

10. ESTABILIDADE E INSTABILIDADE ATMOSFÉRICA

ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA - Ocorre quando há ausência de movimentos convectivos ascendentes. Pode produzir nuvens do tipo estratiformes e também gerar névoas e nevoeiros; pode ocorrer precipitação leve e contínua e haver restrição de visibilidade.

INSTABILIDADE ATMOSFÉRICA – Ocorre quando predominam os movimentos convectivos ascendentes. Produz nuvens cumuliformes, que podem gerar precipitação em forma de pancadas e, com exceção dos períodos de precipitação, boa visibilidade.

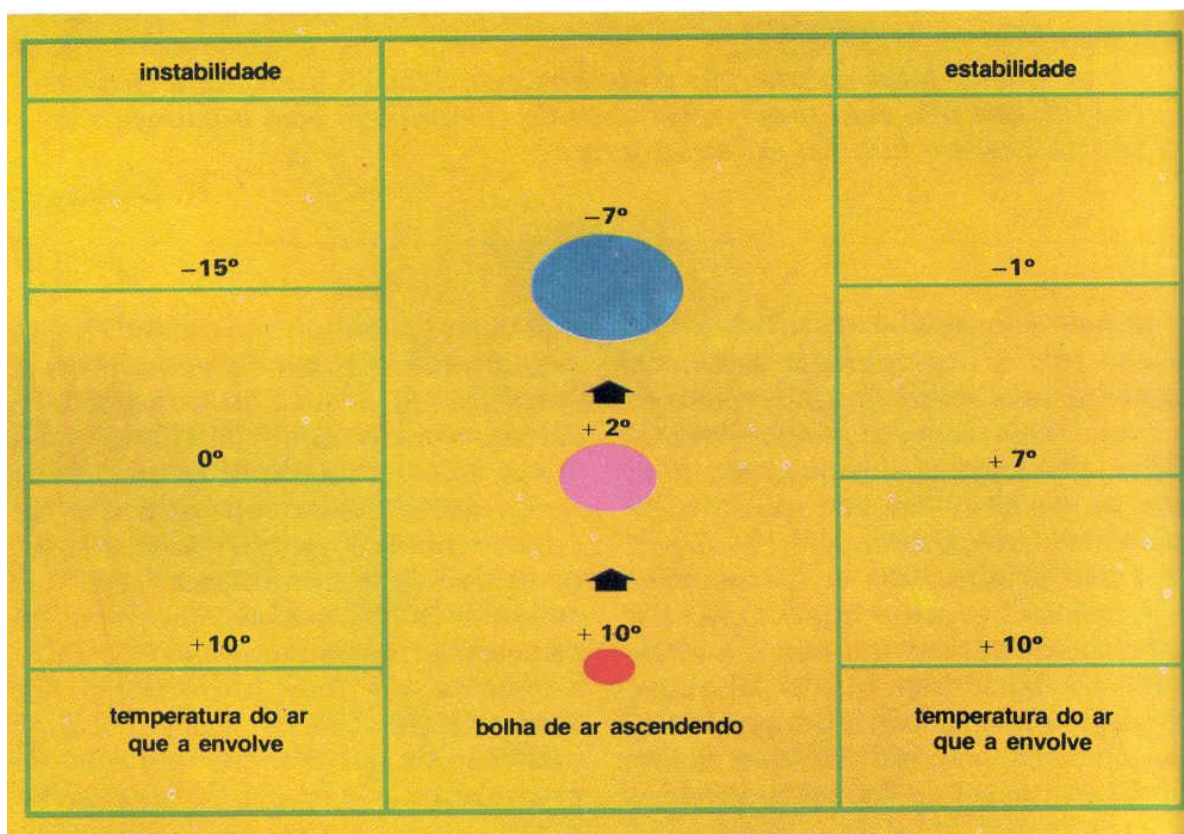


Figura 36 – Esquema de condição atmosférica estável e instável
Fonte: Salvat, 1980.

