

## LIMITE ENTRE A INSEGURANÇA E A TRANQUILIDADE: A IMPORTÂNCIA DOS FENÔMENOS METEOROLÓGICOS DA REGIÃO TROPICAL PARA A SEGURANÇA DE VOO



Eduardo Bühler Al CFOE MET  
 João Gabriel Alves Junior Al CFOE MET  
 Paulo César Silva da Costa Al CFOE MET  
 Milton Dias da Silveira Al CFOE MET

Felipe do Souto de Sá Gille Maj QOEMet<sup>1</sup>

### RESUMO

Pesquisas indicam uma melhora no cenário socioeconômico no Brasil. Uma nova população, potencialmente consumidora de bens e serviços emergiu das classes menos privilegiadas e alavancou vários setores, entre eles o aéreo. Para suprir essa nova demanda por viagens aéreas, novos voos e rotas foram criados. Contudo, percebeu-se a necessidade de um maior cuidado com a segurança, o que implica, necessariamente, entre outros pontos críticos, maior atenção aos fenômenos meteorológicos. A meteorologia é um fator preponderante que contribui para a ocorrência de acidentes e incidentes aéreos. Na região tropical, onde o fluxo aéreo teve significativo incremento, fenômenos meteorológicos típicos podem aumentar ainda mais o perigo nos céus. Vários desses fenômenos e suas consequências foram abordados neste trabalho.

**Palavras-chave:** Meteorologia tropical. Segurança. Fenômenos.

<sup>1</sup> Leitor técnico: serve atualmente na Base Aérea de Belém (BABE) como chefe do SCOAM. Graduado em meteorologia pela UFRJ. Especialista em Meteorologia Aeronáutica pelo ICEA e em Serviços Administrativos de Proteção ao Voo pela UNAMA.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o nível de emprego, assim como os rendimentos, apresentam um movimento de alta continuada. Com esse panorama econômico favorável, muitos brasileiros começaram a ter acesso a bens de consumo nunca antes proporcionados na história deste país. Muitos segmentos da economia começaram a crescer e entre eles está o setor aéreo. Rotas antes pouco exploradas agora são disputadas por uma grande parte da população emergente. A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) registrou, de janeiro a maio de 2010, que as companhias aéreas brasileiras acumularam crescimento de 29,86% no mercado nacional e 11,69% no mercado internacional.

Devido ao aumento do número de voos e à maior quantidade de pessoas que utilizam o avião como meio de transporte, existe a necessidade de se manter elevada a preocupação com a segurança de voo em nosso país e em todo o mundo. Analisando os dados fornecidos pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes (CENIPA), verifica-se que, entre 2000 e 2009, a meteorologia esteve presente como fator contribuinte em mais de 50% das ocorrências.

A necessidade de uma incansável vigilância quanto à segurança de voo torna-se ainda maior no norte e no nordeste do país, pois nessas regiões as distâncias entre os aeroportos são grandes e exigem um planejamento mais detalhado das tarefas tanto em solo quanto no ar. Além disso, a dinâmica da meteorologia é bem peculiar na região tropical onde a gênese e o comportamento dos fenômenos meteorológicos diferem do restante do planeta.

Região tropical é conhecida geograficamente como a área situada entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio, ou ainda, é a região entre os paralelos 30°N e 30°S. Numa definição mais técnica, a atmosfera tropical é aquela que envolve todo o conjunto

de propriedades cinemáticas e termodinâmicas que fazem a meteorologia tropical ter diferentes propriedades das regiões extratropicais. (Sá Gille, 1998).

Este trabalho apresenta a importância de se conhecerem alguns dos fenômenos meteorológicos da Região Tropical, que, em muitos casos, poderão contribuir para a ocorrência de acidentes e incidentes aeronáuticos.

## 2 DESENVOLVIMENTO

O Brasil vem passando por uma transformação socioeconômica há alguns anos. Vários índices, como os do IPEA, comprovam essa mudança. Os empresários perceberam o potencial de consumo das camadas inferiores da sociedade e começaram a se mobilizar.

No setor aéreo não foi diferente. Hoje se consegue comprar passagem de avião para qualquer lugar do Brasil, e até para o exterior, com um preço acessível e bastante facilitado, o que fez aumentar, em muito, o fluxo aéreo, como constatou a ANAC.

Um grande número de aeronaves voando, principalmente por regiões pouco exploradas, exige um planejamento complexo em todas as etapas do voo, para que a segurança não seja comprometida. Entre os fatores a serem observados, a meteorologia destaca-se com grande importância, não só em decorrência dos acidentes ocorridos entre 2000 e 2009, em que os fenômenos meteorológicos estiveram presentes como fator contribuinte em mais de 50% dos casos, como constatou o CENIPA, mas também pelo incremento do número de voos nas regiões Norte e Nordeste onde as enormes distâncias entre os aeroportos e os fenômenos meteorológicos da região tropical são fatores complicadores da segurança aérea. Por essas razões, é cada vez mais importante que a tripulação da aeronave, bem como os profissionais envolvidos na logística de uma viagem aérea tenham conhecimento acerca dos fenômenos meteorológicos dessa região.

O raio médio da Terra é de 6.371 km (Holton, 2003). Isto nos dá uma área de

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

superfície de aproximadamente 510.064.472 Km<sup>2</sup>, sendo que cerca de ¾ desta dessa área são cobertos por oceanos , e a porcentagem restante divide-se entre continentes e ilhas. A interação das áreas marítimas e continentais com a atmosfera, aliada às radiações provenientes do sol, desencadeia um desequilíbrio que propicia a formação de fenômenos meteorológicos.

Devido à translação da Terra e a seu eixo de rotação, os raios solares incidem na superfície do planeta de forma diferente, caracterizando regiões distintas em função da temperatura. Uma das mais importantes regiões do globo terrestre e a menos estudada é a região tropical, a qual recebe a maioria dos raios provenientes do sol de forma direta e, por isso, torna-se a região mais aquecida do planeta, quando a temperatura não é influenciada por fatores locais. Para fins deste estudo, considera-se Zona Tropical como uma região comprimida entre as latitudes das altas subtropicais, com seus eixos entre os ventos de este e oeste da troposfera baixa e média (SÁ GILLE, 1998). Essa definição torna flutuante a sua delimitação já que a pressão no cinturão de altas pressões varia sazonalmente. A variação de temperatura latitudinalmente na superfície terrestre desencadeia um ordenamento na circulação da atmosfera denominado fluxo ou circulação geral da atmosfera, com intuito de reequilibrá-la, fazendo com que o ar mais quente seja deslocado para os polos e o mais frio retorne para o Equador. Esse deslocamento é feito em forma de células e divide-se em Célula de Hadley, Célula de Ferrel e Célula Polar. Será dado ênfase à primeira Célula, que é o modelo simplificado da circulação nos trópicos.

A maioria das informações meteorológicas da Região Tropical foi coletada no início de 1960 pelo Programa de Pesquisa Global da Atmosfera (GARP-Global Atmospheric Research Program), ligado à Organização Meteorológica Mundial (OMM), que formulou o primeiro projeto de campo em grande escala denominado de Experimento do GARP no Atlântico Tropical (GATE GARP Atlantic Tropical Experiment) para coletar dados, originando estudos científicos importantes que , até

hoje, embasam grande parte do conhecimento que foi gerado a partir dessa época. Nessa trajetória, podem-se identificar fenômenos que atuam na Zona Tropical e que influenciam tanto o bem-estar dos moradores quanto as atividades aéreas. Destacam-se os seguintes fenômenos: Zona de Convergência Intertropical; Linhas de Instabilidade; Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis; Complexos Convectivos de Mesoescala; Ondas de Leste; Zona de Convergência do Atlântico sul; Assíntotas; Linhas de Cisalhamento; EL NIÑO e LA NIÑA, dentre outros.

Como definir qual o impacto que determinado fenômeno irá causar numa região? Ou quanto tempo ele irá atuar?

Para responder a essas perguntas, foi necessário criar uma escala para classificar os fenômenos de acordo com sua atuação no tempo e no espaço, utilizando uma técnica conveniente para estimar as magnitudes dos diversos termos das equações governantes para cada tipo de movimento e, assim, especificar parâmetros de amplitudes de flutuações das variáveis e escalas características de comprimento, profundidade e tempo nas quais essas flutuações ocorrem (HOLTON, 2004). Entre as várias escalas propostas, utilizar-se-á a escala de Stull (1988), com as seguintes relações: quando ocorrer em um tempo igual ou superior a um dia ou cobrir uma área igual ou superior a 200 quilômetros, ele é considerado de Macroescala; caso permaneça numa região entre 30 minutos a 1 dia ou sua extensão cubra de 200 metros a 200 quilômetros, é considerado de Mesoescala e, para intervalo de tempo inferior a 1 hora ou distâncias inferiores a aproximadamente 16 quilômetros, esses fenômenos são considerados de Microescala. A macroescala pode ser denominada de escala Sinótica ou escala Global.

