

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

Persistência de nebulosidade na faixa leste do estado de São Paulo - Situações sinóticas e influências regionais

FÁBIO LEKECINSKAS AUGUSTO

São Paulo

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FÁBIO LEKECINSKAS AUGUSTO

Persistência de nebulosidade na faixa leste do estado de São Paulo - Situações sinóticas e influências regionais

Dissertação apresentada ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de Concentração: Ciências da Terra

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Camargo

São Paulo

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na Publicação

Serviço de Documentação

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo

Lekecinkas Augusto, Fábio.

Persistência de nebulosidade na faixa leste do estado de São Paulo - Situações sinóticas e regionais / Fábio Lekecinkas Augusto ; Orientador Ricardo de Camargo. – São Paulo, 2010. 76 f. : fig.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências Atmosféricas. Área de Concentração: Meteorologia) — Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.

1. Nebulosidade. 2. Meteorologia Costeira. 3. Modelagem. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ricardo de Camargo, pela orientação, amizade e confiança. Também pela paciência nas longas conversas acerca do andamento do trabalho.

À minha mãe, pelo eterno apoio e dedicação.

Ao meu pai, pela compreensão desta etapa importante de minha carreira.

Ao Prof. Dr. Humberto Ribeiro da Rocha, pelas sugestões ao longo do trabalho.

Ao Prof. Dr. Edmilson Dias de Freitas, também pelas sugestões e ajuda na modelagem numérica.

Ao Theotônio Pauliquevis, pelas sugestões e dicas no trabalho.

Aos meus amigos do IAG: Ana Carolina, João Rafael, Beatriz Oyama, Simone Valarini e Ricardo Hallak, pela ajuda, compreensão e bons momentos.

Aos colegas de sala do IAG: Luiz Felipe e Angélica Tavares, pela paciência com o meu mau humor.

Ao pessoal do Laboratório MASTER: Bruno, Enzo, Daniel e Pedro Linha, pela ajuda com o modelo e as imagens de satélite.

Aos técnicos da informática, Samuel e Sebastião, pela ajuda quando tudo parecia perdido.

Aos funcionários da Seção Gráfica, Lelis e Lucimara, pela atenção e disponibilidade.

À Alessandra, da DSA/INPE, pelas imagens de satélite.

À CAPES, pelo auxílio financeiro.

RESUMO

A persistência de nebulosidade na costa leste do estado de São Paulo é um fenômeno que ocorre com certa frequência na região. Este evento é facilmente identificado em imagens de satélite. Nos dias de ocorrência, observa-se uma banda de nebulosidade confinada apenas à faixa adjacente ao litoral, numa região demarcada pela topografia e pela presença de porções remanescentes da Mata Atlântica. A extensão desta banda de nuvens vai do sul do estado do Rio de Janeiro ao norte do Rio Grande do Sul.

Sob vários pontos de vista, desde o interesse turístico e imobiliário acerca da região costeira até estudos ambientais de uso e ocupação do solo, é bastante relevante aprimorar o entendimento dos processos atmosféricos e de interação superfície-atmosfera que levam a estes eventos, de modo a poder fazer melhores previsões meteorológicas para a região.

A formação e persistência de tais eventos de nebulosidade são o resultado de influências sinóticas e regionais. Dentre as influências sinóticas pode-se citar a presença da Alta Subtropical do Atlântico Sul e a passagem de frentes frias. Como exemplos regionais, os fenômenos de mesoescala: a brisa e a circulação vale-montanha. Deve-se salientar ainda, que devido à proximidade com o oceano, a temperatura da superfície do mar possui sua parcela de contribuição para a ocorrência do fenômeno. Por fim, a evapotranspiração da região litorânea aumenta a disponibilidade de vapor d'água na região.

Devido ao fenômeno de interesse possuir uma certa frequência, o presente estudo explorou as características climatológicas dos episódios. Este objetivo foi alcançado através da caracterização das situações de interesse através do uso intensivo de imagens de satélite de alta resolução no canal do visível disponíveis no Laboratório MASTER/IAG/USP e da identificação e análise das correspondentes condições sinóticas através do emprego de informações oriundas da Reanálise do National Centers for Environmental Prediction. Em seguida, procurou-se quantificar a influência de cada forçante na formação da banda de nuvens. Este procedimento foi realizado utilizando uma metodologia que possibilitou usar a técnica de separação de variáveis de um evento. A realização destes cálculos foi possível utilizando-se o modelo meteorológico de mesoescala BRAMS (Brazilian Regional Modeling System).

Os resultados mostraram que o anticiclone extratropical na costa do sul/sudeste e a presença de um cavado nos altos níveis da atmosfera sobre o continente estão associados aos dias de nebulosidade. Observou-se também que a topografia da Serra do Mar faz com que ocorra convergência de umidade próximo à costa, levando ao surgimento de nuvens stratus em baixos níveis. A temperatura da superfície do mar tem uma influência relativa, pois um oceano mais quente do que o ar acima dele faz com que as camadas de ar em contato com a superfície fiquem mais úmidas, gerando nuvens nas baixas camadas da atmosfera. Por fim, a evapotranspiração da região costeira não possui relevância na formação da nebulosidade.

ABSTRACT

The persistence of cloudiness on the east coast of São Paulo is a phenomenon that occurs with some frequency in the region. This event is easily identified on satellite images. In the days of occurrence, there is a band of cloud confined to the portion adjacent to the coast, a region demarcated by the topography and the presence of remaining portions of the original vegetation. The extent of this band of clouds stretching from the southern state of Rio de Janeiro to the north of the state of Rio Grande do Sul.

In many aspects, from the tourist until environmental studies for use and occupation, it is very important to improve understanding of atmospheric processes and surface-atmosphere interactions that lead to these events, so able to make better weather forecasts for the region.

The formation and persistence of such events of cloudiness is the result of synoptic and regional influences. Among the synoptic influences, we can mention the presence of the South Atlantic Subtropical High and the passage of cold fronts. As examples of regional, we can cite mesoscale phenomena: the sea breeze and mountain-valley circulation. It should be noted also that because of proximity to the ocean, the sea surface temperature has its share of contribution to the phenomenon. Finally, the evapotranspiration of the coastal region increases the availability of water vapor in the region.

Due to the phenomenon of interest has a certain frequency, this study explored the climatological characteristics of the episodes. This was achieved through the characterization of the situations of interest by making extensive use of satellite images of high resolution in the visible channel available in the Laboratory MASTER / IAG / USP and the identification and analysis of the corresponding synoptic conditions through the use of information from the Reanalysis of the National Centers for Environmental Prediction. Then we tried to quantify the influence of each forcing in the formation of the band of clouds. This procedure was performed using a methodology that allowed to use the technique of separation of variables of an event. Achieving these calculations was possible using the mesoscale meteorological model BRAMS (Brazilian Regional Modeling System).

The results showed that the extratropical anticyclone and a trough in high levels of the

atmosphere over the continent are associated with cloudy days. It was also noted that the topography of the Serra do Mar causes moisture convergence near the coast, leading to the appearance of stratus clouds at low levels. The temperature of the sea surface has some influence, because an ocean warmer than the air above it causes the air layers in contact with the surface becomes more humid, creating clouds in the lower layers of the atmosphere. Finally, the evapotranspiration of the coastal region has little relevance in the formation of cloudiness.

LISTA DE SIGLAS

ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
BRAMS	Brazilian Regional Atmospheric Model
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DSA	Divisão de Satélites Ambientais
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MASTER	Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OSDPD	Office of Satellite Data Processing and Distribution
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TSM	Temperatura da superfície do mar
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

K Kelvin

W Watts

Lista de Figuras

1	Topografia da região sul/sudeste brasileira (adaptado de Embrapa)	2
2	Frequência de dias claros e encobertos na região de Cananéia, SP (adaptado de Occhipinti, 1963)	6
3	Exemplos de casos procurados	8
4	Climatologia mensal e anual do fenômeno	10
5	Anomalia de TSM (fonte: NOAA)	11
6	Dias consecutivos de nebulosidade	12
7	Imagens de satélite, campos de pressão ao nível médio do mar (hPa) e altura geopotencial em 500 hPa	16
8	Perfil Termodinâmico da Atmosfera em alguns dos casos selecionados	22
9	Diferença de temperatura (°C) entre os níveis de 1000 e 850 hPa	23
10	Perfil Termodinâmico da Atmosfera em casos que não foram selecionados	24
11	Domínio da simulação	29
12	Validação do Modelo BRAMS	30
13	Anomalia de TSM	33
14	Perfil de umidade utilizado no modelo (Adaptado de Ranzini)	34
15	Área em que a umidade do solo foi alterada	35
16	Efeito da topografia no caso de 07/09/2007	36
17	Efeito da topografia em 09/09/2007	38
18	Vento e divergência do vento em 05-07/09/2007	39
19	Perfil vertical de cloud em 05-09/09/2007	40
20	Efeito da topografia no caso de 05/08/2000	42

21	Efeito das outras variáveis no caso de 05/08/2000	43
22	Vento e divergência do vento em 05/08/2000	44
23	Perfil vertical de cloud em 05-09/08/2000	45
24	Efeito da topografia no caso de 21/11/2008	47
25	Vento e divergência do vento em 22-23/11/2008	48
26	Perfil vertical de cloud em 21-25/11/2008	49

Lista de Tabelas

1	Eventos selecionados	13
2	Eventos escolhidos para simulação	27
3	Configurações utilizadas no modelo BRAMS	28
4	Simulações realizadas	32

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Nebulosidade na região costeira do sul/sudeste brasileiro	1
1.2	Fatores de influência na nebulosidade	2
1.2.1	Topografia e Nebulosidade Litorânea	2
1.2.2	Brisa Marítima	3
1.2.3	Temperatura da Superfície do Mar e Nuvens	3
1.2.4	Evapotranspiração da Mata Atlântica	3
1.3	Pesquisa bibliográfica	4
1.4	Objetivos deste estudo	7
2	Análise Observacional	8
2.1	Climatologia e Análise Sinótica	9
2.1.1	Metodologia	9
2.1.2	Resultados	9
2.2	Estabilidade Atmosférica	16
2.2.1	Metodologia	17
2.2.2	Casos de Nebulosidade	17
2.2.3	Casos de dias não considerados	23
3	Metodologia	25
3.1	O Modelo BRAMS	26
3.2	Validação do Modelo	30
3.3	A metodologia de Stein e Alpert	31

3.3.1	Ausência da topografia	32
3.3.2	Alteração da temperatura da superfície do mar	33
3.3.3	Controle da evapotranspiração da região costeira	34
4	Resultados	36
4.1	O caso de 05/09/2007 a 09/09/2007	36
4.2	O caso de 05/08/2000 a 09/08/2000	41
4.3	O caso de 21/11/2008 a 25/11/2008	46
5	Conclusão	50
6	Apêndice 1 - Eventos de nebulosidade	54
7	Apêndice 2 - Alterações realizadas no modelo BRAMS	59

1 Introdução

1.1 Nebulosidade na região costeira do sul/sudeste brasileiro

A faixa litorânea compreendida entre o sul do estado do Rio de Janeiro indo até o norte do estado do Rio Grande do Sul é afetada por um fenômeno meteorológico bastastante peculiar. A formação de uma banda de nebulosidade confinada apenas na faixa adjacente ao litoral, numa região demarcada pela topografia e pela presença de porções remanescentes da Mata Atlântica. É interessante observar que este fenômeno ocorre com certa frequência na região, causando diversas dificuldades para a previsão do tempo em institutos de pesquisa e empresas do setor. Devido à grande diferença de radiação solar causada pela nebulosidade, ocorrem situações bem distintas: no dia 7 de Setembro de 2007, por exemplo, a cidade de Santos registrava cerca de 17°C e chuva fina, enquanto os termômetros chegavam a 30°C sob céu limpo na capital paulista.

O litoral da região de estudo possui grande importância regional. Além de um grande interesse turístico e imobiliário, a presença de grandes portos (Santos, Paranaguá e Sepetiba) e indústrias (pólo siderúrgico de Sepetiba) revelam a importância econômica da região. Por fim, estudos ambientais acerca do uso e ocupação do local vem sendo desenvolvidos com o intuito de uma maior preservação dos recursos naturais.

Por este fatos, verifica-se a relevância de aprimorar o entendimento dos processos atmosféricos e de interação superfície-atmosfera que levam a estes eventos, de modo a poder fazer melhores previsões destes eventos.

Este estudo foi realizado tendo como área de estudo principal o litoral paulista. Mas tendo em vista a abrangência do fenômeno e um relevo contínuo até o norte do Rio Grande do Sul, algumas considerações serão feitas para toda a região litorânea. Um destes casos será na análise da estabilidade atmosférica, onde devido a ausência de um perfil termodinâmico gerado a partir de uma radiossondagem realizada no litoral, se utilizará uma radiossondagem de Florianópolis, Santa Catarina. Estas considerações foram feitas com o cuidado de não se gerar aproximações incorretas ou metodologias inconsistentes.

1.2 Fatores de influência na nebulosidade

A posição geográfica da região de estudo faz com que alguns fatores tenham interesse neste estudo. A seguir, alguns deles serão abordados separadamente.

1.2.1 Topografia e Nebulosidade Litorânea

O relevo da região sul/sudeste brasileira apresenta algumas características importantes para a circulação e o clima na região. Em primeiro lugar, a presença de um planalto de grandes proporções (Planalto Paulista) cobrindo boa parte dos estados de São Paulo e Paraná (figura 1.2.1). Em seguida, uma queda acentuada (Serra do Mar) em direção a um litoral relativamente estreito, compreendido entre o oceano e a base da Serra do Mar. Essa configuração faz com que a região sofra um pronunciado efeito das circulações de mesoescala, como a brisa marítima e a circulação de vale-montanha. Outro fator de destaque é a linha de costa estar posicionada num ângulo de 45° em relação às linhas latitudinais. Isso altera os efeitos dos fenômenos sinóticos, como o vento gerado pela ASAS.

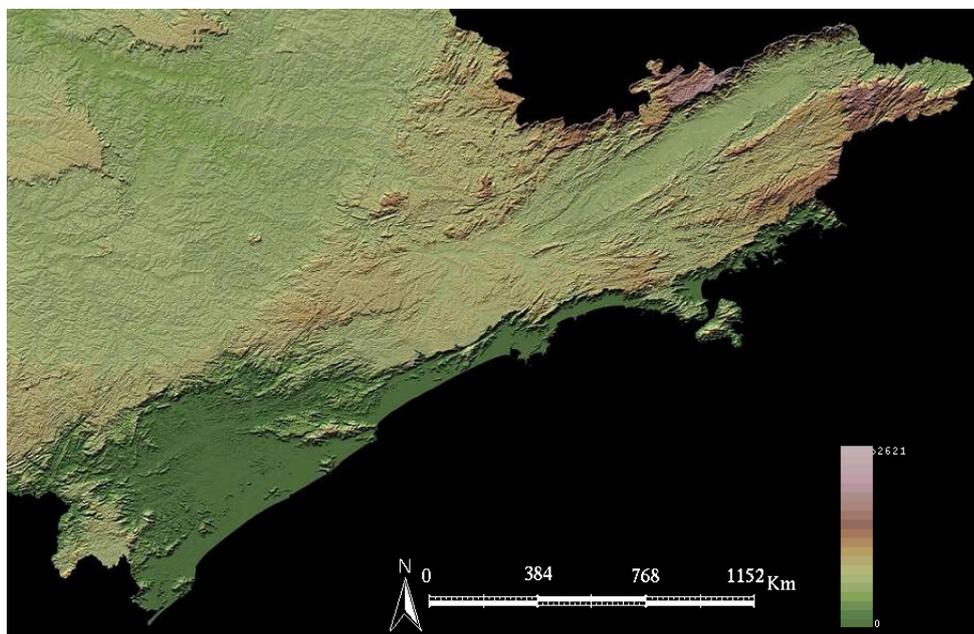


Figura 1: Topografia da região sul/sudeste brasileira (adaptado de Embrapa)

1.2.2 Brisa Marítima

A brisa marítima é um tipo de circulação que tem origem no aquecimento diferencial entre continente e oceano. Também pode ser encontrada em lagos e lagoas (brisa lacustre) e rios de grande porte (brisa fluvial). Ela tem origem nas diferentes capacidades térmicas entre o solo e a água. Devido ao solo ter uma capacidade térmica muito menor do que a água, ele se aquece muito mais do que o oceano adjacente, quando submetidos à mesma quantidade de radiação solar. Este processo acaba por gerar um movimento convectivo sobre o continente, e por continuidade de massa, uma célula de circulação fechada. Embora tenha uma certa importância, a influência do anticiclone extratropical mostra-se muito maior do que o fenômeno da brisa, sendo que este é um sistema de escala sinótica e o primeiro, de mesoescala.

1.2.3 Temperatura da Superfície do Mar e Nuvens

Devido à região de interesse ser o litoral sul/sudeste brasileiro é de se supor que o Oceano Atlântico adjacente tenha um certo fator de impacto. Como nuvens surgem da condensação da umidade, supõe-se que quanto maior a TSM, maior será a disponibilidade de vapor d'água para a geração da nebulosidade. Alguns estudos (WOOD, 2005a, 2005b) apontam que o oceano também é responsável pela formação de nuvens stratus, com a grande disponibilidade de CCNs nas baixas camadas atmosféricas.

1.2.4 Evapotranspiração da Mata Atlântica

Um fator de destaque na área de interesse é a cobertura vegetal da região. Grande parte é coberta pela Mata Atlântica, vegetação original da área. Embora tenha sido praticamente erradicada das outras regiões nativas, devido ao relevo acidentado e, conseqüentemente, pela baixa taxa de urbanização, o litoral do sudeste preservou grandes áreas com essa mata nativa. Considerando que a vegetação seja uma floresta tropical, é de se esperar que haja uma grande evapotranspiração dessa região.

1.3 Pesquisa bibliográfica

Bandas de nuvens estratiformes costeiras são comuns em várias partes do mundo. Segundo Scorer (SCORER, 1986), há 2 casos de destaque: Portugal e a Grã-Bretanha. Em Portugal, o padrão de circulação típico de verão faz o escoamento ser em direção ao oceano. Este fenômeno provoca ressurgência das águas mais profundas próximas à costa. Esta água mais fria acaba por esfriar as camadas de ar sobre o oceano, acabando por gerar nuvens estratiformes.

Já na Grã-Bretanha, a faixa de nebulosidade ao longo da costa NE é chamado de Haar. Mas a origem desta nebulosidade tem origem na área industrial de Teeside. Nesta região a emissão de amônia e dióxido de enxofre forma sulfato de amônia nas gotículas, gerando uma camada de nuvens stratus próximo ao solo, nas primeiras horas da manhã.

Nos Estados Unidos, existem alguns estudos sobre nebulosidade na Baía de Chesapeake, entre os estados de Maryland e Virgínia. Stuart (STUART, 2003) elaborou uma descrição detalhada sobre a origem e desenvolvimento do fenômeno. O autor observou que devido a condições específicas para sua formação, as plumas de nebulosidade ocorrem mais frequentemente no outono e na primavera. A formação da pluma é normalmente associado com a forte advecção de baixas temperaturas em baixos níveis. Ao encontrar as águas da baía (climatologicamente) mais quentes, há a convergência de umidade em baixos níveis, produzindo nebulosidade e precipitação. Observou-se que a formação da nebulosidade ocorre quando a diferença entre a temperatura da superfície da água e a do nível de 850 hPa é maior do que 13 °C. A forma alongada da banda de nuvens ocorre direção predominante dos ventos na região, fazendo com que a banda chegue a 200 km de extensão. A presença de movimento vertical em uma área específica da baía faz com que haja fluxo de calor e umidade da superfície para os baixos níveis da atmosfera.

Ainda segundo o autor, ventos de $7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ resultam em bandas de nebulosidade bem definidas, pois as parcelas de ar na camada limite possuem mais tempo de serem modificadas. Isto ocorre devido à instabilização e o fluxo de umidade da água para o ar ser reforçado quando a parcela permanece um longo período sobre as águas, quando comparado com aquelas sob um regime de ventos intensos.

Em relação à precipitação, Stuart associa os extremos encontrados com os episódios que ocorrem no outono e na primavera. Convecção rasa e trombas d'água ocorrem quando o ar frio encontra as águas da baía numa temperatura entre 20-25 °C. Essas massas de ar (em 850 hPa) com temperatura entre 7-12 °C produzem um grande lapse rate. Quando essas massas de ar frio associadas a máximos de vorticidade em 700-500 hPa atingem a região, a altura da camada instável aumenta, permitindo o crescimento de nuvens cumulus e por fim, altos índices pluviométricos. Um fator a ser acrescentado ainda é a convergência localizada em torno da complexa linha costeira, gerando vorticidade vertical e reforçando o movimento vertical. Em algumas ocasiões, uma faixa de nebulosidade foi observada após a passagem de uma frente fria, pois o padrão de temperatura e ventos nem sempre são favoráveis à formação da pluma.

Sikora (SIKORA; HALVERSON, 2002) também estudou as linhas de nebulosidade na região e sugere que a formação da banda de nuvens tem origem na brisa lacustre que ocorre na área. O autor observou também que o fenômeno é mais comum na mudança de estações, entre a primavera e o outono.

No Brasil, um dos estudos pioneiros sobre a climatologia da região sul/sudeste foi Occhipinti (OCCHIPINTI, 1963). Em seu estudo, o autor fez um levantamento de vários fatores climáticos (temperatura, vento, precipitação, entre outros) na região de Cananéia, SP. Dentre os fatores analisados, encontra-se a relação entre insolação e nebulosidade (figura 2). Segundo o autor, em média, 13% dos dias no ano são claros (insolação relativa média maior do que 80%) e 35% dos dias são encobertos (insolação relativa média menor do que 20%) e portanto, 52% dos dias são nublados com insolação relativa entre 20% e 80%.

