

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

LUAN DE GIORGI HENRIQUES

**SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL E SUA
INFLUÊNCIA NA NAVEGAÇÃO**

Rio de Janeiro
2015

LUAN DE GIORGI HENRIQUES

**SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL E SUA
INFLUÊNCIA NA NAVEGAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador (a): 1T (RM2-T) Vinicius Oliveira

Mestrado em Meteorologia pela UFAL

Rio de Janeiro

2015

LUAN DE GIORGI HENRIQUES

**SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL E SUA
INFLUÊNCIA NA NAVEGAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador (a): 1T (RM2-T) Vinicius Oliveira

Mestrado em Meteorologia pela UFAL

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me permitido chegar até aqui.

Aos meus pais e familiares, por sempre me apoiarem e estarem ao meu lado.

Ao meu avô, que já não está mais entre nós, mas que sempre me serviu de inspiração.

Aos professores do Colégio Militar de Juiz de Fora, por terem me incentivado a sair da minha zona de conforto e contribuído para o desenvolvimento do meu pensamento crítico.

Ao professor tenente Vinícius Oliveira, pelas orientações e pela atenção demonstrada, que permitiram o desenvolvimento do presente trabalho.

“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança toda a força de sua alma, todo o universo conspira a seu favor.”

Johann Goethe

RESUMO

A arte da navegação depende bastante da experiência do navegante. Entender os princípios científicos da Meteorologia e a dinâmica da atmosfera da Terra como um todo torna possível que apliquemos esses princípios a fim de garantir a segurança da navegação e que nos tornemos uma parte ativa do verdadeiro organismo vivo que chamamos de embarcação. O mau tempo não deve ser temido; uma vez que compreendamos completamente a natureza dos eventos meteorológicos, seremos capazes de agir de modo a superar esses obstáculos da forma mais eficiente possível. Estudar os diferentes sistemas meteorológicos que interagem no subcontinente sul-americano e em sua área marítima torna-nos aptos a exercer nossas funções como Oficiais de Náutica brasileiros de maneira muito mais consciente. Também é importante que estejamos cientes dos diferentes veículos através dos quais as informações meteorológicas podem ser oficialmente transmitidas na indústria marítima. Além disso, a interpretação correta das condições do tempo permite-nos manobrar o navio da maneira adequada. Simplesmente ignorá-las não é uma alternativa viável, pois torna o navio, a tripulação e as cargas vulneráveis, constituindo-se num risco à vida humana, além, é claro, de um fator gerador de prejuízo financeiro ao armador e ao proprietário das cargas.

Palavras-Chave: Navegação. Navegante. Meteorologia. Segurança. Sistemas Meteorológicos. Subcontinente sul-americano. Oficiais de Náutica. Indústria Marítima. Prejuízo Financeiro.

ABSTRACT

The art of navigation relies heavily on the experience of the seafarer. Understanding the scientific principles of meteorology and the dynamics of Earth's atmosphere as a whole makes it possible for us to apply these principles to guarantee the safety of navigation and to become an active part of the living organism which we call vessel. Bad weather doesn't have to be feared; as long as we fully comprehend the nature of the meteorological events, we will be able to act in order to get through these obstacles as effectively as possible. Studying the different meteorological systems that interact in the South American subcontinent and its maritime area makes us able to carry our duties as Brazilian Navigation Officers much more consciously. It is also important for us to be aware of the different vehicles through which meteorological information may be transmitted officially in the maritime industry. Moreover, interpreting the weather conditions correctly allows us to maneuver our ship accordingly. Simply ignoring them is not a viable option, considering that it makes the ship, the crew and the cargo vulnerable, posing risk to the safety of life at sea, besides generating financial losses for the ship and cargo owners.

Key words: Navigation. Seafarer. Meteorology. Safety. Meteorological Systems. South American subcontinent. Navigation Officers. Maritime industry. Financial losses.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1:** Sistema frontal clássico no estágio de manutenção. Fonte: <http://www.dca.iag.usp.br/www/material/cfmraupp/Climatologia1/SistemasMetAtuantesNaASul.pdf>. Acesso em 5 de maio de 2015. **17**
- Figura 2:** Configuração de um cavado. Fonte: <http://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap-45.pdf>. Acesso em 10 de maio de 2015. **18**
- Figura 3:** Esquema ilustrativo dos ventos alísios. Fonte: <http://www.dca.iag.usp.br/www/material/cfmraupp/Climatologia1/SistemasMetAtuantesNaASul.pdf>. Acesso em 17 de maio de 2015. **22**
- Figura 4:** Ilustração do posicionamento da ZCIT. Fonte: <http://www.dca.iag.usp.br/www/material/cfmraupp/Climatologia1/SistemasMetAtuantesNaASul.pdf>. Acesso em 22 de maio de 2015. **24**
- Figura 5:** Imagem de satélite e representação sinótica da ZCAS. Fonte: <http://4.bp.blogspot.com/A65GncJY0E8/UP8woPw8WpI/AAAAAAAAAAk/jIbR4zcL5G0/s1600/montzcas.png>. Acesso em 27 de maio de 2015. **26**
- Figura 6:** Imagem de satélite mostrando a área de atuação do VCAN no NEB. Fonte: <http://www.climatempo.com.br/destaques/wp-content/uploads/2015/02/nde4Kirr.jpg>. Acesso em 28 de maio de 2015. **28**
- Figura 7:** Esquema dos sistemas atmosféricos atuantes na AS no verão (adapt. de Reboita et al. 2010a). Fonte: <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v8-1/pdf81/s3.pdf>. Acesso em 04 de junho de 2015. **34**
- Figura 8:** Carta sinótica de pressão à superfície do dia 28/05/2015 às 1200Z. Fonte: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>. Acesso em 28 de maio de 2015. **39**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HS	Hemisfério Sul
HN	Hemisfério Norte
Cb	Cumulonimbus
TPO	Temperatura do Ponto de Orvalho
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
URA	Umidade Relativa do Ar
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
NEB	Nordeste do Brasil
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
JBN	Jatos de Baixos Níveis
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASAN	Alta Subtropical do Atlântico Norte
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
AB	Alta da Bolívia
LI	Linha de Instabilidade
AS	América do Sul
ANE	Ventos Alísios De Nordeste
ASE	Ventos Alísios De Sudeste
B	Baixa Pressão Atmosférica (Ciclone)
FF	Frente Fria
FQ	Frente Quente
Tróp. Cap.	Trópico De Capricórnio
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
OMM	Organização Meteorológica Mundial
IR	Infravermelho
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPT/INPE	Grupo de Previsão de Tempo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo	11
2. ASPECTOS CONCEITUAIS	12
2.1 Circulação do Ar	12
2.2 Processo Convectivo	13
2.3 Circulação Geral da Atmosfera	14
2.4 Formação, Características e Propagação das Ondas	15
2.5 Formação de Nevoeiros	15
3. SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL	17
3.1 Sistemas Frontais	17
3.1.1 Ciclones	18
3.1.2 Frente Fria	19
3.1.3 Frente Quente	19
3.1.4 Frente Oclusa	20
3.1.5 Frente Semiesticionária	21
3.2 Zona de Convergência Intertropical	21
3.3 Zona de Convergência de Umidade	24
3.4 Vórtice Ciclônico de Altos Níveis	26
3.5 Distúrbios Ondulatórios de Leste	28
3.6 Linhas de Instabilidade	29
3.6.1 Linhas de Instabilidade em latitudes médias	29
3.6.2 Linhas de Instabilidade na costa setentrional da América do Sul	30
3.7 Complexo Convectivo de Mesoescala	30
3.8 Alta Subtropical do Atlântico Sul	32
3.9 Jatos de Baixo Níveis	33
3.10 Furacões	34
3.10.1 O Furacão Catarina	35
3.11 Tornados e trombas d'água	36

4. INFORMAÇÕES METEOROLÓGICAS PARA O NAVEGANTE	38
4.1 Cartas Sinóticas	38
4.2 Imagens de Satélite	39
4.3 Boletins Meteorológicos	41
5. NAVEGAÇÃO METEOROLÓGICA E OCEANOGRÁFICA	42
5.1 Ação conjunta do vento e das ondas	42
5.2 Navegação e manobra do navio com mau tempo	44
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

No subcontinente sul-americano, observa-se a atuação de diversos sistemas meteorológicos, desde a área equatorial até altas latitudes. A área de atuação de cada um desses fenômenos varia sazonalmente, à medida que a radiação solar incidente na área em questão enfraquece ou se intensifica. A fim de melhor compreender os mecanismos pelos quais esses sistemas originam-se e tornam-se evidentes para o ser humano, seja por observações a olho nu ou através de imagens de satélite, é necessário, primeiramente, compreender a dinâmica da atmosfera e os processos físicos responsáveis pela movimentação do ar na atmosfera. Além disso, de posse das informações relativas aos diferentes eventos meteorológicos, é preciso saber de que maneira esses fenômenos atuam fisicamente sobre o navio e de que formas essa atuação pode ser atenuada.

Com base nisso, o presente trabalho encontra-se estruturado em quatro capítulos de desenvolvimento. O primeiro deles introduz os conceitos básicos da Meteorologia e da Oceanografia, no que diz respeito, em última análise, à geração de precipitação e ventos e à formação de ondas, fenômenos que afetam diretamente a navegação.

O segundo traz informações pertinentes a cada um dos sistemas de ocorrência comum na América do Sul, assim como a outros de ocorrência nem tão comum, como será abordado mais adiante. Quando relevante, estão incluídas imagens de satélite e exemplos de casos em que tais sistemas provocaram danos à sociedade, seja no âmbito terrestre ou aquaviário.

Em seguida, há um capítulo abordando os principais documentos e fontes de consulta para previsões meteorológicas a bordo de embarcações.

O capítulo final do desenvolvimento traz preceitos básicos que devem ser seguidos com relação à manobra do navio em áreas de mau tempo. Uma vez que nem sempre é possível evitá-las, o navegante deve ter ciência dos procedimentos a serem empregados em tais situações, de maneira a não comprometer o navio, sua carga, ou a saúde dos tripulantes.

1.1 Objetivo

Geral: Descrever as características dos sistemas meteorológicos atuantes na América do Sul.

Específico: Aplicar o conhecimento dos fenômenos meteorológicos à segurança da navegação

2 ASPECTOS CONCEITUAIS

2.1 Circulação do ar

Um dos principais parâmetros na análise do estado do tempo é o movimento vertical espontâneo do ar. Diz-se que há estabilidade atmosférica quando o tempo tende a permanecer “bom”, sem ocorrência de precipitação, por não haver condições propícias aos movimentos ascendentes e descendentes do ar. A tendência natural da atmosfera é que o ar mais frio (mais denso) fique posicionado abaixo do ar mais quente (menos denso). Para que isso ocorra, existe um movimento espontâneo chamado de circulação direta. Em suma, a estabilidade atmosférica é verificada quando não há condições para que se dê a circulação direta. (LOBO et. al., 2007).