PROCESSO ADIABÁTICO – *processo de aquecimento ou resfriamento de uma partícula de ar sem troca de calor com o meio (o ar é um mau condutor de calor).*

RAZÃO ADIABÁTICA – *gradiente vertical de temperatura que se verifica sem troca de calor com o ar ambiente.*

RAZÃO ADIABÁTICA SECA (RAS) – *gradiente vertical de temperatura de uma parcela de ar seco que, ao se elevar, vai se resfriando adiabaticamente na proporção de $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$; na descida, o ar irá se aquecer adiabaticamente na mesma proporção. Se o gradiente térmico vertical for maior que $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, a parcela de ar seco se torna instável e tenderá a subir; se o gradiente for menor que $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ a parcela de ar seco se torna estável e tenderá a descer; para ocorrer o equilíbrio do ar seco, o gradiente térmico vertical real de um volume de ar seco deve ser igual à RAS.*

RAZÃO ADIABÁTICA ÚMIDA (RAU) – *gradiente vertical de temperatura que ocorre com o ar saturado na proporção média de $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Este valor é verificado a partir do nível de condensação convectiva, isto é, após ter iniciado a condensação e a formação de nuvens. Se o gradiente térmico vertical for maior que $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, a parcela de ar úmido se torna instável e tenderá a subir; se o gradiente for menor que $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ a parcela de ar úmido se torna estável e tenderá a descer; para ocorrer o equilíbrio do ar úmido, o gradiente térmico vertical real de um volume de ar úmido deve ser igual à RAU.*

ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA – Conforme o gradiente térmico vertical existente, a atmosfera apresentará 3 situações possíveis (estabilidade absoluta, instabilidade absoluta e atmosfera condicionada).

Estabilidade absoluta – independente do teor de umidade do ar, a atmosfera será ESTÁVEL sempre que ocorrer o GT menor que $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Instabilidade absoluta – independente do teor de umidade, a atmosfera será INSTÁVEL sempre que o GT for maior que $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$;

Atmosfera condicionada – quando o GT da atmosfera for maior que $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ e menor que $1,0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, a situação de equilíbrio será condicional; se

- 1) AR SECO – atmosfera será estável;
- 2) AR ÚMIDO/SATURADO – atmosfera será instável.

GRADIENTE SUPERADIABÁTICO – gradiente térmico maior que os gradientes adiabáticos (RAS e RAU) e que dá origem à instabilidade atmosférica.

GRADIENTE AUTOCONVECTIVO – aquele que provoca na atmosfera um grau máximo de instabilidade – $3,42^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (valor máximo já encontrado na atmosfera).

NCC – NÍVEL DE CONDENSAÇÃO CONVECTIVO – altura na qual uma parcela de ar, quando suficientemente aquecida por baixo, ascende adiabaticamente, até se tornar saturada, iniciando a condensação. No caso mais comum, é a altura das nuvens cumulus e cumulonimbus, que pode ser calculada pela fórmula $(T - TD) \times 125\text{ m}$; os dados devem ser extraídos dos boletins METAR e SPECI.

Ex: METAR SBGR 141730Z 18010KT 9999 BKN033 30/22 Q1020=

No exemplo acima, temos a diferença entre a temperatura do ar (30°C) e a temperatura do ponto de orvalho (22°C) igual a 8°C que, multiplicado por 125 (m), resultará em 1.000 m, que é a base das nuvens cumuliformes informadas no boletim.

Obs.: tal cálculo somente deve ser utilizado para formações cumuliformes de origem local (aquecimento local) e não para formações de gênese orográfica ou frontal.

Obs.: O gradiente térmico vertical da temperatura do ponto de orvalho é igual a 0,2°C/100m.

11. TURBULÊNCIA

TURBULÊNCIA – *Irregularidades na circulação atmosférica que afetam aeronaves em vôo, provocando solavancos bruscos em suas estruturas. É uma das principais causas de acidentes aéreos.*

TIPOS DE TURBULÊNCIA, SEGUNDO SUA GÊNESE:

A) TURBULÊNCIA TERMAL OU CONVECTIVA – *Associada às correntes térmicas sobre os continentes (principalmente durante as tardes de verão) ou oceanos (durante as noites). As nuvens cumuliformes são indicadores da existência desse tipo de turbulência.*

B) TURBULÊNCIA OROGRÁFICA – *surge do atrito do ar ao soprar contra elevações montanhosas; um indício de sua presença são as nuvens lenticulares (forma de amêndoas) nas cristas das elevações e nuvens rotoras à sotavento. À barlavento as aeronaves devem encontrar aumento de altitude (ganho de sustentação) e à sotavento perda de altitude, devendo aumentar a potência de seus reatores e sair da área de ondas orográficas.*

C) TURBULÊNCIA MECÂNICA OU DE SOLO – *provocada pelo atrito do ar ao soprar contra edificações e outros obstáculos artificiais. Afetam particularmente os helicópteros e aviões pequenos, que voam a baixa altura e também nos procedimentos de pouso e decolagem de aeródromos situados em áreas urbanas (ex.: Campo de Marte e Congonhas).*

D) TURBULÊNCIA DINÂMICA:

D.1) TURBULÊNCIA FRONTAL – *turbulência surgida com a presença de sistema frontal.*

