

Artigo

## Análise de Variáveis Atmosféricas Observadas em Alta Resolução Espaço-Temporal Durante um Experimento de 30 Dias na Mesorregião da Ilha de Santa Catarina

Daniel Pires Bitencourt<sup>1</sup>, Márcia Vetromilla Fuentes<sup>2</sup>, Daniel Sampaio Calearo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho,  
Centro Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.*

<sup>2</sup>*Curso Técnico em Meteorologia, Instituto Federal de Santa Catarina,  
Florianópolis, SC, Brasil.*

Recebido: 1/10/2014 - Aceito: 7/7/2015

### Resumo

Campanhas meteorológicas são importantes porque revelam características atmosféricas não observadas rotineiramente. Entre julho e agosto de 2013, foi realizada uma campanha de 30 dias na Mesorregião da Ilha de Santa Catarina (MISC) que permitiu a construção de um banco de dados inédito, com observações a cada minuto em quatro locais estratégicos. O presente artigo aborda aspectos observacionais da micro e mesoescala a partir da utilização dos dados obtidos na referida campanha. Para explorar detalhadamente o comportamento das variáveis atmosféricas na MISC, estuda-se um caso de mudança brusca na direção do vento e dois casos em que foram observados os valores extremos na série de dados de temperatura utilizada. Os resultados mostram que a velocidade do vento é maior no oeste e sul e que a temperatura é menor no norte da MISC. A variação da temperatura a cada minuto é controlada essencialmente pela turbulência e pelas características das massas de ar transportadas no sentido do ponto de observação. Além disso, constatou-se que a variabilidade temporal da temperatura e umidade específica é similar em toda MISC a partir do momento que as forçantes atmosféricas com escala temporal de 1 h a 3 h passam a ser desprezíveis.

**Palavras-chave:** campanha observacional, dados em alta resolução, microescala, mesoescala.

## Analysis of Atmospheric Variables Observed with High Spatiotemporal Resolution During 30 Days in the Mesoregion of Santa Catarina Island

### Abstract

Meteorological campaigns are important because they show characteristics of the atmosphere which normally are not observed. In July and August, 2013 an unprecedented meteorological campaign with high temporal resolution was conducted at the Mesoregion of Santa Catarina Island (MSCI). The experiment of 30 days consisted of measuring standard meteorological variables at 1-min sampling rate at four strategic places of MSCI. This paper shows some aspects of both micro and meso scales. For a minutely exploration of the variables, it was studied one case of sudden change of wind direction and two cases of extreme temperatures. The results showed higher wind speeds in both west and south sectors, and lower temperatures in the north sector of the MSCI. Temperature variation each minute is mainly controlled by both turbulence and air masses which are transported over the observation point. In addition, it was found that the temporal variability of both temperature and specific humidity presents similar behavior at entire MSCI. It occurs from the time that the local atmospheric forcings with temporal scale from 1 to 3 h becomes inconsiderable.

**Keywords:** observational campaign, high resolution data, microscale, mesoscale.

## 1. Introdução

Um estudo meteorológico observacional em regiões de terreno complexo requer uma base de dados adensada, ou seja, vários sítios de observação localizados relativamente próximos, realizando a coleta dos dados em alta frequência temporal. Este é o caso da Mesorregião da Ilha de Santa Catarina (MISC), composta pela parte insular e continental de Florianópolis, Santa Catarina (SC), e por municípios da área metropolitana.

Embora a identificação de toda a diversidade de clima local na MISC, quando realizada por meio de estações meteorológicas de superfície, seja um amplo desafio, muitos fenômenos atmosféricos de mesoescala podem ser detectados por redes meteorológicas chamadas de “mesonet”, normalmente constituídas por estações meteorológicas automáticas. Uma das mais conhecidas do mundo, a “Mesonet” de Oklahoma, nos Estados Unidos da América (EUA), possui espaçamento horizontal de aproximadamente 30 km e frequência temporal de aproximadamente 5 min (Brock *et al.*, 1995). Este tipo de observação permite investigações sobre os processos físicos e suas consequências em termos de circulação local.

No Brasil, alguns estudos atmosféricos têm sido conduzidos utilizando dados em alta frequência temporal, obtidos por meio de campanhas meteorológicas. No trabalho realizado por Minella *et al.* (2011), foram utilizados modelagem numérica da atmosfera e dados observados em campanhas realizadas em Curitiba para estudar as relações da geometria urbana e alterações no clima. As campanhas observacionais conduzidas pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no Estado do Rio Grande do Sul (RS), geraram importantes resultados para as mesorregiões do Vale do Rio Jacuí (Moraes *et al.*, 2004; Moraes *et al.*, 2005; Magnago *et al.*, 2009) e do Vale do Rio da Prata (Bitencourt *et al.*, 2003a, 2003b; Acevedo *et al.*, 2005, 2007; Bitencourt e Acevedo, 2007, 2008; Bitencourt *et al.*, 2009). Os experimentos nestas mesoregiões não tiveram os mesmos objetivos desse estudo, visto que as medições no RS foram essencialmente micrometeorológicas. Tais estudos suportam a importância da realização da condução de campanhas meteorológicas, como é destacada no presente trabalho.

As observações meteorológicas na MISC são operacionalmente realizadas nos quatro locais a seguir descritos: os registros atmosféricos mais antigos, por meio de equipamentos convencionais, tiveram início no final da década de 60 com a estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em São José, SC (latitude 27,58° S, longitude 48,56° W e altitude 1,84 m), região metropolitana de Florianópolis, SC. Em meados dos anos 70, iniciaram-se observações atmosféricas no Aeroporto Internacional Hercílio Luz (Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Florianópolis – DTCEA/FL), ao sul da Ilha de SC (latitude 27,67° S, longitude 48,55° W e altitude 6 m). Essas observações de superfície passaram a ser mais

frequentes, com registros automáticos realizados a cada hora, a partir de 1988 no aeroporto e a partir de 2005 em São José, SC. As observações por radiossondagem, conduzidas no mesmo aeroporto, também sob a responsabilidade do DTCEA/FL, têm sido realizadas de uma a duas vezes por dia a partir do final da década de 80. Há ainda uma estação meteorológica convencional (que opera desde 1995) e uma automática com registro horário (em funcionamento desde 2001) no Bairro Itacorubí (latitude 27,51° S, longitude 48,53° W e altitude 5 m), em Florianópolis, SC, mantidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de SC (EPAGRI). No centro de Florianópolis, SC (latitude 27,59° S, longitude 48,54° W e altitude 16 m), o curso técnico de meteorologia do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) também mantém equipamentos convencional e automático (registro horário) para fins de ensino e treinamento desde 2004. Essa estrutura de coleta de dados meteorológicos com intervalo de tempo igual ou superior a 1 h ( $\Delta t \geq 1$  h), com sua distribuição espacial concentrada nas áreas urbanas próximo à ligação ilha/continente, além do aeroporto, muitas vezes não permite diagnosticar adequadamente os processos meteorológicos de micro e meso escala que ocorrem na MISC.

Com o intuito de monitorar as condições atmosféricas locais, especialmente em casos de eventos meteorológicos severos, tais como os de frio intenso com impacto à saúde pública, o Projeto Sistema Móvel de Monitoramento Meteorológico do IFSC realizou entre julho e agosto de 2013 a primeira campanha observacional com alta resolução temporal, utilizando quatro estações meteorológicas móveis distribuídas em pontos estratégicos, onde cada um deles representou um dos pontos cardeais da MISC. Campanhas meteorológicas deste tipo são extremamente importantes, pois geram diagnósticos ambientais com resolução espaço-temporal mais refinada. Além disso, possibilitam o avanço no conhecimento dos mecanismos de pequena escala que influenciam o clima e a circulação local em uma determinada área. Em particular, a campanha meteorológica realizada pelo IFSC proveu um inédito conjunto de dados meteorológicos de alta resolução, considerado muito relevante para a MISC. E isso se deve principalmente a alta complexidade das forçantes locais de micro e meso escalas e suas interações com as forçantes atmosféricas de grande escala.

Diante do exposto, esse trabalho tem como principal objetivo documentar a variabilidade espaço-temporal das variáveis vento, temperatura, umidade e pressão durante uma campanha observacional de 30 dias em quatro pontos estratégicos da MISC, utilizando estações automáticas com amostragem de alta frequência temporal. Para explorar todo o potencial diagnóstico dos dados, são particularmente analisados um caso de mudança brusca na direção do vento e dois casos em que foram observados os valores extremos na série de dados de temperatura utilizada. Os detalhes sobre a campanha meteorológica, as características da

MISC e os métodos de análise são apresentados na Seção 2. Na Seção 3, apresenta-se uma análise da variabilidade espaço-temporal das variáveis meteorológicas observadas na campanha e os três estudos de caso. Por fim, na Seção 4 apresentam-se as Considerações Finais deste estudo.

