

# **GNSS: Conceitos Fundamentais**

**Notas de Aulas**

**Aplicações não convencionais do GNSS  
Graduação em Engenharia Cartográfica**

**FCT/UNESP**

**Março de 2016**

# GNSS

- Global Navigation Satellite System
  - Envolve:
    - GPS, GLONASS, Galileo e Beidou/Compass
    - SBAS : Satellite Based Augmented System
      - Aumento (Augmentation) do GPS/Galileo (WAAS, EGNOS, Gagan, MSAT)
      - SACCSA (Solución de Aumentación para Caribe, Centroamérica y Sudamérica) ...
    - GBAS : Ground Based Augmented System.
- Regional
  - Indian Regional Navigation Satellite System (IRNASS);
  - Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)

# Introdução ao GPS

- O GPS, ou NAVSTAR-GPS é um sistema de radio-navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América - DoD (*Department of Defense*), visando ser o principal sistema de navegação das forças armadas americana.
- Em razão da alta acurácia proporcionada pelo sistema e do grande desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma grande comunidade usuária emergiu dos mais variados segmentos da comunidade civil (navegação, posicionamento geodésico, agricultura, controle de frotas, etc.), além de aplicações não pensadas quando do desenvolvimento do sistema.
- Como o nome sugere, o GPS é um sistema de abrangência global. Com a evolução do GPS e outros sistemas que surgiram, passa a se usar o conceito de GNSS

# Introdução ao GPS

- É comum encontrar em textos sobre GPS que a sigla NAVSTAR significa *NAVigation Satellite with Time And Ranging*.
- No entanto, lendo o histórico sobre o desenvolvimento desse sistema, apresentado em Parkinson (1996, p. 7), constata-se que NAVSTAR tratava-se apenas de um bom nome para o projeto a ser proposto, e não de uma sigla.
- Pode-se, portanto, depreender que esse nome é bem sugestivo para o fim a que se destina, pois traz a conotação de “estrela da navegação”.

- Esse sistema facilitou todas as atividades que necessitam de posicionamento. Algumas concepções antigas puderam ser colocadas em prática. Um exemplo é a **agricultura de precisão**, um conceito estabelecido por volta de 1929, que só agora tem sido colocado em prática, graças a integração de várias geotecnologias, dentre elas o GPS.
- A concepção do GPS permite que um usuário, em qualquer local da superfície terrestre, ou próximo a essa, tenha à sua disposição, no mínimo quatro satélites para serem rastreados. Esse número de satélites permite que se realize posicionamento em tempo real. Para os usuários da área de Geodésia, uma característica muito importante da tecnologia GPS, em relação aos métodos de levantamento convencionais, é a **não necessidade de intervisibilidade** entre as estações.
- Além disto, o GPS pode ser usado sob quaisquer condições climáticas.

- O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de distâncias entre o usuário e quatro satélites. **Conhecendo as coordenadas dos satélites** num sistema de referência apropriado, é possível calcular as **coordenadas da antena do usuário** no mesmo sistema de referência dos satélites.
- Do ponto de vista geométrico, apenas três distâncias, desde que não pertencentes ao mesmo plano, seriam suficientes. O problema reduziria à solução de um sistema de três equações, à três incógnitas. A quarta medida é necessária devido ao não sincronismo entre os relógios dos satélites com o do usuário, adicionando uma incógnita.

- O GPS foi declarado operacional em 27 de abril de 1985, com 24 satélites em órbita, mas desde 1983 já estava sendo utilizado no posicionamento geodésico.
- No final de 2005, 29 satélites estavam operacionais .
- Em junho de 2007, tinha-se 30 satélites.
- De Agosto de 2011 até os dias atuais, a constelação tem ficado em torno de 32 satélites (1 ou 2 aparece como não saudável)

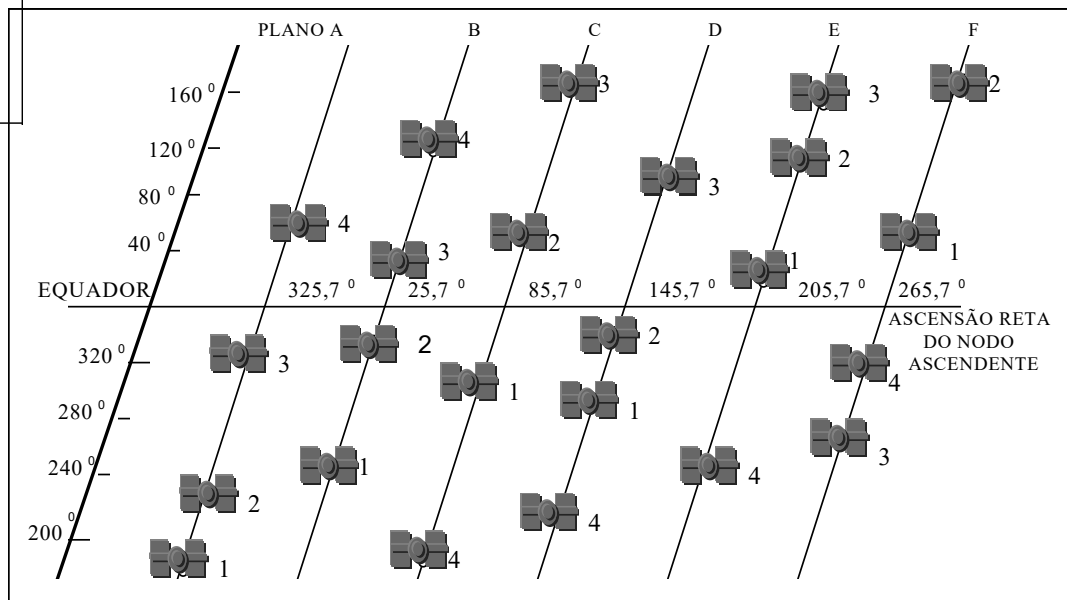
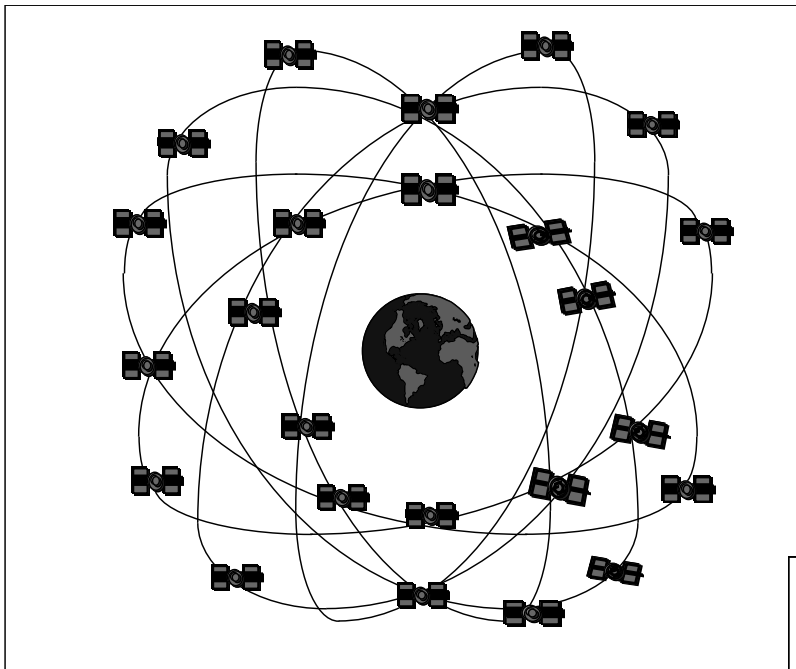
- No GPS há dois tipos de serviços, conhecidos como SPS e PPS.



- **Segmento Espacial**

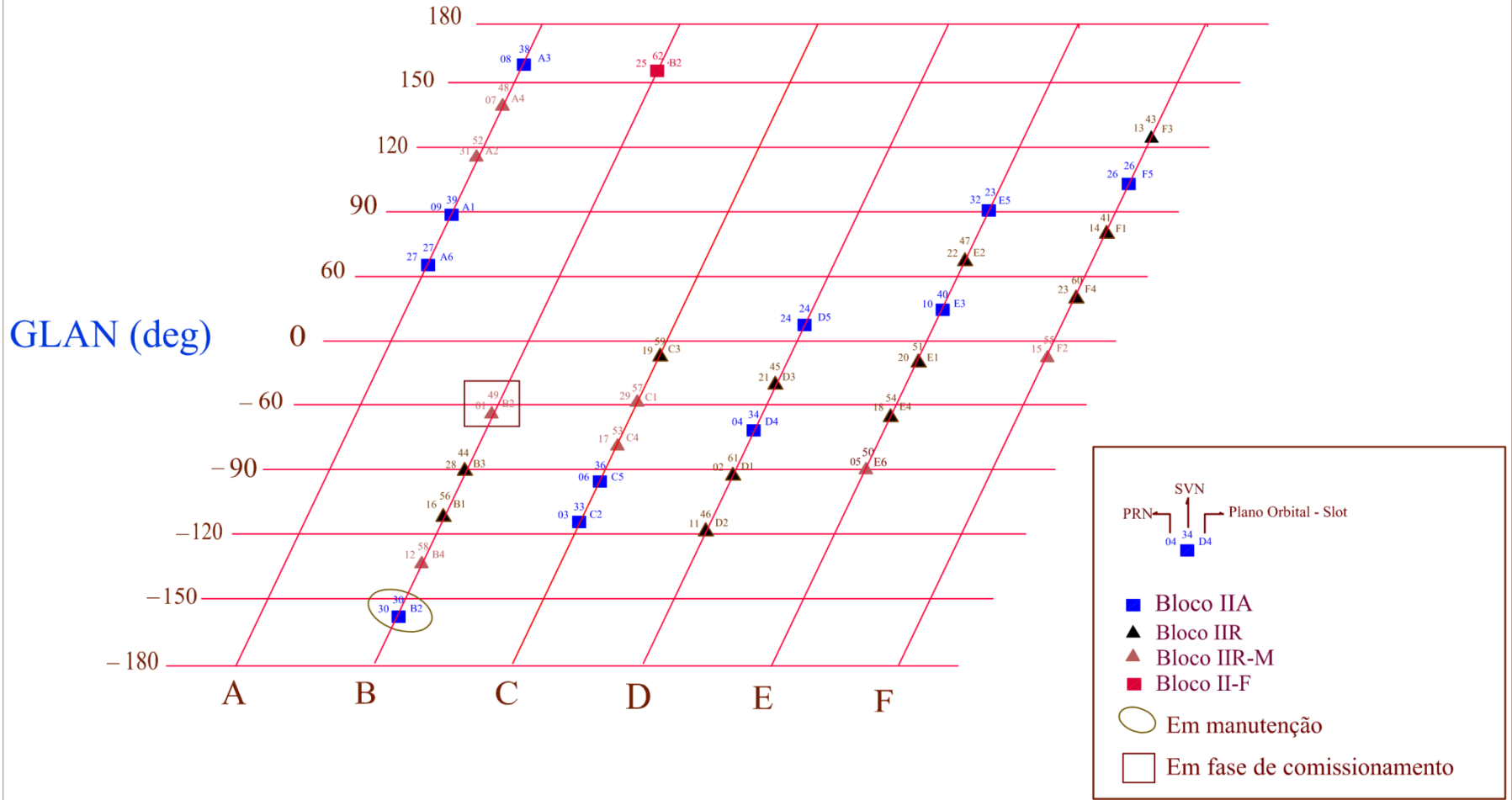
- O segmento espacial consiste de pelo menos 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados, com quatro satélites em cada plano, numa altitude aproximada de 20200 km.
- Os planos orbitais são inclinados  $55^{\circ}$  em relação ao equador e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais. Essa configuração garante que, no mínimo, quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer local da superfície terrestre, a qualquer hora.

