

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

MONIQUE BLANCHART RODRIGUES GONÇALVES

**METEOROLOGIA: análise da circulação geral da atmosfera e a influência na
navegação costa sul brasileira**

RIO DE JANEIRO

2015

MONIQUE BLANCHART RODRIGUES GONÇALVES

**METEOROLOGIA: análise da circulação geral da atmosfera e a influência na
navegação costa sul brasileira**

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/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador (a): Henrique Vaicberg

RIO DE JANEIRO

2015

MONIQUE BLANCHART RODRIGUES GONÇALVES

**METEOROLOGIA: análise da circulação geral da atmosfera e a influência na
navegação costa sul brasileira**

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/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Henrique Vaicberg

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu anjo da guarda, minha amada e eterna bisavó Maria Isabel de Almeida, pois sem ela nada disso seria possível. Todo investimento foi feito para me proporcionar boas condições a fim de atingir realização no âmbito escolar e profissional.

À minha família, principalmente à minha mãe, Mônica de Almeida Rodrigues, ao meu segundo pai, Antônio Carlos Mendes Antunes, e à minha irmã e melhor amiga, Marcelle Blanchart Rodrigues Gonçalves, por todo apoio e exemplo que sempre me deram.

Ao meu pai, Rodolfo da Silva Gonçalves, à minha segunda mãe, Magda de Oliveira, e aos meus irmãos, por me incentivarem e me darem carinho.

Aos meus amigos de Teresópolis e aos que fui presenteada pela minha querida Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante, por todo o suporte nos momentos difíceis.

E por fim, agradeço aos professores que tanto me ensinaram, em especial o professor Henrique Vaicberg por ser meu orientador e dedicar parte do seu tempo auxiliando em meu trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

As circulações atmosféricas são movimentos fechados dos escoamentos atmosféricos provocados pela conservação de massa que restringe o movimento geral da atmosfera e pelas forças de pressão e empuxo como observadas da superfície da Terra, cuja observação é feita em um referencial em rotação. A aplicação dos conhecidos teorema de Bjerknes mais a equação de conservação de massa permite solucionar o escoamento atmosférico em diferentes escalas de movimento. A circulação atmosférica pode referir-se à circulação da brisa marítima e terrestre, que é um fenômeno de mesoescala, como também pode se referir ao escoamento médio anual de grande-escala, como é o caso das circulações de Hadley e Walker, associadas às ocorrências dos fenômenos de El Niño e La Niña.

Assim, este trabalho tem como objetivo geral o de avaliar a aplicabilidade do método de previsão por extrapolação como meio complementar para se garantir a navegação meteorológica segura à bordo.

Como metas específicas têm-se: acrescentar sugestões para tornar este meio mais eficaz; fornecer mais recursos para ampliar o conhecimento do navegante quanto ao tempo; e interpretar e aplicar os dados meteorológicos e oceanográficos disponíveis nas publicações e cartas sinóticas da DHN.

Para alcançar tais propósitos, esta pesquisa trará, na parte que retrata a história do tempo, a explanação dos fenômenos que ocorrem na região e os conceitos básicos da Meteorologia e Oceanografia, mostrando seus comportamentos. Além disso, a pesquisa procura mostrar como o homem do mar deve agir em situações atmosféricas adversas.

Quanto à metodologia utilizada, constitui-se em uma pesquisa de cunho bibliográfico, natureza aplicada, levantamento experimental e objetivos explicativos.

A pesquisa bibliográfica caracteriza-se por ser elaborada a partir de material já publicado, sendo assim necessária para que o trabalho tenha fundamentação teórica e possibilite a análise dos fenômenos estudados. A natureza aplicada do estudo caracteriza-se por gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigida neste caso, para o maior entendimento do ambiente de trabalho do marítimo. O levantamento experimental consiste em avaliar a confiabilidade e aplicação do método à bordo. Por último, caracteriza-se como explicativa por também demonstrar a utilização do método.

Este estudo é dividido em cinco capítulos (os quatro primeiros para a história do tempo e o último para as considerações finais). Incluindo nele, o uso das publicações destinadas ao navegante como as cartas roteiros e os manuais de meteorologia, ambas publicadas e atualizadas pelos Avisos ao Navegante da DHN, além dos livros base do navegante como Arte Naval, de Maurílio Fonseca, e o Navegação Ciência e Arte de Miguens, assim como as cartas sinóticas e outras informações disponíveis no site da DHN.

Palavras-chave: Meteorologia. Circulação. Atmosfera.

ABSTRACT

The atmospheric circulations are closed flow movements caused by the conservation of mass that restrains the general movement of the atmosphere and by the pressure and counter-attraction forces as they are observed from the surface of the Earth, which is made from a rotational reference. The application of the known Bjerknes theorem plus the mass conservation equation allows the solving of the atmospheric flow in different movement scales. Atmospheric circulation can refer to the circulation of sea and land breezes, which is a mesoscale phenomenon, or it can also refer to the average annual flow of large scale, such as the Hadley and Walker's circulations, associated to the occurrence of the El Nino and La Nina phenomena.

Thus, this paper aims to evaluate the applicability of the forecast by extrapolation method as complementary means to ensure the safe meteorological navigation on board.

It can be listed as specific goals: to add suggestions to improve the efficacy of this method; to provide resources that expand the knowledge of the navigator about the weather; and to interpret and apply the weather and oceanographic data available in the publications and synoptic charts from DHN.

To reach these goals, this research will present, in the weather history section, the explanation of the phenomena that occurs in the region as well as the basic meteorological and oceanographic concepts, showing their behaviors. Beyond that, the research will try to expose how the seaman should act when in adverse atmospheric conditions.

As to the methodology in use, it is composed of a bibliographic research, applied nature, experimental survey and explanatory objectives.

The bibliographic research is characterized by being elaborated from previously published material, being necessary for the theoretical base of the paper and to allow the analysis of the studied phenomena. The applied nature of the study is characterized by the knowledge generation for practical application, directed in this case to the better understanding of the maritime work environment. The experimental survey consists in evaluating the reliability and the application of the method on board. Lastly, it characterizes itself as explanatory for also demonstrating the use of the method.

This study is divided into six chapters (the first five dedicated to weather history and the last to the trajectories method), excluding the introduction and the final considerations. It is included the use of the publications destined to the navigator as well as the sailing directions charts and meteorology manuals, both published and kept up to date by the Notice

to Mariners of the DHN, besides basic maritime books such as “Arte Naval”, by Maurílio Fonseca, “Navegação Ciência e Arte”, by Miguens, and the synoptic charts and other information available at the DHN website.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Circulação Geral da Atmosfera	13
Figura 2 -	Análise dos ventos Alísios na célula de Hadley	14
Figura 3 -	Separação das células	15
Figura 4 -	Zona de Convergência Intertropical	16
Figura 5 -	Visão espacial da formação de nuvens proveniente da ZCIT	16
Figura 6 -	Anticiclone	18
Figura 7 -	Brisa marítima e terrestre	20
Figura 8 -	Análise das pressões nas brisas marítimas e terrestres	20
Figura 9 -	Sistema representando a frente fria	24
Figura 10 -	Sistema representando a frente quente	25
Figura 11 -	Ilustração da frente oclusa	26
Figura 12 -	Representação da frente estacionária	27
Figura 13 -	Frente fria polar do Pacífico avançando	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ZCIT -	Zona de Convergência Intertropical
DHN -	Diretoria de Hidrografia e Navegação
OMM -	Organização Meteorológica Mundial
N -	Norte
S -	Sul
NE -	Nordeste
NW -	Noroeste
SW -	Sudoeste
SE -	Sudeste
W -	Oeste