## 2. Metodologia

### 2.1. A mesorregião da Ilha de Santa Catarina (MISC)

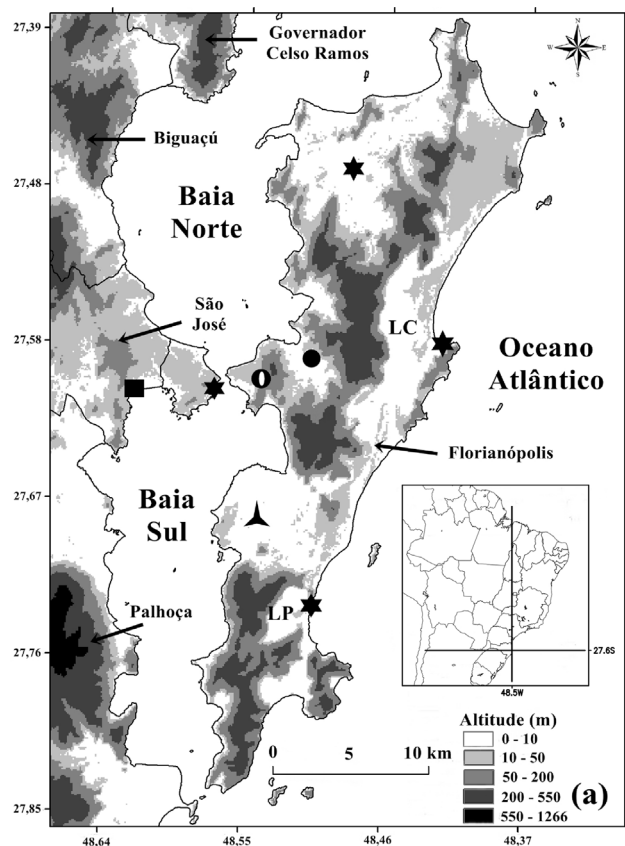
A Ilha de SC, a maior de um arquipélago de mais de 30 ilhas, possui uma extensão territorial de 424,4 km<sup>2</sup> e um formato mais alongado na direção norte-sul, com aproximadamente 54 km de comprimento. A distância máxima na direção leste-oeste é de 18 km na parte norte. A ilha localiza-se muito próximo do continente, sendo a cidade de Florianópolis, capital do Estado de SC, constituída de uma pequena parte continental e de toda a área insular, conforme divisão política mostrada na Fig. 1. O ponto mais próximo entre o continente e a ilha (500 m) limita as Baías Sul e Norte, conforme ilustrado na Fig. 1. Nesse trabalho, considerou-se a MISC como sendo toda a área que contempla a capital de SC, Florianópolis, e parte dos municípios de São

José, Palhoça, Biguaçu e Governador Celso Ramos, além da área oceânica, que inclui as Baías Sul e Norte (Fig. 1).

A MISC é caracterizada por apresentar um terreno complexo, com altitudes que variam de 0 a aproximadamente 530 m na ilha e de 0 a aproximadamente 1040 m no continente (Fig. 1). Essas características de relevo, assim como o recorte litorâneo, a presença de lagoas, áreas urbanas e vegetação nativa impactam os campos de vento e outras variáveis meteorológicas em diferentes escalas (Ray, 1986). Acredita-se que na direção leste/oeste da MISC, os gradientes horizontais de temperatura apresentem inversões de sentido ao longo de distâncias curtas devido ao aquecimento diferencial solo/água, proporcionado pela sequência continente-baía-ilha-oceano. Apesar de ainda não documentado, existe uma percepção de que, no interior da área insular, a diferenciação da temperatura solo/água nas áreas de cinco lagoas também favoreçam características específicas à circulação em diferentes escalas espaciais. A Lagoa da Conceição (LC) e a Lagoa do Peri (LP), ambas indicadas na Fig. 1, são as mais extensas da Ilha de SC. É natural esperar que, dependendo da época do ano, os gradientes de temperatura apresentem grande variabilidade diurna. Somado a isso, supõe-se que o aquecimento diferencial da superfície em escala local seja provocado por contrastes entre áreas inteiramente cobertas por vegetação nativa e áreas altamente urbanizadas. Tokairin *et al.* (2010) destacaram que a diferença de temperatura entre uma área urbana e os seus arredores possa ser de até 1 °C. Kitada *et al.* (1998), com o uso da modelagem numérica, constataram interações dos efeitos de urbanização, topografia e brisa marítima na região central do Japão. Guo *et al.* (2006) estudaram o possível efeito da urbanização de Pequim, China, na estrutura das nuvens e distribuição da precipitação em um sistema convectivo severo.

### 2.2. Campanha observacional

Quatro estações meteorológicas compactas foram instaladas em pontos estratégicos de observação da MISC, escolhidos por representarem os quatro pontos cardeais da região, sendo três deles na ilha e um no continente (Fig. 1). O ponto selecionado ao sul é um espaço cedido pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), em 27,73° S, 48,51° W e 15 m de altitude. No setor oeste, a estação esteve localizada no IFSC, em 27,60° S, 48,57° W e 4 m de altitude. No leste, a estação foi posicionada nas instalações do Projeto Tamar, em 27,57° S, 48,43° W e 3 m de altitude. No norte, o ponto de observação selecionado foi a Estação Ecológica do Carijós (ESEC), próximo às instalações do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), em 27,47° S, 48,49° W e 8 m de altitude. Doravante, a estação meteorológica localizada na CASAN será denominada de estação ou ponto de observação *SUL*, a do Projeto Tamar de *LESTE*, a do IFSC de *OESTE* e a da ESEC/ICMBio de *NORTE*. A estação *OESTE* foi a única posicionada na parte continental da



**Figura 1** - Mapa de relevo da MISC (legenda em metros no canto inferior/direito) com a localização das (★) 4 estações meteorológicas móveis utilizadas na campanha experimental. Os demais símbolos no mapa mostram a localização das estações de superfície mantidas pelo (○) IFSC, (●) INMET, (■) EPAGRI e (▲) DTCEA/FL. LP indica a localização da Lagoa do Peri e LC da Lagoa da Conceição.

cidade de Florianópolis, enquanto que as demais estações (*SUL*, *LESTE* e *NORTE*) foram posicionadas na parte insular. A Fig. 1 mostra como as quatro estações da campanha meteorológica estiveram posicionadas em relação à rede meteorológica operacional mencionada anteriormente.

As estações meteorológicas móveis utilizadas na campanha são equipadas pelo Multisensor WXT520, da marca Vaisala, que obtém diretamente medidas de temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica e precipitação. A direção e velocidade do vento são detectadas por ultra-som, com base em um conjunto de três transdutores igualmente espaçados em um plano horizontal. O intervalo de medida, a precisão e o tempo de resposta da velocidade do vento são, respectivamente, de  $0 \text{ m s}^{-1}$  a  $60 \text{ m s}^{-1}$ , de  $\pm 3\%$  em  $10 \text{ m s}^{-1}$  e de 250 ms, enquanto que para a direção do vento, estes valores são, respectivamente, de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , de  $\pm 3^\circ$  e de 250 ms. Os intervalos de medida da temperatura, umidade e pressão são, respectivamente, de  $-52^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$ , de 0% a 100% e de 600 hPa a 1100 hPa. A precisão do sensor de temperatura em  $+20^\circ\text{C}$  é de  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ , do sensor de umidade é de  $\pm 3\%$  no intervalo de 0% a 90% e do sensor de pressão é  $\pm 1 \text{ hPa}$  no intervalo de temperatura entre  $-52^\circ\text{C}$  e  $60^\circ\text{C}$ . A frequência temporal dos dados são de  $0,1^\circ\text{C}$  para temperatura,  $0,1\%$  para umidade e de  $0,1 \text{ hPa}$  para pressão.

O Multisensor WXT520 foi acoplado em um tripé, em aproximadamente 1,8 m do solo, conforme ilustrado na Fig. 2. Portanto, todas as variáveis são observadas no mesmo nível. Durante o período da campanha meteorológica, os eventos de chuva foram raros e de fraca intensidade. Somado a isso, problemas de armazenamento dos dados de precipitação inviabilizaram a análise dessa variável.

Os quatro pontos de observação possuem características de solo similares cobertos por vegetação baixa.

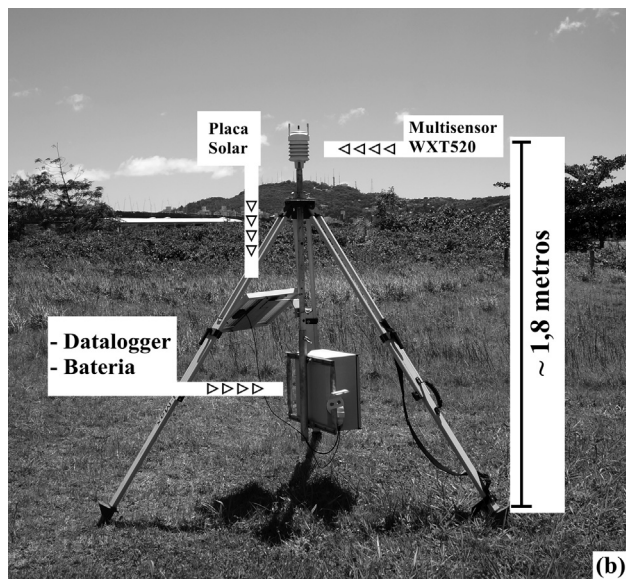


Figura 2 - Foto ilustrativa da estação meteorológica móvel.

Considerando as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM), não há obstáculos ao redor das estações *OESTE*, *SUL* e *NORTE*. A única exceção é uma pequena edificação (área de aproximadamente  $8 \text{ m} \times 4 \text{ m}$  e altura de aproximadamente 4 m) a uma distância de aproximadamente 30 m a leste da estação *LESTE*. O tripé ainda suporta a placa solar e um compartimento para o “data-logger” e a bateria (Fig. 2).

Nesse estudo, utilizam-se as variáveis temperatura do ar ( $T$ ), umidade específica ( $q$ ), pressão atmosférica ( $p$ ), direção ( $D$ ) e velocidade ( $V$ ) horizontal do vento e desvio da direção ( $dD$ ) do vento. Todos os dados utilizados possuem alta resolução temporal, com registros a cada 1 (um) minuto. Estes registros, chamados de valores “momentâneos” por Maggiotto *et al.* (2007), referem-se a médias (ou desvio padrão, no caso do  $dD$ ) das medidas feitas pelo sensor a cada segundo. A série de dados cobre o período entre 06:00 hora local (HL) do dia 14 de julho e 05:59 HL do dia 12 de agosto de 2013, totalizando 41760 observações para cada variável em cada estação. A única exceção é a observação de vento na estação *OESTE*, que apresenta falha a partir do dia 22 de julho, totalizando 12021 observações de  $D$ ,  $dD$  e  $V$ .