# Constelação dos satélites GPS



# Satélites GPS

Junho de 2011



- **Segmento Espacial ...**

- Na concepção original, quatro tipos de satélites fizeram parte do projeto. Eles são denominados satélites do Bloco I, II, IIA e IIR. (IIRM)
- A quarta geração de satélites, os do Bloco IIR, denomina-se Bloco IIF ("F" refere-se à *Follow-on* – continuação). Esses satélites incorporaram a modernização do GPS; (5/2/21016 foi lançado o último satélite deste bloco).
- Encontra-se em fase de produção os GPS III. (32 satélites). Primeiro era para ser lançado em 2014 – Postergado para 2016 e agora em 2017.

- **Segmento Espacial ...**

- Os satélites GPS têm sido identificados por vários esquemas de numeração.
- Dentre eles pode-se citar o SVN (*Space Vehicle Number* - número do veículo espacial), ou número NAVSTAR, o PRN (*Pseudo-Random-Noise* - ruído falsamente aleatório) ou SVID (*Space Vehicle Identification* - identificação do veículo espacial) e número da posição orbital.
- Neste texto, para evitar confusão, sempre que ocorrer identificação de satélites, ela estará relacionada com o número de seu PRN, que corresponde à identificação utilizada nas mensagens de navegação, que coincide como o SVID. Onde isso não ocorrer, o critério de identificação adotado será explicitado.

# Características dos Sinais GPS

- Cada satélite GPS (original) transmite duas ondas portadoras: L1 e L2. Elas são geradas a partir da frequência fundamental de 10,23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120, respectivamente. Desta forma, as frequências (L) e os comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de L1 e L2 são:
  - L1 = 1575,42 MHz e  $\lambda \cong 19$  cm;
  - L2 = 1227,60 MHz e  $\lambda \cong 24$  cm.
- Essas duas frequências são geradas simultaneamente, permitindo aos usuários, corrigir grande parte dos efeitos devido à refração ionosférica.

- O Bloco IIF transmite uma 3ª. Portadora, a qual é designada de L5, com frequência de  $115 \cdot f_0 = 1176,45 \text{ MHz}$  e  $\lambda \cong 25,5 \text{ cm}$ .
- Os códigos que formam o PRN são modulados, em fase, sobre as portadoras. Essa técnica permite realizar medidas de distâncias, a partir da medida do tempo de propagação da modulação (Leick, 1995).
  - Um PRN é uma seqüência binária de +1 e -1, ou 0 e 1, que parece ter característica aleatória. Como é gerado por um algoritmo, pode ser univocamente identificado. Tratam-se basicamente dos códigos C/A e P (L2C).

## Características dos Sinais GPS

- O código C/A (*Coarse Acquisition*) é transmitido à uma razão de 1,023 MHz.
  - Ele é gerado a partir do produto de duas seqüências PN (*pseudorandom*), denominadas G1 e G2, cada uma com período de 1023 bits. O código C/A resultante também consistirá de 1023 bits, com período de 1 ms.



- Cada satélite transmite um código C/A diferente, dentre os 37 definidos no ICD-GPS-200C. Isso poderia causar dificuldades para um receptor GPS distinguir entre todos os códigos possíveis. No entanto, o código C/A faz parte de uma família de códigos (*Gold codes*), que tem como característica básica, a baixa correlação entre seus membros. Isso possibilita a rápida distinção dos sinais recebidos, simultaneamente, de vários satélites. Ele é modulado somente sobre a onda portadora L1.
  - Esse é o código, a partir do qual, os usuários civis obtêm as medidas de distâncias que permitem obter a acurácia estipulada no SPS. Ele não é criptografado, embora possa ter sua precisão degradada.

## Características dos Sinais GPS

- O código P (*Precise or Protected*) tem sido reservado para uso dos militares americanos e usuários autorizados. Ele é transmitido com frequência  $f_0$  de 10,23 MHz, resultando num comprimento de onda da ordem de 30 m gerando medidas mais precisas.

- Ele é gerado, matematicamente, a partir do produto de dois códigos PN, X1 e X2, que por sua vez também são gerados a partir do produto de dois outros códigos.
  - O período do código X1 é de 1,5 s, o que corresponde à 15.345.000 bits ( $1,5 \times (f_o = 10,23 \times 10^6)$ ).
  - O período de X2 é de 15.345.037 bits. Essa combinação permite que se tenha um código resultante com duração de 266,4 dias ( $15.345.000 \times 15.345.037 = 2,354 \times 10^{14} / f_o = 23010752,69 \text{ s} / 86400 \text{ s} = 266,4 \text{ dias}$ ).
- Eles são arranjos de forma a produzir uma série de 37 seqüências de códigos, mutuamente exclusiva, cada uma com duração de 7 dias. Desta forma, para o código P, tem-se 37 PRNs.

# Características dos Sinais GPS

- À cada satélite é atribuído um determinado PRN, que é modulado nas portadoras L1 e L2. Portanto, todos os satélites transmitem na mesma frequência, mas podem ser identificados pelo código exclusivo de cada satélite.
  - Trata-se da técnica denominada CDMA (*code division multiple access* – divisão do código para múltiplo acesso) (Spilker, 1996), válida tanto para o código C/A, como para o código P.

- Como há um número menor de satélites em órbita, algumas das seqüências dos códigos P e C/A não são utilizados para os satélites. Eles são reservadas para outras aplicações, como por exemplo transmissores terrestres (*pseudolites* ). Trata-se dos PRNs 33 à 37.
- O seguimento de código atribuído à cada satélite é reiniciado a cada semana, às 0 hs TU (Tempo Universal), do Sábado para Domingo, criando a semana GPS, uma unidade de tempo muito importante para o sistema.

# Características dos Sinais GPS

- Embora o código P seja mais preciso, ele é criptografado, quando o sistema está operando no modo AS, passando a ser denominado código Y. Esse código não é disponível para os usuários civis. Trata-se de uma versão segura do código P.
- O propósito principal é evitar que inimigos consigam fraudá-lo, mediante a geração de uma réplica do mesmo. Somente à usuários autorizados são disponibilizados informações sobre sua estrutura.

# Características dos Sinais GPS

- Com o anúncio da modernização do GPS em 1998 pelo DoD, entrou em cena o código civil L2C, a ser modulado na portadora L2, visando reduzir os problemas advindos do código Y, além do anúncio de uma nova portadora, a L5.
- Estava planejado inicialmente que 12 satélites do Bloco IIR seriam modernizados com o código L2C, com o primeiro lançamento previsto para 2003. No entanto, o primeiro satélite modernizado refere-se ao 14º lançamento dos satélites do Bloco II-R, ocorrido em 26 de setembro de 2005.

# Características dos Sinais GPS

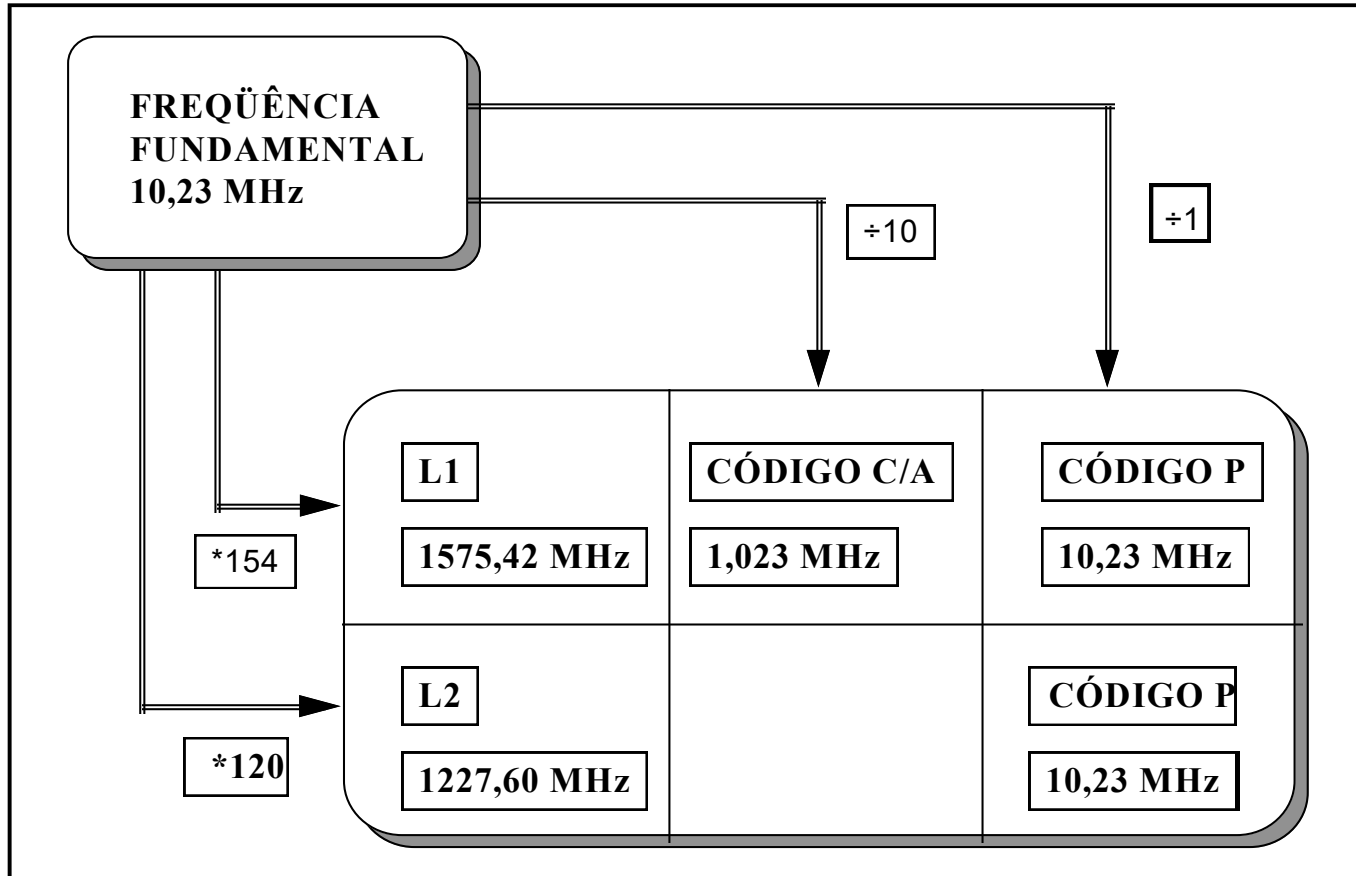
- O código L2C que está foi incorporado aos satélites do Bloco IIR-M apresenta melhor sensibilidade que o código C/A, disponível na L1.
  - Ele usa um código CM (código de comprimento moderado) com 10230 bits e um código CL (código de comprimento longo) com 767250 bits. O código L2C é transmitido com frequência de 511,5 KHz. Logo, enquanto o código CM se repete a cada 20 *ms*, o CL se repete a cada 1,5 segundos. CM é o código que transporta os dados e CL é dito ser o sinal piloto, não tendo dados modulado sobre ele.