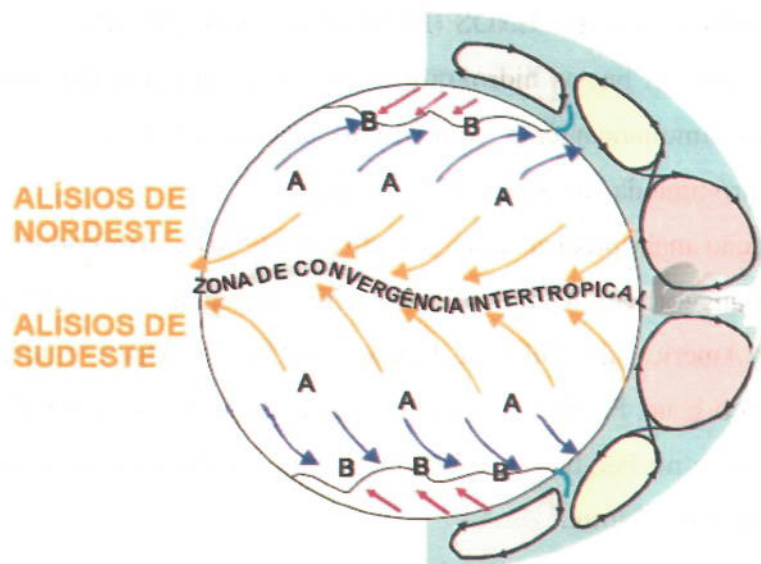
Conforme citado anteriormente, os modelos de circulação geral da atmosfera surgem com a finalidade de justificar o transporte de calor entre as latitudes, então, idealiza-se uma distribuição zonal do campo de pressão, a qual dispõe-se aproximadamente simétrica em relação ao equador térmico (isoterma de máxima temperatura do globo), alternando faixas de baixas e altas pressões (modelo proposto

R. CFOE	Belô Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

por C. G. Rossby). A célula de Hadley compreende uma faixa tropical cujo ramo ascendente (baixa pressão) estaria nas proximidades do equador e o ramo descendente (alta pressão) estaria a cerca de 30° de latitude, tanto para o norte quanto para o sul (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Nessa célula, próximo ao equador, o excesso de calor contribui para a evaporação e o aquecimento do ar nessa região. Essa energia armazenada na parcela de ar aquecida será transportada para níveis mais altos que, em condições favoráveis, irá resfriar-se e o vapor d'água contido nela condensará, liberando calor latente, formando nuvens e precipitação.

Esse movimento é caracterizado por dois fatores: por uma notável estabilidade (ventos alíseos) e pela pronunciada regularidade periódica (monções) que formam a principal corrente da atmosfera tropical (SÁ GILLE, 2008). Os alíseos são deslocamentos, em baixos níveis, das massas de ar quente dos Anticiclones Subtropicais para a zona de baixa pressão próxima ao equador. São caracterizados por ter uma direção estável, soprando de sudeste no hemisfério sul e de nordeste no hemisfério norte. A figura 1 mostra a célula de Hadley, a circulação dos ventos alíseos e os sistemas de pressões.



(A) áreas de alta e (B) de baixas pressões.

**Figura 1:** O encontro desses ventos forma uma região chamada de Zona de Convergência Intertropical (ITCZ)

**Fonte:** VAREJÃO SILVA-2006.

## 2.1 Zona de Convergência Intertropical (ITCZ)

Localiza-se na região do cavado<sup>2</sup> equatorial entre as duas altas subtropicais dos dois hemisférios. Há correntes ascendentes de massas de ar que são normalmente úmidas, formando expressivas nebulosidades, principalmente do tipo cumuliformes (cúmulos, grandes cúmulos e cumulonimbus). A ITCZ é móvel e sua posição diária e sazonal está condicionada à continentalidade ou maritimidade, que é a distância de um local ao oceano e mares, o relevo e a vegetação. Desloca-se entre uma área média de 2°

<sup>2</sup> Cavado é uma região alongada de uma relativa baixa pressão num plano horizontal. Na região de cavado, as isóbaras frequentemente não são fechadas. (SATYAMURTY, 2004).

sul em março a 14° norte em setembro (Sá Gille, 2008). Xavier et al (2003) estabelece uma inter-relação entre os eventos ENOS (El NIÑO de oscilação sul) e a ITCZ. Nesse estudo, conclui-se, para as bacias hidrográficas do Ceará, que a maior quantidade de precipitação ocorre simultaneamente com a presença do fenômeno LA NIÑA e a presença da ITCZ próxima da latitude de 4°S em média.

Uma descrição mais precisa, feita por Oliveira (2001), afirma que, no mês de janeiro, a ITCZ é mais forte no Atlântico e no Pacífico Oriental, mas também é extensa sobre o norte da América do Sul e a Região central da África e aparentemente inexistente no Índico e no Pacífico Ocidental. No mês de julho, a ITCZ permanece presente no Atlântico e no Pacífico e sofre forte deslocamento para as grandes massas continentais do Hemisfério Norte.

Recentemente ocorreu, na região da ITCZ, um acidente aéreo com o AIRBUS A330-203 da *Air France*, que transportava 228 passageiros e tripulantes, conforme dados do Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA, 2009). Suas causas ainda são um mistério, pois há uma escassez de informação que impede desvendar esse "quebra-cabeça". Porém, é inquestionável a presença de uma forte tempestade de relâmpago na área sobrevoada, conforme parecer do BEA. Após análise de imagens de satélite, melhor fonte de informação da região, concluiu-se que havia um poderoso Cluster ao longo da trajetória do voo. O Cluster multicelular é o mais comum tipo de trovoadas e consiste em um grupo de células movendo-se como uma única célula simples, com cada uma em um estágio diferente do ciclo de vida da trovoadas e podendo durar várias horas (SÁ GILLE, 2008). Nessa ocasião, a trovoadas tinha uma extensão de cerca de 400 Km e provavelmente algumas células tinham atingido a fase de maturidade, proporcionando notável turbulência no FL350 (BEA, 2009). A Air France informou que a aeronave aparentemente encontrou uma tempestade elétrica que causou "turbulência muito pesada" e a Agência de Notícias "Associated Press" disse que a aeronave aparentemente havia sofrido uma perda de pressurização na cabine.

Ainda que os fatores meteorológicos não tivessem sido preponderantes para causar essa tragédia ou outras, é inegável que a presença deles durante qualquer procedimento aéreo reveste o desempenho em um alto grau de dificuldade, contando com a capacidade, conhecimento e a destreza do piloto para poder realizá-lo com sucesso. O planejamento do voo é importante para a tripulação traçar estratégias para transpor esse obstáculo e assim realizar um voo seguro.

### 2.1.1 Linhas de instabilidade

Segundo Gamache e Houze (1982), a primeira descrição sobre linhas de instabilidade na região tropical, como fenômenos atmosféricos distintos, ocorreu em 1945, e a primeira documentação desses sistemas durante um experimento de campo aconteceu em 1969.

Uma linha de instabilidade tropical é a porção dianteira de um distúrbio propagante em mesoescala e pode se desenvolver por influência das brisas, as quais são formadas pelo aquecimento diferencial entre o continente e o oceano, formando um fluxo de vento constante e perpendicular à costa. Ela consiste basicamente de nuvens Cumulonimbos<sup>3</sup> e tem na sua retaguarda uma nuvem do tipo bigorna (*anvil cloud*) que, em geral, apresenta bastante precipitação. Várias nuvens cumuliformes formam-se ao longo dessa frente, em forma de linha. Os elementos convectivos são do tipo torres quentes, consistindo de fluxos ascendentes por empuxo de ar úmido (dos níveis inferiores para a alta troposfera). Na dianteira desse sistema, forma-se a frente de rajada (*gust front*).

No trabalho de Garstang et al (1994), estuda-se a estrutura e a cinemática de linhas de instabilidade de mesoescala na Bacia Amazônica; este é um dos principais causadores de chuvas na região. Estes sistemas formam-se ao longo da costa

<sup>3</sup> Nuvens com grande instabilidade e desenvolvimento vertical.

