

Características meteorológicas médias associadas a nevoeiro de radiação em Santa Maria–RS

Mean weather characteristics associated to radiation fog at Santa Maria–RS

Nórtton Franciscatto de Paula^{1*}, Franciano Scremin Puhales², Vagner Anabor³,
Everson Dal Piva⁴ e Ernani de Lima Nascimento⁵

¹ Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Santa Maria, RS - Brasil
nortonmeteoro@gmail.com

² Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Maria, RS - Brasil
fpuhales@gmail.com, vanabor@gmail.com, everson.bento@gmail.com, ernani.nascimento@ufsm.br

Resumo

A Depressão Central do Estado, é uma região de grande importância para diferentes atividades no Rio Grande do Sul. Esta região é caracterizada pela alta frequência de formação de nevoeiros, sobretudo em Santa Maria. Foram utilizadas mensagens do METAR para identificar as ocorrências de nevoeiro e dados de estações automáticas para eliminar eventos de nevoeiro com condições de chuva no dia e dia anterior ao evento. A análise sinótica foi realizada a partir dos dados de análise final do NCEP. Observou-se que os meses frios apresentam maior frequência de ocorrência de nevoeiros e que a ocorrência de nevoeiro está associada com a posição do anticiclone em relação a Santa Maria.

Palavras-chave: Nevoeiro, variáveis médias, anticiclone.

Abstract

Central Depression, is region of great importance for different activities in Rio Grande do Sul. This area is also characterized for the high frequency of fog formation, specially in Santa Maria. To identify fog occurrence, METAR message were used. Furthermore, automatic stations data have employed to eliminate fog events under rain conditions in day and day before the event. The synoptic analysis was done with final data analysis by NCEP. It was observed that in colder months the events are most frequent. Moreover, the fog occurrence is correlated with anticyclone position in relation to Santa Maria.

Keywords: Fog, mean variables, anticyclone.

1 Introdução

Segundo a WMO (1995) (*World Meteorological Organization*), o nevoeiro é um conjunto de gotículas de água, geralmente microscópicas, suspensas no ar que restringem a visibilidade horizontal em até 1 km junto à superfície. Quando a redução da visibilidade for superior que 1 km é denominado névoa úmida. Tais gotas se formam devido à condensação do vapor d'água contido na baixa atmosfera, quando a mesma atinge a saturação.

Vários fatores afetam o processo de formação do nevoeiro, trazendo dificuldade à previsão deste fenômeno, entre eles: o relevo, circulações locais e de grande escala. Se o principal processo físico envolvido for o resfriamento é dito que o nevoeiro é de radiação. Tal nevoeiro se forma sobre áreas continentais pelo resfriamento noturno da superfície. Outro processo que forma o nevoeiro, frequentemente sobre áreas costeiras ou sobre o mar (lagoas e rios), é causado pelo aumento da umidade chamado nevoeiro advectivo (Bergot e Guedalia, 1994).

A formação do nevoeiro afeta o cotidiano de muitas pessoas em suas mais variadas atividades. Acidentes, engavetamentos e trânsito lento são problemas nas estradas e, similarmente, centenas de passageiros são prejudicados pelo fechamento de aeroportos. Por isso é importante estudar os fenômenos meteorológicos, e aqui especificamente os nevoeiros, em determinada região antes de receber grandes investimentos evitar gastos complementares. Por exemplo, a construção de novos aeroportos. Recentemente o Aeroporto Salgado Filho, em Porto Alegre, recebeu a instalação do equipamento *Instrument Landing System* (ILS-2) ao custo total de R\$ 46,5 milhões de reais. O ILS é um conjunto de aparelhos que auxiliam o pouso e decolagem dos aviões em condições de baixa visibilidade horizontal e vertical. Portanto, o objetivo deste trabalho é conhecer o comportamento das variáveis meteorológicas (pressão, temperatura, velocidade e direção do vento, etc.) na região de Santa Maria (SM) e Depressão Central do Rio Grande do Sul (RS) durante a formação do nevoeiro de radiação. A importância do trabalho se dá pelo fato deste fenômeno abranger, diretamente, uma vasta região do RS e, indiretamente todo o Estado.

2 Considerações teóricas

O nevoeiro difere-se das nuvens somente pela sua base a qual se encontra em contato com a superfície da Terra (Curry e Webster, 1998). Porém, do ponto de vista da microfísica de nuvens, os nevoeiros são equivalentes a nuvens do tipo *stratus* (Rogers e Yau, 1989; Cotton e Anthes, 1989). Ainda, segundo Curry e Webster (1998),

os mecanismos físicos que resultam na formação do nevoeiro envolvem principalmente três processos:

- a) resfriamento do ar até atingir o ponto de orvalho (resfriamento isobárico): diminuição da capacidade de retenção de vapor d'água da massa de ar com a diminuição da temperatura;
- b) adição de vapor d'água: causa a elevação do teor de vapor até a sua capacidade máxima de retenção, na temperatura em que a massa de ar se encontra;
- c) pela mistura de massas de ar: massas de ar com diferentes temperaturas sendo levadas à saturação, desde que o teor de vapor d'água da mistura seja maior que a capacidade máxima de retenção de vapor d'água na temperatura da mistura.

Os mecanismos físicos, descritos acima, levam a condensação do conteúdo de vapor d'água contido no ar quando a temperatura (T) do ar atinge a temperatura do ponto de orvalho (T_d), definida como a temperatura a qual o ar deve ser resfriado, mantendo-se constantes a pressão (p) e o teor de umidade para que a saturação possa ser atingida em relação a água (Rogers e Yau, 1989). Os tipos de nevoeiros são classificados de acordo com o regime sinótico que os induzem, a região geográfica na qual se formam e os processos de evolução que afetam sua formação e propagação (Croft et al., 1997). Cotton e Anthes (1989) propõem uma classificação dos tipos (e suas subdivisões) do nevoeiro:

- (i) radiação (nevoeiro de solo, de inversão alta, advecção-radiação, de montanha e vale-montanha);
- (ii) frontal (pré-frontal, pós-frontal, passagem frente);
- (iii) advectivo (marítimo, ar tropical);
- (iv) outros (de gelo e de neve);

sendo os três primeiros mais frequentes no sul do Brasil devido a raridade de fenômenos que causam a neve e o gelo.