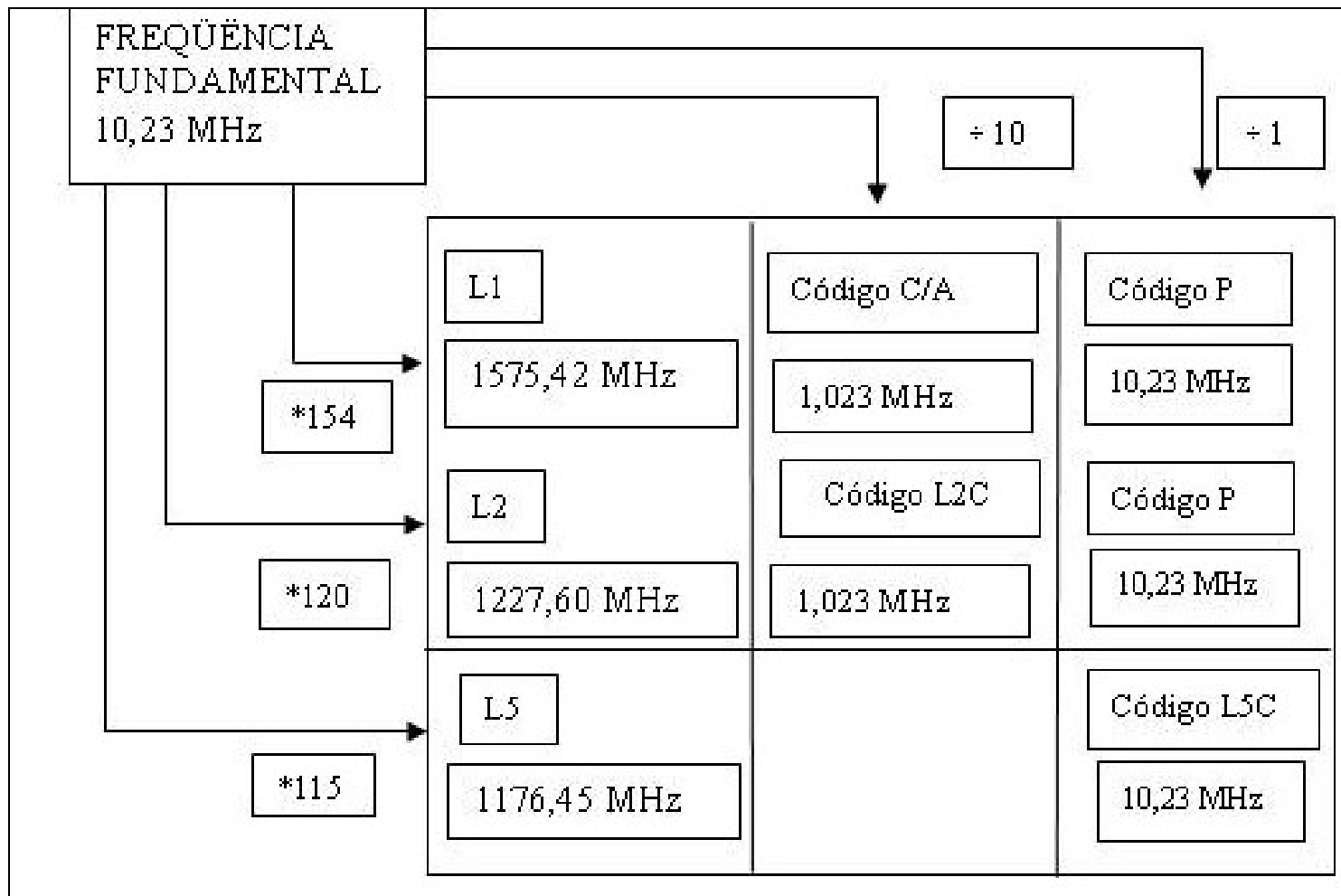
# Características dos Sinais GPS

- Os sinais básicos do GPS são ilustrados nas Figuras a seguir, inclusive o código L2C na portadora L2, bem como a portadora L5, os quais fazem da modernização do GPS.
- É importante frisar que apenas os satélites lançados a partir de setembro de 2005 têm o código L2C disponível e que a portadora L5 fará parte apenas dos satélites do Bloco IIF (um ou satélite do bloco IIR-M).

# Estrutura Básica do Sinal GPS - original



# Estrutura Básica do Sinal GPS - modernizado



- As mensagens de navegação, que fornecem as informações básicas para o cálculo das posições dos satélites, são também moduladas sobre as portadoras, numa taxa de 50 bps. Elas contêm os parâmetros orbitais (elementos keplerianos e suas variações), dados para correção da propagação na atmosfera, parâmetros para correção do erro dos relógios dos satélites, saúde dos satélites, etc.

# Características dos Sinais GPS

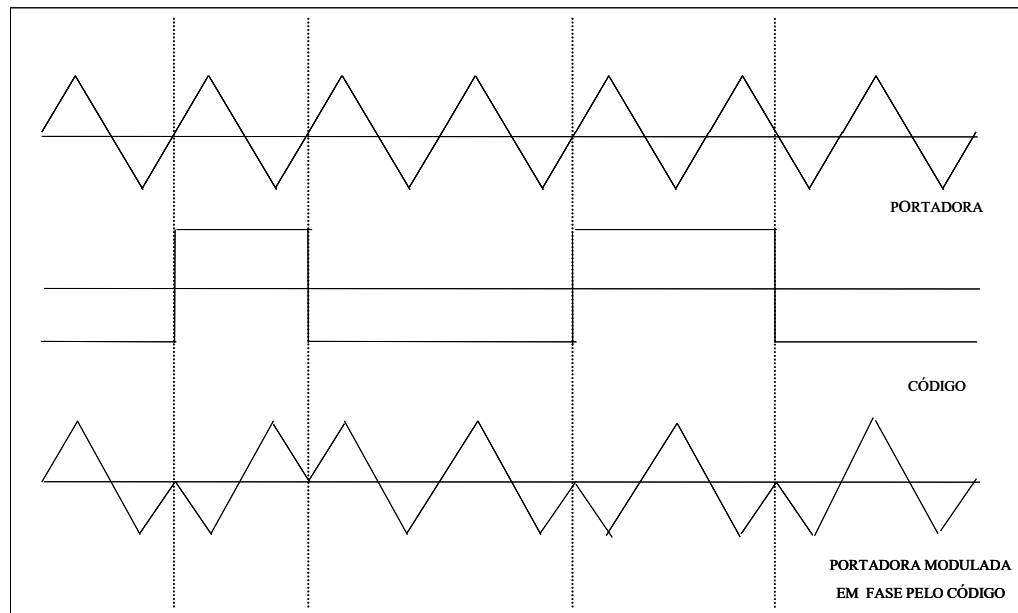
- O sinal L1

$$S_{L_1}(t) = A_p P_i(t) W_i(t) D_i(t) \cos(\omega_1 t + \phi_{n,L1,i}) + A_c C_i(t) D_i(t) \sin(\omega_1 t + \phi_{n,L1,i})$$

- O sinal L2

$$S_{L_2}(t) = B_p P_i(t) W_i(t) D_i(t) \cos(\omega_2 t + \phi_{n,L2,i})$$

## Estrutura dos Sinais dos Satélites GPS



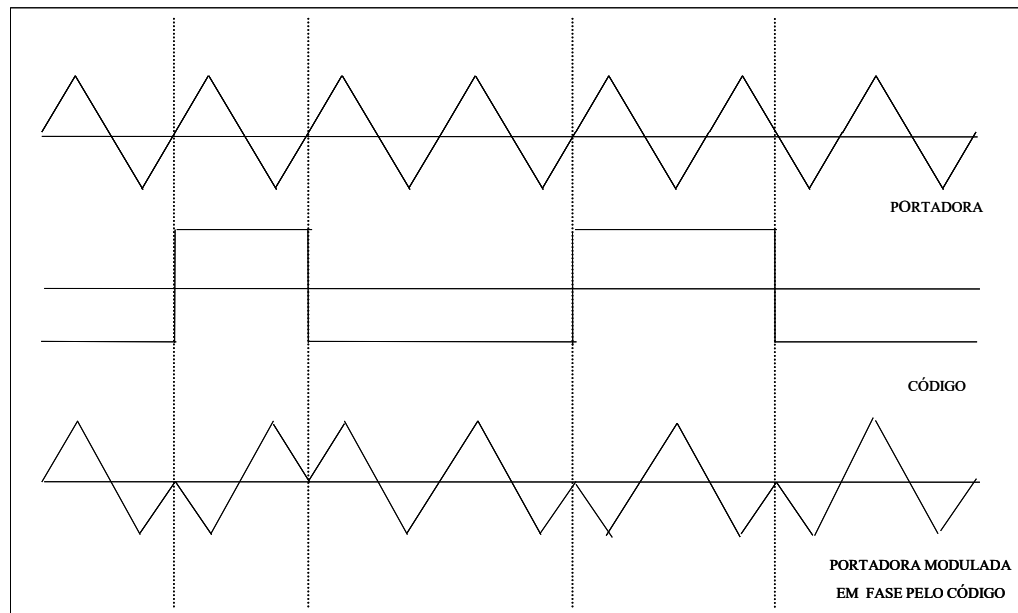
# Características dos Sinais GPS

- O sinal L2 Modernizado

$$S_{L2}(t) = B_p P_i(t) W_i(t) D_i(t) \cos(f_2 t + \phi_{n,L2,i}) +$$

- $+ A_{RC} L2 C_i(t) D_i^{L2}(t) \sin(f_2 t + \phi_{n,L2,i}) + \text{código}_{\text{ militar}}$

## Estrutura dos Sinais dos Satélites GPS



## Mensagem de Navegação

- Os dados de navegação GPS são modulados nas duas portadoras, na razão de 50 bps, com duração de 30 segundos. Portanto, a duração de um bit é 20 ms. As informações contidas numa mensagem perfazem um total de 1500 bits, denominado quadro de dados (*data frame*). Ele é dividido em 5 sub-quadros, de seis segundos de duração (300 bits) cada, contendo, cada um, 10 palavras de 30 bits. O conteúdo de cada sub-quadro é apresentado na Tabela 1.1.
- No início de cada sub-quadro aparecem duas palavras especiais, denominadas de palavra de telemetria (TLM) e HOW. A palavra HOW contém um número que, multiplicado por 4, proporciona o TOW do próximo sub-quadro.
  - O HOW é expresso em unidades de 1,5 segundos, contados a partir do início da semana GPS e com duração de uma semana, isto é, ele varia de 0 à 403199.