D.2) TURBULÊNCIA EM AR CLARO (CAT) – *turbulência que surge sem nenhuma indicação visual, sob céu claro; geralmente está associada à Corrente de Jato (Jet Stream), com velocidades acima de 50 kt e de até 300 kt em altitudes acima de 20.000 ft; as cartas SIGWX dos FL250 /450 mostram as áreas previstas de CAT e JET STREAM.*

D.3) TURBULÊNCIA DE CORTANTE DE VENTO (WIND SHEAR) – *surge da variação na direção e/ou velocidade do vento em baixa altura (até 2.000 ft ou 600 m são mais perigosos), provocando o ganho ou perda de sustentação da aeronave e colocando em sério risco os vôos, principalmente nos procedimentos de pouso e decolagem. O gradiente de vento é reportado pelos pilotos das aeronaves que encontraram o fenômeno e o OBM registra a WS no final dos boletins METAR e SPECI; o previsor expede um aviso de gradiente de vento denominado WS WARNING.*

D.4) ESTEIRA DE TURBULÊNCIA (WAKE) – *surge nas trajetórias de pouso e decolagem, principalmente de aeronaves de grande porte, quando são formados vórtices a partir de hélices, turbinas ou pontas de asas; as aeronaves que se encontrarem atrás daquelas que geraram a esteira devem ter uma distância adequada para não sofrerem acidentes sérios (ex.: aeronave pequena deve ter separação de 6 milhas de uma aeronave considerada pesada – B747).*



Figura 37 – Esteira de turbulência de uma pequena aeronave
Fonte: Cabral e Romão, 1999.



Figura 38 – Esteira de turbulência de um helicóptero
Fonte: Cabral, 2001

TABELA DE INTENSIDADE DE WS (WIND SHEAR)

A intensidade de WS em aviação é classificada conforme a variação do vento em uma determinada distância.

INTENSIDADE	VARIAÇÃO
LEVE	0 a 2 m/s em 30m (100 pés) – 0 a 4 kt em 30m
MODERADA	2,6 a 4,1 m/s em 30 m – 5 a 8 kt em 30 m
FORTE	4,6 a 6,2 m/s em 30 m – 9 a 12 kt em 30 m
SEVERA	acima de 6,2 m/s em 30 m – mais de 12 kt em 30 m

Obs.: Eventos mais intensos estão associados à fortes correntes descendentes (downburst) que, ao atingirem o solo, espalham-se horizontalmente (outburst) podendo atingir até 100 km de distância em relação ao ponto de toque da corrente descendente no solo.

TABELA DE INTENSIDADE DE TURBULÊNCIA

INTENSIDADE	IDENTIFICAÇÃO
LEVE	<i>A aeronave sofre acelerações verticais inferiores a 2 m/s, porém não sofre alterações significativas em sua altitude. A tripulação sente a necessidade de utilizar cinto de segurança, mas os objetos continuam em repouso. O serviço de bordo pode prosseguir normalmente. Encontra-se pouco ou nenhuma dificuldade ao se caminhar pelo corredor da aeronave.</i>
MODERADA	<i>A aeronave sofre acelerações verticais entre 2 m/s e 5 m/s, podendo sofrer mudança de altitude, porém continua sob controle. É necessário o uso do cinto de segurança. Os objetos soltos podem se deslocar e encontra-se dificuldade para executar o serviço de bordo ou se deslocar pelo corredor da aeronave.</i>
FORTE	<i>A aeronave sofre acelerações verticais entre 5 m/s e 8 m/s, sofrendo bruscas mudanças de altitude. Pode-se, momentaneamente, perder o controle da aeronave. Os objetos soltos são fortemente lançados de um lado para o outro e os instrumentos a bordo vibram de modo intenso, criando sérias dificuldades para o piloto. Passageiros podem entrar em pânico devido aos movimentos violentos da aeronave. O serviço de bordo e o caminhar pelo corredor da aeronave se tornam impraticáveis.</i>
SEVERA	<i>A aeronave sofre acelerações verticais superiores a 8 m/s. Em tal situação é impossível o controle da aeronave e, devido à forte trepidação, podem ocorrer danos à sua estrutura.</i>

COMPARAÇÃO ENTRE TURBULÊNCIA E GRADIENTE DE VENTO

A ocorrência dos dois fenômenos está extremamente associada, diferenciando-se basicamente na ordem de grandeza de escala, relativa ao tamanho da aeronave e sua velocidade. A escala do gradiente de vento (WS) é maior que a da turbulência. O gradiente do vento altera a velocidade da aeronave e, portanto, sua sustentação. A turbulência afeta mais o controle da aeronave devido à forte trepidação.