

Jorge Henrique Bidinotto
Yuri Cesarino

Princípios de Aviônica e Navegação
Capítulo 5 - Sistemas Anticolisão

São Carlos
Dezembro de 2017

Lista de ilustrações

Figura 1 – Incremento no Número de Níveis de Voo Disponíveis	5
Figura 2 – Esquema de Funcionamento do Transponder	6
Figura 3 – Aparência do Transponder no Painel	7
Figura 4 – Critérios de Tempo e de Distância para TA e RA	8
Figura 5 – Simbologia na Tela do TCAS	8
Figura 6 – Tela Típica do TCAS	9
Figura 7 – Alerta RA em uma Tela do TCAS	9
Figura 8 – Interação entre TCAS II e Transponders Mode S	10
Figura 9 – Tela Típica do TAS	11
Figura 10 – Tela Típica do EICAS	12
Figura 11 – Esquema de Funcionamento do GR	13
Figura 12 – Indicadores do GR	13
Figura 13 – Modo 1 - Razão de Descida Excessiva	14
Figura 14 – Modo 2A - Excesso de Proximidade com o Terreno - Sem Flape de Pouso	15
Figura 15 – Modo 2B - Excesso de Proximidade com o Terreno - Com Flape de Pouso	15
Figura 16 – Modo 3 - Perda de Altitude Após Decolagem	15
Figura 17 – Modo 4A - Voo em Direção ao Terreno - Trem de Pouso Recolhido . .	15
Figura 18 – Modo 4B - Voo em Direção ao Terreno - Trem de Pouso Abaixado e Flape fora de Condição de Pouso	16
Figura 19 – Modo 4C - Contorno de Relevô	16
Figura 20 – Modo 5 - Desvio para Baixo de Rampa de ILS	16
Figura 21 – Modo 6 - "Callouts"de Aproximação	16
Figura 22 – Modo 6 - Avisos	17
Figura 23 – Indicações do EGPWS	17
Figura 24 – Escala de Cores Usada no EGPWS	18

Sumário

1	Sistemas Anticolisão	5
1.1	Introdução	5
1.2	Transponder	6
1.3	Traffic Collision and Avoidance System	7
1.4	Traffic Advisory System	11
1.5	Ground Radar	12
1.6	Terrain Awareness and Warning System	13
1.6.1	Enhanced Ground Proximity Warning System	17
	Referências	19

1 Sistemas Anticolisão

1.1 Introdução

Quando a aviação surgiu, no início do século 20, os céus eram povoados apenas por elementos da natureza, como pássaros e nuvens. Dessa forma, com o número escasso de aeronaves em operação, a probabilidade de colisões em pleno ar era praticamente zero. As poucas aeronaves, além do fato de que, pela falta de tecnologia, os voos eram preferencialmente diurnos e em condições climáticas ótimas com alta visibilidade, não proporcionavam perigos umas às outras.

Contudo, com o desenvolvimento da aviação ao longo do século, a questão das colisões aéreas começou a se tornar um assunto imperativo de ser tratado. Cada vez mais o espaço aéreo era preenchido e não se podia mais contar apenas com a visão dos pilotos, pois isso não era suficiente. Além disso, os voos noturnos começaram a se tornar mais corriqueiros, além de pilotos enfrentando as adversidades climáticas.

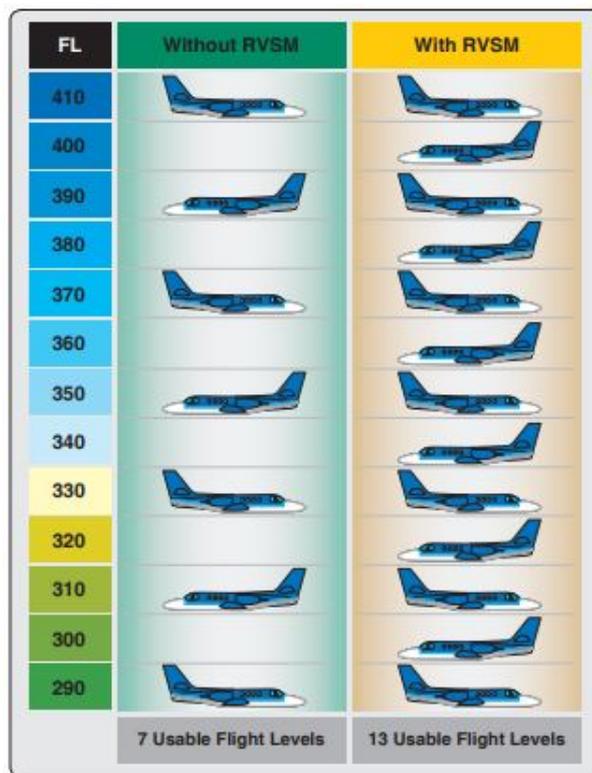


Figura 1 – Incremento no Número de Níveis de Voo Disponíveis

No cenário atual, os aeroportos estão saturados e as aerovias também, já que, em média, a cada um segundo, decola uma aeronave no mundo. Um ponto interessante a ser destacado é que o desenvolvimento tecnológico mudou radicalmente as aerovias, já que antigamente, para níveis de voo mais elevados, a separação vertical mínima entre uma aeronave e outra deveria ser de 2 mil pés, enquanto que hoje em dia, grande parte das regiões utiliza uma separação de apenas mil pés (*Reduced Vertical Separation Minimum*,

RVSM), aumentando o número de aeronaves que pode estar no ar simultaneamente. A Figura 64 ilustra essa mudança.

Isso exigiu da aviação o desenvolvimento de sistemas cuja preocupação seja evitar a colisão entre aeronaves em pleno ar, seja em baixas ou altas altitudes. Graças a esses sistemas, mesmo com o tráfego aéreo mundial enorme como é hoje, a probabilidade de colisão no ar entre duas aeronaves é baixíssima, algo que aconteceu apenas algumas dezenas de vezes durante toda a história da aviação mundial. Ao mapear possíveis rotas coincidentes, os sistemas visam garantir a segurança de voo, para que as aeronaves possam seguir seu curso normalmente.