O nevoeiro de radiação é formado principalmente por resfriamento isobárico, sendo caracterizado por sua ocorrência noturna, em condições de céu claro ou poucas nuvens. Além disso, baixas velocidades do vento (o que diminui a turbulência, e conseqüentemente processos de mistura) e o resfriamento do ar (devido ao resfriamento da superfície por emissão de onda longa) (Meyer e Lala, 1990) favorecem o aumento da umidade relativa do ar, junto a superfície, permitindo o processo de saturação (Taylor, 1917; Petterssen, 1939). O ar logo acima da superfície resfria-se, por transferência de radiação de

onde longa, perdendo energia para a superfície mais fria abaixo e de uma forma geral resfriando o espaço acima dela. Se o resfriamento radiativo do ar igualar a sua temperatura à temperatura do ponto de orvalho, então o nevoeiro se forma. Ao tornar-se opticamente espesso, o nível de máximo resfriamento por radiação de onda longa ocorrerá no topo do nevoeiro, permitindo que o nevoeiro se propague verticalmente. Devido puramente a processos radiativos, o interior do nevoeiro tende a se tornar isotérmico a medida que aumenta sua espessura. No entanto, o resfriamento do topo do nevoeiro desestabiliza a estratificação térmica dentro do nevoeiro. Esta desestabilização aumenta a mistura turbulenta, o que pode favorecer o crescimento vertical do nevoeiro se o ar acima for mais úmido. Por outro lado, a mistura turbulenta pode atuar na dissipação do nevoeiro dependendo do ar adjacente ao mesmo. O nevoeiro de radiação dissipa-se quando o resfriamento radiativo é reduzido, sendo a redução mais comum por aquecimento da radiação de onda curta (Curry e Webster, 1998).

Segundo Cotton e Anthes (1989) e outros, o resfriamento radiativo, o orvalho e a sedimentação de gotas desempenham papéis importantes na formação do nevoeiro. Dessa forma, o nevoeiro de radiação inicia-se com forte resfriamento da superfície, uma vez que tal resfriamento proporciona o resfriamento do ar próximo a superfície por condução. Além disso, também é importante a divergência do fluxo radiativo na atmosfera úmida (Cotton e Anthes, 1989). A partir da modelagem numérica, Brown e Roach (1976) concluíram ser necessário que o resfriamento radiativo do ar também seja levado em consideração para explicar a formação de nevoeiro de radiação.

Quanto ao papel da deposição do orvalho na superfície, esta é responsável pelo desenvolvimento do transporte de umidade para baixo e a formação da inversão do ponto de orvalho noturno (Cotton e Anthes, 1989). A deposição do orvalho é um fator fundamental na formação do nevoeiro: mesmo que taxa de resfriamento radiativo possa levar o ar à saturação, se a taxa de deposição de orvalho e o transporte de umidade para baixo, associado a ela, forem grande, então a formação do nevoeiro pode ser inibida. Ou, se a deposição do orvalho é um pouco menor, o resfriamento radiativo pode ser suficiente para iniciar a formação do nevoeiro (Cotton e Anthes, 1989; Brown e Roach, 1976).

É geralmente aceito que a turbulência e o resfriamento radiativo interagem de certa forma controlando o nevoeiro de radiação (Gerber, 1981). Ainda, de acordo com o autor, nem sempre houve essa concordância, e ele cita três momentos para essa interação:

- (I) A formação do nevoeiro de radiação próximo a uma superfície fria não é uma consequência

direta do resfriamento, mas é um efeito da turbulência na camada limite de mistura próxima aos turbilhões saturados a diferentes temperaturas;

- (II) O resfriamento radiativo do ar próximo a superfície, por si só, pode ser suficiente para formar o nevoeiro;
- (III) É necessário que a turbulência diminua para que o nevoeiro de radiação se forme, persistindo o resfriamento radiativo de gotículas. Esta ideia é a base da modelagem e medições do nevoeiro de radiação.

Ainda, segundo Gerber (1981), o aumento da turbulência associada a ventos mais fortes deixam pouco espessos ou dissipam o nevoeiro de radiação. Aparentemente uma turbulência forte deixa o ar mais seco pela maior perda de umidade por formação de orvalho junto à superfície mais fria e por entranhamento de ar seco de níveis superiores.

Do ponto de vista da microfísica, as gotículas do nevoeiro são muitas pequenas sendo que somente poucas gotículas ultrapassam os $20\mu\text{m}$ de raio, enquanto gotículas de nuvem tem raios da ordem de $40 - 50\mu\text{m}$ (Cotton e Anthes, 1989). Por isso, a deposição de gotas pode desempenhar um importante papel na evolução estrutural do nevoeiro.

Em termos da escala sinótica, Meyer e Lala (1990) encontraram cinco padrões para 143 eventos de nevoeiro de radiação. Destes, 40% deles são encontrados na presença de um anticiclone. Os sistemas de alta pressão são importantes por serem fontes de ar frio no inverno, aumento da turbidez atmosférica, e nevoeiro (Sinclair, 1996). Uma maior incidência de nevoeiros na época fria do ano foi identificado por Petterssen (1939) enquanto Epperly (1933) encontrou a diminuição da média do número de nevoeiros e também da duração média com a aproximação do verão.

Essa relação também foi encontrada no estudo de formação do nevoeiro de radiação por Piva e Fedorova (1999) para a região de Porto Alegre-RS (30.0°S e 51.2°W). Os autores encontraram condições¹ comuns entre os eventos para a formação do nevoeiro, tais como (Sinclair, 1996; Piva e Fedorova, 1999; Koraćin et al., 2001):

- existência das condições para o acúmulo de umidade em baixos níveis;
- situações sinóticas com vento fraco;
- inversão de temperatura;
- não existência de convecção térmica.

¹Tais condições estão associadas aos anticiclones.

Essas condições são semelhantes ao encontrado por Zhang et al. (2014), cujo trabalho enfatiza estes pontos: o resfriamento radiativo sendo um dos processos principais que levam à formação de nevoeiro e desenvolvimento sobre áreas continentais. A formação do nevoeiro de radiação é principalmente controlada por resfriamento do ar (por radiação de onda longa) e transportes de calor e umidade na vertical, incluindo interações com a superfície. O desenvolvimento pode ser influenciado por resfriamento de onda longa e entranhamento/desentranhamento turbulento até o topo da camada do nevoeiro, e por processos microfísicos através da ativação de gotas.

3 Metodologia

A identificação dos casos de nevoeiro em Santa Maria foi realizada a partir de mensagens do METAR (*Meteorological Aerodrome Report*) do aeródromo da Base Aérea de Santa Maria-RS localizado a 85m de altitude na latitude 29,70°S e 53,69°W de longitude. Tais mensagens foram obtidas da REDEMET (Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica). Através de um *script* na linguagem *shell* foi realizado o *download* do METAR, para todos os horários disponíveis para o período de 2001 até maio de 2013. Os dados receberam dois processos de filtragem:

- (i) Foram retiradas, da base de dados, todas as mensagens que não possuíam o código METAR "FG" o qual representa a presença do nevoeiro.
- (ii) Dos dados obtidos do primeiro processo de filtragem, foram excluídos as mensagens com os códigos apresentados na tabela 1.

Tabela 1: A interpretação do código do METAR.