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	DESENVOLVIMENTO	12
2.1	História	12
2.2	Circulação geral da atmosfera idealizada	12
2.2.1	Célula tropical (célula de Hadley)	14
2.2.2	Célula de latitudes médias (célula de Ferrel)	14
2.2.3	Célula polar	15
2.2.4	Depressões equatoriais	16
2.2.5	Anticiclones subtropicais	17
2.3	Circulação geral da atmosfera real	18
3	BRISA MARÍTIMA E TERRESTRE	19
4	INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS FRONTAIS NA NAVEGAÇÃO COSTA SUL BRASILEIRA	21
4.1	Massas de ar	21
4.2	Massas de ar que afetam a atmosfera da região sul e sudeste do Brasil	22
4.3	Sistemas Frontais	22
4.4	Frentes Frias	23
4.5	Frente Quente	24
4.6	Frente Oclusa	25
4.7	Frente Estacionária	27
4.8	Invasões frias no Brasil	28
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

A circulação atmosférica é o movimento de grande escala da atmosfera e o meio (juntamente com as correntes oceânicas) através do qual o calor é distribuído pela superfície da Terra.

Apesar da sua estrutura básica da circulação atmosférica global manter-se relativamente constante do ponto de vista climatológico (média de muitos anos), esta varia significativamente de ano para ano, ou ainda em escalas menores intra-sazonais.

Muitas vezes, em estudos teóricos e em modelagem computacional, a circulação geral da atmosfera é utilizada para definir um estado básico (ou de referência) para a atmosfera. Sobre esse estado básico, os fenômenos de menor escala temporal e espacial podem ser considerados como perturbações (ondas) sobrepostas ao estado básico, ou à circulação geral. É comum se falar da corrente de oeste do escoamento da alta troposfera, que em latitudes médias e altas pode ser considerado geostrófico também ou em balanço com as forças de curvatura centrípetas e centrífugas, em um referencial em rotação.

Os sistemas meteorológicos isolados que ocorrem imersos no escoamento de grande-escala (como as depressões das latitudes médias e as células convectivas tropicais) ocorrem quase ao "acaso", isto é, devido às instabilidades (termodinâmicas e dinâmicas) do escoamento atmosférico em diferentes escalas. Geralmente se aceita que o tempo meteorológico não pode ser determinado pela integração das equações atmosféricas para além de um período relativamente de poucos dias e em um máximo 15 dias. A maioria dos modelos de previsão de tempo faz prognósticos que se estendem até 10 dias. Apesar disso, a média de longo período destes sistemas, ou seja, o que se convencionou chamar de clima pode ser relativamente estável ao longo de vários anos.

As correntes de vento e os jetstreams que envolvem o planeta são misturados por três grandes células: células de Hadley, células de Ferrel e células polares.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. História

Aristóteles foi o primeiro a atribuir ao aquecimento do sol os ventos globais, cerca de 2000 anos atrás, na sua obra “Meteorológica”. O Sol aquece toda a Terra, mas verifica-se uma distribuição desigual de energia à superfície do globo: as regiões equatoriais e tropicais recebem mais energia solar que as latitudes médias e as regiões polares.

A energia radiante recebida nos trópicos é superior à que essa região é capaz de emitir enquanto as regiões polares emitem mais do que recebem. Se não se verificasse um transporte de energia dos trópicos para as regiões polares, a temperatura da região tropical aumentaria indefinidamente enquanto as regiões polares ficariam com uma temperatura cada vez menor. É este desequilíbrio térmico que induz a circulação da Atmosfera e dos Oceanos. A energia é redistribuída pela circulação atmosférica (60%) e pelas correntes oceânicas (40%) das regiões onde há excesso para aquelas em que há déficit. A transferência de energia é efetuada das seguintes formas e variam com a importância e latitude:

- Trocas de calor sensível com a atmosfera pelo deslocamento de massas de ar;
- Transferências de calor latente, libertado durante o processo de condensação;
- Correntes oceânicas que transferem calor para os pólos.

A taxa de transferência máxima, da ordem de $5 \cdot 10^7$ kW ocorre nas latitudes de 30° e 40° , e está associada à circulação de grande escala ou circulação planetária.

Energia do sol = energia potencial + energia cinética + troca de calor latente + (temperatura) (movimento) onda longa para o espaço + fricção.

2.2. Circulação geral da atmosfera idealizada

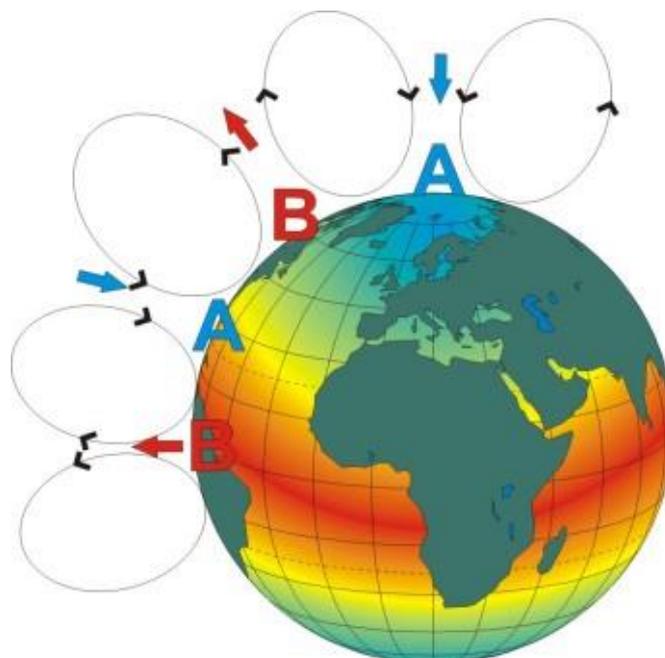
A estrutura média da circulação geral é de grande importância para a necessária transferência meridional de energia. Um dos primeiros modelos clássicos da circulação geral é devido a George Hadley, que em 1735, sugeriu que sobre a Terra sem rotação, o movimento do ar teria a forma de uma grande célula de convecção em cada hemisfério.

A transferência de energia do equador para os pólos poderia, de acordo com Hadley, ser efetuado por uma célula convectiva, com movimento ascendente nos trópicos, movimento na direção dos pólos em altitude, movimento descendente sobre os pólos e em direção ao equador à superfície.

Como a Terra tem movimento de rotação em torno de si própria, o eixo de rotação é inclinado sobre o plano da órbita, e a percentagem da superfície coberta por continentes é maior no hemisfério norte do que no hemisfério sul, o padrão de circulação é muito mais complicado. Em 1856, o professor do ensino secundário William Ferrel aperfeiçoou o modelo de Hadley, introduzindo o primeiro modelo tricelular, que foi melhorado por Tor Bergeron em 1928 e por Carl-Gustav Rossby em 1941. No modelo proposto por C.G.Rossby, admite-se que a pressão a superfície do globo se distribui zonalmente, i.e. ao longo dos paralelos, havendo faixas alternadas de baixas e altas pressões, aproximadamente simétricas em relação ao equador térmico.

Associadas a esta distribuição de pressão, existem três células convectivas de circulação meridional em ambos os hemisférios. Estas três células são a célula tropical (também denominada de célula de Hadley), a célula de das latitudes médias (célula de Ferrel) e a célula polar.