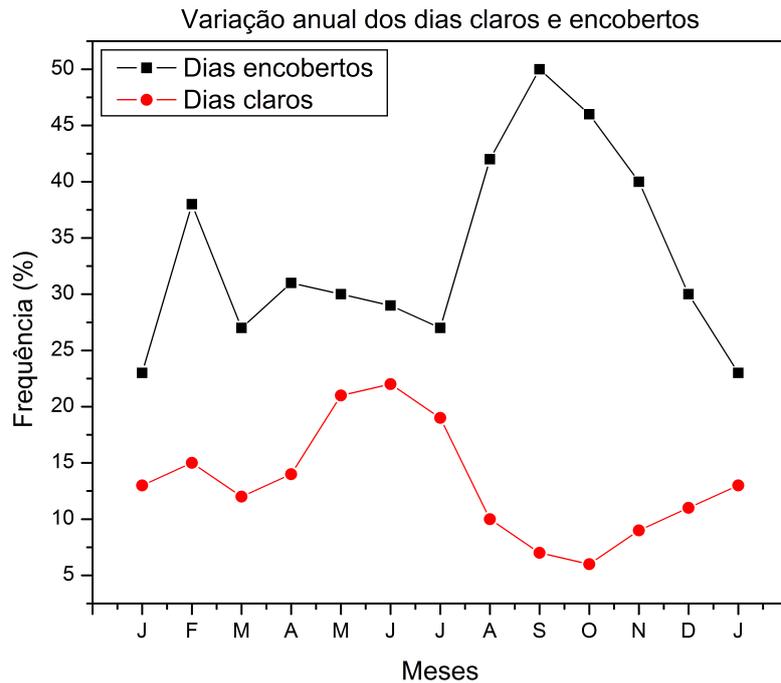


Figura 2: Frequência de dias claros e encobertos na região de Cananéia, SP (adaptado de Occhipinti, 1963)

Como conclusão desta parte, Occhipinti afirma que a maior ocorrência de dias claros ocorre no inverno, após a passagem de frentes de origem polar. Devido a tais massas de ar apresentarem baixos valores de vapor d'água e uma alta estabilidade estática, a formação local de nebulosidade é dificultada. Já na primavera, processa-se a transição entre o predomínio das massas de origem polar para as de origem tropical na região. Verifica-se uma instalilização gradual do ar e as perturbações frontais e de convecção térmica local ocorrem alternadamente, contribuindo para a maior nebulosidade no ano e à maior persistência dos dias encobertos .

Blanco (BLANCO, 1999) realizou um estudo sobre a intensificação da precipitação, devido à orografia, na região da Serra do Mar. Suas observações concluem que os eventos de chuva costumam ser de origem pós-frontal, com vento de sudeste e altos índices de umidade relativa à superfície, muita nebulosidade na faixa leste do estado e pouca no interior.

1.4 Objetivos deste estudo

A dimensão espacial e temporal do fenômeno de interesse permite classificá-lo como pertencente à uma interface entre as escalas sinótica e meso- α , segundo Orlandi (ORLANDI, 1975). Ou seja, é um evento fortemente influenciado por frentes frias vindas de latitudes mais altas e por mudanças do vento predominante na costa. Mas também é afetado pelas forçantes da mesoescala, tal como a brisa marítima e pela topografia. Outro fator de destaque é a localização ao lado do Oceano Atlântico, onde se tem uma grande disponibilidade de vapor d'água na atmosfera. Por fim, a região de estudo possui uma grande quantidade de vegetação nativa, proporcionando uma alta evapotranspiração e contribuindo na formação e persistência de nebulosidade.

Os objetivos deste estudo foi elaborar uma climatologia da nebulosidade na costa leste do estado de São Paulo e simular numericamente alguns dos casos encontrados. Nessas simulações, procurou-se avaliar a influência da orografia, da TSM e da evapotranspiração da região costeira na formação das nuvens. Com isso, procurou-se fazer uma análise quantitativa destes fatores sobre a nebulosidade.

2 Análise Observacional

O estudo da persistência de nebulosidade na região litorânea do estado de São Paulo parte do princípio de que este é um fenômeno observado e que possui uma certa regularidade. Para se realizar uma análise objetiva da frequência de ocorrência da nebulosidade, um estudo climatológico dos eventos de interesse é necessário. Define-se aqui que os eventos de interesse são aqueles em que há a ocorrência de uma faixa de nebulosidade acompanhando a linha da costa sudeste/sul brasileira. Não serão considerados os eventos em que essa faixa está posicionada no oceano e longe da costa, ou continente adentro. A figura 3 ilustra os casos procurados.

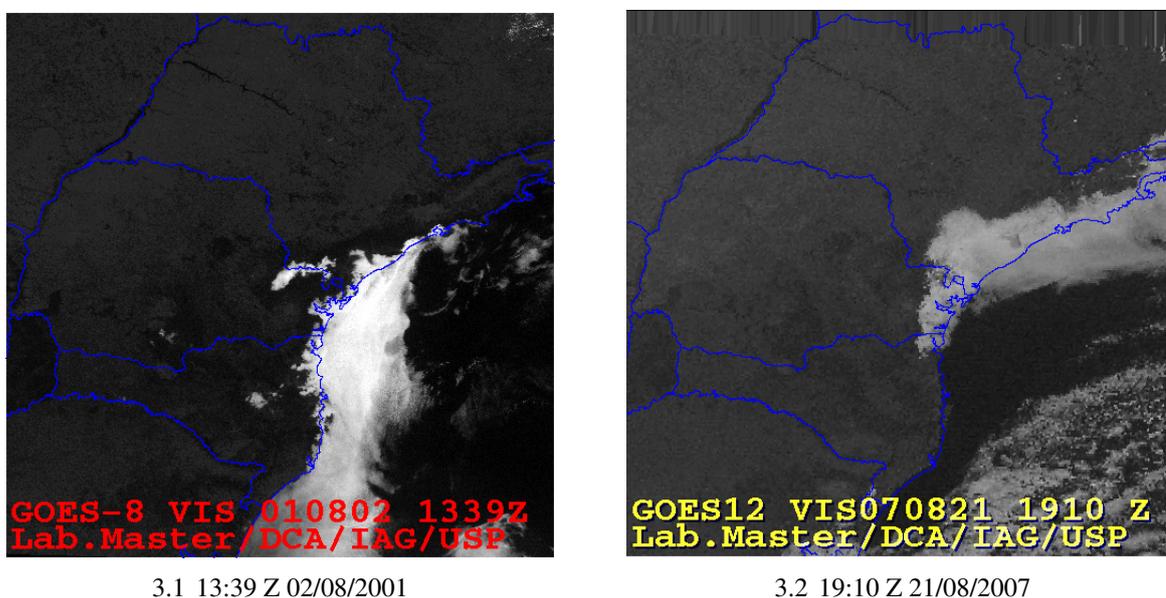


Figura 3: Exemplos de casos procurados

Este estudo climatológico avaliou em quais meses há uma maior ocorrência de eventos, sua variabilidade interanual e a distribuição de dias consecutivos de nebulosidade. Com isto, resolveu-se o problema da definição de “persistência de nebulosidade na costa de São Paulo” neste estudo. Este procedimento evitou o uso de uma metodologia subjetiva para a avaliação dos casos.

Após completada essa tarefa inicial, selecionou-se alguns casos de interesse para um estudo mais detalhado, tanto das influências sinóticas quanto regionais. Estes eventos foram utilizados nas outras partes desta pesquisa. Por fim, uma avaliação dos mecanismos sinóticos e dinâmicos envolvidos nos episódios selecionados foi efetuado.

Na segunda parte deste capítulo, um estudo do perfil vertical de temperatura avaliou a estabilidade atmosférica dos casos e assim, inferir se há ou não uma estratificação vertical das primeiras camadas da atmosfera, contribuindo para a ocorrência do fenômeno. Esta análise ainda poderá indicar como a estratificação pode interagir com a topografia, favorecendo (ou inibindo) a nebulosidade.

2.1 Climatologia e Análise Sinótica

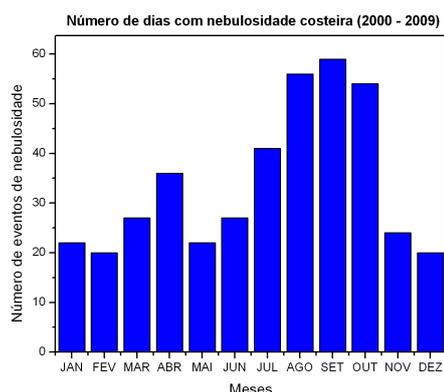
A climatologia do evento foi realizada para quantificar em quantos dias, num período de 10 anos, houve nebulosidade apenas na região de estudo. Com isso, foi possível verificar quais meses tinham uma maior ocorrência de eventos e assim, tentar estabelecer os mecanismos dinâmicos de circulação atmosféricos responsáveis pela formação da nebulosidade. Não se considerou nesta parte do estudo a influência dos mecanismos regionais. Avaliou-se apenas os mecanismos sinóticos, tais como a presença de um anticiclone extratropical e a passagem de frentes frias.

2.1.1 Metodologia

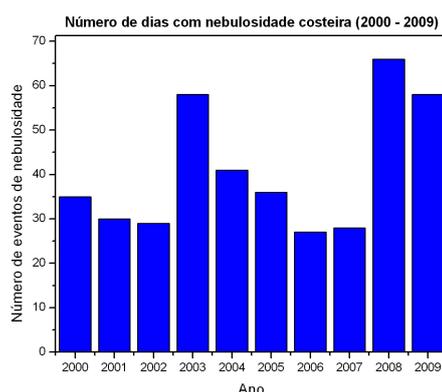
Realizou-se um levantamento manual dos episódios de nebulosidade costeira através da separação visual de todos os casos ocorridos entre os anos de 2000 e 2009. Utilizou-se o banco de imagens do Laboratório MASTER do IAG/USP. Foram utilizadas as imagens dos canais visível e infravermelho dos satélites GOES-8 e GOES-10 setorizadas da região sudeste/sul do Brasil. Em casos de falhas no conjunto de imagens, utilizou-se as imagens do CPTEC/INPE. Utilizou-se também as imagens de satélite da Dundee Satellite Receiving Station, em caso de falhas de ambas as fontes acima. Os casos encontrados estão anexos no apêndice 1 deste trabalho.

2.1.2 Resultados

Após a seleção dos casos de interesse, fez-se inicialmente um levantamento da ocorrência mensal e anual de eventos, durante todo o período considerado (figura 4).



4.1 Ocorrência mensal de casos de nebulosidade



4.2 Ocorrência anual de casos de nebulosidade

Figura 4: Climatologia mensal e anual do fenômeno

A figura 4.1, observa-se um maior número de ocorrências de nebulosidade nos meses de agosto, setembro e outubro. Nota-se também uma maior frequência de eventos no mês de abril. Em virtude dessa concentração em períodos bem definidos, algumas hipóteses foram levantadas para essa distribuição. A variação sazonal do padrão de circulação atmosférica e a oscilação do anticiclone extratropical podem estar relacionados a esta variabilidade.

Uma questão a ser levantada também é variabilidade interanual da nebulosidade costeira. A figura 4.2 mostra o número de ocorrências de dias com nebulosidade durante o período considerado. Um ponto a ser observado são os anos de 2008 e 2009. Estes anos foram de anomalia de TSM positiva, conforme se observa o exemplo da figura 5 (fonte: *The Office of Satellite Data Processing and Distribution - OSDPD/NOAA*).

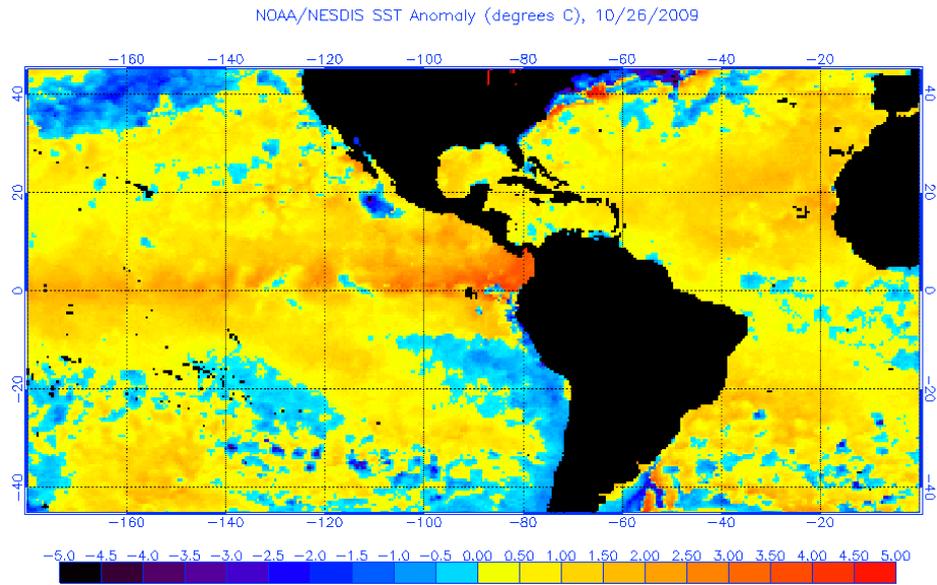
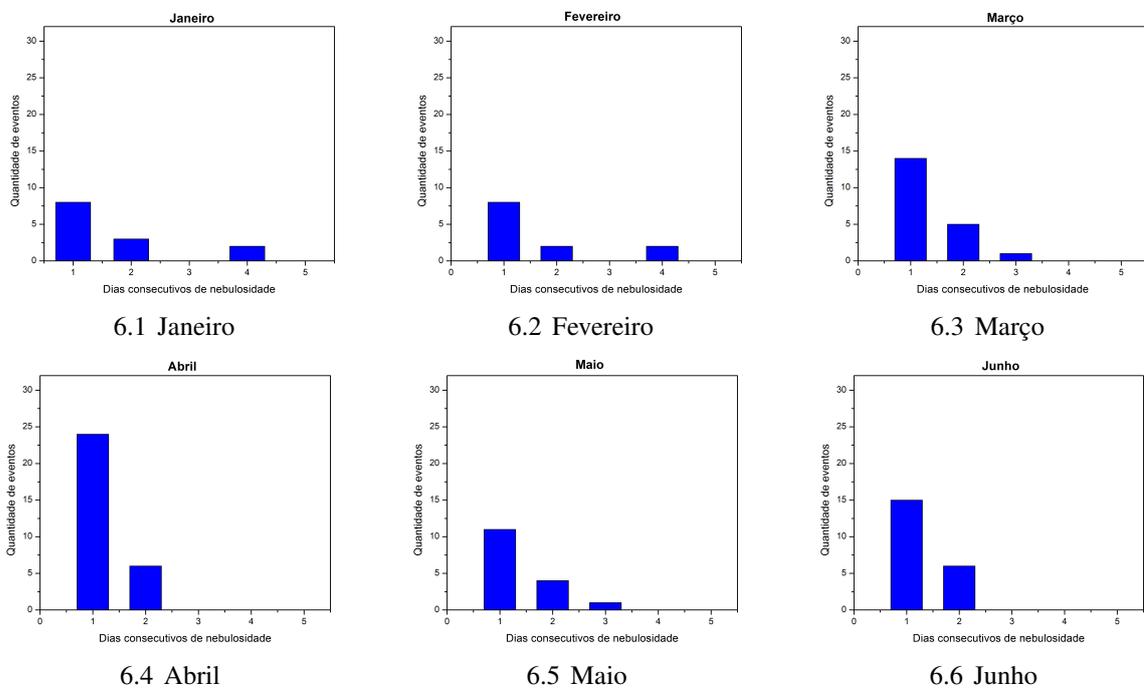


Figura 5: Anomalia de TSM (fonte: NOAA)

A distribuição da quantidade de dias consecutivos de nebulosidade foi obtida a partir da contagem de quantos dias ininterruptos de nebulosidade ocorreram em cada mês, durante todo o período considerado. O resultado pode ser observado na figura 6.



continua

conclusão

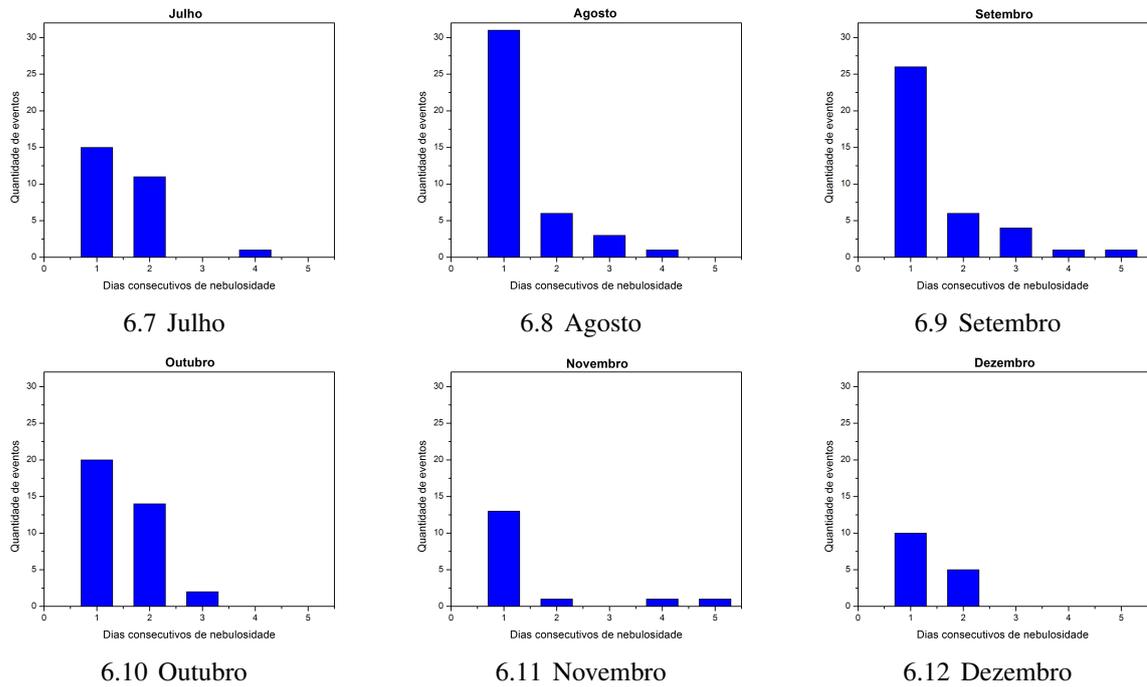


Figura 6: Dias consecutivos de nebulosidade

A figura 6 mostra a distribuição dos dias com persistência de nebulosidade. Nota-se a maior frequência de dias consecutivos de nebulosidade nos meses de agosto e setembro. Uma observação a ser feita é a quantidade de eventos com apenas um dia de nebulosidade, mostrando que a maioria dos eventos com nebulosidade litorânea é composta por um único dia.

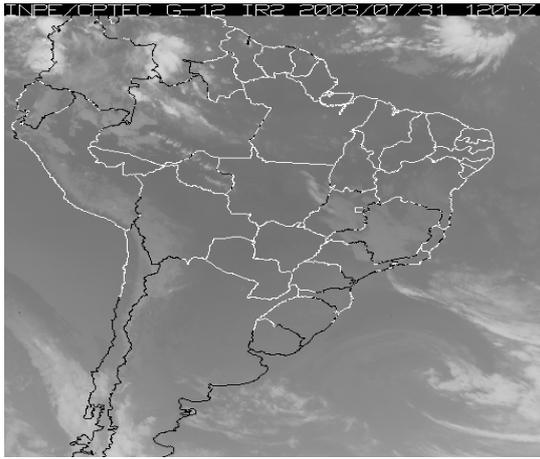
Após a realização da climatologia do evento, alguns casos específicos foram selecionados. Esses episódios serão analisados mais profundamente e alguns serão utilizados na simulações numéricas. A tabela 1 lista os casos selecionados.

Caso	Dia/Período
1	31/07/2003
2	01/09/2003 a 04/09/2003
3	01/10/2003
4	18/08/2004
5	01/08/2005
6	13/10/2005
7	08/08/2006
8	05/09/2007 a 08/09/2007
9	19/09/2008
10	05/10/2009
11	01/11/2009

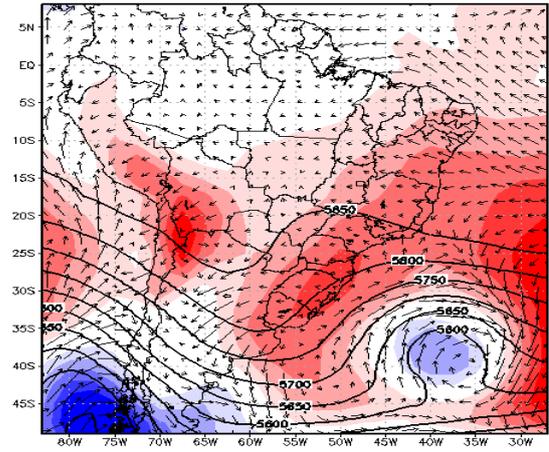
Tabela 1: Eventos selecionados

Um elemento fundamental para compreender a circulação atmosférica nos eventos de nebulosidade é observar o comportamento do anticiclone extratropical presente na costa leste do sul/sudeste (figura 7.4 e figura 7.6). Este anticiclone faz com que o escoamento seja predominantemente perpendicular à costa da região, fazendo com que tenha uma atuação parecida com a da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A ASAS é um centro de alta pressão em torno de 30°S localizada no Oceano Atlântico. Sua origem está relacionada à circulação geral da atmosfera, em especial com a circulação média meridional (Célula de Hadley). Embora a ASAS possa ter sua importância na formação da nebulosidade, o anticiclone próximo à costa está mais associado aos eventos do que a ASAS.

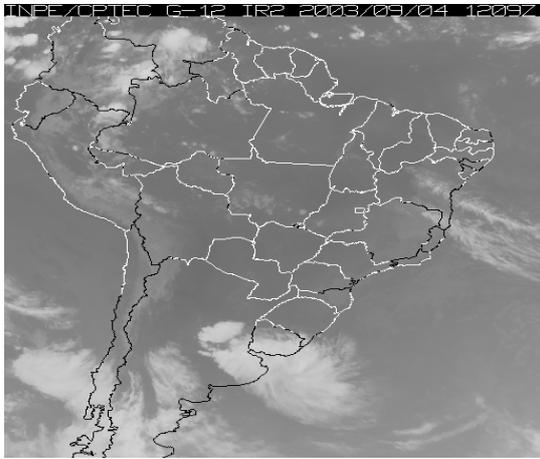
Utilizando as imagens da América do Sul disponibilizadas pelo DSA/INPE e do conjunto de reanálises do NCEP (KALNAY et al., 1996), verificou-se o comportamento da ASAS em alguns eventos selecionados (figura 7).