# Conteúdo dos Sub-quadros da Mensagem de Navegação

Sub-quadro 1	TLM	HOW	- Coeficientes para a correção do relógio do satélite - Número da semana GPS e saúde do satélite - Idade dos dados
Sub-quadro 2	TLM	HOW	- Parâmetros orbitais
Sub-quadro 3	TLM	HOW	- Continuação dos parâmetros orbitais
Sub-quadro 4	TLM	HOW	- Almanaque para os satélites 25 à 32 (páginas 2, 3, 5, 7 8, 9 e 10 - Modelo da Ionosfera e diferença de tempo GPS-UTC (página 18) - Informação do AS (Anti-spoof flag) e configuração de 32 satélites - Saúde dos satélites 25-32 (página 25) - Páginas reservadas e de mensagens especiais
Sub-quadro 5	TLM	HOW	- Almanaque dos satélites 1 à 24 (páginas 1 à 24) - Saúde dos satélites 1 à 24 (página 25)

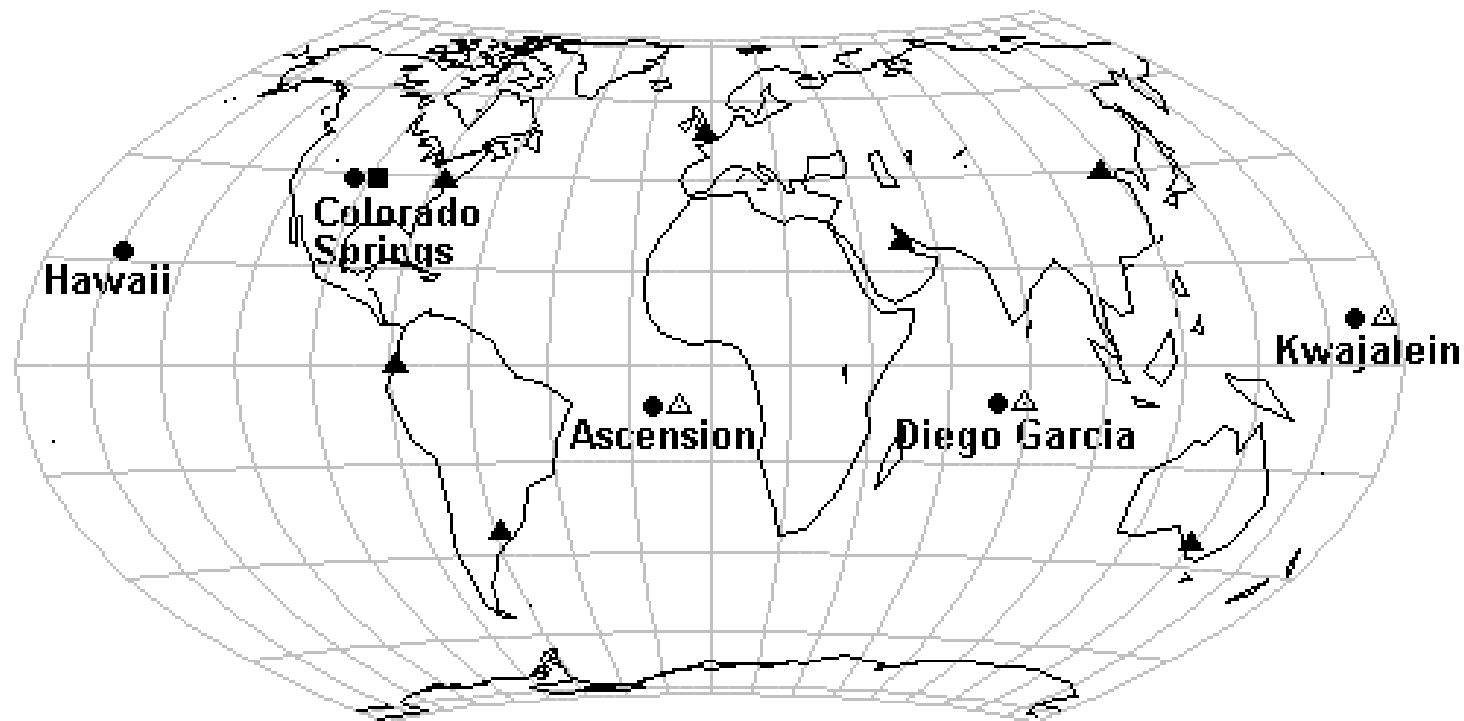
Os dados dos sub-quadros 1 à 3 se repetem nos quadros seguintes até que os dados sejam renovados. Já os sub-quadros 4 e 5, cada um com 25 páginas, contém dados diferentes em cada quadro, haja vista que cada quadro conterá uma de suas páginas. Como cada quadro tem duração de 30 segundos, a obtenção completa do conteúdo dos sub-quadros 4 e 5 durará 12,5 minutos.



- **Segmento de Controle**

- As principais tarefas do segmento de controle são:
  - monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites;
  - determinar o sistema de tempo GPS;
  - prever as efemérides dos satélites, calcular as correções dos relógios dos satélites e
  - atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite.
- É composto por cinco estações monitoras (Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, Colorado Springs), três delas com antenas para transmitir os dados para os satélites, (Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein), e uma estação de controle central (MCS: *Master Control Station*) localizada em Colorado Springs, Colorado. Essas cinco estações de monitoramento, pertencem à AAF (*American Air Force*), em conjunto com as sete do NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*) compõem as estações monitoras GPS do DoD.

# Segmento de Controle do GPS



■ Estação de controle principal  
● Estações de monitoramento - AAF

▲ Estações de monitoramento - NIMA  
△ Antenas terrestres

Cada estação monitora é equipada com oscilador externo de alta precisão e receptor de dupla frequência, o qual rastreia todos os satélites visíveis e transmite os dados para a MCS. Os dados são processados na MCS para determinar as órbitas dos satélites, as quais são transmitidas (*broadcast ephemeris*), e as correções dos relógios dos satélites, visando atualizar periodicamente as mensagens de navegação.

A informação atualizada é enviada para os satélites a partir das antenas terrestres.

# Segmento de Controle do GPS

Cada estação monitora é equipada com oscilador externo de alta precisão e receptor de dupla frequência, o qual rastreia todos os satélites visíveis e transmite os dados para a MCS. Os dados são processados na MCS para determinar as órbitas dos satélites, as quais são transmitidas (*broadcast ephemeris*), e as correções dos relógios dos satélites, visando atualizar periodicamente as mensagens de navegação. A informação atualizada é enviada para os satélites a partir das antenas terrestres.

O segmento de controle do GPS foi totalmente modernizado em setembro de 2007 – nova estrutura computacional foi montada – bem como novos receptores.

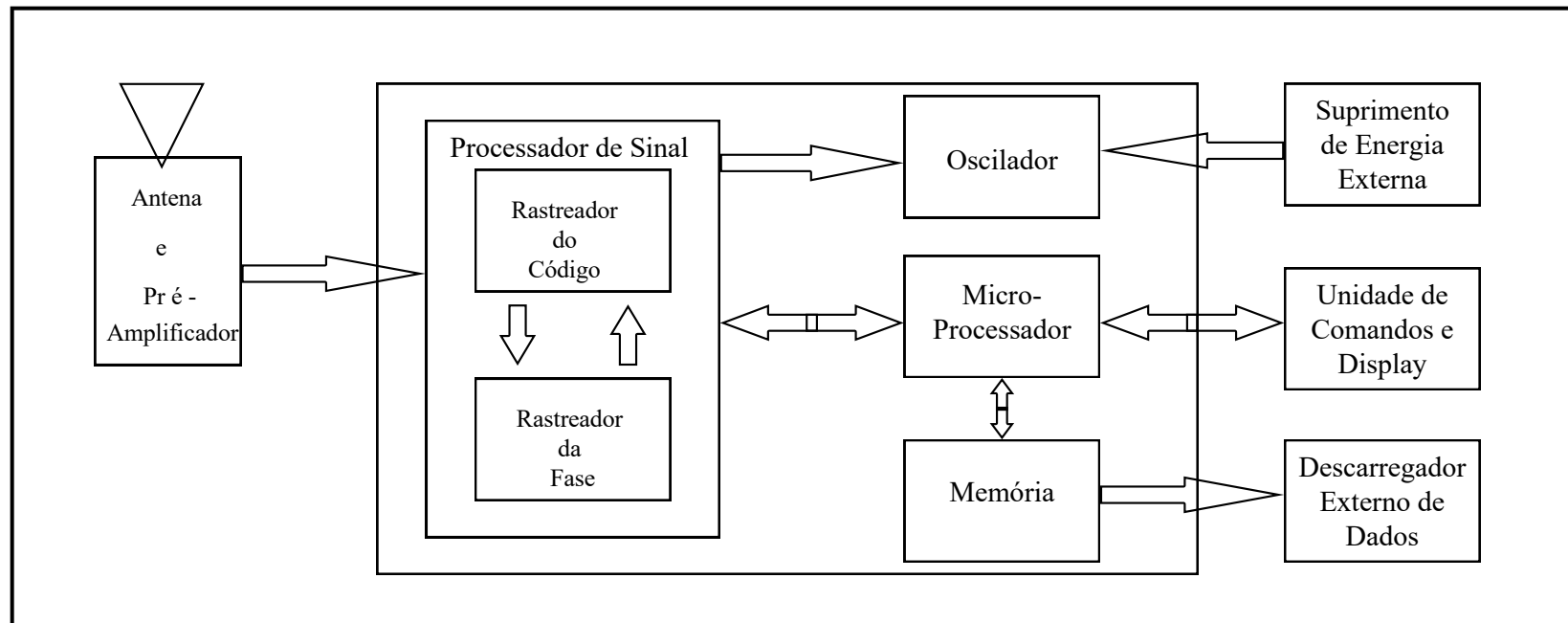
- **Segmento de Usuários**

- É constituído pelos receptores GPS, os quais devem ser apropriados para os propósitos a que se destinam, tal como em Navegação, Geodésia ou outra atividade qualquer.
  - A categoria de usuários pode ser dividida em civil e militar.
- Os militares fazem uso dos receptores GPS para estimar suas posições e deslocamentos quando realizam manobras de combate e de treinamento. Durante a operação *Desert Storm*, na Guerra do Golfo em 1991, vários receptores GPS foram utilizados para auxílio no deslocamento nas regiões desérticas. Muitas outras atividades militares fazem uso do posicionamento com receptores GPS, como por exemplo na navegação de mísseis.
- Atualmente, há uma grande quantidade de receptores no mercado civil, para as mais diversas aplicações, limitadas apenas pela imaginação dos usuários, o que demonstra que o GPS realmente atingiu sua maturidade.