Exclusivamente para as análises dos estudos de caso utiliza-se os dados horários da estação meteorológica automática do INMET, localizada no município de São José, SC, na área continental da MISC (Fig. 1). Essa estação meteorológica localiza-se praticamente na mesma latitude e a uma distância de 4830 m da estação *OESTE*. Os dados da estação do INMET são sobrepostos aos dados observados pela estação *OESTE* com o intuito de comparar subjetivamente, nos períodos de 4 h estudados, o comportamento de  $p$ ,  $T$ ,  $V$  e  $D$ . Entretanto, para  $V$  e  $D$  essa comparação não é feita nos estudos de caso 2 e 3, pois a estação *OESTE* possui falha na observação do vento.

### 2.3. Método de análise

A avaliação dos dados observados durante a campanha é realizada utilizando cálculos estatísticos aplicados a toda série de  $T$ ,  $q$ ,  $D$ ,  $dD$  e  $V$ . Também, calcula-se as variações de  $T$  e  $q$  a cada minuto ( $DT/Dt$  e  $Dq/Dt$ , onde  $D/Dt$  é a derivada total) e suas médias simples e móvel, assim como para  $V$  com o intuito de comparar a variabilidade de  $T$ ,  $q$  e  $V$  entre os quatro pontos de observação. A média simples é obtida pela soma de todos os valores observados a cada minuto e dividido pelo número de observações, sendo referenciada ao longo do texto como “média”. A média móvel é o cálculo de uma média simples realizado a cada registro (de 1 min) da série, considerando os valores mais recentes. Portanto, a média móvel suaviza a série de dados em períodos de minutos até horas, sendo referenciada ao longo do texto sempre como “média móvel”. Para comparação da variabilidade espacial, calcula-se a correlação de Pearson ( $r$ ) (para a série de dados original – a cada minuto – e para os dados após o cálculo da média

móvel) entre os pares de estações. As discussões dos resultados seguem a classificação proposta por Maxwell e Satake (1997), que definem  $r$  “fraco” para  $0 \leq r < 0,3$ ,  $r$  “moderado” para  $0,3 \leq r < 0,7$  e  $r$  “forte” para  $0,7 \leq r \leq 1$ . Utilizando o nível de significância máximo de 0,01% ( $p \leq 0,0001$ ), aplica-se aos resultados de correlação o teste  $t$  de Student (Spiegel *et al.*, 2000).

Com o objetivo de caracterizar a variabilidade espaço-temporal das variáveis meteorológicas ressaltadas pela alta frequência de amostragem e alta densidade observacional, analisa-se a evolução temporal dos dados em períodos de 4 h, para um caso de mudança de direção do vento do quadrante norte para o quadrante sul, um caso de intrusão de uma massa de ar frio (menor temperatura registrada na campanha) e um caso de ocorrência de temperaturas elevadas (maior temperatura registrada na campanha). Para o domínio espacial da MISC definido neste estudo, o período de 4 h foi julgado ser suficiente para que a mudança na direção do vento e ocorrência de temperaturas máxima e mínima fossem registrados nos quatro pontos de observação.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Direção, velocidade e temperatura

No *NORTE*, as maiores frequências da  $D$  são de sul-sudeste e norte (Fig. 3a) e no *LESTE* são de nortenoeste e de sul-sudeste. No *SUL*, as maiores frequências da  $D$  são de sudoeste e noroeste, respectivamente (Fig. 3c). No *OESTE* (Fig. 3d), observa-se claramente que a maior frequência da  $D$  é de sul, sendo também observado a ocorrência dos ventos mais intensos da série. Comparando o comportamento do vento no *OESTE* (Fig. 3d) com os outros pontos de observação, verifica-se que nesta estação os ventos são destacadamente mais frequentes e fortes. Isso está possivelmente associado à canalização dos ventos na Baía Sul, por onde o ar flui horizontalmente sem impedimentos de barreiras naturais e com pouco atrito. Nos arredores das demais direções da estação *OESTE*, podem-se encontrar outras características de superfície, como a presença de algumas barreiras naturais e áreas altamente urbanizadas, aumentando o atrito. Deve-se ainda considerar que estes resultados podem ter sido influenciados pela ausência de dados de vento na estação *OESTE* durante aproximadamente 2/3 da série. No entanto, os gráficos temporais de velocidade (painel inferior - Fig. 3) indicam que, apesar da ausência de dados, o comportamento do vento na estação *OESTE* é diferenciado em relação às demais estações. Mesmo com a série incompleta, constata-se que o *OESTE* é o local onde a  $V$  é mais intensa ( $\bar{V} = 4 \text{ m s}^{-1}$ , onde a média da velocidade,  $\bar{V}$ , é obtida por meio da soma de todos os valores observados na campanha dividido pelo número de observações) em relação aos demais pontos de observação (Painel inferior – Figs. 3a-d). Esse resultado se deve principalmente a fatores como: a direção predominante do vento

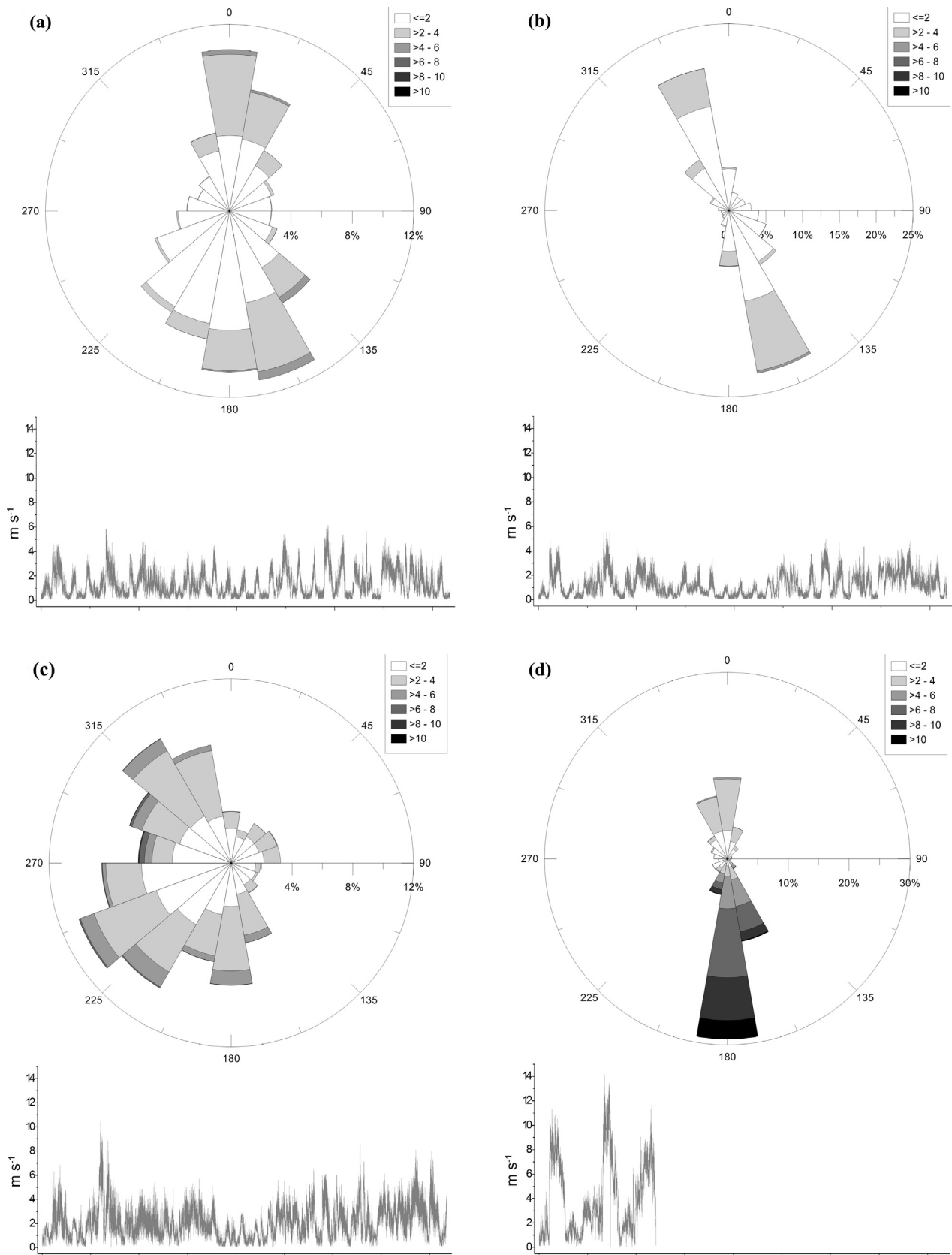
observada durante a campanha (Fig. 3d), a completa ausência de barreira ao sul do local de instalação da estação *OESTE* (Fig. 1) e ainda ao fato de os ventos de sul deslocarem-se sobre as águas da Baía Sul, o que mantém o atrito bastante baixo. A  $V$  mais intensa registrada é de  $14,1 \text{ m s}^{-1}$  no *OESTE*. No *SUL*, a maior magnitude de  $V$  é de  $10,5 \text{ m s}^{-1}$ , com média de  $2,1 \text{ m s}^{-1}$ , indicando que no *SUL* os ventos também são intensos, porém, com menor frequência. No *LESTE* e *NORTE*, as  $\bar{V}$  são, respectivamente, de  $1,2 \text{ m s}^{-1}$  e  $1,3 \text{ m s}^{-1}$ . Considerando apenas o período com existência de dados de vento nos quatro pontos de observação ( $N = 12021$ ), as constatações sobre  $V$  mostram-se muito similares em relação à análise de todo o período da campanha meteorológica ( $N = 41760$ ). A  $\bar{V}$  no *NORTE* e no *SUL* mantém-se com os mesmos valores e no *LESTE* passa de  $1,3 \text{ m s}^{-1}$  para  $1,2 \text{ m s}^{-1}$ .