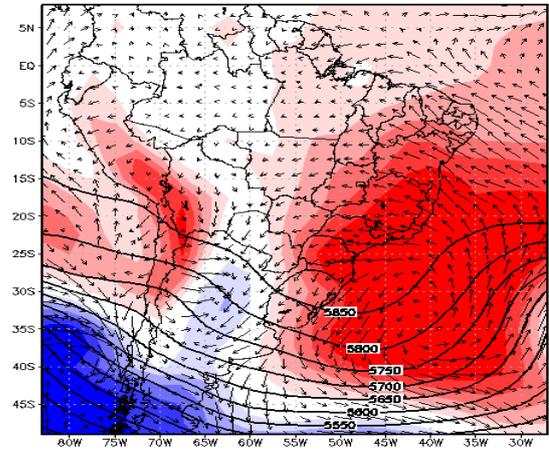
7.1 31/07/2003 12:09 Z



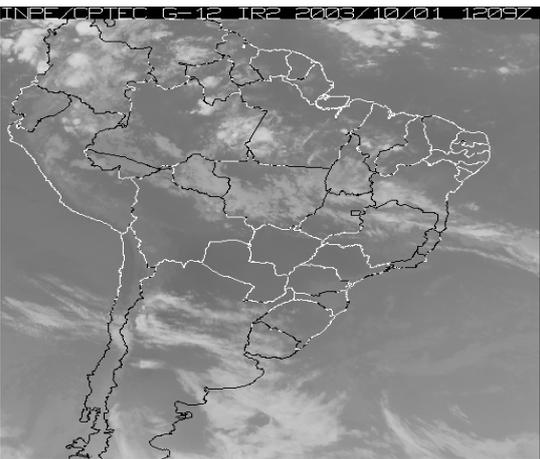
7.2 31/07/2003 12:00 Z



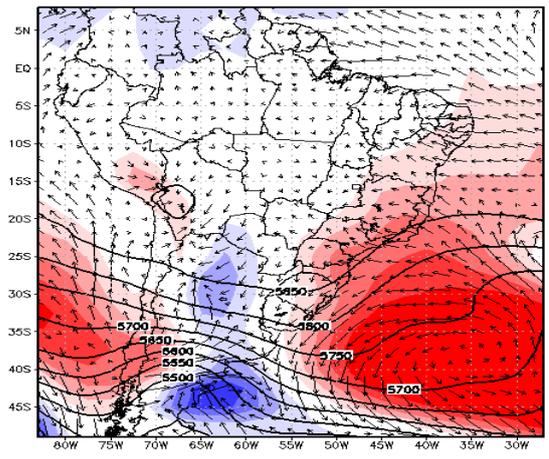
7.3 04/09/2003 12:09 Z



7.4 04/09/2003 12:00 Z



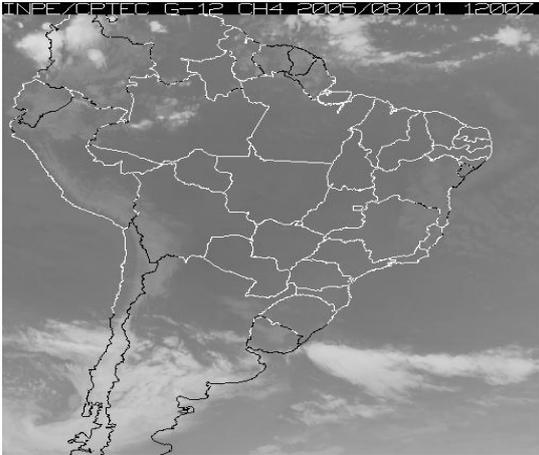
7.5 01/10/2003 12:09 Z



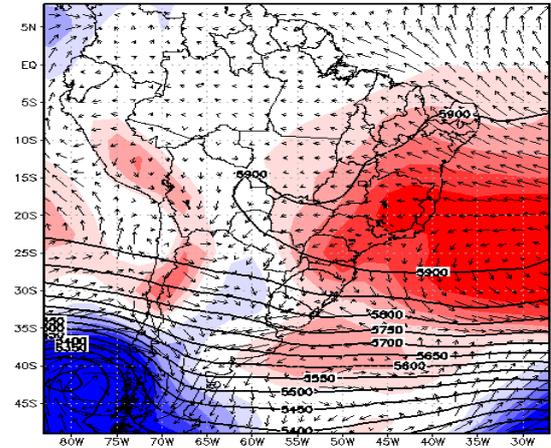
7.6 01/10/2003 12:00 Z

continua

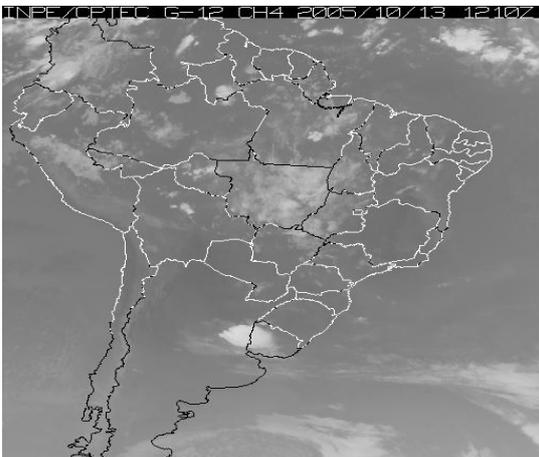
continuação



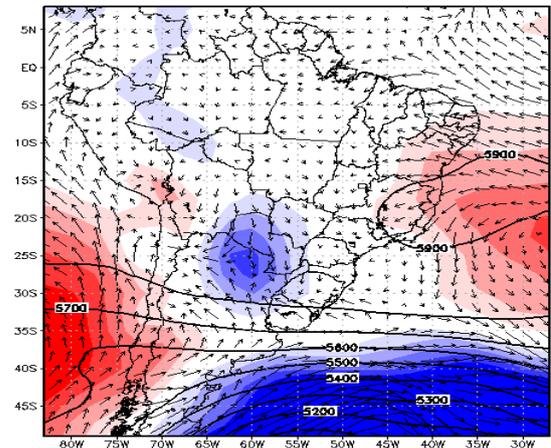
7.7 01/08/2005 12:00 Z



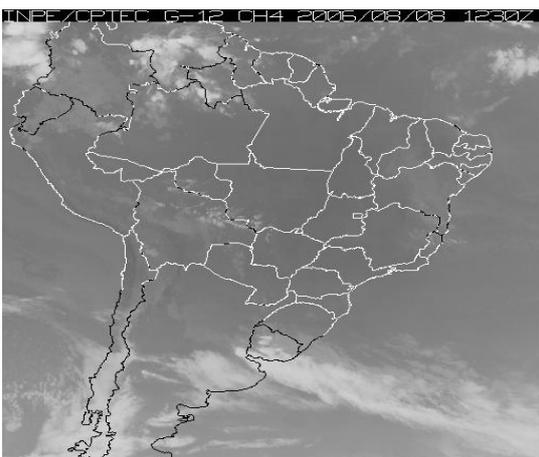
7.8 01/08/2005 12:00 Z



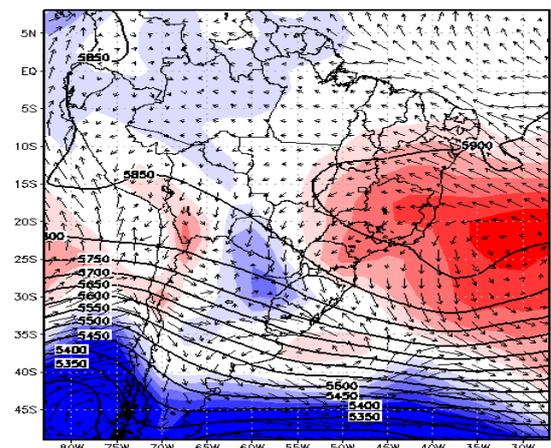
7.9 13/10/2005 12:10 Z



7.10 13/10/2005 12:00 Z



7.11 08/08/2006 12:30 Z



7.12 08/08/2006 12:00 Z

continua

conclusão

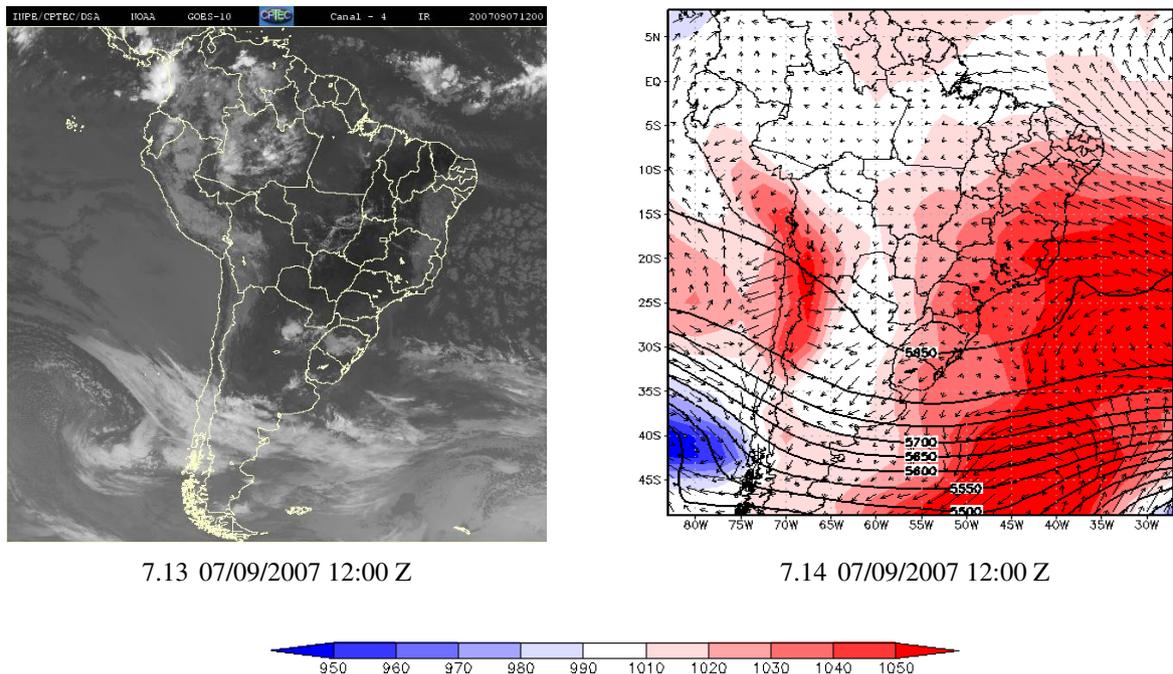


Figura 7: Imagens de satélite, campos de pressão ao nível médio do mar (hPa) e altura geopotencial em 500 hPa

A figura 7 mostra que em quase todos os episódios de nebulosidade na costa havia uma crista acima ou próxima do litoral. Esta observação concorda com o exposto por Stuart (STUART, 2003), citado na introdução deste trabalho.

Outro fator a ser observado é que de acordo com Stuart, uma camada de inversão faz com que haja o aparecimento da nebulosidade costeira. Um fato observado na pesquisa climatológica dos eventos foi a grande quantidade de episódios associados a passagem de frentes frias. Devido à região pós-frontal possuir uma massa de ar frio, forma-se a condição ideal para o surgimento da nebulosidade.

2.2 Estabilidade Atmosférica

A estabilidade atmosférica tem uma grande importância neste estudo. Conforme foi observado na introdução, a presença de águas quentes e de uma parcela de ar frio acima provoca a formação da nebulosidade. Ainda segundo Stuart (STUART, 2003), uma diferença de 13 °C

entre a TSM e o nível de 850 hPa é o mínimo necessário para a formação da nebulosidade. Scorer (SCORER, 1986) também afirma que nebulosidade em regiões litorâneas tem uma grande relação com a estabilidade das primeiras camadas da atmosfera. O autor afirma que em situações de nebulosidade costeira, a umidade vinda do oceano acaba por ficar confinada numa camada atmosférica abaixo de uma camada de inversão térmica.

Nesta parte do trabalho se verificará o perfil vertical de temperatura em alguns dos casos selecionados na parte de climatologia do evento.

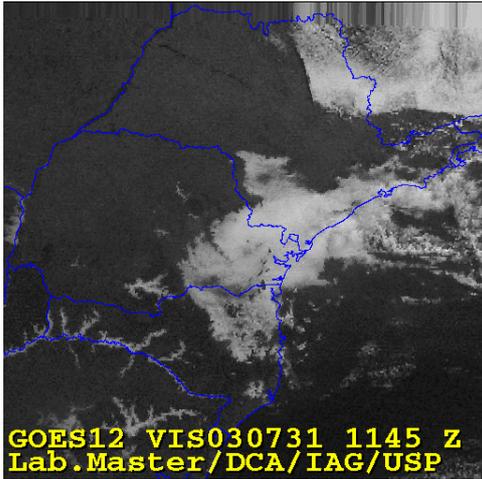
2.2.1 Metodologia

A metodologia para avaliar o perfil vertical de temperatura que seria utilizada nesta parte do estudo seria a análise das radiossondagens realizadas em Florianópolis (27°35' S, 48°32' O). Estas radiossondagens são realizadas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Utilizaria-se esses perfis atmosféricos, pois não são realizadas radiossondagens no litoral de São Paulo. Uma das precauções tomadas foi a de se verificar se a banda de nuvens passava por Florianópolis, para que o perfil fosse válido para o caso de interesse.

Os perfis verticais de temperatura foram obtidos no site do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming. Serão analisados alguns casos em que houve a presença de nuvens e também alguns casos em que o padrão de nebulosidade não era o procurado, apenas para se verificar o comportamento e a diferença entre ambos.

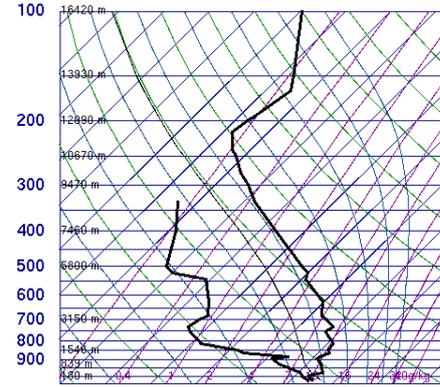
2.2.2 Casos de Nebulosidade

Serão analisados os casos apresentados na tabela 1.



8.1 31/07/2003 11:45 Z

83899 SBFL Florianopolis

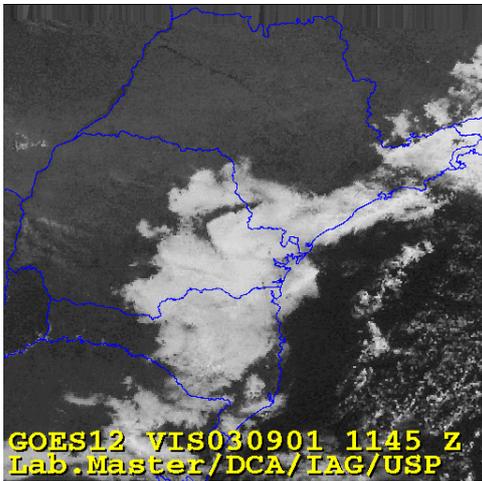


12Z 31 Jul 2003

University of Wyoming

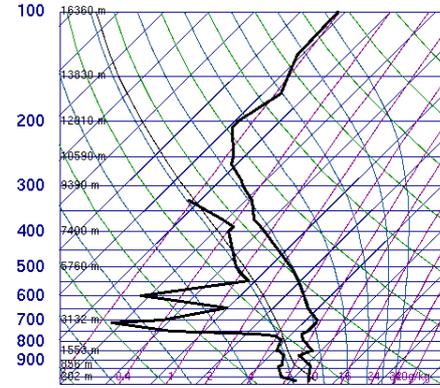
8.2 31/07/2003 12:00 Z

SLAT	-27.67
SLOE	-48.55
SELV	5.00
SHOW	12.13
LIFT	8.36
LFTV	8.17
SWET	28.98
KINX	-11.7
CTOT	4.50
VTOT	24.50
TOTL	29.00
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EQTV	-9999
LFCT	-9999
LFCV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	283.7
LCLP	948.8
MLTH	286.0
MLMR	6.54
THCK	562.0
PWAT	14.27



8.3 01/09/2003 11:45 Z

83899 SBFL Florianopolis

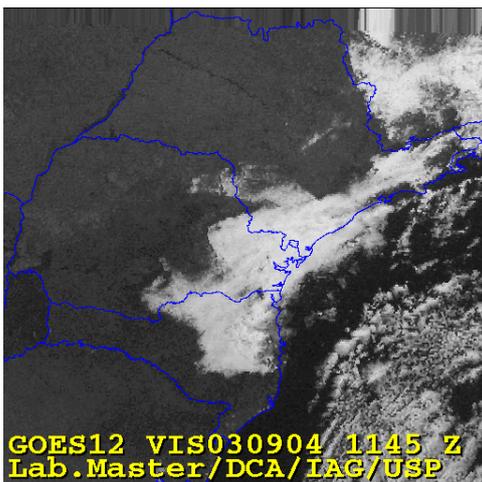


12Z 01 Sep 2003

University of Wyoming

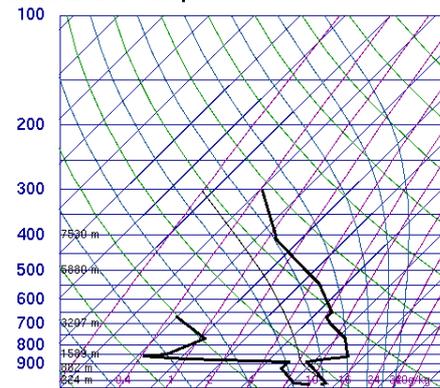
8.4 01/09/2003 12:00 Z

SLAT	-27.67
SLOE	-48.55
SELV	5.00
SHOW	7.70
LIFT	10.07
LFTV	10.05
SWET	67.00
KINX	-9.70
CTOT	16.30
VTOT	23.30
TOTL	39.60
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EQTV	-9999
LFCT	-9999
LFCV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	279.4
LCLP	914.0
MLTH	286.6
MLMR	6.61
THCK	555.8
PWAT	17.13



8.5 04/09/2003 11:45 Z

83899 SBFL Florianopolis



12Z 04 Sep 2003

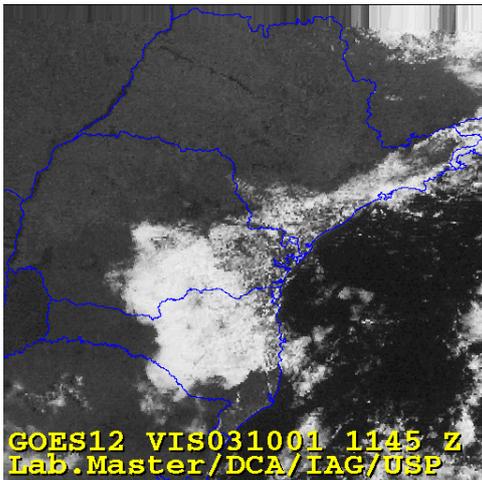
University of Wyoming

8.6 04/09/2003 12:00 Z

SLAT	-27.67
SLOE	-48.55
SELV	5.00
SHOW	13.59
LIFT	9.96
LFTV	9.76
SWET	56.99
KINX	-28.1
CTOT	-12.1
VTOT	27.90
TOTL	15.80
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EQTV	-9999
LFCT	-9999
LFCV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	281.0
LCLP	900.9
MLTH	289.5
MLMR	7.46
THCK	565.6
PWAT	11.47

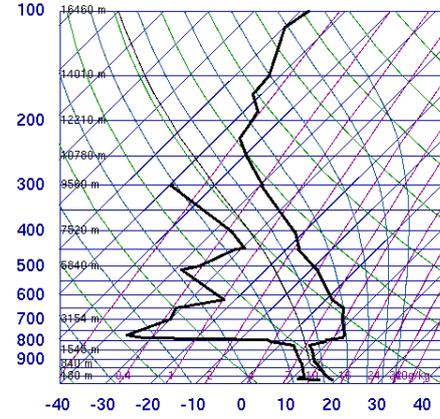
continua

continuação



8.7 01/10/2003 11:45 Z

83899 SBFL Florianopolis

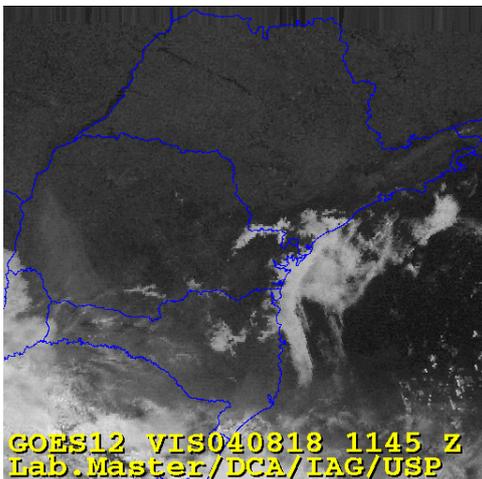


12Z 01 Oct 2003

University of Wyoming

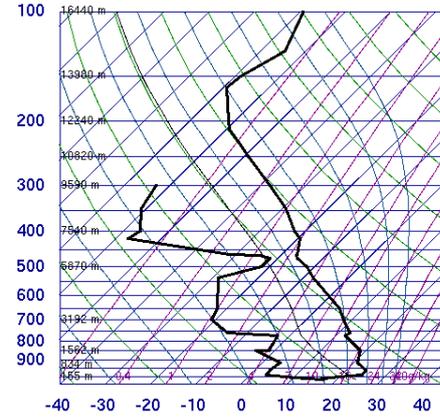
8.8 01/10/2003 12:00 Z

SLAT -27.67
SLON -48.55
SELV 5.00
SHOW 10.07
LIFT 8.89
LFTV 8.69
SWET -9999
KINK -14.9
CTOT 14.90
VTOT 18.50
TOTL 33.40
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EOTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH -9999
BRCV -9999
LCLT 263.5
LCLP 820.1
MLTH 290.4
MLMR 8.71
THCK 5660.
PWAT 19.05