- **Descrição dos Receptores GPS**
- Os principais componentes de um receptor GPS são:
  - antena com pré-amplificador;
  - seção de RF (radio frequência) para identificação e processamento do sinal;
  - microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados;
  - oscilador;
  - interface para o usuário, painel de exibição e comandos;
  - provisão de energia e
  - memória para armazenar os dados;
  - Comunicação (Internet – NTRIP ...)

Receptores GPS por *software* também têm tido grandes avanços e existe uma grande variedade de publicações.

# Principais Componentes de um Receptor GPS



# Classificação dos receptores

*Os receptores GPS podem ser divididos segundo vários critérios. Um deles é, de acordo com a comunidade usuária, podendo classificá-los em: receptor de uso militar e receptor de uso civil.*

É comum encontrar classificação de acordo com a aplicação:

- receptor de navegação;
- receptor geodésico;
- estação de referência;
- receptor para SIG (Sistema de Informações Geográficas); e
- receptor de aquisição de tempo etc.

Essa classificação pode proporcionar algum tipo de confusão, já que um receptor dito geodésico pode ser utilizado para navegação, dentre outras possibilidades.

Uma outra classificação, que possa ser a mais adequada, baseia-se no tipo de dados proporcionado pelo receptor, ou seja: código C/A; código C/A e L1, etc.

# Classificação dos receptores

Com a continuidade da modernização do GPS, outras possibilidades aparecerão no futuro. Além disto, outras classificações ainda são possíveis.

Mas o importante para o usuário é ter clara a aplicação que se objetiva, a precisão desejada, bem como outras características necessárias. Isso poderá auxiliar o usuário na identificação do receptor adequado às suas necessidades, independente da classificação adotada.



# Introdução ao GLONASS

- A antiga União Soviética está desenvolvendo, desde 1970, o GLONASS, que é bastante similar ao GPS.
- No que concerne aos códigos PRN, de forma similar ao GPS, há dois no GLONASS; os códigos C/A e P. O código C/A, disponível para os usuários civis, e o código P, para usuários autorizados, são modulados na portadora L1. A portadora L2 é modulada somente pelo código P.
- A frequência do código C/A é 0,511 MHz e a do código P de 5,11 MHz; aproximadamente metade daquela do GPS. Desta forma, pelo menos teoricamente, a acurácia das pseudodistâncias GLONASS é pior que a do GPS.

# Introdução ao GLONASS

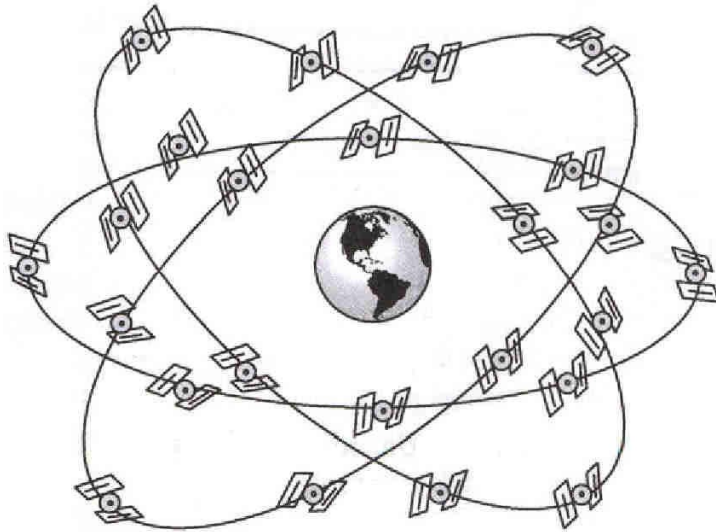
- Mas, diferentemente do GPS, os sinais GLONASS nunca foram degradados intencionalmente.
- Os códigos PRN são os mesmos para todos os satélites.
- Desta forma, a identificação dos satélites se dá através da frequência do sinal, técnica denominada de FDMA (*Frequency Division Multiple Access* – múltiplo acesso pela divisão da frequência).
- Mas no futuro deverá ser CDMA também.

# Segmento Espacial

- O segmento espacial consiste de uma constelação de 24 satélites ativos e três de reserva. Eles são distribuídos em três planos orbitais separados de  $120^\circ$  e inclinação de  $64,8^\circ$ , cada um com oito satélites igualmente espaçados. As órbitas são aproximadamente circulares e arranjadas de forma que não ocorra o fenômeno de ressonância<sup>2.3</sup>.
- Como consequência, o mesmo período orbital se repete somente a cada 8 dias siderais. Por outro lado, um dos satélites de cada um dos planos orbitais, irá ocupar a mesma posição no céu no mesmo instante em cada dia. A altitude dos satélites é da ordem de 19100 km e período orbital de 11 horas e 15 minutos.
- <sup>2.3</sup> Uma perturbação adicional na órbita do satélite devido à comensurabilidade do período do satélite com o período de rotação da Terra.

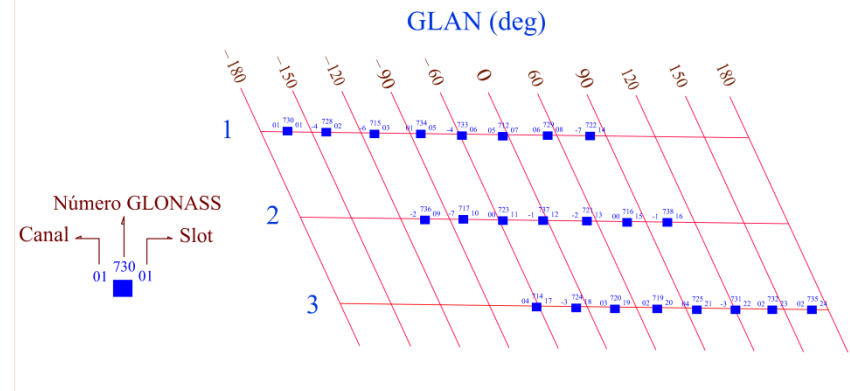
# Segmento Espacial

- Com o sistema completo, isto é, 24 satélites disponíveis, entre 6 e 11 satélites são visíveis em qualquer lugar da Terra



## Satélites GLONASS

Junho de 2011



Constelação dos satélites GLONASS

# Segmento Espacial

- O GLONASS transmite sinais em duas bandas, também denominadas portadoras L1 e L2, as quais são moduladas por dois códigos binários e as mensagens de navegação. Mas cada satélite tem sua própria frequência, diferentemente do GPS. As frequências L1 são dadas por (SEEBER, 2003):

$$f_{L1} = f_0 + k * \Delta f_{L1} \quad k = 0, 1, 2, \dots, 24,$$

com  $f_0 = 1.602 \text{ MHz}$ ,  $\Delta f_{L1} = 0,5625 \text{ MHz}$  e  $k$  representando o número da frequência do satélite. O valor de  $k$  representa o canal do satélite, sendo que  $k = 0$  é utilizado somente para testes. As portadoras L1 e L2 apresentam a seguinte relação:

$$f_{L1} / f_{L2} = 9 / 7$$

Como as frequências do GPS e GLONASS são relativamente próximas, isso permite o uso de uma antena combinada e um amplificador comum no mesmo equipamento, o que tem facilitado o desenvolvimento de equipamentos que rastreiam satélites de ambos os sistemas simultaneamente. Mas o processamento do sinal é diferente (SEEBER, 2003, p. 385).

Os sinais de alguns dos satélites GLONASS têm causado interferência nas observações de radio astronomia que atuam nas frequências de 1610,6 a 1613,8 MHz e 1660 a 1670 MHz, bem como em alguns satélites de comunicação.

Desta forma, foi decidido, mediante negociações, que as frequências do GLONASS deveriam ser realocadas para frequências um pouco mais baixas. Inicialmente, o número de canais de frequências foi reduzido à metade, de forma que os satélites antípodas (satélites no mesmo plano orbital e separados por 180 graus de argumento de latitude) dividissem o mesmo canal.

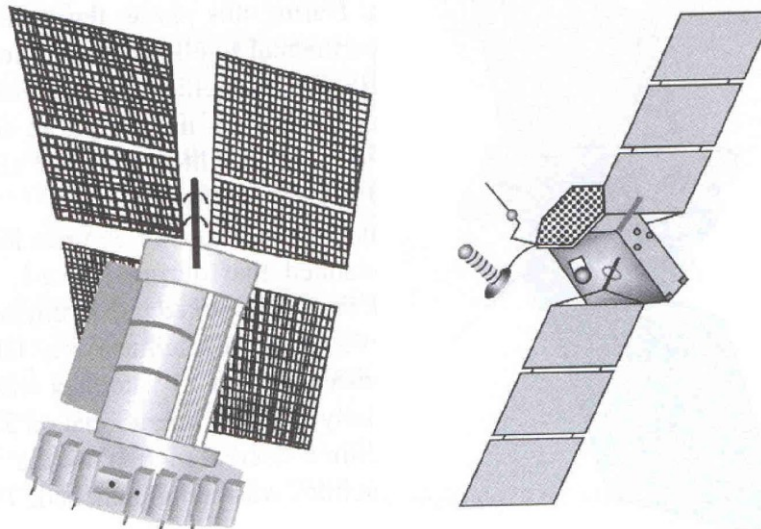
A identificação do satélite é dada pelo canal do satélite. Mas além desta identificação e de uma outra adotada internacionalmente, os satélites GLONASS recebem um número baseado na série COSMOS e um número seqüencial GLONASS.

As mensagens de navegação são moduladas na portadora numa taxa de 50 pbs. Elas contêm informações sobre as órbitas (efemérides), almanaque e *status* dos satélites. As efemérides são atualizadas a cada 30 min e tem como origem o centro do intervalo de 30 min. Elas contêm posições e velocidade, além de acelerações para a época de referência.

A geração de satélites desenvolvida para substituir os satélites mais antigos é denominada GLONASS-M (M para modificado). Em relação aos satélites mais antigos, ela deverá ter vida útil de 7 anos, melhor estabilidade dos relógios, comunicação entre os satélites, operação autônoma e estrutura do formato de navegação alterada. Trata-se de algumas características bastante similares ao do Bloco IIR do GPS. A Figura 2.19 mostra duas gerações de satélites GLONASS,

# Satélites GLONASS (GLONASS-M à esquerda e K à direita)

- O sistema GLONASS esteve totalmente operacional, com 24 satélites, durante os primeiros meses de 1996. Mas devido ao curto período de vida útil dos satélites, bem como da não reposição destes, o número de satélites tem ficado abaixo do requisito necessário. No período de janeiro de 1997 e janeiro de 1999, entre doze e dezesseis satélites sempre estiveram disponíveis.