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

Norte/Nordeste (N/NE) da América do Sul como resultado de convecção induzida pela brisa marítima e são chamados Linhas de Instabilidade Costeira na Amazônia (ACSL). Eventualmente, esses sistemas propagam-se continente adentro, alcançando Manaus e até a encosta dos Andes, cerca de 48 horas após sua formação.

Cohen (1995) classifica as linhas de instabilidade de acordo com sua propagação continente adentro:

- a) linha costeira de convecção (CLC): não se afastam mais do que 170Km da costa;
- b) linha de instabilidade do tipo 1 (SL1): movem-se entre 170 e 400Km da costa;
- e
- c) linha de instabilidade do tipo 2 (SL2): movem-se mais do que 400Km da costa.

De acordo com Cohen (1989), o deslocamento máximo de uma SL2 na Amazônia foi de 2000 Km, enquanto que na África Oeste é de 2100 Km e na Venezuela é de 150 Km; em termos de dimensões, na África 750 Km de comprimento e 433 Km em largura; na Venezuela, 98 Km de comprimento e 29 Km de largura.

### 2.1.2 Linhas de cisalhamento e assíntotas

Duas classes de distúrbios lineares que geralmente são observados nos trópicos são as Linhas de Cisalhamento e as Assíntotas.

Um distúrbio linear é um sistema sinótico, no qual a vorticidade ou a divergência, ou ambas, tendem a estar concentradas em uma região. Seu comprimento é maior que sua largura.

Sinótico deriva do grego "*synopticos*", que significa elaborar a visão geral de um todo. Em meteorologia, este termo é utilizado em contextos de dimensões horizontais e tempos de duração de fenômenos atmosféricos como ciclones e

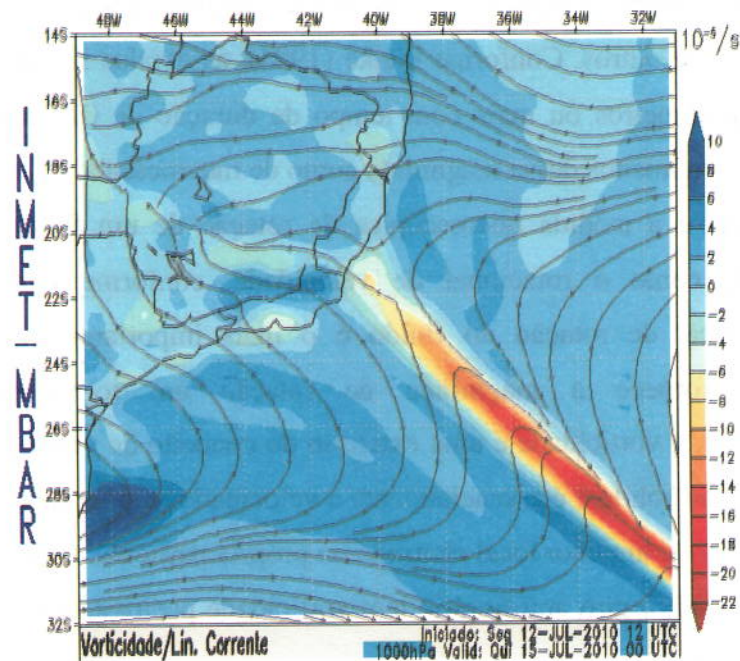
anticiclones extratropicais, cavados e cristas no escoamento baroclínico de oeste, zonas frontais e jatos, entre outros. Conforme Pielke (1984), as escalas sinóticas ocorrem em ordem de 200 quilômetros ou mais com tempo de duração de 01 dia ou mais. Stull (1988) classifica fenômenos dessa magnitude como de macroescala.

Vorticidade é a medida microscópica de rotação de um fluido, é um campo vetorial definido como o rotacional de velocidade, conforme Holton (2004). O componente vertical de rotação do fluido é o mais importante para movimentos sinóticos, pois fornece a magnitude de rotação em torno de uma área. Fundamentalmente, a vorticidade é uma extensão do conceito de velocidade angular de rotação de um corpo sólido e é essencialmente a velocidade angular de uma partícula de um fluido em torno de um eixo local centrado na própria partícula. Convencionalmente, para o hemisfério sul, o giro anti-horário tem vorticidade positiva, e o giro horário tem vorticidade negativa.

Divergência pode ser entendido como um escalar que mede a dispersão ou divergência dos vetores do campo num determinado ponto, ou seja, mede a magnitude de fonte.

#### **2.1.2.1 Linhas de cisalhamento**

É uma linha ou zona estreita através da qual há uma mudança abrupta na componente horizontal do vento paralelo a ela, conforme a figura 2.



**Figura 2:** Vorticidade / Linha de Corrente em 1000 hPa  
**Fonte:** SÁ GILLE, 2010.

As linhas de cisalhamento estão frequentemente relacionadas aos cavados de monção da baixa troposfera e aos cavados tropicais da alta troposfera. Podem também estar associadas às áreas frotolisadas, como as antigas zonais frontais que alcançam o ambiente barotrópico dos trópicos. (as frentes do norte das Caraíbas e América Central).

Estes cavados contêm uma série de vórtices ciclônicos, de modo que a vorticidade e a divergência ao longo deles são caracterizados por linhas alongadas de cisalhamento de ventos, podendo ser classificados como distúrbios lineares. A maior parte dos ventos perto dos cavados da alta troposfera está associada a vórtices ciclônicos ao longo das linhas do cavado. Próximo aos cavados na baixa troposfera, pode haver considerável nebulosidade e precipitação, mesmo quando vórtices ciclônicos pronunciados não estão presentes. Há, frequentemente, um mínimo da linha do cavado das monções na baixa troposfera sobre as regiões oceânicas tropicais, com nebulosidade

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

em qualquer lado do cavado. As regiões de máxima cobertura e precipitação estão localizadas no fluxo de oeste de baixo nível, no lado do cavado voltado para o equador. Os topos médios de nuvens nessas linhas de cisalhamento geralmente são altos, variando de 10.000 a 15.000 pés, sendo que os tetos baixos e a precipitação ao longo da linha podem causar condições de mau tempo, ainda mais em regiões que sofram efeito da orografia. Células convectivas podem formar-se ao longo dos cavados que, em algumas situações podem dar origem a ciclones tropicais.

### 2.1.2.2 Assíntotas

O mau tempo nos trópicos é frequentemente associado às assíntotas de convergência na baixa troposfera, que não estejam associadas a descontinuidades frontais. Ciclones de baixos níveis geralmente têm uma ou mais assíntotas de convergência emergindo no centro da circulação, enquanto que os anticiclones são tipicamente relacionados com assíntotas de divergência, conforme se vê nas figuras 3 e 4.



**Figura 3:** Assíntotas de convergência  
Fonte: SÁ GILLE, 1998



**Figura 4:** Assíntotas de divergência  
Fonte: SÁ GILLE, 1998

Essas assíntotas, associadas a vórtices e frentes, podem ser previstas com alguma habilidade a partir da continuidade de movimentos anteriores de vórtices e frentes. Assíntotas podem ser úteis para explicar as condições de tempo presente e são

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

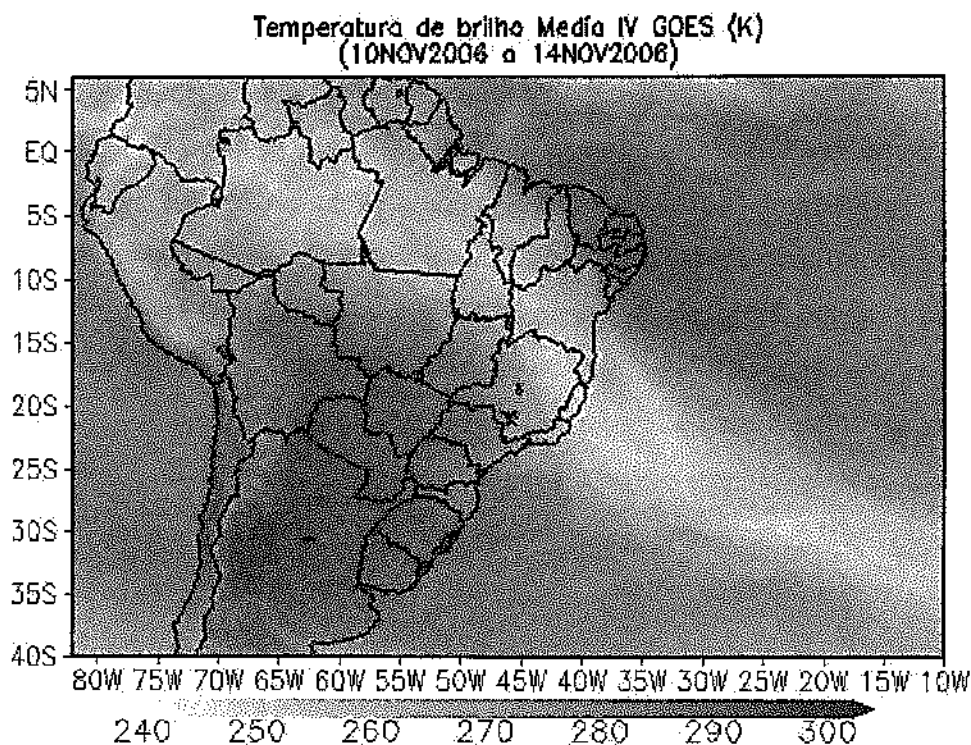
extremamente difíceis de serem previstas quando se deslocam de modo independente dentro de massas tropicais. (SÁ GILLÉ, 1998).

