



SAA0167

Princípios de Aviônica e Navegação

Navegação por Satélite parte 1

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

- **Introdução**
- **Global Positioning System**
- **Segmento Espacial**
- **Segmento de Controle**
- **Segmento de Usuário**
- **Erros**
- **GPS Como Ferramenta de Navegação**

- **Introdução**
- Global Positioning System
- Segmento Espacial
- Segmento de Controle
- Segmento de Usuário
- Erros
- GPS Como Ferramenta de Navegação

- GNSS – Global Navigation Satellite System
- Sistema de navegação que fornece a posição da aeronave instantaneamente, com o uso de satélites
- Existem vários sistemas, sendo que o mais antigo e mais conhecido é o sistema GPS (Global Positioning System), lançado pelos EUA
- Este material abordará a teoria do sistema GPS, e ao seu final serão mostrados os outros sistemas, apontando-se a diferença entre eles

- Em 1957 houve o lançamento do primeiro satélite artificial
- Inicialmente, era utilizado o efeito Doppler para determinação de órbita desses satélites
- Utilizando essa ideia, foi criado o sistema TRANSIT, que utilizava efeito Doppler para determinação de posição de embarcações em alto mar



FONTE: space.com

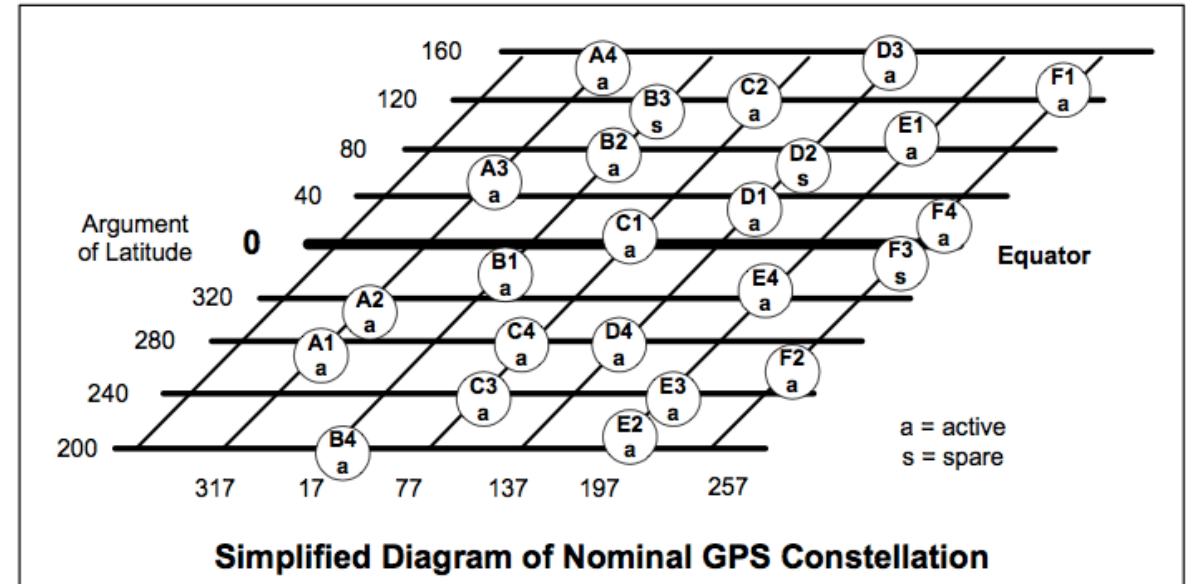
- O sistema TRANSIT consistia em 8 satélites a 1.100 km de altitude e não cobria toda a extensão do globo terrestre
- Tinha precisão de 3 a 10 metros e durou de 1964 a 1993
- Sua melhoria resultou no sistema NAVSTAR GPS, cujos satélites começaram a ser colocados em órbita em 1978
- A Rússia começou a colocar em órbita os satélites de seu sistema GNSS (GLONASS) em 1982, concluindo em 1995

- Introdução
- **Global Positioning System**
- Segmento Espacial
- Segmento de Controle
- Segmento de Usuário
- Erros
- GPS Como Ferramenta de Navegação

- O sistema GPS consiste em um conjunto de ao menos 24 satélites em órbitas de 20.180 km
- Os satélites estão distribuídos em 6 órbitas, que são inclinadas 55° com relação ao Equador