Figura 1: Circulação geral da atmosfera



Fonte: <http://www.fpcolumbofilia.pt/meteo/escola06/circula_geral_celulas.jpg>

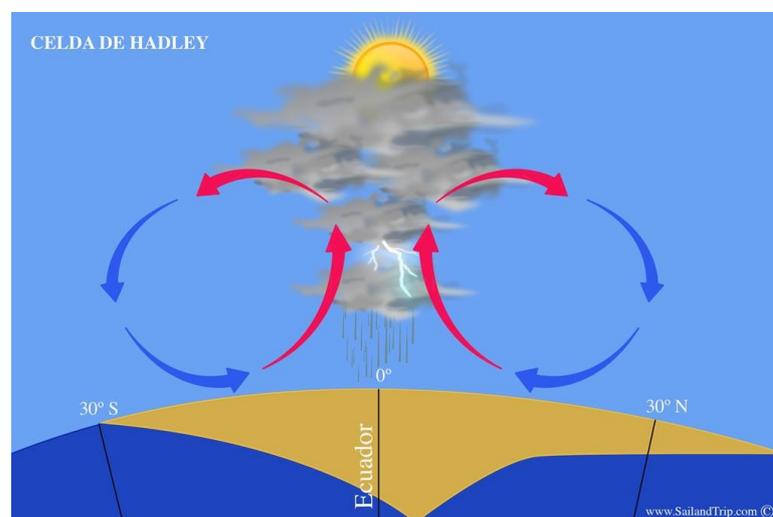
2.2.1. Célula Tropical (Célula de Hadley)

Nas latitudes baixas, o movimento do ar é, devido ao aquecimento, ascendente sobre o Equador, dirigindo-se no sentido dos pólos nos níveis superiores da atmosfera; sobre as latitudes subtropicais o ar arrefecido subside, retornando para o Equador à superfície. Esta circulação forma a célula convectiva que domina os climas tropicais e subtropicais. O ramo descendente da célula de Hadley está associado aos grandes centros permanentes de altas pressões subtropicais (anticiclones subtropicais), de que são exemplo o anticiclone dos Açores e o anticiclone do Pacífico. Nesta célula, a rotação do globo determina ventos de oeste em altitude e ventos de leste à superfície (ventos alísios).

2.2.2. Célula de latitudes médias (Célula de Ferrel)

É uma célula de circulação atmosférica média nas latitudes extratropicais, reconhecida por Ferrel no século XIX. Nesta célula, o ar move-se para os pólos e para leste junto à superfície, e no sentido do Equador e para oeste em altitude, fechando-se a circulação por subsidência nos sub trópicos.

Figura 2: Análise dos ventos alísios na célula de Hadley

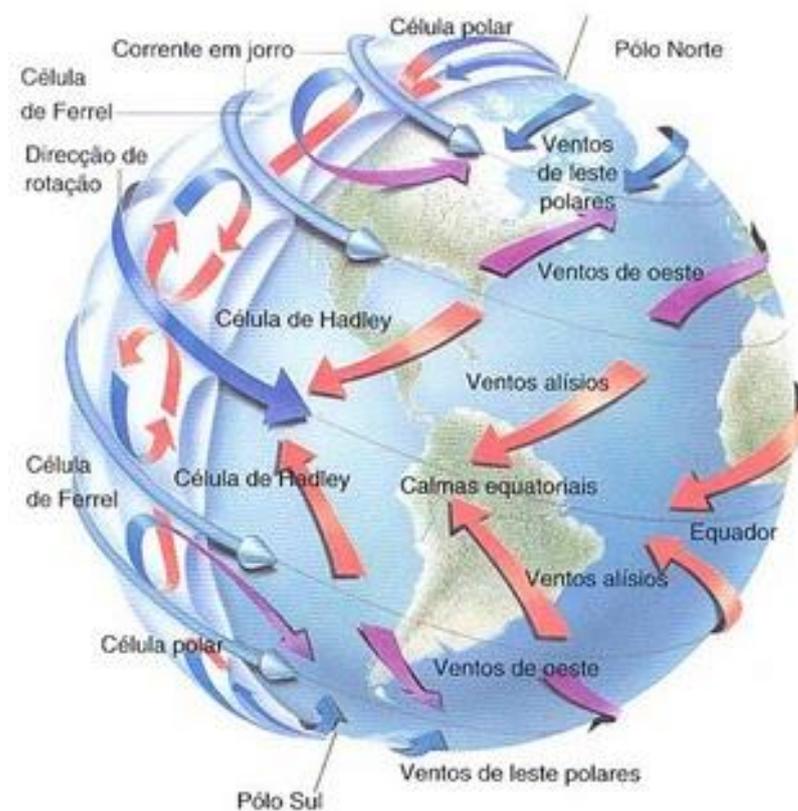


Fonte: <<http://sailandtrip.com/wp-content/uploads/2014/09/Vientos-Alisios-Celda-de-Hadley.jpg>>

2.2.3. Célula Polar

Nesta célula, o ar sobe, diverge, e desloca-se em altitude para os pólos. Uma vez sobre os pólos, o ar arrefecido desce, dando origem a altas pressões à superfície nas regiões polares; nestas regiões, o ar diverge para fora dos centros de altas pressões e retorna para sul, fechando a circulação celular. Na célula polar, à superfície, os ventos estão dirigidos para Oeste e em altitude para Leste.

Figura 3: Separação das células.

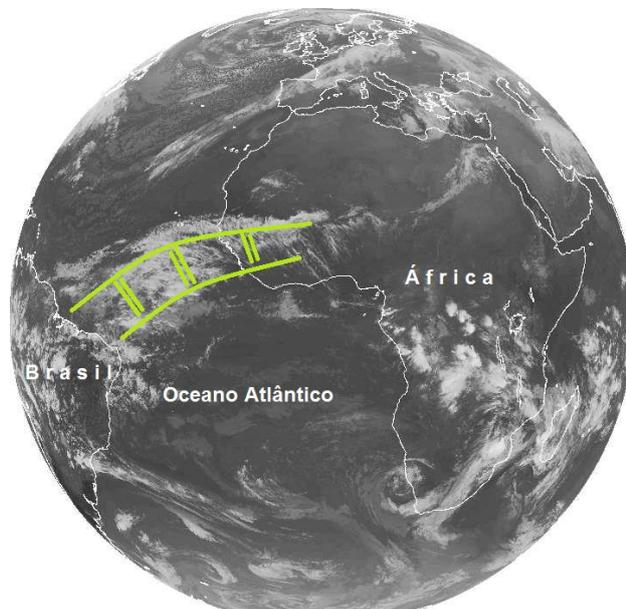


Fonte: <<http://pfmgeo.zip.net/images/mundo.jpg>>

2.2.4. Depressões Equatoriais

Uma cintura de baixas pressões associada à ascensão do ar na ZCIT (Zona de Convergência Intertropical). A ascensão do ar quente aquecido no equador dá origem a uma região de baixas pressões denominada de Vale Equatorial. À medida que o ar sobe formam-se nuvens e ocorre precipitação.

Figura 4: Zona de Convergência Intertropical.



Fonte: <http://www.climatempo.com.br/destaques/wp-content/uploads/2014/01/zcit_6dez2013.png>

Figura 5: Visão espacial da formação de nuvens proveniente da ZCIT.



Fonte: <http://www.ilemaths.net/img/forum_img/0143/forum_143774_14.jpg>

2.2.5. Anticiclones Subtropicais

Uma cintura de altas pressões associada à subsidência do ar nas latitudes do cavalo, i.e. Nas zonas de ventos muito fracos ou calmarias.