Código	Interpretação
BCFG	banco de nevoeiro
VCFG	nevoeiro nas vizinhanças
PRFG	nevoeiro parcial
MIFG	nevoeiro baixo

Desta forma, restaram apenas os registos de FG. Este filtro também foi realizado em *Shell script*. Além disso, os casos de névoa úmida (BR – visibilidade entre 1000 e 5000m) não foram considerados. No entanto, o METAR não informa qual o tipo de nevoeiro se formou, sendo necessário o auxílio de outros dados meteorológicos para esta identificação. Como pode ser observado nas mensagens de METAR para os dias:

21/05/2012: SBSM 211000Z 06002KT 0100 R29/0500 R11/0500 FG VV001 10/10 Q1020=
 02/10/2012: SBSM 020900Z 00000KT 0200 R11/0700 R29/0700 FG VV001 15/15 Q1010=

Para realizar a classificação do nevoeiro foram empregados dados da estação automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de Santa Maria, localizada a 103m acima do nível do mar na latitude 29,72°S e 53,72°W de longitude e distante 6km do aeródromo. Disponibilizando dados a cada hora de algumas variáveis meteorológicas, por exemplo: temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, radiação, magnitude e direção do vento. A partir da análise desses dados eliminaram-se os dias em que houve precipitação no dia e no dia anterior ao nevoeiro. Ainda, analisou-se a saturação do ar através das variáveis temperatura e temperatura do ponto de orvalho entre outras variáveis (como direção e velocidade do vento, radiação, etc.), com o objetivo de criar uma lista de casos de nevoeiro de radiação.

A figura 1 mostra, como exemplo, a diferença entre as variáveis precipitação, radiação, temperatura e umidade relativa na formação de nevoeiro entre dois dias citados acima. Nesta figura os gráficos do dia 21 de maio de 2012 são típicos de um dia com céu claro, não havendo precipitação ou interferência na radiação incidente ou emergente, grande amplitude das temperaturas observando-se a sobreposição das curvas correspondente ao momento que ar atinge 95% de umidade relativa (devido a limitações no aparelho a umidade relativa não atingia 100% de saturação), indicando a formação de nevoeiro, e neste caso de radiação. Enquanto os gráficos do dia 02 de outubro do mesmo ano indicam a presença de nuvens que barram a chegada de radiação de onda curta na superfície e a radiação de onda longa para cima, não permitem maior amplitude das temperaturas e há precipitação indicando a possível formação de nevoeiro frontal.

Além dos dados de superfície, seguindo a sugestão de alguns autores (Petterssen, 1939; Lima, 1982; Cotton e Anthes, 1989; Curry e Webster, 1998; Piva e Fedorova, 1999) foram analisados os campos de pressão ao nível médio do mar. Tal análise foi realizada a partir de dados de *Final Analysis* (FNL) do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Os dados de FNL têm espaçamento horizontal de um grau por um grau e 26 níveis na vertical a partir da superfície, sendo disponibilizados a cada seis horas. Os FNL são obtidos através do *Global Forecast System* (GFS), e são preparados cerca de uma hora após o início da integração do GFS com um conjunto de dados corrigidos (NCEP, 2000). A área de estudo foi definida entre as latitudes 5°S e 55°S e longitudes 80°W e 15°W. Isto foi feito para se avaliar os sistemas sinóticos atuantes nessa região do Hemisfério Sul. Uma região menor, limitada pelas latitudes 25°S e 55°S e longitudes 65°W e 30°W, foi utilizada para a determinação da posição dos centros de alta pressão. Ambas as regiões são mostradas pela figura 2.

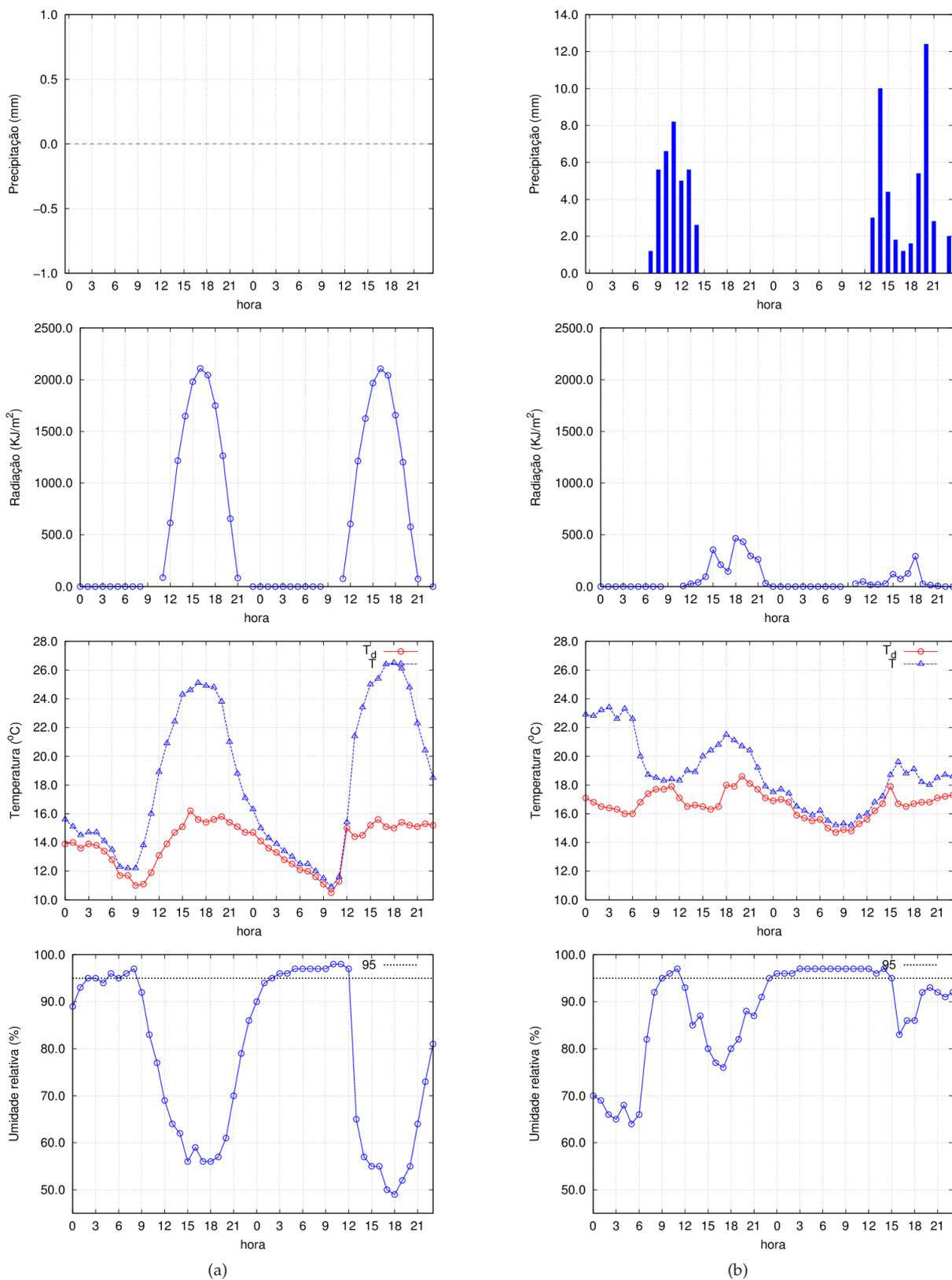


Figura 1: Gráficos das variáveis meteorológicas de dias em que foi reportado FG no METAR: (a) sem precipitação e (b) com precipitação.