- Em março de 2003, apenas onze estavam em condições de uso. Em dezembro de 2004, bem como de 2005, 2006 e 2007, além de outubro de 2007, três satélites foram lançados, perfazendo um total de quinze satélites. Mesmo assim, em dezembro de 2007, apenas dezoito satélites estavam disponíveis, dos quais cinco não estavam saudáveis. Os satélites saudáveis estavam assim distribuídos:
  - - Plano 1: 1, 5, 6, 6, 7;
  - - Plano 2: 4, 0, 4; e
  - - Plano 3: 3, 2, 3, -1 e 2.
- O leitor pode notar o uso do mesmo canal (k) para os satélites antípodas, inclusive a presença do canal -1.
- Em 31/08/2008 – 14 satélites saudáveis... (10 com problemas).
- Hoje, 21 satélites – e apenas um não saudável.

# Segmento de controle

- O segmento de controle terrestre é responsável por:
  - - predição das órbitas dos satélites;
  - - transferir as efemérides, correções dos relógios e almanaques em cada um dos satélites;
  - sincronizar os relógios dos satélites com o sistema de tempo do GLONASS;
  - estimar as discrepâncias entre o sistema de tempo do GLONASS e o TUC<sub>US</sub>; e
  - controle dos satélites.
- O segmento de controle terrestre é composto por:
  - - sistema de controle central;
  - - central de sincronização de tempo (Central Synchronizer);
  - - várias estações de comando e rastreamento; e
  - - estações de rastreamento a laser.
  - O centro de controle terrestre é localizado em Moscou e as estações de monitoramento são distribuídas homogeneamente no território da antiga União Soviética.

- No que concerne ao referencial geodésico, atualmente as coordenadas das estações de controle e dos satélites são dadas no PZ 90 (Parametry Zemli 1990), conhecido em inglês como PE 90 (*Parameters of the Earth 1990 – Parâmetros da Terra 1990*) (BAZLOV et al., 1999).
  - Anteriormente adotou-se, por longo período, o SGS 85 (*Soviet Geodetic System of 1985 – Sistema Geodésico Soviético de 1985*).
- Entre os resultados da campanha IGEX-88 (*International GLONASS Pilot Experiment*) pode-se citar os parâmetros de transformação entre o PZ-90 e outros referenciais, tais como o WGS 84 e ITRF-97, essenciais para a integração com outros sistemas (veja na seção 3.8.3).
  - Essa campanha foi realizada sob os auspícios da IAG e IGS, entre outubro de 1998 e abril de 1999, visando explorar o potencial do GLONASS para a comunidade geodésica.
  - Depois deste projeto, um determinado número de estações continuou rastreando continuamente, num projeto piloto denominado IGLOS (*International GLONASS Service*), sob os auspícios da IAG.
  - Desde a semana GPS 979 (11 de outubro de 1998), são geradas órbitas precisas do GLONASS: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/glonass/products/>.

# Segmento de usuários

- O segmento de usuários está diretamente associado aos receptores, tal como no GPS. Embora o GLONASS seja efetivamente um sistema de posicionamento e navegação por satélite, o número de receptores GLONASS disponíveis é bastante reduzido, se comparado com o GPS.
- Em geral, o que se encontra no mercado são receptores que rastreiam simultaneamente os dois sistemas, tal como o JPL Legacy (Javad) e Hiper GGD (Topcon). Essa situação deverá continuar assim, até que definições mais confiáveis sobre o sistema se tornem realidade.



# Sistema de tempo GLONASS

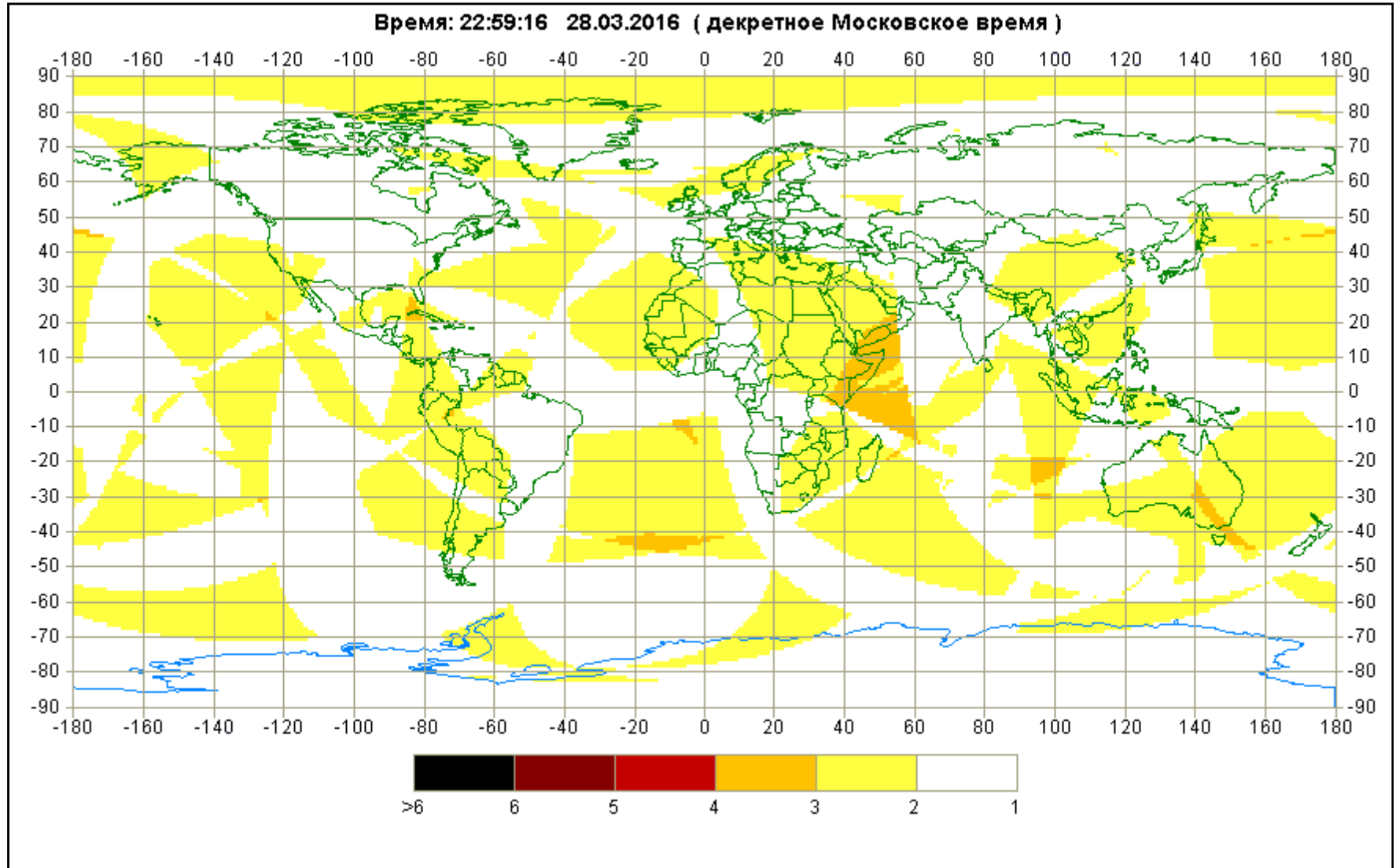
- Os sinais de navegação do GPS e GLONASS estão referenciados em sistemas de tempo um pouco diferente um do outro. O sistema de tempo do GLONASS refere-se ao TUC da antiga União Soviética ( $TUC_{US}$ ), o qual, diferentemente do GPS, considera os saltos de segundos.
- Além disto, comparece uma diferença constante de 3 horas (devido ao fuso horário entre Moscou e Greenwich). Esse sistema é baseado num conjunto de maser de hidrogênio, controlado pela central GLONASS de tempo (*GLONASS Central Synchronizer*). A relação entre o TUC e o tempo GLONASS é dada por:

$$TUC = t_{GLONASS} + \tau_C - 3^h$$

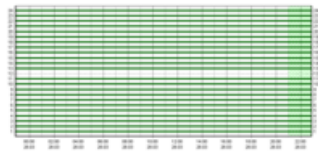
- O termo representa o *ensembles* entre os relógios usados, podendo alcançar vários  $\mu s$ , que é divulgado nas mensagens de navegação do GLONASS (SEEBER, 2003, p. 389).

# O futuro do GLONASS

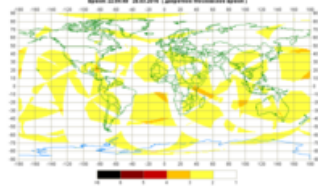
- Em fase de modernização, envolvendo o segmento espacial (novos sinais, comunicação entre satélites, etc.) e de controle (introdução de integridade e outros serviços).
- Constelação foi recuperada. Conseqüentemente, novos tipos de receptores deverão estar a disposição no mercado.
- O leitor interessado em conhecer os últimos desenvolvimentos do sistema deve acompanhar a literatura especializada. Em termos de internet, a página <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/> é um bom início.