Além disso, não se deve esquecer que as colisões também podem acontecer com o solo, especialmente em regiões montanhosas, onde o terreno acidentado muitas vezes surpreende os pilotos, e em voos noturnos ou com condições climáticas ruins.

Nesse capítulo, serão abordados 4 sistemas anticolisão, sendo 2 relacionados com colisões aéreas e os outros 2 com colisões com o solo.

1.2 Transponder

Antes de abordar o assunto dos sistemas anticolisão, é essencial atentar-se a um elemento essencial, peça chave nesses sistemas: o *transponder*. Como visto no capítulo anterior sobre radares, o *Air Traffic Control* (ATC, Controle de Tráfego Aéreo) mais moderno utiliza radares secundários para as tarefas de identificação, monitoramento e orientação de aeronaves no espaço aéreo. Isto é, além de fornecer a posição (radar primário), esse sistema fornece também outras informações sobre a aeronave (radar secundário), como número do voo, companhia aérea, velocidade, altitude, se está descendo ou subindo etc. O responsável no avião por receber o sinal do radar ATC e devolvê-lo com essas informações é justamente o *transponder*.

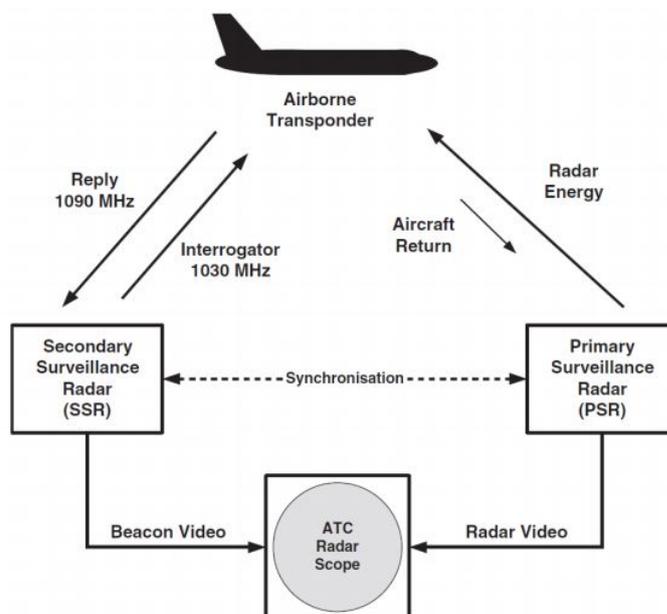


Figura 2 – Esquema de Funcionamento do Transponder

Além de enviar informações para radares e antenas em terra, o *transponder* também

consegue se comunicar (extrair informações e interagir) com outros de seu tipo presente em demais aeronaves na região naquele momento. O envio dos sinais é feito a uma frequência de 1030 MHz, enquanto o sinal de resposta é recebido a 1090 MHz. Destaca-se que a comunicação com outras aeronaves depende da compatibilidade dos sistemas, isto é, a fim dessa interação acontecer, as aeronaves envolvidas precisam ter sistemas semelhantes. O tipo de *transponder* que possibilita essa interação é o *mode S*, que é um dos principais responsáveis pelo funcionamento de alguns sistemas anticolisão.



Figura 3 – Aparência do Transponder no Painel

1.3 Traffic Collision and Avoidance System

O *Traffic Collision and Avoidance System* ou TCAS, Sistema Anticolisão de Tráfego, teve seu conceito desenvolvido a partir dos anos 50, mas foi só em 1981 que a FAA, *Federal Aviation Administration* (órgão regulamentador da aviação nos EUA), em conjunto com outras agências reguladoras e com a ICAO, que o sistema foi finalmente implementado, sendo que atualmente é obrigatória a sua presença em aeronaves com mais de 30 passageiros e/ou com peso máximo acima de 15 toneladas. A ideia do sistema é atuar de forma independente ao controle de tráfego aéreo, já que o primeiro agente responsável por evitar colisões é justamente o ATC. Assim, a intenção do TCAS é ser um último recurso, caso o controlador falhe.

O princípio é semelhante ao do radar, com emissão e recepção de sinais. A frequência de emissão é de 1030 MHz e ela é feita omnidirecionalmente, sendo que o sistema receptor consegue identificar de qual direção o sinal está vindo.

A depender da proximidade do tráfego, o alerta pode vir das seguintes maneiras no sistema TCAS:

- *Traffic Advisory* (TA): esse alerta apenas informa a existência de tráfego aéreo nas proximidades, mas não há risco de colisão;
- *Resolution Advisory* (RA): alerta de proximidade de tráfego que, caso nenhuma atitude seja tomada, pode ser que leve a uma colisão;
- *Other Traffic* (OT) ou *Proximate Traffic* (PT): apenas o reconhecimento/a sinalização de algum tráfego, mas que não está próximo da aeronave, logo não há um alerta. PT está fora de TA, mas está dentro da tela de alcance do TCAS e podem vir a se tornar um TA. Já OT também está na tela, mas é representado apenas para aumento da consciência situacional.

A Figura 67 também faz a diferenciação do que é TA e do que é RA, segundo critérios de tempo e critérios de distância.