## 2.2 Zona de convergência do atlântico SUL (ZCAS)

A ZCAS pode ser identificada, na composição de imagens de satélite, como uma banda de nebulosidade de orientação Noroeste/Sudeste (NW/SE), estendendo-se desde o sul da região Amazônica até a região central do Atlântico Sul (KOUSKY, 1988). As características seriam: estendem-se para leste, nos subtrópicos, a partir de regiões tropicais específicas de intensa atividade convectiva; formam-se ao longo de jatos subtropicais em altos níveis e a leste de cavados semiestacionários; são zonas de convergência em uma camada inferior úmida, espessa e baroclínica<sup>4</sup>; estão localizadas na fronteira de massas de ar tropical úmida, em regiões de forte gradiente de umidade em baixos níveis, com geração de instabilidade convectiva por processo de advecção diferencial.

---

<sup>4</sup> Refere-se a uma atmosfera em que a densidade varia em função da pressão atmosférica e da temperatura.



**Figura 5:** Zona de Convergência do Atlântico Sul. Período de 10 a 14 de novembro de 2006.  
**Fonte:** [http://mastermx.com.br/simerj/boletim/2006/nov06/nov06\\_211006.htm](http://mastermx.com.br/simerj/boletim/2006/nov06/nov06_211006.htm)

A ZCAS, figura 5, sofre influência tanto de fatores remotos quanto de fatores locais. Aparentemente as influências remotas modulam o início, a duração e a localização da ZCAS, enquanto os fatores locais (pressão atmosférica, temperatura e umidade) são determinantes para a ocorrência desse fenômeno, ou seja, sem eles o sistema provavelmente não existiria. A existência dessa onda está vinculada à convecção na região tropical e nas próprias Zonas de Convergência.

Diversos podem ser os fatores locais, porém o único consenso parece ser quanto ao papel da convecção na região Amazônica. Em um estudo observacional das Zonas de Convergência Sub-Tropicais, Kodama (1993) mostrou que essas zonas aparecem somente quando duas condições de grande escala são satisfeitas: o escoamento de ar quente e úmido, em baixos níveis, em direção às altas latitudes; um jato subtropical (JST) em altos níveis fluindo em latitudes subtropicais.

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

O escoamento em baixos níveis intensifica a convergência de umidade enquanto, combinado com o JST, intensifica a frontogênese no campo da temperatura potencial equivalente, influenciando na geração da instabilidade convectiva. O estabelecimento desse padrão de circulação está claramente associado à atividade convectiva na Amazônia e no Brasil Central, que intensifica o JST em altos níveis, em um processo de conversão de energia cinética divergente em energia cinética rotacional (HURRELL; VINCENT, 1991). Já o efeito local dos Andes não tem um papel preponderante na gênese da ZCAS, aparentemente intensifica o escoamento em baixos níveis, auxiliando, assim, a alimentação da convergência com o ar úmido da região Amazônica.

### 2.3 Ondas de leste

São distúrbios que, por se moverem com os alísios para oeste e apresentarem configurações ondulatórias nos campos de vento e pressão, são chamados Ondas de Leste. Segundo Berry et al (1945), tais distúrbios ocorrem em diversas partes dos trópicos, sendo que estudos extensivos têm sido realizados no Oceano Atlântico Tropical Norte, no Caribe e na região do Pacífico Tropical Oeste.

O modelo clássico de descrição das ondas de leste foi desenvolvido por Riehl (1954) na região do Caribe. Riehl foi o primeiro a fornecer uma descrição 3-D detalhada dessa onda. Segundo ele, as ondas de leste são oscilações nos campos de pressão e vento, que se encontram em fase na superfície. O cavado estende-se em direção ao polo; tem orientação Nordeste/Sudoeste (NE-SW) no hemisfério Norte; e inclina-se para leste com a altura. Na dianteira do cavado, há divergência e movimento subsidente nos baixos níveis, com características de bom tempo; e, na retaguarda, há convergência nos baixos níveis com predominância de forte movimento ascendente e convecção profunda.

As Ondas de Leste são "as ondas longas" que ocorrem dentro do cinturão do vento, iniciam na África Ocidental Norte e propagam para o oeste no fluxo troposférico mais baixo através do Oceano Atlântico. Aproximadamente duas ondas de leste por semana viajam da África até a América do Norte durante a estação dos furacões.

Passando do continente africano para o Atlântico Oriental frio, as ondas geralmente enfraquecem, mas os seus "resquícios" sobrevivem na maior parte do Atlântico até as Caraíbas ocidentais onde algumas vezes voltam a se regenerar. Somente 9 de 100 ondas de leste sobrevivem para tornar-se tempestades tropicais com força significativa ou furacões desenvolvidos.

No início, uma onda de leste tem uma amplitude pequena e produz suaves pancadas de chuva. As tempestades poderosas e a força de ventos em altos níveis amplificam a onda, quando as circunstâncias atmosféricas são favoráveis. Diversas tempestades severas surgem daí e, eventualmente, podem evoluir para uma tempestade tropical.

Com a finalidade de compreender porque uma onda de leste gera a convecção, seria necessário verificar quais cristas e cavados são gerados nas ondas longas e afetam diretamente o comportamento do vento geostrófico<sup>5</sup>. Observa-se a formação de uma curva no vento geostrófico, côncava para uma pressão mais baixa, denominada "cavado" na onda. Quando o vento cruza uma latitude da referência para o sul, observa-se uma curva côncava do vento para a alta pressão. A isto chamamos de "crista" na onda.

Antes de um cavado, onde o fluxo de ar na onda esteja convergindo, o ar começa "a se elevar", afastando-se da superfície, produzindo, assim, uma pressão mais baixa perto da superfície. Inversamente, antes de uma crista, onde o fluxo de ar esteja acelerando acima e divergindo, o ar começa a ser "sugado em abaixo" na onda longa, produzindo subsidência e uma pressão mais elevada se forma perto da superfície. Dessa

<sup>5</sup> Os ventos geostróficos são os escoamentos horizontais que ocorrem, exclusivamente, como resultado do equilíbrio da força do gradiente de pressão pela força de deflexão resultante da rotação da Terra, a força de Coriolis.

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

maneira, as regiões de subsidência e a ascensão de ar na superfície são relacionadas à posição dos cavados e das cristas na onda de leste. A divergência em camadas baixas e a subsidência são encontradas adiante (ao oeste) da linha central do cavado. A convergência, com movimento ascendente e o mau tempo (pancadas de chuva e cumulus de grande elevação vertical) são concentrados na sua parte traseira (ao leste).

### 2.3.1 Dificuldades no estudo das ondas de leste

As dificuldades no estudo das ondas de leste são:

a) relativa sutileza em intensidade: amplitude das ondas de leste migratórias é bem menor do que os cavados e cristas nas latitudes tropicais, não sendo facilmente identificáveis em cartas sinóticas. Assim, é necessária uma análise especial para detectá-las;

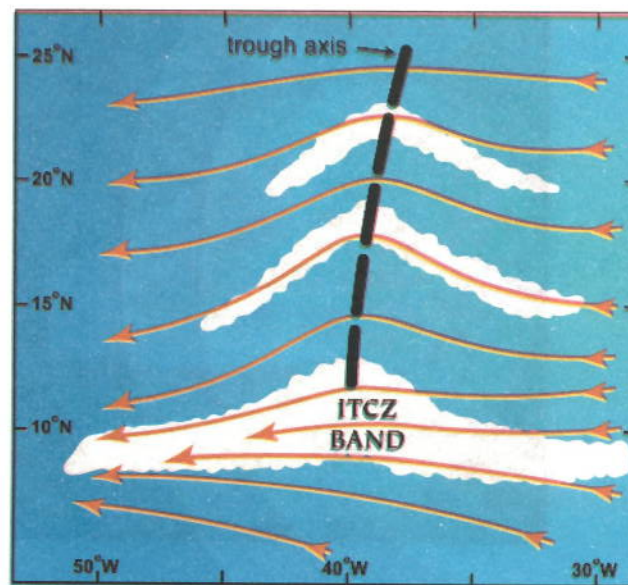
b) ausência de uma estrutura uniforme: as ondas de leste estão imersas no escoamento zonal que, por sua vez, apresenta estruturas distintas de região para região e de estação para estação.

c) ausência de dados da região tropical: grande parte dos trópicos é coberta por oceanos, sobre os quais é difícil estabelecer observações frequentes; mesmo sobre os continentes, não há uma rede considerável de observações.