8.9 18/08/2004 11:45 Z

83899 SBFL Florianopolis

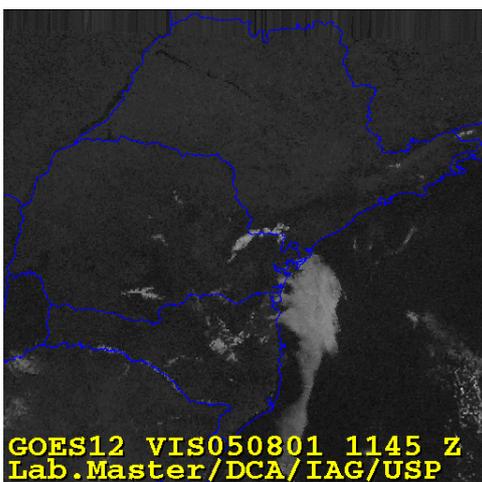


12Z 18 Aug 2004

University of Wyoming

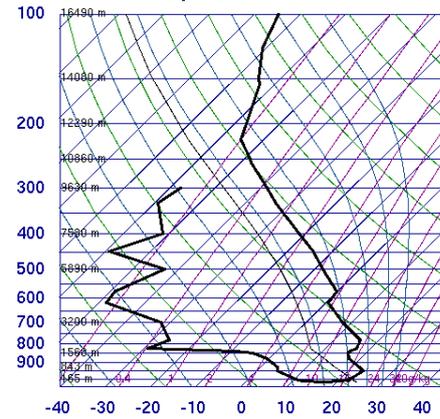
8.10 18/08/2004 12:00 Z

SLAT -27.67
SLON -48.55
SELV 5.00
SHOW 6.82
LIFT 8.09
LFTV 8.06
SWET -9999
KINK -2.70
CTOT 7.50
VTOT 30.50
TOTL 38.00
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EOTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH -9999
BRCV -9999
LCLT 276.6
LCLP 791.9
MLTH 295.7
MLMR 6.49
THCK 5715.
PWAT 16.15



8.11 01/08/2005 11:45 Z

83899 SBFL Florianopolis



12Z 01 Aug 2005

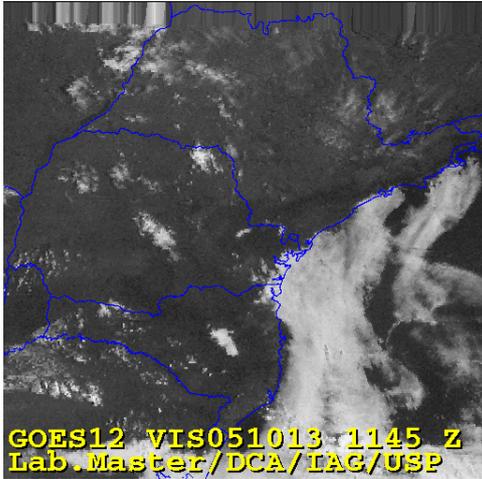
University of Wyoming

8.12 01/08/2005 12:00 Z

SLAT -27.67
SLON -48.55
SELV 5.00
SHOW 12.36
LIFT 9.35
LFTV 9.07
SWET 40.99
KINK -20.5
CTOT 3.30
VTOT 24.30
TOTL 27.60
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EOTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 280.0
LCLP 824.4
MLTH 235.9
MLMR 7.75
THCK 5725.
PWAT 11.54

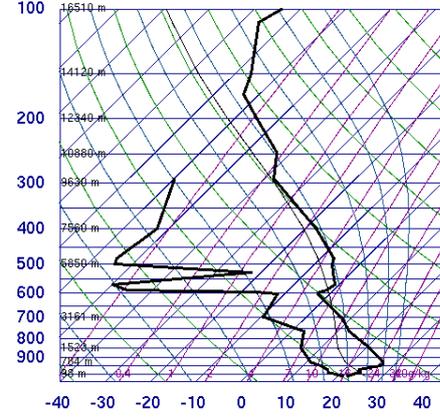
continua

continuação



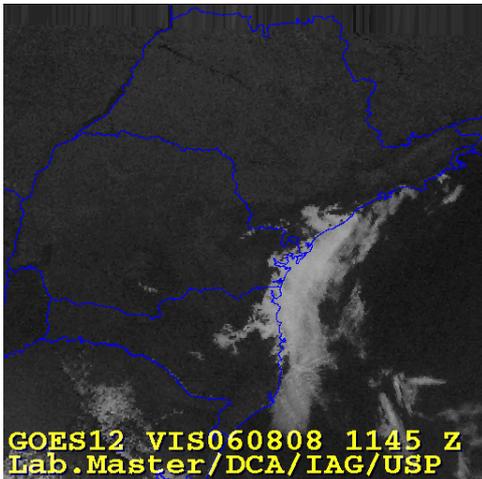
8.13 13/10/2005 11:45 Z

83899 SBFL Florianopolis



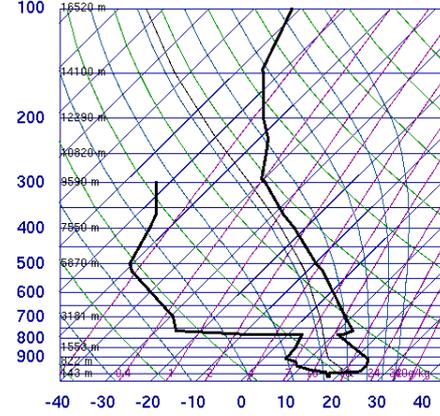
8.14 13/10/2005 12:00 Z

SLAT -27.67
SLON -48.55
SELV 5.00
SHOW 5.63
LIFT 2.67
LFTV 2.04
SWET 102.5
KINX 15.70
CTOT 11.90
VTOT 26.90
TOTL 38.60
CAPE 43.30
CAPV 74.62
CINS -48.5
CINV -40.7
EQLV 586.5
EOTV 577.9
LFCT 661.1
LFCV 663.8
BRCH 2.62
BRCV 4.53
LCLT 289.0
LCLP 896.4
MLTH 298.1
MLMR 12.06
THCK 575.2
PWAT 28.26



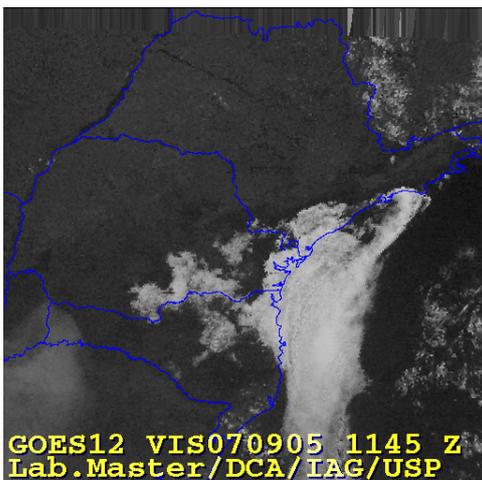
8.15 08/08/2006 11:45 Z

83899 SBFL Florianopolis



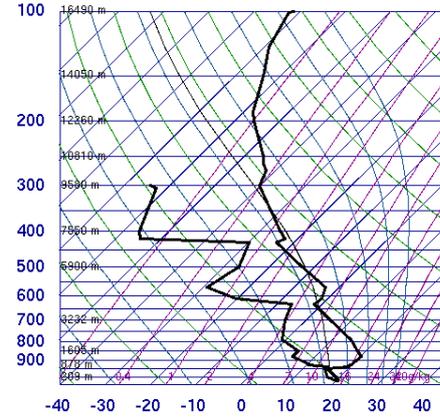
8.16 08/08/2006 12:00 Z

SLAT -27.67
SLON -48.55
SELV 5.00
SHOW 4.94
LIFT 3.22
LFTV 2.78
SWET 118.8
KINX 6.50
CTOT 14.10
VTOT 27.10
TOTL 41.20
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV -9399
EQLV -9399
EOTV -9399
LFCT -9399
LFCV -9399
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 286.6
LCLP 802.6
MLTH 295.2
MLMR 11.03
THCK 572.7
PWAT 19.26



8.17 05/09/2007 11:45 Z

83899 SBFL Florianopolis

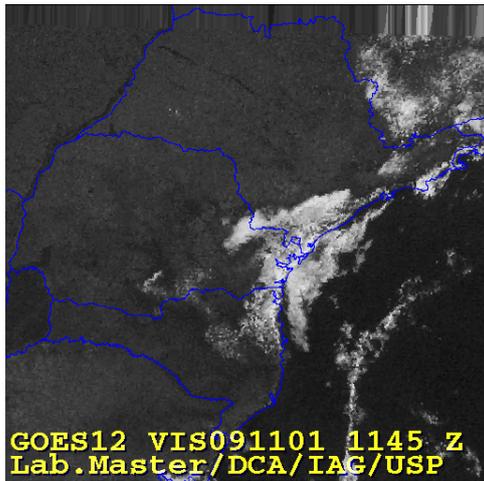


8.18 05/09/2007 12:00 Z

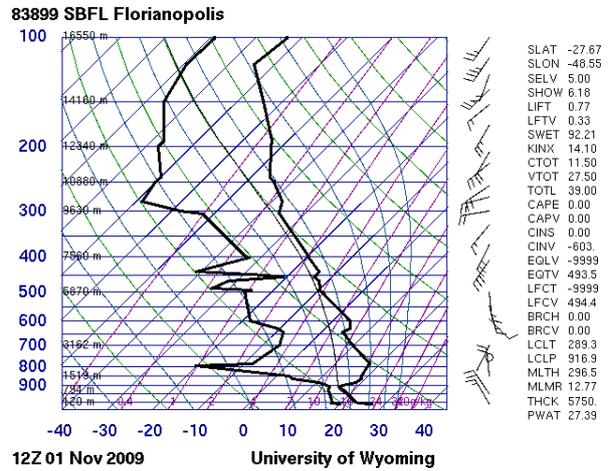
SLAT -27.67
SLON -48.55
SELV 5.00
SHOW 0.92
LIFT -0.54
LFTV -0.88
SWET 111.3
KINX 25.10
CTOT 17.90
VTOT 30.90
TOTL 48.80
CAPE 159.7
CAPV 192.4
CINS -0.01
CINV 0.00
EQLV 336.8
EOTV 336.0
LFCT 964.4
LFCV 968.2
BRCH 28.10
BRCV 33.84
LCLT 290.1
LCLP 974.2
MLTH 292.3
MLMR 12.67
THCK 569.1
PWAT 29.58

continua

conclusão



8.25 01/11/2009 11:45 Z

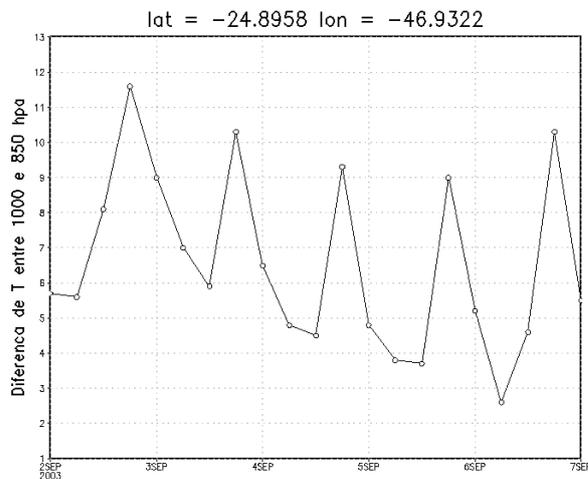


8.26 01/11/2009 12:00 Z

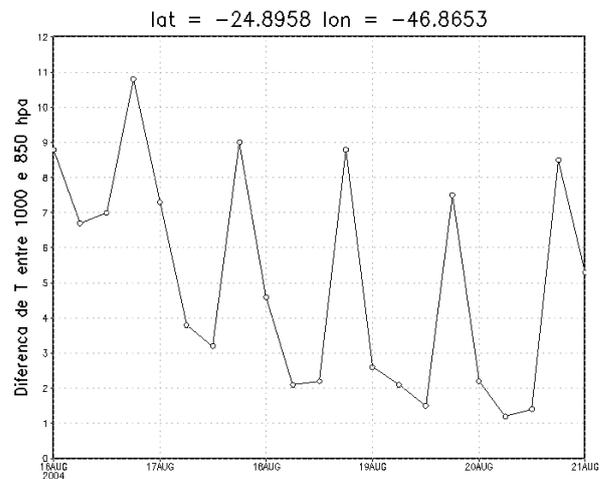
Figura 8: Perfil Termodinâmico da Atmosfera em alguns dos casos selecionados

Verifica-se nos perfis termodinâmicos a presença de uma inversão térmica na maioria dos casos. Embora em alguns deles ela seja menor ou concentrada numa camada menor, a presença dessa inversão concorda com as observações de Stuart e Scorer.

Baseado nas afirmações de Stuart, espera-se encontrar grandes diferenças de temperatura entre 1000 e 850 hPa. Com isso, um ambiente altamente favorável se configura para a formação da nebulosidade nas primeiras camadas em contato com o oceano. A figura 9 mostra essa diferença em alguns dos casos selecionados.



9.1 2003



9.2 2004

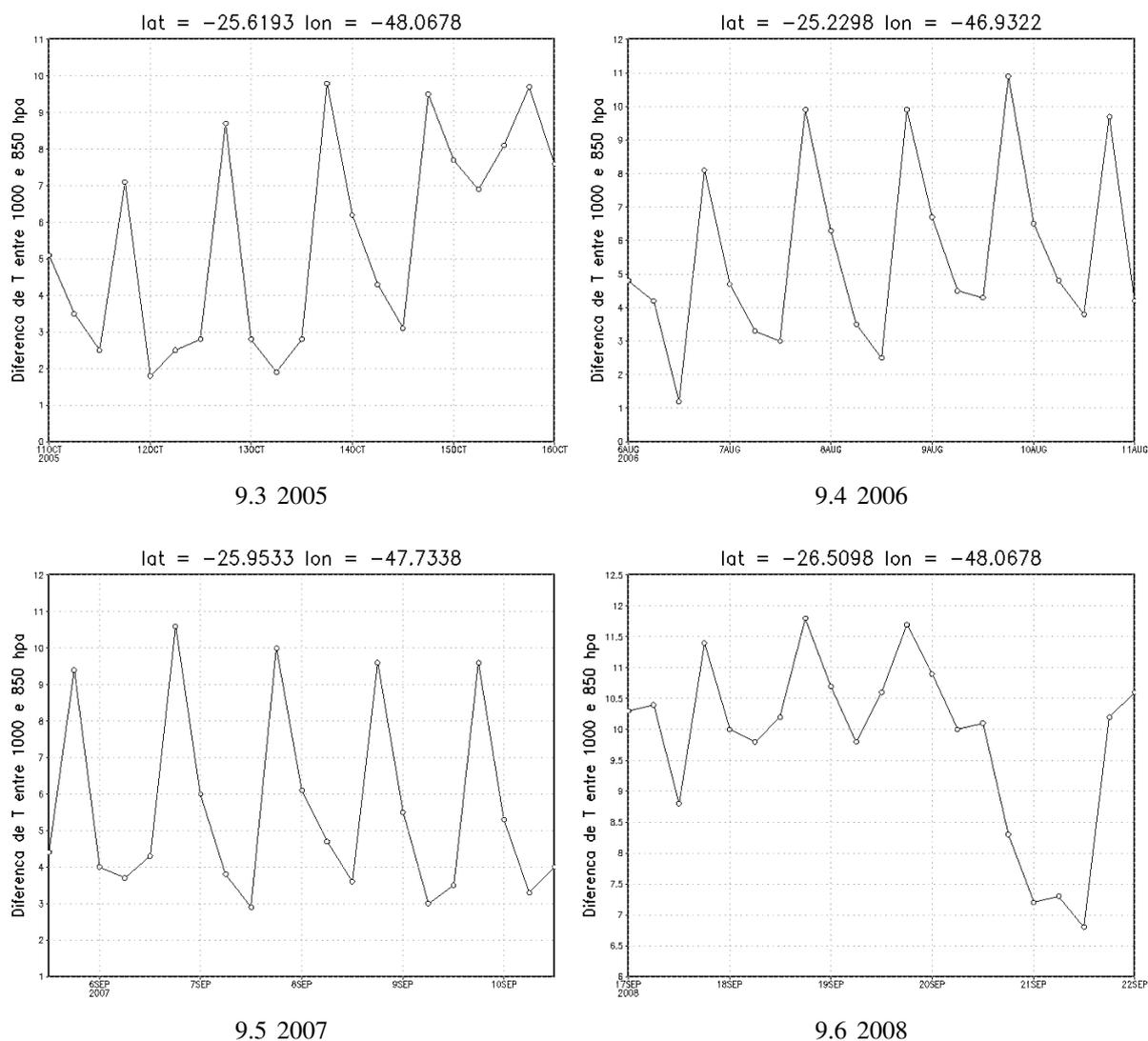
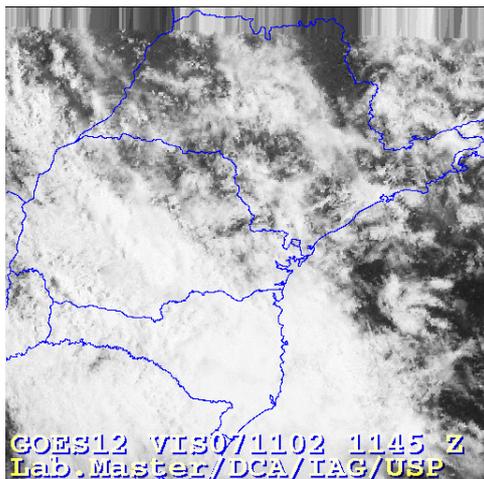


Figura 9: Diferença de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entre os níveis de 1000 e 850 hPa

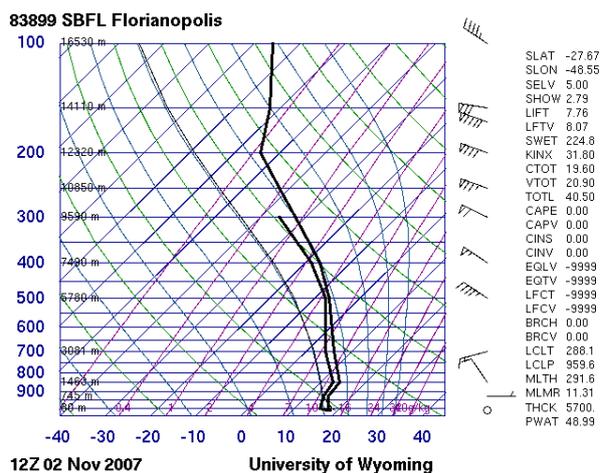
A figura 9 ilustra que nos casos de nebulosidade costeira a diferença de temperatura é de cerca de 10°C . Embora não seja uma diferença como a citada por Stuart (13°C), ainda pode-se considerar como sendo significativa.

2.2.3 Casos de dias não considerados

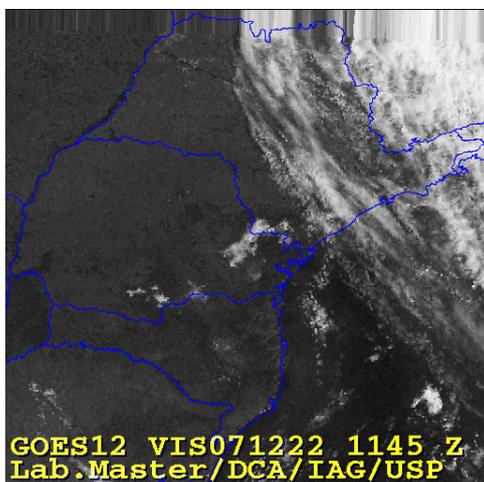
A seguir seguem-se três casos que não foram incluídos na seção anterior. Estes exemplos servem apenas para ilustrar o perfil termodinâmico da atmosfera nestes casos e para efeito de comparação com os diagramas apresentados anteriormente.



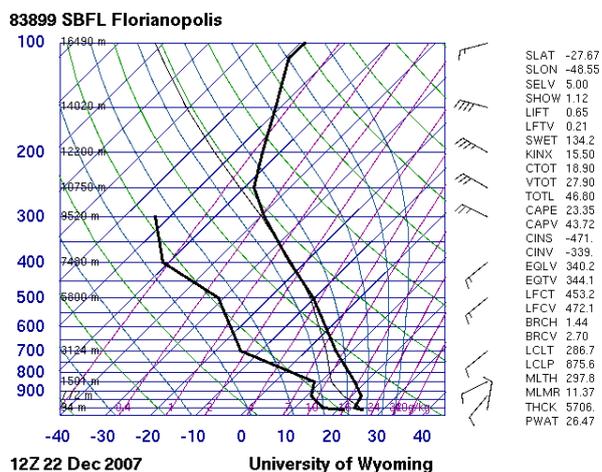
10.1 02/11/2007 11:45 Z



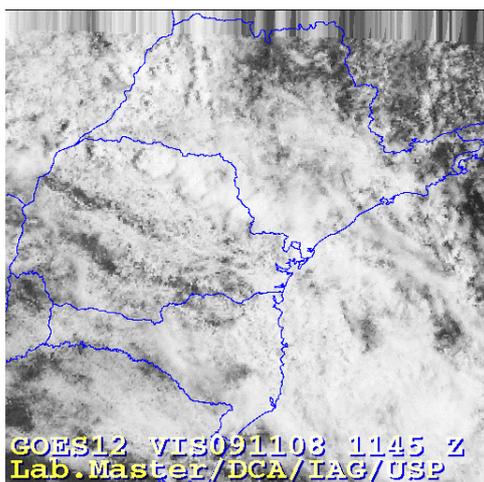
10.2 02/11/2007 12:00 Z



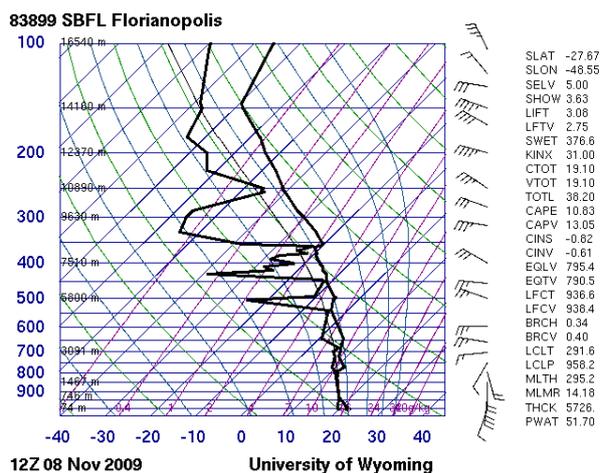
10.3 22/12/2007 11:45 Z



10.4 22/12/2007 12:00 Z



10.5 08/11/2009 11:45 Z



10.6 08/11/2009 12:00 Z

Figura 10: Perfil Termodinâmico da Atmosfera em casos que não foram selecionados

3 Metodologia

A análise climatológica dos eventos de nebulosidade mostrou que esse fenômeno ocorre com uma certa frequência na região. Esta observação fez com que se levantassem hipóteses relacionadas aos fatores que influenciam e mantêm a banda de nebulosidade. Inicialmente foram considerados os mecanismos sinóticos associados à presença de nuvens. Em seguida, considerou-se quais fatores regionais poderiam ter influência.

