



SAA0167

Princípios de Aviônica e Navegação

Navegação por Satélite parte 2

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto
jhbidi@sc.usp.br

- **Introdução**
- **Outros Sistemas de Navegação via Satélite**
- **Sistemas de Acréscimo**
- **Sistemas de Aumento Local de Precisão**

- **Introdução**
- Outros Sistemas de Navegação via Satélite
- Sistemas de Acréscimo
- Sistemas de Aumento Local de Precisão

- Serão estudados os outros sistemas de navegação via satélite:
 - GLONASS
 - Galileo
 - BeiDou
 - NAVIC
 - QZSS
- Além disso existem os sistemas de acréscimo de funcionalidades à navegação via satélite. Esses sistemas são:
 - WAAS
 - EGNOS
 - GAGAN
 - MSAS
 - SDCM

- Finalmente, dois sistemas podem gerar melhoras locais de desempenho nos sistemas de Navegação Via satélite
 - DGPS
 - LAAS

- Introdução
- **Outros Sistemas de Navegação via Satélite**
- Sistemas de Acréscimo
- Sistemas de Aumento Local de Precisão

- Além do GPS, existem outros 5 sistemas de navegação via satélite
- Tais sistemas podem ter cobertura global ou regional
- Os sistemas serão estudados separadamente:
 - GLONASS (Rússia)
 - Galileo (União Europeia)
 - BeiDou (China)
 - NAVIC (Índia)
 - QZSS (Japão)



FONTE: dw.com

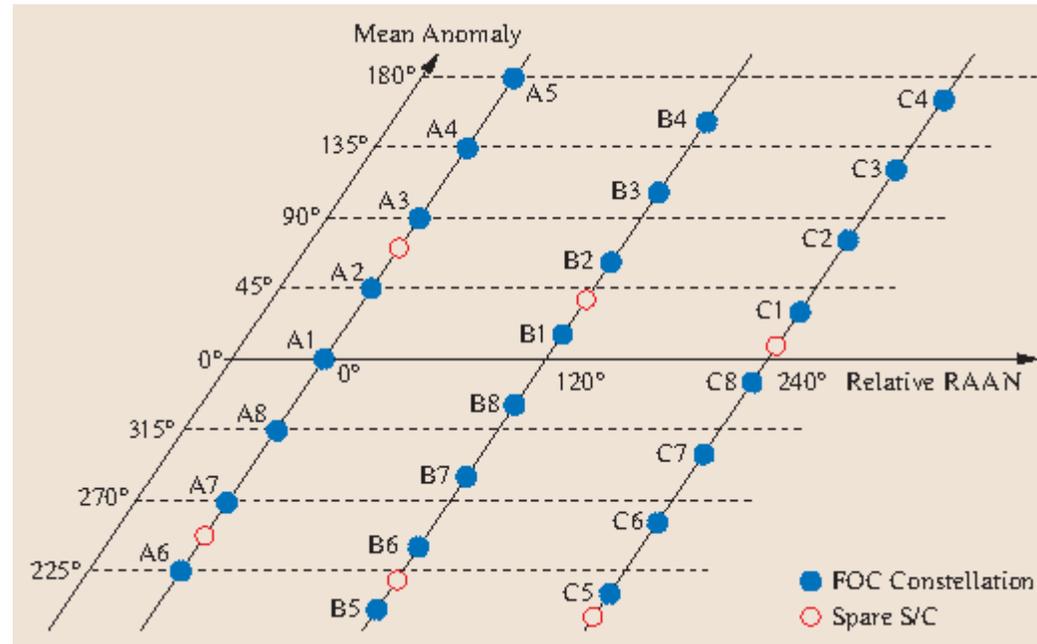
- **GLONASS**
- GLObal NAvigation Satellite System, ou Глобальная навигационная спутниковая система
- O sistema tem funcionamento semelhante ao GPS
- Consiste em uma constelação de 24 satélites operacionais (atualmente são 26 em órbita)
- Os satélites começaram a ser lançados em 1982 e o sistema entrou em operação em 1995

FONTE: Wikipedia



- **GLONASS**
- Atualmente está em operação a terceira geração de satélites, sendo que a primeira já foi totalmente desativada
- Existem mais três gerações em fase de desenvolvimento, que iniciaria seu lançamento em 2019 (adiado para 2022)
- O lançamento mais recente foi em 2018 e o primeiro satélite da quarta geração está em fase final de testes
- As órbitas dos satélites são de 19.100 km de altitude, com duração de 11h 15min

- **GLONASS**
- Os satélites são distribuídos em 3 órbitas, inclinadas a $64,8^\circ$ com relação ao equador. Cada órbita possui 6 satélites



FONTE: Falcone, M.; Hahn, J.; Burger T. (2017)
doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1_9

- **GLONASS**
- Cada satélite emite dois sinais simultâneos:
 - Sinal SP (Standard Precision): banda L1 -> $1602 + n (0,5625)$ MHz
 - Sinal HP (High Precision): banda L2 -> $1246 + n (0,4375)$ MHz
 - Onde n é o número do satélite
- O sinal HP é reservado para fins militares
- O princípio de funcionamento do GLONASS é idêntico ao do GPS, mas os relógios atômicos desde sistema não estão alinhados com o horário UTC, e sim com UTC+3h (horário oficial de Moscou)

- **GLONASS**
- A precisão garantida pelo GLONASS é de 4 a 7 metros, bem parecida com a do GPS (2 a 8 metros)
- As estações em solo do sistema GLONASS são localizadas em:
 - Moscou (Rússia)
 - Kiev (Ucrânia)
 - Ternopil (Rússia)
 - Einiseisk (Rússia)
 - Komsomolsk-an-Amure (Rússia)
 - Brasília (Brasil)

- **GLONASS**
- O segmento de usuário do sistema GLONASS é semelhante ao do GPS. Alguns aparelhos inclusive têm capacidade para operar os dois sinais



FONTE: Wikipedia

- **GLONASS**
- Konni: o primeiro cão mapeado via GLONASS



FONTE: Wikipedia

- **Galileo**
- Sistema GNSS desenvolvido pela União Europeia
- Atualmente em fase final de desenvolvimento
- Único GNSS civil
- Sistema previsto para operar com 30 satélites (24 operacionais e 6 reservas)

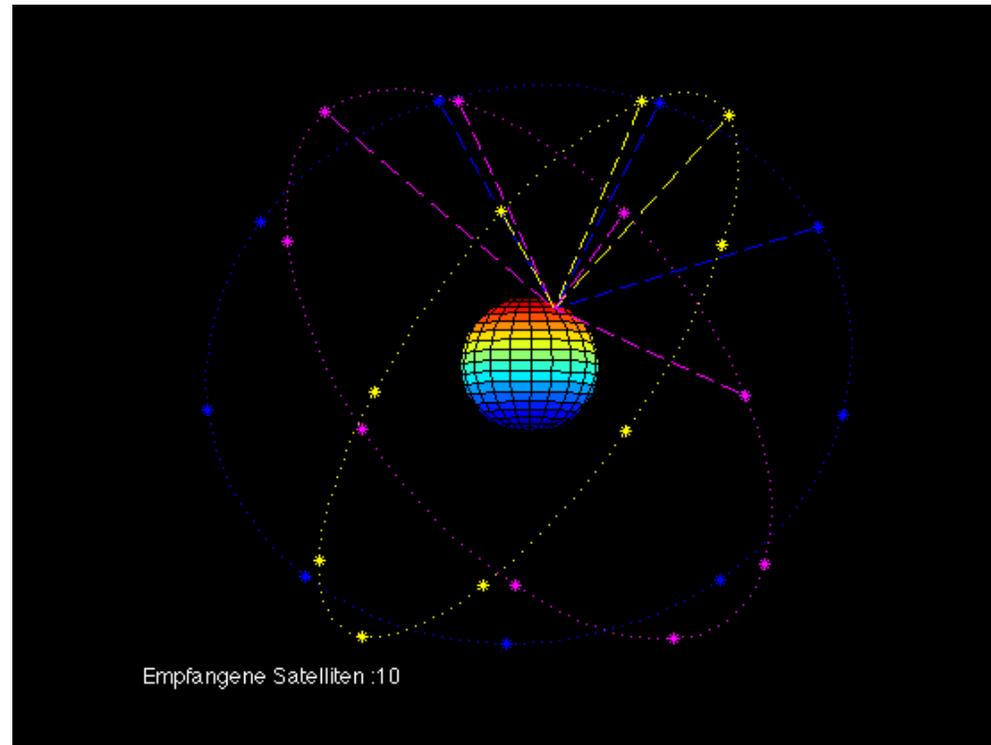


FONTE: Wikipedia

- **Galileo**
- A ideia surgiu em 1999 e contaria com fundos de toda a UE, mas por grandes restrições financeiras o programa foi quase desativado
- Após muita dificuldade, os primeiros satélites começaram a ser enviados em 2011 e entrou em funcionamento inicial em 2016 (primeira versão, com 18 satélites)
- O sistema deve estar em pleno funcionamento em 2022. Uma nova versão deve começar a ser enviada em 2025