Nas latitudes subtropicais o ar arrefece e desce criando áreas de altas pressões com céu limpo e pouca precipitação, denominadas de Anticiclones Subtropicais. A subsidência do ar seco (após precipitação na ZCIT) e quente (devido à própria subsidência, que provoca aquecimento adiabático) está na origem dos desertos nestas latitudes. Depressões Subpolares – Uma cintura de baixas pressões associadas à frente polar. Anticiclones Polares – Sistemas de altas pressões associados ao ar polar frio e denso. O modelo descrito de três células é útil, mas é muito simplificado e idealizado, pois descreve apenas a circulação atmosférica, simétrica em relação ao eixo de rotação, ou axial mente simétrica, i.e. Independente da longitude. No entanto, o modelo fornece um bom ponto de partida para descrever as características principais da circulação atmosférica de larga escala.

Como acabado de referir, o modelo das três células é uma idealização; na realidade os ventos não são estacionários, e as regiões de altas e baixas pressões não são contínuas, implicando variações importantes da circulação atmosférica com a longitude.

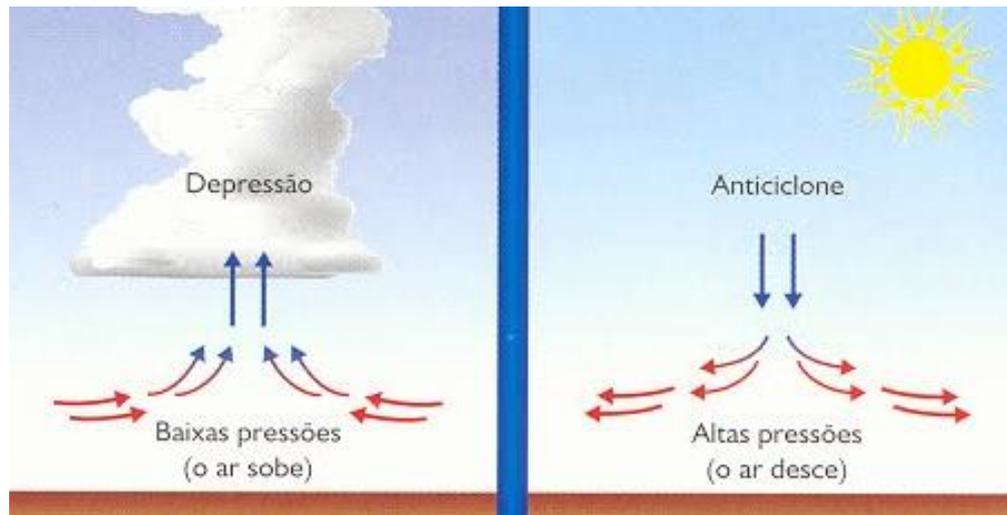
A Terra real contém descontinuidades no padrão zonal dos ventos/pressão causados pelas grandes massas continentais. Estes condicionalismos rompem as cinturas de pressão em regiões de baixas e altas pressões semi permanentes. Existem três razões fundamentais para a diferença entre a distribuição "ideal" e "real":

- A superfície da Terra não é uniforme, ou alisada. Verifica-se um aquecimento diferenciado devido aos contrastes solo/oceano (mar).
- A circulação pode desenvolver vórtices ou turbilhões.
- O Sol não "permanece sobre o Equador", mas move-se entre 23.5N e 23.5 s ao longo do ano. Em vez da situação idealizada observam-se sistemas de baixas e altas pressões semi-permanentes. Classificam se de semi-permanentes pois variam em intensidade e localização ao longo do ano (i.e. no decurso do tempo).
- No Inverno:
 - Anticiclones Polares sobre a Sibéria e Canadá;
 - Anticiclones no Pacífico e no Atlântico (Açores);
 - Depressões sobre as Aleutas e a Islândia;

- No Verão:

- O anticiclone dos Açores intensifica-se sobre todo o Atlântico Norte;
- O anticiclone do Pacífico também se intensifica sobre todo o Pacífico Norte;
- Os anticiclones polares são substituídos por depressões.

Figura 6: Anticiclone



Fonte: <<http://1.bp.blogspot.com/-K0/anticiclone02.png>>

2.3. Circulação Geral da atmosfera real

Estudos observacionais do comportamento da circulação global da atmosfera usando dados reais da superfície e da alta atmosfera permitiram a realização de cálculos detalhados com relação à transferência de energia, aos fluxos de umidade e às transferências de momento dentro da atmosfera real.

Um dos estudos mais detalhados feito sobre a circulação geral ocorreu durante o Global Weather Experiment, que aconteceu de dezembro de 1978 a novembro de 1979 e envolveu todos os membros da OMM. Este período de intensa observação da atmosfera global utilizou todas as fontes de dados possíveis: a rede de superfície, o número de estações de tempo oceânicas e de altos níveis aumentou; foram usados dados de navios, aviões, bóias à deriva e balões com medidas do perfil vertical, juntamente com dados de cinco satélites geoestacionários (incluindo o Meteosat) e quatro satélites de tempo de órbita polar, com o objetivo de coletar tanta informação quanto fosse possível no período de um ano. Primeiramente, toda a atmosfera da terra e seus oceanos foram observados em detalhe e um

vasto conjunto de dados foi produzido. Estes dados ainda estão sendo analisadas, entretanto, três conclusões emergiram do projeto:

- (1) pressões muito mais baixas foram encontradas no hemisfério sul, no cinturão de baixas pressões entre 40o e 60o S, em relação ao que tinha sido estimado anteriormente, com ventos de oeste mais fortes do que o normal na média e alta troposfera;
- (2) a variabilidade dos sistemas de tempo de escala sinótica nos trópicos era muito maior do que o esperado;
- (3) houve indicações de que os trópicos podem influenciar as latitudes médias e altas muito mais rápida e significativamente do que havia sido assumido previamente.

3. BRISAS MARÍTIMA E TERRESTRE

Junto à costa, no fim da manhã, começa frequentemente a fazer-se sentir, um vento vindo do mar, que atinge o máximo no princípio da tarde e desaparece ao anoitecer. Este vento é mais forte nos dias muito quentes, mas pode ser mais fraco quando o céu está nublado. Chama-se brisa marítima.

A causa fundamental do movimento do ar é a diferença de aquecimento entre as superfícies da terra e do mar, essencialmente devido às diferentes capacidades caloríficas dos materiais à superfície; com efeito, a água tem uma maior capacidade calorífica que o solo, e aquece muito mais lentamente que este.