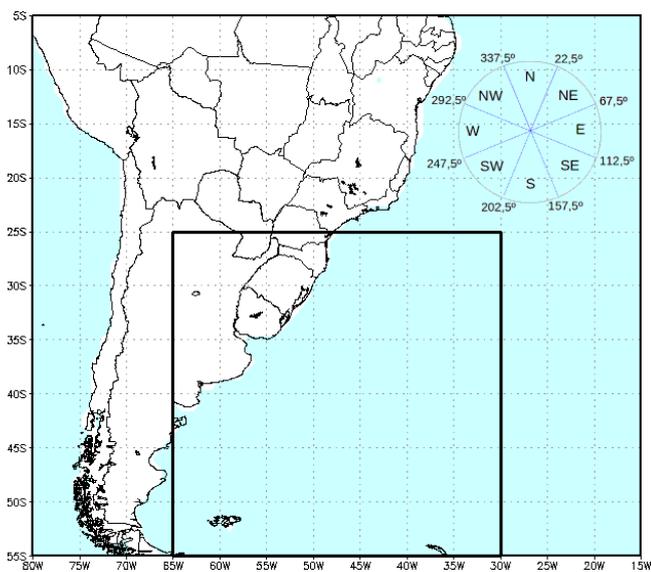


Figura 2: Região da América do Sul analisada e a área de interesse, em destaque, utilizada para a determinação dos centros dos anticiclones. No canto superior direito, esquema da posição dos anticiclones em termos de setores circulares ao longo da rosa dos ventos.

Após a identificação dos centros de alta pressão, os valores foram classificados seguindo os critérios propostos por Satyamurty e Lima (1994), como mostra a tabela 2.

Tabela 2: Critérios para classificação da intensidade do anticiclone segundo Satyamurty e Lima (1994).

Intensidade	Pressão (hPa)
Fraco	$1012 < p < 1021$
Moderado	$1022 < p < 1030$
Intenso	$p > 1030$

Além do mais, foi calculada a posição do anticiclone, em relação à Santa Maria, em termos de setores circulares ao longo da rosa dos ventos, cada um com um ângulo de 45°, tendo em sua bissetriz um dos pontos cardeais ou colaterais, que dão nome ao referido setor – nordeste (NE), leste (E), sudeste (SE), sul (S), sudoeste (SW), oeste (W), noroeste (NW) e norte (N) – conforme a figura 2.

4 Resultados

A partir dos dados de METAR, para o período de 2003 a 2013, foi realizada uma avaliação da ocorrência média de nevoeiros para a região de Santa Maria. A figura 3(a), mostra a média de ocorrência mensal de nevoeiro. Além disso, as barras coloridas indicam a presença de

nevoeiro em diferentes horários. Nota-se que o tempo de persistência dos nevoeiros durante os meses frios, bem como o número de ocorrência, é maior comparado aos meses quentes do ano. Por exemplo, na média do mês de janeiro e dezembro são registrados 2 nevoeiros persistindo pouco mais que às 6h horas local (HL). Por outro lado, em junho e julho, existem, em média 2 nevoeiros que persistem até às 14h (HL). No entanto, essa persistência não é observada no mês de maio, caracterizado como o período de maior ocorrência de nevoeiros em Santa Maria.

Em relação à visibilidade horizontal média durante os eventos de nevoeiros, mostrada na figura 3(b), os meses frios tendem a ter menor visibilidade que os meses de verão mesmo que a diferença seja pouca. Em janeiro, por exemplo, às 6h (HL) a visibilidade fica em torno de 500m enquanto para o mesmo horário, em julho, a visibilidade reduz-se, em média, a cerca de 300m.

Estes resultados concordam com os encontrados por Epperly (1933) e por Petterssen (1939), que encontraram menor ocorrência de nevoeiro nos meses quentes comparados aos meses frios.

Especificamente para os casos de nevoeiro de radiação foram realizadas análises do campo sinótico de PNM. A figura 4 mostra este campo para os horários das 12 UTC, nos quais foram determinados o centro do anticiclone (destacado com uma cruz). Seguindo os critérios deste trabalho, estes anticiclones foram classificados como moderado 4(a), 4(b), 4(c) e intenso 4(d), e a leste 4(c), a sudeste 4(d), a sudoeste 4(b) e nordeste 4(a). Tal procedimento foi realizado para os demais casos selecionados.

Com os dados de posição relativa do centro de alta pressão foi construído um histograma para a ocorrência dos nevoeiros de radiação, em termos da coordenada azimutal (em graus) do anticiclone em relação à Santa Maria. Uma das características dos anticiclones é deixar a atmosfera com ventos fracos e ausência de nuvens, fatores que influem na evolução e formação de nevoeiros. Nos trabalhos de Lima (1982) e Piva e Fedorova (1999) eles relacionam a formação de nevoeiro de radiação com a presença de anticiclone. No entanto, os autores encontram o posicionamento do anticiclone em relação ao Estado com posições preferências NE, E e SE, enquanto nós procuramos posicionamento em relação a Santa Maria. O nosso resultado, figura 5, concorda com os resultados deles onde é possível notar que o setor com o maior número de ocorrência de nevoeiros é o leste seguido dos setores sudeste e nordeste.

