

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

VALÉRIO VALTER DE OLIVEIRA RAMOS FILHO

**PERFORMANCE DE NAVEGAÇÃO ATUAL E REQUERIDA:  
ESTUDO DOS REQUISITOS RNP/ANP COM BASE NA AERONAVE  
BOEING 737 NEW GENERATION**

Porto Alegre  
2008

VALÉRIO VALTER DE OLIVEIRA RAMOS FILHO

**PERFORMANCE DE NAVEGAÇÃO ATUAL E REQUERIDA:  
ESTUDO DOS REQUISITOS RNP/ANP COM BASE NA AERONAVE  
BOEING 737 NEW GENERATION**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Aeronáuticas, pelo programa de graduação da Faculdade de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Me. Elones Fernando Ribeiro

Porto Alegre  
2008

VALÉRIO VALTER DE OLIVEIRA RAMOS FILHO

**PERFORMANCE DE NAVEGAÇÃO ATUAL E REQUERIDA:  
ESTUDO DOS REQUISITOS RNP/ANP COM BASE NA AERONAVE  
BOEING 737 NEW GENERATION**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Aeronáuticas, pelo programa de graduação da Faculdade de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovado em \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / 2008.

Os membros da banca examinadora são:

---

Orientador: Prof. Me. Elones Fernando Ribeiro - PUCRS

---

Prof. Éder Henriqson - PUCRS

---

Prof. Hildebrando Hoffmann - PUCRS

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus mestres, que com seu conhecimento e didática, ensinaram-me os valores da ética profissional e a responsabilidade advinda desta escolha.

Ser grato é um grande atributo da alma humana. A gratidão é um sentimento que quando cultivado credencia os seres para viver em um plano que não pode ser vivido sem a presença de tão nobre sentimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, a minha profunda gratidão, por me ensinarem os valores corretos da vida, que através de suas sabedoria e generosidade, apoiaram-me durante esta jornada.

Aos meus irmãos, agradeço os ensinamentos de força de vontade e caráter com que encaminharam suas vidas e que me serviram de exemplo.

*“Elaborar essa página de agradecimentos foi um dos melhores momentos vividos em torno desse trabalho. Não poderia deixar de agradecer também a um ser que estando comigo nem sempre tem liberdade para participar de minha vida, mas sei que sem ele não teria a graça de estar pensando e sentindo nesse momento; meu Espírito.”*

Autor desconhecido.

*Ao contemplar a criação, somos constantemente estimulados a descobrir, aprender, ensinar e recriar. O amor, na sua forma mais pura e elevada, é o promotor de todas as formas de conhecimento. Dedico este trabalho de pesquisa a quem é a "Suprema Ciência da Sabedoria, que a mente humana pode descobrir em cada um dos processos do universo estampados na natureza.";*

Deus. Pecotche, 1978

*"Quando você tiver provado a sensação de voar, andar na terra com os olhos voltados para o céu, onde esteve e para onde desejará voltar"*

Leonardo da Vinci (1452 - 1519)

## RESUMO

Este trabalho visa proporcionar uma visão abrangente dos conceitos de performance de navegação requerida e performance real de navegação, adotados pelas autoridades aeronáuticas. Ao longo do trabalho procura-se apresentar pontos-chaves das capacidades de navegação dos sistemas embarcados sob a visão das autoridades aeronáuticas, e apresentar as capacidades do sistema *Flight Management Computer System* instalado no BOEING 737 New Generation.

Palavras-chaves: Performance Requerida de Navegação. Performance Atual de Navegação. Navegação de Área.

## ABSTRACT

This assignment intends to present a broad view of concepts about Required Navigation performance and actual navigation performance adopted by the aeronautics authorities. Throughout the paper I attempt to show key topics about the abilities of the navigation systems under the authority's point of view. And explain the capacities of the *Flight Management Computer System* installed in the BOEING 737 New Generation.

Keywords: Required Navigation Performance. Actual Navigation Performance. Area Navigation.



## LISTA DE SIGLAS

AC - Advisory Circular

ANP - Actual Navigation Performance

ARINC - Aeronautical Radio Incorporated

ATC - Air Traffic Control

ATS - Air Traffic Services

CDU - Control Display Unit

DME - Distance Measuring Equipment

EHSI - Electronic Flight Instrument System

FANS - Future Air Navigation System

FMCS - Flight Management Computer System

FMS - Flight Management System

FTE - Flight Technical Error

GNSS - Global Navigation Satellite System

ICAO - International Civil Aviation Organization

ILS- Instrument Landing System

IRS- Inertial Reference System

ISA - Icao Standard Atmosphere

LAT - Latitude

LON - Longitude

NDB - Non-Directional Beacon

NOTAM-Notices to Airmen

PFD - Primary flight display

RAIM - Receiver Autonomous Integrity Monitoring

RNAV - Area Navigation

RNP - Required Navigation Performance

RVSM - Reduced Vertical Separation Minima

VNAV- Vertical Navigation

VOR - Very High Frequency Omnidirectional Range

WGS 84 - World Geodetic System 1984

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Conceito RNP ICAO .....	15
Figura 2: Rotas diretas otimizando o gasto de combustíveis. ....	20
Figura 3: Otimização das terminais .....	21
Figura 4: Otimização das saídas por instrumento (SID).....	21
Figura 5: Trajetórias verticais publicadas .....	23
Figura 6: RNP e RNP 2X.....	25
Figura 7: Determinação da posição pelo GPS .....	26
Figura 8: Determinação da posição com auxílio a navegação .....	28
Figura 9: Variação da ISA .....	30
Figura 10: Apresentação do RNP/ANP na CDU.....	31
Figura 11: FMC Alert Light .....	32
Figura 12: Localização do FMC Alert Light .....	32
Figura 13: Valores de RNP padrão de fábrica.....	33
Figura 14: Página de referência de posição 2/3.....	37
Figura 15: Página 'POS SHIFT' com update de GPS .....	39
Figura 16: Posição atual do FMC .....	40
Figura 17: Página de status de navegação .....	41
Figura 18: Página de opções de navegação .....	42
Figura 19: Página atual de rota .....	44
Figura 20: Página de progresso do RNP.....	45
Figura 21: Luz de indicação de falhas do GPS .....	48
Figura 22: Escalas de navegação .....	49
Figura 23: Escala de performance lateral – Flight Technical Error.....	51
Figura 24: ANP <i>versus</i> FTE.....	52
Figura 25: ANP ou RNP vertical <i>versus</i> FTE.....	53
Figura 26: Exemplo de instrument approach navigation .....	54
Figura 27: Outro exemplo de instrument approach navigation.....	55

Figura 28: Capacidade de navegação <i>versus</i> RNP.....	57
Figura 29: Disponibilidade mundial dos sinais <i>versus</i> determinados valores de RNP .....	58
Figura 30: Valores de ANP de acordo com as fases de vôo .....	59
Figura 31: Valores de ANP <i>versus</i> update do sistema .....	60
Figura 32: Modos de vôo <i>versus Flight Technical Error</i> .....	62
Figura 33: RNP mínimo <i>versus</i> fase do vôo .....	63
Figura 34: Modos de vôo <i>versus</i> fase do vôo por RNP demonstrado .....	64

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 CONCEITO DE RNP E RNAV .....</b>	<b>15</b>
2.1 CONCEITO DE RNP .....	15
<b>2.1.1 Tipos de RNP .....</b>	<b>16</b>
2.2 CONCEITO DE RNAV.....	17
2.3 OPERAÇÕES RNAV BÁSICO, RNP 5 (B-RNAV).....	17
<b>2.3.1 Precisão do B-RNAV .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2 Disponibilidade e Integridade .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3 Funções requeridas nos aviônicos embarcados .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.4 Funções recomendadas .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.5 Manual da Aeronave.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.6 Compatibilidade com a legislação.....</b>	<b>19</b>
2.4 OPERAÇÃO RNAV DE PRECISÃO, RNP 1(P-RNAV) .....	20
<b>2.4.1 Aspectos gerais.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.2 Descrição dos sistemas.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.3 Precisão do P-RNAV .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.4 Integridade do P-RNAV .....</b>	<b>23</b>
2.5 NAVEGAÇÃO VERTICAL .....	23
<b>2.5.1 Performance da navegação vertical .....</b>	<b>23</b>
<b>3 RNP E ANP NO BOEING 737 NG .....</b>	<b>25</b>
3.1 ANP DO BOEING 737 NG .....	25
3.2 ANP COM ATUALIZAÇÃO POR GPS.....	26
3.3 ANP ATUALIZADO POR AUXÍLIOS EM TERRA.....	27
3.4 ANP VERTICAL .....	29
<b>4 RNP BOEING 737 NEW GENERATION .....</b>	<b>31</b>
4.1 PRECISÃO DO RNP .....	34
4.2 INTEGRIDADE DO RNP.....	35
4.3 RNP VERTICAL –PRECISÃO.....	36
<b>5 INTERFACE DA TRIPULAÇÃO COM UPDATE PARA RNP E GPS.....</b>	<b>37</b>
5.1 PÁGINA DE REFERÊNCIA DE POSIÇÃO 2/3.....	37
5.2 PÁGINA POSITION SHIFT 2/3 .....	39
5.3 PÁGINA DE STATUS DE NAVEGAÇÃO 2/3 .....	41

5.4 PÁGINA DE OPÇÕES DE NAVEGAÇÃO .....	42
5.5 PÁGINA ATUAL DE ROTA .....	44
5.6 PÁGINA DE PROGRESSO DO RNP .....	45
5.7 MENSAGENS NA SCRATCH PAD DA CDU .....	46
5.8 INDICAÇÕES DE FALHA DOS GPS .....	48
5.9 PERFORMANCE DAS ESCALAS DE NAVEGAÇÃO .....	49
5.10 INSTRUMENT APPROACH NAVIGATION.....	53
<b>6 CAPACIDADE DE NAVEGAÇÃO .....</b>	<b>56</b>
6.1 DISPONIBILIDADE DE GPS/FMC/IRS PARA DETERMINADOS VALORES DE RNP .....	56
6.2 MÉTODO PRELIMINAR PARA PREVER A DISPONIBILIDADE DO RNP PARA GPS/IRS/FMC.....	56
<b>7 FLIGHT TECHNICAL ERROR (FTE).....</b>	<b>58</b>
7.1 DISPONIBILIDADE DE GPS/FMC/IRS PARA DETERMINADOS VALORES DE RNP .....	58
7.2 MÉTODO PRELIMINAR PARA PREVER A DISPONIBILIDADE DO RNP PARA GPS/IRS/FMC.....	59
7.3 CAPACIDADE DE ANP DO FMC.....	60
7.4 CAPACIDADE DE ANP VERTICAL DO FMC .....	61
<b>8 AFM FMCS .....</b>	<b>62</b>
<b>9 AFM FMCS .....</b>	<b>63</b>
<b>10 CONCLUSÃO .....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO A - Apresentação das Escalas de Navegação.....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da aviação, os seres humanos vêm buscando meios de desenvolver métodos mais eficazes de navegação.

Através dos anos as tecnologias foram se desenvolvendo, e os meios de navegação foram sendo aprimorados, mas as rotas aéreas eram ancoradas em NDB ou VOR/DME, e o crescimento desordenado do tráfego aéreo mundial estava criando cada vez mais atrasos e congestionamentos.

Com o surgimento de sistemas de navegação independentes (IRS), combinado com os sistemas de navegação global baseado por satélites (GNSS), foi possível realizar a navegação entre dois pontos, que foi conhecida como RNAV. Essa nova tecnologia seria a base do futuro sistema de navegação aérea (FANS).

A International Civil Aviation Organization (ICAO), então preocupada com esse crescimento desordenado, resolveu criar em 1983 o grupo europeu de navegação aérea (EANPG), que era responsável por criar os critérios de operação RNAV.

A ICAO então expandiu o conceito do RNP, sua intenção era caracterizar os tipos de precisão exigidas nos espaços aéreos.

O RNAV seria um método de navegação que permitisse aeronaves operarem em qualquer lugar desejado, sem cobertura de auxílios em terra.

Do objetivo geral: Apresentar uma breve visão dos conceitos de RNP/ANP, adotados pela ICAO.

Do objetivo específico: realizar um estudo de caso sobre um artigo da BOEING, que trata da capacidade dos sistemas embarcados do BOEING 737 NG aplicado sobre a legislação vigente.

## 2 CONCEITO DE RNP E RNAV

### 2.1 CONCEITO DE RNP

A International Civil Aviation Organization (ICAO) sub-dividiu o conceito de RNP em duas partes, o segmento das aeronaves e o dos espaços aéreos.

A perspectiva do segmento das aeronaves, e relacionado à combinação dos erros dos sistemas embarcados, erros de mostradores em termos de navegação lateral e vertical. O erro total permitido do sistema tem que ser menor que um valor específico de RNP, durante 95% do tempo total de vôo.

Entretanto, o segmento de espaços aéreos visa atingir uma performance para um tipo de RNP específico. Os diversos tipos de RNP são usados de acordo com a capacidade de utilização dos espaços aéreos, definindo assim larguras de rotas e separação de tráfego.

No caso de uma aeronave com um nível de performance mais elevado, ela poderá voar em áreas com valores de RNP maiores sem maiores problemas. No entanto, quando se trata de aeronaves que dependam de auxílios à navegação, essa poderá não conseguir atingir um nível de navegação mínima para cumprir um determinado valor de RNP, restringindo assim o seu tipo de operação (ICAO, 2003).