As temperaturas médias (soma de todos os valores observados na campanha dividido pelo número de observações) não diferem muito entre os quatro pontos de observação. A média mais baixa é verificada no *NORTE*, com  $14,4 \text{ }^\circ\text{C}$ , quase  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  mais baixa que no *SUL* e *OESTE* e  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  mais baixa que no *LESTE*. No decorrer da campanha, a  $T$  mais alta ( $31 \text{ }^\circ\text{C}$ ) é registrada no *LESTE* no início da tarde do dia 02 de agosto e a mais baixa ( $2,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) é registrada no *NORTE* na madrugada do dia 24 de julho. Na Seção 3.3, utilizam-se esses dois extremos de temperatura e um caso de mudança brusca na direção do vento para analisar o comportamento dos dados observados durante períodos de 4 h.

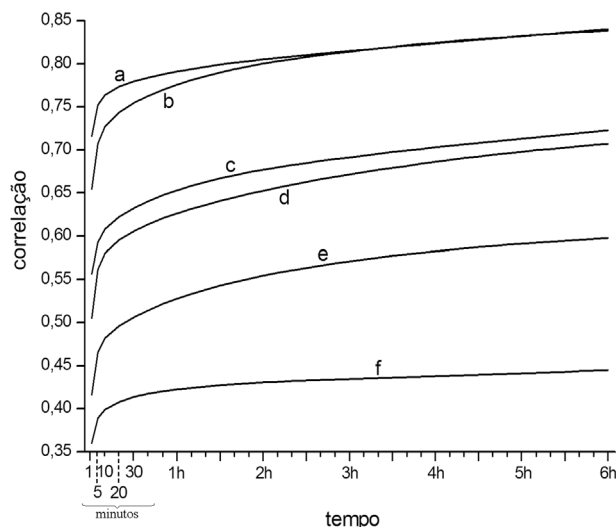
#### 3.2. Variabilidade espaço-temporal dos dados observados

A obtenção das variáveis atmosféricas a cada minuto e o cálculo das médias móveis para períodos de poucos minutos até algumas horas, bem como a inter-comparação das séries de dados entre os quatro pontos de observação, permitem a análise de alguns aspectos meteorológicos em diferentes escalas de tempo e espaço na MISC. Mesmo esta campanha não contemplando importantes observações utilizadas em estudos de microescala, tais como as trocas de energia e massa entre a superfície e a atmosfera por meio de observações dos fluxos turbulentos de calor sensível, calor latente e momento, é possível verificar alguns aspectos associados à microescala.

O comportamento da  $V$  registrada a cada minuto apresenta forte correlação ( $r = 0,72$ ) entre os pontos de observação *LESTE* e *OESTE* (Fig. 4), os quais se distanciam em  $14,4 \text{ km}$  um do outro e estão em latitudes muito próximas. Considerando ainda os registros a cada minuto, as demais correlações para a variável  $V$  são moderadas, sendo, entre estas, a menor correlação ( $r = 0,36$ ) verificada entre o *SUL* e o *OESTE* (distantes em  $15,6 \text{ km}$ ) e a maior correlação ( $r = 0,65$ ) verificada entre o *LESTE* e o *NORTE* (distantes em  $12,6 \text{ km}$ ). Ainda de acordo com a Fig. 4, percebe-se que a  $r$  da  $V$  aumenta rapidamente quando é calculada a média



**Figura 3** - [Painel superior] Frequência (%) da direção do vento (intervalos de 20°) e [Painel inferior] evolução temporal da velocidade ( $m s^{-1}$ ). Dados observados a cada minuto em aproximadamente 1,8 m de altura, ao longo de toda a série de dados, para as estações (a) NORTE, (b) LESTE, (c) SUL e (d) OESTE. Para cada direção do vento é representado graficamente a frequência de velocidade ( $m s^{-1}$ ), conforme legenda no canto superior/direito.



**Figura 4** - Correlação de Pearson ( $r$ ) para a série de  $\bar{V}$  entre as estações **a** – OESTE/LESTE, **b** – LESTE/NORTE, **c** – OESTE/NORTE, **d** – SUL/LESTE, **e** – SUL/NORTE e **f** – SUL/OESTE. As médias são calculadas para períodos de 1 min (dado original), 5 min, 10 min e, posteriormente, cada período é acrescido de 10 min, até o último cálculo de média realizado para o período de 6 h. A duração desses períodos é representada no eixo horizontal e  $r$  no eixo vertical.  $p < 0,0001$ ;  $N = 41760$  (séries de SUL, LESTE e NORTE) e  $N = 12021$  (série de OESTE).

móvel de 5 min. No entanto, somente a  $r$  entre o LESTE e o NORTE passa de moderada a forte (de 0,65 para 0,71). A  $r$  entre o OESTE e o NORTE atinge  $r \geq 0,7$  (forte) depois de 3 h de média móvel, enquanto na  $r$  entre o SUL e o OESTE isso ocorre com quase 5 h de média. As correlações entre as estações SUL/NORTE e SUL/OESTE permanecem moderadas mesmo calculando média de  $V$  para períodos de 6 h.

Considerando as condições médias observadas especificamente durante a campanha observacional, a variabilidade da  $V$  dentro da MISC difere espacialmente muito mais devido a fatores como as elevações ao redor de cada local do que propriamente devido à distância entre eles. Um exemplo disso é o possível efeito de canalização na Baía Sul, influenciando as condições de vento na estação OESTE. Apesar de o período de observação ter sido entre julho e agosto, quando as circulações causadas pelo aquecimento diferencial em encostas e nos limites água/solo não são tão intensas, é necessário considerar esses efeitos de mesoescala que somam-se à circulação média causada pelos sistemas meteorológicos de escala sinótica. Conforme calcula-se a média móvel de  $V$ , as forçantes locais de micro e mesoescala passam a ser pouco a pouco desprezíveis e a atuação dos sistemas sinóticos é espacialmente mais homogênea, fazendo com que as correlações entre os quatro pontos de observação aumentem gradativamente. Entretanto, com 6 h de média móvel, os valores de  $r = 0,6$  entre o SUL e o NORTE e de  $r = 0,4$  entre o SUL e o OESTE (Fig. 4) indicam que esses dois pares de pontos de observação são os que mais diferem em termos de compor-

tamento da  $V$ . Já nas estações SUL e NORTE, deve-se considerar a distância (28,5 km) que é a maior entre as estações. No caso das estações SUL e OESTE (distantes em 15,6 km), as diferenças em 6 h de média móvel podem ser atribuídas principalmente às diferenças nas características locais de cada ponto de observação, tais como aquelas associadas às barreiras físicas do terreno capazes de canalizar ou desviar os ventos. O comportamento da  $V$  apresenta as maiores similaridades entre o OESTE e o LESTE e entre o LESTE e o NORTE.

A variabilidade da série de dados observados (média a cada minuto) de  $T$  e  $q$  é muito similar entre os quatro pontos de observação (Tabela 1). Todas as séries apresentam forte correlação, sendo o menor valor ( $r = 0,83$ ) para  $q$  entre o SUL e o NORTE e o maior valor ( $r = 0,95$ ) para  $T$  entre o LESTE e o NORTE. O comportamento similar dessas variáveis nos quatro pontos de observação é verificado quando se considera a série toda de observações a cada minuto. Isso ocorre por causa da proximidade entre os quatro pontos de observação e, também, devido a MISC ter sido atingida durante a campanha por vários sistemas de escala sinótica.

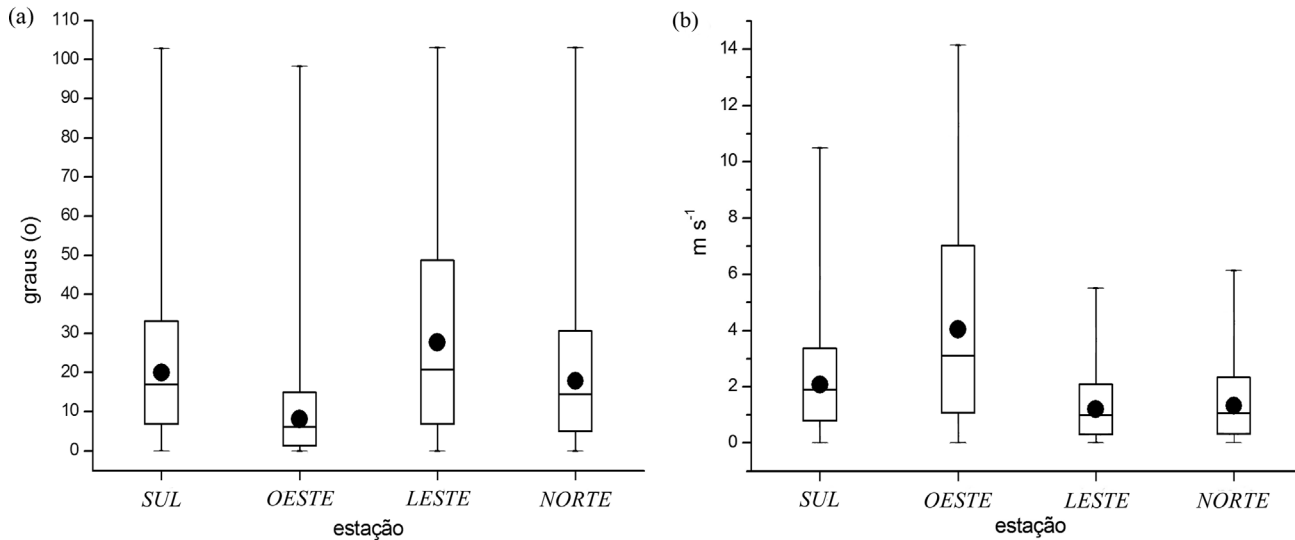
Contudo, quando se obtém as derivadas de  $T$  e  $q$  ( $DT/Dt$  e  $Dq/Dt$ ) com  $Dt = 60$  s e calcula-se novamente  $r$  entre os quatro pontos de observação, os valores obtidos são muito baixos:  $\bar{r} \approx 0,09$  para as séries de  $T$  e  $\bar{r} \approx 0,08$  para as séries de  $q$ . É natural esperar que a variabilidade de  $T$  e  $q$  a cada minuto seja influenciada por forçantes micrometeorológicas existentes em cada ponto de observação. A suposição que se faz aqui é de que  $DT/Dt$  e  $Dq/Dt$  sejam controladas pelos processos turbulentos e pelas características das massas de ar que se deslocam pelos pontos de observação. Estas massas de ar, por exemplo, em um momento podem trazer ar frio e úmido de uma área oceânica e no minuto posterior trazer ar mais quente e seco de uma área urbana.