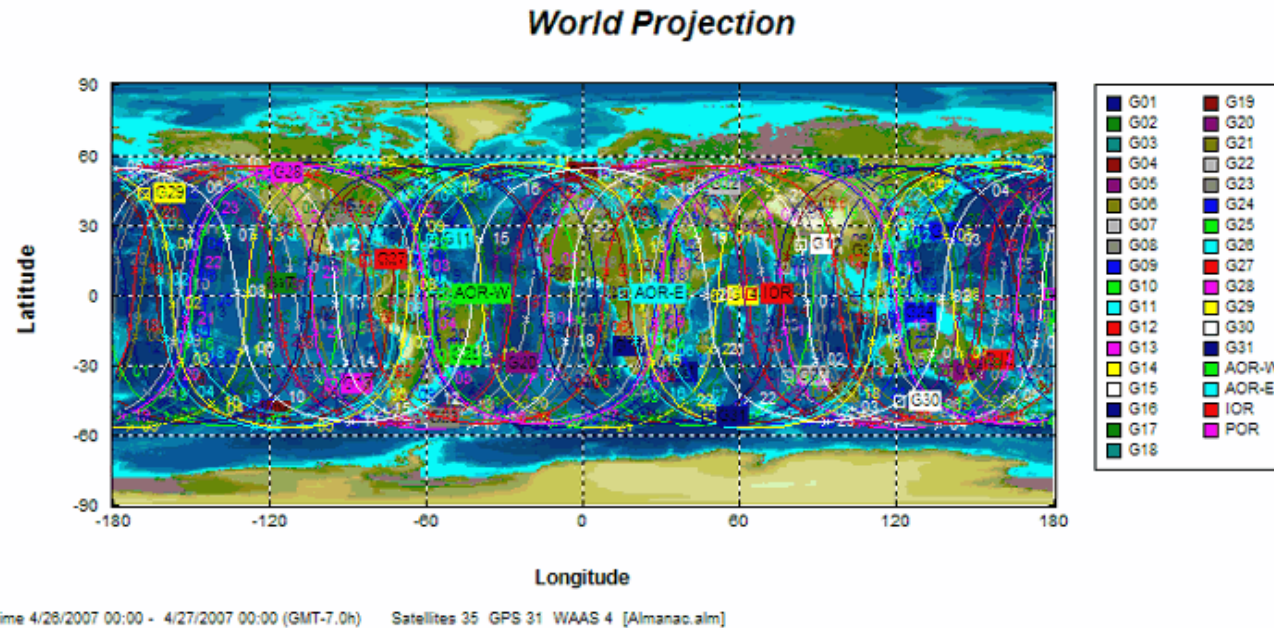


FONTE: Wikipedia



FONTE: flightcrewguide.com

- Para seu funcionamento, o sistema de GPS utiliza 3 segmentos:
 - Segmento Espacial (satélites)
 - Segmento de Controle (estações em solo)
 - Segmento de Usuário (receptores, GPS de mão, smartphones, etc.)
- Tais segmentos serão estudados em separado



FONTE: freegeographytools.com

- Introdução
- Global Positioning System
- **Segmento Espacial**
- Segmento de Controle
- Segmento de Usuário
- Erros
- GPS Como Ferramenta de Navegação

- O Segmento Espacial do GPS consiste em uma constelação de ao menos 24 satélites (este número pode variar)
- Já foram enviadas 6 gerações de satélites, uma está em lançamento e mais uma está em desenvolvimento
- As várias gerações se diferenciam pela tecnologia do satélite e portanto sua precisão
- Tais satélites possuem órbitas com duração de 11h57min

Summary of satellites^{[45][46][47]}

Block	Launch period	Satellite launches				Currently in orbit and healthy
		Suc-cess	Fail-ure	In prep-eration	Plan-ned	
I	1978–1985	10	1	0	0	0
II	1989–1990	9	0	0	0	0
IIA	1990–1997	19	0	0	0	0
IIR	1997–2004	12	1	0	0	12
IIR-M	2005–2009	8	0	0	0	7
IIF	2010–2016	12	0	0	0	12
IIIA	From 2018	3	0	5	2	3
IIIF	—	0	0	0	22	0
Total		73	2	5	24	34

(Last update: July 12, 2020)

8 satellites from Block IIA are placed in reserve

USA-203 from Block IIR-M is unhealthy

^[48] For a more complete list, see [list of GPS satellite launches](#)