O fenômeno contrário, a instabilidade, é caracterizada pela situação onde ocorre circulação direta. Isso pode estar relacionado aos gradientes horizontais de temperatura e pressão, à convergência em baixos níveis e à divergência em altos níveis, por exemplo. Para que, em uma determinada área, ocorra movimento ascendente do ar, outra área deverá ter movimento descendente do ar.

Um centro de baixa pressão à superfície, ou simplesmente ciclone, consiste numa área em que ocorre uma depressão barométrica. Ele é marcado por uma série de isóbaras praticamente circulares, que cercam uma área de pressões baixas, onde a pressão atmosférica diminui da periferia para o centro. Considerando que a atmosfera exibe comportamentos diferentes na região tropical e na região de latitudes médias, os ciclones podem ser classificados como tropicais ou extratropicais. Em ambos os casos, o ar converge à superfície e circula em sentido horário no HS e no sentido anti-horário no HN, além de estar ligado a um movimento vertical ascendente do ar.

Já um centro de alta pressão à superfície é uma região onde ocorre uma elevação barométrica. De forma análoga a um centro de baixa pressão, é representado por uma série de isóbaras quase circulares, que cercam uma área de pressões altas, onde a pressão atmosférica aumenta da periferia para o centro. O ar diverge à superfície e circula em sentido anti-horário no HS e no sentido horário no HN, associando-se a um movimento vertical descendente (subsidente) do ar.

2.2 Processo convectivo

O processo convectivo é, basicamente, a ascensão espontânea e natural do ar quente. O aquecimento da superfície terrestre pela radiação solar ocasiona a circulação direta, à medida que a pressão atmosférica à superfície diminui e se forma uma área de convergência, onde se instala um fluxo contínuo de ar, abastecendo o canal vertical de ar quente em ascensão. (LOBO et. al., 2007).

O ar, ao elevar-se, expande-se e, conseqüentemente, sofre resfriamento. Quanto mais úmido o ar estiver, mais energia estará disponível para que ele se eleve. A convecção do ar quente e úmido acontece de forma natural até que o nível de condensação, ou seja, a altitude em que fica saturado de umidade, seja atingido. A partir daí, a umidade contida no ar se condensa, liberando calor latente, o qual é a fonte primária de energia para o desenvolvimento da atividade convectiva e de nuvens Cumulonimbus.

As condições são favoráveis à intensificação do processo convectivo quando, além da liberação de calor latente proveniente de ar muito quente e úmido, observam-se acentuados gradientes horizontais de temperatura e pressão. A intensa corrente ascendente acaba por criar divergência de ar em altos níveis, e conseqüentemente correntes de ar descendentes e divergência à superfície nas áreas do entorno da área de baixa pressão.

Além do aquecimento da superfície, outros fatores podem causar ou simplesmente intensificar convecção: sistemas frontais, a orografia (altas cadeias de montanhas, por exemplo), a formação de linhas de instabilidade e convergência forte do escoamento do ar em baixos níveis.

Um Cumulonimbus(Cb) na atmosfera, apesar de ser visualizado como uma nuvem baixa, pode apresentar um grande desenvolvimento vertical, chegando próximo do limite da troposfera terrestre. Uma nuvem Cb pode ocasionar forte turbulência, pancadas de precipitação intensas, relâmpagos, granizo, rajadas de vento, quedas bruscas de temperatura, e, em casos especiais, quando há grande variação de pressão atmosférica, até mesmo tornados ou trombas d'água.

2.3 Circulação geral da atmosfera

A energia solar não é recebida de forma homogênea na superfície terrestre. Considerando o ângulo sob o qual a radiação solar incide sobre a Terra, conclui-se que as regiões tropicais absorvem mais energia do que emitem; o contrário ocorre com as regiões polares. Seguindo a tendência natural, o planeta está sempre em busca do equilíbrio térmico, processo que se dá por meio da circulação atmosférica e oceânica, a fim que a energia em excesso acumulada na zona equatorial seja transferida para as zonas temperadas e polares. (LOBO et. al., 2007).

Dependendo da direção, a circulação geral da atmosfera pode ser classificada como meridional (direção norte-sul) ou zonal (direção leste-oeste). A circulação meridional é caracterizada pela Célula de Hadley. Nela, o ar quente na região do Equador apresenta movimento ascendente e circulação meridional em altos níveis, em direção a latitude de 30°, onde adquire movimento subsidente e, ao atingir a superfície, movimenta-se de volta ao Equador, nesse caso como um ar mais frio. Os ventos alísios e os ventos de oeste provêm da circulação da Célula de Hadley, assim como os anticiclones (áreas de alta pressão à superfície) em torno do paralelo 30°, em ambos os hemisférios.

A circulação zonal tem origem no desvio da circulação meridional, devido à força de Coriolis, que afeta não só a circulação atmosférica, como também a oceânica. Os ventos que se afastam do Equador, por saírem de uma área com maior velocidade tangencial, excedem a velocidade de rotação da Terra, desviando para leste. Fenômeno oposto é observado nos ventos que se aproximam da latitude 0°, provenientes de uma área com menor velocidade tangencial, que, por isso, sofrem desvio para W. Justamente esse desvio é que dá origem aos ventos alísios de SE (no HS) e de NE (no HN), e, como consequência, aos ventos de leste na faixa equatorial. A circulação zonal é responsável também pela predominância de ventos de oeste (W) nas médias latitudes. Os sistemas frontais formam-se a partir das perturbações atmosféricas originadas por esses ventos de W.

2.4 Formação, características e propagação das ondas

As ondas se formam a partir da transferência de energia dos ventos para o oceano. Analisando uma carta sinótica de pressão à superfície, deve-se ter em mente que o vento flui de forma paralela às isóbaras. Sua velocidade está diretamente ligada à intensidade do gradiente de pressão. Os parâmetros das ondas, tais como altura, velocidade de propagação, período e comprimento de onda, dependem dos seguintes fatores: da intensidade e direção do vento; da pista, que é a extensão da área geradora na direção do vento; da persistência, que é o tempo durante o qual o vento se mantém na mesma direção e intensidade. (LOBO et. al., 2007). As grandes ondas costumam estar ligadas a sistemas que apresentam isóbaras retilíneas e paralelas.

Se a área geradora se movimenta, a direção desse deslocamento é decisiva para saber se o estado do mar se intensificará ou se abrandará. Se a área geradora de ondas se movimenta na mesma direção das ondas criadas, ocorre um reforço no processo de formação. Por outro lado, se a área geradora se deslocar em direção perpendicular ou oposta às ondas produzidas, as ondas vão se tornando mais brandas.

Na análise de uma área geradora de ondas, é importante considerar também a direção em que essas ondas se propagam ao deixarem a área geradora. Elas passam a ser denominadas marulhos, podendo afetar o estado do mar a grandes distâncias. A área geradora de ondas termina quando se verifica uma mudança brusca na direção do vento, momento em que o vento deixa de transferir energia para as ondas, que permanecem se propagando na mesma direção em que foram criadas.

2.5 Formação de nevoeiros

A formação de nevoeiros se dá quando o ar se resfria, passando a ser capaz de conter menos vapor de água, em termos absolutos. Quando o ar fica saturado de umidade, essa umidade em excesso se condensa. Em outras palavras, ocorre a condensação do vapor de água que ultrapassa a capacidade do ar saturado na nova temperatura atingida, conhecida como Temperatura do Ponto de Orvalho (TPO). Quanto menor a temperatura do ar, menor sua capacidade de conter umidade.

O processo de formação de um nevoeiro é análogo ao de formação das nuvens, com a diferença que o nevoeiro ocorre sempre junto à superfície, cuja temperatura é

um fator que condiciona sua formação, uma vez que deve haver resfriamento o bastante para que se atinja a TPO. No caso das nuvens, o resfriamento se dá quando o ar sobe, se expande e se resfria até alcançar a TPO. Já no nevoeiro, é o contato com uma superfície mais fria é que promove o resfriamento e, posteriormente, a condensação da umidade, afetando bastante a visibilidade horizontal, que fica reduzida a menos de 1 km, podendo chegar a valores menores que 100 m.

Em áreas continentais, o nevoeiro mais comum é o de radiação, que está ligado ao resfriamento da superfície do solo, ocorrendo com mais intensidade logo pela manhã. Já o nevoeiro que mais interessa na navegação é o de advecção. Ele ocorre quando uma massa de ar quente e úmida se desloca sobre uma superfície mais fria, sendo necessário também que o vento esteja calmo para que o ar das camadas inferiores possa se misturar com o das camadas superiores, intensificando o nevoeiro. Assim sendo, o nevoeiro se dissipa quando o vento se intensifica ou a superfície abaixo dele se aquece.

Um dos parâmetros a serem considerados para verificar se as condições estão ou não propícias à formação de um nevoeiro é a diferença entre a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e a TPO. A TSM deve estar necessariamente menor que a TPO. A formação do nevoeiro é facilitada quando a diferença entre a temperatura do ar no momento considerado e a TPO estiver entre 1 e 2°C, e a Umidade Relativa do Ar (URA) estiver alta, em torno de 95%. . (LOBO et. al., 2007).

3 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL

3.1 Frentes e Sistemas Frontais

Uma frente é uma zona estreita de transição entre massas de ar de densidades diferentes, que normalmente ocorre devido a contrastes de temperatura, sendo, de acordo com essa característica, denominada quente ou fria. Porém, diferenças de densidade podem ocorrer também devido a contrastes de umidade ou da combinação de temperatura e umidade.

Sistema frontal é o encontro de duas frentes (quente e fria). Normalmente, ele é composto de uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão na superfície, isto é, um ciclone.

Entre os sistemas sinóticos atuantes na América do Sul, os sistemas frontais estão entre os mais relevantes. Tais sistemas são ativos durante todo o ano e podem ser capazes de penetrar até latitudes equatoriais, sendo vitais para a manutenção dos regimes de precipitação e temperatura em grande parte do território sul-americano. (LEMOS e CALBETE, 1996; QUADRO et al, 1996).

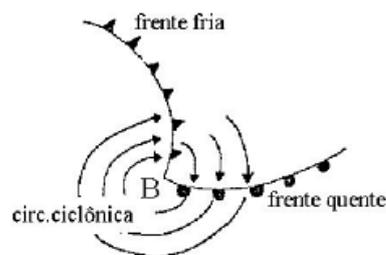


Figura 1: Sistema frontal clássico no estágio de manutenção

A formação ou intensificação de sistemas frontais (frontogênese) é um processo pelo qual o gradiente horizontal de temperatura é intensificado. A frontogênese, na maioria dos casos, acompanha o desenvolvimento das perturbações sinóticas em uma atmosfera baroclínica.