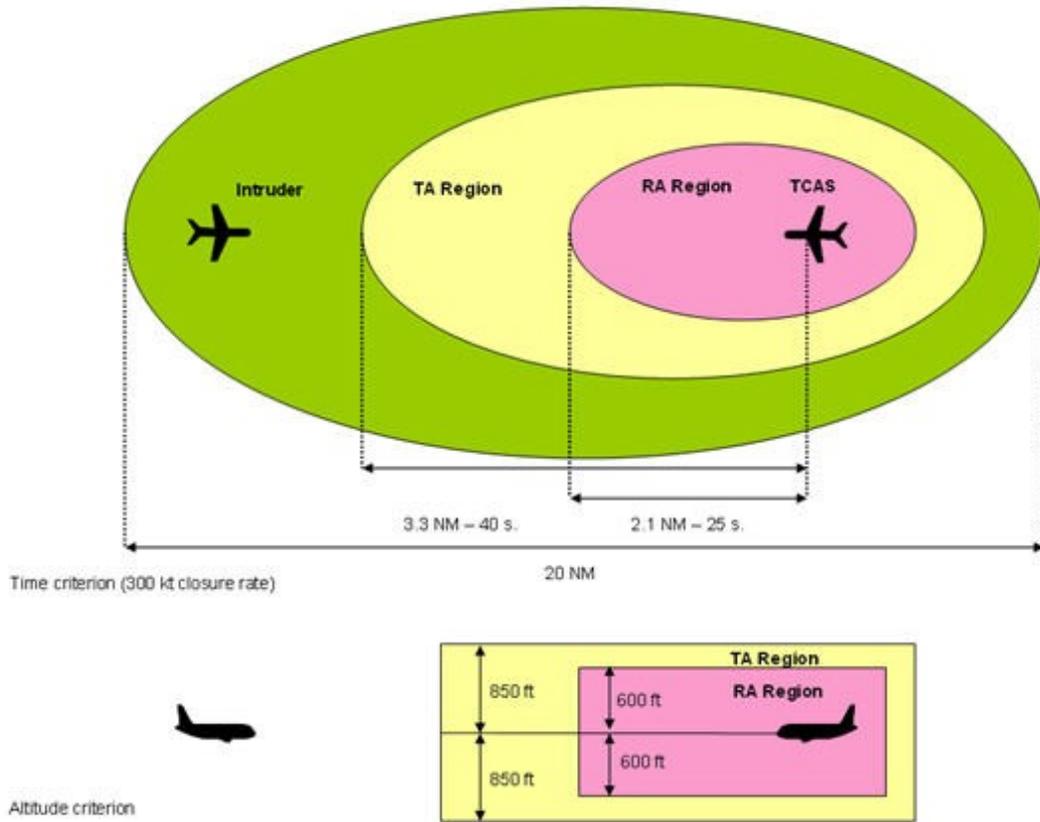


Figura 4 – Critérios de Tempo e de Distância para TA e RA

No que diz respeito a como esses itens estão representados na tela do TCAS, a tabela a seguir faz um resumo da simbologia:

Traffic Display Symbology	
	Non-Threat Traffic Outside of protected distance and altitude range.
	Proximity Intruder Traffic Within protected distance and altitude range, but still not considered a threat.
	Traffic Advisory (TA) Within protected range and considered a threat. TCAS will issue an aural warning (e.g., <i>Traffic! Traffic!</i>).
	Resolution Advisory (RA) Within protected range and considered an immediate threat. TCAS will issue a vertical avoidance command (e.g., <i>Climb! Climb! Climb!</i>).

Figura 5 – Simbologia na Tela do TCAS

Além do losango, quadrado e círculo, a simbologia conta com flechas, números e sinais positivo e negativo. As flechas indicam se o tráfego está subindo (flecha para cima) ou descendo (flecha para baixo), sendo detectável apenas se a taxa de descida ou subida for de pelo menos 500 pés por minuto (essa medição é feita pela diferença de posição de dois pulsos consecutivos dados pela antena do TCAS). Os números indicam a diferença de altura, multiplicada por 100 pés, entre a aeronave e o tráfego (exemplo: se o número é 03, então a diferença de altura é de 300 pés). Por fim, os sinais indicam se o tráfego está acima (sinal positivo) ou abaixo (sinal negativo) da aeronave. Exemplos de tela do TCAS estão a seguir.

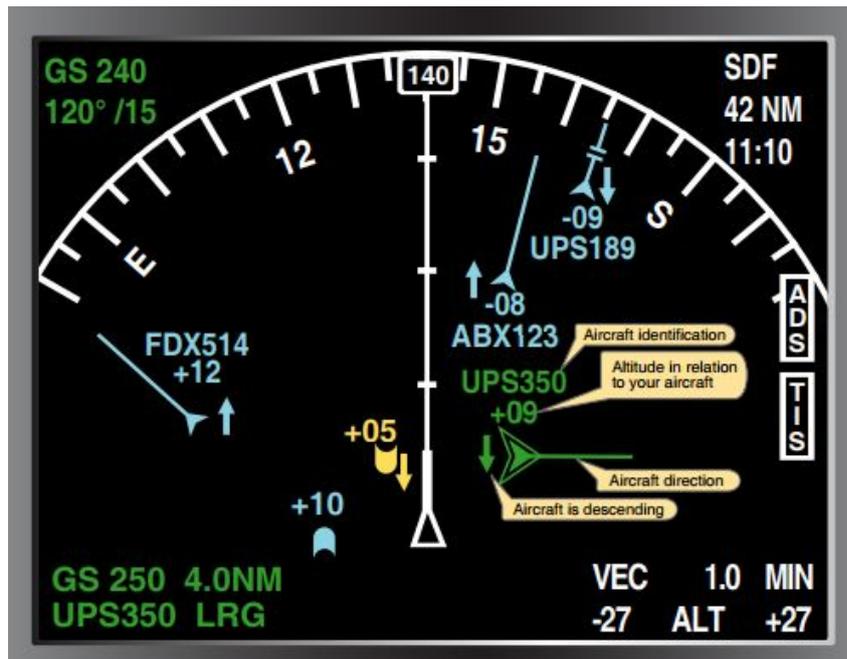


Figura 6 – Tela Típica do TCAS



Figura 7 – Alerta RA em uma Tela do TCAS

Nota-se que, na Figura 70, há um alerta RA em ação, com tráfego a 300 pés de distância. Pela indicação da seta branca, o TCAS está informando ao piloto para realizar uma manobra de subida a uma taxa de 1750 pés por minuto para evitar a colisão. Essa é uma das características de alguns sistemas TCAS mais modernos, como veremos a seguir.

Os sistemas TCAS podem ser classificados de duas formas atualmente:

- TCAS I: é um sistema meramente informativo, que mostra o tráfego nas proximidades e emite alertas caso eles estejam muito próximos;
- TCAS II: além da informação mapeada do tráfego ao redor e dos alertas, o sistema II, mais moderno, também indica a atitude precisa e detalhada que o piloto deve tomar para evitar a colisão, como é o caso da Figura 70.