- **Galileo**
- Os satélites estão distribuídos em 3 órbitas inclinadas a 56° da linha do equador, a 23.222 km de altitude com duração de 14h 05 min de órbita
- Atualmente 22 satélites estão operacionais, 2 usados apenas para testes, 2 indisponíveis, 2 desativados
- Os próximos lançamentos devem ocorrer em 2021
- Princípio de funcionamento semelhante ao do GPS, mas com algumas funcionalidades adicionais

- Galileo
- Pela geometria da órbita, a cobertura de satélites deve ser mais efetiva



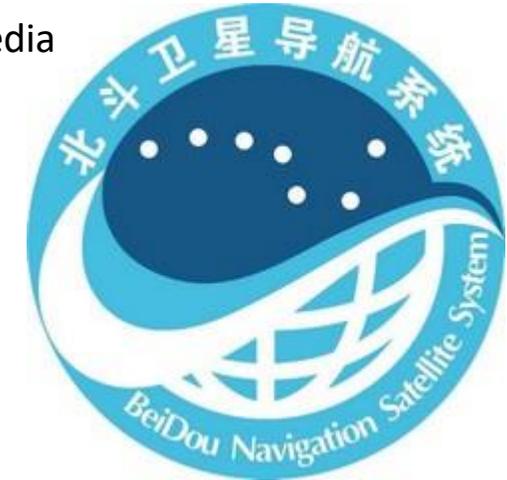
FONTE: Wikipedia

- **Galileo**
- É previsto que cada satélite forneça até 10 sinais em 3 faixas de frequência:
 - 1.164–1.215 GHz
 - 1.260–1.300 GHz
 - 1.559–1.592 GHz
- Esses sinais fornecerão as seguintes informações:
 - Sistema de navegação gratuito (semelhante ao GPS, mas com precisão de 1 m)
 - Sistema de navegação codificado (serviço pago, com precisão de 1 cm)
 - Navegação segura (para serviços que devem ser isentos de erros)
 - Navegação governamental (codificado, reservado para órgãos governamentais)
 - Busca e salvamento
 - Troca de informações
 - Etc.

- **Galileo**
- A operação em solo terá a seguinte infraestrutura:
 - Duas centrais de controle em Oberpfaffenhofen (Alemanha) e Fuccino (Itália)
 - 6 estações de controle em Kiruna (Suécia), Kourou (Guiana Francesa), Nouméa (na Caledônia, território francês na Oceania), Saint-Marie (Reunion, território francês próximo a Madagascar), Redu (Luxemburgo) e Papeete (Polinésia Francesa)

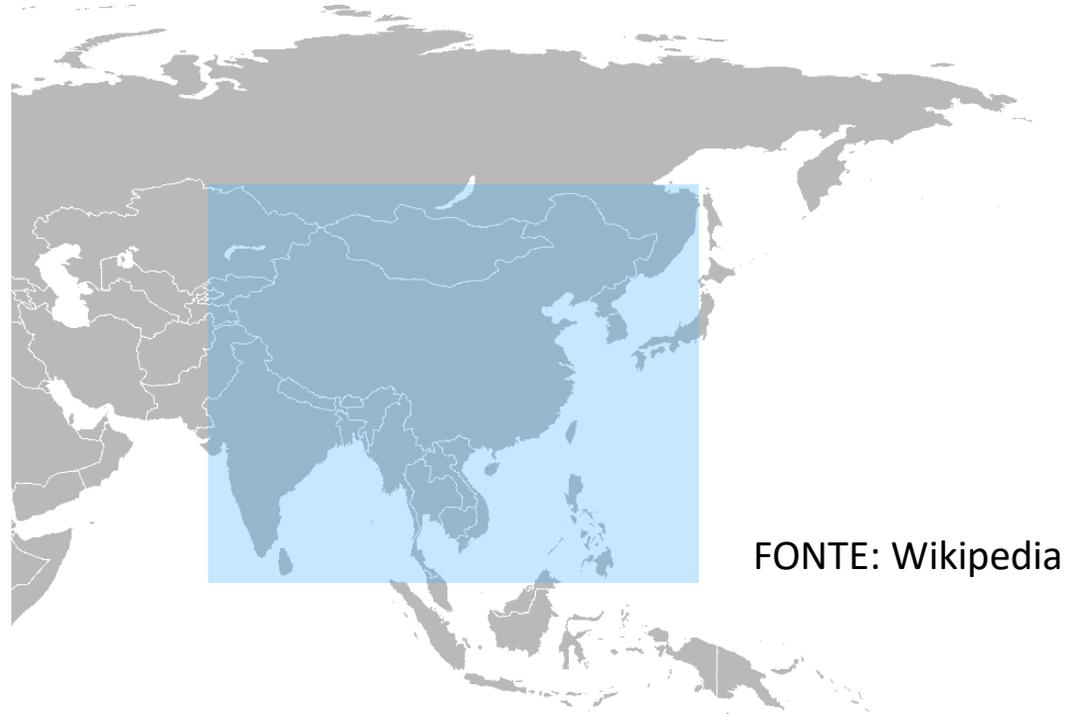


FONTE: Wikipedia



- **BeiDou**
- Sistema chinês de navegação via satélite
- Inicialmente nasceu com o sistema BeiDou 1
- Este sistema, em operação desde 2000, consistia em 3 satélites geoestacionários, com função semelhante ao GPS
- Como os satélites são geoestacionários (parados com relação ao solo), bastam 3 equações para se determinar a posição do usuário, portanto 3 satélites eram suficientes

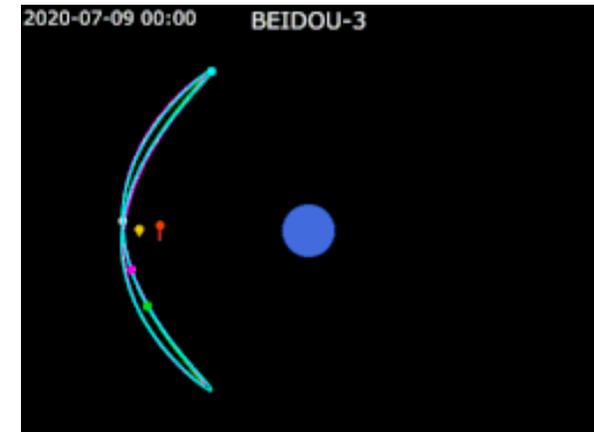
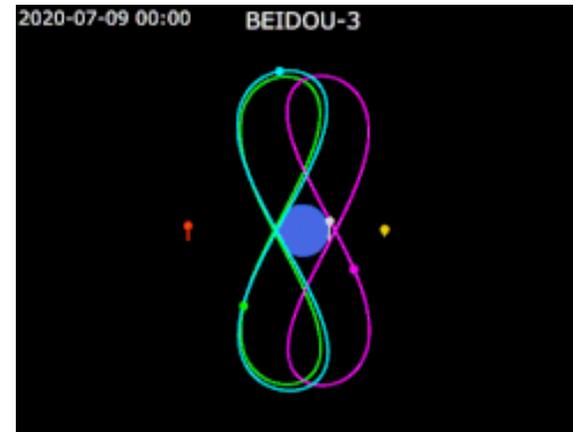
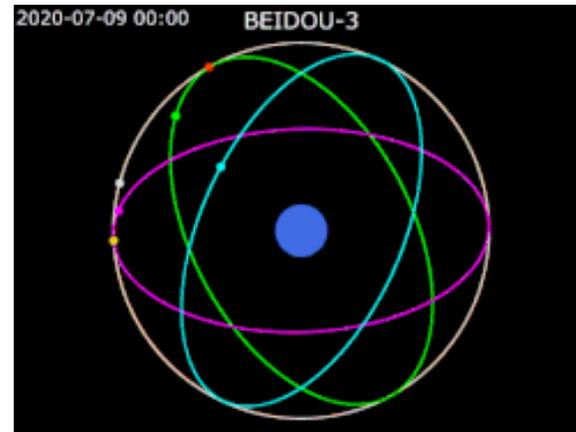
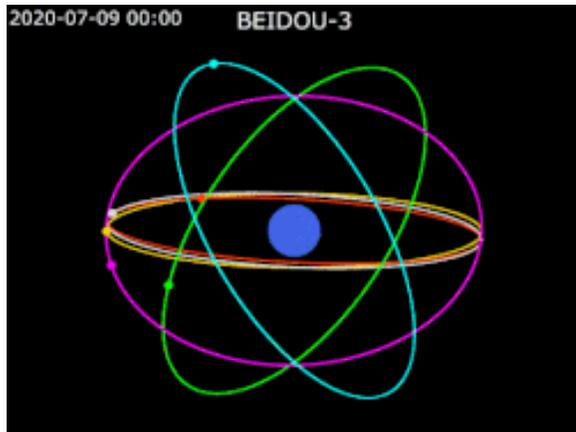
- **BeiDou**
- Este sistema cobria apenas o território da China e arredores