Observando as imagens de satélite dos eventos, percebe-se que a topografia influencia o padrão de nebulosidade. A banda de bulosidade normalmente está associada ao relevo da Serra do Mar e à baixa altitude da região do vale do Ribeira, no estado de São Paulo. Este fato indicou que a topografia deveria ser estudada mais atentamente, para se analisar sua relação com as nuvens costeiras.

Outro fator de interesse no estudo é a influência da TSM. Devido à região de interesse ser a costa leste do sudeste/sul do Brasil, alterações na TSM devem gerar uma maior ou menor disponibilidade de umidade para a formação de nuvens. Deve-se salientar ainda que a dimensão do Oceano Atlântico circundante à área de estudo é muito grande. Isto implica que o oceano pode gerar uma grande quantidade de vapor d'água e ser um fator de grande importância no estudo.

Por fim, considerou-se que a vegetação da região costeira pode ter algum impacto na nebulosidade. A região costeira compreendida entre o sul do estado do Rio de Janeiro e o norte do Rio Grande do Sul tem predominância do bioma da Mata Atlântica. Considerou-se que a evapotranspiração gerada na costa pode ter alguma contribuição na geração de nebulosidade.

Este fatores locais, juntamente com a forçante sinótica podem contribuir para a formação, ou até mesmo inibir a nebulosidade na região costeira. Com isso, é necessária uma maneira de se quantificar de uma maneira mais objetiva esses fatores. Utilizando-se um modelo numérico da atmosfera e uma metodologia adequada, pode-se avaliar se há o predomínio de algum dos fatores citados.

Para a execução das simulações numéricas utilizou-se o Brazilian Regional Modelling

System (BRAMS). Este modelo foi selecionado devido à familiaridade do autor com ele e pela grande quantidade de trabalhos em que ele foi utilizado, fazendo com que a quantidade de referências sobre o modelo fosse grande também. Além do modelo, uma metodologia adequada para se estudar cada uma das forçantes fez-se necessária. Utilizou-se então o desenvolvimento proposto por Stein e Alpert (STEIN; ALPERT, 1993) para a separação de variáveis em simulações numéricas. Tanto o modelo quanto a metodologia de Stein e Alpert (Op. cit.) serão discutidos com mais detalhes a seguir.

3.1 O Modelo BRAMS

O modelo BRAMS é a versão brasileira do Regional Atmospheric Modeling System (RAMS). Este modelo teve origem na Universidade do Colorado durante os anos 80, quando três modelos que existiam na universidade foram acoplados: um modelo de mesoescala para a simulação de nuvens, um modelo hidrostático de nuvens e um modelo de brisa marítima. A primeira versão do modelo surgiu em 1991 e um grande número de melhorias foram acrescentados, culminando num modelo de propósito geral e altamente configurável. Em sua utilização, pode-se escolher entre diversas parametrizações de nuvens, radiação e camada limite. Atualmente, o modelo é não-hidrostático (FREITAS, 2003).

As contribuições da comunidade científica nacional a esse modelo visam melhorar sua performance na região tropical, onde se encontra a maior parte do território brasileiro. Como exemplo de contribuição ao modelo, destaca-se a implementação da parametrização de cumulus rasos.

O modelo BRAMS é um modelo de área limitada, não-hidrostático e com a possibilidade de se utilizar múltiplas grades aninhadas. Este estudo utilizou a versão 4.2 do modelo, disponibilizada na página do CPTEC. Foram escolhidos três eventos para serem estudados, apresentados na tabela 2.

Evento	Data
1	05/09/2007 a 09/09/2007
2	21/11/2008 a 25/11/2008
3	05/08/2000 a 09/08/2000

Tabela 2: Eventos escolhidos para simulação

Cada um dos eventos selecionados para serem simulados foram escolhidos devido a certas características de cada um deles. O primeiro caso (07/09/2007) foi selecionado devido à configuração da banda de nebulosidade, visto nas imagens de satélite. As nuvens encontravam-se bem confinadas numa estreita faixa junto ao litoral paulista. Outro fator foi a presença de uma anomalia positiva de TSM. Este fato seria de extremo interesse ao se comparar com um caso de anomalia de TSM negativa. O segundo caso escolhido (07/08/2000) apresenta uma grande anomalia de TSM negativa. Com isso, poderia-se comparar os efeitos entre as duas simulações citadas. Por fim, o último caso escolhido (21/11/2008) foi o caso em que a persistência de nebulosidade foi máxima (5 dias). Este fato é de grande interesse para o presente estudo, podendo revelar qual das forçantes tem impacto na nebulosidade a longo prazo.

As configurações adotadas para cada experimento selecionado podem ser observadas na tabela 3.

Opções	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
Especificação das grades			
Número de grades	1	1	1
Número de pontos em X	180	180	180
Número de pontos em Y	230	230	230
Número de pontos em Z	32	32	32
Resolução horizontal em X	4000 m	4000 m	4000 m
Resolução horizontal em Y	4000 m	4000 m	4000 m
Centro da Grade (Latitude)	-25.5	-25.5	-25.5
Centro da Grade (Longitude)	-47.5	-47.5	-47.5
Coordenada vertical	sigma-z	sigma-z	sigma-z

continua

conclusão

Condições iniciais e de contorno			
Dados de inicialização	GFS	GFS	ETA
Resolução dos dados de inicialização	0.5°	0.5°	1.0°
Início das simulações (data)	05/09/2007	21/11/2008	05/08/2000
Início das simulações (hora)	12:00 Z	00:00 Z	00:00 Z
Duração das simulações	108 h	96 h	168 h
Tempo de Nudging (centro)	24 h	24 h	24 h
Tempo de Nudging (lateral)	3 h	3 h	3 h
Tempo de Nudging (topo)	3 h	3 h	3 h
Parametrizações físicas			
Radiação	Chen e Cotton	Chen e Cotton	Chen e Cotton
Parametrização de Cumulus	desligado	desligado	desligado
Parametrização de Cumulus Rasos	desligado	desligado	desligado
Nível da microfísica de nuvens	3	3	3

Tabela 3: Configurações utilizadas no modelo BRAMS

Foi utilizada a parametrização de Chen e Cotton (CHEN; COTTON, 1983, 1987), pois o esquema de radiação de onda curta inclui os efeitos de espalhamento Rayleigh, a absorção pelo vapor d'água e a inclinação pelo terreno. Para a radiação de onda longa, o esquema citado inclui a emissividade do vapor d'água e do dióxido de carbono. Um dos principais motivos da utilização deste esquema de radiação foi ele permitir que a água líquida e o gelo influenciem explicitamente os fluxos radiativos de onda curta e longa, sendo estes alterados pela nebulosidade (CAMARGO, 1998). Nas simulações numéricas, o esquema radiativo foi acionado a cada 1800 segundos.

Utilizou-se a técnica de relaxação Newtoniana ou *nudging* (WANG; WARNER, 1988). Este procedimento é um dos métodos de assimilação de dados em 4 dimensões e consiste em adicionar um termo nas equações governantes que reflete a diferença entre o valor observado da atmosfera e o estimado pelo modelo (OTTE, 2008). A formulação teórica desta técnica pode ser conferida na equação 1.

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = F + G_{\alpha} W(x, y, \sigma, t) \cdot (\alpha_0 - \alpha) \quad (1)$$

Equação 1: Formulação do *Nudging*

Na equação 1 o parâmetro F representa a física interna do modelo, G_α é o fator de relaxação, W é uma função de assimilação de dados 4-D e α_0 é valor de α interpolado para o ponto de grade. O *nudging* é aplicado em uma série de variáveis do modelo (HOKE; ANTHES, 1976), tais como as componentes horizontais do vento, a temperatura potencial, a razão de mistura, entre outros. Nas simulações deste estudo foi utilizado um valor de nudging de 86400 segundos. Este valor alto do tempo de *nudging* no interior do domínio faz com que a física de mesoescala seja dominante, enquanto que valores menores nas bordas laterais e no topo garantem a inclusão da situação de grande escala em função do predomínio dos termos de relaxação nestas regiões.

A topografia foi derivada do *Shuttle Radar Topography Mission*, ou SRTM (VALERIANO, 2004). Os dados obtidos por essa missão coordenada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) produziram arquivos com resolução espacial de 200 metros. Mais informações podem ser encontradas no site da missão (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>). Por fim, o domínio da simulação pode ser observado na figura 11.

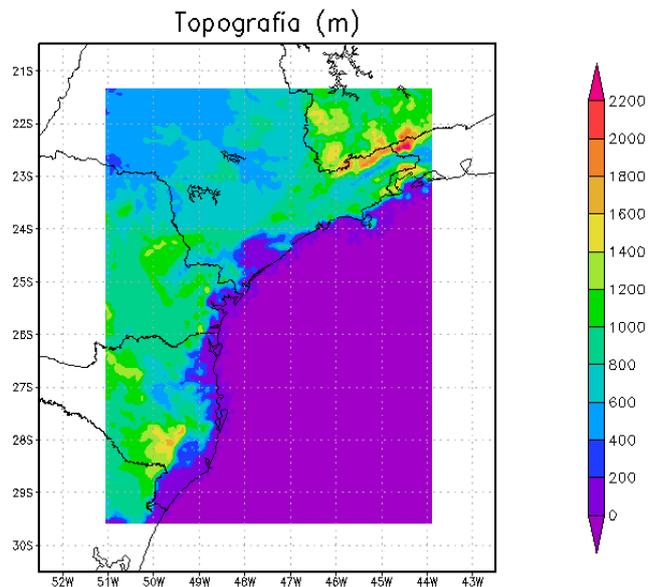


Figura 11: Domínio da simulação

3.2 Validação do Modelo

A validação do modelo foi realizada comparando-se visualmente o resultado do modelo com imagens de satélite. Verificou-se se o modelo reproduzia as nuvens costeiras, conforme pode-se observar na figura 12. Utilizou-se as simulações mais próximas da realidade, com a TSM semanal e a evapotranspiração original do modelo. Considerou-se a variável *cloud* (quantidade de água de nuvem, em $g \cdot kg^{-1}$) integrada entre os níveis 975 hPa e 850 hPa.

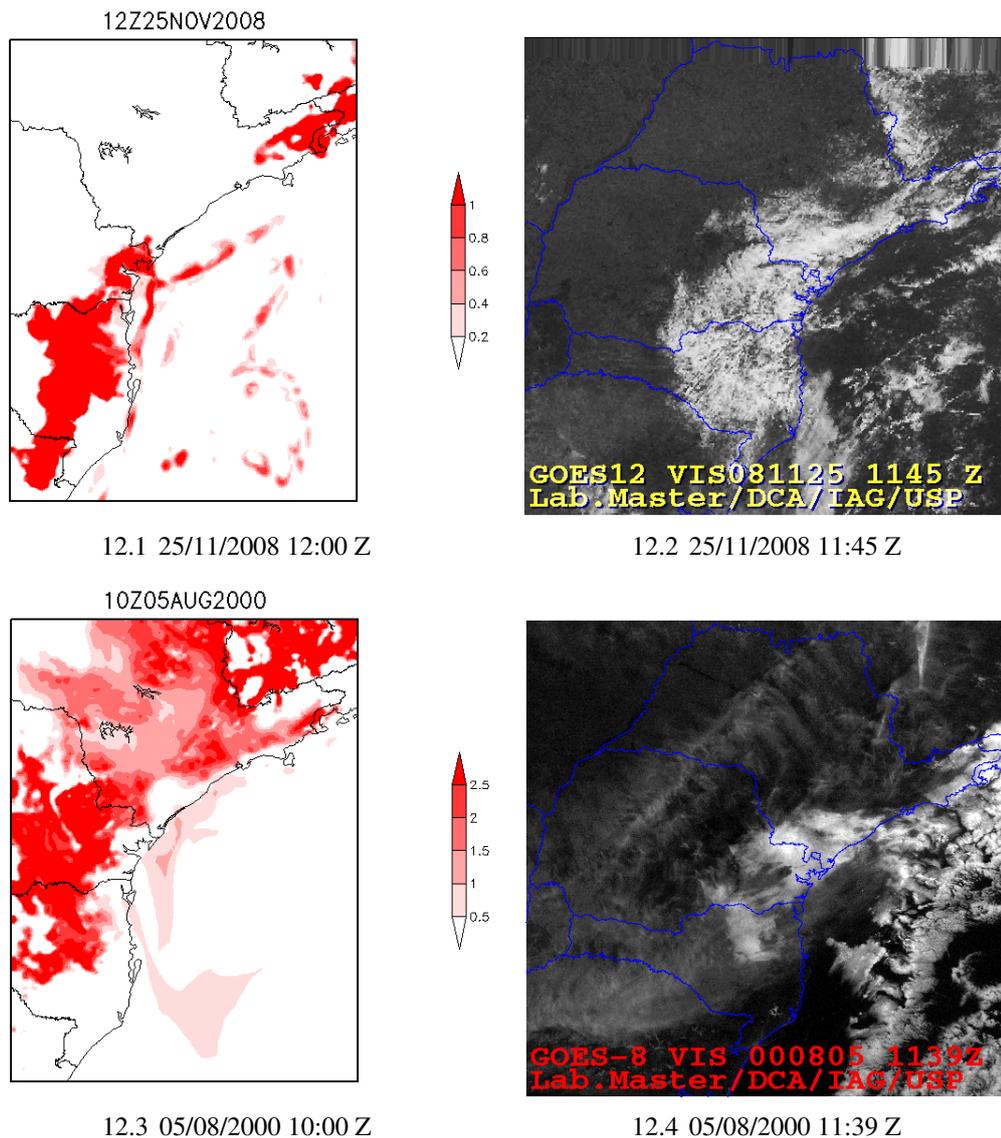


Figura 12: Validação do Modelo BRAMS

As imagens mostram exemplos do desempenho do modelo BRAMS em simular os casos. Pode-se observar que, embora não sejam idênticas, as figuras mostram que o modelo consegue simular de maneira satisfatória o evento pretendido.

3.3 A metodologia de Stein e Alpert

Uma das dificuldades encontradas quando se pretende quantificar a influência de determinados fatores em um fenômeno são as relações não-lineares entre esses fatores. Relações não-lineares fazem com que uma variável dependente (ou função) tenha um comportamento difícil de prever. Isto ocorre porque o aumento de uma variável independente da função pode aumentar seu valor, enquanto que o aumento de duas ou mais variáveis independente pode diminuir o valor dela. A fim de se realizar uma abordagem quantitativa sobre uma variável regida por uma relação não-linear, Stein e Alpert (STEIN; ALPERT, 1993) desenvolveram uma metodologia para isso. A abordagem proposta por eles separa as forças isoladas e as forças combinadas, sendo que ao final a soma de todas produz o campo total da variável estudada. Esta metodologia requer que para cada força (variável independente) considerada, se faça uma simulação com a presença desse fator e outra com a ausência dela. Quando se considera mais de uma variável independente, deve-se realizar as combinações possíveis entre as variáveis ausentes e presentes. Com isso o número de simulações realizadas é 2^n , onde n é o número de variáveis considerado no estudo. O conjunto de equações (2) descrevem essas relações, considerando apenas 3 fatores:

$$\hat{f}_0 = f_0 \quad (2a)$$

$$\hat{f}_1 = f_1 - f_0 \quad (2b)$$

$$\hat{f}_2 = f_2 - f_0 \quad (2c)$$

$$\hat{f}_3 = f_3 - f_0 \quad (2d)$$

$$\hat{f}_{12} = f_{12} - (f_1 + f_2) + f_0 \quad (2e)$$

$$\hat{f}_{13} = f_{13} - (f_1 + f_3) + f_0 \quad (2f)$$

$$\hat{f}_{23} = f_{23} - (f_2 + f_3) + f_0 \quad (2g)$$

$$\hat{f}_{123} = f_{123} - (f_{12} + f_{13} + f_{23}) + (f_1 + f_2) - f_0 \quad (2h)$$

Equação 2: Cálculos de Stein e Alpert

Neste estudo considerou-se que a nebulosidade costeira é influenciada por 3 fatores locais. Embora não se considere na metodologia o efeito dos mecanismos sinóticos, eles já foram abordados na climatologia deste estudo. Com isso, procedeu-se à realização das 8 simulações, conforme descrito na tabela 4.

Simulações BRAMS				
Experimento	Notação da Metodologia	Topografia	TSM	Evapotranspiração
simulação 1	f_{123}	presente	semanal	presente
simulação 2	f_{12}	presente	semanal	ausente
simulação 3	f_{13}	presente	climatológica	presente
simulação 4	f_1	presente	climatológica	ausente
simulação 5	f_{23}	ausente	semanal	presente
simulação 6	f_2	ausente	semanal	ausente
simulação 7	f_3	ausente	climatológica	presente
simulação 8	f_0	ausente	climatológica	ausente

Tabela 4: Simulações realizadas

Esta metodologia faz com que as forçantes de interesse possam estar presentes ou ausentes nas simulações. As próximas seções detalham os procedimentos realizados nos experimentos numéricos.

3.3.1 Ausência da topografia

Para se verificar a influência da topografia, ela precisaria estar presente em algumas simulações e ausente em outras. Isto foi feito alterando-se uma flag (variável) no Namelist (arquivo de configuração do modelo) RAMSIN. A configuração original do arquivo era

`ITOPTFLG = 1, 1, 1, 1,`

e a alteração realizada foi:

`ITOPTFLG = 2, 1, 1, 1,`

Esta configuração faz com que o modelo acesse uma subrotina interna (*TOPTINIT*) e permite ao usuário definir a elevação da topografia. Quando não são realizadas alterações no código da subrotina, ela retorna o valor padrão de altura do terreno igual a zero.

Um fato a ser observado é qual atmosfera o modelo atribui à região que anteriormente havia topografia. Observa-se que no domínio da simulação apenas a faixa litorânea não seria afetada pela ausência da topografia. O modelo BRAMS substitui a topografia por uma atmosfera adiabática não saturada. Conseqüentemente as temperaturas nas simulações sem o relevo são maiores do que as com a presença da topografia.

3.3.2 Alteração da temperatura da superfície do mar

Para o estudo de como a TSM poderia afetar a presença da nebulosidade, adotou-se dois arquivos de TSM distintos. Um deles com a TSM climatológica, representando o estado básico de temperatura e outro com a TSM semanal. O segundo arquivo contém as informações de TSM semanais para cada ano. A diferença entre a TSM climatológica e semanal pode ser observada na figura 13.

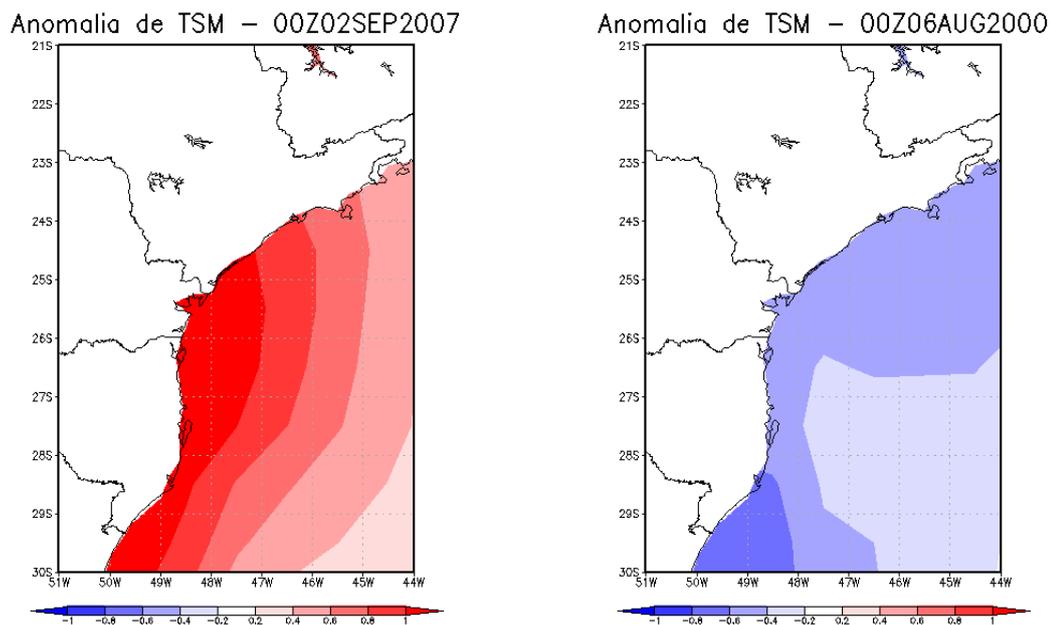


Figura 13: Anomalia de TSM

As figuras indicam dois diferentes estados da superfície do oceano Atlântico junto à costa do sudeste. O caso do dia 07/09/2007 apresenta uma anomalia de TSM positiva, enquanto o caso de agosto do ano 2000 revela uma anomalia levemente negativa. O estudo destes dois casos conjuntamente visa levar um melhor entendimento de como a TSM influi na nebulosidade costeira.