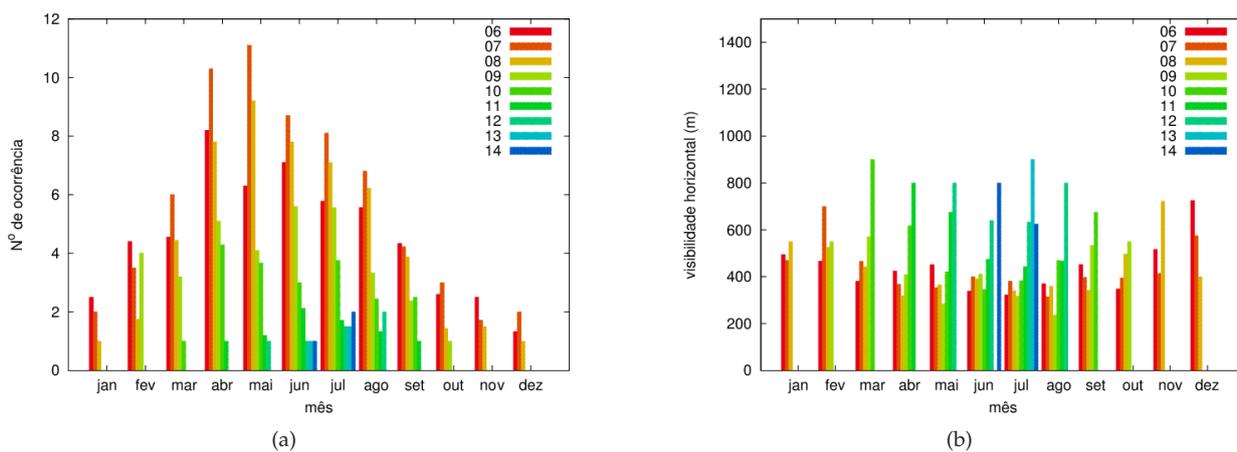


Figura 3: Média mensal decadal para a ocorrência de nevoeiros(a) e visibilidade (b).

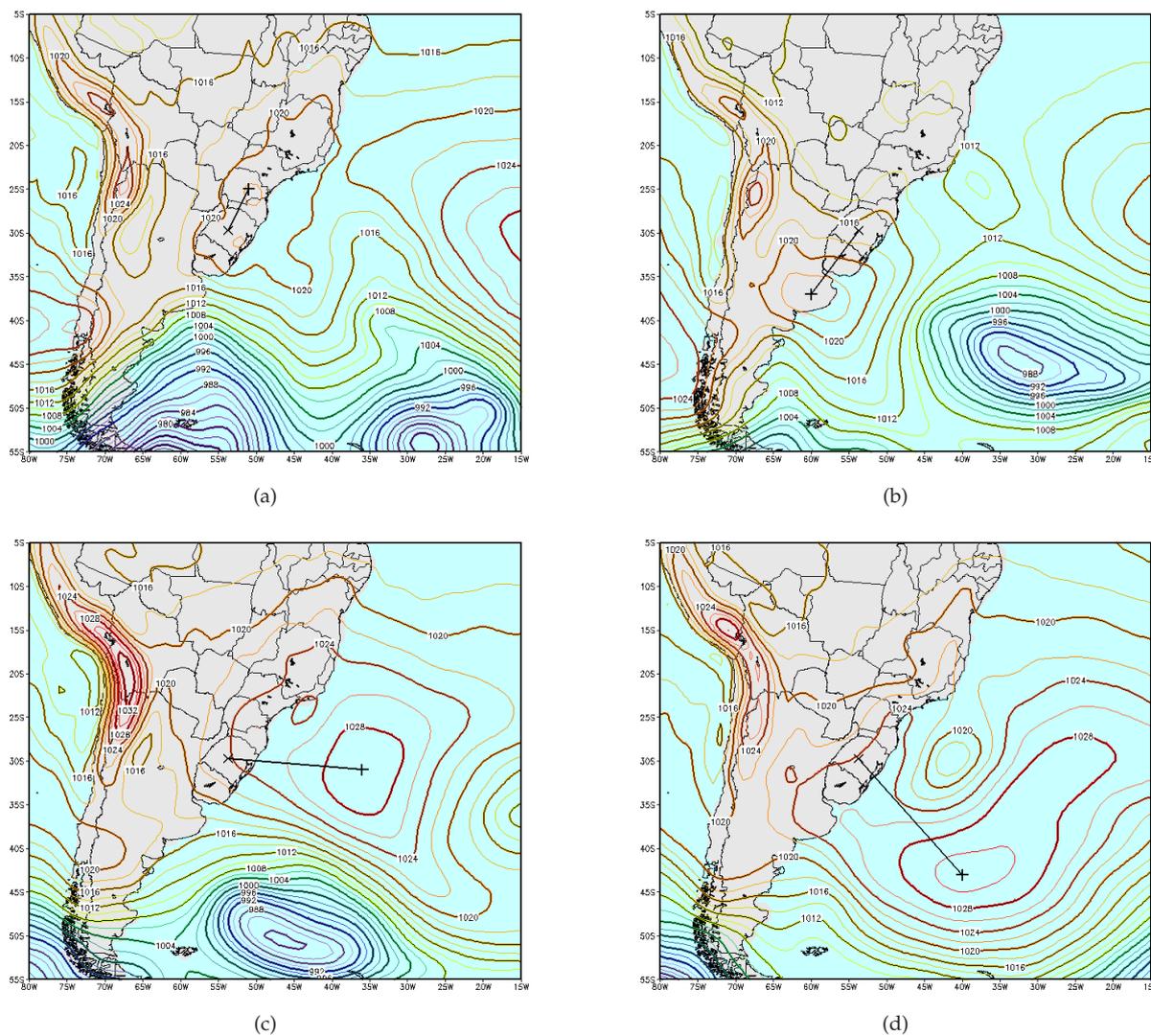


Figura 4: PNM às 12 UTC, para as datas 01/09/2003, 03/07/2006, 08/04/2009 e 07/06/2013. Linha preta sinaliza a distância do centro da alta pressão até Santa Maria. Intervalo das linhas de contorno de 2 hPa.

Enquanto que, referente a frequência acumulada dos 183 eventos analisados, da tabela 3 pode-se abranger o setor leste em um setor macro leste – nordeste, leste, sudeste – apresentando 79,8% dos casos. Ainda observa-se o setor sul com 10,4% e um setor macro-oeste corresponde a apenas 9,8% da ocorrências.

Afim de caracterizar uma condição sinótica média para a ocorrência de nevoeiros de radiação, foram obtidos campos médios de PNM para cada direção. A figura 6, apresenta a PNM e o desvio padrão, para cada um dos setores definidos anteriormente, às 12 UTC. Relacionando um valor de desvio padrão ao centro do anticiclone, nota-se que os valores mais altos de desvio padrão estão afastados do centro do anticiclone. Já os valores do desvio padrão nos setores 6(b), 6(c) e 6(a) ficam em torno de 4 hPa, 6(e) em 3 hPa e o menor desvio 6(a) com 2 hPa. Desta forma a média da PNM mostra-se satisfatória para representar o anticiclone dentro do setor. Os campos para os setores oeste, norte e noroeste foram omitidos (às 12 UTC) pois para o oeste existem apenas três casos, para o setor norte não existe nenhum caso e para o setor noroeste apenas um. Desta forma, de acordo com a tabela 3, estes três setores juntos respondem a menos de 3% dos casos, e devido a baixa amostragem não há sentido em se aplicar avaliações estatísticas nos mesmos.