- O sistema BeiDou 1 foi descontinuado em 2012

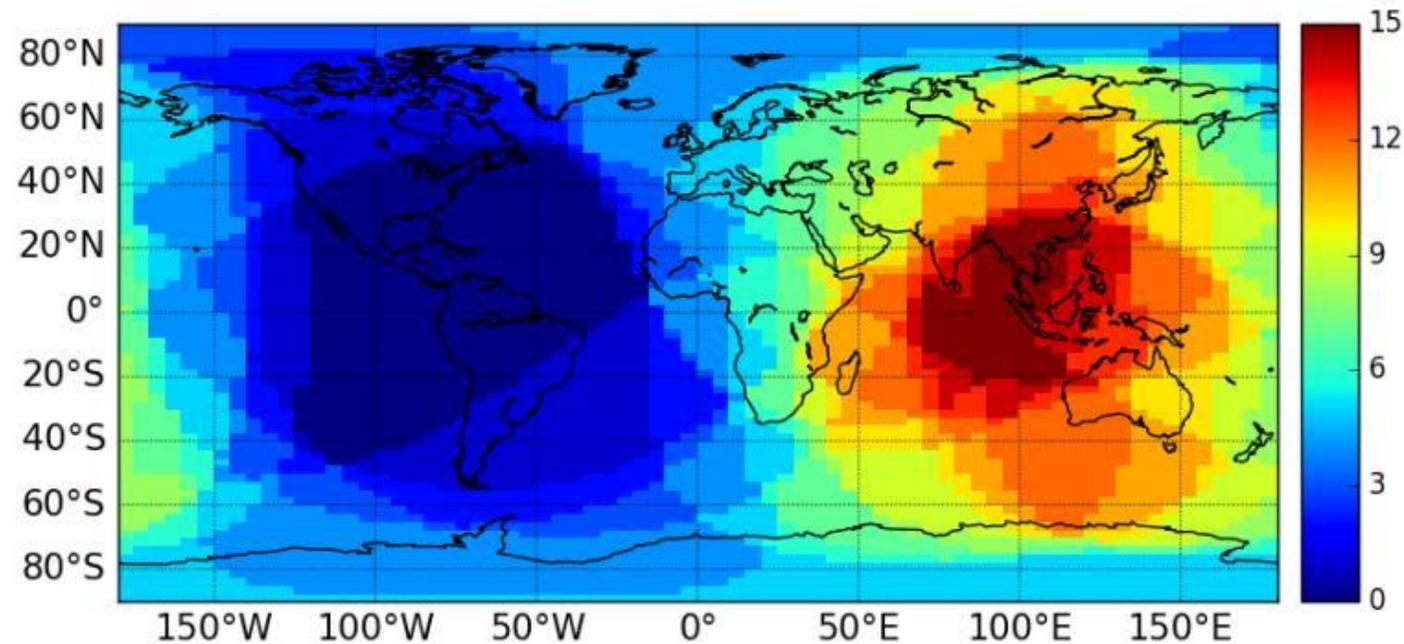
- **BeiDou**
- Substituindo o sistema BeiDou 1, surgiu o sistema BeiDou 2, que posteriormente foi chamado de COMPASS
- Este sistema é previsto operar com 3 satélites geoestacionários e outros 30 em órbitas de baixa e média altitude
- Destes, 3 deverão ter órbitas geosíncronas com 55° de inclinação com relação ao equador e 27 serão satélites de órbita de média altitude
- Em junho/2020 os últimos satélites da constelação entraram em operação

- BeiDou
- Órbita dos satélites



FONTE: Wikipedia

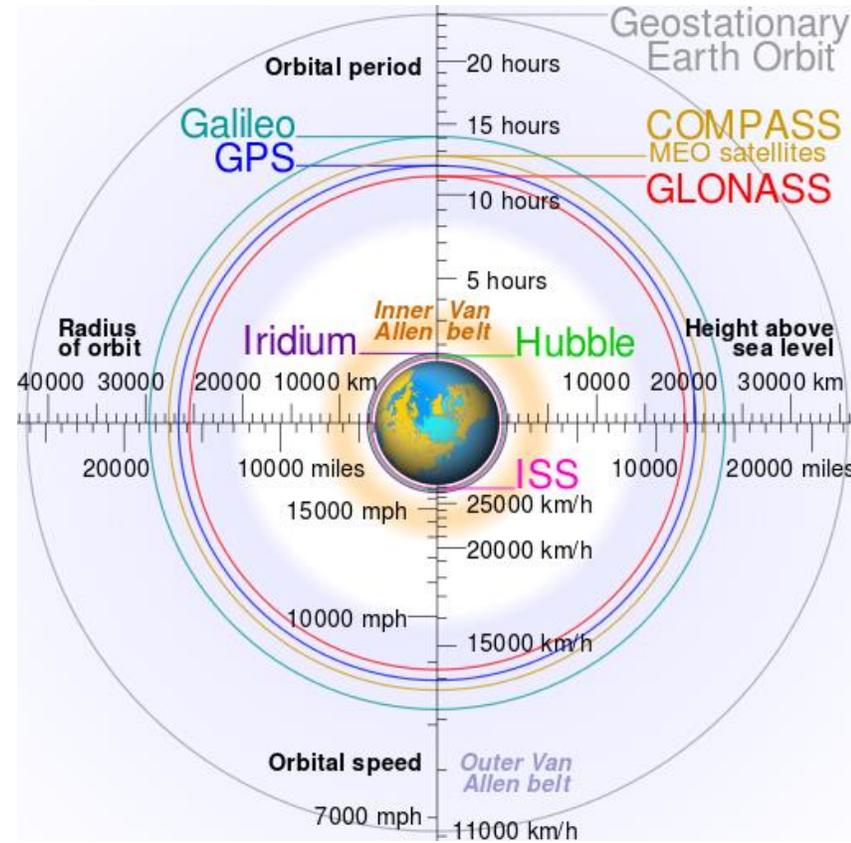
- BeiDou
- Como resultado, a cobertura atual do sistema BeiDou é a seguinte



FONTE: spaceflight101.com

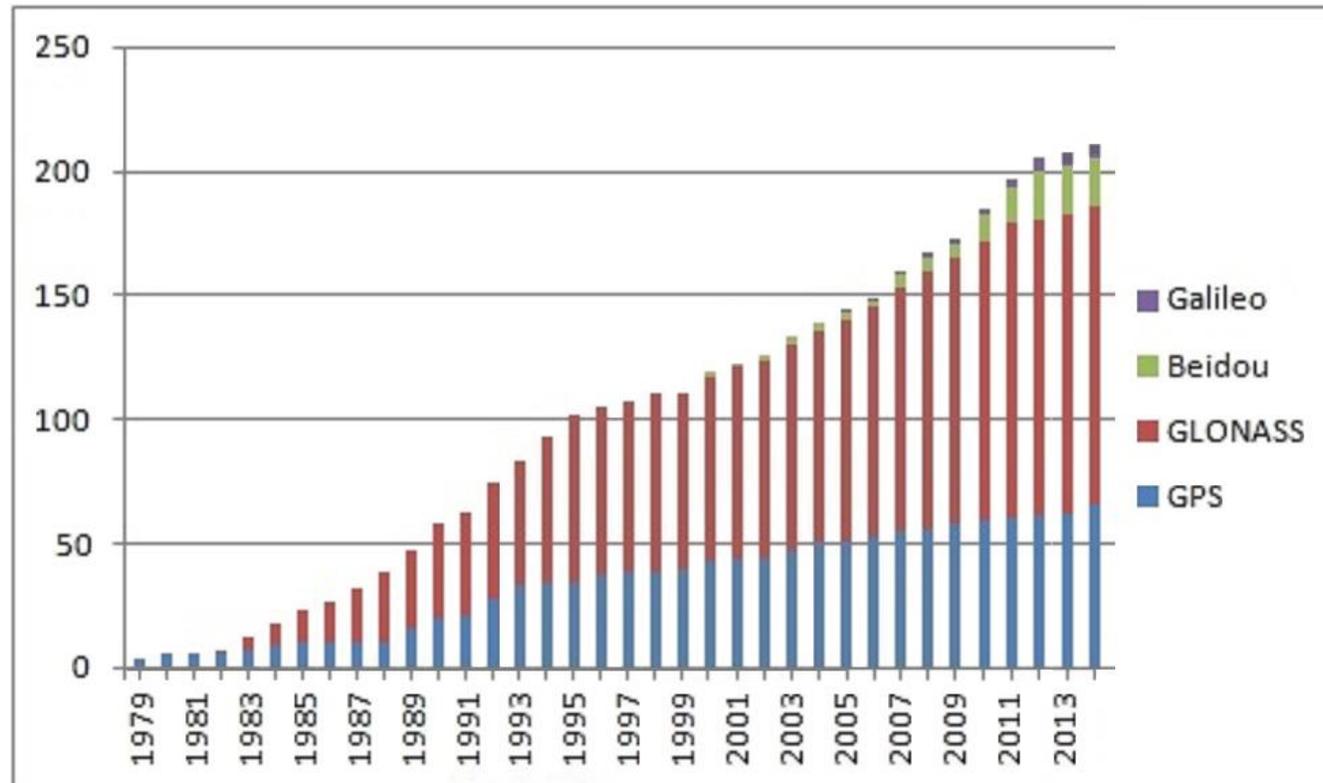
- **BeiDou**
- O sistema é previsto operar em duas frequências: uma civil, de sinal aberto, e outra militar, com sinal codificado
- O sistema conta atualmente com 33 satélites em funcionamento (de 35 previstos), e mais 8 entrando em operação (já em órbita)
- A precisão prevista é de 10 metros na versão civil e 10 cm na versão militar
- O sistema deve estar totalmente operacional ainda em 2020