FONTE: Wikipedia

- Cada satélite da constelação carrega ao menos dois (geralmente 3) relógios atômicos extremamente precisos e estáveis, cuja indicação é utilizada na medição de posição na Terra
- Cada satélite envia simultaneamente 2 sinais: o L1 (1575,42 MHz) e o L2 (1227,6 MHz)
- O sinal L1 transmite o código C/A (coarse/acquisition) e o código de precisão (P), utilizado para fins militares. O sinal L2 apresenta apenas o código P
- Outros sinais L3 a L5 tem sido desenvolvidos para transmitir outros tipos de informações no futuro

- Estes satélites enviam continuamente sinais unidirecionalmente para a Terra. Estes sinais possuem 5 subframes com duração de 6 segundos. Portanto o sinal de cada satélite se repete a cada 30 segundos
- Composição do sinal C/A:

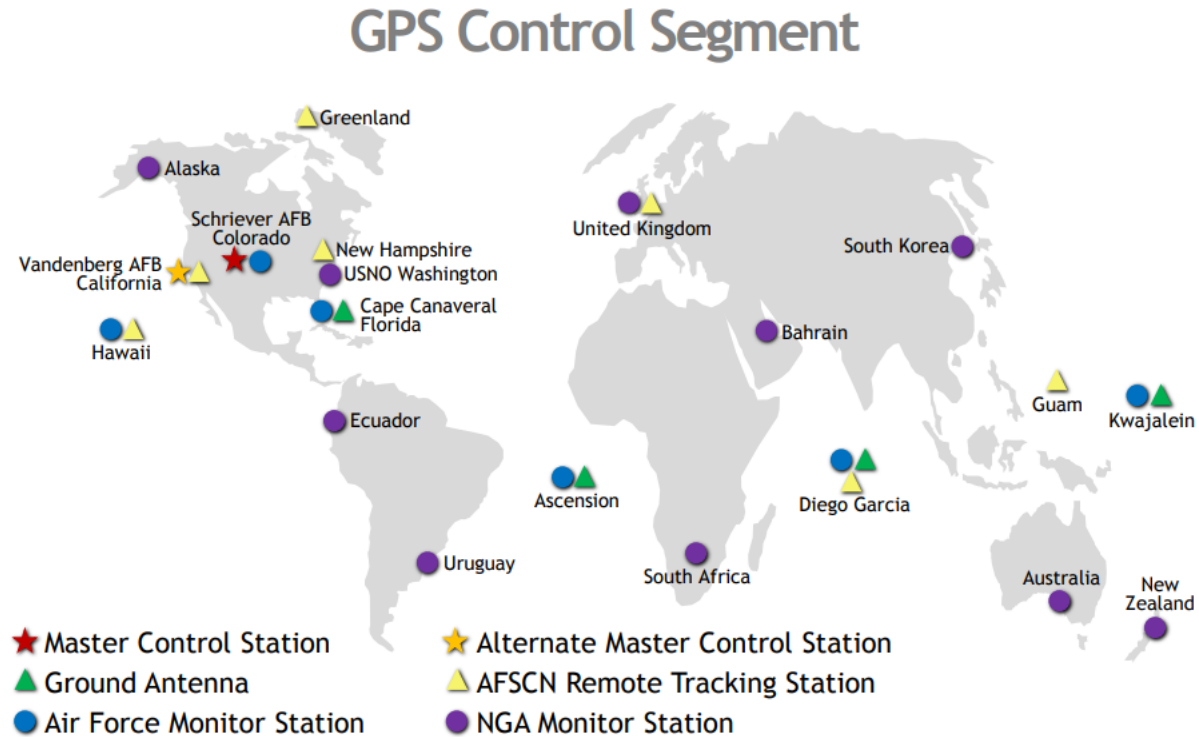
Subframe	Informação
1	Horário
2	Efeméride 1 (posição do satélite)
3	Efeméride 2
4	Outros dados (ident. Do satélite, msg de pane, correções devido à ionosfera, etc.)
5	Situação de todos os satélites da constelação

- Introdução
- Global Positioning System
- Segmento Espacial
- **Segmento de Controle**
- Segmento de Usuário
- Erros
- GPS Como Ferramenta de Navegação

- Consistem em 5 estações militares para monitoramento das informações enviadas pelos satélites
- Estas estações possuem receptores de sinal, relógios atômicos e transmissores, que permitem enviar informações aos satélites
- Cada estação recebe o sinal do satélite, compara com o relógio atômico em solo e corrige os erros devido à ionosfera e troposfera. Em seguida envia as correções necessárias para os satélites
- Apenas o departamento de defesa tem acesso a interferir no sinal do satélite