3.3.3 Controle da evapotranspiração da região costeira

A modificação da evapotranspiração da região costeira realizando-se uma alteração no código do BRAMS. Inicializou-se quantidade de água no solo de duas maneiras distintas: uma com um perfil mais seco e outro mais úmido. Uma observação a ser feita é que não se realizou o controle efetivo da evapotranspiração, mas o da evaporação da região costeira. Considerando que a diminuição da disponibilidade hídrica leva ao fechamento dos estômatos das folhas, a vegetação acaba por ter uma menor transpiração, segundo estudo desenvolvido por Denmead & Shaw (DENMEAD; SHAW, 1962).

Os perfis de umidade do solo utilizados nas simulações são de uma microbacia da Mata Atlântica, na região da Serra do Mar (RANZINI et al., 2004). Estes perfis mostram três estados distintos da umidade no solo. O primeiro deles foi um perfil úmido, obtido após um evento de precipitação. Em seguida, a região do experimento foi coberta, a fim de evitar que novos episódios de precipitação atingissem a área de estudo. Fez-se então novas medidas de umidade após 9 e 20 dias, obtendo-se assim os perfis normal e seco, respectivamente. Os valores de umidade do solo obtido nesse estudo podem ser observados na figura 14.

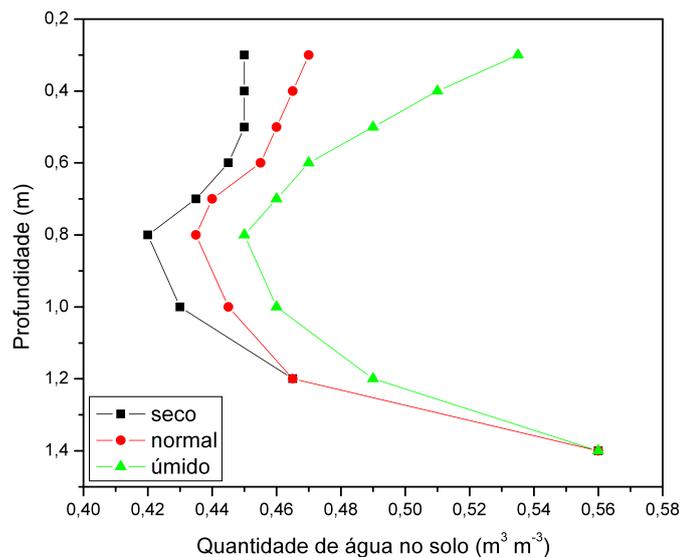


Figura 14: Perfil de umidade utilizado no modelo (Adaptado de Ranzini)

Para que os perfis de umidade fossem implementados no modelo, realizaram-se alterações

no arquivo *ruser.f90*. Este arquivo possui uma coleção de subrotinas visando a personalização de variáveis do modelo. A listagem contida no apêndice 2 deste trabalho mostra as alterações realizadas. Com isso, gerou-se a figura 15 para avaliação da área em que haveria alterações da umidade do solo.

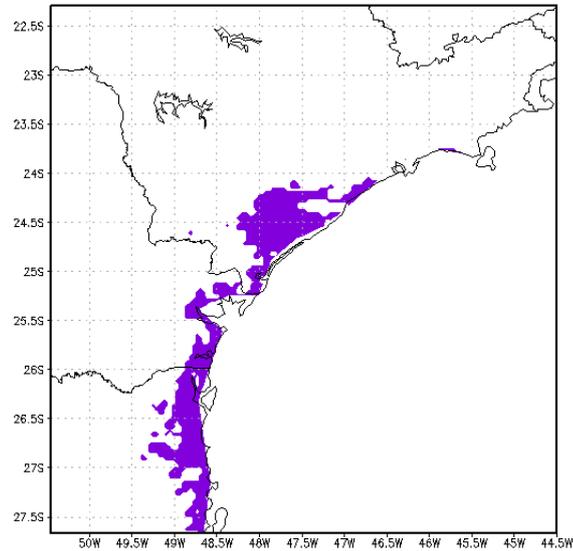


Figura 15: Área em que a umidade do solo foi alterada

A região hachurada mostra a área em que houve mudança da umidade do solo. Pode-se notar que apenas as regiões próximas à costa sofreram alterações.

4 Resultados

Após a realização das simulações numéricas, produziu-se um conjunto de imagens e gráficos seguindo a metodologia proposta. As figuras foram geradas através de um script do software grads. Com isso pretende-se analisar o impacto de cada forçante na nebulosidade. Cada caso simulado será analisado individualmente.

4.1 O caso de 05/09/2007 a 09/09/2007

A figura 16 permite avaliar a variável *cloud* no modelo. Esta variável está integrada verticalmente entre os níveis 1 (1000 hPa) e 6 (850 hPa).

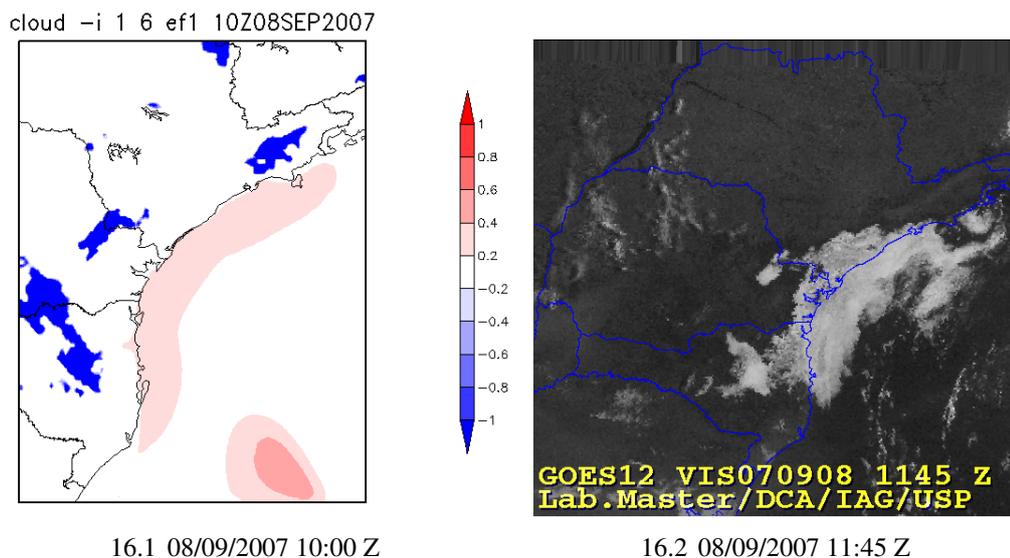
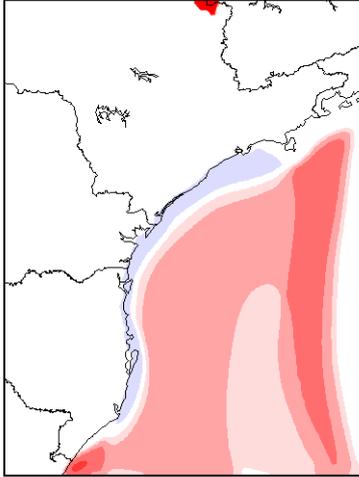


Figura 16: Efeito da topografia no caso de 07/09/2007

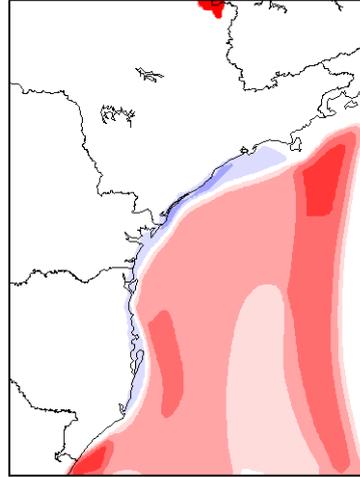
Pode-se observar na figura 16 os padrões semelhantes de quantidade de água de nuvem e a imagem de satélite. Verifica-se que em ambas as imagens a topografia desempenha um papel importante na forma da nebulosidade. A figura 17 mostra um efeito interessante. A topografia provoca uma convergência de umidade, provocando um aumento da variável *cloud* na região do oceano adjacente. Junto à costa o efeito é inverso. O escoamento faz com que haja precipitação na região.

cloud -i 1 6 ef1 01Z09SEP2007



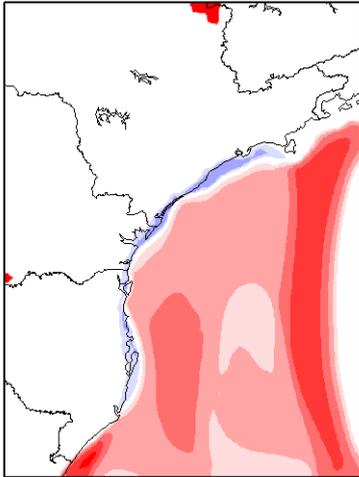
17.1 09/09/2007 01:00 Z

cloud -i 1 6 ef1 02Z09SEP2007



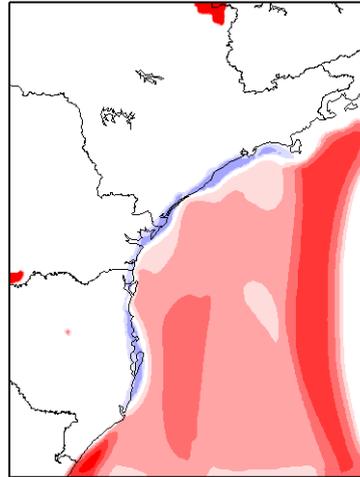
17.2 09/09/2007 02:00 Z

cloud -i 1 6 ef1 04Z09SEP2007



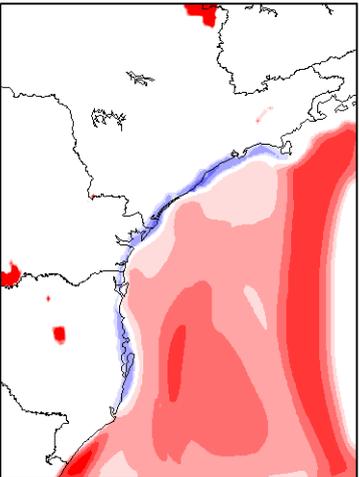
17.3 09/09/2007 04:00 Z

cloud -i 1 6 ef1 05Z09SEP2007



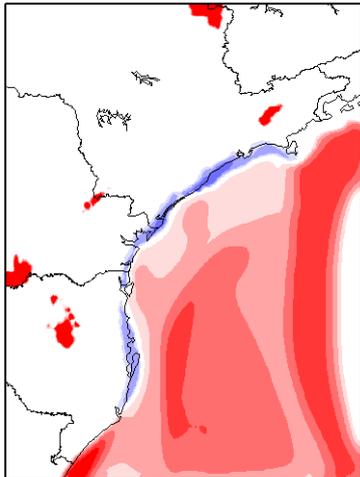
17.4 09/09/2007 05:00 Z

cloud -i 1 6 ef1 06Z09SEP2007



17.5 09/09/2007 06:00 Z

cloud -i 1 6 ef1 07Z09SEP2007



17.6 09/09/2007 07:00 Z

continua

conclusão

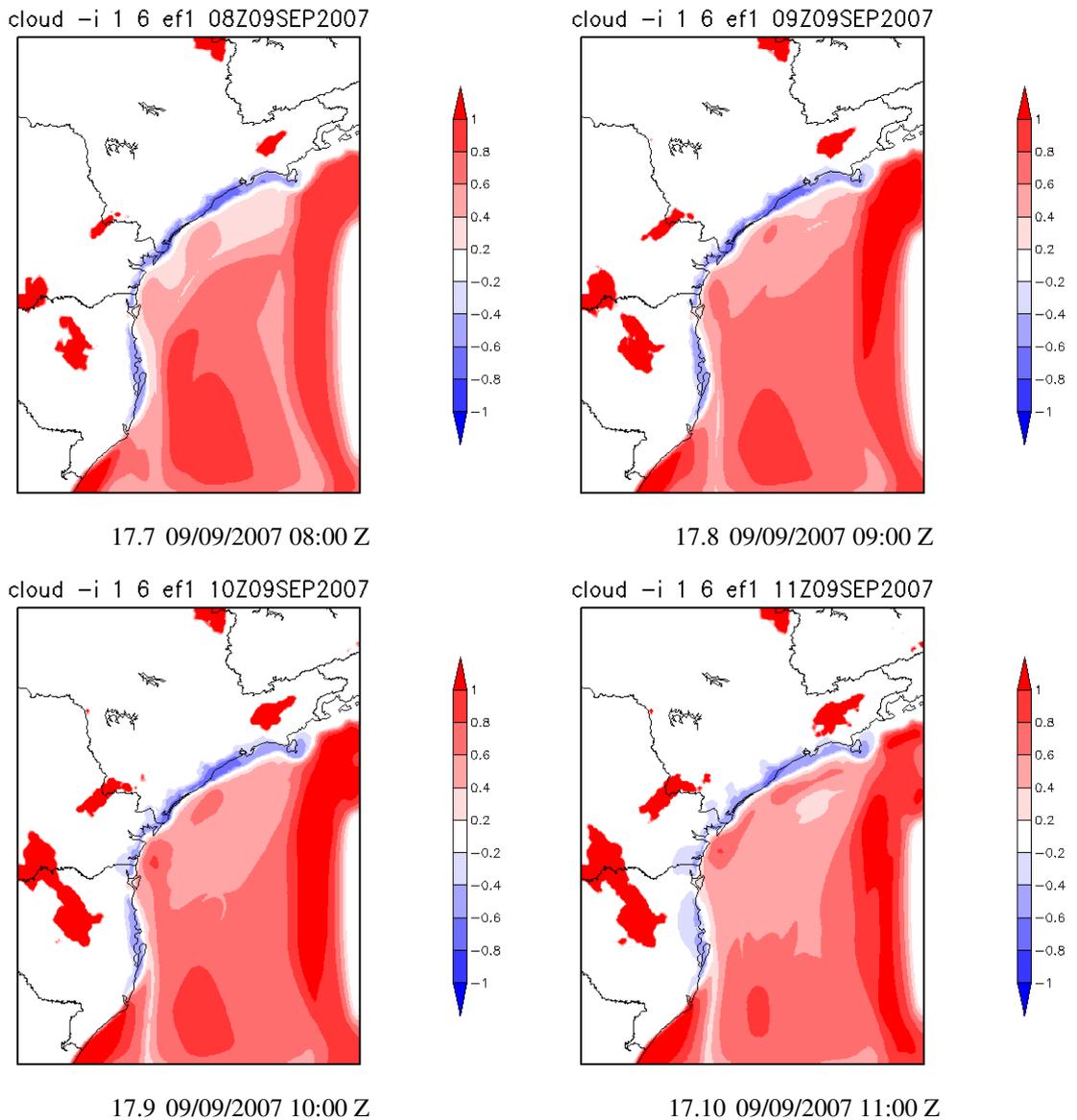
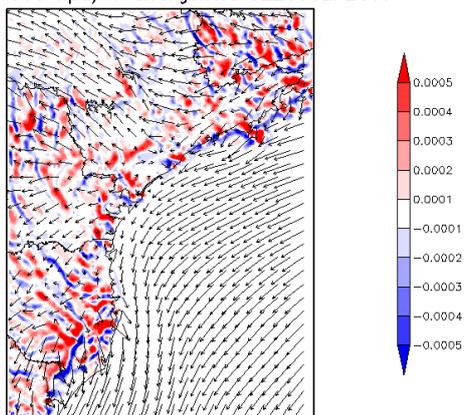


Figura 17: Efeito da topografia em 09/09/2007

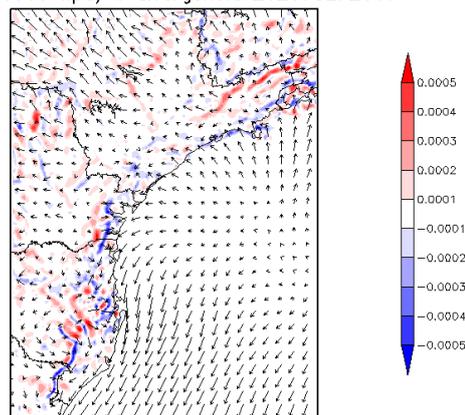
O vento em 900 hPa e as áreas de divergencia podem ser observadas na figura 18. Estas figuras foram criadas utilizando-se apenas a simulação 1, onde havia uma representação mais realista da atmosfera. Isto foi feito devido à dificuldade de análise de campos vectoriais utilizando a metodologia de Stein e Alpert.

vento (1000 hpa) e divergencia 02Z05SEP2007



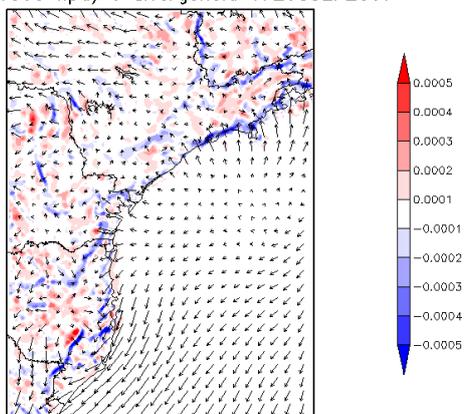
18.1 05/09/2007 02:00 Z

vento (1000 hpa) e divergencia 21Z07SEP2007



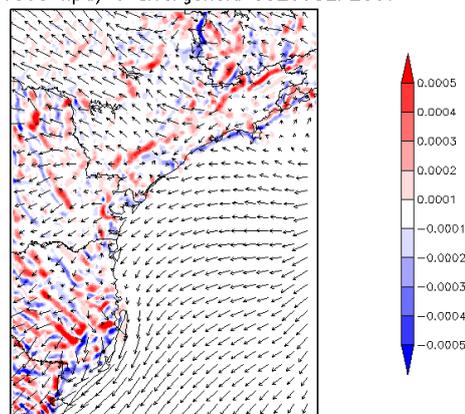
18.2 07/09/2007 21:00 Z

vento (1000 hpa) e divergencia 17Z08SEP2007



18.3 08/09/2007 17:00 Z

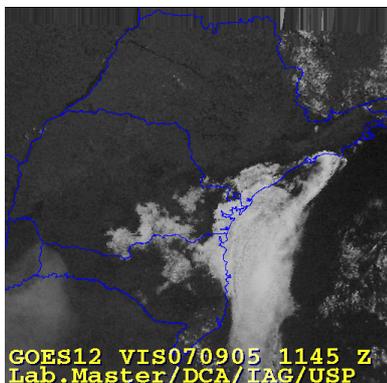
vento (1000 hpa) e divergencia 03Z09SEP2007



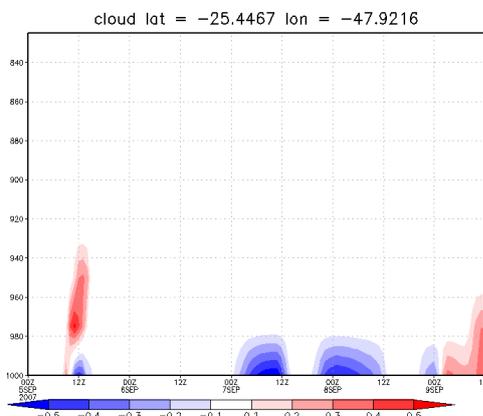
18.4 09/09/2007 03:00 Z

Figura 18: Vento e divergência do vento em 05-07/09/2007

Por fim, verificou-se o perfil vertical de *cloud*. Utilizou-se uma imagem de satélite para se definir um ponto em que havia nebulosidade. O resultado pode ser conferido na figura 19.