- Algumas comparações entre os sistemas de atuação global
- Órbitas



FONTE: Wikipedia

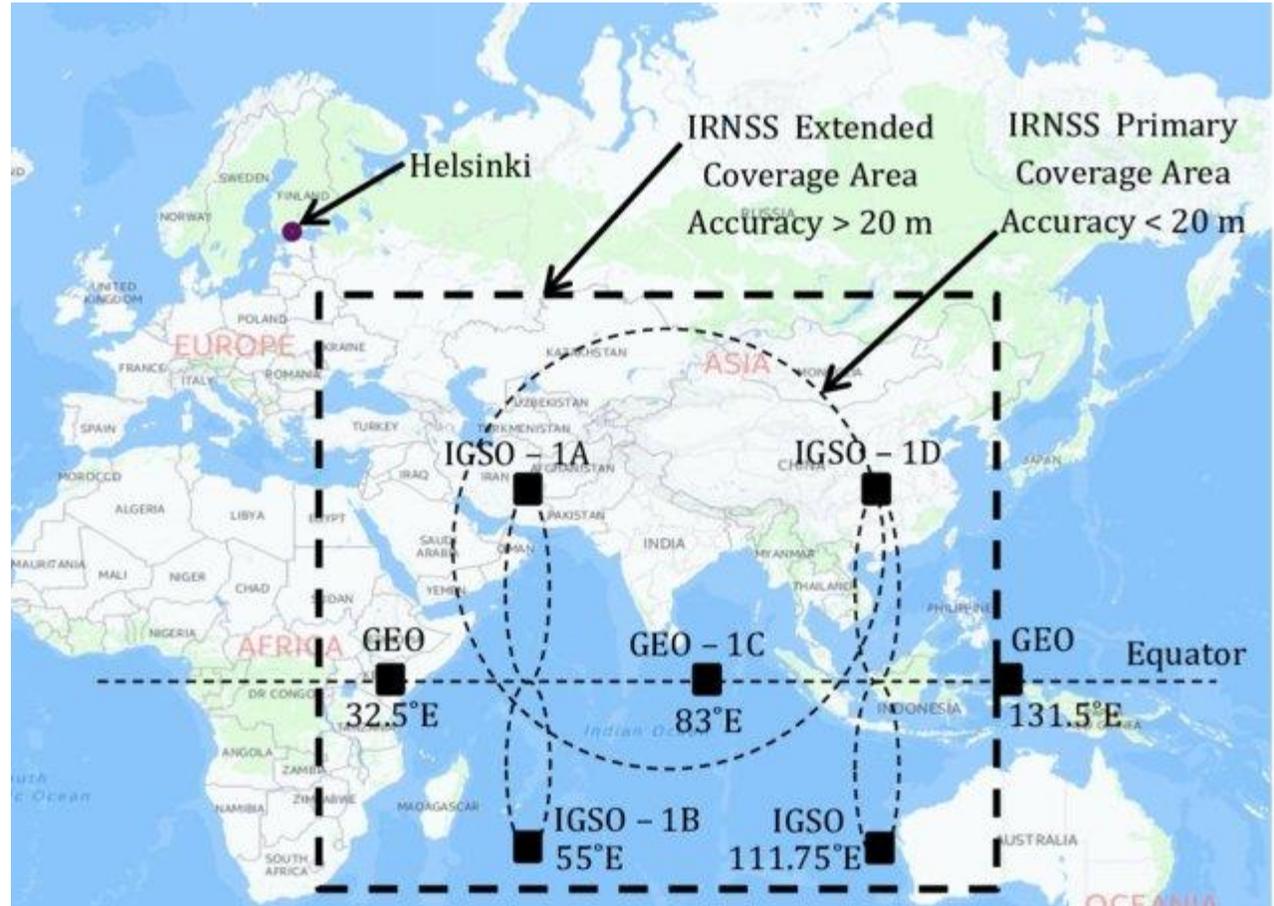
- Algumas comparações entre os sistemas de atuação global
- Quantidade de satélites enviados ao longo dos anos



FONTE: Wikipedia

- **NAVIC**
- NAVigation with Indian Constellation
- Sistema indiano, inicialmente chamado de IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System)
- Sistema de cobertura regional, que consiste em 7 satélites, sendo 3 geoestacionários e 4 em órbitas elípticas
- O primeiro satélite foi lançado em julho de 2013 e o último em 12 de abril de 2018

- NAVIC
- Órbitas dos satélites NAVIC e sua cobertura



FONTE: Thombre, S., et al. (2015)
doi: 10.1080/03772063.2015.1093968

- **NAVIC**
- Este sistema também trabalha com uma frequência civil, de sinal aberto (precisão de 10 m) e uma frequência militar, com sinal codificado, e precisão de 0,1 m)
- Atualmente está em operação e existem planos para se estender seu alcance, com o lançamento de mais 4 satélites

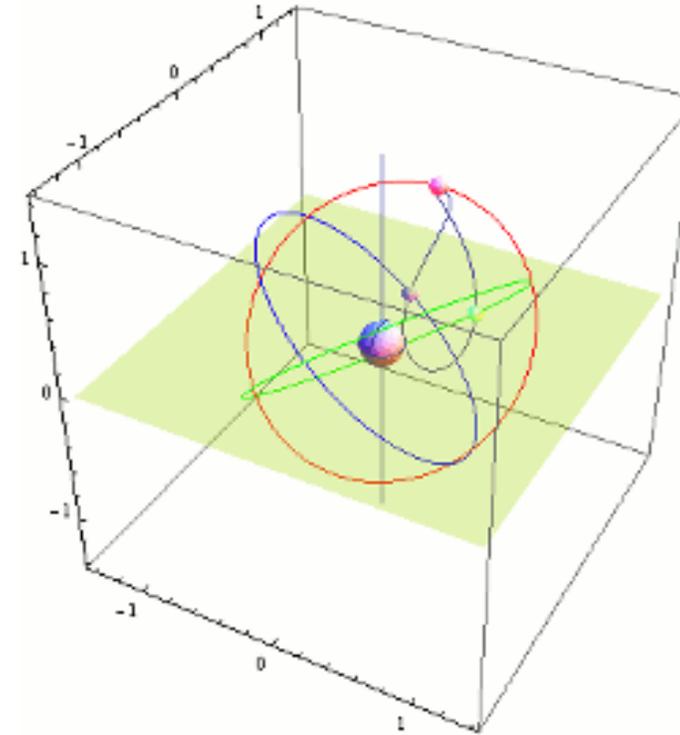
- QZSS ou Michibiki
- Quasi-Zenith Satellite System
- Sistema regional japonês, inicialmente previsto para 3 satélites em órbita elíptica sobre a região do Japão
- Este sistema trabalha em conjunto com o GPS, aumentando o número de satélites que estejam ao alcance do usuário
- O sistema surgiu por necessidade, já que o relevo acidentado do Japão fazia com que várias regiões do país não fosse bem servido pelos satélites do sistema GPS



FONTE: Wikipedia

- **QZSS ou Michibiki**
- O primeiro satélite foi lançado em 2010
- Em 2013, o governo anunciou que o sistema iria aumentar de 3 para 4 satélites. Todos já estão em órbita
- Existem planos de ampliação do sistema, para 7 satélites no futuro
- O sistema entrou oficialmente em operação em novembro/2018
- O sistema é para uso civil e terá precisão entre 1 mm e 1 m