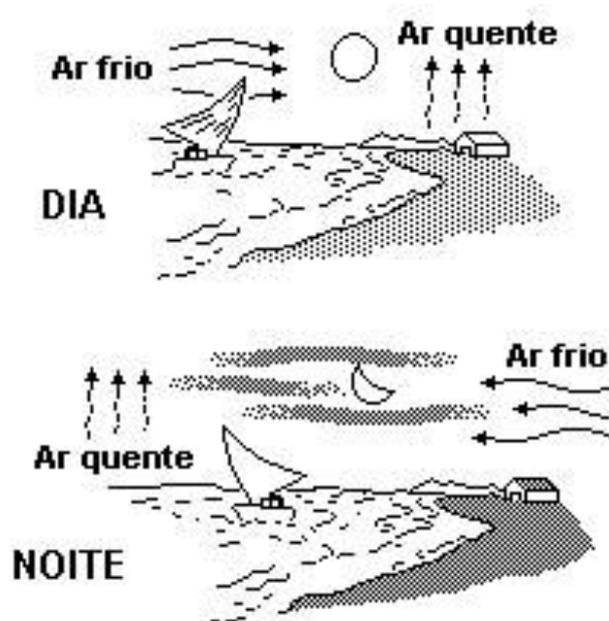
A brisa marítima desenvolve-se, num dia de Sol, quando a temperatura do solo continental é mais elevada que a da superfície do mar. À medida que o solo aquece, o ar na sua vizinhança expande-se, torna-se menos denso e começa a subir. Para substituir este ar em movimento ascendente surge o ar, inicialmente sobre a superfície do mar, a temperatura mais baixa. Onde o ar mais frio e mais quente se encontram, existe ascensão do ar quente devido à diferença de densidades. Ao longo dessa linha de contato, frequentemente denominada de frente de brisa, podem desenvolver-se nuvens convectivas e tempestades. Isto ocorre frequentemente durante o dia nas regiões tropicais costeiras.

Durante a noite, a água não arrefece tanto como o continente e a circulação inverte-se, verificando-se o deslocamento do ar à superfície, dirigido do continente para o mar. Esta circulação denomina-se de brisa terrestre ou continental. Uma linha de nuvens convectivas (cumulus) poderá frequentemente formar-se ao longo da frente de brisa, imediatamente fora

da linha da costa. Ventos locais à superfície são geralmente perpendiculares à linha de nuvens. Esse fenômeno pode ser observado em muitas regiões durante as primeiras horas da manhã, e pode provocar chuva fraca nessa região, até que a brisa terrestre (que, nos trópicos, intensifica os alísios) ganhe força.

A brisa de lago (lacustre) também se desenvolve de forma similar, em torno de massas de água, dentro do continente. Frentes de brisa de lago ao longo das costas é também um fenômeno frequente. De forma similar, o ar sobre o lago permanece sem nuvens, enquanto uma área de nuvens cumuliformes é aparente sobre a terra, indicando a brisa de lago. Para ambos os sistemas, lagos e mar, o vento sopra em direção à costa, em geral perpendicularmente a esta.

Figura 7: Brisa marítima e terrestre.



Fonte: < http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/banco_objetos_crv/%7B1A72D.>

Figura 8: Análise das pressões nas brisas marítimas e terrestres



Fonte: < <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/4e/Brisa.jpg/400px-Brisa.jpg>>

4. INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS FRONTAIS NA NAVEGAÇÃO COSTA SUL BRASILEIRA.

4.1 . Massas de ar

Uma massa de ar caracteriza-se por ter espessura bem desenvolvida, propriedades físicas (temperatura e umidade) horizontais uniformes e poucas mudanças de suas propriedades verticais. Para garantir estas condições, elas precisam ter um deslocamento muito lento ou apresentar estado estacionário. Porém, com o tempo, essas vão recebendo influência do meio externo devido aos fenômenos de radiação, de advecção, de turbulência e de convecção.

Ainda sobre massas de ar, elas podem se classificar quanto à temperatura em relação ao local que se encontra (quente ou fria); quanto ao local de acordo com sua região de origem¹ (já que elas se formam diferentes latitudes); e quanto sua posição de formação em relação ao continente ou mar ².No Brasil, os sistemas de massas de ar influenciam as condições meteorológicas do país durante todo o ano.

Inicialmente, a massa de ar apresenta temperatura e umidade semelhantes a de sua área de formação. Porém, ao se deslocar, ela vai trocando calor com o ambiente adjacente, fazendo com que tanto ela adquira propriedades do local por onde passa quanto o lugar que ela transita recebe suas características. Por exemplo, quando se observa a passagem de uma massa fria observa-se: aumento da pressão, circulação anticiclônica e boa visibilidade. No entanto, a passagem de uma quente provoca queda de pressão, circulação ciclônica e visibilidade ruim. Vale ressaltar ainda, que quanto mais ativo é um centro de ação de uma massa de ar em relação a outras, maior o domínio desta sobre as demais.

¹ Árticas, antárticas, polares, tropicais, equatoriais.

² Chama-se massas de ar continentais ou massas de ar marítimas

4.2 . Massas de ar que afetam a atmosfera da região sul e sudeste do Brasil

Na região estudada, encontra-se o domínio das massas Tropicais Marítimas, Tropical Continental, e Polar Marítima. As primeiras formam-se devido aos anticiclones do Atlântico e do Pacífico. Quanto suas características descreve Antonio Tubelis e Fernando José Lino do Nascimento:

Nestas, o ar desce na atmosfera, sofre aquecimento adiabático e torna-se uma massa quente, seca, estável, desprovida de nebulosidade e com ausência de precipitação durante todo o ano. A descida do ar quente sobre a superfície menos quente da terra gera uma camada de inversão de espessura variável de 500 a 1500m. (TUBELIS E JOSÉ LINO).

Por conta disto, elas se dividem em duas camadas, a superior, que não apresenta nebulosidade e, a inferior, que apresenta variações na sua temperatura e umidade de acordo com seu deslocamento. Quanto ao vapor d'água que estas absorvem do mar, formar-se-á uma pequena nebulosidade na região inferior, causando chuvas leves na região litorânea. As massas tropicais vinda do pacífico só influenciam a região brasileira durante o verão, causando o fenômeno das invasões frias. Já a do atlântico, o ano inteiro.

A Massa Tropical Continental apresenta-se seca e instável, tornando o tempo por onde ela se desloca ensolarado com pouca nebulosidade. Esta massa interfere nas condições meteorológicas brasileiras durante o verão e outono.

Quanto a Massa Polar Marítima caracteriza-se por ter ar seco, frio e estável, propiciando nas regiões que atravessa tempo frio, seco, sem nebulosidade. Seu deslocamento na região brasileira em direção ao equador provoca o fenômeno das invasões frias.

4.3 . Sistemas Frontais

É bem comum ocorrer o encontro de duas massas de ar de diferentes em um local. Quando isso ocorre, cada uma delas tenta manter suas próprias características, gerando uma região de separação, denominado como superfície frontal. Assim, de acordo com Miguens: “Frente é a linha na superfície terrestre que separa duas massas de ar”. As frentes é um efeito

sinótico que representam um local de transição de propriedades (mudanças abruptas das condições atmosféricas), podendo se estender por várias centenas de quilômetros e propiciando condições instáveis. Elas ainda podem se classificar como frias, quentes, oclusas e estacionárias.

4.4 . Frentes Frias

O fenômeno da frente fria acontece quando uma massa de ar frio avança sobre uma de maior temperatura, ocupando seu lugar próximo à superfície, já que o ar quente (menos denso) sobe o frio, desce (mais denso).

Esta perturbação frontal apresenta certas particularidades que possibilitam o navegante prever sua aproximação. Elas se dividem entre aquelas de deslocamentos rápidos ou lentos.

Nas frentes frias de deslocamento lento a declinação é acentuada em relação a quente (1:100). Quanto o sistema de nuvens é em forma de cunha, tendo a parte mais espessa próximo à superfície frontal. É caracterizada por precipitações contínuas e persistentes, acompanhadas de trovadas. Com sua passagem, observa-se que a pressão cai gradativamente.