Uma forma de estimar o vento em superfície é pelo gradiente de pressão em que baixos valores do gradiente indicam ventos fracos. A figura 7, obtida a partir da média de pressão por setor, indica valores de gradiente de pressão entre o centro da alta e a região onde ocorre

o nevoeiro, variando de $0,4 \times 10^{-3}$ até $0,8 \times 10^{-3}$ Pa/m. Estes valores são considerados baixo na região de Santa Maria e os vetores apontam para a posição do centro do anticiclone.

Através dos dados de análise final, a umidade relativa média e linhas de correntes a 10m são mostradas na figura 8. Nos setores NE e N, as linhas de corrente mostram que a direção predominante do vento é de nordeste, sobre o estado do Rio Grande do Sul. Ainda, observa-se sobre a faixa zonal central do Estado, nos setores E, SE, S e SW, uma inflexão das linhas de corrente, seguindo o relevo da depressão central. Nota-se que, em nenhum dos setores, o teor de umidade alcançou 90% da saturação, segundo os dados de FNL. Isso indica que os dados de análise, para umidade relativa, não apresentam uma descrição adequada do campo de umidade relativa, o que pode implicar em uma maior dificuldade para os modelos meteorológicos preverem condições favoráveis à saturação.

Adicionalmente, tentou-se encontrar uma relação entre a ocorrência do nevoeiro de radiação com a espessura média da camada, entre 850 – 1000 hPa e 700 – 1000 hPa, e distância do centro da alta pressão até SM. No entanto, não foi encontrada uma correlação entre estes fatores e formação de nevoeiro a partir dessa distância, que ora ultrapassava 2,5 mil quilômetros ora não atingia 200 Km. Da mesma forma, a espessura média da camada para os dias de nevoeiro atingia 137,9 dam e 298,6 dam, respectivamente. Enquanto que para os dias anteriores ao nevoeiro essa média foi muito semelhante 137,1 dam e 297,1 dam, respectivamente.

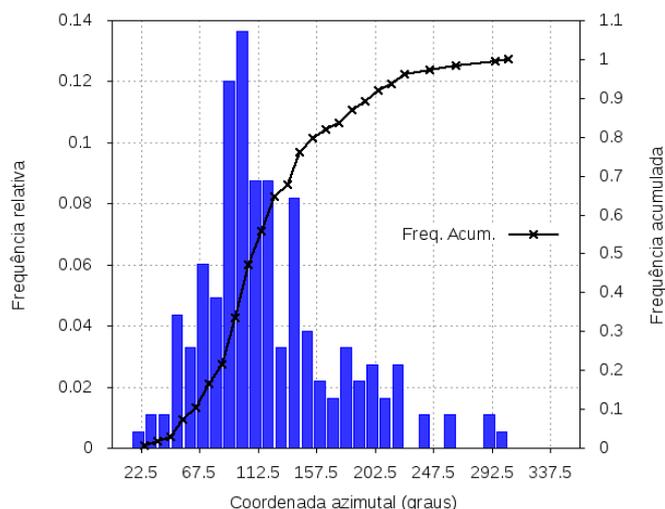


Figura 5: Histograma da posição da alta pressão (barras) e frequência acumulada (linha) para às 12 UTC.

Tabela 3: Contribuição individual de cada setor na frequência acumulada de ocorrência de nevoeiros de radiação, às 12 UTC.

Setor	Frequência Acumulada (%)
N	0,0
NE	9,3
E	41,0
SE	29,5
S	10,4
SW	7,1
W	1,1
NW	1,6

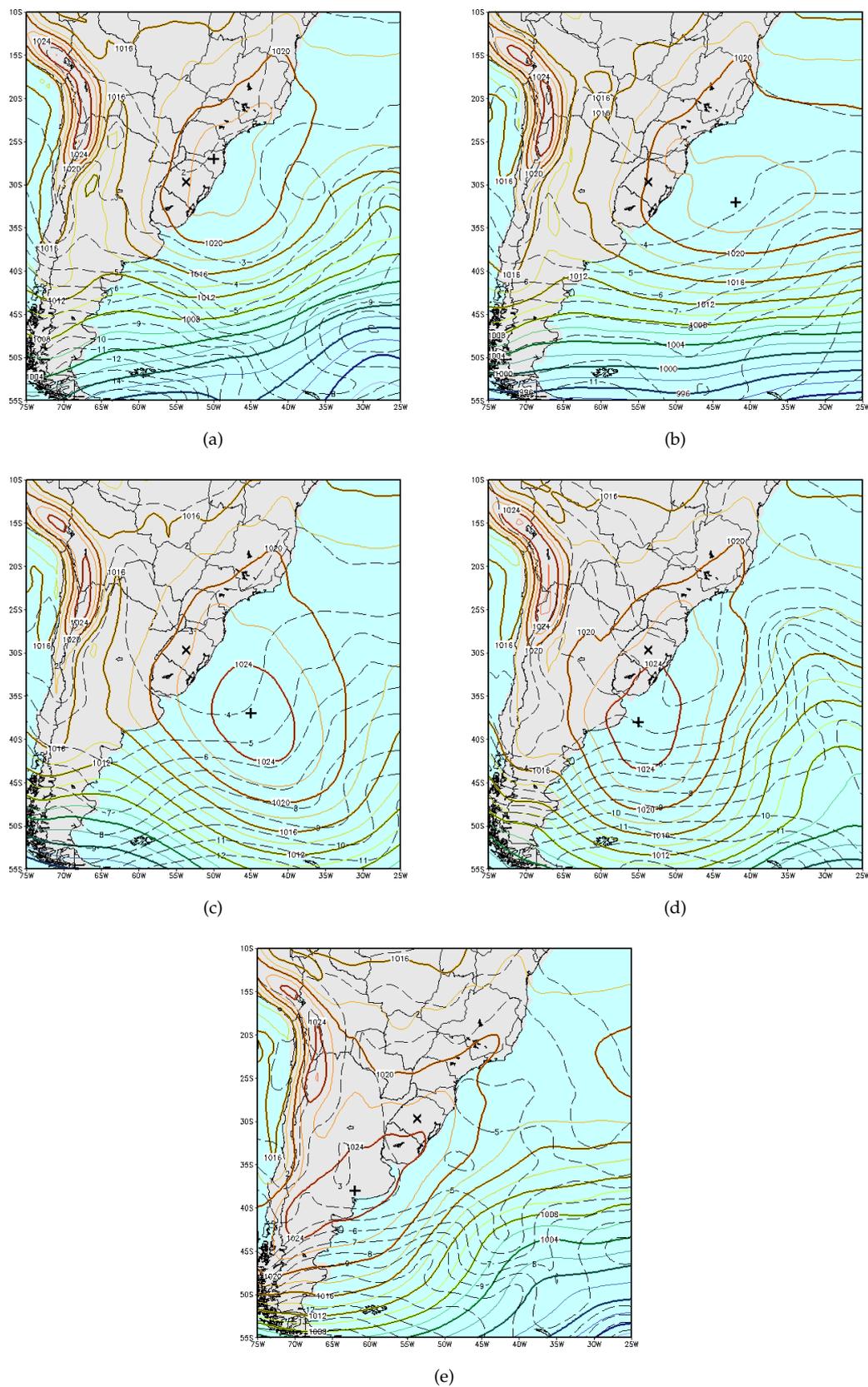


Figura 6: Média da pressão média ao nível do mar nos setores NE (a), E (b), SE (c), S (d) e SW (e) às 12 UTC (em hPa). Intervalo das linhas de contorno de 2 hPa (colorida) e 1hPa (preto tracejado).