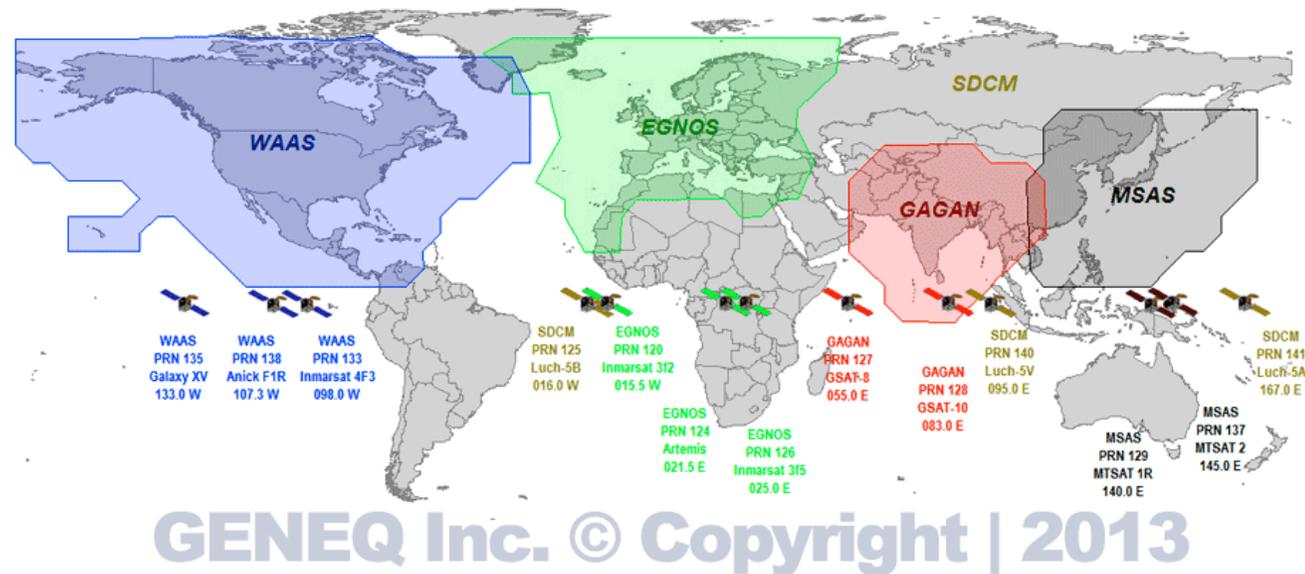
- QZSS ou Michibiki
- Órbita



FONTE: Wikipedia

- Introdução
- Outros Sistemas de Navegação via Satélite
- **Sistemas de Acréscimo**
- Sistemas de Aumento Local de Precisão

- São sistemas que atuam junto com os GNSSs para aumentar a acurácia, integridade e disponibilidade
- Existem atualmente 4 sistemas de acréscimo em operação ou implantação e um em fase de pesquisa

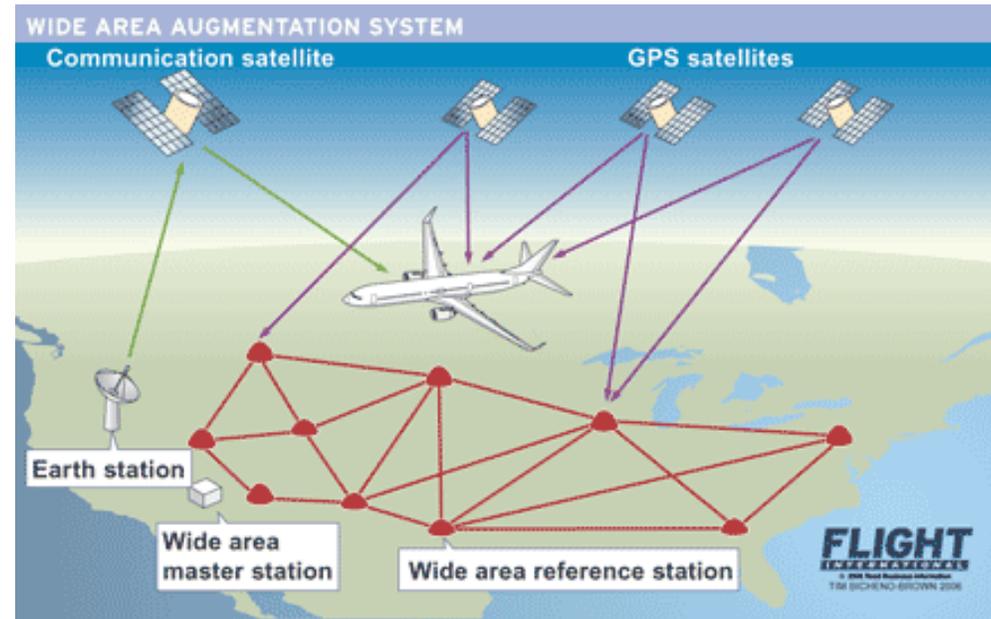


FONTE: GENEQ Inc.

- **WAAS**
- Wide Area Augmentatios System (EUA)
- O sistema tem uma rede de estações em solo e satélites geoestacionários, além de receivers de GPS que suportem também os sinais de WAAS
- As estações em solo possuem coordenadas muito bem definidas
- Elas captam o sinal dos satélites de GPS e calculam o erro que a indicação destes satélites está sujeito (para cada satélite)

- **WAAS**
- Os erros medidos de cada estação para cada satélite são passados para uma estação central
- Esta estação central transmite este erro para os satélites geoestacionários, e estes para os receivers
- Os receivers recebem o valor do erro de cada satélite em cada região e calculam a posição, já corrigindo esse erro
- Esse processo se repete continuamente, a cada 5 segundos ou menos

- **WAAS**

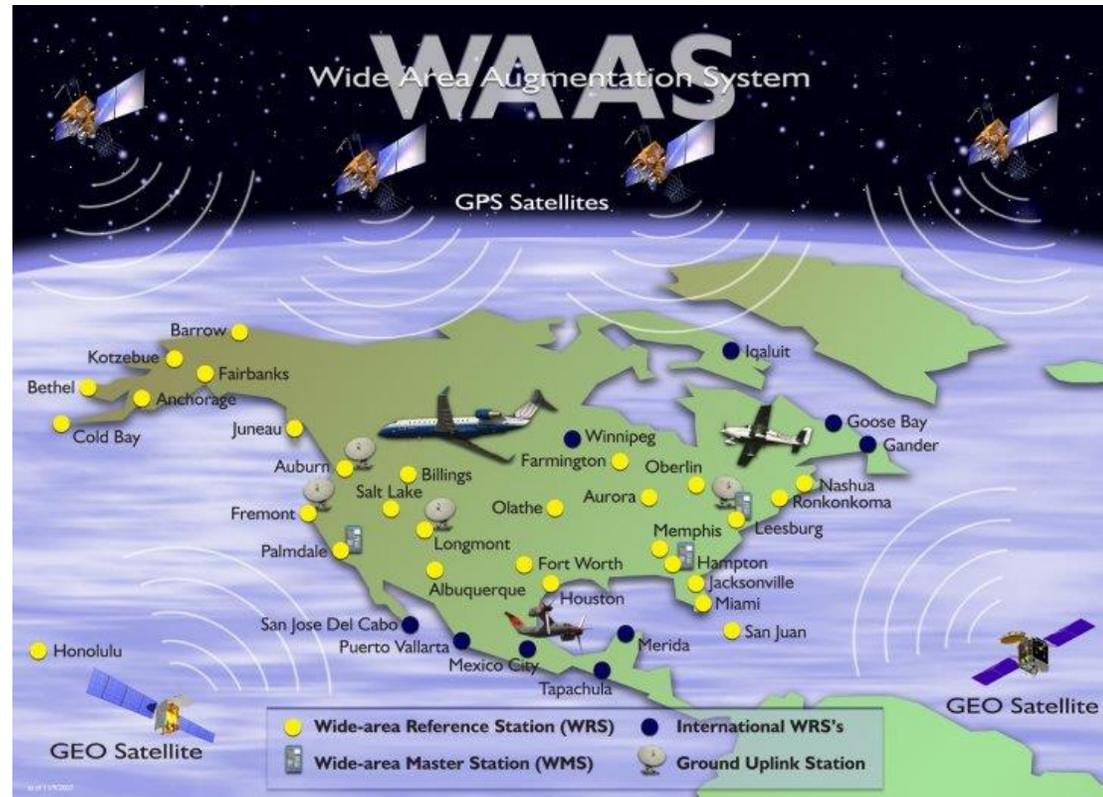


FONTE: flightglobal.com

- Com esse sistema, os problemas de acurácia, integridade e disponibilidade são praticamente resolvidos