19.1 05/09/2007 11:45 Z



19.2 efl

continua

conclusão

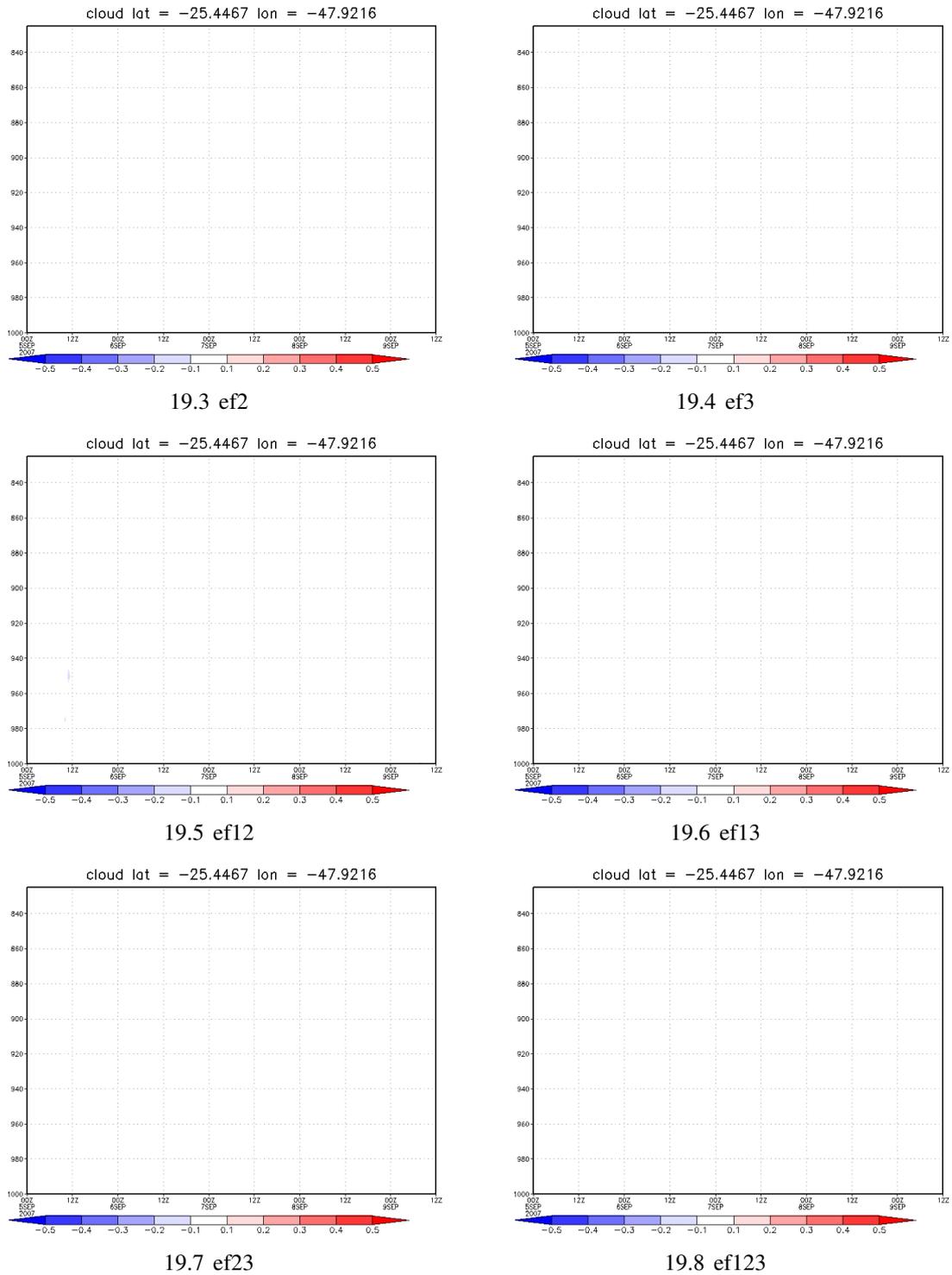


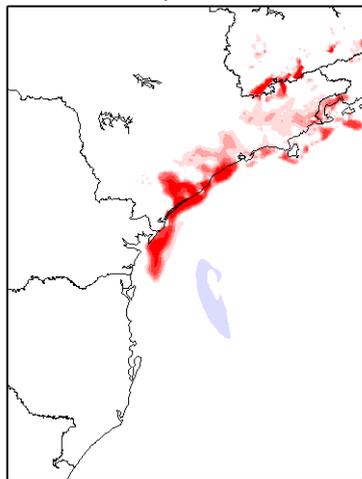
Figura 19: Perfil vertical de cloud em 05-09/09/2007

A figura 19 indica que a TSM e a evapotranspiração são praticamente nulas no ponto selecionado. A topografia tem alguma influência, mas não exatamente no instante da imagem de satélite. Supõe-se que essa influência pode alterar o valor de *cloud* sem gerar nuvens.

4.2 O caso de 05/08/2000 a 09/08/2000

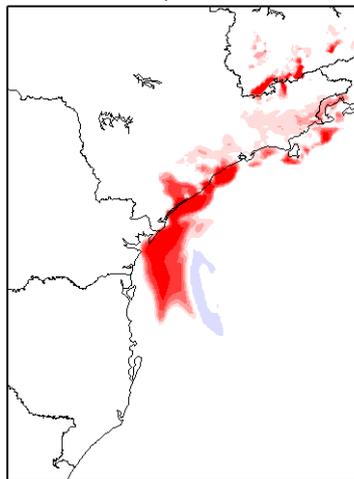
A figura 20 mostra a evolução de *cloud*, considerando apenas a influência da topografia. Analisou-se o nível de 875 hPa, para elucidar o padrão da variável pouco acima do relevo.

cloud lev = 875 hpa ef1 08Z05AUG2000



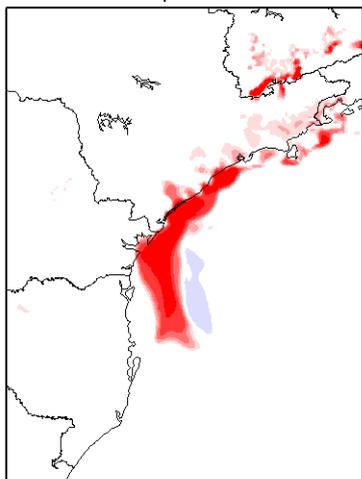
20.1 05/08/2000 08:00 Z

cloud lev = 875 hpa ef1 09Z05AUG2000



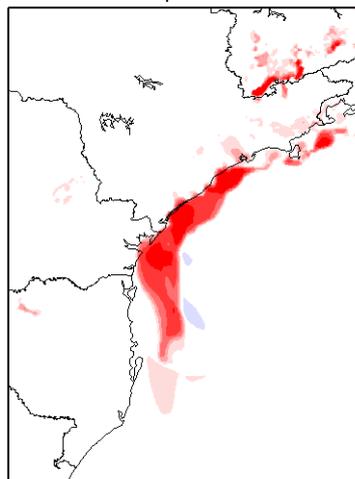
20.2 05/08/2000 09:00 Z

cloud lev = 875 hpa ef1 10Z05AUG2000



20.3 05/08/2000 10:00 Z

cloud lev = 875 hpa ef1 11Z05AUG2000

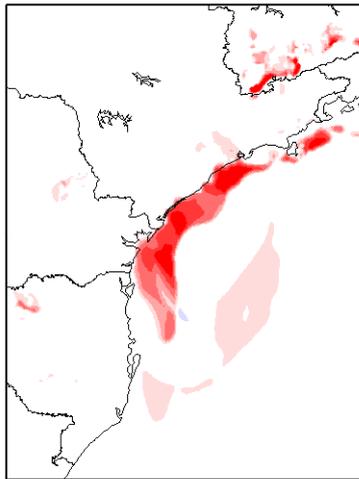


20.4 05/08/2000 11:00 Z

continua

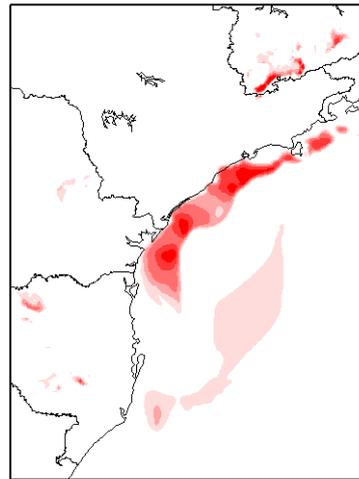
conclusão

cloud lev = 875 hpa ef1 12Z05AUG2000



20.5 05/08/2000 12:00 Z

cloud lev = 875 hpa ef1 13Z05AUG2000

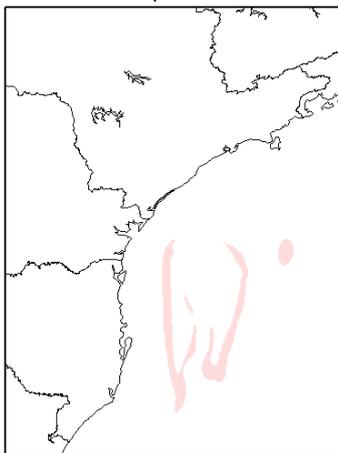


20.6 05/08/2000 13:00 Z

Figura 20: Efeito da topografia no caso de 05/08/2000

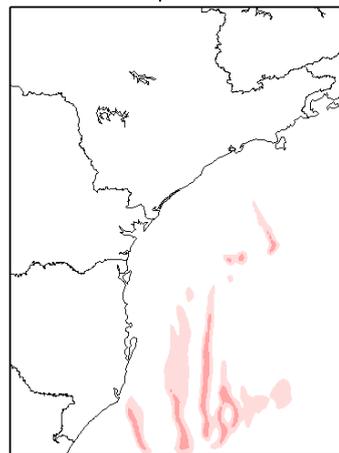
A figura 20 demonstra que a topografia tem uma grande contribuição na nebulosidade costeira. As imagens mostram uma contribuição positiva para a variável *cloud* (água de nuvem) no nível de 875 hPa. Para o mesmo nível, não foram encontrados efeitos significativos das outras variáveis ou da combinação entre elas. A figura 21 ilustra este fato.

cloud lev = 875 hpa ef2 08Z05AUG2000



21.1 05/08/2000 08:00 Z

cloud lev = 875 hpa ef2 15Z05AUG2000

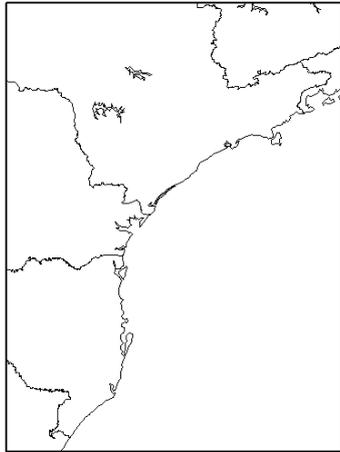


21.2 05/08/2000 15:00 Z

continua

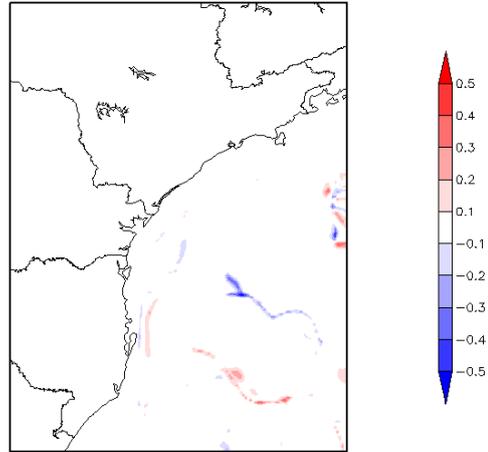
conclusão

cloud lev = 875 hpa ef3 01Z06AUG2000



21.3 06/08/2000 01:00 Z

loud lev = 875 hpa ef123 04Z06AUG2000

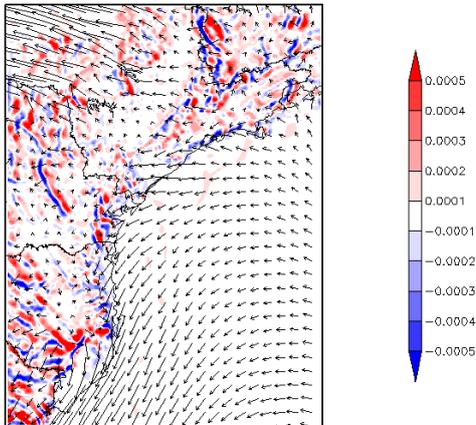


21.4 06/08/2000 04:00 Z

Figura 21: Efeito das outras variáveis no caso de 05/08/2000

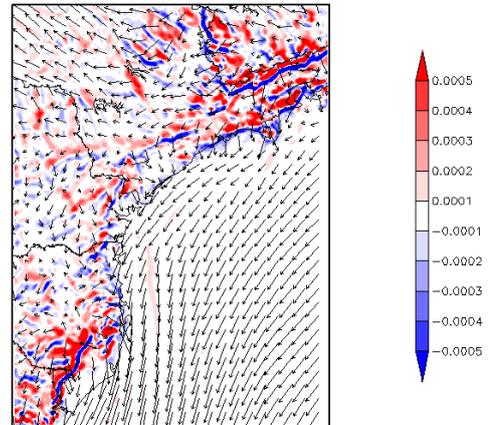
O escoamento para este caso pode ser conferido na figura 22.

vento (925 hpa) e divergencia 15Z05AUG2000



22.1 05/08/2000 15:00 Z

vento (925 hpa) e divergencia 07Z06AUG2000

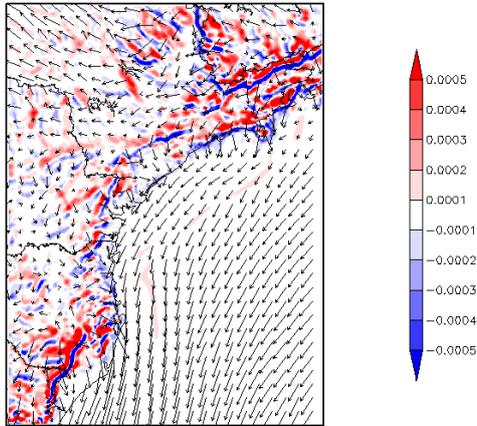


22.2 06/08/2000 07:00 Z

continua

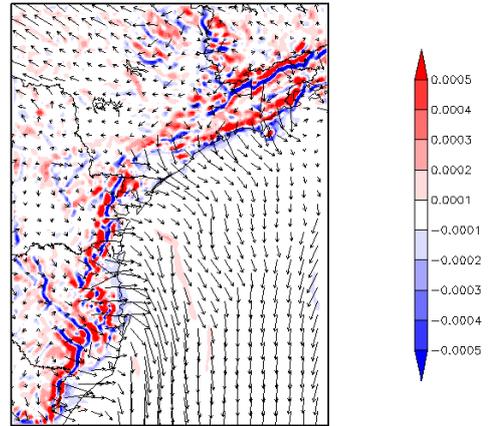
conclusão

vento (925 hpa) e divergencia 08Z06AUG2000



22.3 06/08/2000 08:00 Z

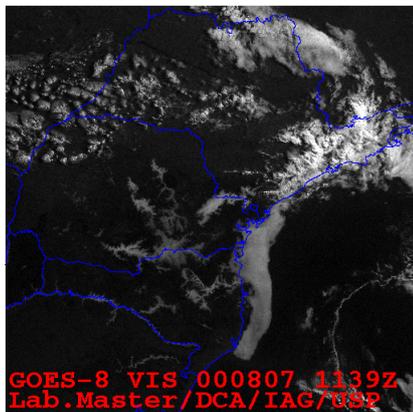
vento (925 hpa) e divergencia 15Z06AUG2000



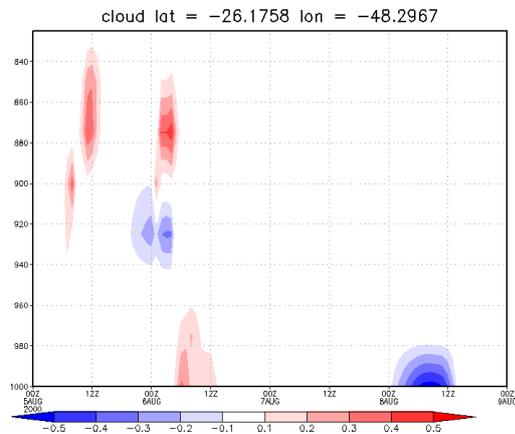
22.4 06/08/2000 15:00 Z

Figura 22: Vento e divergência do vento em 05/08/2000

A figura 22 permite afirmar que o padrão de divergência/convergência do vento na costa leste está altamente relacionado com o padrão de nebulosidade. A figura 23 mostra o efeito da topografia no perfil vertical de *cloud*.



23.1 07/08/2000 11:39 Z



23.2 efl

continua

conclusão

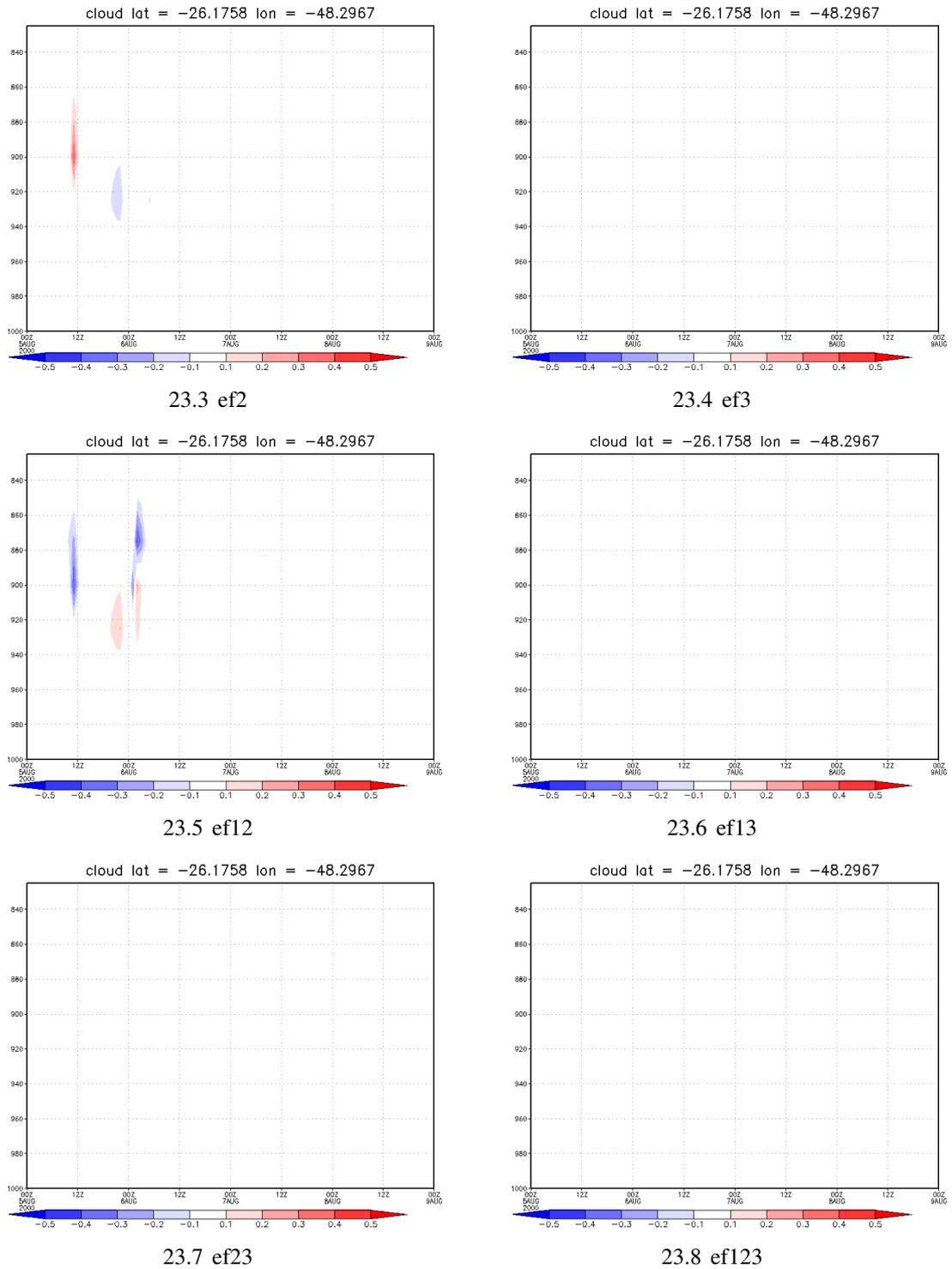
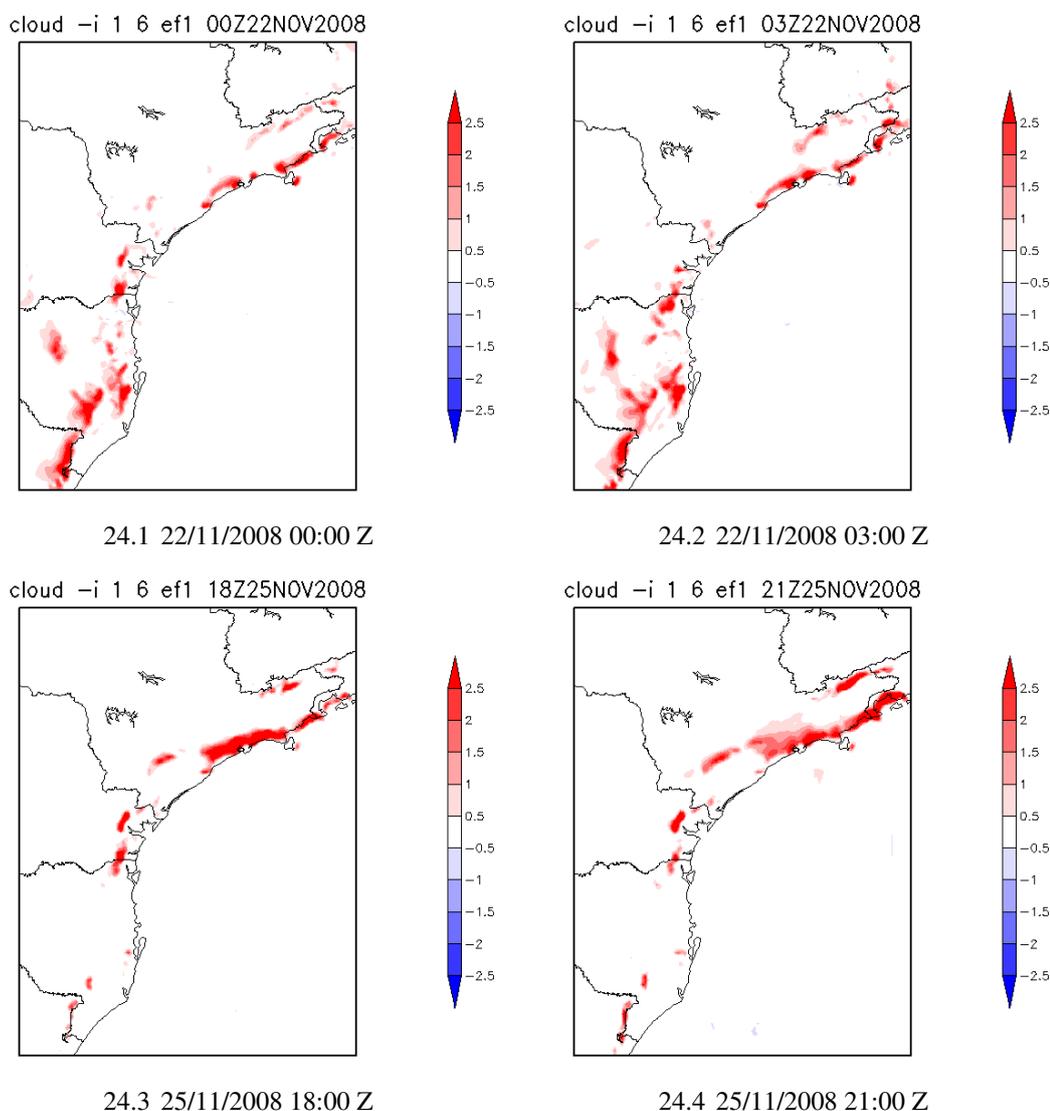


Figura 23: Perfil vertical de cloud em 05-09/08/2000

Neste caso também se observa que a TSM e a evapotranspiração não são significativas na formação de nebulosidade. A topografia tem uma contribuição discreta, como no caso anterior.