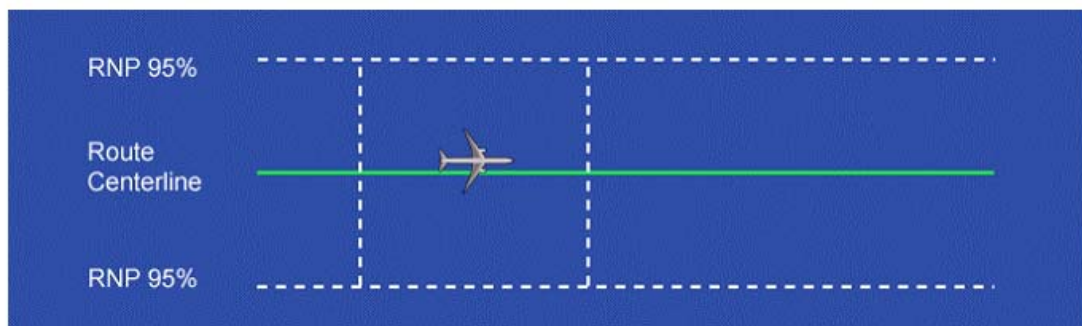


Figura 1: Conceito RNP ICAO  
Fonte: BOEING, 2008c, p. 5.



### **2.1.1 Tipos de RNP**

A ICAO especifica 6 tipos de RNP para aplicações em rota. São eles: RNP1, RNP 2, RNP 4, RNP 10, RNP 12.6 e RNP 20.

#### **RNP 1**

Este tipo de RNP é o mais preciso e eficiente para operações de rotas ATS. Também é a ferramenta mais efetiva nas operações e procedimentos em termos de gerenciamento de tráfego aéreo.

#### **RNP 2**

O RNP 2 é aplicado em áreas continentais, onde a densidade de tráfego aéreo é muito grande, e também depende de uma infra-estrutura de auxílios em terra para dar suporte, caso o 'update' via GPS falhe.

#### **RNP 4**

O RNP 4 é a base das rotas ATS, que depende de auxílios à navegação. Também é associado a operações sobre áreas continentais. Entretanto a ICAO permite a operação RNP 5, sem modificar a estrutura de rotas existentes, para que este requisito seja aprovado e as aeronaves devem demonstrar capacidade de operação para as rotas existentes.

#### **RNP10/RNP 12.6/RNP 20**

Esses tipos de RNP provêm suporte para separação lateral e longitudinal em áreas remotas e oceânicas, que dispõem de limitados auxílios à navegação (ICAO, 2003).

## 2.2 CONCEITO DE RNAV

Navegação de área é definida como um método de navegar que permite às aeronaves realizarem qualquer trajetória ou rota, sem a presença de VOR/DME ou uma combinação de ambos.

A navegação de área é composta por equipamentos embarcados que têm a capacidade de determinar a posição da aeronave, e também ajudam a guiar a aeronave ao próximo ponto da rota ou trajetória. Os equipamentos abaixo citados são requisitos mínimos para cumprir um RNAV:

- INS ou IRS: Sistema de navegação/referência inercial, informa ao FMCS sua posição atual em termos de longitude e latitude.
- VOR/DME: Very High Frequency Omnidirectional Range/Distance Measure Equipment, Auxílios radio que são recebidos pelas aeronaves.
- DME/DME: Distance Measure Equipment, Equipamento que informa a aeronave a distância em relação a estação.
- GNSS (GPS): Global Position Satellite, Constelação de satélites que são usadas para determinar a posição atual da aeronave.

## 2.3 OPERAÇÕES RNAV BÁSICO, RNP 5 (B-RNAV)

### 2.3.1 Precisão do B-RNAV

A precisão requerida para esse tipo de operação, requer que ao longo da rota a navegação lateral e vertical não exceda 2.5 NM durante 95% do tempo de voo, nesse valor já estão incluídos os erros de sinais, receptores embarcados e erro técnico de voo.

Essa performance da navegação pressupõe que a rota seja coberta por sinais de satélites e auxílios convencionais em terra, para então ter validade.

### **2.3.2 Disponibilidade e Integridade**

A disponibilidade e integridade mínima requeridas para operações B-RNAV, necessitam de no mínimo um sistema embarcado, que possibilite à tripulação monitorar a integridade de todo sistema.

Os Riscos de falta de informações devem ser menores que  $1 \times 10^{-5}$ , por hora de voo.

### **2.3.3 Funções requeridas nos aviônicos embarcados**

A ICAO entende como funções requeridas:

- Disponibilizar indicações da posição relativa da aeronave em relação a rota a ser cumprida;
- Mostrar a distância e a proa para o ponto mais próximo;
- Indicar a velocidade de solo ou tempo para o ponto mais próximo;
- Ter a capacidade de armazenar no mínimo os 4 próximos pontos da rota;
- Possuir indicadores apropriados de falhas que incluam os sensores também (ICAO, 2003).

### **2.3.4 Funções recomendadas**

A ICAO também recomenda algumas funções:

- Piloto automático ou diretor de vôo capaz de acoplar ao sistema;
- Indicar a posição atual por latitude ou longitude;
- Possuir a função 'direto para' "*direct to*";
- Canal automático para seleção de auxílios rádio;
- Banco de dados de navegação;
- Capacidade de sequenciar e associar o automatismo, em termos de antecipações de manobras.

### **2.3.5 Manual da Aeronave**

A base da certificação RNAV para uma determinada aeronave, deve estar especificada em seu manual. Ele também deve prover os tipos de operações, incluindo também procedimentos normais e anormais aplicável ao equipamento embarcado.

Também deve demonstrar as capacidades de RNP que o sistema suporta.

### **2.3.6 Compatibilidade com a legislação**

Os sistemas de navegação embarcados na aeronave, devem estar de acordo com as circulares complementares contidas nos documentos do FAA AC 90-45 A, AC 20-130A, AC 20-138 e AC 20-15, que são complementos para operações RNAV.

Os manuais das aeronaves devem também conter informações desses requisitos (ICAO, 2003).

## 2.4 OPERAÇÃO RNAV DE PRECISÃO, RNP 1(P-RNAV)

### 2.4.1 Aspectos gerais

O P-RNAV, como fruto da evolução da navegação de área, está sendo desenvolvido para ser implantado em áreas terminais para otimizar rotas de saída e chegadas, rever novos procedimentos, evitar o gasto excessivo de combustíveis com rotas diretas, e também flexibilizar o crescente tráfego aéreo nas mesmas (ICAO, 2003).

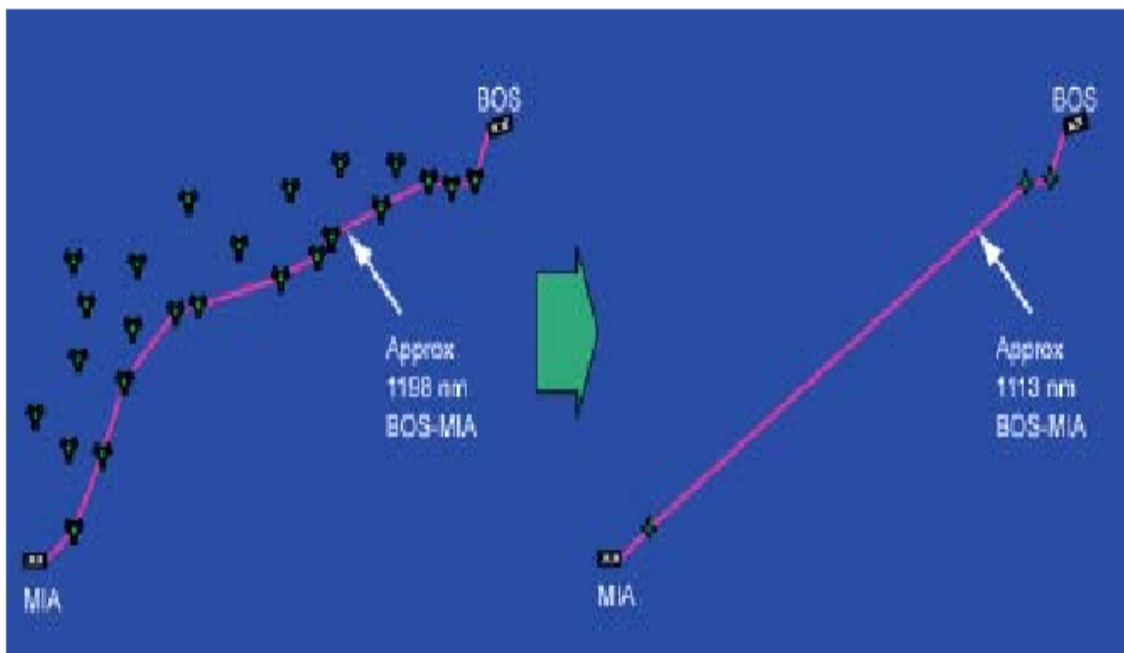


Figura 2: Rotas diretas otimizando o gasto de combustíveis

Fonte: BOEING, 2008c, p. 2.

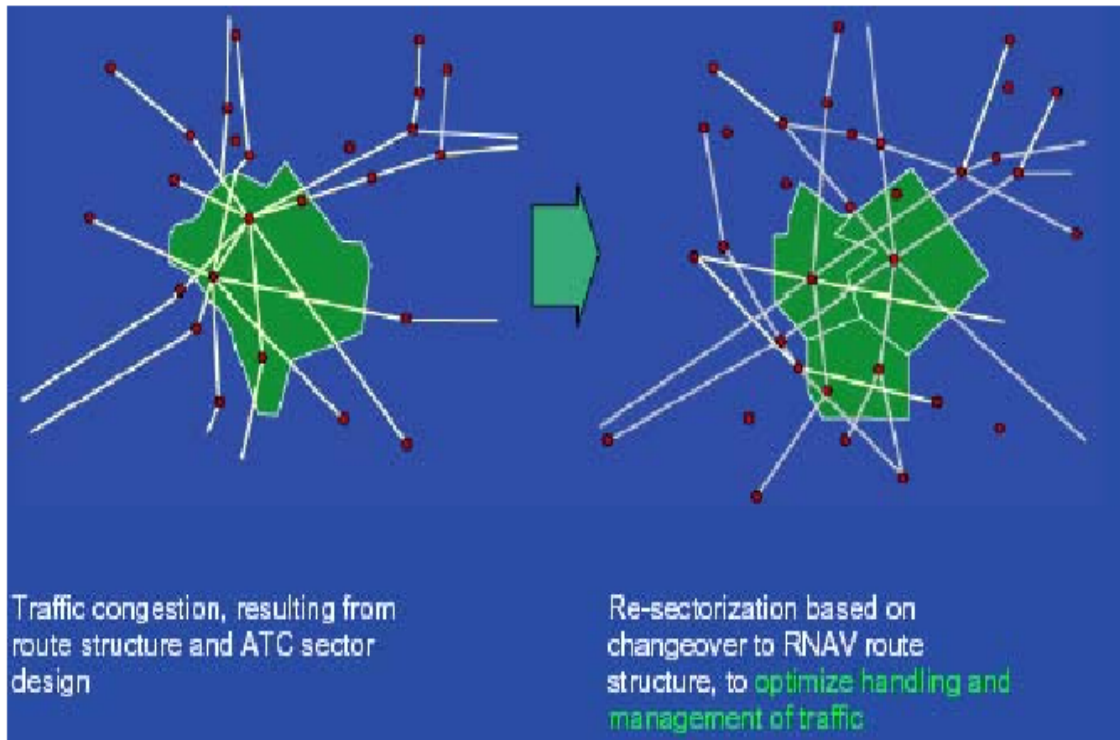


Figura 3: Otimização das terminais  
 Fonte: BOEING, 2008c, p. 2.

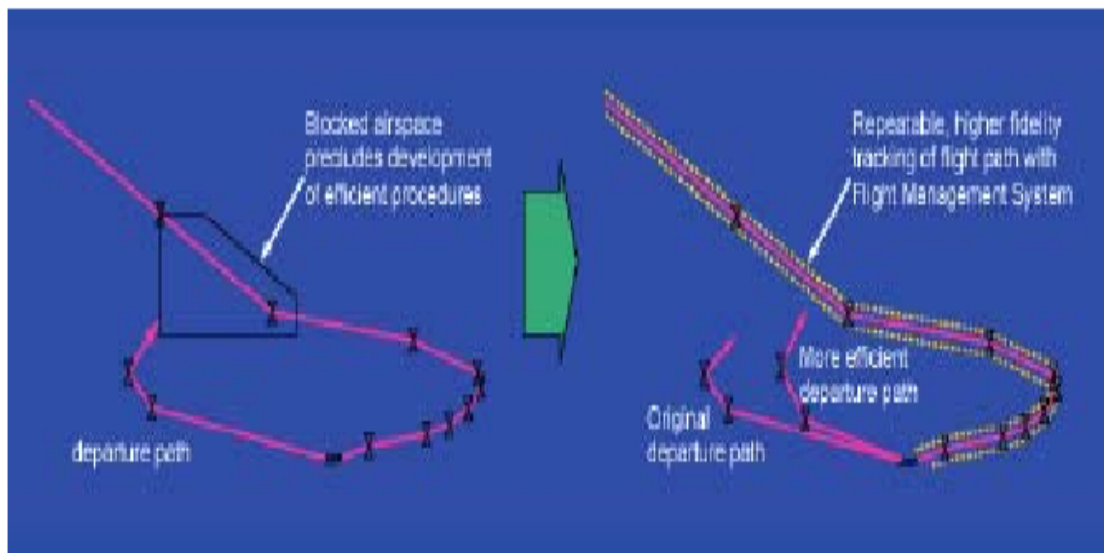


Figura 4: Otimização das saídas por instrumento (SID)  
 Fonte: BOEING, 2008c, p. 5.