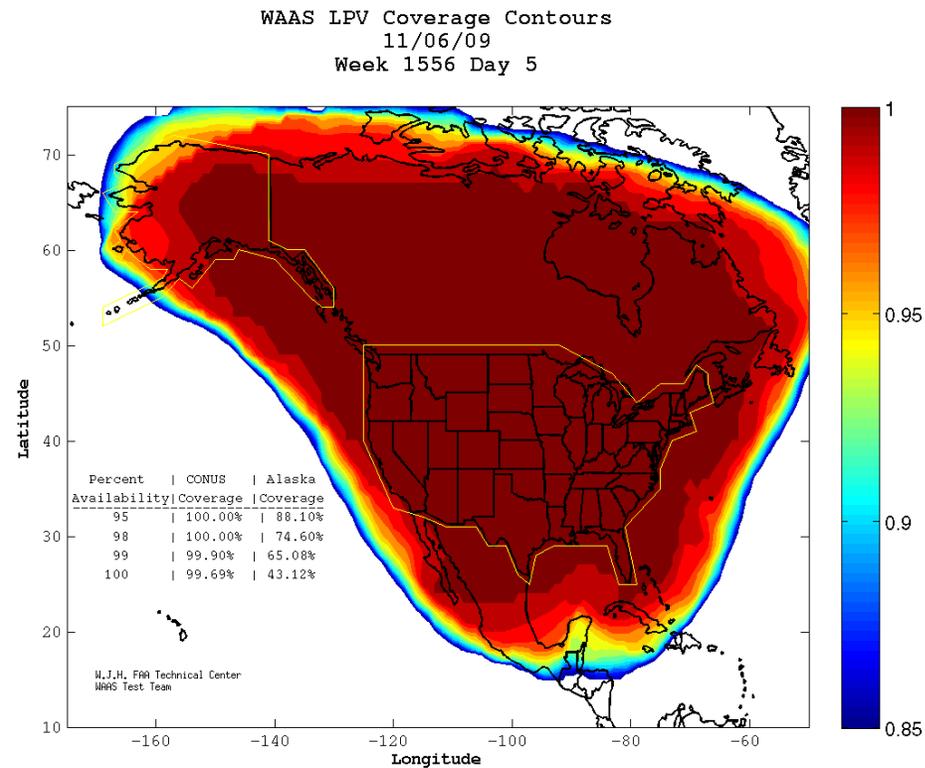
- **WAAS**
- **Acurácia:** com esse sistema, o erro típico é de 1 m lateralmente e 1,5 m verticalmente. Essa precisão é suficiente para aproximações CAT I
- **Integridade:** Com esta detecção de erros, o sistema é capaz de enviar ao usuário uma mensagem de falha em no máximo 6,2 segundos, o que também é suficiente para certificação
- **Disponibilidade:** Segundo os requisitos, o sistema deve estar disponível 99% do tempo (indisponível 4 dias em um ano). O sistema WAAS tem mostrado uma média de indisponibilidade de 5 minutos por ano

- WAAS
- Rede de estações em solo



FONTE: Wikipedia

- WAAS
- Cobertura do sistema

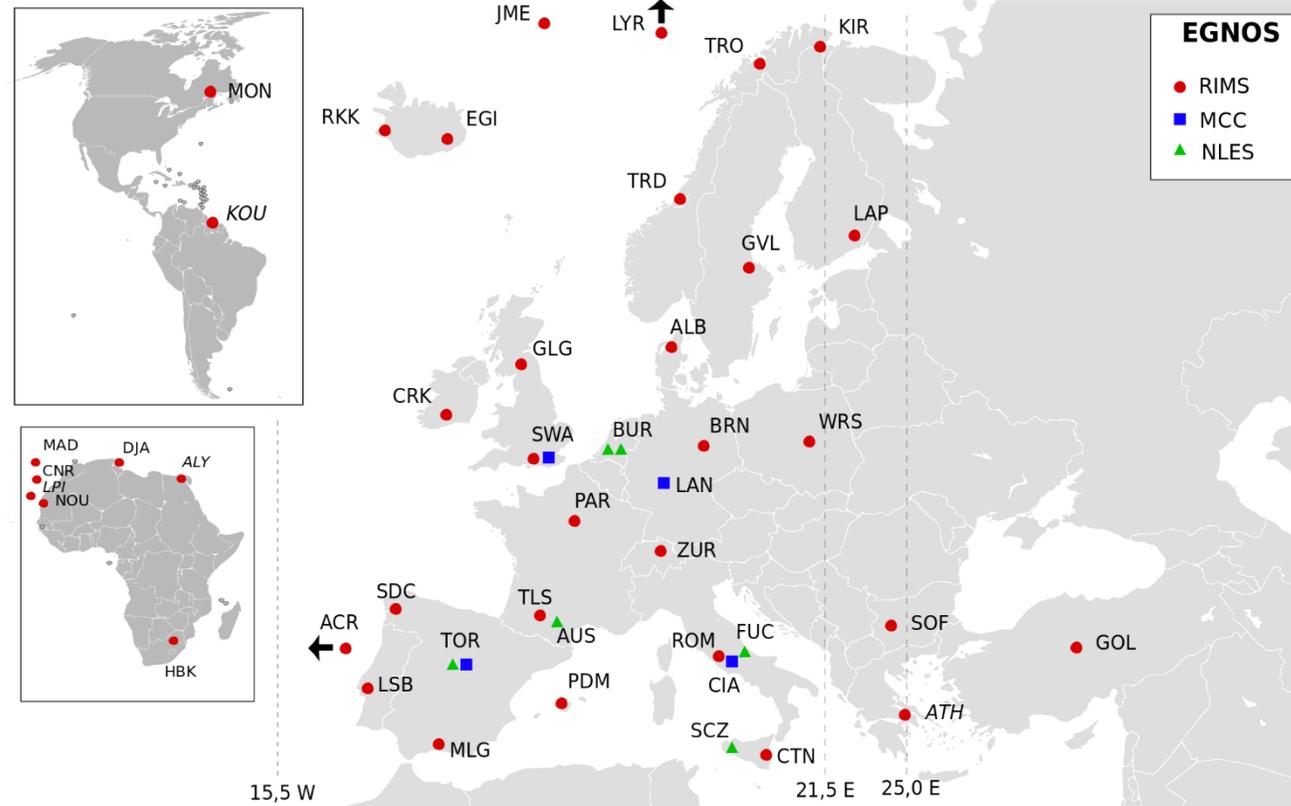


FONTE: Wikipedia

- **WAAS**
- O sistema WAAS já está operacional, mas espera-se um tempo para que haja confiabilidade até que ele seja aprovado como ferramenta primária de navegação
- Quando isso ocorrer, espera-se que as aeronaves possam navegar e até fazer aproximações em rampas baseadas no sinal de GPS com o auxílio do WAAS

- **EGNOS**
- European Geostationary Navigation Overlay Service
- Sistema semelhante ao WAAS, mas com cobertura na Europa
- Como a constelação Galileo ainda não está totalmente operacional, o sistema EGNOS utiliza os dados de GPS para as informações. Futuramente será capaz de utilizar os dois tipos de sinal