Entre dois anticiclones fortes há uma região preferencial para a frontogênese (formação ou intensificação) ou frontólise (dissipação da frente). A

frontólise é o processo de atenuação ou desaparecimento de uma frente ou um sistema frontal. As frentes frias tendem a se deslocar no sentido polo-equador, enquanto as frentes quentes migram no sentido oposto. (LLOPART, 2012)

3.1.1 Ciclones

Um ciclone é uma depressão barométrica, delimitada por uma série de isóbaras ovais ou quase circulares, que envolvem uma área de pressões baixas, isto é, uma área onde as pressões decrescem da periferia para o centro. A circulação nos centros de baixa pressão, no Hemisfério Sul, é convergente e no sentido horário. No Hemisfério Norte, a circulação ciclônica efetua-se no sentido anti-horário.

Um cavado é uma configuração típica dos ciclones, em que uma cunha de baixas pressões afasta-se do centro da depressão; no eixo do cavado, as isóbaras estão mais distantes do centro de baixa pressão do que nas demais direções. A saliência é mais pronunciada conforme as isóbaras se afastam do centro de baixa. Quando o cavado é bem acentuado, constata-se a circulação de ar frio para regiões mais quentes e, normalmente, a ocorrência de frente fria.

Por esta razão, é importante, na análise de cartas sinóticas de pressão à superfície e de imagens de satélites meteorológicos, a identificação das regiões onde ocorrem cavados. O eixo dos cavados está sempre voltado para o Equador.

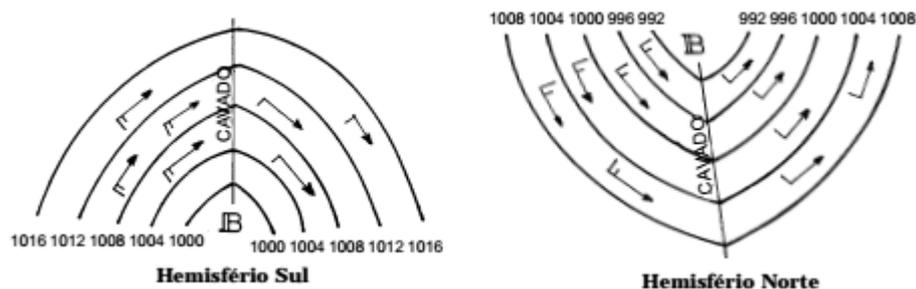


Figura 2: Configuração de um cavado (área alongada de baixas pressões)

3.1.2 Frente Fria

Diz-se que uma frente é fria quando a massa de ar que avança é mais fria do que a que se encontra em determinada região, isto é, a massa de ar frio se desloca para substituir uma massa de ar quente na superfície. O ar quente, mais leve, sobe quando empurrado pelo ar frio, formando na frente fria uma rampa abrupta, com inclinação forte. Assim, a faixa de mau tempo associada a uma frente fria é, em geral, mais estreita, embora mais rigorosa, do que a de uma frente quente. A frente fria apresenta formação de nuvens cumuliformes, com chuvas em forma de pancadas moderadas a fortes e trovoadas. Quando a massa é muito seca, pode não apresentar nebulosidade e suas tempestades são apenas relacionadas a ventos fortes.

Com a aproximação da frente fria, a tendência barométrica é normalmente indicada por uma queda brusca da pressão, contínua ou não. Adiante da frente fria, o vento rondará, no Hemisfério Sul, no sentido anti-horário, de NE ou N para NW e, em seguida, abruptamente para SW, forte e com rajadas. A temperatura aumenta com a aproximação e cai rapidamente após a passagem da frente. Há redução de visibilidade, devido às pancadas de chuva. Quando o deslocamento da frente fria é lento, as mudanças não ocorrem tão bruscamente, mas sim lenta e gradativamente, formando nuvens estratiformes, que ocasionam precipitação contínua e persistente.

Existe uma sazonalidade na ocorrência da passagem de frentes frias, as quais são mais frequentes de maio a setembro e menos frequentes durante o verão (dezembro a fevereiro) no HS. As frentes ocorrem em maior número e durante todo o ano entre 25° e 30° S, mas são mais numerosas de maio a outubro. As frentes frias são mais raras ao norte de 20° S durante o verão. (LLOPART, 2012)

3.1.3 Frente quente

A frente quente ocorre quando há substituição do ar frio pelo ar quente à superfície. Na frente quente, então, o ar quente se desloca contra a massa de ar frio; como o ar quente é mais leve, a frente quente eleva-se sobre a massa de ar frio, formando uma rampa suave, com menor inclinação (figura). Por isso, o mau tempo associado a uma frente quente, embora menos rigoroso, estende-se normalmente em

uma faixa mais larga que nas frentes frias. Na região que precede a frente quente, vai ocorrendo uma lenta queda de pressão atmosférica, com o desenvolvimento de nuvens altas (cirrus, cirrocumulus, cirrostratus), com cirrus presentes até cerca de 500 km adiante da frente.

Com a aproximação da frente, a nebulosidade, que consiste agora de cirrus, cirrostratus, nimbostratus e stratus, ocasiona precipitação leve, tipo garoa, contínua ou intermitente. A pressão, normalmente, cai durante um tempo apreciável antes da passagem frontal, começando a subir logo após. O vento adiante da frente é fraco e, após a sua passagem, ronda no sentido horário. A visibilidade é, em geral, boa até o início da precipitação.

3.1.4 Frente oclusa

Uma frente oclusa é formada quando uma frente fria alcança uma frente quente e uma das duas frentes, quente ou fria, deixa de ter contato com o solo, para elevar-se sobre a superfície da outra. A frente oclusa, assim, é proveniente do encontro de uma frente fria com uma frente quente; as frentes oclusas estão, em geral, associadas às circulações ciclônicas. Na região em que se forma a oclusão, observa-se a existência de três massas de ar de natureza diferente: uma quente, uma fria e uma terceira mais fria ou mais quente do que as outras duas. A oclusão pode ser tipo frente fria (oclusão tipo fria) ou tipo frente quente (oclusão tipo quente).

Na oclusão tipo frente fria, o ar atrás da frente fria é mais frio que o ar fresco adiante da frente quente. À medida que a oclusão progride, o ar frio e denso desloca todo o ar que se encontra na trajetória da frente fria. O ar quente, literalmente apanhado entre duas massas de ar frio, é impelido rapidamente para cima. O resultado é uma mistura de condições de tempo frontais, com mau tempo de frente quente, seguido imediatamente de mau tempo de frente fria. Este é o tipo mais comum de oclusão.

Na frente oclusa quente, o ar adiante da frente quente é mais frio e mais denso que o ar fresco por trás da frente fria. Este ar, que se move mais rápido, empurrando a frente fria, é mais leve e, então, sobe sobre o ar (mais frio) que está por baixo da frente quente. O tempo de frente quente será seguido por tempo de frente fria, como em todas as oclusões.

Assim, o tempo associado às oclusões tem características tanto das frentes quentes como das frentes frias. As condições de tempo mudam rapidamente nas oclusões e são, em geral, muito severas durante as etapas iniciais do seu desenvolvimento. A oclusão é precedida por nuvens de frente quente. Pode haver um período de chuvas contínuas adiante e na linha da oclusão, ou um período mais curto de chuva forte.

3.1.5 Frente semiestacionária

Ocorre quando não se observa deslocamento da superfície frontal, que se mantém fixa, não havendo, assim, substituição do ar à superfície. Nessa situação, os ventos são paralelos à frente em ambos os lados, porém de direções opostas. Sua tendência é se dissipar, num processo de frontólise, se não vier a receber um reforço de uma massa de ar (geralmente fria), para reiniciar o seu deslocamento. (LLOPART, 2012)

O tempo associado com as frentes semiestacionárias pode ser igual a uma frente fria, igual a uma frente quente, ou somente um cinturão de nuvens cumuliformes, dependendo do histórico da frente, do contraste de temperatura, da direção dos ventos, etc.

3.2 Zona de Convergência Intertropical

A Zona de Convergência Intertropical é o mais importante sistema relacionado à ocorrência de precipitação sobre a região equatorial dos Oceanos Pacífico Atlântico e Índico, tal como nas áreas continentais adjacentes. Em imagens de satélite, esse sistema é visualizado como uma banda de nuvens convectivas que se estende em uma faixa ao longo da região equatorial.

Trata-se de uma região de baixa pressão atmosférica, de convecção profunda e intensa nebulosidade, com elevados índices de pluviosidade, caracterizada pela confluência dos ventos de nordeste e sudeste, originados dos anticiclones subtropicais do Atlântico Norte e do Atlântico Sul. Essa estreita banda de convergência dos Ventos Alísios e fluxo de umidade se estende pelas bacias oceânicas do Atlântico e do Pacífico, com uma orientação zonal, definindo a ZCIT (HASTENRATH, 1985).

No Atlântico Equatorial, adjacente à costa Norte-Nordeste do Brasil, a ZCIT migra sazonalmente, em anos de normalidade, de sua posição mais ao norte (em torno de 14°N), durante agosto-setembro, para a sua posição mais ao sul (em torno de 2°S), durante março-abril.

O forte aquecimento radiativo da superfície interage com a nebulosidade da ZCIT, tornando sua identificação em imagens de satélite mais difícil sobre o continente. (TALJAARD, 1972; VAREJÃO-SILVA, 2006).

A determinação da estação chuvosa no norte da região Nordeste do Brasil está ligada intimamente à migração sazonal da ZCIT, associada aos fatores que originam o enfraquecimento ou fortalecimento dos ventos alísios de nordeste, no HN, e de sudeste, no HS.

A ocorrência dos ventos alísios se dá ao longo de todo o ano nas áreas tropicais, mais comumente na América Central. Estes ventos resultam da ascensão das massas de ar convergentes das zonas de alta pressão (anticiclônicas), nos trópicos, para zonas de baixa pressão (ciclônicas) próximo ao Equador terrestre, formando um ciclo tridimensional, que por sua vez origina as Células de Hadley.

Tratam-se de ventos úmidos, que provocam precipitação nos locais onde convergem. Devido a isso, a zona equatorial é a região das calmarias equatoriais chuvosas.