### 2.4.2 Descrição dos sistemas

Os equipamentos embarcados permitem que a aeronave navegue através de uma rota definida através de pontos pré-determinados, e devem se basear no banco de dados de navegação, na qual esse sistema seja capaz de cumprir os requisitos de performance e precisão para os requisitos P-RNAV.

A operação P-RNAV deve se basear nos equipamentos que determinam sua posição horizontal automaticamente, usando vários sinais de diversas fontes:

1. DME/DME, sinal atualizado automaticamente pela medida de distância de duas estações em terra;
2. VHF OMNI-DIRECTIONAL RADIO RANGE with DME co located, sinal de uma estação em terra que prove uma radial e distância;
3. *Global Navigation Satellite System (GNSS)*, sinal provido e atualizado por uma constelação de satélites;
4. INS ou IRS, sinal de equipamentos internos, podendo ser atualizados por estações de terra.

### 2.4.3 Precisão do P-RNAV

A precisão do P-RNAV deve prover uma navegação lateral ao longo de uma rota, uma precisão igual ou superior a 0.93KM (0,5NM) para 1 desvio padrão.

#### 2.4.4 Integridade do P-RNAV

Em termos de sistemas embarcados e pela probabilidade de ocorrer erros de indicações ou posição, o sistema deverá prover para ambos os tripulantes meios remotos de monitorar o mesmo (ICAO, 2003).

#### 2.5 NAVEGAÇÃO VERTICAL

A capacidade de navegação vertical nas operações de vôo, provêm uma melhora significativa na segurança das operações de aproximações de não precisão. Um dos principais benefícios da navegação vertical, trata de:

- Trajetórias verticais publicadas servindo de base para aproximações.

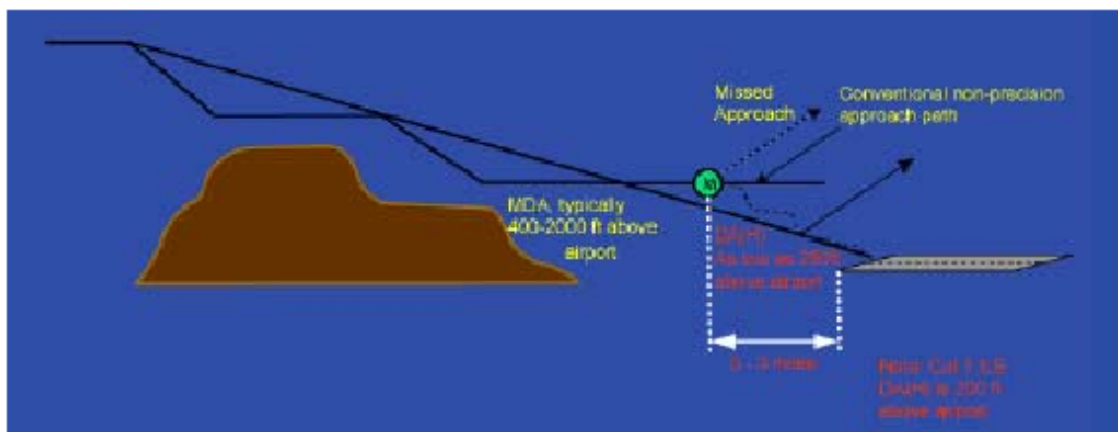


Figura 5: Trajetórias verticais publicadas

Fonte: BOEING, 2008c, p. 13.

#### 2.5.1 Performance da navegação vertical

Os requisitos para uma VNAV baseada em referência barométrica, deve estar homologada para operações RVSM.



Os limites de performance de trajetória vertical não podem ultrapassar +/- 125 FT e +/- 250 FT, sendo esses limites estabelecidos por uma circular do FAA AC 120-29A (BOEING, 2008c).

### 3 RNP E ANP NO BOEING 737 NG

O propósito deste capítulo é prover uma visão geral das capacidades de navegação do BOEING 737 NEW GENERATION, com a adição do GPS adicionando novas funções ao FMCS do mesmo.

#### 3.1 ANP do BOEING 737 NG

ANP é a posição atual calculada pelos sistemas de navegação em associação com o FMC. Essa posição é expressa em termos de milhas náuticas, na qual representa um raio de um círculo, e no centro desse círculo se encontra a posição da aeronave calculada pelo FMC e a probabilidade de a aeronave estar dentro deste círculo, é de 95% (BOEING, 2008b).

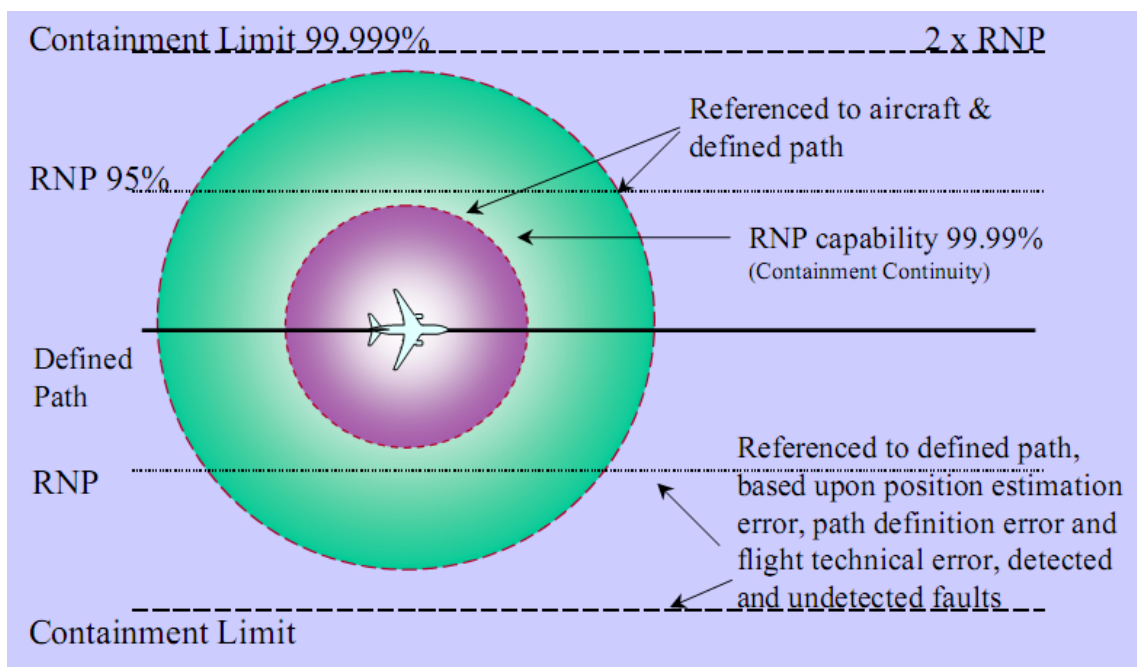


Figura 6: RNP e RNP 2X  
Fonte: BOEING, 2008a, p. 51.

Mas o sistema com intenção de prover uma maior segurança, prevê o RNP 2X, que garante a probabilidade de a aeronave estar contida dentro desse círculo maior, se de 99,999%, e a probabilidade de falhas é de  $1 \times 10^{-5}$  por hora de voo.

### 3.2 ANP COM ATUALIZAÇÃO POR GPS

A precisão calculada pelo FMC, quando o *update* está sendo realizado pelo GPS, leva em consideração 2 erros:

- A) Erros de posição induzidos pela constelação de satélites;
- B) Erros induzidos nos sensores de navegação embarcados.

A integridade da posição do GPS no FMC é feita através do monitor autônomo de integridade. Esse monitor deve conter um nível de segurança que seja da ordem  $1 \times 10^{-7}$  por hora de voo. O RAIM calcula a posição num raio determinado, que leva em consideração erros devidos a distâncias falsas etc (BOEING, 2008a).

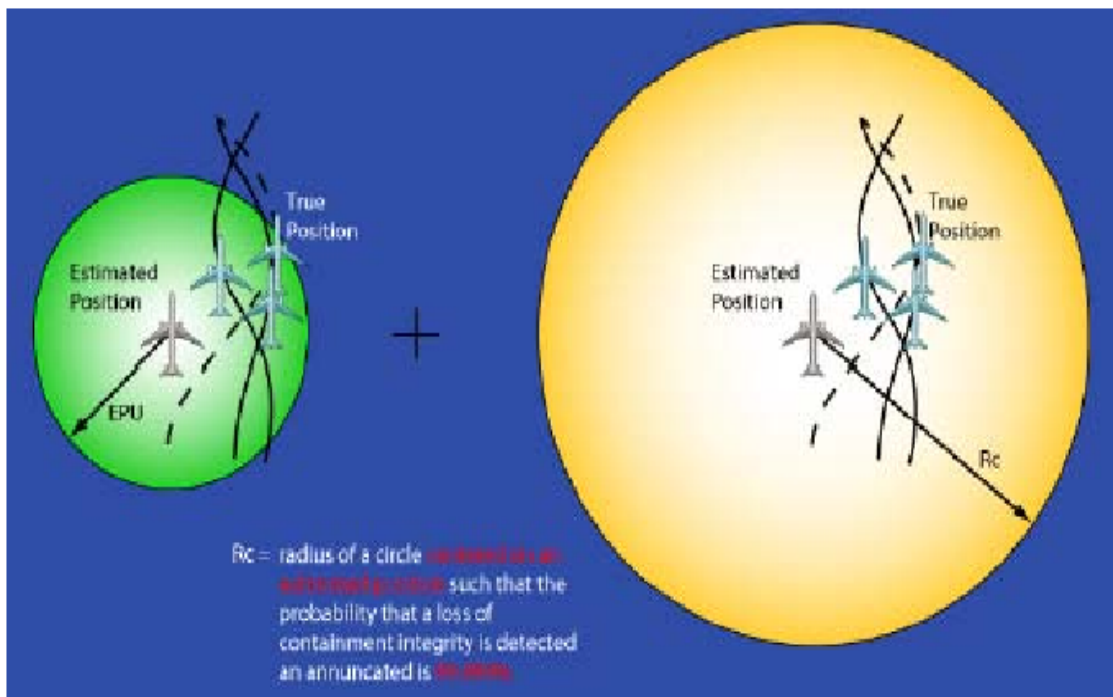


Figura 7: Determinação da posição pelo GPS

Fonte: BOEING, 2008c, p. 7.

Portanto, sua posição é determinada em função da seguinte fórmula:

$$\text{Raio} = 0,64 * \text{ANP}$$

Esse raio representa 95% dos erros totais de posição.

### 3.3 ANP ATUALIZADO POR AUXÍLIOS EM TERRA

Quando o FMC calcula a posição usando somente sinais de auxílios a navegação ou sinais do IRS, considera alguns erros:

- 1) Erros de posição induzidos por auxílios a navegação;
- 2) Erros devidos aos modos de operação do IRS;
- 3) Erros dos sensores embarcados.

Devemos analisar dois casos, operação normal ou falha na detecção.

Para operação normal, o cálculo de ANP é feito através do eixo principal de uma posição elíptica. As razões entre o eixo secundário e o eixo principal, são de 0,90 para regiões de rotas e terminais, e para aproximações 0,80. As diferentes razões são devidas às disposições dos auxílios em terra (BOEING, 2003b).

O ANP atual está contido dentro dos 95 % do círculo, e sua posição é uma variação entre os eixos principais e os auxiliares.

Sua posição pode ser determinada pela fórmula:

$$\text{ANP} = 2,45 * S_{\text{max}}$$

Aonde  $S_{\text{max}}$  = Desvio padrão de posição do eixo principal

$$\text{Raio} = 2,45 * (0,5 * (S_{\text{major}} + S_{\text{minor}}))$$

Aonde  $S_{\text{major}}$  = Desvio padrão do eixo principal

$S_{\text{minor}}$  = Desvio padrão do eixo secundário

o equivalente em termos de ANP é

Raio =  $0,95 \cdot \text{ANP}$  (Operações em rota)

Raio =  $0,90 \cdot \text{ANP}$  (Operações em aproximações) (BOEING, 2003b).