4.3 O caso de 21/11/2008 a 25/11/2008

O último caso simulado segue o modelo dos anteriores, mas sofreu uma significativa mudança em sua metodologia. Ao se observar a pequena contribuição da TSM e da evapotranspiração para em *cloud*, optou-se por analisar apenas a influência da topografia neste caso. Outro fator para esta mudança foi o tempo de simulação do evento, notando-se que este caso é o de maior tempo de integração. Com isto, os scripts foram alterados para trabalharem com apenas duas simulações e uma variável. A figura 20 demonstra o efeito da topografia na variável atmosférica *cloud*. Análogo ao primeiro caso, a figura 24 mostra o padrão de *cloud* integrada nos 6 primeiros níveis verticais.



continua

conclusão

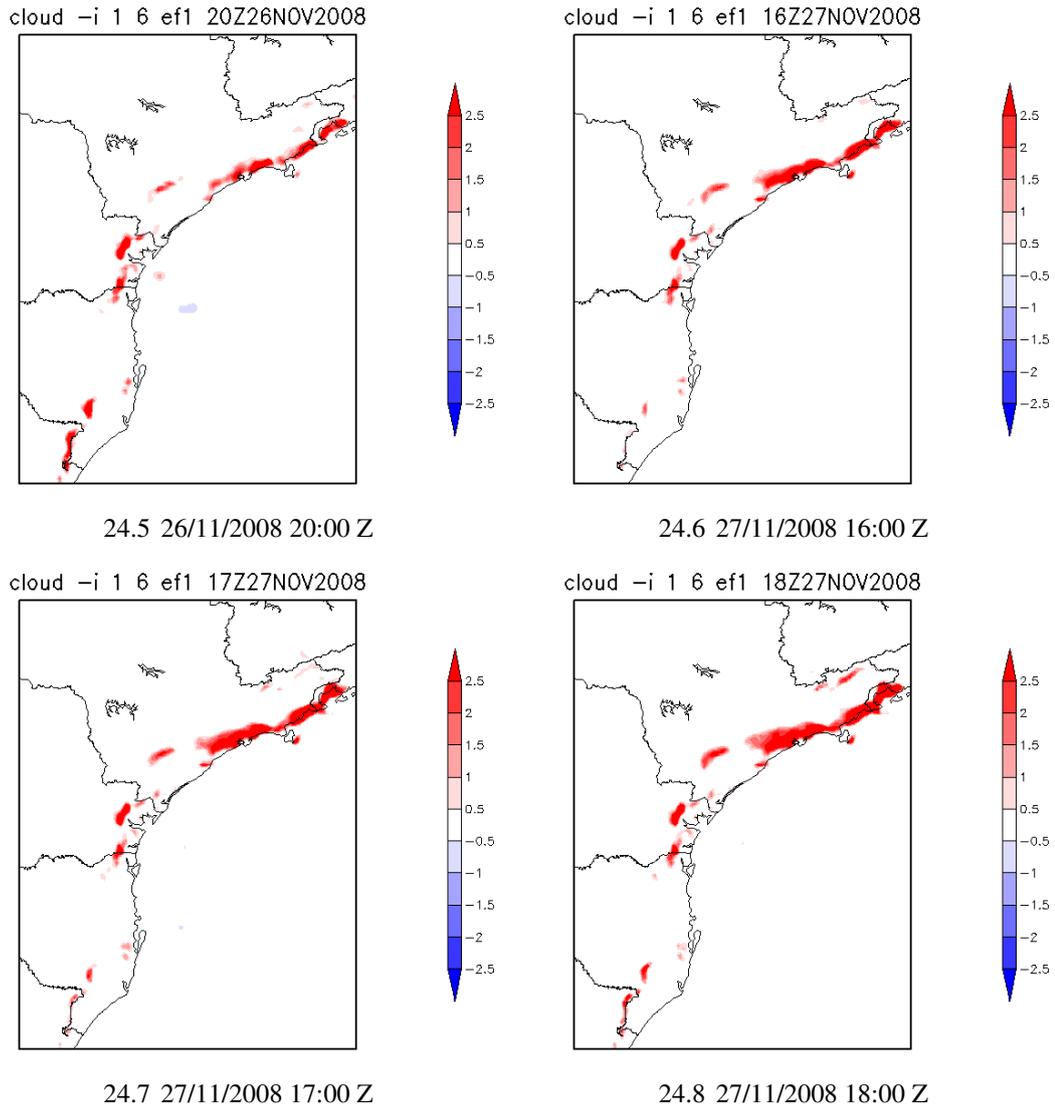
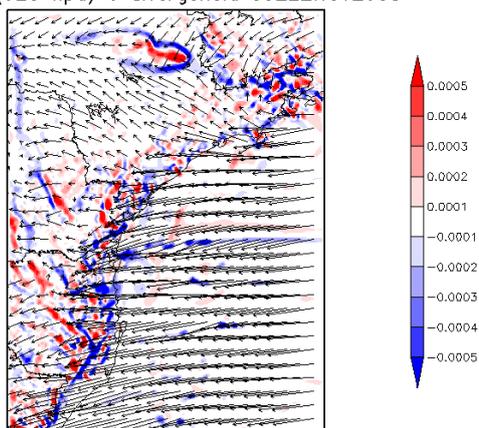


Figura 24: Efeito da topografia no caso de 21/11/2008

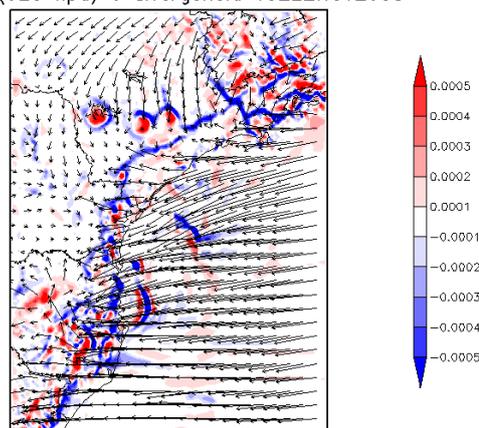
A figura 24 mostra que a topografia teve uma contribuição mais significativa do que nos casos anteriores. Verifica-se que há cerca 2,5 gramas de água devido à influência da topografia. Nota-se também que a forma da nebulosidade segue o relevo da região costeira. Por fim, uma análise do escoamento (figura 25) pode sugerir como se comportava o padrão de divergência/convergência do vento, contribuindo para os altos valores de *cloud*.

vento (925 hpa) e divergencia 03Z22NOV2008



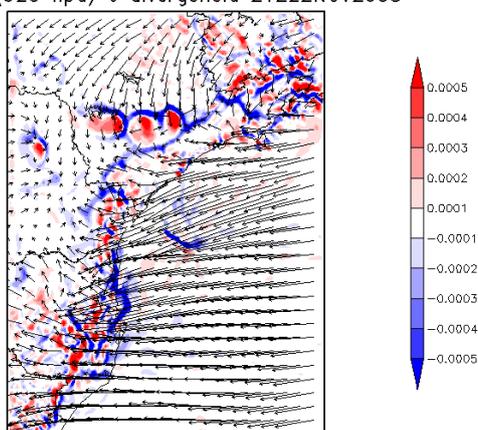
25.1 22/11/2008 03:00 Z

vento (925 hpa) e divergencia 19Z22NOV2008



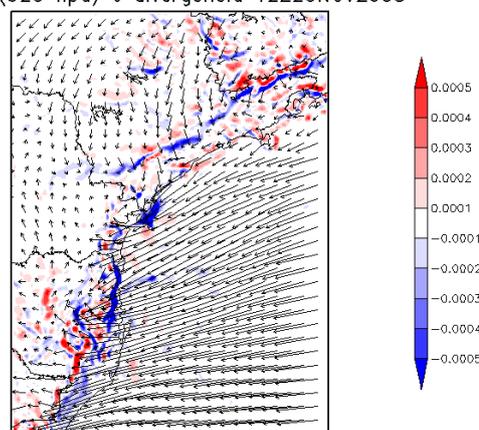
25.2 22/11/2008 19:00 Z

vento (925 hpa) e divergencia 21Z22NOV2008



25.3 22/11/2008 21:00 Z

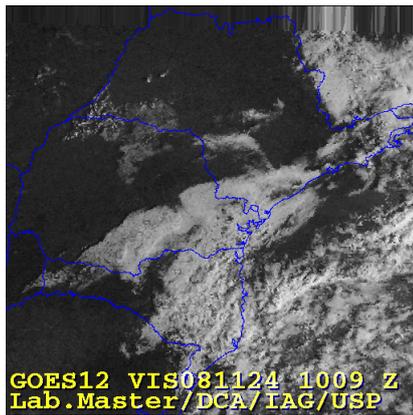
vento (925 hpa) e divergencia 12Z23NOV2008



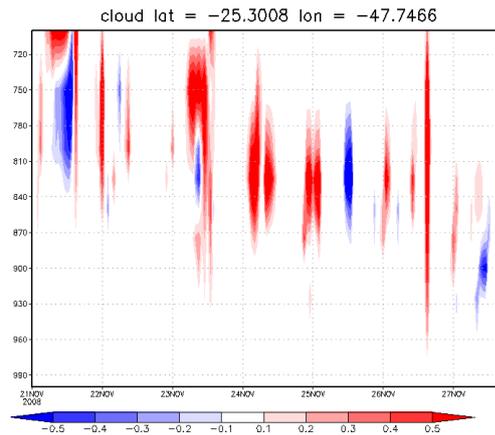
25.4 23/11/2008 12:00 Z

Figura 25: Vento e divergência do vento em 22-23/11/2008

A figura 25 demonstra que há altos valores de convergência do vento ao longo da costa. Essa convergência pode estar associada a ventos ascendentes, provocando nuvens do tipo cumuliforme. Por isso os altos valores registrados na figura 24. Para um ponto onde se verificou a presença de nuvens, traçou-se o perfil vertical de *cloud*, representado na figura 26.



26.1 24/11/2008 10:09 Z



26.2 ef1

Figura 26: Perfil vertical de cloud em 21-25/11/2008

A figura 26 confirma a influência da topografia neste caso. Pela imagem de satélite comprova-se que este caso possui nuvens do tipo cumulus. Este caso indica que, pelo menos ao final de sua existência, a banda de nebulosidade assumiu a forma de nuvens induzidas pela topografia.

5 Conclusão

Este estudo procurou compreender os mecanismos responsáveis pela formação e persistência de nebulosidade na costa leste do sul/sudeste brasileiro. Procurou-se fazer inicialmente uma climatologia do padrão de nuvens, procurando algumas informações iniciais. Em seguida procurou-se quantificar a influência de determinados fatores considerados importantes na formação e persistência da banda de nuvens. Isso foi conseguido com o modelo numérico da atmosfera BRAMS (Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System) e uma metodologia adequada.

A pesquisa em bancos de dados de imagens de satélites forneceu um panorama da nebulosidade ao longo de 10 anos (2000-2009). Este levantamento climatológico dos eventos mostrou que uma grande quantidade de eventos de nebulosidade ocorrem nos meses de agosto, setembro e outubro. Isto ocorre devido à temperatura do Oceano Atlântico ser mais quente do que o ar acima dele. Isto faz com que as primeiras camadas junto à superfície fiquem mais úmidas, devido à evaporação provinda do oceano. Estes resultados concordam com a bibliografia sobre o assunto.

As simulações numéricas com o modelo BRAMS mostraram que a temperatura da superfície do mar e a evapotranspiração não influem na formação de nebulosidade na costa. Os gráficos indicam que a topografia chega a ter uma certa contribuição na nebulosidade, mas quando compara-se esta com a TSM ou a evapotranspiração, as duas últimas mostram-se ínfimas.

Os resultados mostraram que a topografia ajuda a criar forma da banda de nebulosidade. Em alguns dos resultados, percebe-se nitidamente que em regiões de relevo mais baixo, havia a presença da nebulosidade. Além disso, quando o escoamento proveniente do anticiclone extratropical encontra a topografia, regiões de convergência de vento e umidade fazem com que haja movimento ascendente e por fim, a formação de bandas de nuvens cumulus.

Como sugestões para trabalhos futuros, um fator de interesse seria avaliar qual a mínima diferença de temperatura entre a superfície do oceano e a atmosfera no nível de 850 hPa tem impacto na nebulosidade costeira. A bibliografia cita um valor de 13 °C, mas para a região abordada neste estudo ainda não há um valor definido.

Outra sugestão seria utilizar uma menor resoluções espacial (20 km) na modelagem numérica e ativar as parametrizações de cumulus rasos. Com isso, poderia-se avaliar a destreza do modelo em simular a nebulosidade, tendo como meta o uso operacional. Por fim, ainda na modelagem numérica, fazer uma comparação da microfísica de nuvens com as parametrizações de cumulus e avaliar o desempenho de ambas, utilizando dados reais.

Referências

BLANCO, C. M. R. *Processos de Intensificação Orográfica da Precipitação na Serra do Mar em São Paulo*. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas/USP, 01 1999. Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Massambani.

CAMARGO, R. de. *Estudo Numérico das Circulações Atmosférica e Oceânica na Região da Bacia de Paranaguá*. Tese (Doutorado) — Instituto Oceanográfico/USP, 04 1998. Orientador: Joseph Harari.

CHEN, C.; COTTON, W. R. A one-dimensional simulation of the stratocumulus-capped mixed layer. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 25, p. 289–321, 1983.

CHEN, C.; COTTON, W. R. The physics of the marine stratocumulus-capped mixed layer. *J. Atmos. Sci.*, v. 44, p. 2951–2977, 1987.

DENMEAD, O. T.; SHAW, R. H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agronomy J.*, v. 45, p. 385–390, 1962.

FREITAS, E. D. de. *Circulações Locais em São Paulo e sua Influência sobre a Dispersão de Poluentes*. Tese (Doutorado) — Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas/USP, 04 2003. Orientador: Prof. Dr. Pedro Leite da Silva Dias.

HOKE, J. E.; ANTHES, R. A. The initialization of numerical models by a dynamic-initialization technique. *Mon. Wea. Rev.*, v. 104, p. 1551–1556, 1976.

KALNAY, E. et al. The ncep/ncar 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v. 77, p. 437–471, 1996.

OCCHIPINTI, A. G. *Climatologia Dinâmica do Litoral Sul Brasileiro*. São Paulo, 1963. 1-86 p.

ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, v. 56, p. 527–530, 1975.

- OTTE, T. L. The impact of nudging in the meteorological model for retrospective air quality simulations. part i: Evaluation against observation networks. *J. Appl. Meteor.*, v. 47, p. 1853–1867, 2008.
- RANZINI, M. et al. Processos hidrológicos de uma microbacia com mata atlântica, na região da serra do mar, sp. *SCIENTIA FORESTALIS*, v. 66, p. 108–119, 2004.
- SCORER, R. *Cloud Investigation by Satellite*. 1. ed. [S.l.]: Ellis Horwood Ltd, 1986. 758 p.
- SIKORA, T. D.; HALVERSON, D. M. Multiyear observations of cloud lines associated with the chesapeake and delaware bays. *J. Appl. Meteor.*, v. 41, p. 825–831, 2002.
- STEIN, U.; ALPERT, P. Factor separation in numerical simulations. *J. Atmos. Sci.*, v. 50, p. 2107–2115, 1993.
- STUART, N. A. Characteristics of cloud and precipitation plumes over the chesapeake bay. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, v. 84, p. 1337–1340, 2003.
- VALERIANO, M. M. *Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul*. São José dos Campos, 2004. 72 p.
- WANG, W.; WARNER, T. T. Use of four-dimensional data assimilation by newtonian relaxation and latent-heat forcing to improve a mesoscale-model precipitation forecast: A case study. *Mon. Wea. Rev.*, v. 116, p. 2593–2616, 1988.
- WOOD, R. Drizzle in stratiform boundary layer clouds. part i: Vertical and horizontal structure. *J. Atmos. Sci.*, v. 62, p. 3011–3033, 2005.
- WOOD, R. Drizzle in stratiform boundary layer clouds. part ii: Microphysical aspects. *J. Atmos. Sci.*, v. 62, p. 3034–3050, 2005.

6 Apêndice 1 - Eventos de nebulosidade

2000	
Janeiro	19, 28
Fevereiro	19, 20
Março	
Abril	03, 08, 15, 23, 25
Maio	
Junho	03, 27
Julho	04, 05, 25, 26, 27, 28, 31
Agosto	04, 07, 08, 20, 21, 22, 24, 25, 30
Setembro	23, 26, 28
Outubro	08, 09, 19, 21, 29
Novembro	
Dezembro	

2001	
Janeiro	
Fevereiro	28
Março	30
Abril	13, 14, 29
Maio	07, 08, 26, 31
Junho	03
Julho	01, 03, 04, 13, 14
Agosto	01, 02, 04, 05
Setembro	01, 02, 03, 04, 07
Outubro	12, 13, 14, 24, 25
Novembro	18
Dezembro	

2002	
Janeiro	05
Fevereiro	25
Março	22
Abril	21, 27, 28
Maio	10
Junho	01
Julho	09, 13, 25
Agosto	08, 10, 12, 18, 20
Setembro	04, 10, 11, 26, 27, 28
Outubro	02, 23, 27
Novembro	02
Dezembro	22, 26, 27

2003	
Janeiro	14, 15, 19
Fevereiro	20, 21, 22, 23
Março	17, 24
Abril	03, 07, 14, 22, 23
Maio	13, 14, 29
Junho	07, 12, 14, 15, 30
Julho	03, 12, 13, 16, 17, 22, 24, 27, 28, 30, 31
Agosto	01, 02, 12
Setembro	01, 02, 04, 14, 18, 23, 30
Outubro	01, 02, 13, 14, 16, 24, 30, 31
Novembro	14, 21
Dezembro	18, 23, 24, 26, 27

2004	
Janeiro	05, 15, 16, 23
Fevereiro	15
Março	01, 24, 30
Abril	01, 28
Maiο	11, 28
Junho	05, 06, 18
Julho	26
Agosto	02, 03, 04, 10, 18, 24, 31
Setembro	01, 04, 05, 06, 10
Outubro	11, 20, 21, 26, 28, 29
Novembro	09, 13, 14, 21, 23
Dezembro	01, 15

2005	
Janeiro	01, 14
Fevereiro	04, 05, 06, 07, 15
Março	01, 02, 25
Abril	06, 09, 17
Maiο	26
Junho	
Julho	20, 30, 31
Agosto	01, 02, 03, 04, 16, 23
Setembro	03, 07, 08, 09, 21, 28, 29
Outubro	03, 09, 10, 13, 23
Novembro	
Dezembro	27

2006	
Janeiro	
Fevereiro	
Março	06, 07, 14, 30, 31
Abril	01
Maio	06, 15, 16, 29
Junho	01, 02, 08, 12, 18
Julho	11
Agosto	08
Setembro	06, 07, 25, 26
Outubro	07, 09, 10
Novembro	30
Dezembro	02, 07

2007	
Janeiro	30, 31
Fevereiro	
Março	
Abril	10
Maio	04
Junho	28, 29
Julho	01, 02
Agosto	01, 08, 12, 19, 21, 22
Setembro	02, 04, 05, 06, 07, 08, 18, 20, 30
Outubro	01, 02, 04, 05, 09
Novembro	
Dezembro	

2008	
Janeiro	
Fevereiro	04, 25
Março	08, 24, 25, 26, 29, 30
Abril	05, 08, 18
Maiο	09, 10, 11
Junho	02, 07, 16, 17
Julho	04, 07, 11, 25
Agosto	04, 06, 10, 19, 22, 23, 24, 26, 31
Setembro	04, 09, 14, 16, 18, 19, 23, 24, 25, 28
Outubro	01, 08, 09, 10, 20, 21, 24, 25, 28, 31
Novembro	01, 04, 08, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 28
Dezembro	03, 04, 07

2009	
Janeiro	05, 06, 07, 08, 22, 23, 24, 25
Fevereiro	05, 18, 19, 22
Março	03, 04, 07, 16, 19, 24
Abril	03, 09, 10, 12, 16, 21, 22, 24, 26, 27
Maiο	01, 02, 17
Junho	06, 07, 14, 20
Julho	19, 20, 29, 30
Agosto	04, 07, 11, 12, 22, 27
Setembro	02, 12, 15
Outubro	04, 05, 23, 28
Novembro	01, 17
Dezembro	05, 06, 10, 28

7 Apêndice 2 - Alterações realizadas no modelo BRAMS

Para que o modelo BRAMS pudesse ser configurado com duas áreas distintas de quantidade de água no solo, algumas alterações foram realizadas no código do modelo. A listagem abaixo contém apenas as alterações realizadas na subrotina *sfcinit_nofile_user* do arquivo *ruser.f90*.

```
! wet soil moisture
slmstr1 = (/ 0.535, 0.51, 0.49, 0.47, 0.46, 0.45, 0.46, 0.49, 0.56/)

! dry soil moisture
!slmstr1 = (/ 0.45, 0.45, 0.45, 0.445, 0.435, 0.42, 0.43, 0.465, 0.56 /)

! Normal Soil Moisture
slmstr2 = (/ 0.47, 0.465, 0.46, 0.455, 0.44, 0.435, 0.445, 0.465, 0.56 /)

OPEN(10,FILE = "topo.txt", STATUS = "UNKNOWN")
DO j = 1, n3
  DO i = 1, n2
    READ(10,*)topo(i,j)
  ENDDO
ENDDO
CLOSE(10)

DO j = 1, n3
  DO i = 1, n2
    DO ipat = 2, npat
      DO k = 1, mzg
        IF(topo(i,j) <= 200. ) THEN
          soil_water(k,i,j,ipat) = slmstr1(k)
        ELSE
```

```
        soil_water(k,i,j,ipat) = slmstr2(k)
    ENDIF
ENDDO
ENDDO
ENDDO
ENDDO
```

O arquivo *topo.txt* foi gerado especificamente para o uso na subrotina anterior. Ele foi obtido a partir da execução do modelo sem serem feitas alterações, mas com o mesmo número de pontos e resolução do experimento pretendido.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)