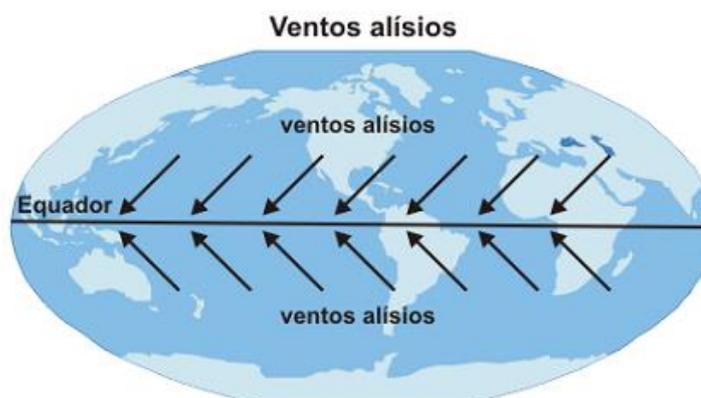


Figura 3: Esquema ilustrativo dos ventos alísios.

Em anos chuvosos, a ZCIT pode atingir até 5 °S, perto da costa nordestina, e proporcionar elevados totais de precipitação naquela região do País. No

norte do NEB, se a ZCIT somente iniciar sua migração para o norte em fins de abril e início de maio, as chuvas normalmente serão abundantes.

Entre os parâmetros meteorológicos oceânicos que podem definir a ZCIT, podem-se citar: a Zona de Confluência dos Alísios, Região do Cavado Equatorial, as áreas de máxima Temperatura da Superfície do Mar (TSM), as áreas de máxima Convergência de Massa, Banda de máxima cobertura de Nuvens Convectivas.

A convergência de massa em baixos níveis, associadas à ZCIT, em especial na região do Atlântico Tropical, favorece o transporte de umidade e o aumento da convecção sobre o norte da América do Sul, em particular sobre o NEB. É importante mencionar que aspectos meteorológicos de grande escala podem acentuar ou inibir o desempenho de sistemas principais como a ZCIT, uma vez que sua configuração é inerente à circulação geral da atmosfera.

A variabilidade da ZCIT está ligada às anomalias de TSM, sendo afetada principalmente pelo perfil norte-sul (meridional) da TSM do Atlântico Tropical. A estrutura da ZCIT se localiza sobre a região de máxima TSM.

Um dos modos de TSM do Atlântico é o conhecido dipolo do Atlântico, sendo caracterizado pela manifestação de anomalias de TSM com sinais opostos sobre as bacias norte e sul do Atlântico Tropical. Esse padrão térmico gera um gradiente meridional de temperatura inter-hemisférico sobre o Atlântico Equatorial, o qual exerce influências no deslocamento norte-sul da ZCIT. Dessa forma, quando o Atlântico Sul está mais quente que o Atlântico Norte, a ZCIT permanece ao Sul da sua posição climatológica, favorecendo a estação chuvosa do NEB.

Observa-se, ainda, que os sistemas de alta pressão semi-estacionários do Atlântico também afetam o comportamento da ZCIT. Anos extremamente secos no NEB estão relacionados com a expansão da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) em direção ao Equador e a retração da Alta Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) em direção as latitudes mais altas do Atlântico Norte. Nesses anos, a ZCIT tende a se posicionar ao norte de sua posição climatológica. O inverso ocorre em anos chuvosos, ou seja, o deslocamento da ASAN em direção ao Equador e a retração da ASAS em direção às latitudes mais altas do Atlântico Sul.



Figura 4: Ilustração do posicionamento da ZCIT

3.3 Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

No período que compreende o solstício de verão do HS, os raios solares incidem aproximadamente perpendiculares no Trópico de Capricórnio, causando um maior aquecimento da superfície do que no inverno. Esse aquecimento favorece o levantamento do ar, que é responsável por forte atividade convectiva, ou seja, o ar quente sobe e condensa, formando nuvens. Como é verão no Hemisfério Sul, os sistemas atmosféricos estão deslocados para sul, assim, a ZCIT favorece a ocorrência de chuva no norte e nordeste do Brasil.

Além disso, nesta época os alísios de nordeste estão mais intensos (DRUMOND et al., 2008; DURÁN-QUESADA et al., 2009). Estes ventos transportam umidade para o interior do continente e favorecem a formação do Jato de Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes, que por sua vez, transporta umidade para os subtropicais (MARENGO et al., 2004; VERA et al., 2006), contribuindo para a formação de CCM.

Ainda no verão, forma-se uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) sobre o continente, que ocorre devido à interação de vários sistemas (JBN, frentes, ventos do anticiclone subtropical do Atlântico Sul, por exemplo). A ZCOU se associa a um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera estende no sentido noroeste-sudeste desde a Amazônia até o sudeste do Brasil e oceano Atlântico Sul (Grupo de Previsão de Tempo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – GPT/INPE).

Quando a ZCOU atua durante três dias ou mais passa a ser denominada de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Tanto a ZCOU quanto a ZCAS são facilmente identificadas em imagens de satélite (Fig. 15) como uma banda de nebulosidade desde a Amazônia até o oceano Atlântico Sul (KOUSKY, 1988). É importante destacar que esses sistemas causam elevados totais de precipitação sobre a região em que estão atuando.

Embora tais características sejam observadas em todos os verões, importantes variações ocorrem na organização espacial, na intensidade das chuvas e na circulação. São essas variações muitas vezes responsáveis pela ocorrência de eventos severos, alagamentos e deslizamentos de terra. Por outro lado, a ausência ou a supressão das chuvas e a descaracterização desse sistema podem representar longos períodos de seca ou má distribuição das chuvas sobre grandes regiões do território brasileiro.

Imagens de satélite frequentemente mostram que a atividade convectiva da ZCAS pode estender-se da Amazônia até o oceano Atlântico Subtropical, enquanto que, em outras situações, a ZCAS estende-se apenas até a região Sudeste do Brasil. De forma análoga, observam-se algumas situações em que a atividade convectiva intensa associada à ZCAS persiste ativa por alguns dias, e em outros casos não persiste.

Imagens de satélite frequentemente mostram que a atividade convectiva da ZCAS pode estender-se da Amazônia até o oceano Atlântico Subtropical, enquanto que, em outras situações, a ZCAS estende-se apenas até a região Sudeste do Brasil. De forma análoga, observam-se algumas situações em que a atividade convectiva intensa associada à ZCAS persiste ativa por alguns dias, e, em outros casos, não persiste.

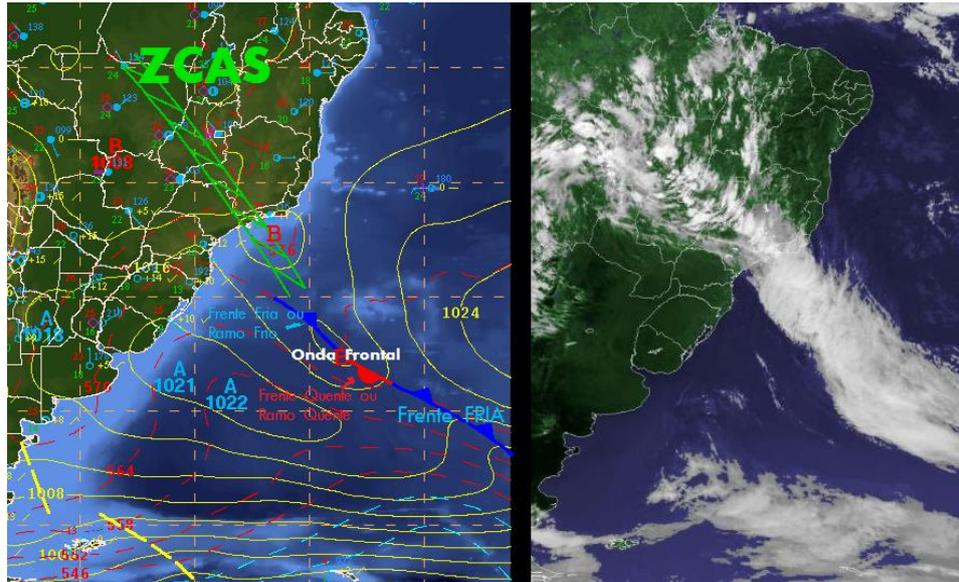


Figura 5: Imagem de satélite e representação sinótica da ZCAS

Uma das características marcantes da ZCAS é a sua rica variabilidade em diferentes escalas de tempo. Em escala sinótica, nota-se que a incursão de frentes frias sobre a Argentina e o Sul do Brasil até latitudes mais baixas é acompanhada de um reforço da atividade convectiva no oeste-sudoeste da Amazônia, estendendo-se sobre a ZCAS. Em escalas de tempo interanuais, o fenômeno El Niño exerce um papel importantíssimo na variabilidade da monção na América do Sul e na ZCAS, inclusive na ocorrência de eventos extremos de precipitação.

Além disso, anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) quentes (frias) na região de 20 °S-40 °S e oeste de 30 °W estão geralmente acompanhadas por um deslocamento para o sul (norte) na ZCAS, em relação à sua posição climatológica.

3.4 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) que penetram na região Nordeste do Brasil formam-se no oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro e março, e sua trajetória normalmente é de leste para oeste, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro, conforme demonstrado por Gan e Kousky (1982). O tempo de vida desses sistemas varia, em média, entre 7 a 10 dias.

Os VCANs são um conjunto de nuvens que, observado pelas imagens de satélite, têm a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário. A influência dos VCANs sobre o NEB é evidente, principalmente quando se formam sobre o continente. Neste contexto, parte da região nordeste experimenta nebulosidade e chuva (na periferia do sistema) e parte apresenta céu claro decorrente dos movimentos subsidentes no centro do VCAN. Os VCANs interagem diretamente com a Alta da Bolívia (AB) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), afetando e modulando o ciclo hidrológico, o balanço de energia e o clima em grande parte da América do Sul.

Os VCANs podem ser de dois tipos: PÁLMEN, quando se originam em latitudes extratropicais, e PALMER, quando se originam nos trópicos. (FRANK, 1970) Esses sistemas se originam acima de 900 m, são persistentes, crescem e se intensificam com a passagem para latitudes mais altas. Os VCANs clássicos podem causar estiagens por vários dias na região do seu centro e precipitação intermitente nos flancos leste e oeste do sistema.

Quando se forma um VCAN nos altos níveis, movimentos descendentes são observados no centro do vórtice, o que proporciona o transporte de ar frio e seco dos altos para os médios níveis da troposfera. Na periferia do VCAN, por sua vez, movimentos ascendentes favorecem o transporte de ar quente e úmido, propiciando a formação de nuvens. A partir de imagens de satélite, alguns autores propuseram um modelo conceitual para ilustrar a estrutura vertical desses vórtices. De acordo com esse modelo, observa-se a existência de convergência no centro do vórtice na alta troposfera, movimentos verticais subsidentes no setor frio e divergência na baixa troposfera.