- Cada satélite é avaliado ao menos 3 vezes por dia
- O governo americano ainda tem condições de “sujar” o sinal dos satélites, permitindo que apenas veículos autorizados consigam decodificar
- Por pressão internacional, foi assinado em 2000 um tratado que o governo se compromete a não utilizar este artifício

- Estações de controle e suas antenas



FONTE: gps.gov

Updated May 2017

- Introdução
- Global Positioning System
- Segmento Espacial
- Segmento de Controle
- **Segmento de Usuário**
- Erros
- GPS Como Ferramenta de Navegação

- Aparelhos de GPS presente nas aeronaves, nos automóveis, smartphones, etc.



FONTE: garminstore.com.br

FONTE: techtudo.com.br



FONTE: technobezz.com

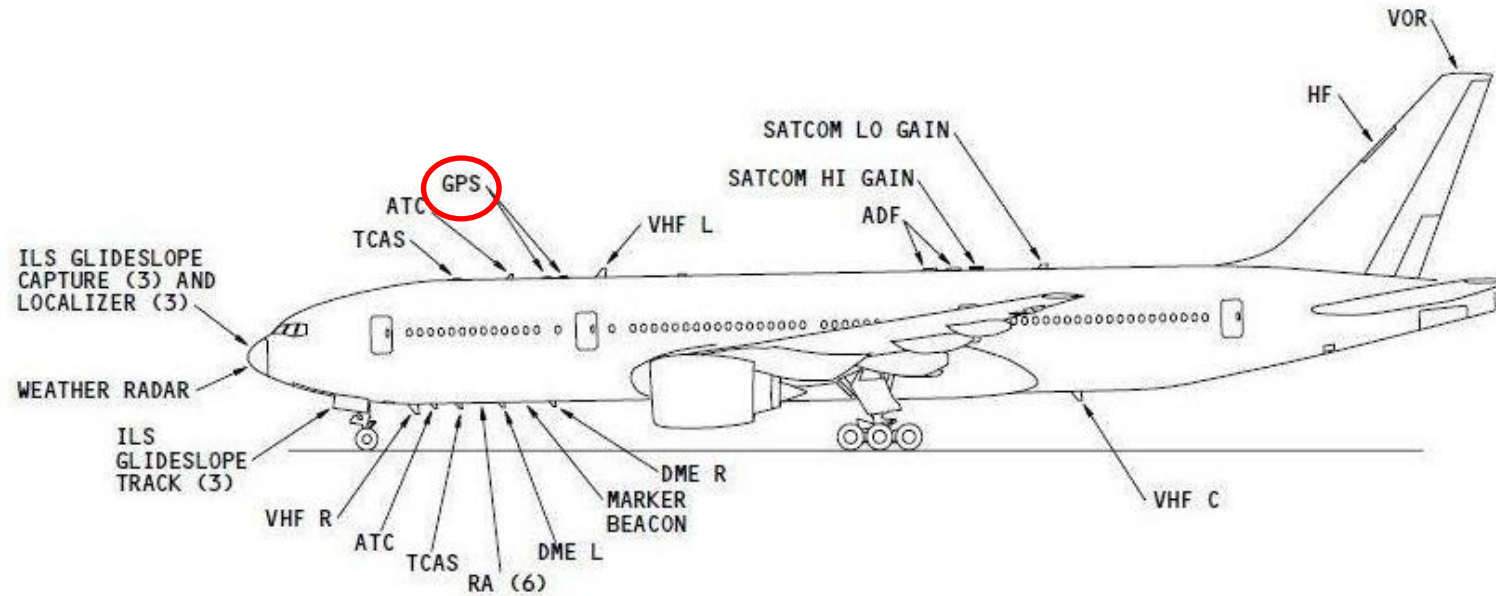


FONTE: airandspace.si.edu



FONTE: gm-scout.com

- Antenas, em aeronave



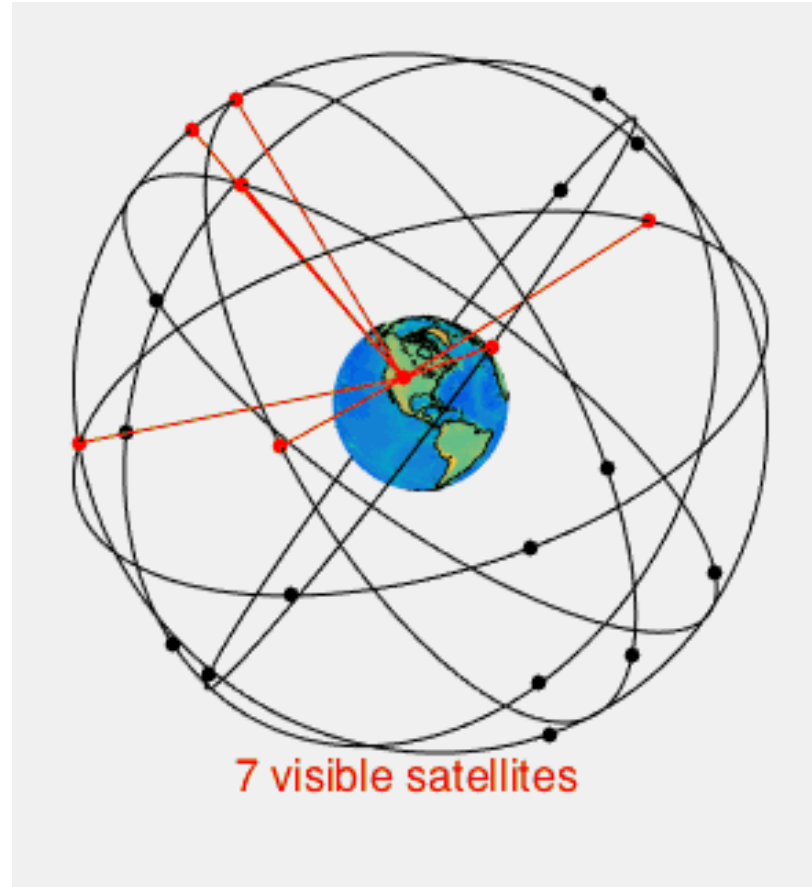
FONTE: Boeing

777 GENERAL - ANTENNA LOCATIONS

- Estes aparelhos (receivers) possuem internamente um relógio (menos preciso que o atômico), utilizado apenas para comparação entre os sinais de satélite que chegam até ele