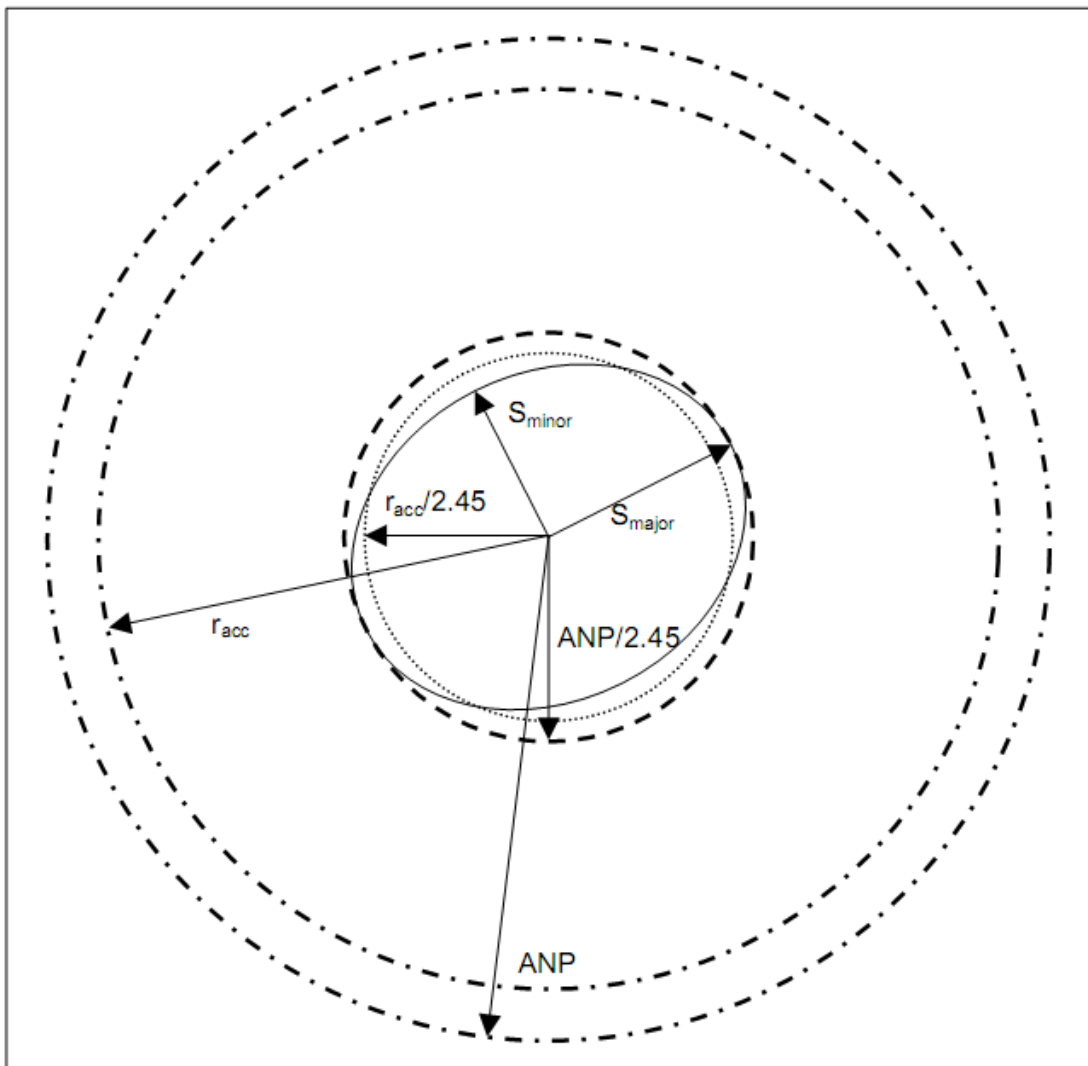


Figura 8: Determinação da posição com auxílio a navegação

Fonte: BOEING, 2008b, p. 7.

Análise do segundo caso, falha no sensor ou perda de sinal.

Historicamente, os erros desse sistema são devidos a características dos auxílios à navegação, ou erros nos banco de dados de navegação.

Mas se compararmos a não detecção de sinais de VOR ou DME, suas chances de erro são da ordem de  $1 \times 10^{-5}$  por hora de vôo, entretanto, os erros causados por falha nos bancos de dados de navegação, estão por volta de  $1 \times 10^{-3}$  e  $1 \times 10^{-4}$  por hora de vôo.

Mas o FMC está em atualização contínua, e quando percebe uma diferença entre sua posição e a posição dos auxílios rádio ultrapasse  $1,02 \times \text{ANP}$ , o FMC rejeita esse auxílio, não contabilizando para seu 'update' (BOEING, 2008b).

### 3.4 ANP VERTICAL

A performance de navegação vertical é uma posição estimada, derivada de dados do ar, sem considerar cálculos de limite de integridade (BOEING, 2008b).

Sua posição é expressa em pés, e a probabilidade de a aeronave se encontrar na posição determinada, é de 99,7%, e seus requisitos são estabelecidos através de uma AC 20-129.

O ANP vertical não considera alguns erros:

- 1) erros causados por softwares, hardwares no FMC ou sensores;
- 2) FLIGHT TECHNICAL ERROR (FTE): Representa os erros causados pelos sistemas de direção. A habilidade de seguir uma trajetória com várias condições de vento ou a habilidade de pilotar manualmente mantendo a aeronave na rota usando VNAV (diretor de vôo) ou indicações de desvio vertical. O projeto do cockpit do 737NG com FMCS provê do FTE a tripulação através de escalas de desvio vertical e lateral no mapa eletrônico, VNAV acoplado ou desacoplado, piloto automático acoplado ou desacoplado ao diretor de vôo, ambos os modos citados também vão ter

informações de desvios verticais e laterais em forma de escalas no PRIMARY FLIGHT DISPLAY (PFD) mas esta função é opcional aos operadores;

- 3) erros nos bancos de dados de navegação, como altitudes inseridas manualmente;
- 4) diferenças entre coordenadas locais ou outro protocolo, não sendo o WORLD GEODETIC SYSTEM 84 (WGS 84);
- 5) efeito da temperatura na altitude barométrica. O ANP vertical não contabiliza as variações na ICAO STANDARD ATMOSPHERE (ISA).

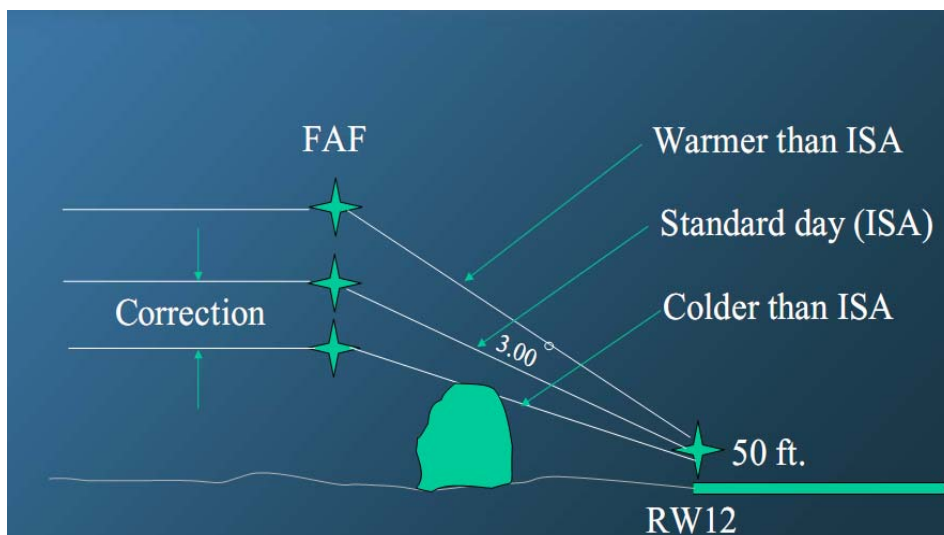


Figura 9: Variação da ISA

Fonte: SMARTCOCKPIT, 2008a, p. 56.

Entretanto, o ANP vertical também considera erros no sistema de altimetria, incluindo alguns fatores:

1. degradação ou manutenção nos sistemas de dados do ar;
2. precisão no cálculo dos dados do ar Aeronautical Radio Incorporated (ARINC 706).

#### 4 RNP BOEING 737 NEW GENERATION

Para o FMCS, o RNP está definido como a performance necessária para operação em um espaço aéreo definido.

O RNP indica os requisitos de precisão, integridade e disponibilidade dos sinais de navegação, contando também com os requisitos dos equipamentos de navegação para uma área específica, rota ou operação.

A Control Display Unit (CDU), mostra os valores de RNP/ANP que estão contidos nos bancos de dados de navegação, ou podem ser inseridos manualmente. O ANP e RNP vertical, da mesma forma, podem ser inseridos manualmente ou estão contidos nos bancos de dados de navegação (BOEING, 2008b).

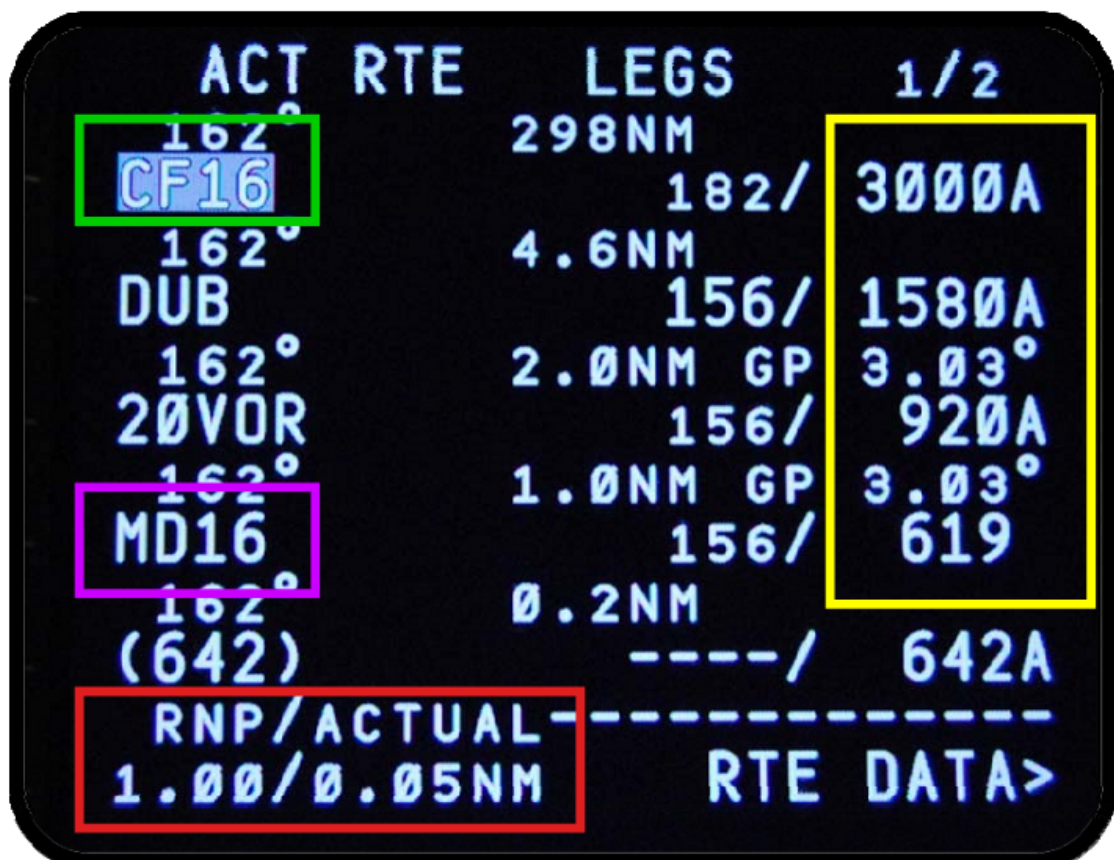


Figura 10: Apresentação do RNP/ANP na CDU

Fonte: SMARTCOCKPIT, 2008b, p. 6.



A mensagem “UNABLE REQD NAV PERF-RNP” na ‘CDU scratch pad’, em conjunto com os anunciadores, mostra a luz âmbar no ‘FMC alert light’. Tal ocorre quando o ANP é maior que o RNP (BOEING, 2008b).

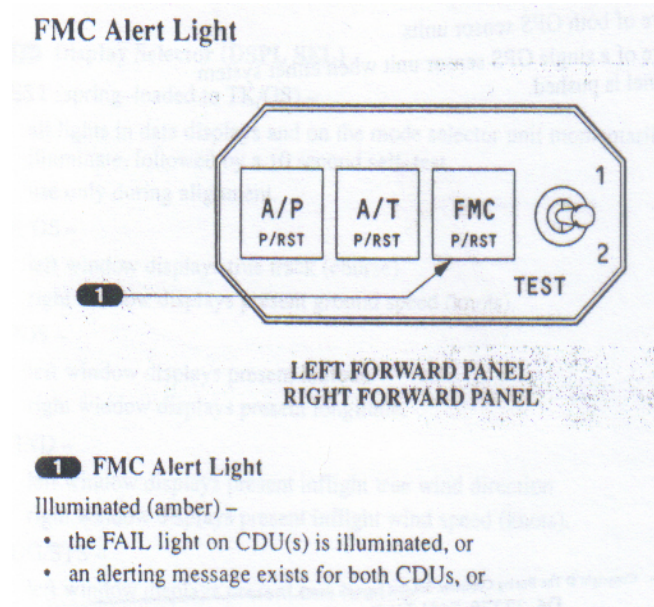


Figura 11: FMC Alert Light  
Fonte: BOEING, 2005, p. 11.10.5.



Figura 12: Localização do FMC Alert Light  
Fonte: AILINERS.NET, 2008.

Quando estiver operando em modo de aproximação, o valor de RNP pode ser obtido através do banco de dados de navegação ou ser inserido manualmente.

Quando o ANP excede o RNP, o mesmo é disponibilizado no mapa eletrônico.

Os valores da certificação inicial de RNP, são obtidos através da seguinte figura:

Phase of Flight	Default RNP (NM)	Vertical RNP (Full Scale Vertical Deviation for NPS)	"UNABLE REQD NAV PERF-RNP" Msg (Manual RNP)	Time To Issue Message (seconds)
Enroute Oceanic	12.0	400ft	CDU & FMC Light	80
Enroute Domestic	2.0	400ft	CDU & FMC Light	80
Terminal	1.0	400ft	CDU & FMC Light	60
Approach	0.5 (0.3 with IAN or NPS with GPS)	400ft	CDU, EHSI Map & FMC Light	10

Figura 13: Valores de RNP padrão de fábrica

Fonte: BOEING, 2008b, p. 13.

A definição de fábrica para cada fase de voo é dada abaixo:

Áreas Oceânicas: "update", por auxílios limitados, com ou sem cobertura de auxílios.

Em Rota: Aeronave acima de 15.000 FT e 'update', de rádio auxílio viável.

Terminal: Aeronave abaixo de 15.000 FT, e não configurada em fase de aproximação.