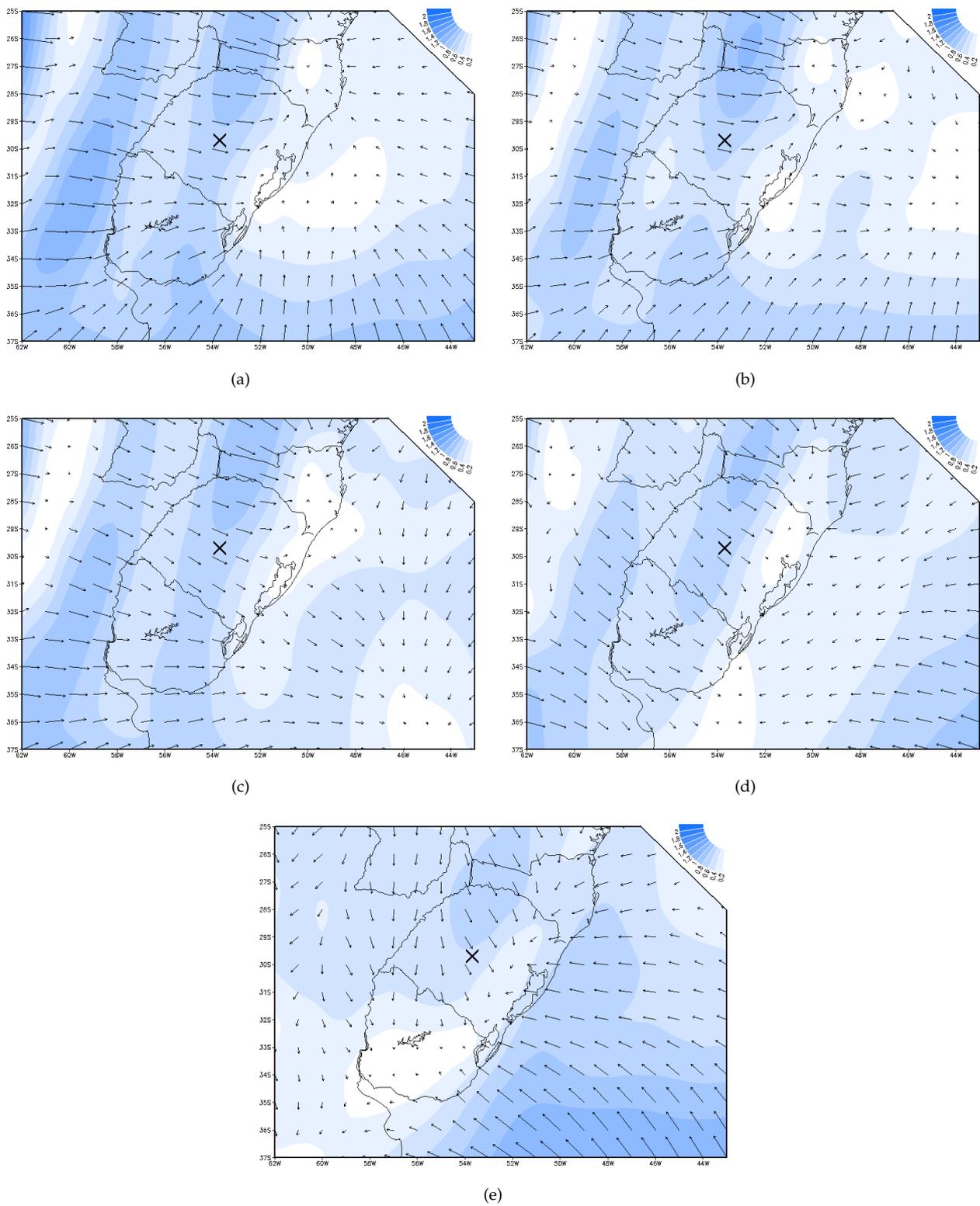


Figura 7: Média do gradiente de PNM nos setores NE (a), E (b), SE (c), S (d) e SW (e) às 12UTC. Valores de gradiente de pressão (colorido) em 10^{-3} Pa/m e os vetores (setas).