A utilização do TCAS II só é possível caso as aeronaves estejam equipadas com *transponder mode S*, como já abordado na seção anterior. Além disso, um detalhe interessante é que, nesse caso, graças à comunicação entre as aeronaves via esse modo de *transponder*, o TCAS II define para uma aeronave uma manobra de subida e, para a outra, uma manobra de descida, evitando assim que ambas as aeronaves tentem subir ou descer juntas, falhando em se distanciarem.

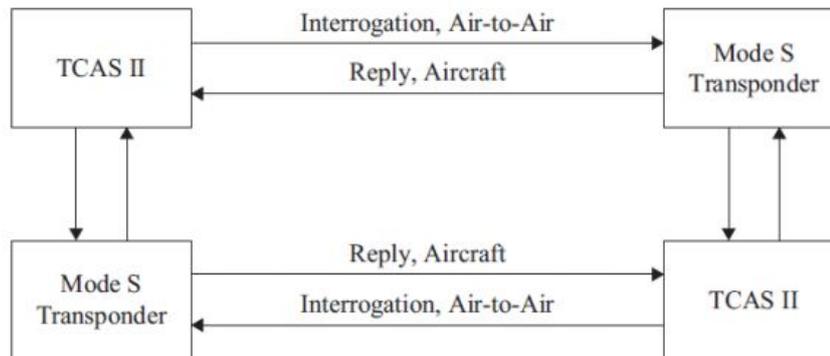


Figura 8 – Interação entre TCAS II e Transponders Mode S

A indicação de qual atitude deve ser tomada e como ela deve ser executada baseia-se no conceito de tempo de reação dos pilotos (fatores humanos) e no desempenho das aeronaves. Além disso, importante ressaltar que as manobras sugeridas pelo TCAS II são apenas longitudinais, isto é, apenas subir e descer, não contemplando manobras laterais.

Para complementar os alertas visuais, o TCAS também possui alertas sonoros para chamar a atenção dos pilotos, já que muitas vezes a carga de trabalho no cockpit pode ser alta, além de que o painel possui inúmeros instrumentos, o que pode dificultar a visão dos pilotos. Com isso, o TCAS I (em qualquer situação) e o TCAS II em situação de TA possuem o alerta sonoro *Traffic! Traffic!*. Já para a condição de RA, o TCAS II possui alguns alertas: *Climb! Climb! Climb!*; *Descend! Descend!*; *Reduce Climb!*; *Increase Climb!* etc. Além de serem transmitidos de maneira sonora, esses alertas também aparecem textualmente na tela do sistema.

Para evitar o disparo de alertas quando a aeronave está no solo ou próxima dele, como em pousos e decolagens, o sistema possui um inibidor automático por altitude ou por trem de pouso, isto é, quanto se está abaixo de uma certa altitude ou quando se está

com o trem de pouso abaixado, o sistema é inibido. Além disso, o alcance máximo das indicações do TCAS pode ser regulado em seu *display*.

Por fim, destaca-se que, além dos tipos apresentados, houve já discussões sobre mais dois tipos de TCAS: o III, que adicionalmente seria capaz de também indicar manobras laterais ao piloto; e o IV, que, além de tudo isso, incorporaria também ferramentas secundárias de navegação, como o GPS. O TCAS III, quando surgiu, foi descartado por falta de tecnologia precisa o suficiente para sua execução. Depois, sua ideia foi incorporada no TCAS IV, mas esse também não foi desenvolvido, pois o surgimento do ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance - Broadcast*), sistema em que as aeronaves emitem suas informações de posição periodicamente via ondas de rádio, supriu essas demandas.

1.4 Traffic Advisory System

O *Traffic Advisory System* ou TAS, Sistema Consultivo de Tráfego, é um sistema semelhante ao TCAS, mas com restrições adicionais, especialmente devido ao fato de que suas antenas são unidirecionais. Por ser mais simples, possui apenas os alertas TA e OT. Além disso, ele pode ser classificado nas classes A e B.

O TAS Classe A possui um *display* que indica a presença e a posição relativa do tráfego. Essa indicação mostra se o tráfego é TA ou OT, a proa e a altitude relativa. Para diferenciar TA de OT na tela, é necessário atentar ao símbolo, já que usualmente a condição TA é representada por um símbolo cheio, enquanto a OT por um símbolo vazio, apenas com o contorno. Além disso, a tela é capaz de mostrar pelo menos três tráfegos simultaneamente, sendo os três mais próximos. A figura a seguir ilustra uma tela típica do TAS.



Figura 9 – Tela Típica do TAS

Ao contrário do TCAS, o alcance máximo de indicação não é ajustável e sim fixo em 10 milhas náuticas, com uma linha de referência de 2 milhas náuticas. De forma análoga

ao TCAS, a indicação sonora para condição TA é *Traffic! Traffic!*.

Com respeito à classe B, ela é bem mais simplificada: todas as características da classe A se aplicam, porém a classe B não possui um *display*, sendo que, além do alerta sonoro, uma mensagem visual *Traffic! Traffic!* é mostrada no *Engine-Indicating and Crew Alerting System* (EICAS, Sistema de Indicações dos Motores e Alerta da Tripulação), tela do painel da aeronave que contém informações e alertas em geral sobre os motores e outros sistemas da aeronave.