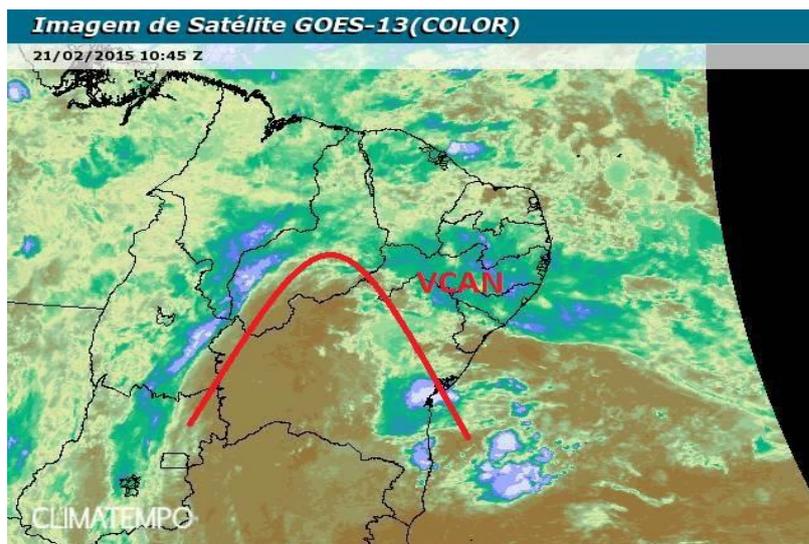


Figura 6: As nuvens mais carregadas normalmente se formam a norte e a leste do vórtice. Na imagem de satélite acima, é possível ver as áreas de nuvens pesadas sobre o leste da Bahia (áreas em branco).

3.5 Distúrbios Ondulatórios de Leste

As ondas de leste – ou distúrbios ondulatórios de leste – mais conhecidas e estudadas são as ondas de leste africanas, que perturbam o campo de vento na baixa e média troposfera na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios. Elas se propagam desde o oeste da África até o Atlântico Tropical, atingindo o litoral leste do Brasil, e sua atividade máxima ocorre no inverno austral, de junho a setembro.

Esse fenômeno provoca chuvas principalmente na Zona da Mata nordestina, numa faixa que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte. Além disso, algumas dessas ondas, quando atravessam o Atlântico, podem evoluir para tempestades tropicais e até mesmo para furacões.

Além das ondas de leste de período de 3 a 5 dias, alguns autores descrevem as ondas de período de 6 a 9 dias, que se situam mais ao norte do que as ondas típicas de leste e ocorrem, preferencialmente, no início e no fim do inverno austral.

Inocentini (p.367-374) analisou o regime de ondas ao largo do litoral do nordeste brasileiro imposto pelos distúrbios atmosféricos africanos de leste.

A análise dos resultados revelou que, durante os meses de julho, agosto e setembro, os ventos de superfície de leste intensificam-se na região onde ocorrem os distúrbios, isto é, ao longo do cinturão definido pelas latitudes 5°N e 20°N. Casos extremos com ventos acima de 18 m/s e ondas com altura significativa acima de 4 m ao longo do cinturão foram selecionados.

Verificou-se que, embora os ventos tenham intensidade suficiente para gerarem altas ondas, a pista é pequena e com rápido deslocamento em direção oeste. Estas características contribuem para reduzir a transferência de energia do vento para a superfície do oceano. A agitação marítima provocada pelos distúrbios de leste que chega ao litoral do nordeste brasileiro é muito pequena quando comparada à agitação marítima dominante produzida pelos ventos alísios, e por este motivo não interfere no regime de ondas local.

3.6 Linhas de instabilidade

O sistema de LI é composto da seguinte forma: em sua frente há nuvens cúmulos em desenvolvimento. A seguir, uma borda dianteira de convecção em forma de cumulonimbus, ou seja, a própria LI com chuva forte associada e, finalmente, observa-se uma camada ampla de nuvens estratiformes na região da bigorna.

3.6.1 Linhas de instabilidade em latitudes médias

As LI de latitudes médias geralmente estão associadas à circulação pré-frontal, podendo aparecer tanto no setor quente quanto no setor frio e podem ser paralelas ou perpendiculares à frente. A umidade vinda do Oceano Atlântico associada à brisa marítima, juntamente com a convergência em baixos níveis, são favoráveis à formação e intensificação das Lis.

A linha de instabilidade pré-frontal é encontrada de 80 a 480 km adiante de uma frente fria sendo, geralmente, paralela a ela. A linha de instabilidade tem aproximadamente 240 a 480 km de extensão, embora não necessariamente contínua, e sua largura atinge até 60 km. As bases das nuvens são mais baixas e os topos mais altos que a maioria das trovoadas. (MIGUENS, 2000)

3.6.2 Linhas de instabilidade na costa norte e nordeste da América do Sul

As LI Tropicais formam-se ao longo da costa N-NE como resultado da convecção pela brisa marítima associada às ondas de leste. Ocorrem nos meses de verão no período da tarde e início da noite. A proximidade da ZCIT e a fonte de calor sobre a Amazônia são outros fatores que contribuem para a formação e intensificação da LI tropicais. (LLOPART, 2012)

Linhas de instabilidade (LIs) na costa norte-nordeste da América do Sul são observadas frequentemente e podem se propagar para o interior do continente, causando quantidades apreciáveis de precipitação. Em alguns trabalhos, essas linhas foram associadas à circulação da brisa marítima. Como esses sistemas têm uma escala temporal associada à variabilidade diurna (brisa marítima e aquecimento terrestre), a máxima atividade convectiva pode ser notada nas imagens de satélite no final da tarde (2100 UTC).

Uma avaliação da variação diurna da precipitação sobre o Nordeste brasileiro, no período de 1961 a 1970, apresentou a posição da precipitação acumulada máxima para três períodos, onde se pôde observar que a atividade convectiva iniciada junto à costa no início da tarde continua a avançar para o interior do continente no período noturno.

Alguns autores analisaram e classificaram as LIs que se formam ao longo da costa norte-nordeste da América do Sul, desde a Guiana até o Estado do Maranhão. Tanto as linhas de cumulonimbus que se propagam, quanto as que não se propagam, associam-se à circulação de brisa marítima junto à costa.

As LIs são mais frequentes em maio e menos frequentes em janeiro. Quanto à variação dos totais anuais, nota-se que o número de casos de LIs junto à costa norte-nordeste tende a diminuir em anos de El Niño, enquanto que em anos de La Niña, o número de casos tende a aumentar.

3.7 Complexo Convectivo de Mesoescala

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) são aglomerados de nuvens convectivas principalmente do tipo cumulonimbus (embora ocorram outros tipos de nuvens associadas) que se originam por conta de condições locais

favoráveis, envolvendo fatores como temperatura, relevo e pressão. Esses sistemas provocam chuvas fortes e de curta duração, normalmente acompanhadas de fortes rajadas de vento, sendo responsáveis pela maior parte da precipitação nos trópicos e em várias localidades de latitudes médias durante a estação quente.

Os CCMs, na região subtropical, (caso da região que abrange Paraguai, Argentina, Uruguai e o oeste da região sul do Brasil, além de parte do estado de Mato Grosso do Sul) ocorrem preferencialmente durante os meses de primavera e de verão no hemisfério sul. Segundo Sakamoto (2009), o norte da Argentina e a região sul do Brasil são as regiões de maior ocorrência desses sistemas.

Especialmente no verão, os ventos alísios de nordeste estão mais intensos. Esses ventos transportam umidade para o interior do continente e favorecem a formação do Jato de Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes, que por sua vez, transporta umidade para os subtropicais (Marengo et al., 2004; Vera et al., 2006), contribuindo para a formação do CCM.

Os CCM geralmente se formam no período noturno com um ciclo de vida entre 10 e 20 horas (vide SOUZA et al., 1998). As bigornas das nuvens cumulonimbus dos CCM formam uma cobertura contínua que dá o aspecto típico visto em uma imagem de satélite.

A maior parte dos CCMs que ocorrem nesta faixa de latitudes tem um ciclo de vida típico, com início à noite ou de madrugada, chegando à sua máxima extensão durante a manhã e dissipando-se por volta do meio dia. Esse ciclo de vida revela uma forte dependência da situação geográfica do início dos sistemas, relacionada com a topografia: a cadeia de montanhas dos Andes a oeste, o vale dos rios Paraguai e Paraná e, mais a leste a Serra do Mar. A circulação noturna, característica de vales, seria um dissipador das primeiras nuvens.

Também é comum a formação de CCM no norte da região Nordeste do Brasil. Normalmente as chuvas associadas a este fenômeno meteorológico ocorrem de forma isolada. Um exemplo típico é relatado em Souza et al. (1998), onde ocorreram chuvas sobre a cidade de Fortaleza, no dia 24/04/97, durante 13 horas seguidas (entre 01:00h e 13:00h local). Ao final desse período havia chovido 270 mm, correspondendo a 79% da climatologia do mês de abril, para o posto pluviométrico da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (latitude 3°75'S – longitude 38°53'W).

3.8 – Alta Subtropical do Atlântico Sul

As Altas Subtropicais são sistemas de alta pressão situados em torno de 30 graus de latitude nos principais oceanos da Terra. Elas estão associadas à circulação média meridional da atmosfera, originando-se a partir das células de Hadley. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é de grande importância para o clima da América do Sul. Ela afeta o clima do Brasil tanto no inverno como no verão, de diferentes maneiras. Na região Nordeste, a ASAS contribui para o regime de chuvas no litoral. A dinâmica desse sistema também favorece a formação de nevoeiros e geadas no sul e sudeste do Brasil. Por outro lado, no verão, o transporte de umidade nos baixos níveis troposféricos ao longo da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Kodama, 1993; Quadro, 1994), é afetado pela circulação associada a ASAS. É sabido que o ramo oceânico das ZCAS, é fortemente modulado pela convergência de umidade no Atlântico (KODAMA, 1993).

No inverno, a região afetada de forma mais evidente pela ASAS é o litoral do nordeste do Brasil, onde a ocorrência de chuvas é favorecida pelo transporte de umidade. Além disso, a ASAS traz consequências visíveis não só para as cidades localizadas nas proximidades do litoral da região Sudeste, como também para as regiões Sul e Centro-Oeste. O sistema tende a migrar para o continente - onde o vento encontra-se consideravelmente fraco - pois o continente está mais frio que o oceano. Isso propicia a ocorrência de nevoeiros de radiação, inversões térmicas e geadas (nesse caso, apenas se o ar estiver frio e úmido o bastante).

Já no verão, os ventos em superfície causados pela ASAS enfraquecem conforme se aproximam do continente, não afetando o litoral do NE como no inverno. Por outro lado, no litoral do Sudeste os ventos predominantes passam a ser de NE, facilitando o transporte de umidade da área equatorial do Oceano Atlântico para o ramo oceânico da ZCOU.