No Hemisfério Norte, a estrutura horizontal de uma onda de leste está mais evidente entre 700 e 500 hPa, e a onda raramente afeta o ar acima do nível de 100 hPa. Elas são melhor definidas durante o período que vai de final de maio até início de agosto de cada ano. No nível médio de 500 hPa, não é raro encontrar vortacidade ciclônica ou mesmo um ciclone fechado atuando.

Ao se observar a configuração de umidade relativa nos níveis atmosféricos mais baixos, é fácil identificar que a região de atuação das ondas de leste seca rapidamente após o nível de 500 hPa.

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

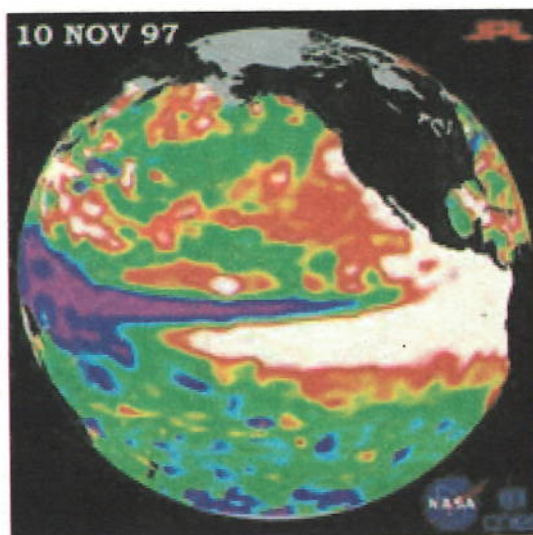


**Figura 6:** Padrão de V invertido da nuvem, causado pela convecção ao longo de uma onda de leste.

**Fonte:** SÁ GILLE, 2010.

## 2.4 El Niño

El Niño representa o aquecimento anormal das águas superficiais e subsuperficiais do Oceano Pacífico Equatorial. A palavra El Niño é derivada do espanhol, e refere-se à presença de águas quentes que todos os anos aparecem na costa norte de Peru na época de Natal. Os pescadores do Peru e Equador chamaram a esta presença de águas mais quentes de “Corriente de El Niño” em referência ao Niño Jesus ou Menino Jesus.



**Figura 7:** El Niño - o tom mais claro indica um aquecimento das águas do Pacífico Equatorial.  
**Fonte:** <http://apod.nasa.gov/apod/ap971112.html>

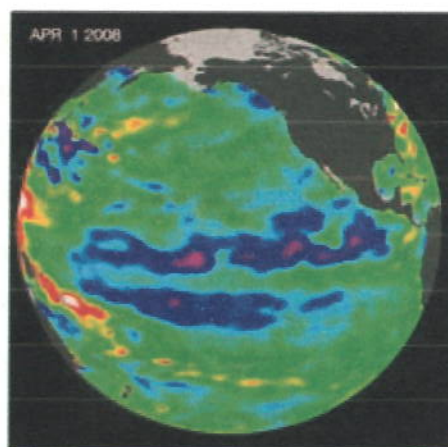
Dependendo da diminuição ou aumento na intensidade dos ventos alísios pode-se gerar o aparecimento dos fenômenos El Niño e La Niña, respectivamente. Os pesquisadores ainda não sabem as causas da mudança da intensidade desses ventos, apenas conhecem seus efeitos, que explicaremos usando um “modelinho simples” (OLIVEIRA, 2001). Imagine uma piscina cheia de água num dia ensolarado. Numa das bordas da piscina coloque um grande ventilador ligado. O vento irá gerar uma turbulência na água e com o passar do tempo, haverá um represamento na piscina no lado oposto ao ventilador, proporcionando um certo desnível. Isso ocorre porque o vento está “empurrando” as águas quentes superficiais para um lado da piscina e expondo o outro lado com águas frias das partes mais profundas. Esse é o padrão que ocorre sem a presença do El Niño. O ventilador faz o papel dos ventos alísios e a piscina, o do Oceano Pacífico Equatorial. Por isso observamos águas mais quentes no Oceano Pacífico Equatorial Oeste, onde há mais evaporação e águas um pouco mais frias na costa oeste da América do Sul.

Agora, desligue o ventilador, ou coloque-o em potência mínima. O arrasto que o vento estava provocando na água irá desaparecer ou diminuir. As águas do lado oposto ao ventilador irão então refluir para que o mesmo nível seja observado em toda a piscina. O Sol continuará aquecendo a piscina que, teoricamente, deverá ficar aquecida igualmente em todas as partes.

Voltando a correlacionar com o Oceano Pacífico, o ventilador desligado ou em potência mínima significa o enfraquecimento dos ventos alísios. Todo o Oceano Pacífico Equatorial começa a aquecer. Agora, em vez de se observar a formação de nuvens com intensas chuvas no Pacífico Equatorial Ocidental, observar-se-á a formação de nuvens principalmente no Pacífico Equatorial Central e Oriental.

## 2.5 La Niña

O termo La Niña ("a menina", em espanhol) surgiu e caracteriza fenômeno oposto ao El Niño. Pode ser chamado também de anti-El Niño; porém, como o El Niño se refere ao menino Jesus, anti-El Niño seria, então, o Diabo e, portanto, termo mais utilizado é La Niña.



**Figura 8:** La Nina os tons azul ao violeta indicam águas mais frias no Pacífico Equatorial  
**Fonte:** <http://www.relaxedpolitics.com/?p=17279>

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

Agora, ao invés de desligar o ventilador, ligue-o com potência maior. Com os ventos mais intensos, maior quantidade de água vai se acumular na piscina no lado oposto ao ventilador e, com isso, o desnível da piscina também vai aumentar. Retornando ao Oceano Pacífico, com os ventos alísios (que seriam os ventos do ventilador) mais intensos, mais águas ficarão "represadas", no Pacífico Equatorial Oeste, e o desnível entre o Pacífico Ocidental e Oriental aumentará. A região com grande quantidade de chuvas agora vai do nordeste do Oceano Índico a oeste do Oceano Pacífico, passando pela Indonésia e pela região de secas no Pacífico Equatorial Central e Oriental.

## 2.6 Consequências do El niño e da La niña

Uma das consequências dos fenômenos El Niño e La Niña, segundo estudos da Administração Nacional de Oceanos e Atmosfera (NOAA), como também da Universidade do Colorado, é que o fenômeno El Niño tende a reduzir o número de tempestades no Atlântico Norte.

Robert M. Wilson, pesquisador da NASA, fez um trabalho de análise estatística da atividade de ciclones tropicais no Atlântico entre 1950 e 1998 e descobriu que, quando o El Niño está presente, o número de furacões intensos numa temporada nunca foi superior a três. Ao contrário, quando não se há o fenômeno El Niño no Pacífico, o número de tempestades intensas por temporada cresce até sete.

Christopher W. Landsea indicou que o fenômeno La Niña se traduz em tempestades mais frequentes e danosas. Em 73 anos cobertos pelo estudo, o número total de tempestades tropicais e furacões alcançando a costa foi de 58 em anos de El Niño contra 82 em anos de La Niña. Por isso, vê-se a necessidade de um maior planejamento na segurança dos voos em períodos de influência desses dois fenômenos.

## 2.7 Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM)

A partir de 1980, o estudo da atividade convectiva em nível de mesoescala tem sido limitado aos fenômenos como grandes nuvens convectivas, tempestades e furacões, linhas de instabilidade de latitudes médias e sistemas de brisas marítimas e terrestres. Em 1980, Robert A. Maddox introduziu o conceito de Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) depois de estudar cuidadosamente imagens infravermelhas (IR) de satélites sobre a região central dos Estados Unidos durante 1978. O CCM foi contrastado com Linhas de Instabilidade de Latitudes Médias e concluiu-se que podia ser uma única entidade formada de diferentes condições sinóticas com características completamente diferentes.