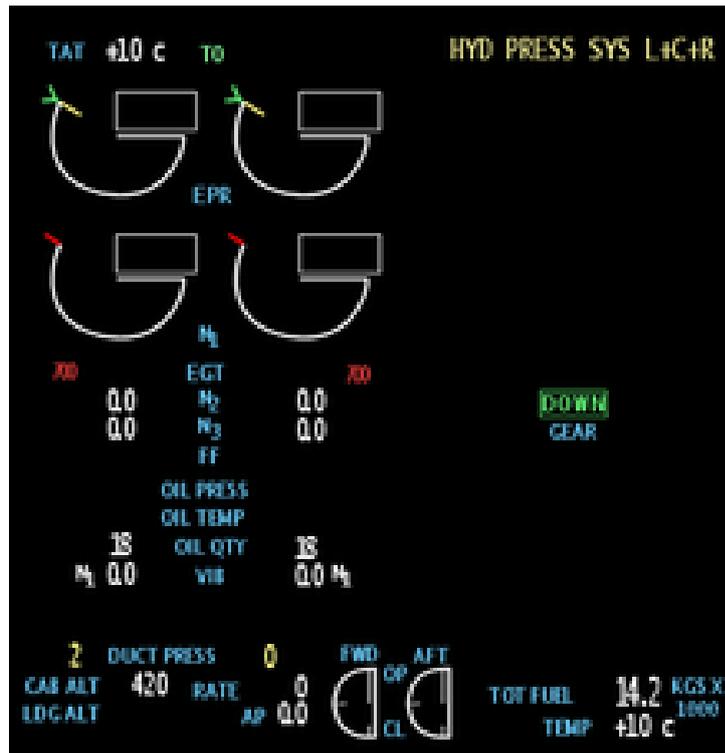


Figura 10 – Tela Típica do EICAS

1.5 Ground Radar

O *Ground Radar* (GR) ou Radar Altimetro ou Rádio Altimetro (RA) é um sistema usado para aferição precisa e exibição da altura sobre o terreno diretamente abaixo da aeronave. O princípio é o envio de um sinal na direção vertical com destino ao solo, que retorna e possibilita o cálculo da altura. Em aeronaves mais modernas, além da indicação visual para o piloto, o sistema também fornece a informação de altura ao piloto automático, principalmente em situações de pouso por instrumentos, de maneira integrada também a outros sistemas, como o TCAS, o GS etc. É com base nesse sistema que existem os alertas sonoros de altura quando a aeronave está se aproximando do *touchdown*, isto é, por exemplo, os alertas de *30 feet!*, *20 feet!*, *10 feet!* e assim por diante.

O sistema conta com um emissor de onda contínua operando entre 4.2 e 4.4 GHz. Os componentes geralmente são pequenos, ficam na barriga da aeronave e não atuam bem sobre o gelo ou a neve, devido à diferença na reflexão das ondas de rádio desses elementos.

Como o relevo muda bastante de um ponto para o outro conforme a aeronave se desloca, o sistema utiliza modulação em frequência, para diminuir incertezas na indicação. A precisão do sistema é de 1 pé para alturas variando de 0 a 100 pés e é de 1% da altura

para valores acima de 100 pés. No geral, os sistemas funcionam até 5 mil pés de altura, porém alguns mais potentes conseguem funcionar até 10 mil pés.

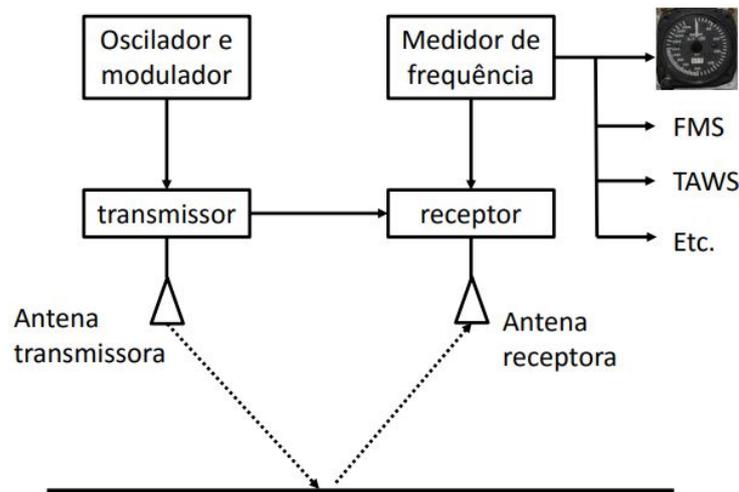
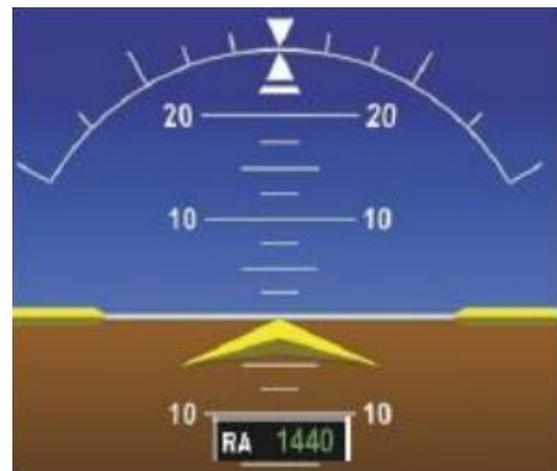


Figura 11 – Esquema de Funcionamento do GR

Os aviônicos indicadores do GR podem ser vistos a seguir.



(a) Instrumento Analógico do GR



(b) Instrumento Digital do GR (retângulo com RA escrito)

Figura 12 – Indicadores do GR

1.6 Terrain Awareness and Warning System

O *Terrain Awareness and Warning System* ou TAWS, Sistema de Aviso e Percepção de Terreno, é um sistema cujo objetivo é evitar impactos não intencionais com o solo, chamados tecnicamente de *Controlled Flight Into Terrain* (CFIT), Colisão com o Solo em Voo Controlado. O sistema básico é composto pelo *Ground Proximity Warning System* ou GPWS, Sistema de Alerta de Proximidade ao Solo, que também possui a versão EGPWS, cuja letra "E" significa *Enhanced*, ou seja, melhorado.

Em uso em companhias aéreas desde os anos 70 (e atualmente obrigatório para aeronaves com 6 passageiros ou mais), o sistema usa informações do GR, velocidade e

altitude barométrica para determinar a posição da aeronave em relação ao solo. Basicamente, a intenção é realizar uma previsão de trajetória da aeronave em relação a um possível terreno que pode se elevar ao longo dessa trajetória, para chamar a atenção do piloto quanto a essa proximidade com o solo.