Aproximação: Aeronave 2 NM após o primeiro fixo de aproximação ou em transição para aproximação, ou a aeronave está abaixo de 2.000 FT e se encontra também 2.000 FT ou acima da elevação do aeródromo (BOEING, 2008b).

#### 4.1 PRECISÃO DO RNP

Precisão do RNP é 95% da posição horizontal, num determinado raio em torno da posição calculada. E também são indicados os erros normais dos sistemas de navegação.

A Precisão do RNP considera alguns erros:

- 1) erros de posição induzidos pela posição da constelação de satélites ou auxílios de navegação;
- 2) erros de posição induzidos pelos sensores de navegação da aeronave;
- 3) erros de posição no FMC;
- 4) FLIGHT TECHNICAL ERROR.

Entretanto, para determinação do RNP, alguns erros não são considerados:

- 1) erros de hardware ou software no FMC ou nos sensores;
- 2) erros na fonte de tempo, quando a mesma reporta posição para o órgão ATS;
- 3) erros devidos a coordenadas geográficas inseridas manualmente;
- 4) diferenças entre os protocolos de coordenadas geográficas que não sejam o WGS-84 (BOEING, 2003b).

## 4.2 INTEGRIDADE DO RNP

A integridade é representada horizontalmente, determinada em torno de um raio da posição calculada pelo FMC.

A integridade do sistema considera alguns erros:

- 1) erros de posição induzidos pela posição da constelação de satélites ou auxílios de navegação;
- 2) erros de posição induzidos pelos sensores de navegação da aeronave;
- 3) erros de posição no FMC;
- 4) FLIGHT TECHNICAL ERROR.

Assim como a precisão do RNP, a integridade do sistema desconsidera alguns erros:

- 1) erros de hardware ou software no FMC ou nos sensores;
- 2) erros na fonte de tempo, quando a mesma reporta posição para o órgão ATC;
- 3) erros devidos a coordenadas geográficas inseridas manualmente;
- 4) diferenças entre os protocolos de coordenadas geográficas que não sejam o WGS-84.

O Nível de proteção de um dado RNP depende de seu ambiente de operação. Para operações em rota e terminais e separações de rota, o nível de proteção é de  $1 \times 10^{-5}$  por hora de vôo. Para terminais e aproximações, é de  $1 \times 10^{-7}$  por hora de vôo (BOEING, 2008b).

### 4.3 RNP VERTICAL – PRECISÃO

Em termos de certificação, o RNP garante 99.7% de probabilidade de estar cumprindo o requerido. Alguns erros são considerados para operação normal:

- 1) erros de posição vertical induzidos pelos sensores de dados do ar embarcados;
- 2) erros de cálculos nas trajetórias verticais;
- 3) *Vertical Flight Technical Error*.

Erros não considerados:

1. erros de hardware ou software no FMC ou nos sensores;
2. erros de restrições verticais salvas erradas nos bancos de dados de navegação ou inseridas erradas manualmente;
3. erro de acoplamento horizontal;
4. efeito da temperatura no sistema altimétrico;
5. erros de trajetória, diferenças entre trajetórias pré-programadas no banco de dados de navegação ou trajetórias inseridas manualmente.

## 5 INTERFACE DA TRIPULAÇÃO COM UPDATE PARA RNP E GPS

A interface para a tripulação ter acesso aos GPS e RNP, está contida na CDU, e essas informações são disponibilizadas em forma de páginas. E também nessas páginas são disponibilizadas algumas funções de controle (BOEING, 2008b).

### 5.1 PÁGINA DE REFERÊNCIA DE POSIÇÃO 2/3

	1	5	1	1	2	2
	0	5	0	5	0	4
				P O S	R E F	2 / 3
	F M C	P O S				G S
1L	N 4 7 °	3 2 . 5	W 1 2 2 °	3 2 . 5	2 8 5	K T
	I R S	L				
2L	N 4 7 °	3 2 . 4	W 1 2 2 °	2 1 . 6	2 8 4	K T
	I R S	R				
3L	N 4 7 °	3 2 . 4	W 1 2 2 °	1 5 . 6	2 8 6	K T
	G P S	L				
4L	N 4 7 °	3 2 . 4	W 1 2 2 °	3 2 . 5		
	G P S	R				
5L	N 4 7 °	3 2 . 4	W 1 2 2 °	3 2 . 6		
	R A D I O					
6L	N 4 7 °	3 2 . 4	W 1 2 2 °	3 3 . 2		

Figura 14: Página de referência de posição 2/3

Fonte: BOEING, 2008b, p. 17.

#### Linha 1 Left, posição do FMC

Mostra LAT/LON calculada pelo IRS. Pode ser copiada para o 'scratchpad' e colada na linha 4 direita da página posição inicial. Se o campo estiver em branco, a posição do FMC é inválida.

### **Linhas 2L-3L IRS-L/IRS-R POS**

Disponibiliza as posições dos sensores IRS em termos de LAT/LON, e também podem ser copiadas para o 'scratchpad' e colocadas na linha 4R na página posição inicial 1/3. Se essas estiverem em branco, a posição dos sensores IRS é inválida (BOEING, 2008b).

### **Linhas 4L-5L GPS-L/GPS-R POS**

Mostra as posições dos sensores GPS em termos de LAT/LON. Assim como os outros sensores, suas coordenadas podem ser copiadas para o 'scratchpad' e coladas na linha 4R da página posição inicial. Se a linha estiver em branco, a posição dos sensores GPS é inválida. E se não aparecer nada nessas linhas, os sensores estão desabilitados.

### **Linha 6L – Posição dos rádios de navegação**

Mostra a posição dos rádios calculada pelo FMC, e também pode ser copiada e colada na linha 4R da página posição inicial. Sua linha vai estar em branco quando a aeronave estiver em solo ou quando a posição dos rádios for inválida (BOEING, 2008b).





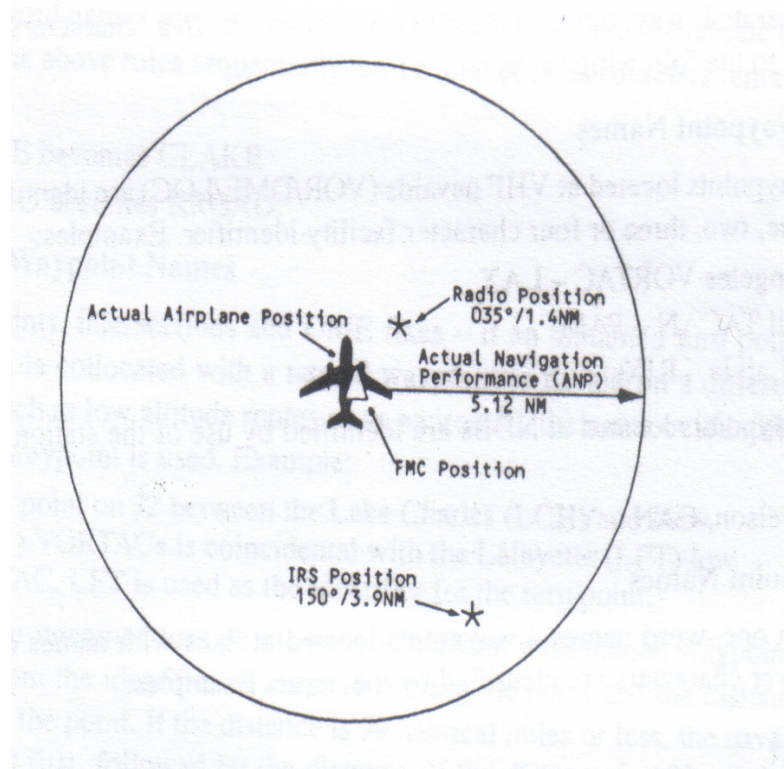


Figura 16: Posição atual do FMC  
 Fonte: BOEING, 2005, p. 11.31.7.

### **Linhas 1L e 1R FMC-L/FMC-R**

Posição atual do FMC-L ou FMC-R em relação à posição atual do FMC, mostrada na página POS REF linha1L. Permite ao tripulante verificar a discrepância e deletar a posição desejada.

### **Linhas 2L, 2R GPS-L/GPS-R**

Posição atual dos sensores GPS e sua posição, é relativa à posição do FMC mostrado na página POS REF linha1L. Também permite ao tripulante verificar a discrepância dos sensores em relação à posição desejada (BOEING, 2008b).

### **Linhas 3L& 3R IRS-L/IRS-R**

Posição atual dos sensores IRS e sua posição, é relativa ao FMC mostrada na página POS REF Linha 1L.





**Linhas 1L & 1R DME INHIBIT**

Poderão ser inseridos 2 auxílios à navegação, e poderão ou não ser desconsiderados para o 'update' do sistema.

**Linhas 2L & 2R VOR INHIBIT**

Poderão ser inseridos 2 VOR, que poderão ou não ser desconsiderados para o 'update' do sistema.

**Linha 3L DME UPDATE ON/OFF**

Possibilita ao tripulante descartar o 'update' do sistema por DME.

**Linha 4L VOR UPDATE ON/OFF**

Possibilita ao tripulante descartar o 'update' do sistema por VOR.

**Linha 3R GPS UPDATE ON/OFF**

Possibilita ao tripulante descartar o 'update' do sistema por GPS (BOEING, 2008b).



5.6 PÁGINA DE PROGRESSO DO RNP

				R	N	P		P	R	O	G	R	E	S	S				4	/	4					
		2	8	6	°				6	.	1	N	M			G	P	3	.	0	°					
1L		<b>F</b>	<b>F</b>	<b>2</b>	<b>8</b>									1	5	0	/	2	9	0	0	1R				
		R	N	P	/	A	C	T	U	A	L		V	E	R	T		R	N	P	/	A	N	P		
2L		0	.	5	0	/	0	.	2	1	N	M			4	0	0	/	8	0	F	T	2R			
		X	T	K		E	R	R	O	R						V	E	R	T		D	E	V			
3L		L	0	.	0	6	N	M													4	5	H	I	3R	
4L																								4R		
5L																								5R		
		R	N	P	.	.	A	P	P	R	O	A	C	H	.	.	V	E	R	T		R	N	P		
6L		0	.	5	0	N	M														4	0	0	F	T	6R

Figura 20: Página de progresso do RNP  
 Fonte: BOEING, 2008b, p. 22.

**Linhas 1L & 1R Próximo ponto ativo**

Repete o dado da página atual de rotas.

**Linha 2 L RNP/ANP**

Mostra o valor do RNP e, ao seu lado, o ANP. Se o RNP for inserido manualmente, será usada uma fonte maior para mostrá-la.

**Linha 2 R ANP/RNP VERTICAL**

Mostra o valor do RNP vertical e, ao seu lado, o ANP vertical. Se o RNP vertical for inserido manualmente, será usado um fonte maior para diferenciar.

**Linha 3 L 'XTK ERROR'**

Erro de desvio lateral corresponde ao FTE atual.

**Linha 6 L RNP nas aproximações**

O valor de RNP está associado a fase de voo atual. Entretanto, se um valor de RNP for inserido manualmente, será mostrado no campo apropriado. Mas se o valor do RNP estiver contido no banco de dados de navegação, o FMC irá comparar os dois valores e vai mostrar o menor deles. Seu modo normal de operação irá disponibilizar o RNP VERTICAL padrão de fábrica (400FT) (BOEING, 2008b).

**5.7 MENSAGENS NA SCRATCH PAD DA CDU****UNABLE REQD NAV PERF-RNP**

Essa mensagem indica que o valor do ANP está maior que o RNP em termos laterais. Em fase de aproximação, será mostrado também no mapa do EHSI.

**VERIFY POSITION**

Essa mensagem indica à tripulação que as diferenças entre os sensores GPS ou a posição dos rádios calculada pelo FMC, e também as posições dos sensores do FMC, estão excedendo o RNP (BOEING, 2008b).

**VERIFY RNP**

A mensagem indica aos tripulantes que o valor de RNP inserido manualmente, ultrapassou o valor padrão de fábrica contido nos bancos de dados de navegação.

**VERIFY RNP VALUE**

Se um valor de RNP for inserido manualmente e esse valor for menor que o ANP, será emitida uma mensagem.

**NAV INVALID TUNE**

Dados de uma estação VOR não podem ser exibidos, pois não estão mais disponíveis.

**VERIFY VERTICAL RNP**

Se o RNP vertical inserido for menor do que o ANP vertical, será emitida uma mensagem.