CCM são fenômenos atmosféricos importantes devido à grande área de atuação, na ordem de centenas de quilômetros quadrados, com outros sistemas associados com tempo severo tais como tornados, ventos fortes, granizo grande, chuvas extremamente intensas e chuvas com inundações subsequentes. Assim, é de grande interesse para os meteorologistas ter a capacidade de prever esses eventos em tempo de emitir avisos meteorológicos, especialmente porque a maioria destas tempestades chegam ao estágio de maturidade durante a noite. (REYNOLDS, 1990)

Pilotos também podem ter problemas com esses sistemas, pois as grandes distâncias associadas a um comportamento peculiar dos fenômenos meteorológicos da região tropical requerem um melhor planejamento do voo. A fase de desenvolvimento, "a aglomeração e expansão de células de tempestade podem ocorrer tão rapidamente que o piloto de um avião de baixa performance pode encontrar-se literalmente tragado pela tempestade". (MADDOX; FRITSCH, 1984). Um avião comercial que voe nas proximidades da faixa de um jato de nível superior, dependendo do hemisfério em que esteja, pode encontrar ventos favoráveis ou não ao voo interferindo na economia de combustível.

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

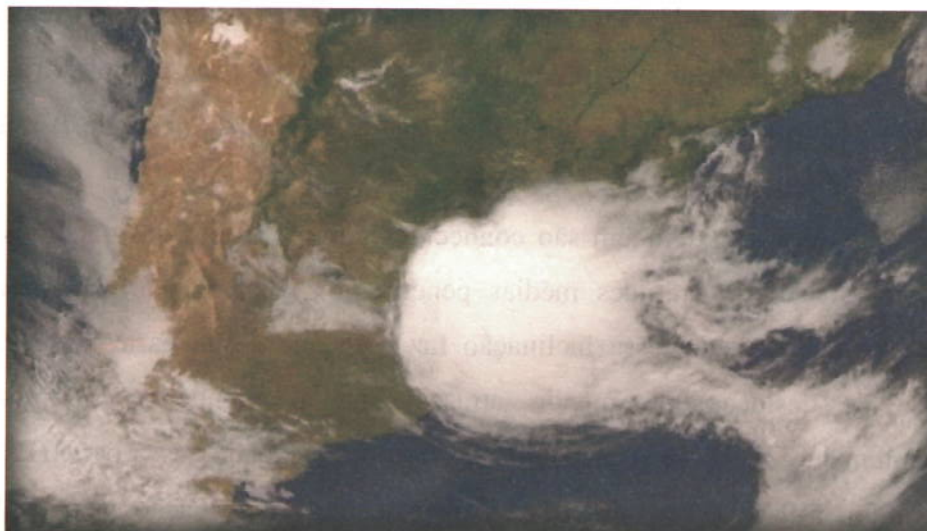
É razoável supor que CCM não são exclusivos para a América do Norte. As características geográficas e ambientais do CCM como, por exemplo, as cadeias de montanhas no sentido Norte-Sul, geram regiões cujas massas de ar úmidas movendo-se dos polos para os trópicos produzam frequentes distúrbios de média e alta troposfera (ondas curtas) no lado ocidental, como ocorrem em outros locais do mundo. Velasco e Fritsch (1987) viram que a região da América do Sul que compreende o Norte da Argentina, Paraguai e Sul do Brasil tinha essas características e constataram que CCM também pode ocorrer sobre essa região.

Verificou-se que, na América do Sul e na América do Norte, os CCM têm ciclos de vida semelhantes, sendo predominantemente noturnos, mas na América do Sul eles se desenvolvem um pouco mais tarde e duram um pouco mais. Perto de 30% de ambos os conjuntos de CCM têm origem em tempestades convectivas geradas a sotavento de suas respectivas cadeias de montanhas. (REYNOLDS, 1990).

CCM da América do Sul, no entanto, tendem a ser 60% maiores e mais intensos do que os da América do Norte, que podem ser causados por ar subtropical alimentando a convecção com ar mais úmido. O jato de baixo nível que advecta esse ar é mais forte na América do Sul, possivelmente devido à Cordilheira dos Andes ser maior do que as montanhas rochosas da América do Norte e o terreno inclinado a leste das montanhas ser mais acentuado também. O Jato Subtropical não migra em direção ao pólo, tampouco o caminho do CCM na América do Sul vai nessa direção; enquanto que, na América do Norte, o Jato Polar e CCM migram ao polo no hemisfério norte. A "temporada CCM" na América do Sul tem cerca de 8 meses de duração, enquanto na América do Norte tem apenas cerca de 5 meses. Finalmente, a tentativa de ligar o aumento do número de CCM entre a América do Sul e a América do Norte pode ser feita pelo El Niño. (REYNOLDS, 1990).

Os CCM na região tropical são mais numerosos e distintos à noite e seus ciclos de vida começam quase quatro horas mais tarde, são de uma 1 a três horas mais curtos

do que os CCM norte-americanos e tendem a desenvolver de restos de convecção anterior. Há uma alta incidência de sistemas relativamente pequenos, embora o tamanho médio ainda é bem próximo das tempestades da América do Norte. Mensalmente, a distribuição de CCM “segue o sol” nos dois hemisférios. Isto é, há um aumento na atividade rapidamente após o Equinócio da Primavera e, em seguida, persiste de um a dois meses após o Equinócio de Outono. Mais pesquisas precisam ser feitas sobre os processos internos destes CCM para compará-los às tempestades norte-americanas.



**Figura 9:** Complexo convectivo de mesoescala 17/11/2009, ocorrido na região sul do Brasil, no nordeste da Argentina e no sudeste do Paraguai.

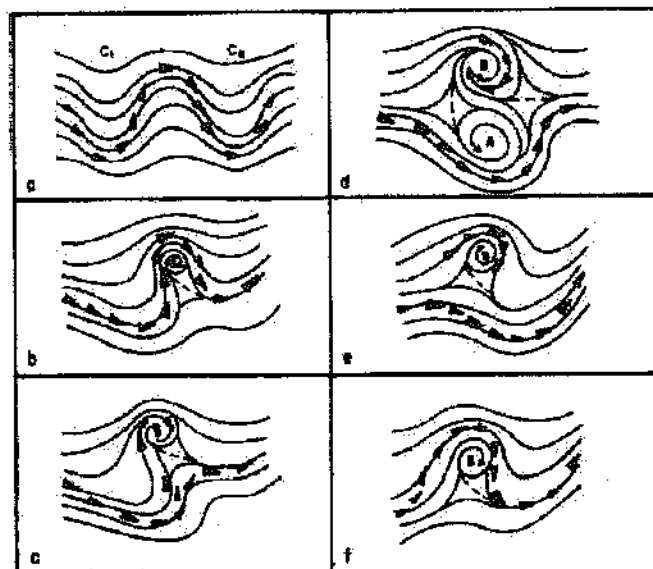
**Fonte:** [http://climaycompania.blogspot.com/2009\\_11\\_01\\_archive.html](http://climaycompania.blogspot.com/2009_11_01_archive.html)

## 2.8 Vórtices ciclônicos de altos níveis

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) são sistemas de escalas sinóticas que ocorrem na alta troposfera e influenciam muito o tempo nas regiões que atuam trazendo episódios com grande quantidade de precipitação. Os vórtices ciclônicos da alta troposfera são sistemas fechados de baixa pressão, de escala sinótica, que se formam na alta troposfera (GAN; KOUSKY, 1982). São também chamados de baixas

frias (apresentam centro mais frio que a periferia), baixas desprendidas, Ciclones Hona (Havaí). Consistem de uma circulação ciclônica fechada, cujo núcleo é mais frio que a periferia e que se forma na alta troposfera. Podem ter um tempo de atividade curto ou persistirem por vários dias consecutivos, ou mesmo semanas, mantendo-se quase estacionários ou movendo-se rápido e irregularmente. O movimento vertical é subsidente (descendente) no centro do vórtice e ascendente na periferia, especialmente na área de maior atividade convectiva. Originam-se nos meses de primavera, verão e outono sobre o Oceano Atlântico, sendo o mês de janeiro o de maior frequência de ocorrência. Quando avançam para o continente, atingindo o Nordeste brasileiro, causam precipitação na costa norte da Região e nos estados do Piauí e oeste de Pernambuco, mantendo céu limpo na Bahia.