O GPWS pode ser dividido em classes A, B e C. A diferenciação entre uma classe ou outra é baseada na presença ou não dos seguintes modos de alerta em situações de risco:

- Modo 1: Razão de Descida Excessiva
- Modo 2: Excesso de Proximidade com o Terreno
- Modo 3: Razão de Subida Negativa Após a Decolagem
- Modo 4: Voo em Direção ao Terreno fora da Configuração de Pouso
- Modo 5: Desvio para Baixo em uma Rampa de ILS
- Modo 6: Descida para 500 pés ou menos do Terreno ou da Pista mais Próxima

A classe A possui todos os seis modos. Já as classes B e C possuem apenas os modos 1, 3 e 6. Além disso, assim como o EGPWS, todas as classes também possuem o *Forward Look Terrain Avoidance (FLTA)* e o *Premature Descent Alert (PDA)*. Na verdade, as classes B e C são idênticas, sendo que a única diferença é que a classe C é a designação dada para sistemas instalados em aeronaves que não possuem a obrigatoriedade de uso desse sistema.

Todas as condições de alerta apresentam mensagem visual no *Multi-Function Display (MFD)* e mensagem sonora. As condições de alerta podem ser de dois tipos: *Caution*, menos grave, anterior à mensagem que vem em seguida, com mensagem escrita em âmbar e tom de voz em menor urgência, representada pela região clara dos gráficos a seguir; *Warning*, mais grave, com mensagem escrita em vermelho e tom de voz em maior urgência, representada pela região escura dos gráficos.

A seguir, são apresentadas imagens que ilustram os diferentes modos e situações de urgência envolvendo o TAWS.

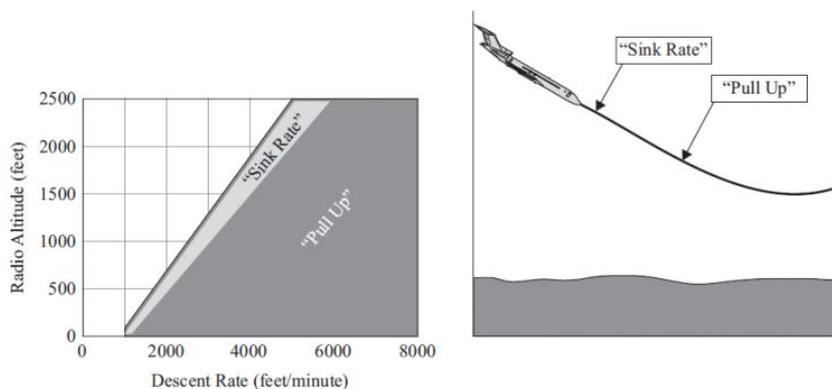


Figura 13 – Modo 1 - Razão de Descida Excessiva

O GPWS também possui uma prioridade para as mensagens sonoras. A ordem é a seguinte:

