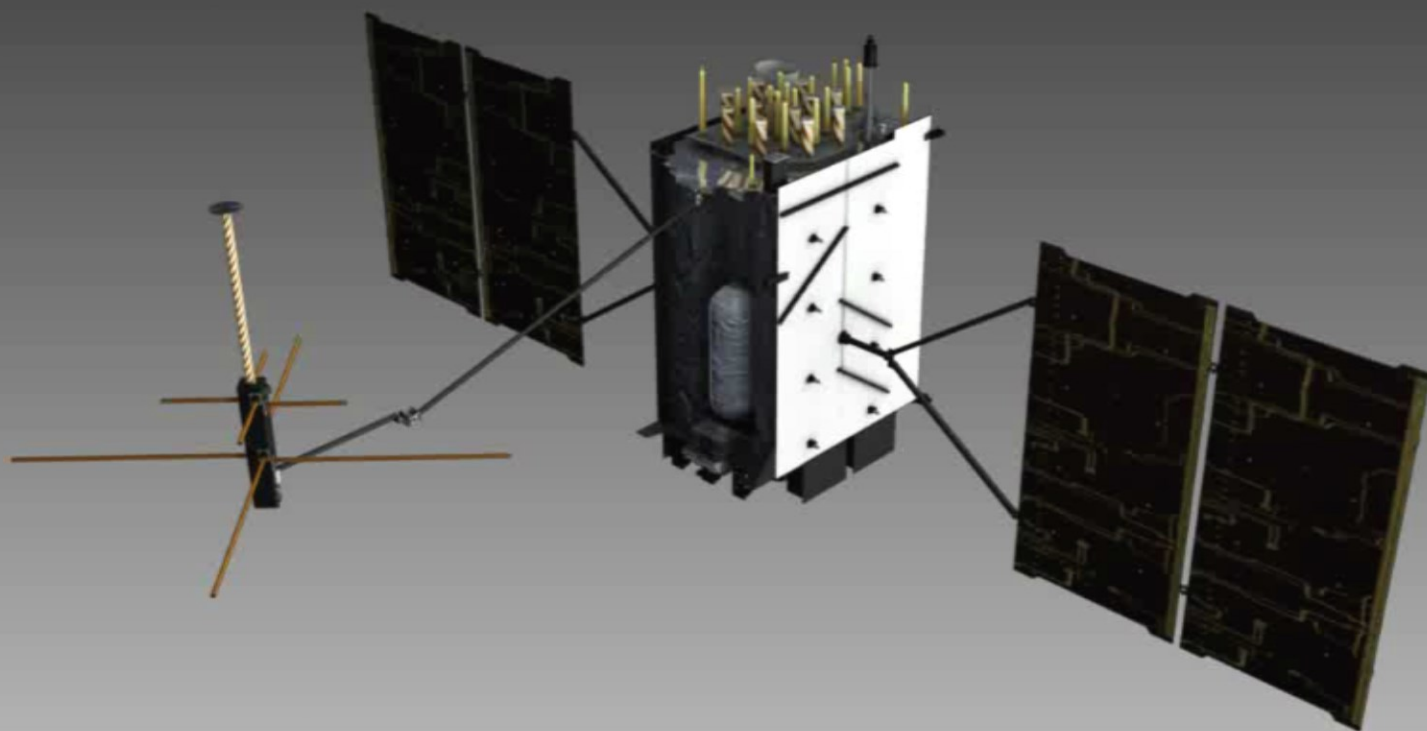
IIF: IIR-M

Capabilities Plus

- 3rd Civil Signal (L5)
- 12 Year Design Life

- Backward Compatibility
- Increased Accuracy
- Increased M-Code Signal Strength
 - Improved Anti-jam Power
- Increased Earth Coverage
- Increased Security
- Assured Availability
- System Survivability
- 4th Civil Signal (L1C)
- 15 Year Design Life
- Bus Flexibility for Future Capability Insertion