- Os vários sinais de satélite possuem, cada um, as indicações de qual satélite está enviando, qual a sua posição e o horário que o sinal saiu do satélite
- Cada sinal permite que o receiver monte uma equação de espaço
- Para se traçar a posição instantânea, são necessárias 4 informações: latitude, longitude, altitude e horário correto

- Por isso, para que o receiver possa calcular sua posição, é necessário que ele esteja “enxergando” simultaneamente 4 satélites (4 equações, 4 incógnitas)
- Quanto mais satélites ele conseguir enxergar, mais preciso é o sinal
- As órbitas foram projetadas de forma que nenhum ponto do globo seja servido com menos de 3 satélites (porém as formações de relevo ou construções podem interferir)

- Visada de satélites por um ponto em solo



FONTE: Wikipedia

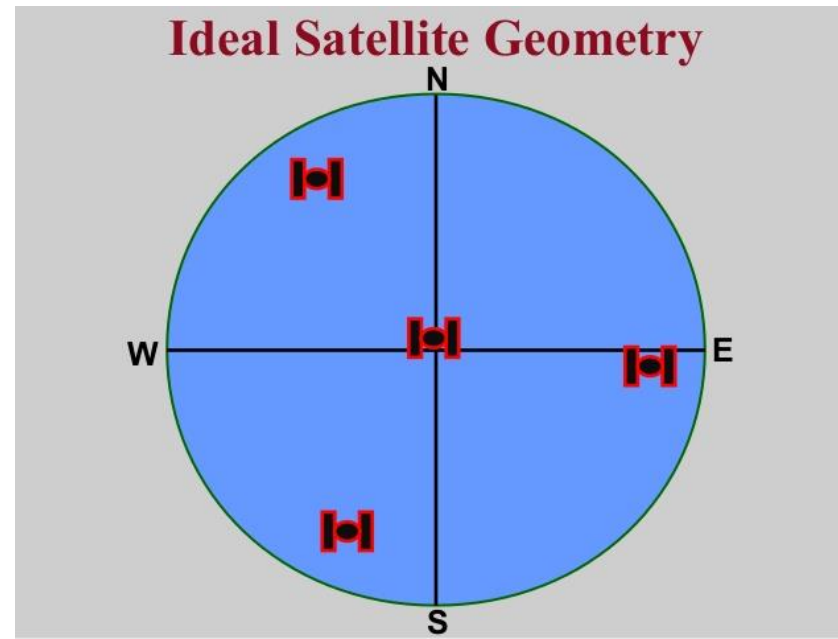
- Introdução
- Global Positioning System
- Segmento Espacial
- Segmento de Controle
- Segmento de Usuário
- **Erros**
- GPS Como Ferramenta de Navegação