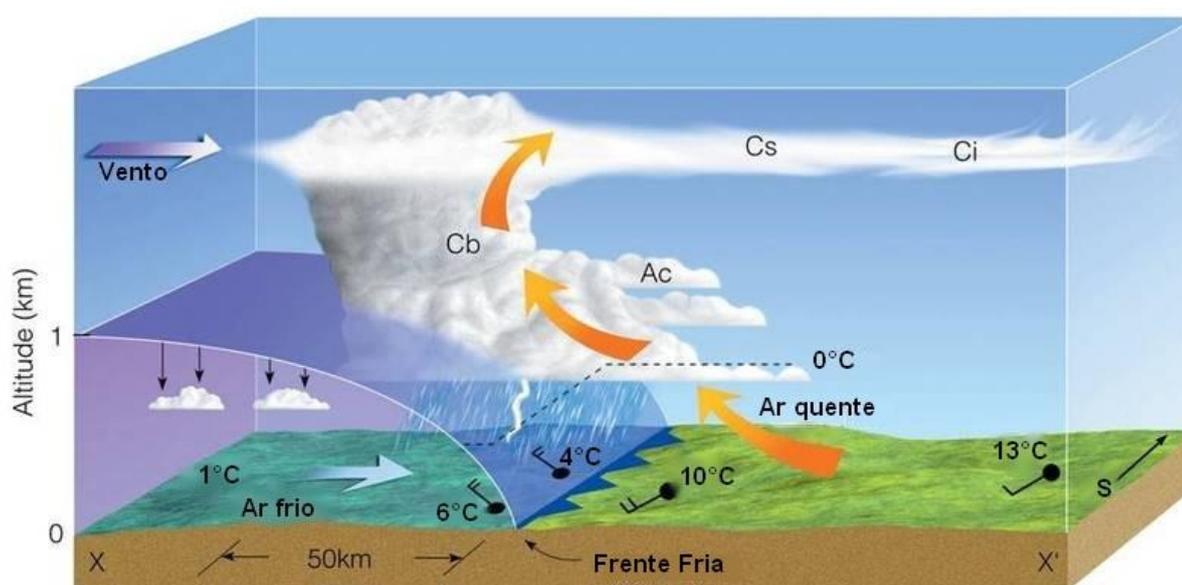
Já as frentes frias de deslocamento rápido possuem inclinação bastante acentuada (1:40 a 1:80), o sistema de nuvens é em forma de coluna. Quanto à aparência dessa frente, ela vem acompanhada de precipitações de grande intensidade, acompanhada de intensa trovada, provocando um aspecto tempestuoso, dado pelas intensas correntes convectivas. Ao se aproximar de uma frente fria de deslocamento rápido, o navegante observa mudanças barométricas caírem de forma brusca, podendo ser contínuas ou não.

Em geral, há outras dicas pelas quais o navegante poderá observar a aproximação de uma frente, como cita Miguens: “A temperatura aumenta com aproximação e cai rapidamente após a passagem da frente. Há redução na visibilidade devido às pancadas de chuvas”. Em relação aos ventos o mesmo diz: “Se o vento na superfície no lado do ar frio se apresenta na direção da frente, esta pode ser considerada como frente fria”; ou ainda: “Se os ventos forem fortes com precipitações torrenciais, indicam frente fria de deslocamento rápido, ou seja, a velocidade de deslocamento acima de 20 nós.”; e por fim: “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.”

As figuras a seguir mostram a representação de uma frente fria avançando no estado brasileiro. Na primeira, a frente fria é ilustrada numa imagem de satélite, enquanto na outra, na carta sinótica disponível ao navegante pela DHN.

Figura 9: Sistema representando a frente fria



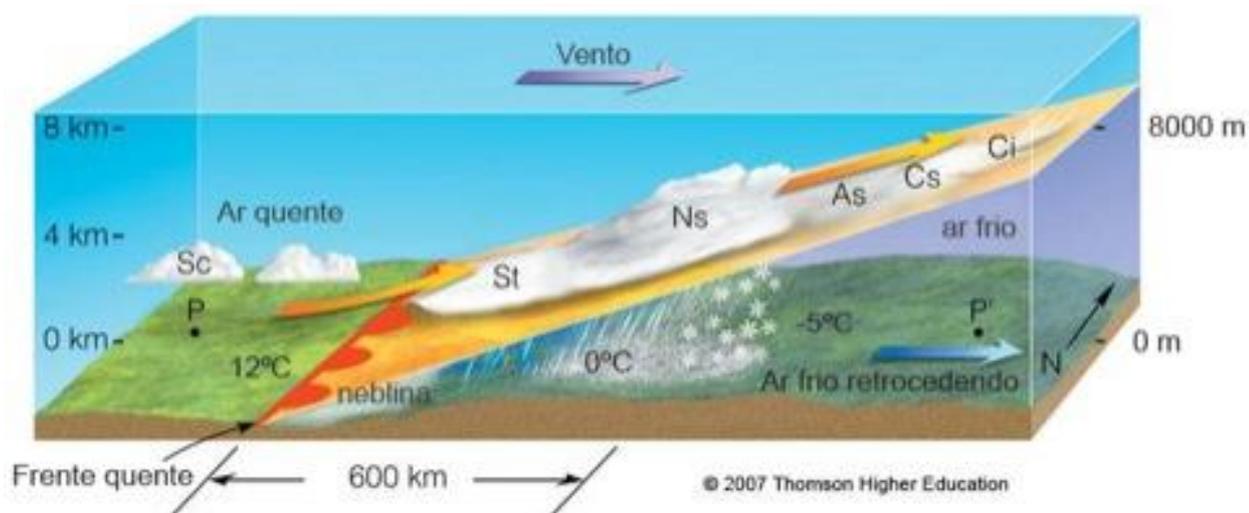
Fonte: <<http://rondoniamanchete.com.br/wp-content/uploads/2015/04/frente01.jpg>>

4.5 . Frente Quente

O fenômeno da frente quente é definido pelo deslocamento da massa de ar quente contra a massa fria, fazendo com que haja uma descontinuidade frontal onde a massa de ar fria junto ao solo é substituída pela quente. Porém, como o ar quente é menos denso, este vai ascendendo, formando uma superfície frontal pouco inclinada (1:150 a 1:1200). Isso explica o motivo desse sistema frontal se estender por uma faixa maior, apesar das precipitações serem contínuas e de pouca intensidade.

O navegante observará sua aproximação de uma frente quente quando a pressão vai caindo, e os ventos são fracos. Após sua passagem, a pressão volta a subir e os ventos, a circular no sentido horário. Um método para identifica-las, segundo o Manual de Meteorologia de Passadiço, publicado pela DHN, é: “ Se o vento na superfície no lado do ar frio tiver uma componente na direção oposta à da frente, esta deverá ser designada como frente quente.”

Figura 10: Sistema representando a frente quente.



Fonte: < <http://altamontanha.com/AppData/foto/full/uuesquema1.jpg> >

4.6 . Frente Oclusa

As frentes oclusas são definidas pelo encontro de uma frente fria com uma frente quente. Geralmente, são descontinuidades relacionadas a sistemas de circulação ciclônicos. Podem ser classificadas em frentes de oclusão quentes e frentes de oclusão frias.