**satélites GLONASS estatuto**



**disponibilidade imediata**



Bem-vindo ao website da informação analítica Centro de coordenadas de tempo e apoio à navegação FSUE TsNIIMash principal objetivo do site - suporte de informações para navegação por satélite. O site contém:

- Informações oficiais Sistema Centro de Controle
- Dados sobre grupos de composição e condições GLONASS e GPS
- Accurate efemérides , almanaques de GLONASS e GPS
- Newsletters IAC sobre o estado de GLONASS e GPS
- Links úteis para a navegação por satélite



**A composição dos grupos de 28.03.2016g.**

No total, o GLONASS OG	28 SC
São utilizados para o fim pretendido	23 SC
Na fase de colocação em funcionamento do sistema	-
Temporariamente removido para manutenção	1 SC
No estudo, o Designer Chefe	2 SC
reserva orbital	1 SC
Na fase de testes de voo	1 SC

**GNSS Notícias**

- 2016/03/28** militares russos preferem GLONASS
- 03/25/2016** Sistemas de laser para os satélites GLONASS estão em exposição em Moscou
- 2016/03/23** RCC celebra 70º aniversário
- 2016/03/18** "Sistemas Espaciais russas" operador designado da rede nacional de posicionamento de alta precisão
- 2016/03/18** O Governo aprovou o programa espacial federal até 2025
- 2016/03/17** MOE em favor do aumento da utilização das tecnologias espaciais

**GLONASS Notícias**

- 2016/03/28** De acordo com o sistema GLONASS 25.03.2016g Control Center. em 19:23 (horário de Moscou) entrou nos satélites da constelação Glonass-K # 702 (9 ponto de operação)
- 2016/03/24** De acordo com o Centro de Controle de satélites GLONASS sistema Glonass-K # 702 (9 ponto de operação) colocados em serviço 2016/03/24 10:19 (GMT)
- 2016/03/15** acordo com o monitoramento IAC trabalho de tradução Glonass-M satélites em 16 pontos Nº736 orbital é concluída com êxito, a sonda é utilizado para a sua finalidade
- 2016/02/29** acordo com o centro de controle do satélite GLONASS do sistema Glonass-M Nº751 (17 ponto de operação) é introduzido no agrupamento orbital 28.02.2016g. em 23:47 (GMT)
- 2016/02/25** De acordo com o sistema GLONASS no Centro de Controle das 4:30 às 12:06 02.24.16 (MSC) fez nave espacial tradução Glonass-M 714 (17 ponto de trabalho) na reserva orbital

**Avaliação do desempenho do GNSS**



**Móvel de medição e de diagnóstico laboratorial**





# Galileo

- A ESA (*European Space Agency* – Agência Espacial Européia) em conjunto com a Comissão Européia e a indústria Européia vem desenvolvendo um sistema de navegação por satélite europeu, sob a denominação de Galileo.
  - Esse sistema terá controle civil e inter operabilidade com o GPS e GLONASS.
- Da mesma forma que o GLONASS e GPS, o sistema é composto por 3 segmentos:
  - Espacial
  - Controle e de
  - Usuários.

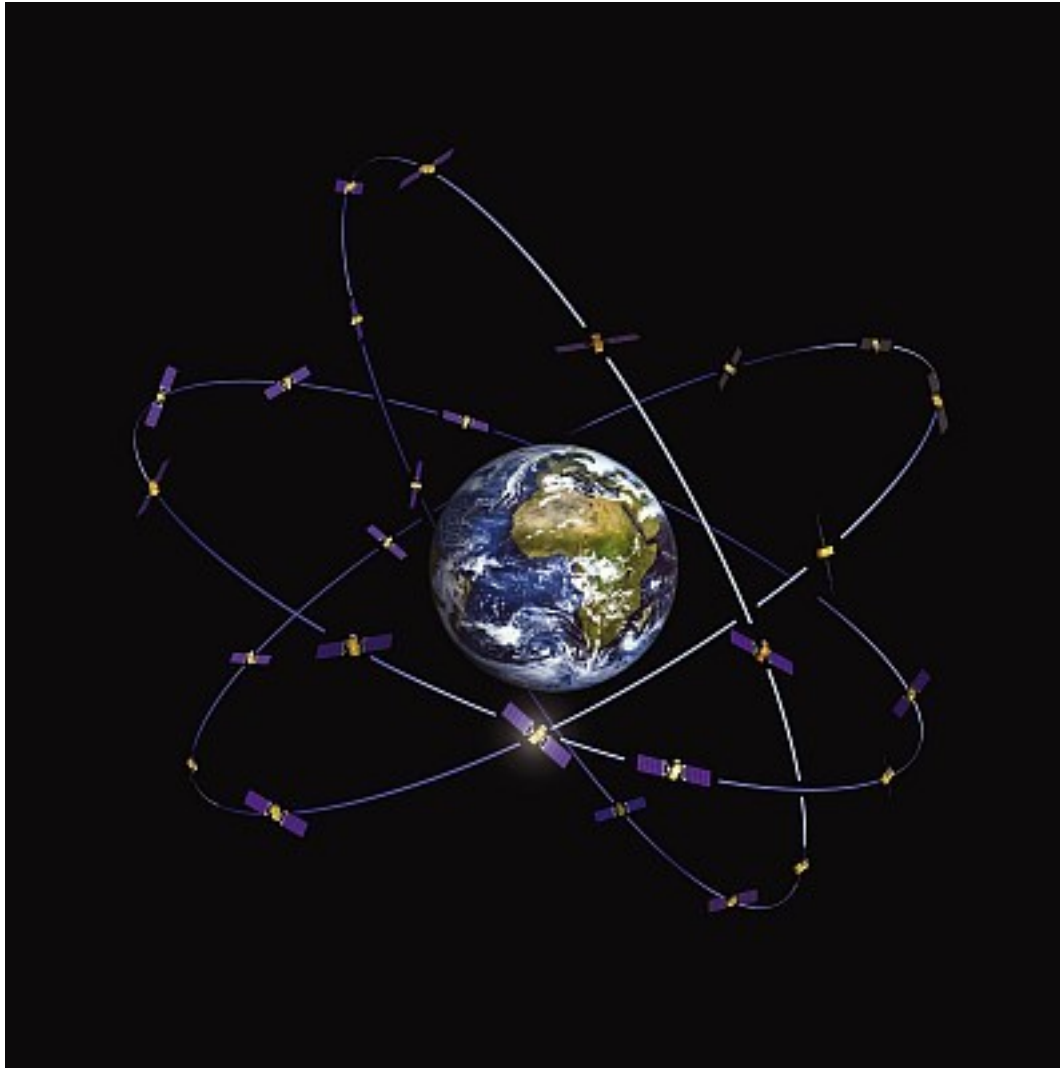
# Segmento Espacial

- O segmento espacial será baseado em 30 satélites de órbita média (MEO), tal como o GPS e o GLONASS, com 27 operacionais e mais 3 de reserva, mas ativo, distribuídos em três órbitas circulares.
- A altitude será da ordem de 23600 km, com inclinação de 56 graus em relação ao plano equatorial.
- O período orbital será da ordem de 14 horas e 4 minutos.
- Desta forma, o satélite ocupa a mesma posição no espaço somente depois de aproximadamente dez dias.
- Com essa constelação e disposição dos satélites, os sinais do Galileo proporcionarão uma boa cobertura, mesmo em latitudes acima de  $75^\circ$ .
- Até o momento (09/2008), apenas dois satélites foram lançados. GIOVE A, lançado em dezembro de 2005 e GIOVE B (04/08).



- Giove A carrega osciladores de Rubídio, sendo que os primeiros testes têm mostrado excelentes resultados (frequência estável).
- O GIOVE B carrega um oscilador maser de hidrogênio.
- Esses satélites fazem parte da fase de validação em órbita do Galileo e estão sendo utilizados para testar as tecnologias críticas e proteger as frequências atribuídas ao Galileo.
- Essa fase de validação prosseguirá com a construção e o lançamento dos outros satélites, bem como com a instalação completa da componente terrestre.
- O sistema deverá entrar em operação em 2011.
- (Ver site do Galileo no Brasil).

# Distribuição da constelação do Galileo



# Galileo

## Órbitas

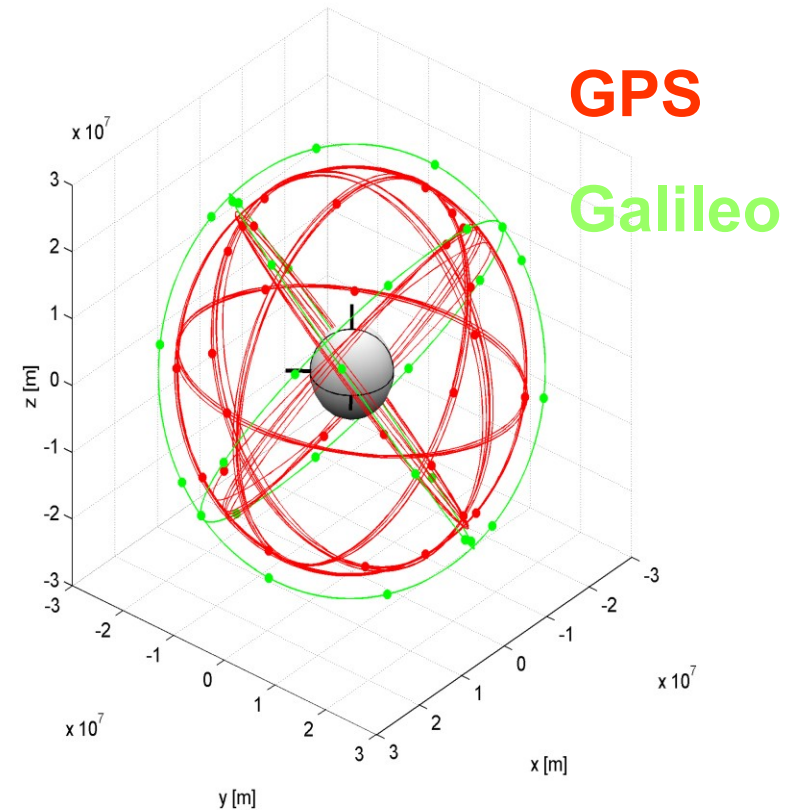
Número de Planos 3

Satélites p/plano 10

Semi-eixo maior 29900  
km

Inclinação  $56^\circ$

Período orbital: 14hs 04  
min



# Estrutura do Sinal

- A estrutura do sinal do Galileo, juntamente com a modernização do GPS, foi preliminarmente definida durante a WRC 2000 realizada em Istambul, Turquia, e confirmada durante a WRC 2003.
- Os sinais do Galileo serão transmitidos em três bandas de frequências (E5, E6 e L1) usando quatro portadoras (E5A com 1176,45 MHz; E5B com 1207,14 MHz; E6 com 1278,75 MHz e E1 com 1575,42 MHz) (ZIEDAN, 2006, p. 27).

## Frequências designadas na WRC 2000 para GPS, GLONASS e Galileo

Portadoras	Abrangência da Banda (MHz)	Múltiplo de 10,23	Frequência Central (MHz)
E5A e L5	1164 -1188	115	1176,45
E5B	1188 -1215	117,5	1207,14
L2	1210-1240	120	1227,60
G2	1247,75	Ver Eq. 10.1	por satélite
E6	1260 - 1300	125	1278,750
E2 – (L1) – E1	1559 - 1610	154	1575,42
G1	1604,25	Ver Eq. 10.2	por satélite

# GNSS Frequencies

GPS

GLONASS

GALILEO

E4

E1

E2

L5

E5

L2

G2

E6

L1

G1

C1

1164 MHz

Monico

1215 MHz

1260 MHz

1300 MHz

1559 MHz

1610 MHz

5010 MHz

5030 MHz





- Observe que as portadoras L5 e L1 do GPS compartilham as mesmas frequências da E5A e E1 do Galileo.
- Por outro lado, as portadoras E5B e E6, com frequências de 1207,14 e 1278,75 MHz respectivamente, diferem das L2 do GPS (1227,60 MHz).
- No que concerne as portadoras L1 e L5, poderá ocorrer interferência entre o GPS e Galileo, o que deverá ser reduzido mediante técnicas de modulação do sinal .
- Por outro lado, elas facilitam o desenvolvimento de projetos de receptores para rastrear os dois sistemas.
- Dois tipos de modulação deverão ser usados no Galileo: BPSK (*binary phase shift keying*), a qual é também usada no GPS, BOC (*binary offset carrier*) (ZIEDAN, 2006) e MBOC (*multiplexed BOC*) (STANSELL et al., 2006).
- Esse último deverá ser utilizado para dar suporte na interoperabilidade entre GPS e Galileo.