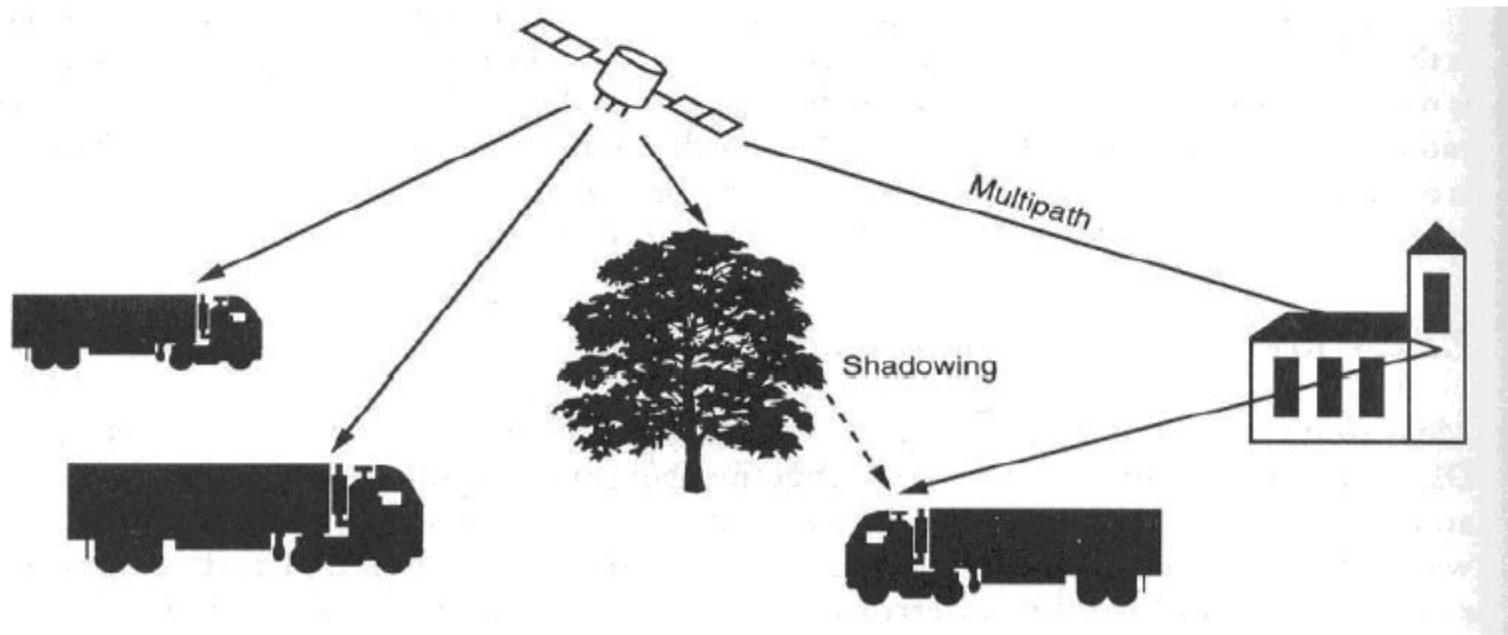
Receptores GPS

Garmin International Inc.



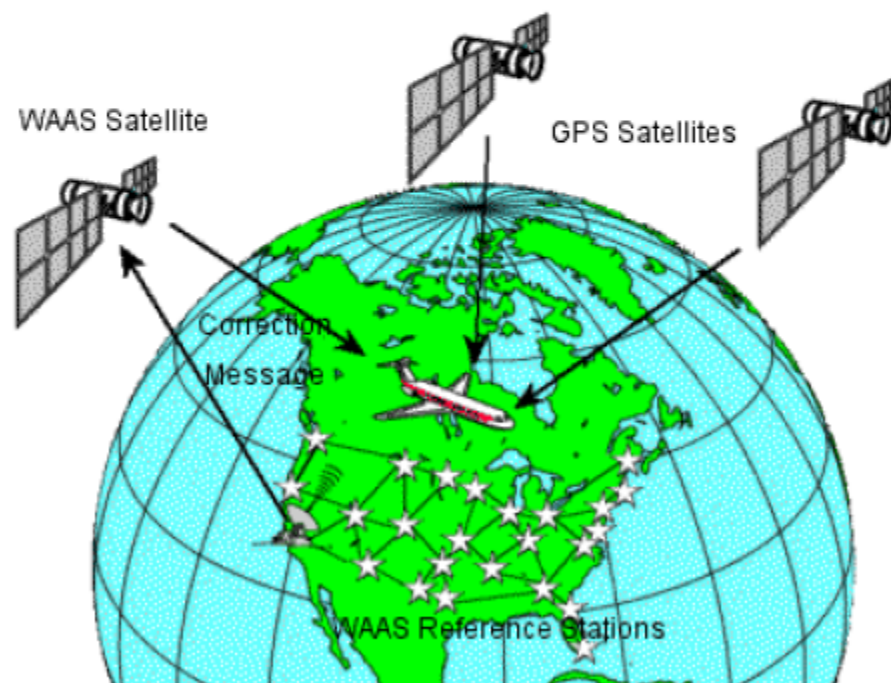
Problemas comuns nos Receptores Portáteis

- Pouca precisão no relógio interno
- Baixa sensibilidade das antenas
- Antenas "direcionais"
- *Shadowing*: áreas de "sombra" devido a vegetação, edifícios, objetos metálicos etc.
- *Multipath*: Reflexão em edificações e/ou objetos metálicos



WAAS – Wide Area Augmentation System

- Sistema de auxílio à navegação aérea operado nos EUA pela [Federal Aviation Administration](#) (FAA).
- 25 estações terrestres nos EUA e Alasca comparam continuamente sua posição (conhecida) com a posição obtida por sinais GPS.
- Dados de correção são enviados a dois satélites geo-estacionários, um sobre a costa do Atlântico e outro sobre a costa do Pacífico dos EUA.



WAAS – Wide Area Augmentation System

- O sistema WAAS corrige principalmente o **atraso ionosférico**, principal fonte de erro nos sinais GPS.
- Receptores de GPS + WAAS chegam a precisão de 2m no território continental dos EUA e no Alasca.
- WAAS não deve ser usado fora do território norte-americano!



Estação WAAS no Alasca



Estação WAAS na Califórnia (uplink)