- EGNOS
- Estações em solo



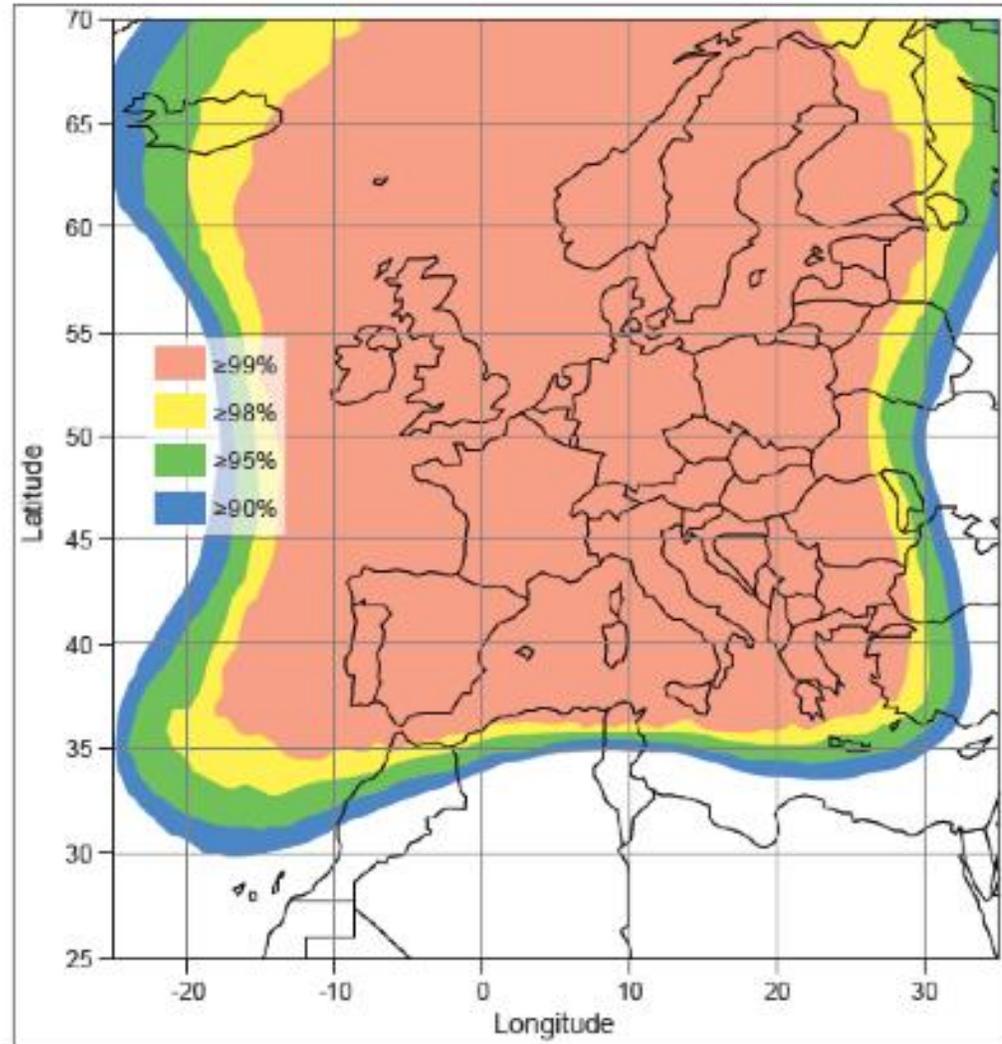
RIM – Receptores de sinal GPS

MCC – Processador de sinal

NLES – Transmissor de sinal para os satélites geoestacionários

FONTE: Wikipedia

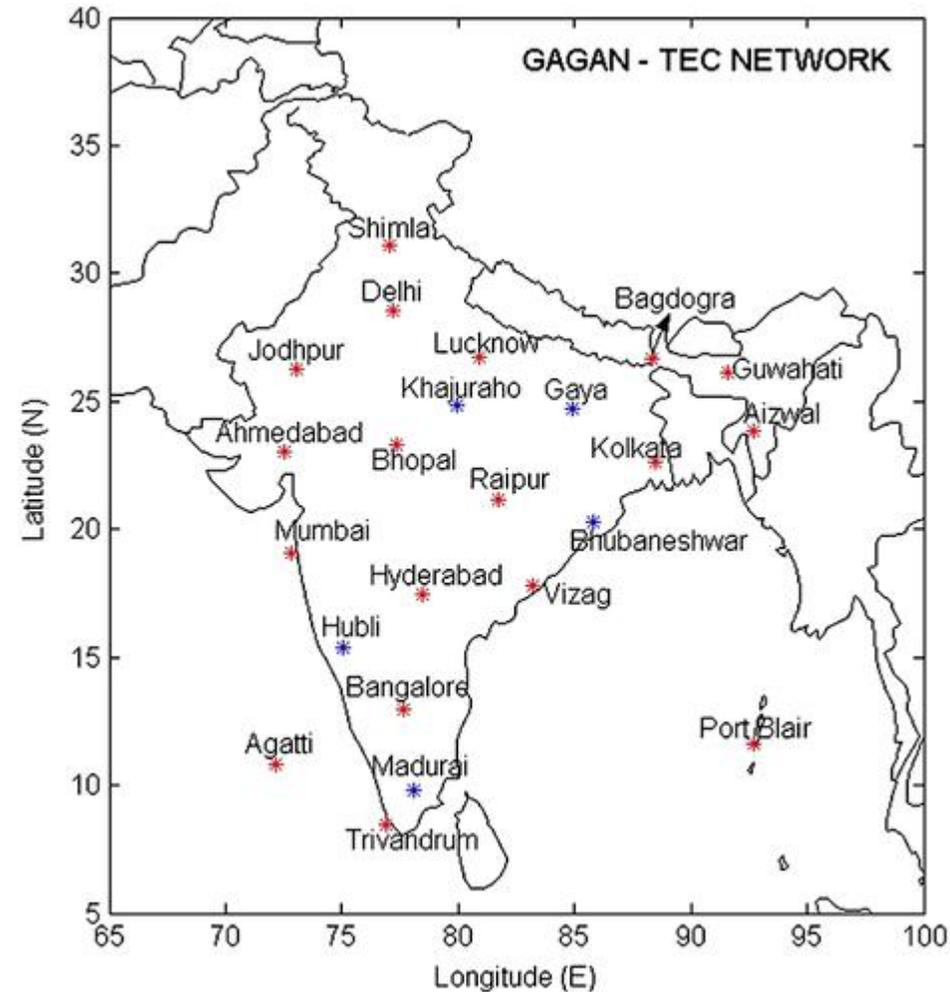
- EGNOS
- Cobertura atual do sistema



FONTE: galileo.cs.telespazio.it

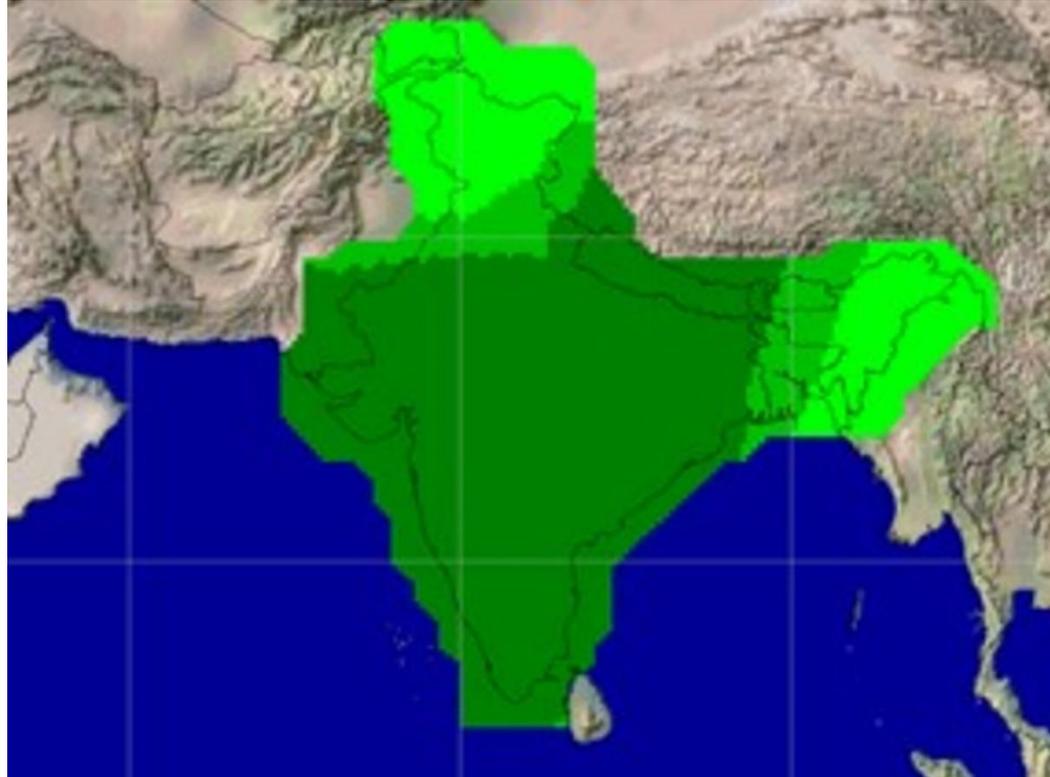
- **GAGAN**
- GPS Aided GEO Augmented Navigation
- Sistema indiano de acréscimo de desempenho no sistema de GPS
- Funcionamento semelhante aos anteriores, com 3 satélites geoestacionários e 15 estações em solo distribuídas pela Índia
- Precisão de 1,5 m horizontal e 2,5 m vertical
- Operacional desde 2013 usando constelação GPS