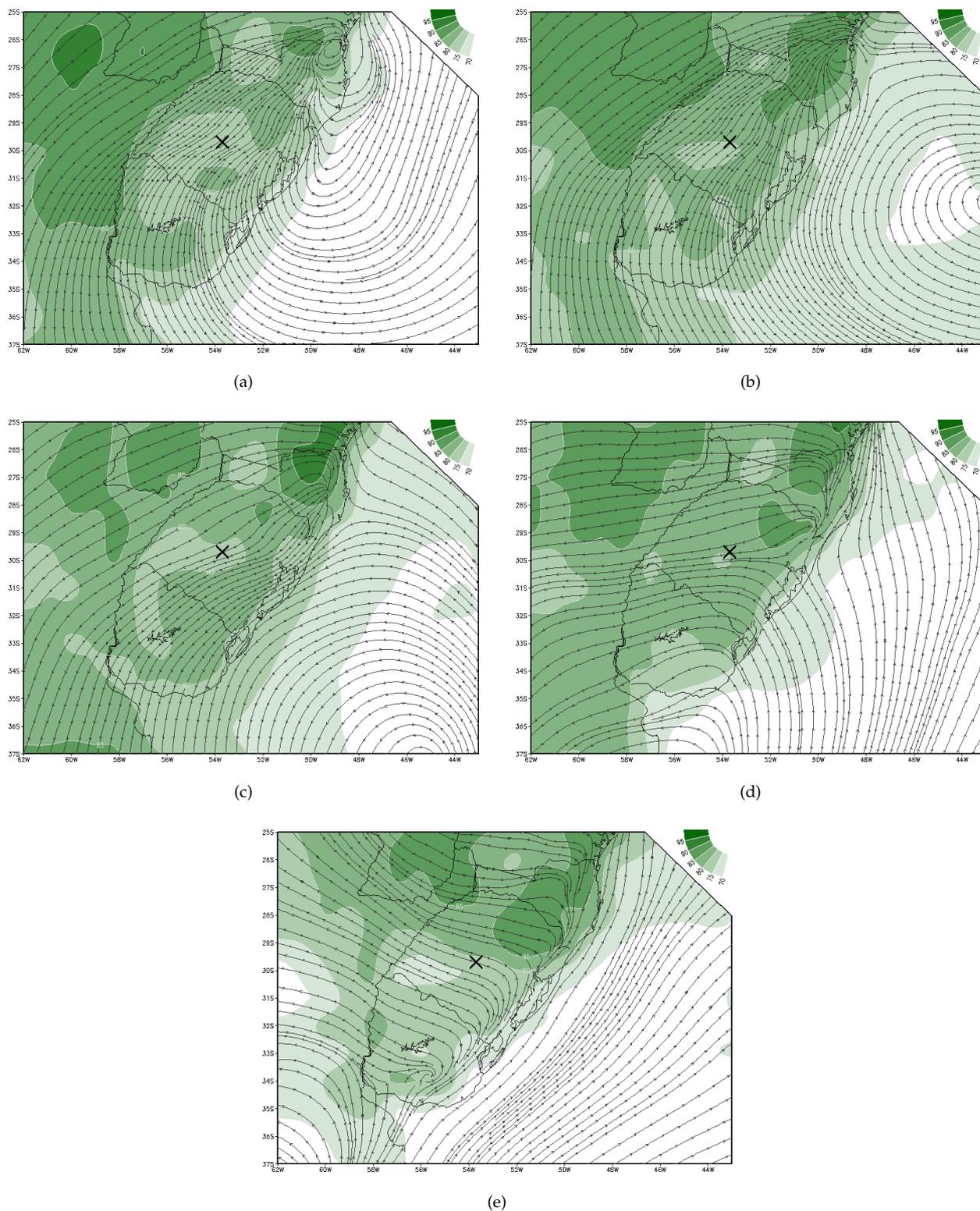


Figura 8: Umidade relativa média, a 2 m, para os setores NE (a), E (b), SE (c), S (d) e SW (e) às 12 UTC. Cor verde indica a umidade relativa (%) e linhas de corrente (preto) indicam o escoamento do vento (10 m).

5 Conclusão

A partir da análise dos dados de METAR, foi possível observar que nos meses frios o nevoeiro persiste por mais tempo, sua ocorrência é mais frequente e a visibilidade também é menor em relação aos meses de quentes, concordando com (Petterssen, 1939; Epperly, 1933).

A análise do histograma de ocorrência de nevoeiro de radiação, em relação a posição relativa do anticiclone à SM, indica que o setor predominante é o setor leste, com 40,9% do casos. Considerando um setor leste macro formado pelos setores nordeste, leste e sudeste, a ocorrência chega a 79,7% dos eventos de nevoeiro de radiação, principalmente devido a contribuição dos setores leste e sudeste que somam 70,4% da amostragem.

A caracterização dos campos sinóticos da PNM na média por setores dos mesmos foi consistente para a região de interesse, visto os baixos valores de desvio padrão referentes a posição do anticiclone no setor de localização da alta. Além disso, nos campos de gradiente de pressão, os baixos valores contribuem para ventos fracos. Este fator é importante para a formação de nevoeiro, como descrito por (Sinclair, 1996; Piva e Fedorova, 1999; Koračin et al., 2001).

A análise dos campos de umidade relativa indicam valores abaixo dos 90% na região de Santa Maria. Isso mostra que os dados de análise não representam adequadamente a condição de saturação do vapor d'água, podendo implicar uma assimilação de dados inadequada para modelos meteorológicos no que diz respeito a previsão de nevoeiros.

Referências

- Bergot, T., Guedalia, D. (1994). Numerical forecasting of radiation fog. part i: Numerical model and sensitivity tests. *Monthly Weather Review*, 122(6), 1218–1230.
- Brown, R., Roach, W. (1976). The physics of radiation fog: II – a numerical study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 102(432), 335–354.
- Cotton, W. R., Anthes, R. A. (1989). *Storm and Cloud Dynamics*. Academic Press, San Diego.
- Croft, P. J., Pfof, R. L., Medlin, J. M., Johnson, G. A. (1997). Fog forecasting for the southern region: A conceptual model approach. *Weather and Forecasting*, 12(3), 545–556.
- Curry, J. A., Webster, P. J. (1998). *Thermodynamics of atmospheres and oceans*, vol 65. Academic Press.
- Epperly, P. O. (1933). Fog formation and dissipation in the oklahoma city area, 1920 to 1931, inclusive. *Monthly Weather Review*, 61(9), 267–269.
- Gerber, H. (1981). Microstructure of a radiation fog. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38(2), 454–458.
- Koračin, D., Lewis, J., Thompson, W. T., Dorman, C. E., Businger, J. A. (2001). Transition of stratus into fog along the california coast: Observations and modeling. *Journal of the atmospheric sciences*, 58(13), 1714–1731.
- Lima, J. (1982). Previsão de ocorrência de nevoeiro em Porto Alegre: método objetivo. *Instituto de proteção ao voo do Ministério da aeronáutica*.
- Meyer, M. B., Lala, G. G. (1990). Climatological aspects of radiation fog occurrence at albany, new york. *Journal of Climate*, 3(5), 577–586.
- NCEP (2000). National centers for environmental prediction/national weather service/NOAA. URL <http://dx.doi.org/10.5065/D6M043C6>, acessado em 22 set 2014.
- Petterssen, S. (1939). *Some aspects of formation and dissipation of fog*. Cammermeyer in Komm.
- Piva, E. D., Fedorova, N. (1999). Um estudo sobre a formação de nevoeiro de radiação em Porto Alegre. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 14(2), 47–62.
- REDEMETS (2013). Rede de meteorologia do comando da aeronáutica. URL http://www.redemets.aer.mil.br/consulta_msg/consulta_de_mensagem.php?ID_REDEMETS=caotn42nbhesgeg4tuppvatbc6, acessado em 30 jan. 2015.
- Rogers, R., Yau, M. (1989). *A short course in cloud physics, International series in natural philosophy*. Butterworth Heinemann, Burlington, MA.
- Satyamurty, P., Lima, L. C. E. (1994). Movimento e intensificação de anticiclones extratropicais na região sul americana. *Anais do VIII CBMet*, 2, 75–77.
- Sinclair, M. R. (1996). A climatology of anticyclones and blocking for the southern hemisphere. *Monthly Weather Review*, 124(2), 245–264.
- Taylor, G. (1917). The formation of fog and mist. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 43(183), 241–268.
- WMO (1995). *Manual on the Observation of Clouds and Other Meteors*. World Meteorological Organization, Geneva.
- Zhang, X., Musson-Genon, L., Dupont, E., Milliez, M., Carissimo, B. (2014). On the influence of a simple microphysics parametrization on radiation fog modeling: A case study during parisfog. *Boundary-Layer Meteorology*, 151(2), 293–315.