# Segmento de Controle

- No que concerne ao segmento de controle, a estrutura disponível para o EGNOS está sendo aproveitada ao máximo, com o acréscimo de algumas estações, em razão da abrangência global do mesmo.
- Ao todo, aproximadamente 30 estações distribuídas globalmente, (*Galileo Sensor Stations - GSS*) darão suporte a determinação de órbitas e sincronização de tempo. Elas proporcionarão os dados para os dois GCCs (*Galileo Control Centers*).
  - Um desses centros será responsável pela geração das mensagens de navegação e sistema de tempo, enquanto o outro fica responsável pelo controle da integridade.
  - Esse segmento será interconectado por uma rede de comunicação, com duas cadeias independentes, com operação quase autônoma.
  - Isso garantirá controle da integridade interna e operações de alta qualidade.

# Segmento de usuários

- Da mesma forma que nos demais sistemas, o segmento de usuários do Galileo envolverá os vários tipos de receptores que serão industrializados.
- Já há alguns receptores aptos para rastrear os sinais do GIOVE A e do GIOVE B.
  - Por exemplo, a Novatel já desenvolveu um receptor capaz de rastrear dados do GPS e do Galileo.
  - Outras companhias caminham na mesma direção.
  - O receptor GGG da Topcon está preparado para rastrear dados dos três sistemas apresentados (GPS, GLONASS e Galileo).

available signals today, and now extends that commitment to include all signals into the foreseeable future.



Topcon developed G3 to provide access to 30 Galileo satellites planned for launch by the European Space Agency, and new signals that will result from the modernization of the GPS constellation. Topcon products currently offer GPS+ technology, enabling access to both U.S. GPS and Russian GLONASS satellite systems. When these three satellite systems are fully operational, users of G3 products will have access to over 80 positioning satellites. Access to this wide range of satellites will mean expanded

applications, unprecedented performance, and unparalleled precision possible.

To process multiple signals from multiple satellite systems, Topcon engineered the new Paradigm-G3 chip. It is capable of receiving GPS L1, L2 and L5 carrier frequencies; C/A and L2C civilian codes; and P-code on both L1 and L2 frequencies. It also receives GLONASS signals including L1 and L2 carrier frequencies and L1 / L2 C/A and P-codes. The entire Galileo signal structure is supported, including L1, E1, E2, E5, and E6 signals. The advanced design features 72 tracking channels and operates with minimal power consumption.

### NET-G3 Network Reference Station

The new chip will be the basis for a new generation of Topcon GPS+ products and will first appear in the new Net-G3 reference receiver, providing network hardware ready to support all satellite signals for the highest possible service to all networks users into the future.



AsteRx1 da Septentrio

# Galileo

## Service Definition



Open Service (OS)



Safety-of-Life Service (SoL)

Commercial Service (CS)



Public Regulated Service (PRS)



Search and Rescue Service (S&R)



# Desempenho do Galileo

- Ele deverá proporcionar pelo menos o mesmo nível a ser alcançado com a modernização do GPS (Bloco IIF).
- Alguns parâmetros previstos para o desempenho de usuários autônomos, isto é, realizando posicionamento por ponto em tempo real utilizando apenas observáveis resultantes do código (pseudodistâncias), são apresentados na tabela abaixo. Esses parâmetros referem-se principalmente a aplicações terrestres, mas algumas exceções poderão ocorrer em regiões oceânicas.
- Tem como fazer PPS usando Galileo usando o PPS on line no GEGE.
  - Fazer um trabalho de PPS Galileo e GPS no serviço on line.

# Qualidade do posicionamento prevista para o Galileo

Parâmetro	Desempenho previsto
Acurácia <ul style="list-style-type: none"><li>– Horizontal</li><li>– Vertical</li><li>– Tempo</li></ul>	30 ns
Integridade <ul style="list-style-type: none"><li>– Risco</li><li>– Tempo para disparar alarme</li></ul>	$2 \cdot 10^{-7}$ por 150 s 6 s
Disponibilidade	90% a 99,97%



# Sistema de tempo do Galileo

- O sistema de referencia de tempo do Galileo, que deverá gerar o GST (Galileo System Time) será gerado pela PTF (*Precision Time Facility*), a qual será composta por um conjunto de relógios atômicos (H-maser, césio, etc.).
- O GST tem duas funções principais: a) manutenção do tempo para navegação, cuja função é crítica, sendo necessária para a determinação das órbitas dos satélites e para a sincronização do tempo; b) manutenção do tempo para fins de Metrologia, que embora não seja uma função crítica, ela é necessária para que o GST esteja vinculado ao TAI e proporcione a disseminação do TUC para os usuários.
  - Para tanto, a PTF estará conectada com alguns NMI (*European National Metrological Institutes*).



# Sistema de tempo do Galileo

- O GST também deverá determinar de forma confiável, a discrepância entre o tempo GPS e Galileo, que deverá ser transmitido para os usuários por ambos os sistemas. Isso facilitará a integração de dados dos dois sistemas.
- A contagem do GST será similar à contagem do tempo GPS. Ter-se-á a semana GST ( $GST_W$ ) e os segundos da semana.
- Nas mensagens de navegação, uma palavra de 12 bits será reservada para representar a  $GST_W$ .
  - Logo, cada ciclo do GST será composto por 4096 semanas, diferentemente das 1024 do GPS.
  - O início da contagem do GST se dá com o início do segundo ciclo do tempo GPS, ou seja, a meia noite de sábado para domingo, na passagem do dia 21 para 22 de agosto de 1999.

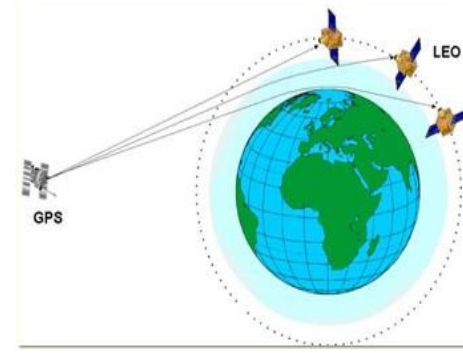
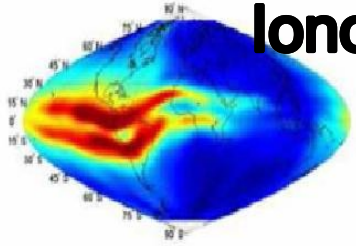
# Beidou II / Compass

- Sistema militar
- Em Novembro de 2006 a China anunciou que o Beidou iria oferecer um serviço civil com acurácia de 10 m.
- Capacidade de posicionamento global
- Satélites MEO (21,550km)
- Primeiro satélite Compass M-1 foi lançado em 14 Abril 2007
- Plano atual – 35 satélites
  - 30 MEO
  - 5 Geo
- Transmitindo L1 e L5

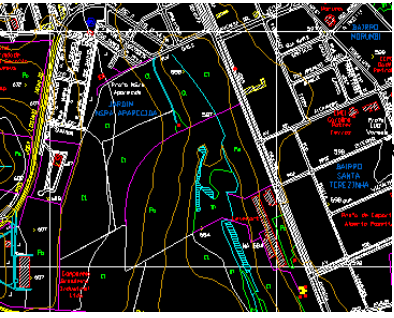


<b>Parâmetros</b>	<b>GLONASS</b>	<b>GPS</b>	<b>Galileo</b>	<b>BDS/Compass</b>
<b>Núm. de satélites final/atual</b>	<b>24/24</b>	<b>24/32</b>	<b>30/10</b>	<b>35/15</b>
<b>Planos orbitais</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3/3/1</b>
<b>Inclinação</b>	<b>64.8°</b>	<b>55°</b>	<b>56°</b>	<b>55,5°</b>
<b>Altitude (MEO)</b>	<b>19100 km</b>	<b>20233 km</b>	<b>23600 km</b>	<b>21500 km</b>
<b>Frequências (MHz)</b>	<b>L1: 1597-1617 L2: 1240-1260 L3: 1201-1221</b>	<b>L1:1575,42 L2: 1227,60 L5: 1176,45</b>	<b>E1: 1575,42 E5B: 1207 E5A: 1176</b>	<b>B11: 1561,098 B21: 1207,14</b>
<b>Rastreamento</b>	<b>Repete-se a cada 8 dias</b>	<b>Repete-se a cada 12 horas siderais</b>	<b>Repete-se a cada 10 dias</b>	<b>???</b>
<b>C/A Code</b>	<b>511 kbits/sec</b>	<b>1023 kbits/sec</b>	<b>1023 kbits/sec</b>	<b>1023 kbits/sec</b>
<b>P Code MHz</b>	<b>5.11</b>	<b>10.23</b>	<b>10,23</b>	<b>10,23</b>
<b>Efemérides</b>	<b>P,V,T</b>	<b>Keplerian</b>	<b>Keplerian</b>	<b>Keplerian</b>
<b>Identificação dos satélites</b>	<b>FDMA/CDMA</b>	<b>CDMA</b>	<b>CDMA</b>	<b>CDMA</b>
<b>Almanaque</b>	<b>Kepleriano</b>	<b>Kepleriano</b>	<b>Kepleriano</b>	<b>Kepleriano</b>

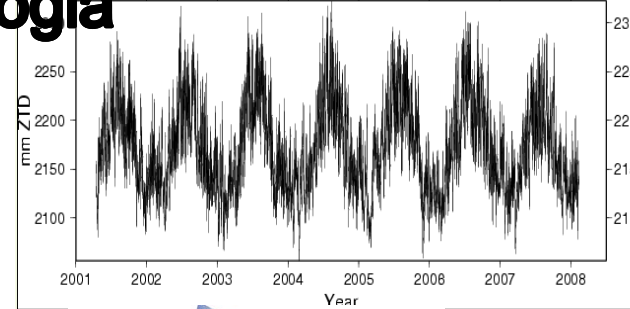
# Ionosfera/Aeronomia



## Cartografia e Cadastro



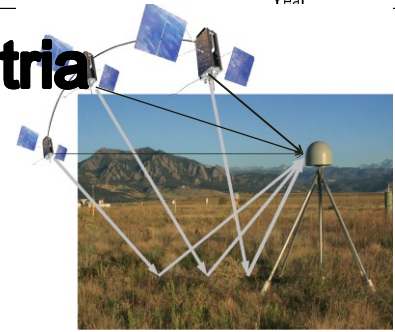
## Troposfera Meteorologia



## Agric. Precisão



## Reflectometria



## Navegação



## Deteccção de deformações



## Movimento de Placas Litosférica