Na escala de tempo de 1 min, o  $dD$  é em média  $20^\circ$  no SUL,  $8,1^\circ$  no OESTE,  $27,8^\circ$  no LESTE e  $17,8^\circ$  no NORTE (Fig. 5a), sendo seus valores máximos em torno de  $100^\circ$  nos quatro pontos de observação. Além de processos físicos de microescala, tais como a turbulência, também se pode atribuir à alta variabilidade na direção do vento em apenas 1

**Tabela 1** - Correlação de Pearson ( $r$ ) entre os quatro pontos de observação para as séries de dados de  $T$  e  $q$ .

Estação	OESTE	LESTE	NORTE
SUL	$T$ : 0,90	$T$ : 0,93	$T$ : 0,85
	$q$ : 0,88	$q$ : 0,92	$q$ : 0,83
OESTE	—	$T$ : 0,94	$T$ : 0,91
		$q$ : 0,93	$q$ : 0,91
LESTE	—	—	$T$ : 0,95
			$q$ : 0,94

$p < 0,0001$ .  $N = 41760$ .



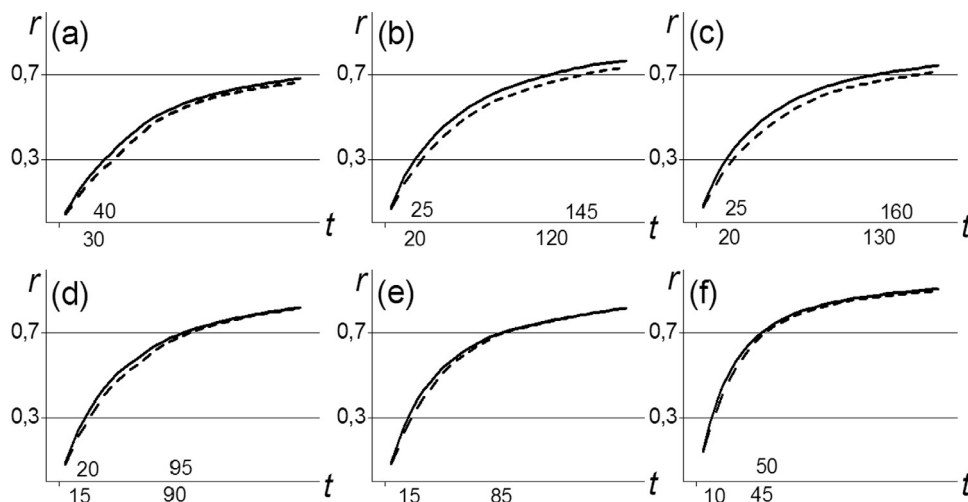
**Figura 5** - Média (•), desvio padrão (caixa), mediana (linha horizontal no interior da caixa) e valores mínimo (⊥) e máximo (⊤) do (a)  $dD$  dentro do período de 1 min e da (b)  $V$ .  $N = 41760$  (séries de *SUL*, *LESTE* e *NORTE*) e  $N = 12021$  (série de *OESTE*).

min como uma das responsáveis pelas mudanças de  $T$  e  $q$  observada a cada minuto ao longo da série. Sabe-se que o campo de  $V$  é influenciado por outras variáveis, como  $T$  e  $p$ . Entretanto, considera-se aqui a influência de  $V$  na variação de  $T$  e  $q$ , pois quanto mais forte é o vento, maior é a distância que massas de ar com características diferentes podem ser advectadas. Além disso, quanto mais forte for o vento, maiores serão as condições dinâmicas para geração de turbulência. Nota-se na Fig. 5b que a velocidade média do vento registrada durante a campanha é similar nos quatro pontos de observação, com exceção da estação *OESTE*, que chama a atenção pelo maior desvio padrão em torno da média e pelo maior valor de  $V$  máxima. Além disso, excetuando a estação *OESTE*, todos os pontos de observação da MISC apresentam comportamento normal da série de  $V$ , visto que a média e a mediana não são coincidentes para os dados do ponto de observação *OESTE* (Fig. 5b).

Outra consideração importante com respeito às observações de  $dD$  e  $V$  é a relação dessas duas variáveis. Calculando a correlação entre  $dD$  e  $V$ , obtém-se  $r = -0,14$ ,  $r = -0,50$ ,  $r = -0,32$  e  $r = -0,27$  para as séries das estações *SUL*, *OESTE*, *LESTE* e *NORTE*, respectivamente. Embora esses valores mostrem correlações entre fraca e moderada, a  $r$  negativa indica que quanto maior a  $V$ , menor é a  $dD$  em períodos de 1 min. De fato, velocidades mais altas do vento ocorrem quando há presença de forçantes atmosféricas decorrentes de sistemas meteorológicos de mesoescala ou de escala sinótica. Em situações como estas, os ventos sopram com maior intensidade e com uma direção predominante. Já nas situações em que os ventos provenientes das forçantes sinóticas são mais fracos, o deslocamento das massas de ar ocorre devido a efeitos mais localizados, favorecendo uma maior variabilidade da direção dos ventos. Calculando  $r$  entre os quatro pontos de observação para

as séries da média móvel das derivadas temporais de  $T$  ( $\overline{DT/Dt}$ ) e  $q$  ( $\overline{Dq/Dt}$ ), tomadas em períodos de 5, 10, 15, ..., 180 min (3 h), obtém-se um aumento gradativo de  $r$ . Esses resultados são apresentados na Fig. 6, onde primeiramente nota-se que não há grandes diferenças de comportamento para  $\overline{DT/Dt}$  e  $\overline{Dq/Dt}$ . Há apenas uma defasagem de até 10 min para alcançar  $r$  de 0,3 (correlação moderada) e de até 30 min para alcançar  $r$  de 0,7 (correlação forte). Todos os pares de pontos de observação têm inicialmente correlação fraca ( $r < 0,3$ ), passando a apresentar correlação moderada antes de 1 h de média móvel, sendo que em 1 h,  $\bar{r} = 0,6$ . Isso significa que os fenômenos meteorológicos de microescala passam a ser desprezíveis em cada ponto de observação com média móvel de até 1 h, que é de fato a escala temporal máxima dos fenômenos micrometeorológicos. Embora  $r$  de  $\overline{DT/Dt}$  e de  $\overline{Dq/Dt}$  entre as estações *SUL* e *OESTE* chegue muito próximo de 0,7 (Fig. 6a), a correlação das derivadas entre esses dois pontos de observação é moderada até a média móvel de 3 h, mostrando claramente que o *SUL* e o *OESTE* são os dois pontos de observação que mais diferem em termos de condições locais de tempo. Comparando o *SUL* e o *LESTE* (Fig. 6b) e o *SUL* e o *NORTE* (Fig. 6c), verifica-se que as variações no tempo de  $T$  e  $q$  passam a ser controladas nesses pontos de observação por praticamente as mesmas forçantes meteorológicas, a partir de aproximadamente 2 h e 30 min, sendo ainda as diferenças restantes provenientes de efeitos muito localizados. Entre as estações *OESTE* e *LESTE* (Fig. 6d) e as estações *OESTE* e *NORTE* (Fig. 6e), essa homogeneidade dos fenômenos meteorológicos que causam variações na  $T$  e  $q$  passam a ocorrer a partir de aproximadamente 1 h e 30 min. Já a comparação entre o *LESTE* e o *NORTE* (Fig. 6f) mostra que  $T$  e  $q$  passam a variar no tempo com





**Figura 6** - Correlação de Pearson ( $r$ ) para  $\overline{DT}/\overline{Dt}$  (linha contínua) e  $\overline{Dq}/\overline{Dt}$  (linha tracejada) entre as estações (a) *SUL/OESTE*, (b) *SUL/LESTE*, (c) *SUL/NORTE*, (d) *OESTE/LESTE*, (e) *OESTE/NORTE* e (f) *LESTE/NORTE*. Os valores abaixo (acima) do eixo horizontal  $t$  indicam o tempo, em minutos, para cálculo da média que a  $r$  da série de  $\overline{DT}/\overline{Dt}$  ( $\overline{Dq}/\overline{Dt}$ ) atinge 0,3 e 0,7 - valores limites para classificação de correlação moderada e forte, respectivamente. A escala do eixo horizontal é a mesma para todos os gráficos, sendo apresentado apenas o tempo, em minutos, que as marcas de  $r = 0,3$  e  $r = 0,7$  são alcançadas.

comportamentos similares, apresentando fortes correlações, antes de 1 h de média móvel.