- **GAGAN**
- Estações em solo



FONTE: Sunda, S., et al. (2014)
doi.org/10.1002/2014SW001103

- **GAGAN**
- Cobertura



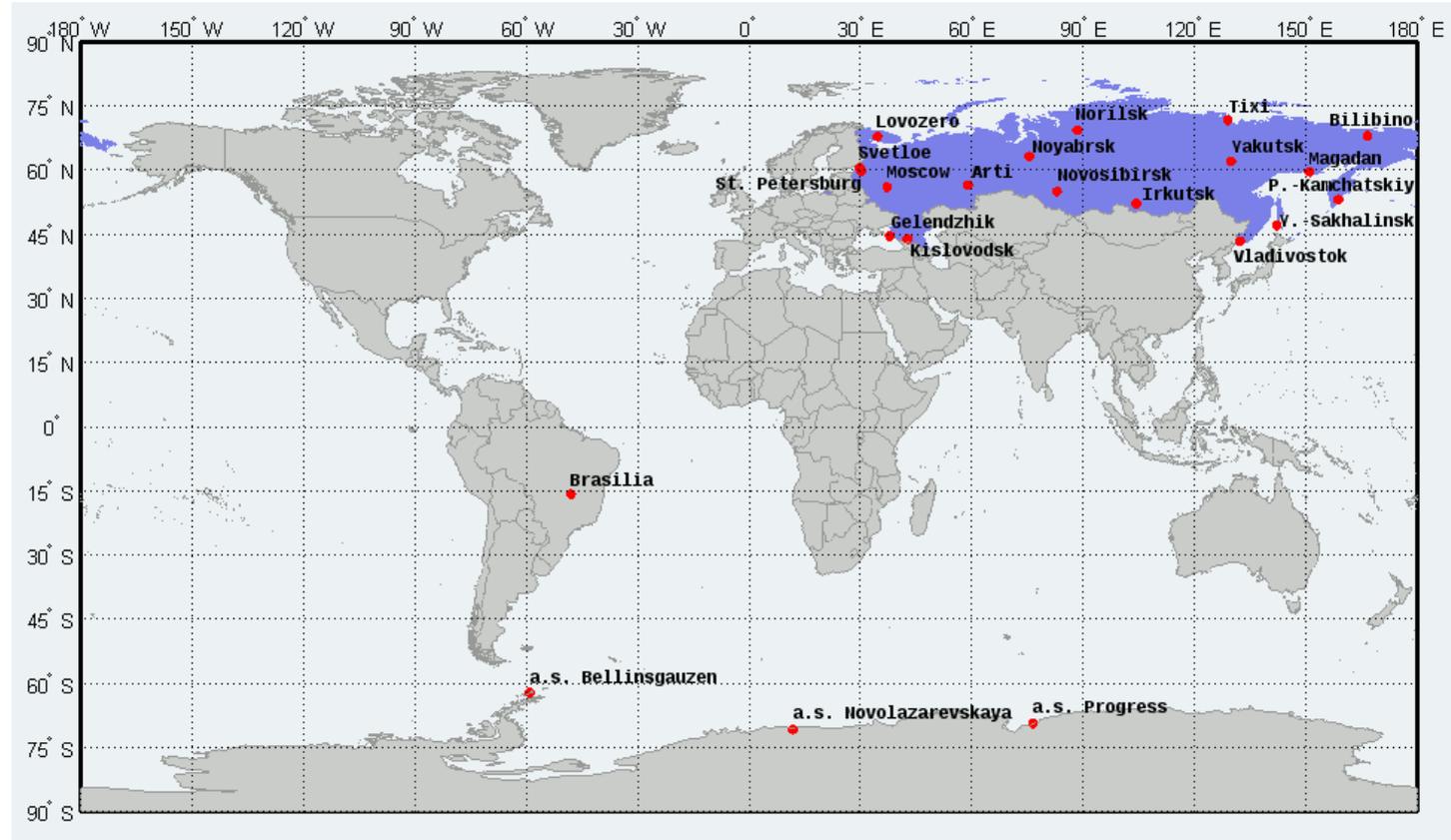
FONTE: esa.int

- Atualmente encontra-se em fase de implementação o sistema GAGAN utilizando a constelação NAVIC, que também é indiana

- **MSAS**
- MTSAT Satellite Augmentation System
- Sistema japonês que conta com 2 satélites geoestacionários, enviados pela empresa MTSAT
- Funcionamento semelhante aos anteriores
- Possui 6 estações de solo no Japão, 1 na Austrália e 1 no Hawaii

- **SDCM**
- System of Differential Correction and Monitoring
- Sistema Russo, que trabalhará em conjunto com o GLONASS
- Funcionamento semelhante aos anteriores
- Previsto para ter 19 estações em solo na Rússia, 3 na Antártida e 1 em Brasília
- Início de atuação experimental previsto para 2018

- SDCM
- Estações em solo



FONTE: sdcм.ru

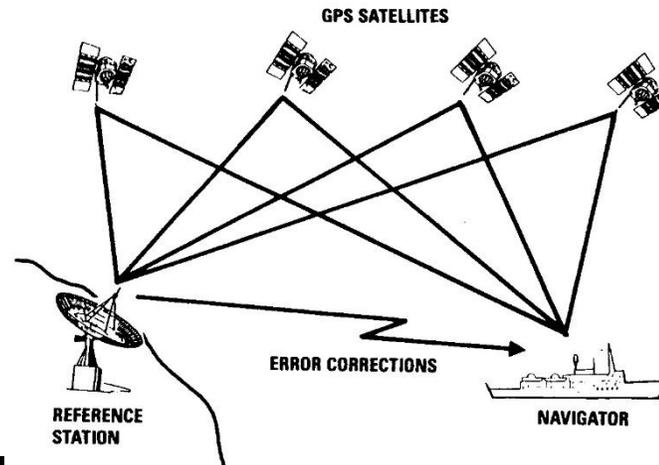
- Introdução
- Outros Sistemas de Navegação via Satélite
- Sistemas de Acréscimo
- **Sistemas de Aumento Local de Precisão**

- **DGPS**
- Differential GPS
- Sistema de aumento de precisão baseado em uma estação fixa temporária
- Atuação local (um aeroporto, por exemplo)
- É fixada uma antena de GPS em uma posição com coordenadas bem definidas em solo

- **DGPS**
- Ao longo de toda a operação, essa antena capta o sinal dos satélites, mede o erro e guarda em um arquivo o erro do sinal ao longo do tempo
- Simultaneamente, uma aeronave voa adquirindo dados de GPS
- Ao final da operação, os arquivos (de posição da aeronave e de erro medido) são processados, descontando o erro da posição da aeronave
- Com o pós-processamento, tem-se uma trajetória com precisão de 10 cm da aeronave

- **DGPS**
- Este Sistema deve ser utilizado quando a necessidade dos dados seja após o voo, pois ele não faz a correção em tempo real
- Este serviço, em aviação, deve ser realizado por empresas autorizadas, como a Z-12 ou a Omnistar

FONTE: dwtech.ca

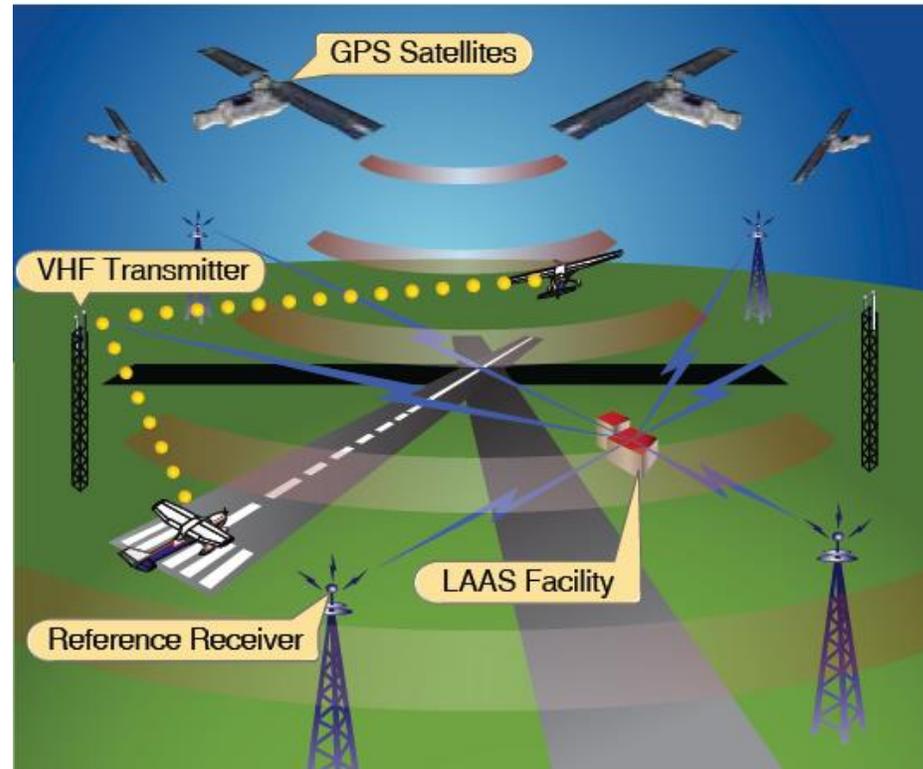


FONTE: studymaterialonline.com



- **LAAS**
- Local Area Augmentation System
- Sistema em desenvolvimento, onde um aeroporto manteria um Sistema de DGPS e seu sinal de erro seria enviado para uma estação central
- Esta estação poderia enviar, via Data Link (sinal UHF), este erro para as aeronaves em aproximação
- Os sistemas das aeronaves teriam capacidade de fazer a correção em tempo real

- LAAS
- Cada aeroporto deverá ter seu próprio sistema



FONTE: flightliteracy.com