Em seu centro, observam-se boas condições de tempo e mar calmo, devido ao movimento subsidente do ar, que inibe o processo convectivo. Nas bordas do sistema, porém, os ventos podem ser fortes, constituindo áreas geradoras de ondas, nas quais também ocorre transporte de umidade marítima para o continente, quando a ASAS está posicionada sobre o oceano. Próximo à área litorânea, pode ocorrer ressaca ou mar agitado, de forma análoga ao que acontece quando uma área de alta pressão pós-frontal desloca-se sobre o oceano.

3.9 Jatos de Baixos Níveis

Os Jatos de Baixos Níveis (JBN) ocorrem do lado leste de uma topografia elevada e são associados a um movimento de grande escala que cobre extensas áreas, como os Andes na AS. Como essa cadeia montanhosa estende-se da região tropical até altas latitudes, ela bloqueia a circulação em baixos níveis no sentido zonal e provoca a canalização do vento.

Assim, os JBN podem ser definidos como fortes fluxos observados na baixa atmosfera ao longo de cadeias montanhosas. Nas altitudes em torno de 2000m, esses ventos adquirem máxima velocidade. Esse fenômeno também é observado, por exemplo, ao longo das Montanhas Rochosas, na América do Norte. (LLOPART, 2012)

Na América do Sul, são conhecidos como Jato de Baixos Níveis da AS (JBNAS), sendo um componente do sistema de monção da AS, pelo fato de transportar umidade da Bacia Amazônica para a Bacia Paraná-Prata, afetando o tempo e o clima a leste dos Andes.

Estes sistemas podem dar origem, por meio do transporte de umidade, a condições de tempo severas associadas às grandes nuvens convectivas na região da saída do jato, as quais podem gerar fortes enchentes e tempestades.

O JBNAS transporta a umidade oriunda do fluxo dos ventos alísios que passa sobre a Amazônia (podendo adquirir mais umidade devido à evapotranspiração da floresta). Ao atingir os Andes, que constituem uma barreira topográfica, esses ventos mudam de direção e passam a correr paralelamente à cadeia montanhosa, em direção ao sul e sudeste do Brasil e ao norte da Argentina.

No verão, a umidade que vai para a Bacia Paraná-Prata é, em sua maior parte, oriunda da região Amazônica, enquanto que no inverno, ainda que possa haver esse transporte da Amazônia, observa-se o transporte de origem oceânica associada ao ciclo anual da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Além disso, no verão o transporte pelos alísios é maior e a ASAS está mais fraca na região perto do continente. Logo, o fluxo predominante de umidade é induzido pelos alísios. No inverno o transporte pelos alísios enfraquece e a ASAS tem seus ventos intensificados próximo ao continente, predominando assim o transporte de umidade induzido pela ASAS.

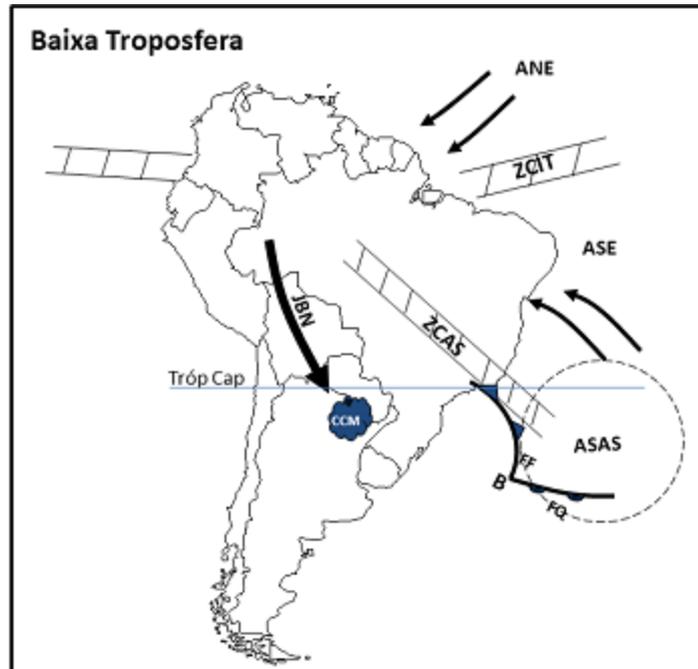


Figura 7: Esquema dos sistemas atmosféricos atuantes na AS no verão (adapt. de Reboita et al. 2010a).

3.10 Furacões

Um furacão ocorre quando um ciclone tropical se intensifica, em torno de um centro de baixa pressão. Geralmente, existe na área central desses sistemas uma região com pouca ou nenhuma nebulosidade e ventos fracos, denominada olho do furacão. Nessa área, ocorrem movimentos de ar descendentes, enquanto, ao seu redor, tem-se uma grande área circular de centenas de quilômetros com intensos movimentos ascendentes do ar, o que dá origem a nuvens e muita chuva. Existem também outras formas de ciclones, como os ciclones extratropicais, nos quais, analogamente, os ventos giram em torno de um centro de baixa pressão. A diferença básica, porém, é que os ciclones tropicais são sistemas barotrópicos, isto é, apresentam variações apenas na pressão atmosférica; já os ciclones extratropicais tratam-se de sistemas baroclínicos, nos quais há variação de pressão atmosférica e de temperatura.

Segundo Byers (p.376), os ciclones formam-se apenas em áreas do oceano cuja temperatura de superfície é alta, 26° ou 27°C. Nessa região, o processo convectivo na superfície do oceano se intensifica. O ar bastante úmido ascendendo próximo ao centro se resfria até atingir o ponto de condensação, formando nuvens com mais de 8 km de altura. As gotículas de chuva se formam através da condensação do vapor d'água, que libera o calor latente de condensação devido à mudança de fase da água. Este calor liberado aquece o ar, que tende a ascender mais, fazendo com que a pressão atmosférica sofra uma queda ainda maior no centro do sistema. Com a queda da pressão, uma maior parcela do ar circundante é deslocado em direção ao centro do sistema, que por sua vez se realimenta disso para continuar ganhando intensidade. Os ventos serão mais fortes à medida que a pressão em seu centro se tornar mais baixa. O furacão propriamente dito só é assim classificado se os ventos estiverem com velocidade superior a 119 km/h. Abaixo disso, o ciclone pode ser chamado de tempestade tropical.

Várias condições devem ser atendidas para que um furacão se forme. De acordo com o exposto, a TSM precisa estar acima de 26°C, e os ventos não podem apresentar variação significativa quando a altura aumenta. Além disso, caso estejam ocorrendo ventos muito fortes entre 5 e 10 km de altitude, um ciclone tropical não se tornará um furacão. Não há formação de furacões sobre o Equador terrestre, já que é necessário que os sistemas meteorológicos estejam um pouco afastados dele para que sofram os efeitos da rotação da Terra, responsável por fazer com que os ventos girem ao redor do centro de baixa pressão. Ocorrem com maior frequência no Atlântico Tropical Norte, Pacífico Tropical Oriental, Pacífico Tropical Norte Oriental e Pacífico Tropical Sul Oriental, além do Oceano Índico. Até o Furacão Catarina, a grande exceção era o Atlântico Sul, onde a TSM está quase sempre abaixo de 26°C.

3.10.2 O Furacão Catarina

O Furacão Catarina foi o primeiro furacão observado no Atlântico Sul, pelo menos desde o início das observações meteorológicas confiáveis no Brasil, isto é, há pouco mais de um século. Desde o início da utilização de satélites meteorológicos, não houve registros de outros furacões nessa região do Oceano Atlântico.

O Catarina quebrou o paradigma sobre furacões no Atlântico Sul. Ele se originou a partir de um ciclone extratropical, enquanto a grande maioria dos furacões origina-se de depressões tropicais, isto é, centros de baixa pressão tropicais. Além disso, furacões se formam sobre águas oceânicas acima de 26°C. Entretanto, na região de formação do Catarina, as águas encontravam-se entre 24°C e 26°C. Em suma, tratou-se de um fenômeno raro, mas que de fato ocorreu, entrando para a história meteorológica do Brasil, pelos danos que causou ao atingir a costa do sul do país. Ele chegou a ser classificado na Categoria 2 na Escala Saffir-Simpson, indicando que seus ventos atingiram quase 180 km/h.

Ainda não há, entre os cientistas, um consenso de que o Atlântico Sul se tornará um local onde furacões passarão a ocorrer com frequência. É provável que, se a temperatura do mar continuar aumentando com o aquecimento global, ocorram mais comumente, no Atlântico Sul, temperaturas acima de 26°C, que é uma condição para que furacões se formem com mais facilidade. Além disso, é importante reiterar que o Furacão Catarina originou-se de um ciclone extratropical e estes, normalmente, como o próprio nome diz, ocorrem fora da faixa tropical e subtropical. O efeito dos ciclones extra-tropicais sobre o Atlântico Sul é sentido mais comumente nas ressacas que afetam principalmente o litoral sul e sudeste do Brasil.

3.11 Tornados e trombas d'água

Os tornados são uma imensa coluna de ar giratória que se estende desde a base da nuvem que o gera (uma Cumulonimbus) até a superfície do continente ou da água, sendo neste caso chamado de “tromba d'água”. Seus efeitos sobre as áreas por onde passa são bastante destrutivos.

A dimensão espacial do tornado é de centenas de metros e ele, normalmente, tem uma vida média de poucos minutos e percorre uma extensão de 500 a 1500 metros, ainda que na sua trajetória os ventos passem comumente de 200km/h. Especialmente na primavera, são comuns situações onde ar úmido e quente na superfície fica abaixo do ar mais frio e seco produzindo uma atmosfera instável, com pressão extremamente baixa.

A “tromba d'água” é um tornado que se forma sobre a água, mais comumente sobre o mar, em condições de alta umidade e forte calor surgindo tão rápido quanto se

desfazem. No Brasil, a região sul, principalmente, e, em parte, o Estado do Mato Grosso do Sul, estão bastante sujeitas à ocorrências desse tipo de evento climático.

Só em Santa Catarina foi registrada a ocorrência de cerca de 23 tornados e trombas d'água de 1976 a 2000, que em grande parte estavam associados à passagem de frentes frias e a ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala e sistemas convectivos isolados, na primavera e no verão, respectivamente.

No dia 24 de setembro de 2014, uma tromba d'água deixou rastros de destruição no município de Porto Murtinho, no Mato Grosso do Sul. Uma das consequências do fenômeno meteorológico, com ventos de até 93 quilômetros por hora, foi o naufrágio de um barco-hotel com 27 ocupantes no Rio Paraguai, o primeiro registrado em 6 anos na região. A embarcação se preparava para atracar quando foi atingida pela tromba d'água.

Segundo Neide Oliveira, meteorologista do INMET, “esse tornado deu-se pela combinação de excesso de calor e umidade. Havia uma frente fria, associada a um sistema atmosférico, que vinha do Paraguai e norte da Argentina; quando chegou em Porto Murtinho, as temperaturas estavam altas. Essas condições estavam favoráveis para a ocorrência de um sistema convectivo, formado pelo calor e umidade. A frente fria estava no oceano, associou-se ao sistema e aliou-se a umidade da Amazônia, ocasionando o tornado.”.