Em síntese, as variações no tempo de  $T$  e  $q$  apresentam comportamentos similares (com forte correlação entre os pontos de observação) em toda MISC, a partir do momento que fenômenos meteorológicos de escala entre 1 h e 3 h passam a ser desprezíveis. Esses fenômenos são essencialmente dirigidos pelas características locais de solo, relevo, posição geográfica, entre outros. Na escala de tempo de até 1 h, antes do momento em que as correlações entre os pontos de observação passam a ser moderadas, são os efeitos de microescala os maiores responsáveis pelas diferenças de comportamento de  $T$  e  $q$  na MISC. A alta diversidade de características de cobertura de solo e relevo em torno de cada ponto de observação é um importante fator para as diferenças de comportamento de  $DT/Dt$  e  $Dq/Dt$  na escala temporal de até 1 h.

### 3.3. Estudo de casos

Nesta Seção, apresenta-se o comportamento das variáveis observadas em três períodos de quatro horas. São estudos de três casos distintos que consistem de uma situação de mudança brusca na direção do vento e de duas situações em que ocorreram a menor e a maior temperatura registrada na campanha. O caso de mudança de direção do vento não representa um evento severo e pode ter se repetido em outros momentos da série. Entretanto, este evento foi selecionado devido aos dados de vento estarem completos durante o período analisado e, também, por ter sido observado mudança de direção dos ventos nos quatro pontos de observação.

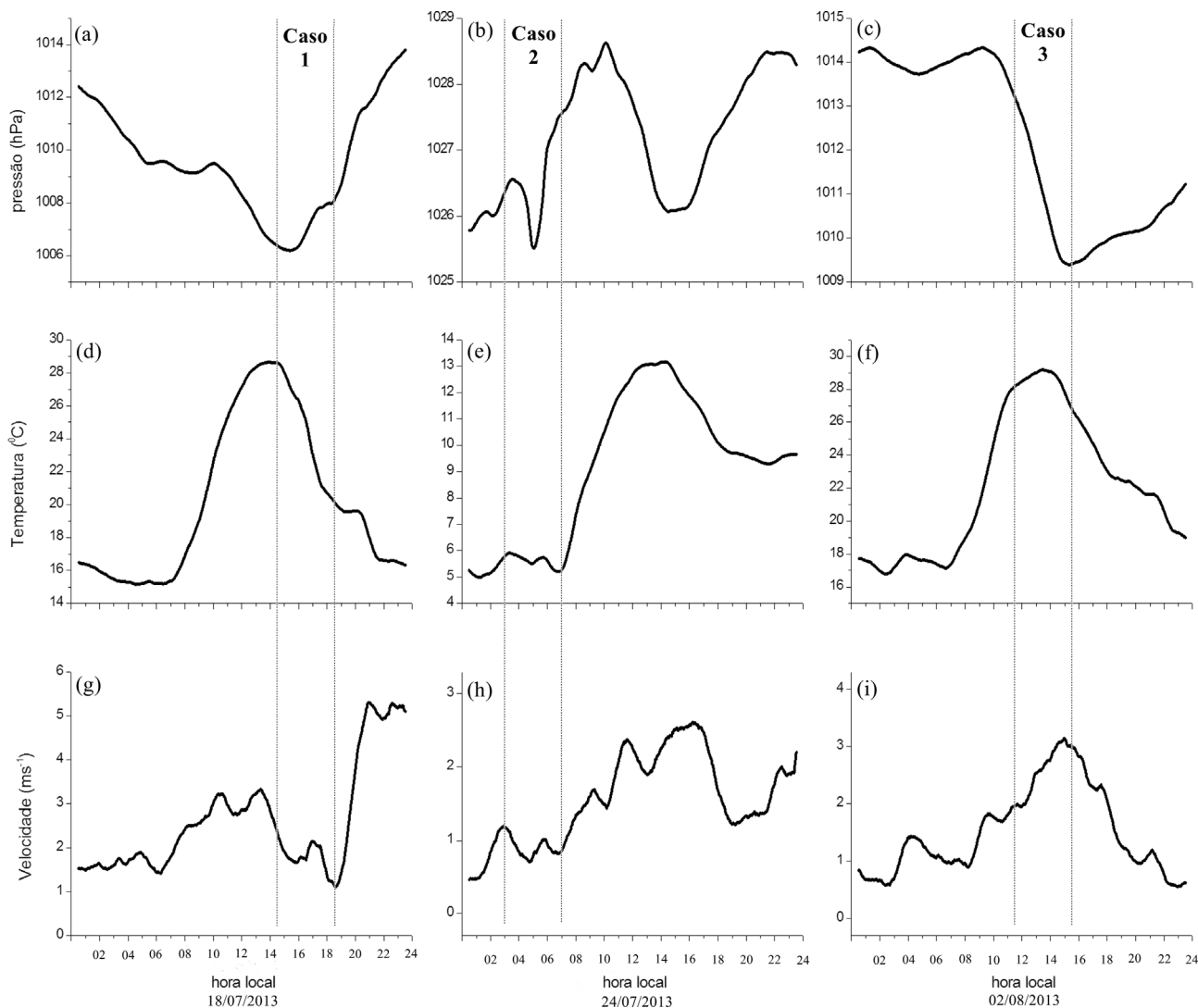
Os três casos coincidiram com um dos mínimos da maré barométrica (Figs. 7a-c), influenciada pelas variações

de temperatura do ar e de superfície. Quanto ao comportamento da temperatura média, dentro das janelas de 4 h e em relação ao restante do dia, o caso 1 apresenta declínio acentuado (Fig. 7d), enquanto que, evidentemente, os casos 2 e 3 apresentam a temperatura mínima e máxima (Figs. 7 e e 7f). Já a velocidade média nos casos 1 e 2 representam os menores valores do dia (Figs. 7g e 7h) e no caso 3 os maiores valores (Fig. 7i).

Os dados registrados a cada minuto pela estação *OESTE* são plotados junto com os dados horários da estação meteorológica automática do INMET, possibilitando fazer uma comparação subjetiva das duas estações. Para  $V$ , essa comparação não é realizada nos estudos de caso 2 e 3 devido à ausência de dados na estação *OESTE*.

#### 3.3.1. Caso 1 - Mudança na $D$ do vento

O período selecionado para avaliar a situação de mudança na  $D$  é o período das 14:30 HL às 18:30 HL do dia 18 de julho de 2013. Nota-se na Fig. 8 que durante o referido período a  $T$  declina nos quatro pontos de observação. Nas estações *SUL* e *OESTE*, a queda de  $T$  é bastante pronunciada. Os maiores declínios ocorrem no mesmo momento em que a  $D$  passa a ser de sul com maior  $V$  (às 16:27 HL no *SUL* e às 17:04 HL no *OESTE*, Figs. 8a e 8b) devido a passagem de um sistema frontal que se formou no Estado do Rio Grande do Sul. Entretanto, no *LESTE* e no *NORTE*, o giro do vento (16:50 HL no *LESTE* e 17:42 HL no *NORTE*) ocorre com menor  $V$  e sem estar acompanhado de quedas abruptas de  $T$ . Na verdade, as maiores taxas de declínio de  $T$  observadas no *LESTE* e no *NORTE* ocorrem mais de 1 h antes, entre 15:00 HL e 15:30 HL, quando também são verificados ventos de sul e maior amplitude de  $dD$  ( $\approx 20^\circ$  a  $60^\circ$  de desvio), principalmente no *LESTE*.