O primeiro fenômeno ocorre quando uma massa fria vai ao encontro de uma frente quente onde a massa fria deste (ar fresco) possui temperatura menor que a primeira. Isto fará com que a menos densa, suba em relação a mais fria, elevando-se sobre a frente quente e formando uma frente fria superior. Quanto ao sistema de nuvens, Antonio Tubelis e Fernando José Lino de nascimento fazem a seguinte observação:

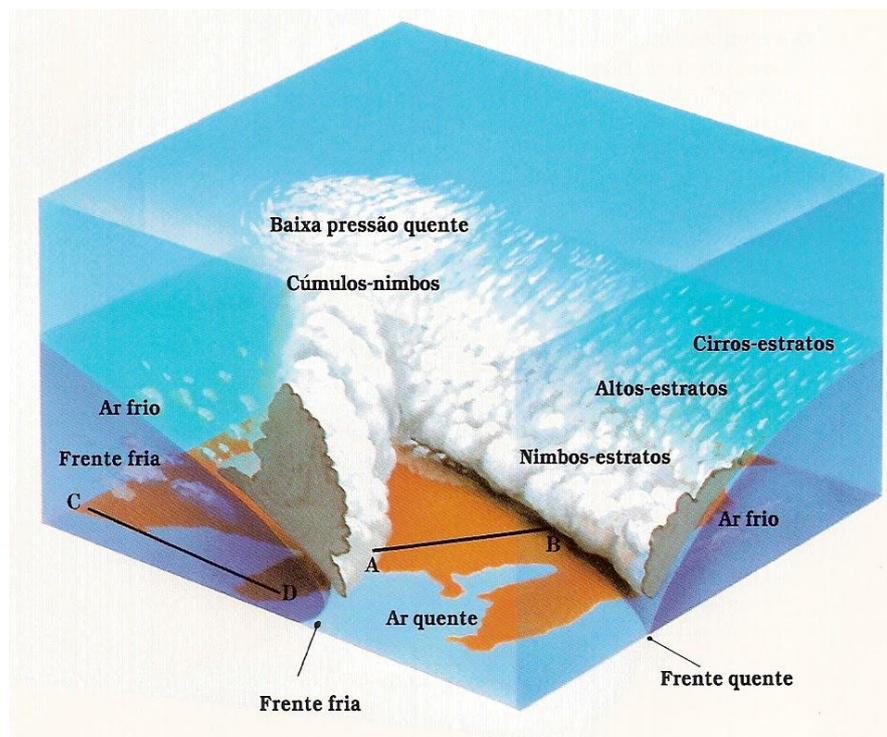
O avanço do ar fresco sobre o ar frio provoca precipitações de frente quente adiante da frente fria superior e precipitações de frente frias junto a

ela. À medida que o processo evolui, a intensidade da formação de chuvas e a sua faixa de ocorrência vai sendo reduzida, devido à diminuição da densidade das nuvens. No intervalo entre a frente fria superior e a frente quente junto ao solo, ou oclusão, não ocorre formação de nuvens. (TUBELIS E NASCIMENTO).

Já a oclusão do tipo fria ocorre quando a massa de ar frio que vai ao encontro da frente quente possui temperatura menor a do ar fresco. Nesta nova situação, a massa de ar frio por ser mais densa ocupará uma posição próxima ao solo, formando uma frente fria. Assim, ao contrário da anterior, na frente de oclusão fria a frente quente se eleva, ficando superior a frente fria. Quanto ao sistema de nuvens as seguintes características são expostas por Tubelis e Nascimento:

Antes da oclusão ocorre intensificação das condições de frente quente devido ao deslocamento de ar pela aproximação do ar mais frio. No processo de oclusão ocorre um sistema de nuvens e precipitação de frente quente antes da oclusão e de frente fria sobre ela. À medida que o processo evolui, a nebulosidade diminui de densidade e as precipitações diminuem de intensidade, em consequência da elevação da frente quente superior. Quando a massa quente não é mais elevada, a frente fria prossegue no seu avanço, eliminando a oclusão. (TUBELIS E NASCIMENTO).

Figura 11: Ilustração da frente oclusa.



Fonte:

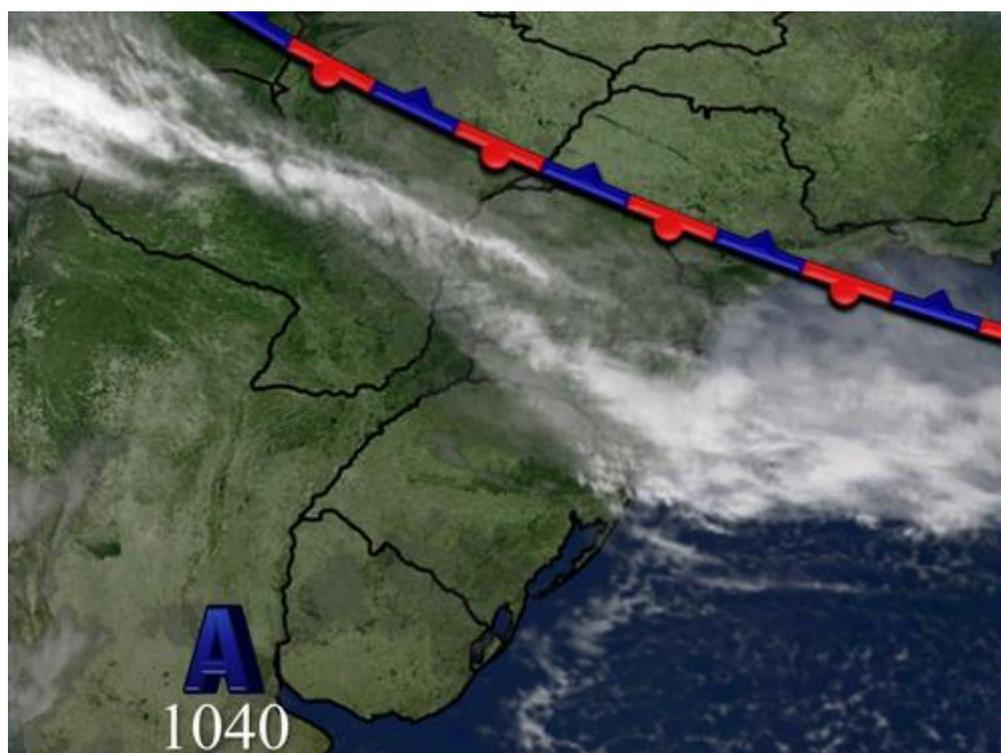
<http://3.bp.blogspot.com/_lamm18wwHeU/TN4OaR065bI/k0/yv/Digitalizar0001>

4.7 . Frente Estacionária

A frente estacionária, como próprio nome sugere, é aquela em que não apresenta expressivo deslocamento horizontal frontal. Assim, não há substituição de ar próximo ao solo. Nelas, os ventos sopram paralelos à frente em ambos os lados e em direções contrárias. Ao se formar ela apresentará três tendências: a de se dissipar (frontólise), a de formar uma frente quente com injeção de massa quente ou evoluir para uma frente fria com o acréscimo de outra massa fria.

O tempo associada a uma frente estacionária não é bem definido, podendo apresentar semelhanças ao da frente quente, fria ou cinturão de nuvens cumiformes.

Figura 12: Representação da frente estacionária.