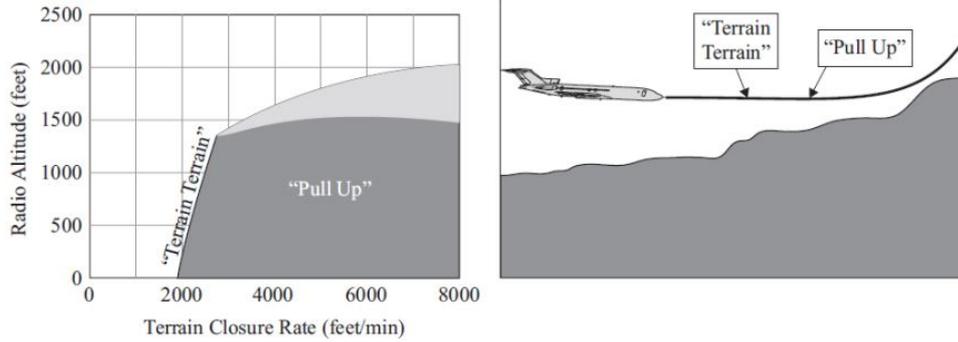


Figura 14 – Modo 2A - Excesso de Proximidade com o Terreno - Sem Flape de Pouso

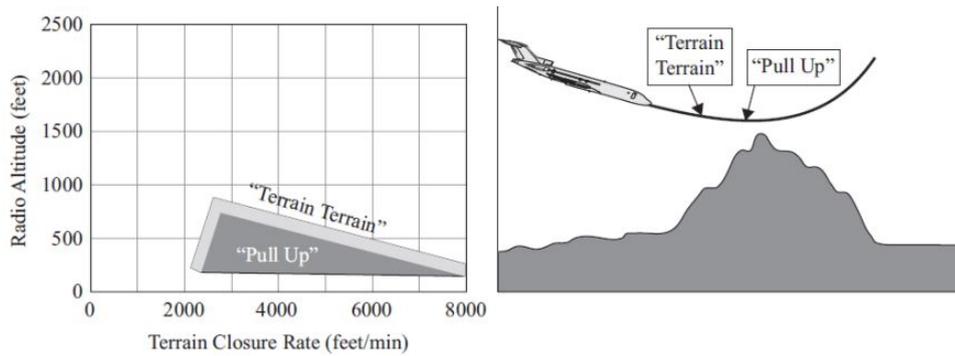


Figura 15 – Modo 2B - Excesso de Proximidade com o Terreno - Com Flape de Pouso

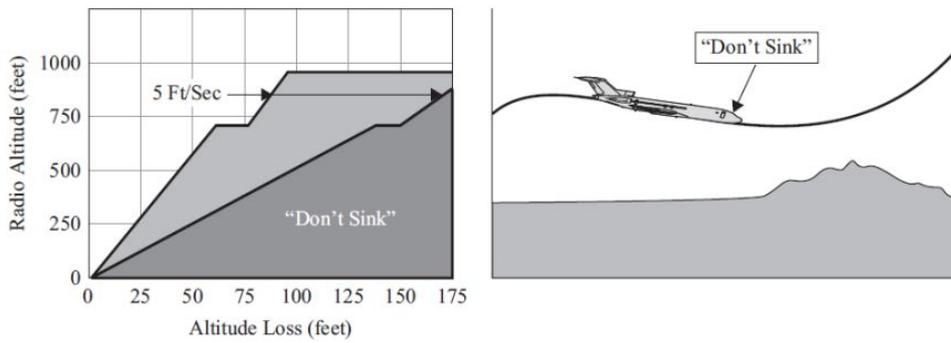


Figura 16 – Modo 3 - Perda de Altitude Após Decolagem

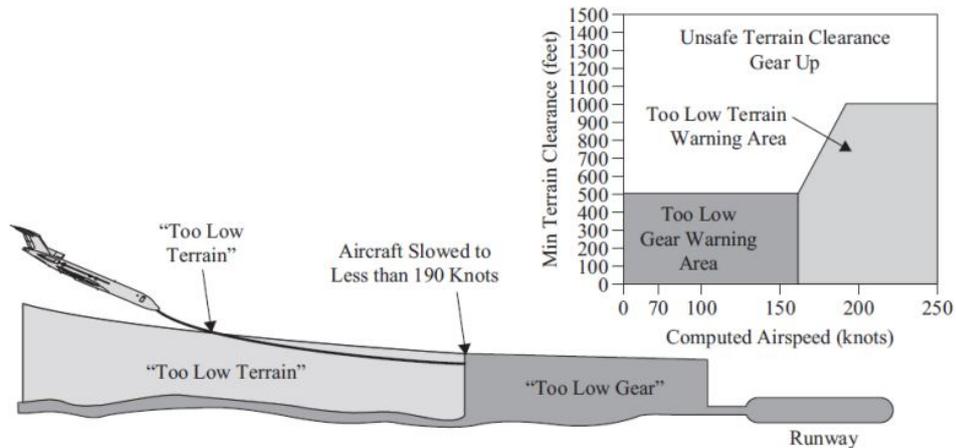


Figura 17 – Modo 4A - Voo em Direção ao Terreno - Trem de Pouso Recolhido

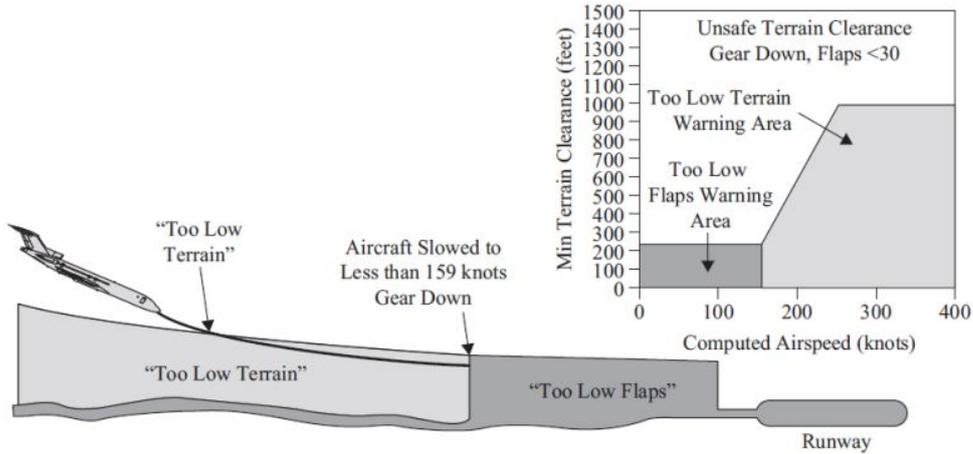


Figura 18 – Modo 4B - Voo em Direção ao Terreno - Trem de Pouso Abaixado e Flape fora de Condição de Pouso