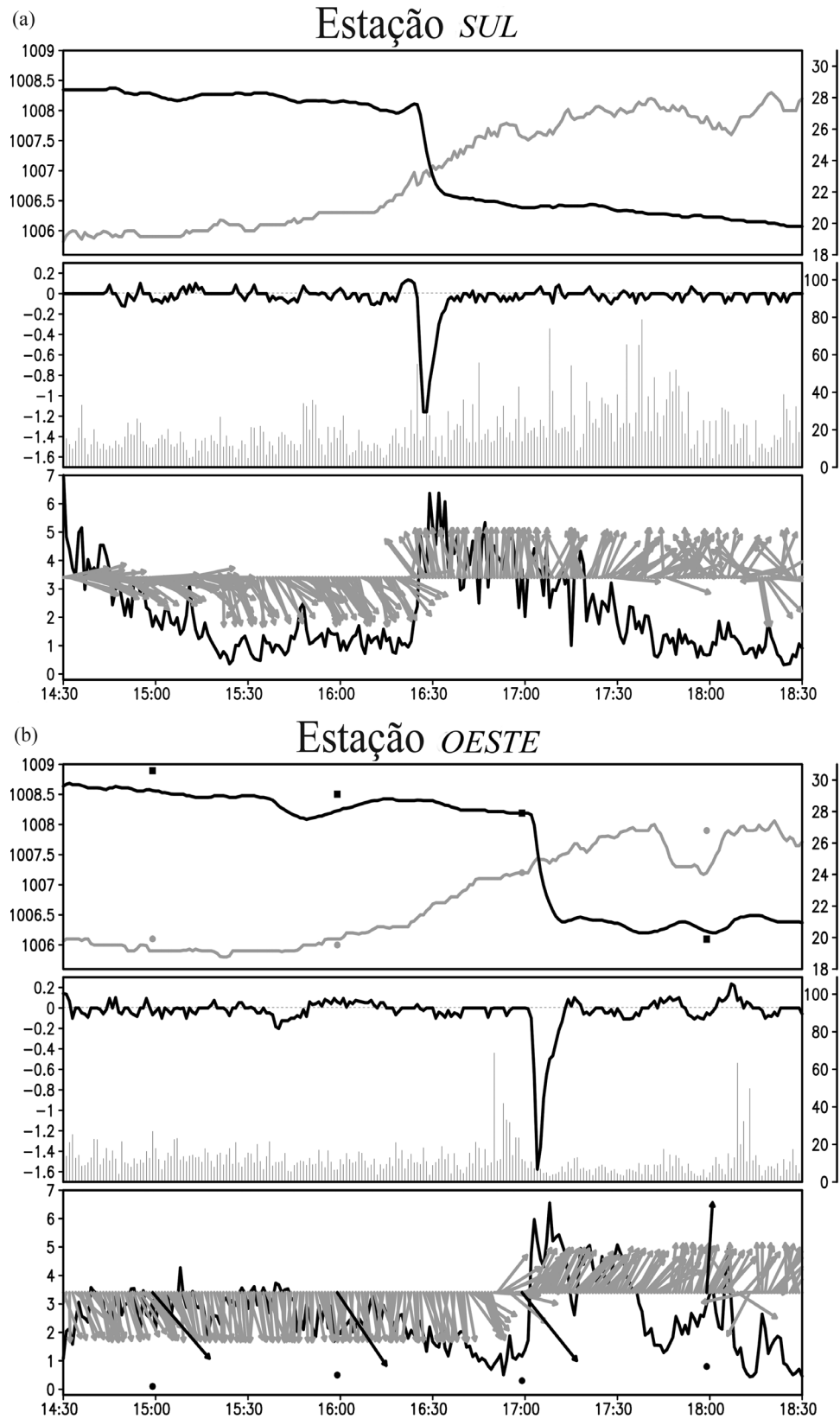


**Figura 7** - Média móvel de 1 h construída a partir da média de  $p$  (gráficos a-c),  $T$  (gráficos d-f) e  $V$  (gráficos g-i), obtidas das quatro estações. O eixo horizontal representa as 24 h do dia em que os casos 1, 2 e 3 foram inseridos. Nos casos 2 e 3, a média de  $V$  é construída sem a estação *OESTE*.

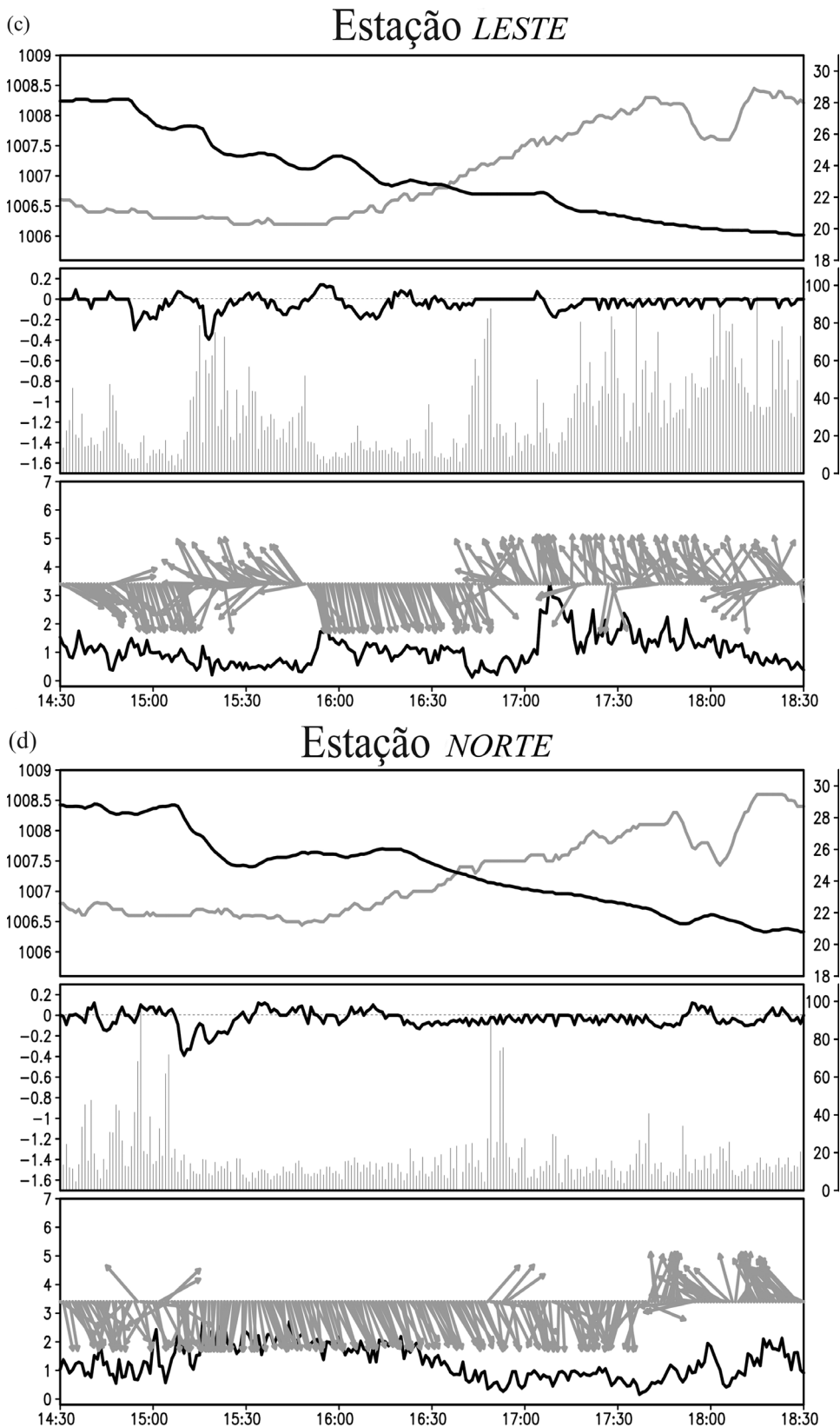
Possivelmente, o declínio de  $T$  no *SUL* e no *OESTE* tenha ocorrido devido à presença de uma piscina de ar frio, provocada por correntes descendentes devido ao cisalhamento vertical do vento horizontal nas proximidades das áreas convectivas. Analisando as imagens de refletividade do radar meteorológico do Comando da Aeronáutica (localizado no Morro da Igreja, nas divisas dos municípios de Bom Jardim da Serra, Orleans e Urubici) das 17:40, 17:50, 18:00 e 18:10 HL (figura não mostrada), verificou-se áreas com precipitação aproximando-se da *MISC*, vindas de sul-sudoeste. Possivelmente a brusca queda de  $T$  e elevação da  $V$  no *OESTE* e *SUL* tenham sido causadas pelas áreas de precipitação, sem atingir com a mesma intensidade as estações *LESTE* e *NORTE*. Esse diagnóstico, detectando variações nos parâmetros meteorológicos em superfície decorrentes de convecção de mesoescala, somente foi viável devido às observações realizadas em alta resolução espaço-temporal durante a campanha experimental. Isso

demonstra claramente a importância de observações com maiores resoluções espacial e temporal, em relação às observações com intervalos de 1 h realizadas operacionalmente pela rede de estações meteorológicas de superfície do INMET ou de outras instituições.

Considerando a situação específica de avanço de um sistema frontal, nota-se que a  $V$  observada antes e depois da passagem do sistema meteorológico é mais forte no setor sul/oeste do que no setor norte/leste da *MISC*. A alta resolução temporal dessas observações permitiu identificar com precisão a velocidade que essa frente fria avançou, deslocando-se a  $6,1 \text{ m s}^{-1}$  entre o *SUL* e o *NORTE*. Outra característica importante observada nesse caso é o comportamento da  $p$ . Os valores mínimos registrados entre 15:00 HL e 15:30 HL são relativos a um dos dois picos de mínima da maré barométrica diária (Fig. 7a e gráfico superior da Fig. 8). Entretanto, chama a atenção o declínio de  $p$  aproximadamente entre 17:40 HL e 18:10 HL, ocorrido



**Figura 8** -  $T$  (linha preta no gráfico superior -  $^{\circ}\text{C}$ , na legenda à direita),  $p$  (linha cinza no gráfico superior - hPa, na legenda à esquerda),  $DT/Dt$  (linha preta no gráfico do meio -  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ , na legenda à esquerda),  $dD$  (barra cinza no gráfico do meio - graus  $^{\circ}$ , na legenda à direita),  $V$  (linha preta no gráfico inferior -  $\text{m s}^{-1}$ ) e  $D$  (vetor cinza no gráfico inferior), observado pelas estações móveis (a) *SUL*, (b) *OESTE*, (c) *LESTE* e (d) *NORTE*, durante o período de 14:30 HL a 18:30 HL (hora local) do dia 18 de julho de 2013 (caso 1). O painel (b) também apresenta, para a hora cheia, a temperatura ( $\blacksquare$ ) e pressão ao nível médio do mar ( $\bullet$ ) no gráfico superior e a velocidade ( $\blacksquare$ ) e direção (vetor preto) do vento no gráfico inferior.