Fonte:

<http://4.bp.blogspot.com/_0issj7UxD7s/TFmnMgfSI4I/AEik/NGBrkWZI0uk/s1600/Picture11.png>

4.8. As invasões frias no Brasil

No Brasil, os ciclones frontais são provocados pelo deslocamento da frente polar em direção ao equador, sendo no início a formação de uma frente fria que evolui para uma oclusão, com um sistema ciclônico. Durante o verão, o fenômeno dificilmente alcança o Rio de Janeiro, mas no inverno e outono ele chega a atingir a latitude de 10°S. As Cartas Roteiros, publicadas pela DHN, explicam o fenômeno da seguinte forma:

Após a passagem de uma série de sistemas frontais ocluídos ou não, oriundos da frente polar do Pacífico, aparece na Argentina um anticiclone ou uma cunha de ar frio, normalmente seco. Uma frente divide duas massas de ar, a tropical (quente) e a polar (fria). Normalmente, a massa polar é suficientemente forte para levar a frente até o rio da prata. Em consequência o anticiclone subtropical se retrai e há uma alteração geral da circulação brasileira: reforçam-se os alísios da costa Leste, aumentando a probabilidade de aguaceiros de instabilidade; e na costa Sul e metade sul da costa Leste o vento ronda para NW, o que causa, no verão, um aquecimento pronunciado da costa. (DHN)

Vale ainda lembrar que a intensidade dos fenômenos frontais está diretamente relacionada à quão maior este for úmido e instável. Enquanto que a duração do mal tempo dependerá das características do ar frio, como publicado pela DHN nas cartas roteiros: “Se o ar frio se instabiliza e umedece, o que geralmente ocorre quando os ventos são de SE, o mau tempo pode durar dois a três dias. Se o ar frio é seco, o que geralmente ocorre quando os ventos são de SW, o mau tempo é passageiro mas a queda de temperatura é muito mais acentuada”

À bordo, o navegante irá se deparar ao navegar na região norte da região de ciclogênese antes da passagem da frente quente com ventos moderados de NE, rondando para N e NW; um decréscimo contínuo de pressão; precipitação por uma faixa larga de aproximadamente 180 milhas; temperatura alta que vai aumentando progressivamente; visibilidade regular e a presença de nuvens cirrus, cirrostratus, altostratus e nimbostratus. Ao passar pela frente quente, há a presença de ventos N e NW; aumento da umidade e temperatura; queda pouco expressiva do barômetro; ausência de precipitação; e visibilidade reduzida.

Com a passagem pelo setor quente do ciclone, observa-se a não alteração na direção dos ventos, porém ventos que podem alcançar alta intensidade, chegando a ter força 6 a 8;

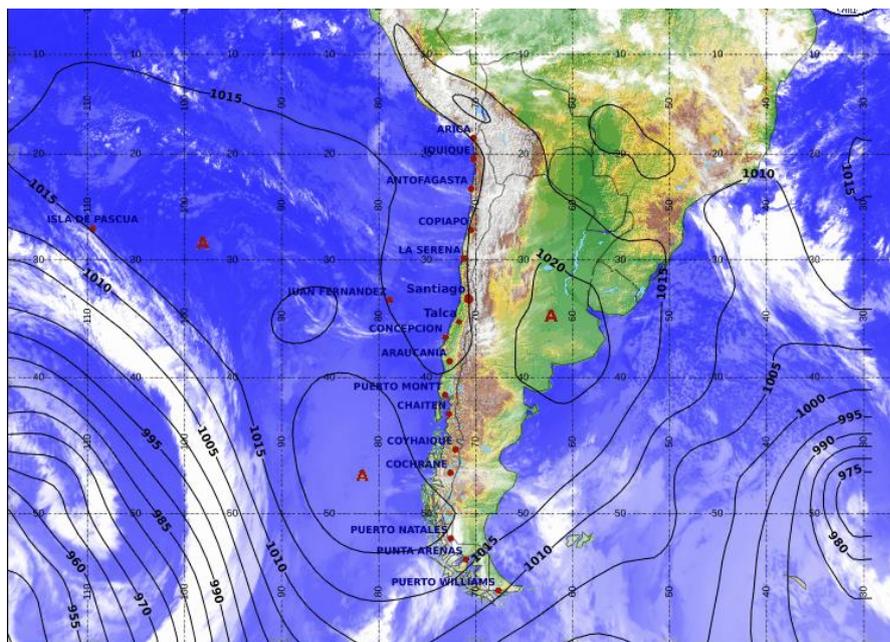
barômetro estabilizado; a temperatura e umidade continuam elevadas; nevoeiros frequentes; nebulosidade menor, com stratus e stratocumulus.

Com a aproximação da frente fria nebulosidade aumenta, e ao passar por esta caracteriza-se por descida rápida de temperatura, redução da umidade relativa; presença de nuvens cumulonimbus; subida brusca da pressão; mudança repentina da direção do vento de NW para SW; aguaceiros e trovadas em uma região estreita (cerca de 40 milhas de largura); boa visibilidade entre as precipitações. Por fim, após a passagem da frente fria o tempo melhora; a direção do vento permanece SW; chuva intermitente; boa visibilidade; e presença de cumulus de bom tempo.

Já se o navegante estiver passando ao sul do centro da região de ciclogênese, ele observará ventos de rondando de E para S e SW. Ainda sobre o fenômeno, uma observação importante pelo navegante é dada por Miguens:

Estas fases do estado do tempo ocorridas na passagem de uma depressão poderão suceder-se com relativa rapidez se o navio navegar de E para W , isto é, em sentido contrário ao da trajetória do centro de baixa pressão.(MIGUENS)

Figura 13: Frente polar do Pacífico avançando.



Fonte: <[http://1.bp.blogspot.com/-](http://1.bp.blogspot.com/-8LOndKu9rH0/VQ7BglxOWsI/ATQ/FtnLABQLV90/s1600/AMERICA%2BSINOTICA%2B%2B2pn)

8LOndKu9rH0/VQ7BglxOWsI/ATQ/FtnLABQLV90/s1600/AMERICA%2BSINOTICA%2B%2B2pn

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Eventos climáticos sempre impressionaram o homem com sua força e dinamismo. Assim, da mesma forma em que o homem primitivo necessitava estudar as variações do tempo para sua sobrevivência, os navegadores modernos precisam ter um bom conhecimento de meteorologia para conseguirem chegar com sucesso ao seu destino. Inicialmente nesse trabalho foi apresentada a circulação geral da atmosfera e alguns aspectos básicos, pois esse é o principal fenômeno que rege o clima mundial. Em seguida, foi analisada a forma como essa circulação influencia nos sistemas locais, em particular na América do Sul, assim como as particularidades das frentes frias, oclusas e quentes nessa região. Finalmente, foi analisado como esses fatores podem influenciar a navegação nessa área.

Entender o funcionamento geral de tais fenômenos é o primeiro passo no desenvolvimento de uma meteorologia marítima eficiente. Apesar do imenso avanço nas técnicas e nos modelos de previsão, ainda há muito o que ser descoberto, o que demonstra que os esforços de pesquisadores, navegadores e cientistas devem ser estimulados, e jamais interrompidos. Dessa forma, talvez não seja difícil imaginar um futuro onde nenhuma riqueza acabe mais no fundo dos oceanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASSAN, Fabián. *Atlas Visual da Ciência*. Editorial Sol 90, 2007.

LOBO, P.R. e SOARES, C.A. *Meteorologia e Oceanografia*. FEMAR, 2007.

Disponível em: <<http://www.proclira.uevora.pt/modulos/modulo6.pdf>>. Acessado em: 13, Junho, 2015.

Disponível em:
<http://www.dca.iag.usp.br/www/material/apereira/aca115/textos/Aula_4.pdf>. Acessado em:
13, Junho, 2015.

Disponível em:
<http://www.dca.iag.usp.br/www/material/ambrizzi/clima1/aula2_TransCalorMassa_clima1.pdf>. Acessado em: 15, Junho, 2015.

Disponível em:
<http://www.geografia.ffe.ch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Elisa/flg0355/filespdf/CIRCGERAL-LESLIEMUSK.pdf> . Acessado em: 20, Junho, 2015.