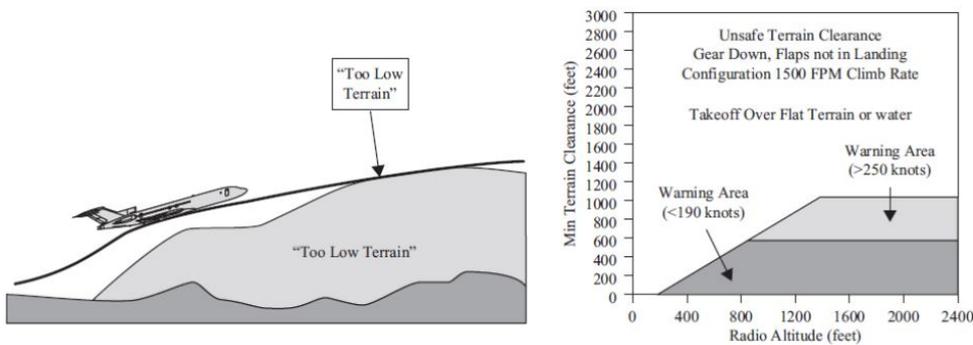


Figura 19 – Modo 4C - Contorno de Relevô

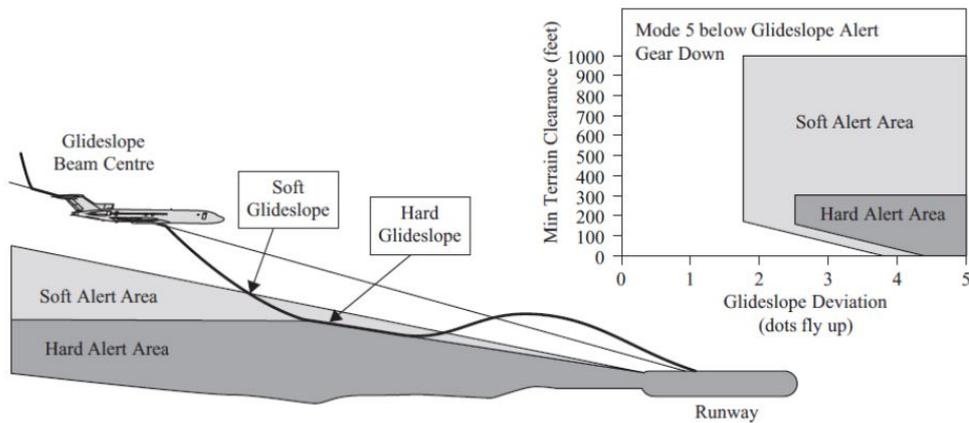


Figura 20 – Modo 5 - Desvio para Baixo de Rampa de ILS

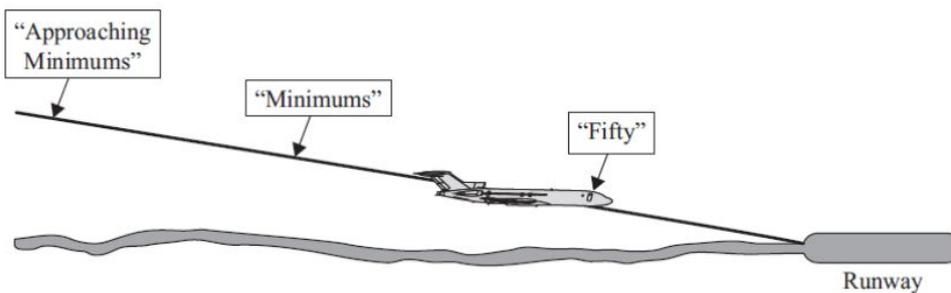


Figura 21 – Modo 6 - "Callouts" de Aproximação

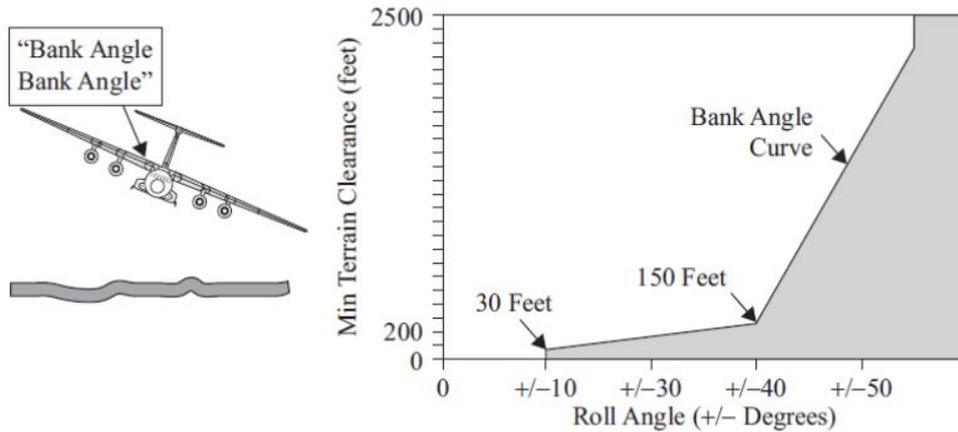


Figura 22 – Modo 6 - Avisos

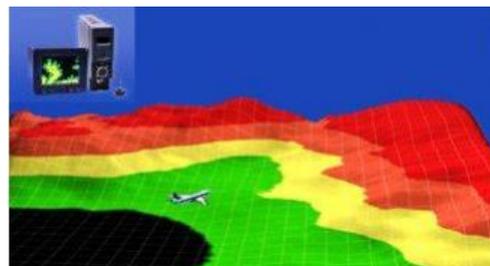
1. *Sink Rate!* e *Pull Up!* (warning);
2. *Terrain!* (warning);
3. *Terrain!* (caution);
4. *Too Low Terrain!*;
5. *Callouts* de Aproximação;
6. *Sink Rate!* (caution);
7. *Don't Sink!*.

1.6.1 Enhanced Ground Proximity Warning System

Como já citado, o EGPWS é basicamente o mesmo sistema que o GPWS, mas possui o adicional de apresentar um *display* que mostra o relevo em escala de cores, cuja base de dados é constantemente atualizada a cada 28 dias. As figuras a seguir ilustram esse diferencial, além de explicar a escala de cores.



(a) Tela do EGPWS com Informações de Relevo



(b) Representação do EGPWS com Informações de Relevo

Figura 23 – Indicações do EGPWS

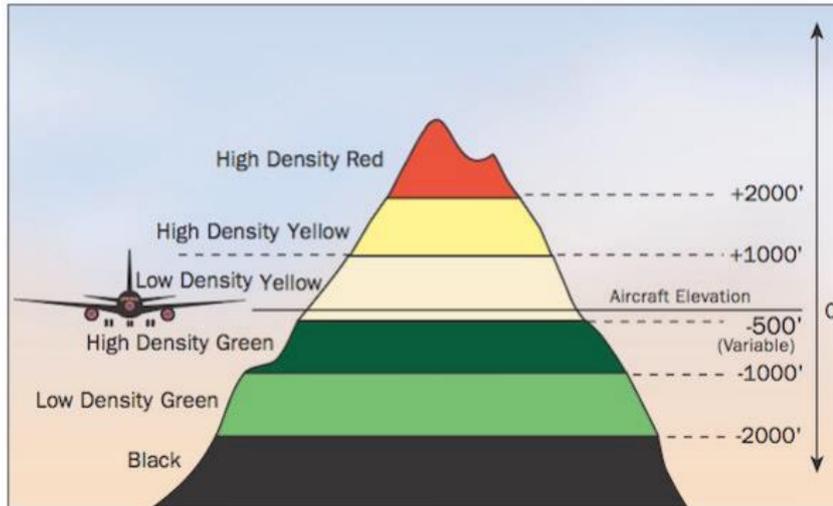


Figura 24 – Escala de Cores Usada no EGPWS

Dessa maneira, o mapa do relevo está na base de dados da aeronave e a cor que aparece na tela depende da altura relativa do avião em relação ao solo. Por exemplo, o terreno que se encontra a mais de 2 mil pés acima da aeronave naquele momento aparece em vermelho, enquanto o que se encontra entre mil e 2 mil pés abaixo da aeronave aparece em verde claro e assim por diante. Conforme a aeronave desce, a tendência é que o terreno fique mais vermelho e amarelo; conforme ela sobe, ocorre o oposto, com maior predominância de preto e verde.

Referências

1. *Advanced Avionics Handbook*: US Department of Transportation - Federal Aviation Administration, 2009.
2. *Instrument Flying Handbook*: US Department of Transportation - Federal Aviation Administration, 2012.
3. Mahafza, Bassem R. *Radar Signal Analysis and Processing Using Matlab*. Boca Raton, 2009.
4. McShea, Robert E. *Test and Evaluation of Aircraft Avionics and Weapon Systems*, 2nd Edition. Edison, 2014.
5. Moir, I. *Civil Avionics Systems*, 2nd Edition. Chichester, 2013.
6. Moir, I. *Military Avionics Systems*. Chichester, 2006.
7. Kayton, M. e Fried, W. *Avionics Navigation Systems*, 2nd Edition. Nova York, 1997.