Na literatura, eles também são conhecidos como vórtices desprendidos (VDs). Quando um cavado de latitudes médias penetra nos trópicos com uma inclinação meridional bem acentuada, essa inclinação faz com que a sua parte norte, que tem velocidade de deslocamento menor, atrase-se até desprender-se completamente. Conseqüentemente, forma-se uma circulação ciclônica fechada nessa parte (PALMÉN, 1949). Weldon (1983) define um tipo de mecanismo de formação para os VDs no Hemisfério Norte chamado de "Roll-over cycle". Este mecanismo segue o modelo de Palmén, mas os VDs associados originam-se em situações de bifurcação, sendo que as correntes dos jatos polar e subtropical têm um papel muito importante. A figura 10 ilustra este mecanismo de formação adaptado para o Hemisfério Sul e as setas indicam ventos fortes associados ao jato nos ventos do oeste.

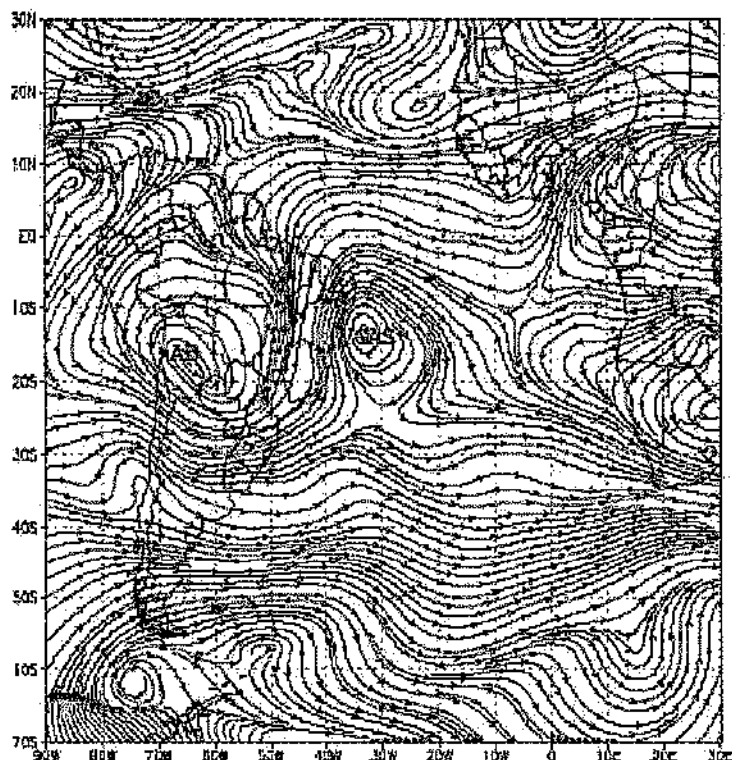


**Figura 10:** Mecanismo de formação “Roll-over cycle”, adaptado para o Hemisfério Sul  
**Fonte:** WELDON, 1991.

Dos ciclones conhecidos, os VCAN, em geral, são os mais persistentes. No entanto, Frank (1966) observou que seu tempo de vida varia consideravelmente, pois alguns permanecem por mais de uma semana, enquanto que outros perduram por apenas algumas horas. A região nordeste do Brasil é caracterizada por uma grande irregularidade do seu regime pluviométrico, decorrente da influência de vários sistemas atmosféricos. A acentuada variabilidade temporal e espacial das chuvas é um fator de efeitos danosos às localidades atingidas, pois tanto pode provocar secas como também enchentes.

Entre os fenômenos que atuam na região Nordeste do Brasil, o vórtice ciclônico de ar superior (VCAS) tem se destacado como um dos principais sistemas provocadores de precipitação na época que precede a estação chuvosa, a qual ocorre entre os meses de abril e junho. Portanto, é extremamente importante a obtenção de um maior conhecimento sobre a evolução temporal e espacial desse sistema.

Quanto ao mecanismo de formação, podemos dividi-lo em Formação Clássica, Formação Alta e Formação Africana 1 e 2. Neste momento, dar-se-á mais importância para a Formação Clássica. Os processos envolvidos na formação dos VCAS restritos ao verão 1995-1996 foram analisados utilizando todos os dados disponíveis, visto que, até o presente momento, só se tinha conhecimento do modelo conceitual de formação proposto por Kousky e Gan (1981) e o da Ramírez Valverde et al (1999).



**Figura 11:** Formação Clássica 01/10/1996.  
**Fonte:** KOUSKY, 1981.

No estudo de Caracterização do Vórtice Ciclônico de ar Superior no Nordeste Brasileiro feito por Paixão e Gandu (1999), além dos tipos acima mencionados de VCAS, foram encontrados casos em que, a princípio, atua um determinado mecanismo

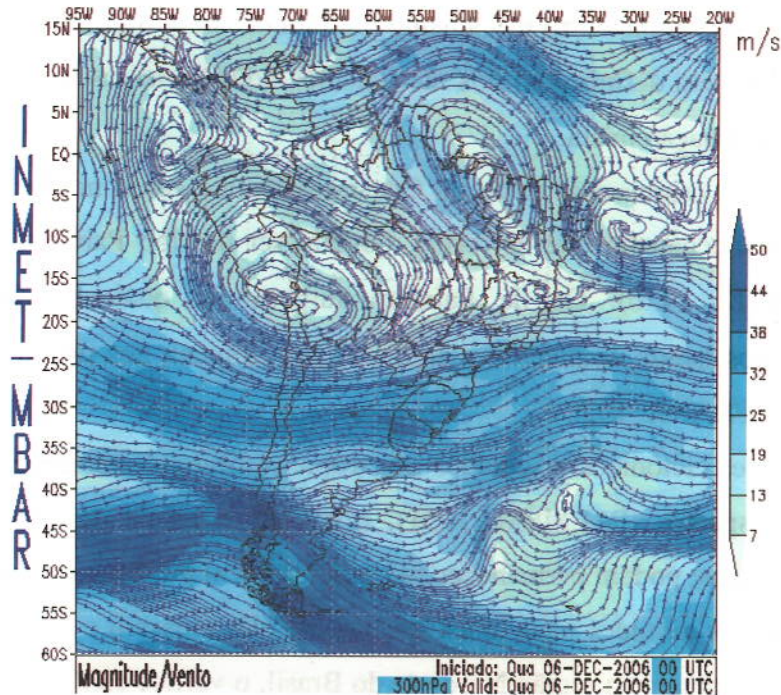
de formação e logo depois outro mecanismo predomina sobre o primeiro. Assim, como existiu dificuldade em definir qual dos mecanismos domina nesses casos, atribuiu-se a eles o nome de formação mista.

Os VCANs originam-se tanto no Oceano Atlântico como no Pacífico, embora, dependendo do mecanismo que os forma, possam ser do tipo Palmém ou de origem tropical (FRANK, 1970). Os de Palmém surgem em qualquer época do ano, especialmente nos meses de inverno e os de origem tropical, nos meses de primavera, verão e outono (FRANK, 1970).

Os vórtices ciclônicos originados nos trópicos diferem também dos de Palmém nos seguintes aspectos (PALMÉM, 1951): originam-se acima de 9000 metros, nas latitudes bem baixas; podem permanecer na região tropical por longos períodos; durante a passagem para as latitudes mais altas, geralmente eles crescem e intensificam. Entre os fenômenos que atuam na região Nordeste do Brasil, o vórtice ciclônico de ar superior (VCAS) tem se destacado como um dos principais sistemas provocadores de precipitação na época que precede a estação chuvosa, a qual ocorre entre os meses de abril e junho. Portanto, é extremamente importante a obtenção de um maior conhecimento sobre a evolução temporal e espacial desse sistema.

A maioria desses vórtices ciclônicos estão confinados na alta troposfera (acima de 500 hPa), pois cerca de 60% não atingem o nível de 700 hPa e somente em torno de 10% atingem a superfície (FRANK, 1966,1970).

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------



**Figura 12:** Magnitude e Linhas de Vento em 300 hPa  
**Fonte:** FRANK, 1970.

Sua circulação surge inicialmente nas partes mais altas da troposfera, estendendo-se gradualmente para baixo (PALMÉM, 1951) e o centro da circulação fechada inclina-se, na vertical, na direção do ar mais frio (CARLSON, 1967). Os ventos são fracos nos níveis baixos e médios, aumentando a velocidade com a altura e atingindo sua velocidade máxima perto de 200 hPa. Nesse nível, os ventos mais fortes do Hemisfério Norte estão situados no setor oeste e noroeste do vórtice (PALMÉM, 1949).