## 5.8 INDICAÇÕES DE FALHA DOS GPS

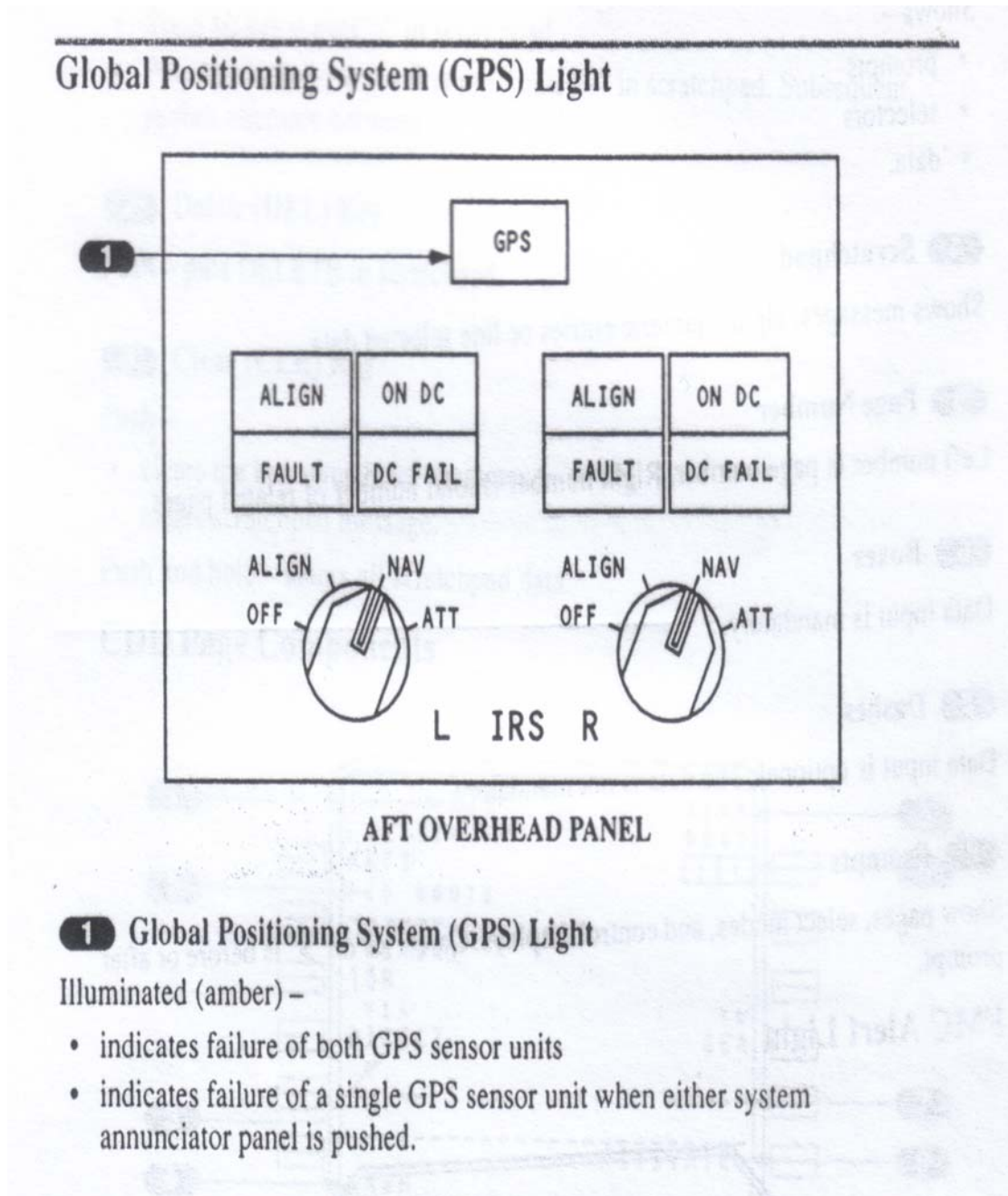


Figura 21: Luz de indicação de falhas do GPS

Fonte: BOEING, 2005, p. 11.10.6.

As falhas do GPS são mostradas à tripulação através da “GPS LIGHT”, na unidade de controle da IRS, e também são disponibilizadas no painel de “recall” (BOEING, 2008b).

## 5.9 PERFORMANCE DAS ESCALAS DE NAVEGAÇÃO

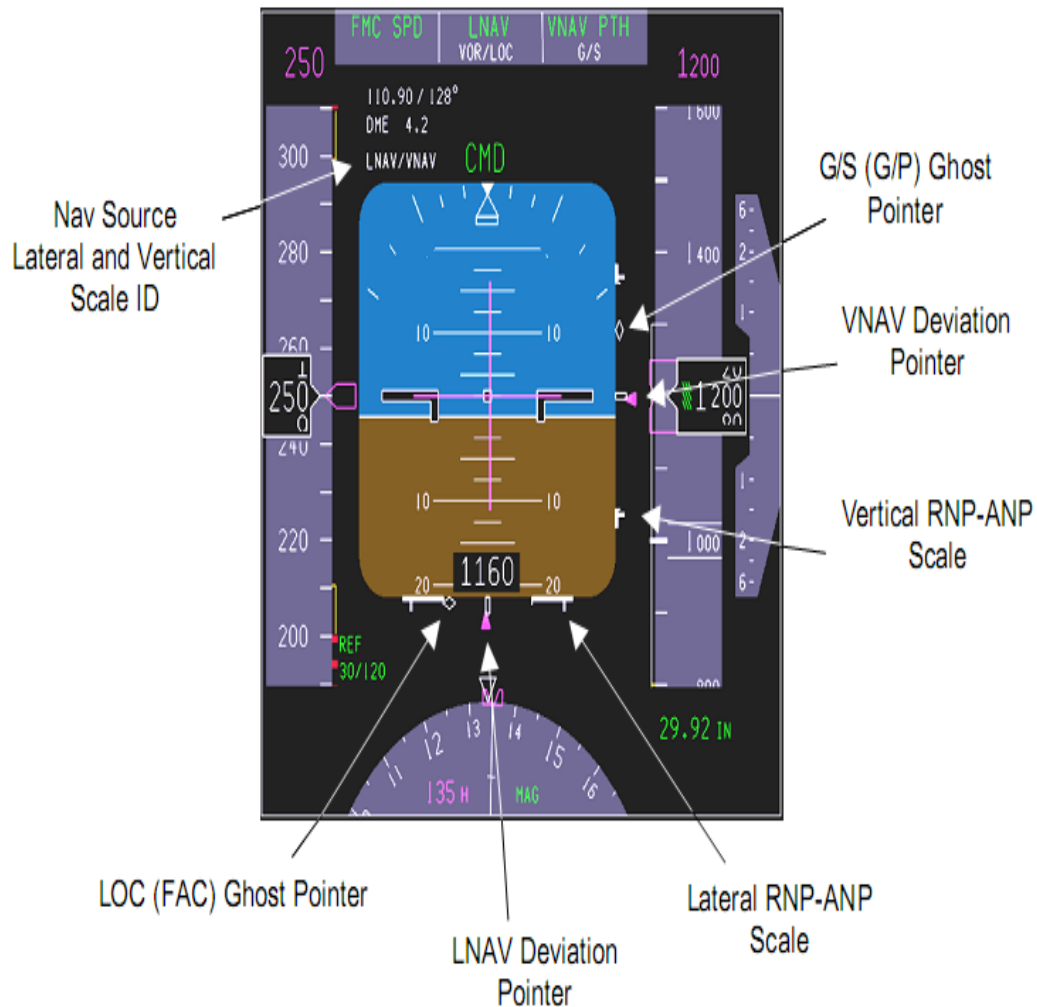


Figura 22: Escalas de navegação

Fonte: BOEING, 2008b, p. 25.

As escalas de navegação são opcionais aos operadores (ANEXO A), fornecem o FTE vertical e horizontal instantâneo nas telas de PFD/EADI, e junto também o ACTUAL NAVIGATION PERFORMANCE. Essas escalas ajudam a aumentar a consciência situacional principalmente em operações que requerem valores de RNP muito baixos (BOEING, 2008b).

A Figura 22 nos mostra a porção central do PFD, com suas respectivas escalas de navegação. A escala lateral localizada logo abaixo do indicador de atitude, e a vertical ao lado do indicador de altitude. Os limites das escalas representam o RNP de cada uma, e esse valor é variável de acordo com a fase do voo. Normalmente as barras brancas indicam o desvio permitido, e um indicador em forma de triângulo na cor magenta indica o desvio atual em relação à rota desejada.

Em situações que o indicador de posição atual ultrapassar os limites das escalas e se o comando de rolagem estiver engatado em modo “LNAV”, as escalas trocam a sua cor para âmbar e o ponteiro irá piscar por 10 segundos (BOEING, 2008b).

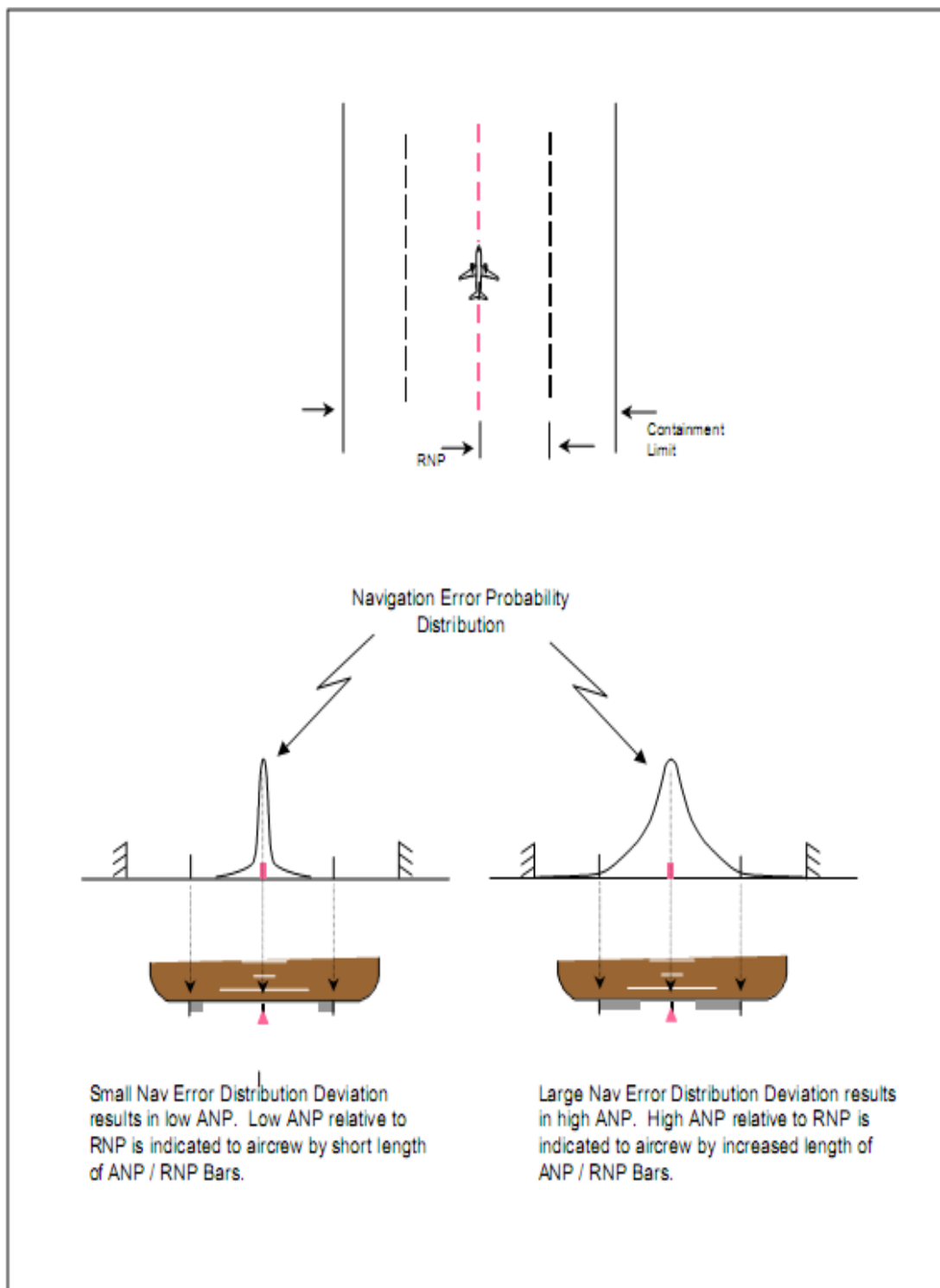


Figura 23: Escala de performance lateral – Flight Technical Error

Fonte: BOEING, 2008b, p. 26.

A Figura 23, nos mostra dois casos de escalas laterais, mudando somente os valores de ANP e considerando os limites do FTE.

O valor atual do ANP serve de base para comparar o FTE da escala. Os limites laterais são desenvolvidos para os requisitos do RNP:

- RNP 95%;
- RNP 2X 99,9999%.

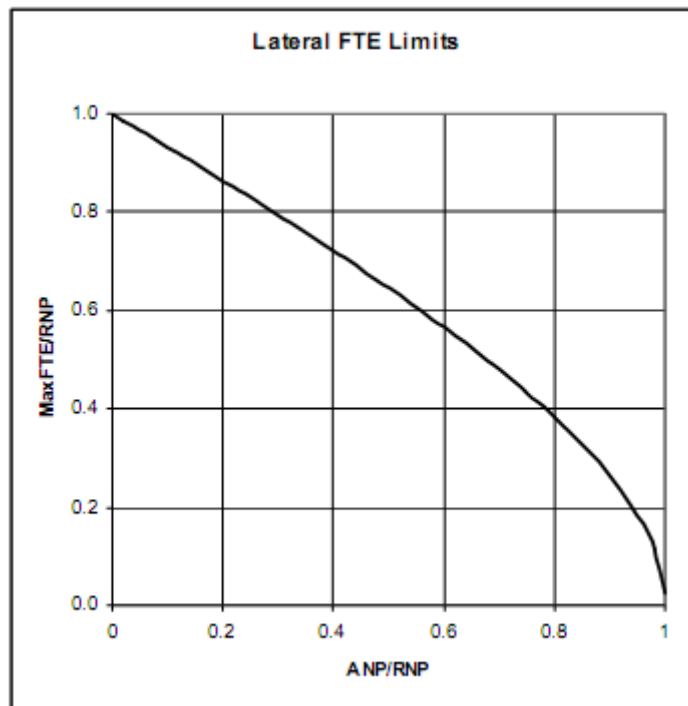


Figura 24: ANP *versus* FTE

Fonte: BOEING, 2008, p. 27.