4 INFORMAÇÕES METEOROLÓGICAS PARA O NAVEGANTE

4.1 Cartas Sinóticas

A carta meteorológica de pressão à superfície, ou simplesmente Carta Sinótica, é um importante auxílio no entendimento do estado presente e futuro do tempo. Nela, estão representadas as isóbaras, com seus respectivos valores de pressão, espaçadas de 4 em 4hPa. Os ciclones podem ser identificados por regiões circundadas por isóbaras fechadas, com valores mais baixos de pressão. Da mesma forma, os anticiclones são identificados por regiões limitadas por isóbaras fechadas com valores de pressão mais altos. Além disso, costumam-se utilizar as letras “A”(alta) e “B”(baixa) no centro da área circundada pelas isóbaras, nas cartas sinóticas elaboradas em língua portuguesa.

Podem ser representadas também a intensidade e a direção do vento, além da cobertura de nuvens, através de uma seta com um traços em uma de suas extremidades e um pequeno círculo na outra. A intensidade convectiva da ZCIT pode ser indicada através de um código de traços. Para a plotagem de frentes, linhas de instabilidade e ZCOU, utiliza-se a convenção estabelecida no capítulo II.

Normalmente, considera-se que o vento flui paralelo às isóbaras. Quanto menor for o espaçamento entre elas, maior a intensidade do vento, pois isso demonstra que há um gradiente de pressão menor. Normalmente as cartas sinóticas vêm acompanhadas de uma análise sinótica, que descreve, sucintamente, os principais sistemas atuantes na área englobada pela carta, sua localização, intensidade e outras informações úteis na análise da tendência do estado do tempo.

As cartas sinóticas podem ser transmitidas ao navio por fac-símile, ou, de forma mais moderna, pela internet, possibilitando que os navegantes tenham acesso sempre a publicações atualizadas periodicamente e aumentando a confiabilidade das informações extraídas da carta. Juntamente à análise das demais publicações meteorológicas, isso facilita o planejamento da derrota, de maneira a manter o navio e sua tripulação em segurança, evitando regiões onde sabidamente existem sistemas causadores de mau tempo e mar agitado.

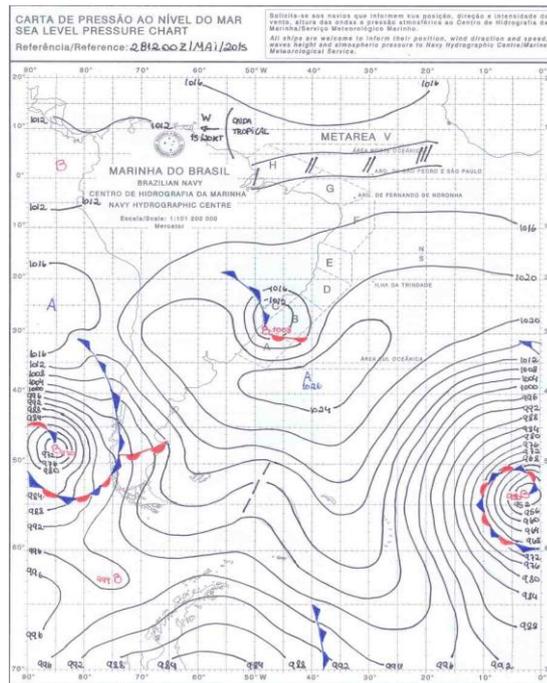


Figura 8: Carta sinótica de pressão à superfície do dia 28/05/2015 às 1200Z. Nota-se a presença de um sistema subtropical com centro entre as áreas marítimas A e B, onde há uma frente fria atuando entre as regiões Sul e Sudeste do Brasil. Além disso, representa-se a intensidade do processo convectivo na ZCIT. Na área mais a sudeste da carta, observa-se um centro de baixa pressão no valor de 950hPa associado a um intenso gradiente de pressão. Ao seu redor, as isóbaras estreitas e alongadas indicam a ocorrência de vento forte, com pista suficiente para a formação de grandes ondas, que certamente afetam a navegação em alto-mar a sudeste do Atlântico Sul.

4.2 Imagens de Satélite

As imagens de satélites meteorológicos são uma ferramenta muito importante para os institutos meteorológicos, assim como para o navegante. Elas são geradas por satélites geoestacionários que orbitam em torno do planeta, a cerca de 36000 km de altitude.

Nessas imagens, as regiões onde há nebulosidade podem ser identificadas pelas diferenças de coloração. Tons de branco mais fortes indicam uma área onde há nuvens de grande desenvolvimento vertical, mais espessas, tais como as Cumulonimbus,

enquanto áreas visualizados num branco mais fraco mostram nuvens baixas e áreas escuras indicam que o céu está limpo na região considerada. Nelas, também é possível averiguar a forma dos sistemas de nuvens e sua atual localização.

A disponibilidade de imagens de satélites auxilia na obtenção de dados em relação às condições do tempo em áreas oceânicas, nas quais há uma quantidade bem menos expressiva de observações à superfície, quando comparado às áreas continentais. Utilizada em conjunto com cartas sinóticas e boletins meteorológicos pertinentes, uma sequência de imagens de satélite – normalmente, separadas por intervalos de três horas - permite entender a evolução dos fenômenos meteorológicos na região analisada, já que, dessa análise, podem ser retirados dados relativos ao deslocamento, intensificação e trajetória dos diferentes sistemas de nuvens, associados a determinado sistema meteorológico. Ainda que a imagem de satélite seja a única fonte de informação disponível, uma interpretação adequada pode extrair dela informações valiosas à navegação, tais como o comportamento do vento à superfície ou em altos níveis.

Existe a imagem de satélite visível e a infravermelho (IR). A visível, porém, utiliza a luminosidade refletida, podendo ser utilizada apenas durante o dia. Já a imagem IR é a mais comumente utilizada, pois é gerada a partir da coleta da temperatura de toda a coluna de ar, detectando desde nuvens altas até nevoeiros e a superfície do mar ou solo. A identificação dos diferentes tipos de nuvens se dá, como já mencionado, pela diferença na tonalidade da cor branca.

As nuvens resultam de diversos processos atmosféricos; entre eles, a advecção de ar quente. Por isso, a presença de nuvens é indicadora da ocorrência desse fenômeno. As imagens de satélite permitem identificar os tipos e a distribuição horizontal das nuvens, tornando-as úteis para a análise dos processos de advecção térmica. (FEDOROVA et al., 1999)

A advecção de ar quente implica em um aumento no gradiente de temperatura, contribuindo tanto para a frontogênese, como para a intensificação da corrente de jato. A presença de nuvens cirriformes com curvatura anticiclônica nas imagens de satélite permite observar essa intensificação. (BLUESTEIN, 1993)

4.3 Boletins Meteorológicos

Na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), são compiladas as informações meteorológicas pertinentes à navegação, que, em seguida, são transmitidas através de cartas e boletins. Esse boletins podem ser de três tipos: boletim de previsão para áreas portuárias; boletim de condições e previsão do tempo (METEOROMARINHA) e boletim especial de previsão. Esses boletins se destinam a divulgar o prognóstico do tempo na área marítima de responsabilidade do Brasil (METAREA V).

No boletim de previsão para áreas portuárias, transmitido normalmente por radiotelefonia, consta a previsão para a área marítima adjacente a cada porto. Ele traz, entre outros aspectos, previsões do estado do céu, dos ventos, das ondas e da visibilidade. Indica também se a temperatura tende a subir, cair ou permanecer estável.

A Organização Marítima Mundial (OMM) estabelece que sejam emitidos, pelos serviços meteorológicos auxiliares à navegação marítima, boletins de previsão, em conformidade com normas internacionais. No Brasil, a DHN emite o METEOROMARINHA, constituído de seis partes, sendo elas: aviso de mau tempo; resumo descritivo do tempo; previsão do tempo; análise do tempo; seleção de mensagens meteorológicas de navios; seleção de mensagens meteorológicas; seleção de mensagens meteorológicas de estações terrestres costeiras e de ilhas oceânicas.

Existe ainda um boletim que disponibiliza previsões para uma área restrita, destinado a determinada operação, geralmente que envolva riscos ou que exija uma acurácia elevada – como, por exemplo, reboque, movimentação de plataforma de petróleo ou operação SAR. Esse boletim é denominado Boletim Especial de Previsão e é elaborado sob demanda à DHN, estando, por isso, sujeito a cobrança.

5 NAVEGAÇÃO METEOROLÓGICA E OCEANOGRÁFICA

5.1 – Ação conjunta do vento e das ondas

Os efeitos das ondas sobre um navio dependem de seu tipo, rumo e velocidade. Um navio pequeno tende a escalar um lado de uma onda e descer no outro lado; já um navio maior pode atravessar as ondas, mantendo a quilha praticamente nivelada. Considerando o comprimento das ondas, pode ocorrer que a proa e a popa do navio fiquem alternadamente sobre cristas sucessivas e cavados consecutivos. Nesse caso, o navio é submetido a pesados esforços de alquebramento e, em certos casos, pode até mesmo quebrar-se em dois. Esse risco pode ser diminuído através de uma mudança de rumo. Por estar sujeito a esforços de alquebramento, um navio grande pode ser mais afetado por uma tempestade do que um navio menor.

Se o comprimento das ondas for equivalente a duas vezes o comprimento do navio, a embarcação fica sujeita a cair no cavado do mar, principalmente se ela estiver com uma velocidade baixa. É mais comum notar-se esse fato quando as ondas incidem no costado do navio pela bochecha do que pela alheta. A fim de reduzir esse risco, reduz-se a velocidade.

Uma onda prestes a quebrar oferece um risco muito maior à embarcação do que uma onda íntegra. Quando a onda quebra, uma expressiva massa de água é projetada para baixo e para frente, enquanto na onda íntegra a massa de água oscila apenas em torno de um eixo vertical (para cima e para baixo). Além disso, deve-se ter em mente que o impacto com o navio pode fazer com que uma onda quebre. Ainda que não ocorra de forma natural, esse fenômeno oferece um risco igualmente considerável ao navio.

Um vento intenso que sopra numa pista longa de águas profundas, por um período considerável de tempo, pode dar origem a marulhos ditos pesados, capazes de propagar-se por centenas de milhas mantendo sua direção inalterada. Do encontro desse marulho com vagas provenientes de uma direção distinta, resulta uma mar confuso e desencontrado, que representa um grande risco à navegação segura; nesse caso, são mais afetadas as embarcações de menor porte.