Na baixa troposfera, esses vórtices ciclônicos são encontrados como sistemas de baixa pressão de centro quente, enfraquecendo sua circulação com a altura. Nesses níveis, pode-se observar que as baixas frias são eficazes no transporte meridional do “calor”, ao passo que, na alta troposfera, além deste transporte, também há o transporte meridional de umidade.

As condições meteorológicas provocadas por esse sistema causam grandes transtornos para a aviação. Chuvas intensas e prolongadas podem causar finas lâminas de águas sobre as pistas, pondo em risco as operações de pouso, além de umedecer a atmosfera e causar menor transparência do ar. Dependendo desse grau de transparência atmosférica, alguns voos podem ter as operações de pouso e decolagem restringidas.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região tropical impõe desafios a um dos sistemas de transporte que mais se desenvolve no mundo. A dinâmica da atmosfera dessa região tem peculiaridades que determinam fenômenos que não acontecem em nenhum outro lugar no planeta, exigindo do tráfego aéreo um planejamento de voo mais acurado. Associado a isso, a grande distância entre os aeroportos dessa vasta região ajuda a criar um ambiente variado para essa atividade. Segundo o CENIPA, em mais de 50% dos acidentes ou incidentes, há contribuição da meteorologia. Diante dessa informação, torna-se relevante que os envolvidos com essa atividade busquem conhecer cada vez mais os fenômenos meteorológicos, com o intuito de proporcionar aos usuários segurança e conforto. Para isso, as empresas aéreas devem proporcionar a seus profissionais treinamentos periódicos a fim de mantê-los atualizados. As informações meteorológicas podem e devem ser obtidas por meio dos órgãos especializados de proteção ao voo e, na oportunidade, o piloto deve tirar suas dúvidas, caso existam, com o previsor que, sem dúvida, é o profissional capacitado para prestar esses esclarecimentos. O objetivo é minimizar qualquer infortúnio nessa área, uma vez que subestimar o poder da natureza pode determinar o limite entre a insegurança e a tranquilidade.

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

## REFERÊNCIAS

BUREAU D'ENQUETES ET D'ANALYSES: pour la sécurité de L'aviation civile, France. Interim Report on the accident on 1 de june2009 to the AIRBUS A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro-Paris. Disponível em: <<http://www.bea.aero/index.php>>. Acessado em: 15 jul. 2010.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A. **Environmental conditions associated with amazonian squall line: a case study.** [s.l.]: [s.n.], 1995.

CONDIÇÕES sinóticas, Disponível em: <[http://mastermx.com.br/simerj/boletim/2006/nov06/nov06\\_211006.htm](http://mastermx.com.br/simerj/boletim/2006/nov06/nov06_211006.htm)>. Acessado em: 20 jul. 2010.

DOTY, B. E. **Using the grid analysis and display system.** Maryland: COLA, 1992.

EL NIÑO and la niña. Disponível em: <<http://www.relaxedpolitics.com/?p=17279>>. Acessado em: 23 jul. 2010.

EL NIÑO. Disponível em: <<http://apod.nasa.gov/apod/ap971112.html>>. Acessado em: 21 jul. 2010.

GAMACHE, J. F.; HOUZE JR, R. A. 1982: mesoscale air motions associated with a tropical squall line. **Mon. Wea. Rev.**, v.110, p.118-135.

GARSTANG, M., H. L. et al. 1994: amazon coastal squall lines: structure and kinematics. **Mon. Wea. Rev.**, v.122, p.608-622.

HOLTON, J. R.; CURRY J. A.; PYLE J. A. (Ed.). 2003: encyclopedia of atmospheric sciences. London: Academic Press, 2003, 2780 p.

HOLTON, J.R. **An introduction to dynamic meteorology.** [s.l.]: [s.n.], 2004.

HOLTON, J.R. **An introduction to dynamic meteorology.** [s.l.]: Academic Press, 1972.

HURRELL, J. W., VINCENT, D. G. 1991: on the maintenance of short-term subtropical westerly maxima in the southern hemisphere during SOP-1, FGGE. **J. Climate**, v.4, p. 1009-1022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acessado em: 10 jul. 2010.

KODAMA, Y. M. 1993: large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. **J. Meteor. Soc. Japan**, v.71, p. 581-610.

KOUSKY, V. E. 1988: Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Rev. Bras. Meteo.**, v.3, p. 217-231.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper Tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 36, n.6, p.538-551, 1981.

MADDOX, R. A.; FRITSCH, J. M. 1984: A new understanding of thunderstorms; the mesoscale convective complex. **Weatherwise**, v.37, n.3, p.128-135.

MENDONÇA, F.; MORESCO, D. I. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

METSUL meteorologia: el niño e la niña. Disponível em: <[http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod\\_subsecao=31&cod\\_texto=155](http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod_subsecao=31&cod_texto=155)>. Acessado em: 21 jul. 2010.

O FENÔNEMO el niño. Disponível em: <<http://www.portaldomeioambiente.org.br/indicadores-ambientais/opiniaod-jovens/2104.html>>. Acessado em: 21 jul. 2010.

OLIVEIRA, G. S. **O El Niño e você: o fenômeno climático**. São José dos Campos: Transtec, 2001.

OLIVEIRA, L. L.; VIANELLO, R. L.; FERREIRA, N. J. **Meteorologia fundamental**. Erechim: FAPES, 2001.

PAIXÃO, E.B.; GANDU, A. W. **Caracterização do vórtice ciclônico de ar superior no nordeste brasileiro**. [s.l.]: [s.n.], 1999.

PALMÉN, E. **Origin and struture of high-level cyclones south of the maximum westerlies**. 1949. p. 22-31.

PIELKE, R. A. **Mesoscale meteorological modeling**. New York: Academic press, 1984.

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

RAMÍREZ VALVERDE, M. C.; FERREIRA, N. J.; GAN, M. A. **Vórtices ciclônicos desprendidos em altos níveis que originam-se no leste do pacífico tropical sul: aspectos sinóticos relacionados a sua formação.** [s.l.]: [s.n.], 1996.

RAMÍREZ VALVERDE, M. C.; KAYANA, M.; FERREIRA, N. J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinities of northeast Brazil during the 1980-1989 period. *Atmosfera*, v.12, p.75-88, 1999.

REYNOLDS, H. **Mesoscale convective complexes: an overview.** Toronto: [s.n.], 1990.

RIEHL, H. **Tropical meteorology.** [s.l.]: McGraw Hill, 1954.

SÁ GILLE, F. do S. **Meteorologia tropical 1.** Belo Horizonte: CIAAR, 1998. (Apostila).

SÁ GILLE, F. do S. **Meteorologia tropical 2.** Belo Horizonte: CIAAR, 2010. (Apostila).

SÁ GILLE, F. do S. **Meteorologia tropical.** Belo Horizonte: CIAAR, 2008. (Apostila).

SATYAMURTY, P. **Rudimentos de meteorologia dinâmica.** São José dos Campos: [s.n.], 2004.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology.** [s.l.]: [s.n.], 1988.

TEMPO severo: a natureza em sua máxima força. Disponível em: <[http://climaycompania.blogspot.com/2009\\_11\\_01\\_archive.html](http://climaycompania.blogspot.com/2009_11_01_archive.html)>. Acessado em: 13 jul. 2010.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia.** Recife: [s.n.], 2006.

VELASCO, I; FRITSCH, J. M. 1987: mesoscale convective complexes in the Americas. *J. Geophys. Res.*, v. 92, p. 9591-9613.

VÓRTICES ciclônicos de altos níveis: definição. Disponível em: <<http://www.inga.ba.gov.br/cemba/modules/wordbook/entry.php?entryID=402>>. Acessado em: 04 jul. 2010.

WELDON, R.; HELMES, S. Water vapor imagery: interpretation and applications to weather analysis and forecasting. NOAA: technical report nesdis 57, Washington, 1991.

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------

XAVIER, T. de M. B. S. et al. Interrelações entre eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a chuva nas bacias hidrográficas do Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.8, n.2, abr./jun. 2003.

ZONA de Convergência do Atlântico Sul. Disponível em: <[http://mastermx.com.br/simerj/boletim/2006/nov06/mapas\\_nov/zcas\\_a.gif](http://mastermx.com.br/simerj/boletim/2006/nov06/mapas_nov/zcas_a.gif)>. Acessado em: 24 ago. 2010.

R. CFOE	Belo Horizonte	n. 5	p. 147 - 181	2010
---------	----------------	------	--------------	------