A Relação da Figura 24, é baseada no efeito do FTE *versus* ANP/RNP. A função que determina a curva é dada através dessa fórmula:

$$FTE = \text{SQRT} (1 - 1,33 * (RNP/ANP) + 0,33 (ANP/RNP)^2)$$

Os limites do FTE vertical são definidos pela altitude da aeronave *versus* a altitude real da aeronave, e sua probabilidade é de 99.7%. Os limites são calculados pelo RNP vertical e o ANP vertical (BOEING, 2008b).

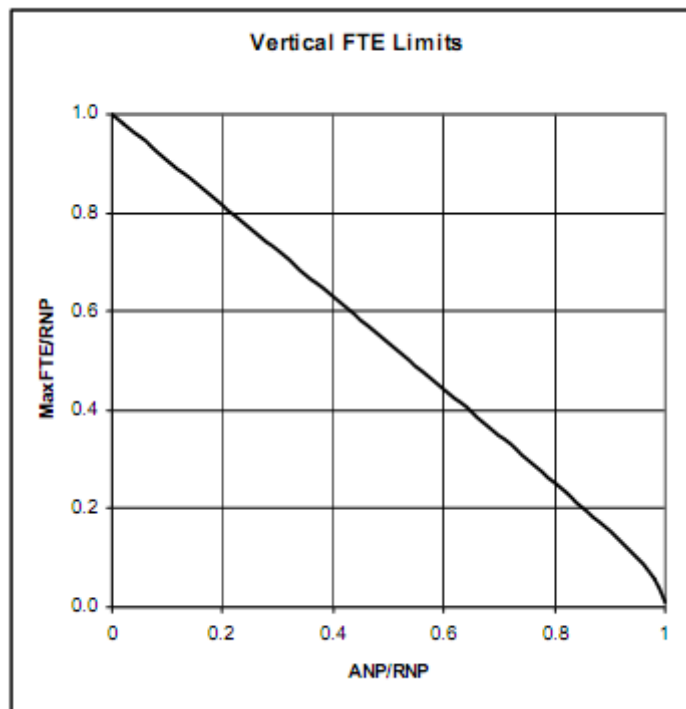


Figura 25: ANP ou RNP vertical *versus* FTE

Fonte: BOEING, 2008b, p. 28.

A Figura 25 representa o FTE vertical *versus* ANP/RNP, e sua função é determinada através da seguinte fórmula:

$$\text{Max VFTE} = \text{SQRT} (1 - 1.85 * (\text{VANP}/\text{VRNP}) + 0.85 * (\text{VANP}/\text{VRNP})^2 )$$

## 5.10 INSTRUMENT APPROACH NAVIGATION

A navegação integrada de aproximação, permite ao FMS realizar aproximações de não precisão, como se fosse uma aproximação ILS.

Essa capacidade consiste em o FMS calcular o curso de aproximação final e a rampa de planeio. Isso ocorre automaticamente, podendo a aproximação ser feita 'na mão' ou com o piloto automático engatado (BOEING, 2008b).

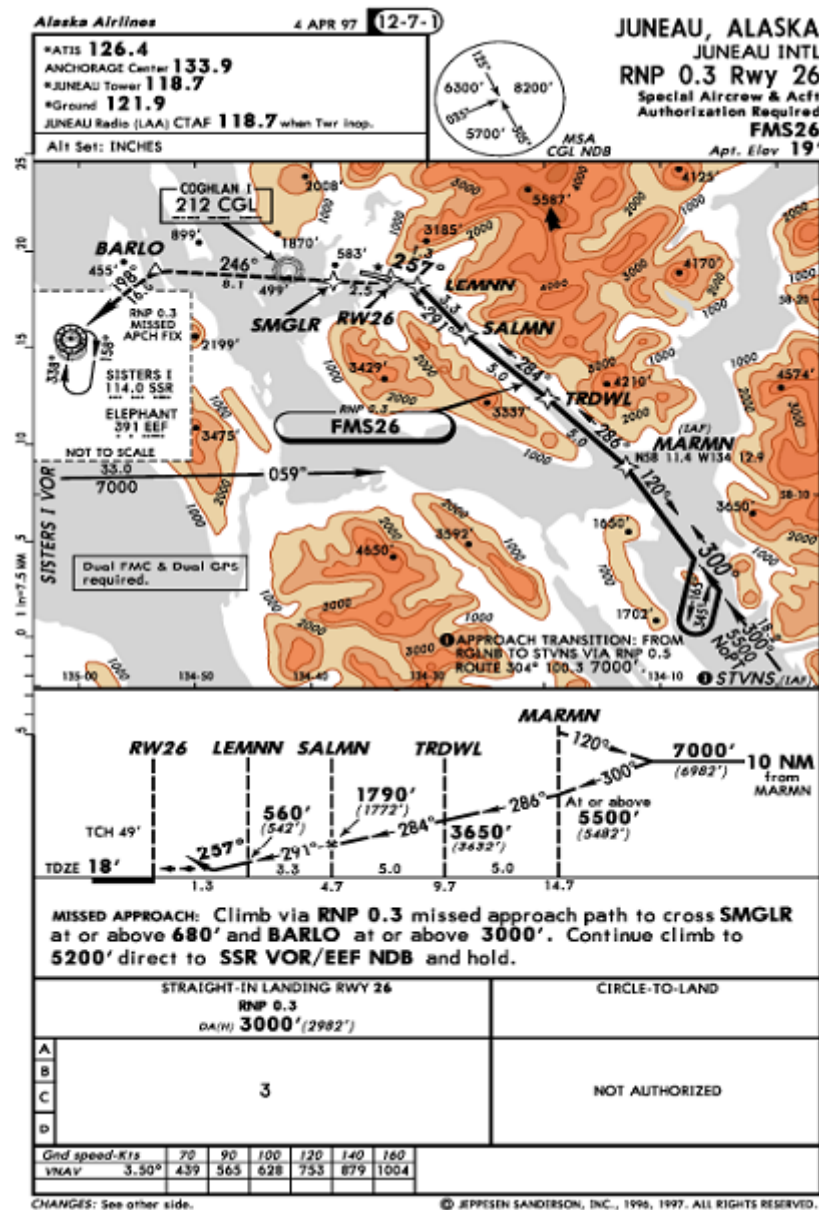


Figura 26: Exemplo de instrument approach navigation

Fonte: BOEING, 2008b, p. 48.

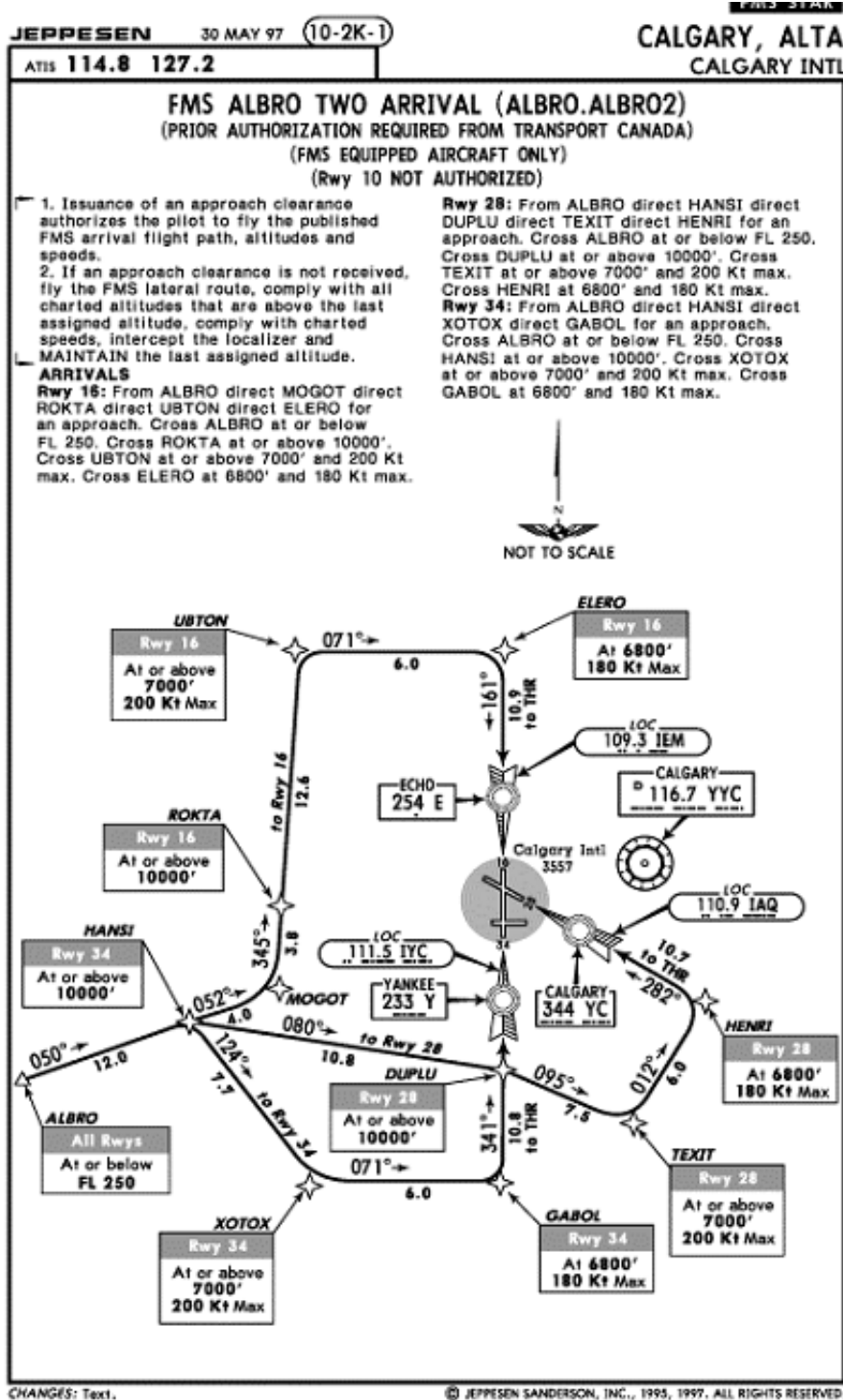


Figura 27: Outro exemplo de instrument approach navigation

Fonte: BOEING, 2008b, p. 49.



## **6 DEFINIÇÃO DAS CAPACIDADES DE NAVEGAÇÃO DOS SISTEMAS**

As definições abaixo são relacionadas em termos de meios primários de navegação e meios suplementares de navegação.

### **6.1 MEIOS PRIMÁRIOS DE NAVEGAÇÃO EM RELAÇÃO AO RNP**

Meios primários são os sistemas que garantem a probabilidade acima de 99.999% do tempo total de voo, considerando que o ANP é menor que o RNP. Se houver perda dos sinais de navegação e os equipamentos de navegação da aeronave confirmarem perda dos meios primários de navegação, poderá resultar numa mudança dos equipamentos de navegação para modo 'reserva' ou mudar o valor de RNP.

### **6.2 MEIOS SUPLEMENTARES DE NAVEGAÇÃO**

Método de navegação suplementar não garante a probabilidade de 99,999 % do tempo total de voo. Considera-se que o ANP é menor que RNP, e se a falha ocorrer, a aeronave terá que modificar seu RNP.

Number of Satellites In GPS Constellation	FMCS/GPS/IRS Navigation Performance Capability Versus Selected RNP					
	RNP 12.0	RNP 4.0	RNP 2.0	RNP 1.0	RNP 0.5 RNP 0.3	RNP 0.15
24 or more	PRIM	PRIM	PRIM	PRIM	SUPP*+	SUPP+
23	PRIM	PRIM	PRIM	SUPP*+	SUPP*+	SUPP+
22	PRIM	PRIM	SUPP*+	SUPP*+	SUPP*+	SUPP+
21	PRIM	SUPP*+	SUPP*+	SUPP*+	SUPP*+	SUPP+

Note: RNP 4.0, 0.3, 0.15 require manual pilot selection.

Figura 28: Capacidade de navegação *versus* RNP

Fonte: BOEING, 2008b, p. 31.

PRIM: Meios primário de navegação.

SUPP: Meios suplementares de navegação (BOEING, 2008b).

## 7 CAPACIDADE DE NAVEGAÇÃO

A Capacidade de navegação da aeronave é definida pela disponibilidade de sinais de navegação na posição atual, considerando que os sensores embarcados estejam funcionando (BOEING, 2008b).

### 7.1 DISPONIBILIDADE DE GPS/FMC/IRS PARA DETERMINADOS VALORES DE RNP

Number of Satellites In GPS Constellation	FMCS/GPS/IRS World-Wide Availability of Selected RNP						
	RNP 12.0	RNP 4.0	RNP 2.0	RNP 1.0	RNP 0.5	RNP 0.3	RNP 0.15
24 or more.	>99.999%	>99.999%	>99.999%	>99.999%	>99.99%	>99.98%	>98.84%
23	>99.999%	>99.999%	>99.999%	>99.98%	>99.86%	>99.46%	>94.68%
22	>99.999%	>99.999%	>99.97%	>99.78%	>99.17%	>97.82%	>88.50%
21	>99.999%	>99.98%	>99.80%	>99.15%	>97.54%	>94.59%	>80.59%

Note: RNP 4.0, 0.3, 0.15 require manual pilot selection.

Figura 29: Disponibilidade mundial dos sinais *versus* determinados valores de RNP

Fonte: BOEING, 2008b, p. 30.

A Figura 29 é um sumário da disponibilidade dos sinais do FMC/GPS/IRS *versus* um determinado valor de RNP.

## 7.2 MÉTODO PRELIMINAR PARA PREVER A DISPONIBILIDADE DO RNP PARA GPS/IRS/FMC

As companhias aéreas usam o método para prever a disponibilidade do sinal do GPS. Esse método é usado para indicar a disponibilidade e precisão do sinal GPS e RAIM, que provê a integridade durante todo tempo de voo.