Considerando que a água é muito mais densa que o ar, as consequências conjuntas da ação das ondas e do vento sobre o navio são quase totalmente atribuídas às ondas. A força que um fluido em movimento pode exercer a uma dada velocidade é

proporcional à sua densidade. O efeito do vento sobre uma embarcação praticamente só passa a ser significativo para a segurança do navio quando ele apresenta força 12 na Escala Beaufort, equivalente a 64 nós.

Quando o mar está grosso, a velocidade no fundo é diminuída; além disso, é possível que ocorram avarias nas obras mortas do navio, principalmente na superestrutura, em consequência dos golpes das ondas. Em condições extremas, o navio pode emborcar ou até mesmo partir-se. Quanto mais alta estiver a velocidade do navio, mais graves serão as consequências acarretadas pelo mar grosso. Assim sendo, durante a ocorrência de mau tempo, é necessário que se reduza a velocidade e se manobra de forma conveniente.

È necessário atentar à correta peação de todo o material existente a bordo para evitar que o jogo da embarcação danifique quaisquer objetos. Antes de lançar-se ao mar, deve ser consultada a previsão meteorológica a fim de se empregar as medidas necessárias ao aumento da estabilidade, anteriormente à chegada a uma região onde estão previstas condições favoráveis à ocorrência de mau tempo. Além disso, deve-se isolar o maior número possível de aberturas estanques, deixando abertas somente as que estiverem envolvidas nas operações essenciais do navio, a fim de evitar o embarque de água, que pode gerar efeito de superfície livre e consequente perda de estabilidade.

Nos momentos em que o navio desliza sobre a crista de uma onda, também há prejuízo à estabilidade. Em um navio com uma baixa reserva de estabilidade, isto é, em que a maior parte do volume do navio está situado abaixo da superfície do mar, é possível que haja um perigoso aumento do balanço ou da banda (adernamento), especialmente se vento forte de través estiver incidindo sobre o navio.

O abatimento e o caimento - o distanciamento gradativo, em direção a um dos bordos, da derrota que se deseja seguir - causados pela união das ondas, do vento e das correntes de superfície, não devem ser desprezados pelo navegante. Para saber o quão expressivo será o caimento sofrido pelo navio, é necessário analisar sua borda livre, seu calado, sua velocidade e seu rumo, considerando sempre a direção do vento e do mar, incluindo também a intensidade da corrente, do vento e do mar. Nos casos em que, somando-se ao vento e ao mar, atua uma corrente de superfície produzida por um vento com força de tempestade, a velocidade de caimento do navio (aferida na direção perpendicular ao rumo base) pode atingir valores maiores que 2 nós, principalmente se o navio estiver navegando em baixa velocidade.

5.2 Navegação e manobra do navio com mau tempo

Existem várias manobras que podem ser usadas pelo navegante a fim de evitar que o navio, a tripulação e a carga sejam colocados em risco ao atravessar áreas de mar grosso. Se for mantida uma posição inadequada do navio em relação ao vento e às ondas, movimentos como o caturro – oscilação angular em torno de um eixo vertical - e o balanço – oscilação angular em torno de um eixo longitudinal ao navio - podem ser intensificados a ponto de emborcar o navio. As manobras mais comuns são conhecidas como “capear” e “correr com o tempo”. Existem ainda manobras evasivas especiais para casos em que há um ciclone tropical nas proximidades.

A fim de decidir entre uma das manobras supracitadas, deve-se levar em consideração, entre outros aspectos, que a proa é mais reforçada que a popa, pois ela foi projetada para suportar o impacto das ondas, e que um navio capeando tem seu caturro bastante aumentado.

A manobra conhecida como capear pode ser usada quando a proa do navio está alinhada com a direção de propagação das ondas. Nessa situação, o período aparente da ondulação diminui proporcionalmente ao aumento da velocidade. Quando a velocidade é aumentada, o navio tende a entrar em sincronismo com a vaga, aumentando a violência do caturro. Dessa forma, deve-se reduzir a velocidade da embarcação. Percebendo que a proa do navio está sofrendo um impacto muito forte, por estar perto da linha do vento, também há a possibilidade de se manter o rumo com o vento incidindo num ângulo entre 30 e 40° pela bochecha, com a velocidade reduzida, mas não excessivamente, a fim de se manter o governo da embarcação. Deve-se, além disso, ter atenção para que o mar nunca chegue a incidir de través sobre o navio.

A manobra de correr com o tempo consiste em navegar na menor velocidade possível, com as ondas incidindo na popa da embarcação. A eficácia do leme fica menor; além disso o navio pode ficar em situações que exigem da quilha elevados esforços longitudinais. Pode-se usar uma âncora flutuante a barlavento para melhorar a resposta do sistema de governo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De posse das informações apresentadas no presente trabalho, conclui-se que é bastante significativa a variedade dos sistemas meteorológicos atuantes no subcontinente sul-americano. O ventos gerado por esses sistema pode resultar, por exemplo, em vagas, marulhos ou ressaca próximo à costa.

Entretanto, a maneira como esses sistemas atuam sobre uma embarcação navegando nem sempre é tão facilmente distinguível, cabendo ao navegante saber de que sistema se trata, a fim de tomar as precauções devidas, com base nos seus conhecimentos relativos à duração e às características específicas de cada fenômeno. Apenas o conhecimento detalhado de cada sistema permite ao navegante tirar suas próprias conclusões quanto à tendência das condições meteorológicas, de forma independente.

Devemos nos utilizar das informações fornecidas pelos órgãos oficiais de informação meteorológica, porém também precisamos estar sempre atentos, a bordo de um navio, uma vez que podem ocorrer fenômenos de escala local que podem não estar previstos pelos institutos. Saber manobrar o navio nas mais variadas condições de mar e vento é essencial para que se mantenha uma navegação segura, tanto para o pessoal de bordo, quanto para os equipamentos e para a carga sendo transportada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BASTOS, C.C.; FERREIRA, N.J. **Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul.**
2. BLUESTEIN, H.B. **Synoptic-dynamic meteorology in mid-latitudes. Volume II: observations and theory of weather systems.** New York, Oxford University Press. 239-417. 1993
3. BYERS, Horace Robert. **General Meteorology.** 3ed. 1959.
4. DRUMOND A., NIETO R., GIMENO L., AMBRIZZI T. **A Lagrangian identification of major sources of moisture over Central Brazil and La Plata Basin.** *J. Geophys. Res.*, **113**. D14128,doi:10.1029/2007JD009547. 2008.
5. DURÁN-QUESADA A.M., REBOITA M.S., GIMENO L.,NIETO R. **The role of the tropics in the globalwater cycle: Precipitation and moisture transportin Tropical America.** In: Esa-Esrin Conference:Earth Observation and Water Cycle Science:“towards a water cycle multi-mission strategy”,Frascati, Itália. 2009.
6. FEDOROVA, N.; BAKST, L. **Identificação da advecção de ar quente através da análise de dados de satélites.** *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 17(1), 1999.
7. FERREIRA, A.G.; MELLO, N.S. **Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região.** *Revista Brasileira de Climatologia*, Vol. 1, No 1., 2005.
8. FRANK, N.L. **On the energetics of cold lows.** In: Symposium on Tropical Meteorology, 1., 1970, São José dos Campos. Proceeding... São José dos Campos: American Meteorological Society. p.EIV1-EIV6. 1970.

9. GAN, M.A E KOUSKY, V.E. **Um Estudo Observacional sobre as Baixas Frias da AltaTroposfera nas Latitudes Subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil.** INPE, São José dos Campos, SP. 25 págs. 1982.
10. INNOCENTINI, Valdir. **A Agitação Marítima no Litoral Nordeste do Brasil Associada aos Distúrbios Africanos de Leste.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.20,n.3, 367-374, 2005.
11. KODAMA, Y. **Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (The Baiu Frontal Zone, The SPCZ and The SACZ), Part I: Characteristics of Subtropical Precipitation Zones.** J. Met. Soc. Japan, 70: 813-836. 1993.
12. KOUSKY V.E., Gan M.A. **Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic.***Tellus*, 36(6):538-551. 1981.
13. LEMOS, C.F.; CALBETE, N.O. **Sistemas Frontais que Atuaram no Litoral de 1987 a 1995.** Climanálise ed. 10 anos. 1996.
14. LLOPART, Marta. **Sistemas Meteorológicos Atuantes na América do Sul.** 2012.
15. LOBO, Paulo Roberto Valgas. **Meteorologia e Oceanografia: usuário navegante.** Rio de Janeiro: DHN, 2007.
16. MARENGO J.A., SOARES W.R., SAULO C., NICOLINI M. **Climatology of the Low Level Jet East of the Andes as Derived from NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability.***J. Climate*, 17 (12):2261-2280. 2004.
17. MELO, A. B. C. de. **Previsibilidade da precipitação na Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil, durante a estação chuvosa, em função do comportamento diário das chuvas na pré-estação.** *Dissertação de Mestrado em Meteorologia.* Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA). Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Campina Grande-PB. 1997. 100 p.

18. MIGUENS, A.P. **Navegação: A Ciência e a Arte. Volume III – Navegação Eletrônica e em Condições Especiais.** Brasília, DF, 2000.
19. QUADRO, M. F. L. **Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul.** São José dos Campos, (INPE-6341- TDI/593). 1994
20. REBOITA, Michelle; KRUSCHE, Nisia; AMBRIZZI, Tércio; ROCHA, Rosmeri. **Entendendo o tempo e o clima na América do Sul.** TERRÆ DIDÁTICA 8(1):34-50, 2012.
21. SAKAMOTO M. **Sistemas Convectivos de Mesoescala observados na Região Subtropical da América do Sul durante o SALLJEX.** São Paulo:Inst.Astron.,Geof.e C. Atmosf., IAG-USP.
22. TALJAARD J.J. **Synoptic meteorology of the Southern Hemisphere.** In Newton. C.W. ed. **Meteorology of the Southern Hemisphere.** American Meteorological Society, Boston, MA. 1972
23. VAREJÃO-SILVA M.A. **Meteorologia e Climatologia.** Brasília: INMET. 463p. 2006
24. VERA C., BAEZ J., DOUGLAS M., EMMANUEL C. B., MARENGO J., MEITIN J., NICOLINI M., NOGUES-PAEGLE, J., PAEGLE J., PENALBA O., SALIO P., SAULO C., SILVA DIAS M. A., SILVA DIAS P. S., ZIPSER E. **The South American Low-Level Jet Experiment.** *Bull.Am. Meteorol. Soc.*, **87**:63–77. 2006.
25. <http://g1.globo.com/mato-grosso-do-sul/noticia/2014/09/inmet-nao-descarta-tornado-teratingido-cidade-de-naufragio-em-ms.html>. Acesso em 26 de maio de 2015.
26. <http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#19>. Acesso em 27 de maio de 2015.