- As fontes de erro em GPS podem ser o satélite, o receiver ou a transmissão de sinal entre ambos
- **Satélite**
- A única função do satélite é marcar hora e transmitir essa informação
- Cada satélite possui em geral 3 relógios atômicos e a estação em solo que monitora esses relógios, mas mesmo assim alguns erros de indicação de horário pode acontecer
- Quando alguma pane em um satélite ocorre, é emitido um NANU (Notice Advisory for Navstar Users), indicando o problema. Em geral essa informação é divulgada pela internet e se espalha rapidamente

- **Propagação de Sinal**
- O principal problema na propagação de sinal é a degradação do mesmo, que ocorre normalmente por tempestades solares
- Outro possível problema é interferência, já que a frequência do sinal enviado é comum a outros sistemas de navegação aeronáutica, como TACAN, Radar, etc.
- **Precisão**
- Precisão atual para uso civil: 2 metros (lateral) a 8 metros (vertical)
- Para satélites futuros com uso da banda L5: 30 centímetros

- **Receiver**
- O primeiro problema que pode ocorrer é pane no aparelho
- Sabe-se também que, se o aparelho for desligado e voltar a ser ligado em outro ponto, ele vai guardar as coordenadas de onde ele foi desligado e procurar pelos mesmos satélites aos quais estava conectado. Isso pode gerar uma demora até o sistema “se encontrar”
- A posição relativa dos satélites com relação ao receiver também afeta na precisão do sinal

- **Receiver**
- A posição ideal (que dá a melhor precisão) dos satélites é tal que eles formem um triângulo equilátero com todos os satélites a 5 graus acima do horizonte e o quarto satélite exatamente acima do receiver



FONTE: Leonard, C., Introduction do NAVSTAR GPS (1999)

- Introdução
- Global Positioning System
- Segmento Espacial
- Segmento de Controle
- Segmento de Usuário
- Erros
- **GPS Como Ferramenta de Navegação**

- Apesar das boas características e desempenho muito superior aos NAVAIDS tradicionais, o GPS não é autorizado para uso como ferramenta primária de navegação pelos seguintes motivos
 - Acurácia
 - Integridade
 - Continuidade
 - Disponibilidade
- Essas características são previstas em requisitos de certificação de ferramentas de navegação e ainda não são alcançadas pelo GPS
- Atualmente existem aperfeiçoamentos desse sistema, que acredita-se que poderá alcançar essas características no futuro

- **Acurácia**
- Em quase todos os sentidos, o GPS satisfaz os requisitos em termos de acurácia. Em apenas um deles ele ainda é falho: na acurácia de distância vertical em aproximações CAT I
- Essa falha é possível de ser sanada utilizando correção diferencial de GPS (DGPS), que é um dos aperfeiçoamentos que serão estudados adiante

- **Integridade**
- Segundo o requisito, todo sistema da aeronave, quando degradado (pane, perda de precisão, etc.), deve informar a tripulação de sua degradação e ficar inativo automaticamente
- Como o sistema não fica inativo, esse requisito não é cumprido
- Estuda-se atualmente uma forma de o sistema ficar inativo e de ele ser capaz de “ignorar” o sinal de um satélite com informações duvidosas
- Sistemas mais modernos como o EGNOS e melhoramentos do GPS, como DGPS ou WAAS permitirão isso futuramente

- **Continuidade**
- Essa característica garante que o sistema esteja disponível em todas as fases do voo, ou se não estiver, que seja automaticamente substituído por outro
- No caso de uma tempestade solar, o sinal de GPS será perdido temporariamente, e ainda não existem modos de o sistema identificar isso rapidamente e substituir por outro NAVAI
- Imaginando uma aeronave em fase crítica de voo (pouso, por exemplo), isso afetaria a segurança

- **Disponibilidade**
- É a garantia de que o sistema estará disponível sempre que o usuário necessitar
- Pelos mesmos problemas da Continuidade, isso ainda não pode ser garantido
- Melhorias do sistema como o LAAS garantirão no futuro a continuidade e a disponibilidade