O programa usado para prever a disponibilidade dos sinais de satélites GPS, deve ser capaz de identificar satélites que não estejam mais em operação através de NOTAM.

Essa capacidade de prever pode ser feita no despacho de voo via comunicações de dados. Se os operadores estiverem usando as escalas de navegação e a fase do voo requerer um RNP  $\geq 1.0$  NM, o programa de previsão de disponibilidade de sinais GPS não é requerido (BOEING, 2008b).

Se as escalas de navegação estão sendo usadas e a rota a for cumprida e coberta por auxílios à navegação e sinais de satélites GPS, os valores de ANP serão os seguintes:

<b>Mode of Flight</b>	<b>Phase of Flight</b>	<b>Maximum ANP</b>
LNAV with A/P Engaged	Enroute	RNP – 0.13 nm
LNAV with A/P Engaged	Terminal/Approach	RNP – 0.14 nm
LNAV with A/P Engaged	Final Approach	RNP – 0.06nm
LNAV with F/D	Enroute	RNP – 0.26 nm
LNAV with F/D	Terminal/Approach	RNP – 0.15 nm
LNAV with F/D	Final Approach	RNP – 0.08 nm

Figura 30: Valores de ANP de acordo com as fases de voo

Fonte: BOEING, 2008b, p. 32.

### 7.3 CAPACIDADE DE ANP DO FMC

A Figura 31 demonstra a capacidade de ANP do FMCS, quando os modos estão atualizando a posição. Esses valores são análises feitas em padrões de erros aceitos pela indústria aeronáutica.

O modelo de análise de erro do sistema IRS exposto durante um tempo de vôo de 3 horas, foi desenvolvido pela BOEING para minimizar os erros desse sistema e enquadrá-lo em padrões aceitáveis pela indústria aeronáutica, que são da ordem de 2 NM/Hora (BOEING, 2008b).

NAVIGATION POSITION UPDATE MODE	RANGE OF ANP VALUES OR TYPICAL ANP VALUES
IRS/GPS	HIL [0.08 to 0.27] NM, results in ANP [0.05 to 0.15] NM (dual FMC)
IRS/LOC/(DME)	This assumes a collinear DME with the localizer to provide along track position correction. The LOC updating starts at 20 NM from the localizer. Typical ANP; 0.10 to 0.20 NM
IRS/DME/DME	This covers a DME/DME included angle range of 150 to 30 degrees. Range of ANP; 0.20 to 0.70NM
IRS/VOR/DME	This covers the VOR/DME update within 25nm of the navaid. Range of ANP; 0.50 to 1.00 NM
IRS	This covers the time period after loss of radio updating. ANP is based on the 95% IRS drift characteristics and FMC compensation. It can be bounded by the following approximation for a single IRU-FMC navigation system).  0.0 to 0.67 hours; 95%ERROR = 6.0* T NM 0.67 to 1.5 hours; 95% ERROR = 4.0 NM 1.5 to 2.17 hours; 95% ERROR = 4.0 + 3.0* (T - 1.5) NM 2.17 to 3.0 hours; 95% ERROR = 6.0 NM 3.0 + hours; 95% ERROR = 6.0 + 2.0* (T - 3) NM  T = time in hours  Typical ANP; 0.5 NM up to 10.0 NM after 5 hours without updates.
TOGA Position Update	For TOGA takeoffs the FMC position is updated to the runway threshold plus pilot entered bias and ANP is initialized to 0.17 NM.

Figura 31: Valores de ANP versus update do sistema

Fonte: BOEING, 2008b, p. 33.

#### 7.4 CAPACIDADE DE ANP VERTICAL DO FMC

A precisão do ANP vertical está baseada na precisão do sistema altimétrico. Desde que a revisão do software do U 10.5 do FMC foi lançada para a linha 737 NG, o ANP vertical representa 99.7% de confiabilidade.

A sua certificação garante variações de 50 a 170 FT, e capacidade de operação desde o nível médio do mar até 41.000FT (BOEING, 2008b).

## 8 FLIGHT TECHNICAL ERROR (FTE)

FTE é definido como a habilidade de voar o avião sobre uma rota desejada, sendo comandada manualmente ou pelo piloto automático “avionics” (BOEING, 2008b).

Os dados da Figura 32 são provenientes de um estudo da BOEING da linha 737 sobre FTE, com o modo de navegação lateral (LNAV) engatado.

Flight Technical Error (FTE) 95%			
Mode of Flight	Enroute	Approach	Final Approach
Manual Flight with the EHSI MAP	0.502 NM	0.208 NM	Not Applicable
LNAV with the Flight Director Coupled	0.111 NM	0.073 NM	0.069 NM
LNAV with the Autopilot Coupled	0.055 NM	0.068 NM	0.055 NM

Figura 32: Modos de voo versus Flight Technical Error

Fonte: BOEING, 2008b, p. 35.

## 9 AFM FMCS

### Revisão do software U 10.5 do FMCS

O FMCS demonstrou que consegue cumprir os requerimentos da AC 20-130<sup>a</sup>, como um sistema de navegação de área quando operando com 'updates' de rádio os GPS. Quando estiver operando nesse modo, pode ser usado para operações em rota, áreas terminais e também realizar aproximações de não precisão.

A Figura 33 abaixo demonstra o RNP mínimo demonstrado, de acordo com a fase do voo.

Minimum Demonstrated RNP Flight Operations Versus Mode of Flight		
Mode of Flight	FMC GPS Enabled	FMC GPS Not Enabled
LNAV with A/P Engaged	0.11 NM	0.19 NM
LNAV with F/D	0.15 NM	0.24 NM
Manual Control with MAP Display Only	0.48 NM	1.10 NM

Figura 33: RNP mínimo *versus* fase do voo

Fonte: BOEING, 2008b, p. 36.

Para operações em espaços aéreos que requerem um valor de RNP mínimo, a Figura 34 abaixo mostra a capacidade do sistema em cumprir esses requisitos.



DEMONSTRATED RNP FLIGHT OPERATIONS VERSUS MODE OF FLIGHT			
Mode of Flight	Phase of Flight	Demonstrated RNP	
		FMC GPS Enabled	FMC GPS Not Installed/Enabled
LNAV with A/P Engaged	Enroute	0.15 nm	0.28 nm
LNAV with A/P Engaged	Terminal/Approach	0.17 nm	0.30 nm
LNAV with A/P Engaged	Final Approach	0.10 nm	0.23 nm
LNAV with F/D	Enroute	0.29 nm	0.41 nm
LNAV with F/D	Terminal/Approach	0.18 nm	0.31 nm
LNAV with F/D	Final Approach	0.10 nm	0.24 nm

Figura 34: Modos de voo versus fase do voo por RNP demonstrado

Fonte: BOEING, 2008b, p. 37.

## 10 CONCLUSÃO

Ao longo do tempo em que a aviação vem se desenvolvendo, as empresas aéreas, os fabricantes e as autoridades aeronáuticas, estão sempre na busca de novas tecnologias para otimizar custos, redimensionar espaços aéreos etc.

Quando essas novas tecnologias estiverem implantadas de forma correta, podem trazer grandes benefícios a todos os usuários do sistema.

Os sistemas embarcados que trabalham baseados em performance de navegação requerida e performance atual de navegação, dependem de vários fatores externos, como na área de infra-estrutura de auxílios-rádio, sistemas de correção de sinais de GPS de área ampla, ou local.

Em nosso país é claro que existe uma falta de investimentos na parte de infra-estrutura aeronáutica, aeroportos e órgãos de controle de tráfego aéreo, que acaba desmotivando os operadores a utilizarem esses sistemas.

O governo, por sua vez, talvez não entenda a importância de investir nessas áreas deficientes de nosso país.

Assim, o RNP e ANP são muito importantes em vários segmentos, pois ajudam a aumentar a segurança das operações aéreas, gerenciamento de tráfego aéreo e otimização dos lucros.

Não há dúvidas que, realizados esses benefícios, todos ganharão, seja o sistema de tráfego aéreo, seja a população, seja o governo, seja a atividade comercial aérea, para impulsionar o progresso do país.

## REFERÊNCIAS

AILINERS.NET. **Foto de Rhys Dudley.** <<http://www.airliners.net/photo/Australia---Air/Boeing-737-7DT-BBJ/0836827/L/>>. Acesso em: 22 maio 2008.

BOEING. **737-700 Flight Crew Operations Manual (Volume 2).** Seattle: The Boeing Company, 2005.

\_\_\_\_\_. **Required Navigation Performance (RNP) and Area Navigation (RNAV).** Agosto de 2000. Disponível em: <[www.boeing.com/commercial/caft/reference/documents/RNP082400S.pdf](http://www.boeing.com/commercial/caft/reference/documents/RNP082400S.pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2008a.

\_\_\_\_\_. **RNP Capability of FMC Equipped 737, Generation 3.** 14 de janeiro de 2003. Disponível em: <[www.boeing.com/commercial/caft/reference/documents/RNP737G3.pdf](http://www.boeing.com/commercial/caft/reference/documents/RNP737G3.pdf)>. Acesso em: 3 abr. 2008b.

\_\_\_\_\_. **Required Navigation Performance document number: D780-10251-1.** 21 de novembro de 2003. Disponível em: <[www.boeing.com/commercial/caft/reference/documents/d780-10251-1V112103.pdf](http://www.boeing.com/commercial/caft/reference/documents/d780-10251-1V112103.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2008c.

\_\_\_\_\_. **RNP Capability of FANS 1 Equipped 777.** Dezembro de 2006. Disponível em: <[www.boeing.com/commercial/caft/reference/documents/RNP777.pdf](http://www.boeing.com/commercial/caft/reference/documents/RNP777.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2008d.

BRASIL. **AIC N 09/00. Implementação da RNP 10 no corredor entre a Europa. e a América do Sul (Corredor EUR/SAM). 10 de julho de 2000.** Disponível em: <[www.decea.gov.br/pame/publicacao/aic/aic\\_n09-00.pdf](http://www.decea.gov.br/pame/publicacao/aic/aic_n09-00.pdf)>. Acesso em: 3 abr. 2008.

EUROCONTROL. **Standard document for area navigation equipment operational requirements and functional requirements.** Dezembro de 1998. Disponível em: <[www.eurocontrol.int/eatm/gallery/content/public/library/euro\\_stds/Eng/rnav/RNAV\\_Standard\\_Ed\\_22a\\_web.pdf](http://www.eurocontrol.int/eatm/gallery/content/public/library/euro_stds/Eng/rnav/RNAV_Standard_Ed_22a_web.pdf)>. Acesso em: 3 abr. 2008.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Harris and Meyer, Presentation.** Junho de 2002. Disponível em: <[www.jaa.nl/conference/19th/FAA,%20Harris%20and%20Meyer,%20Presentation.ppt](http://www.jaa.nl/conference/19th/FAA,%20Harris%20and%20Meyer,%20Presentation.ppt)>. Acesso em: 3 abr. 2008.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **AC 120-29A. Criteria for approval of category I and category II weather minima for approach.** Ago. 2002. Disponível em: <[http://rgl.faa.gov/Regulatory\\_and\\_Guidance\\_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/0/a05fa73b0896e36b86256c14006a665b!OpenDocument&Click=>](http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/0/a05fa73b0896e36b86256c14006a665b!OpenDocument&Click=>)>. Acesso em: 21 abr. 2008.

\_\_\_\_\_. **AC 20-130A. Airworthiness Approval of Navigation or Flight Management Systems Integrating Multiple Navigation Sensors.** Junho de 1995.

Disponível em:  
([http://rgl.faa.gov/Regulatory\\_and\\_Guidance\\_Library%5CrgAdvisoryCircular.nsf/0/83E208EBAEE3F233862569AF006ABA6B?OpenDocument](http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library%5CrgAdvisoryCircular.nsf/0/83E208EBAEE3F233862569AF006ABA6B?OpenDocument)). Acesso em: 3 abr. 2008.

\_\_\_\_\_. AC 20-138. **Approval of Global Positioning System (GPS) navigation equipment for use as a VFR and IFR supplemental navigation system.** Maio de 1994. Disponível em: <<http://ntl.bts.gov/lib/000/000/3/ac20-138.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2008.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **European Region Area Navigation (RNAV) Guidance Material. European.** Setembro de 2003. Disponível em: <[www.ecacnav.com/downloads/ICAO%20RNAV5.doc](http://www.ecacnav.com/downloads/ICAO%20RNAV5.doc)>. Acesso em: 21 abr. 2008.

SMARTCOCKPIT. **B737 Brnav Rnp Ops and VNAV Approaches.** Disponível em: <[www.smartcockpit.com/data/pdfs/plane/boeing/B737/instructor/B737-Brnav-Rnp\\_Ops\\_and\\_VNAV\\_Approaches.pdf](http://www.smartcockpit.com/data/pdfs/plane/boeing/B737/instructor/B737-Brnav-Rnp_Ops_and_VNAV_Approaches.pdf)>. Acesso em: 3 abr. 2008a.

\_\_\_\_\_. **B737-VNAV Circling Approach According To Ryanair Procedures.** Janeiro de 2008. Disponível em: <[www.smartcockpit.com/.../B737/instructor/B737-VNAV\\_Circling\\_Approach\\_According\\_To\\_Ryanair\\_Procedures.pdf](http://www.smartcockpit.com/.../B737/instructor/B737-VNAV_Circling_Approach_According_To_Ryanair_Procedures.pdf)>. Acesso em: 3 abr. 2008b.

ANEXO A - Apresentação das Escalas de Navegação