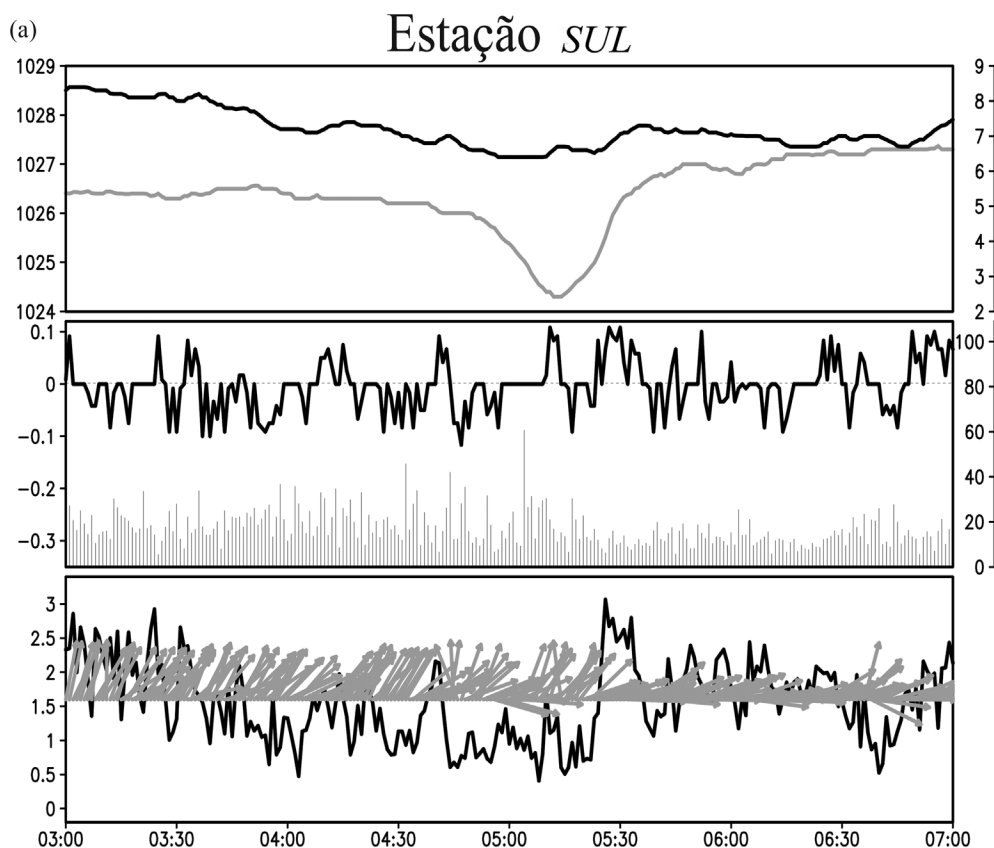
**Figura 8 (cont.)** -  $T$  (linha preta no gráfico superior -  $^{\circ}\text{C}$ , na legenda à direita),  $p$  (linha cinza no gráfico superior - hPa, na legenda à esquerda),  $DT/Dt$  (linha preta no gráfico do meio -  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ , na legenda à esquerda),  $dD$  (barra cinza no gráfico do meio - graus  $^{\circ}$ , na legenda à direita),  $V$  (linha preta no gráfico inferior -  $\text{m s}^{-1}$ ) e  $D$  (vetor cinza no gráfico inferior), observado pelas estações móveis (a) *SUL*, (b) *OESTE*, (c) *LESTE* e (d) *NORTE*, durante o período de 14:30 HL a 18:30 HL (hora local) do dia 18 de julho de 2013 (caso 1). O painel (b) também apresenta, para a hora cheia, a temperatura ( $n$ ) e pressão ao nível médio do mar ( $l$ ) no gráfico superior e a velocidade ( $l$ ) e direção (vetor preto) do vento no gráfico inferior.

com menor intensidade no *SUL*, mas de forma bastante pronunciada nos outros três pontos de observação. Imagens de refletividade (figura não mostrada) do radar do Morro da Igreja, assim como o aumento da  $V$  e sensível aumento de  $T$  no momento de queda da  $p$  (Fig. 8b), podem indicar a existência de correntes descendentes de ar quente e seco provenientes de áreas convectivas em fase de dissipação, podendo ser a causa de uma mesobaixa no setor centro/norte da MISC. Esta hipótese não é claramente detectada pelas observações realizadas nas estações meteorológicas móveis, sendo necessário estudo de maior profundidade, por exemplo, utilizando simulações numéricas da atmosfera. De qualquer forma, a escala temporal do declínio da pressão atmosférica não permite a detecção desta configuração pela estação meteorológica do INMET, em São José, SC (Fig. 8b), demonstrando, mais uma vez, a importância das observações com maior resolução espaço-temporal para a detecção de sistemas meteorológicos de mesoescala. Entretanto, Fiebrich e Crawford (2001) chamaram a atenção para o fato de, mesmo com observações realizadas por rede de estações de superfície em alta densidade espacial, como as do tipo “mesonet”, fenômenos de mesoescala como as mesobaixas podem ser confundidas com erros de observação e serem descartados pelos controles automáticos de qualidade de dados.

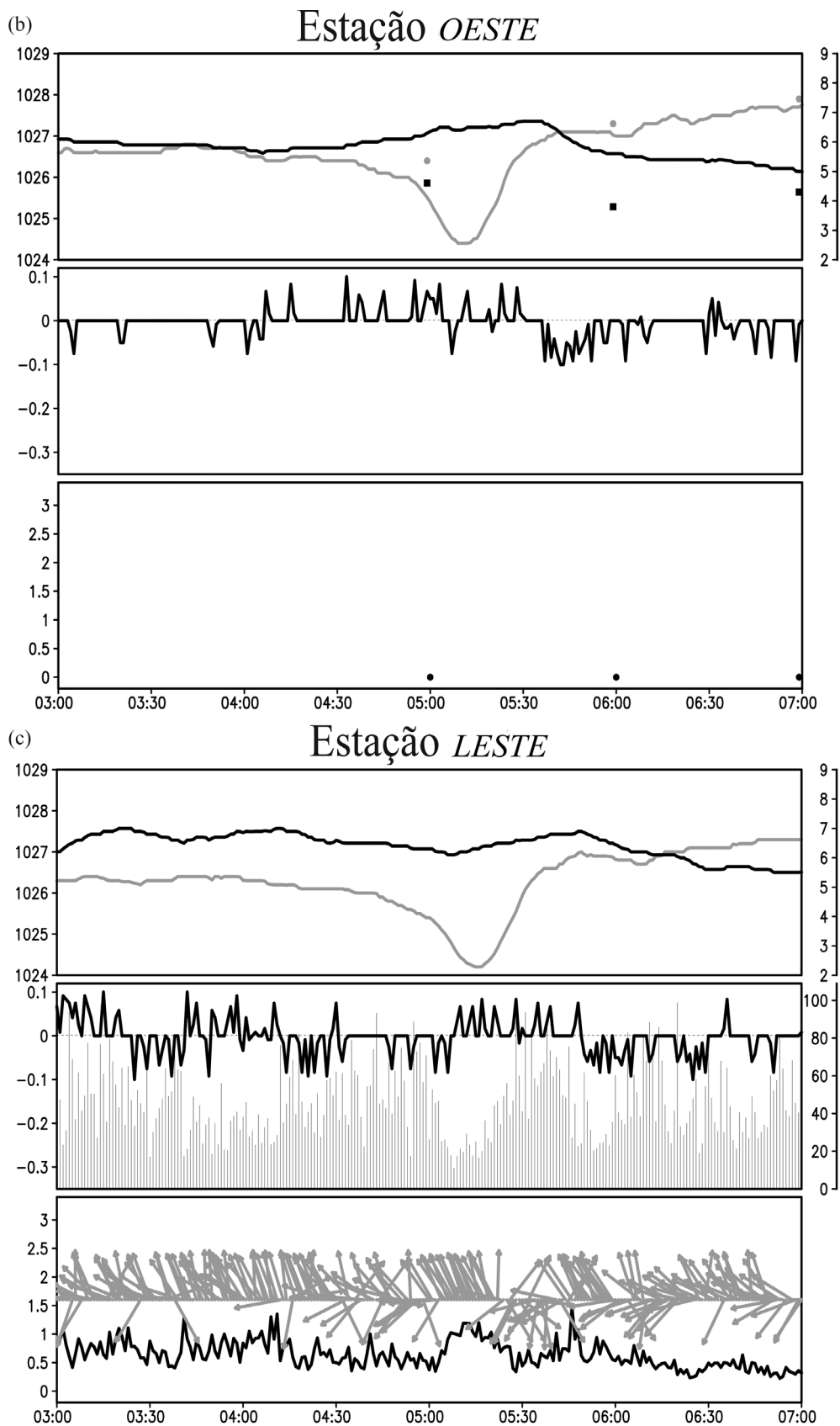
### 3.3.2. Caso 2 - Menor temperatura

No período de 3:00 HL a 7:00 HL do dia 24 de julho, a MISC esteve sob atuação de uma massa de ar frio (sistema de alta pressão). Nota-se na Fig. 9 que a  $D$  é predominantemente de sudoeste e oeste, com  $dD$  em torno de  $20^\circ$  na estação *SUL* e de sudeste (principalmente nas duas primeiras horas), com  $dD$  em torno de  $40^\circ$ , na estação *LESTE*. Enquanto isso, no ponto de observação *NORTE*, não é verificada uma  $D$  predominante. A  $V$  é mais alta no *SUL*, com picos de  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  a  $3 \text{ m s}^{-1}$ , em relação aos demais pontos de observação, onde os registros de vento são fracos. Na estação do INMET é registrado calma nos horários de observação (Fig. 9b).

Nota-se na Fig. 9 que, independentemente da  $D$  registrada, o  $DT/Dt$  é baixo durante todo o período justamente devido à condição de vento fraco. Também devido a esta condição, acredita-se que o declínio de  $T$  tenha ocorrido principalmente devido ao resfriamento radiativo, sendo o ponto de observação *NORTE* o local onde foram reunidas as melhores condições para esse declínio, registrando o menor valor ( $2,3^\circ\text{C}$ ) por volta das 5:08 HL. A  $T$  mínima no *OESTE* dentro do período de 4 h analisado é  $5^\circ\text{C}$  (07:00 HL), porém, a menor  $T$  deste dia é de  $4,9^\circ\text{C}$  às 07:07 HL. No *LESTE*, a  $T$  mínima registrada é  $5,5^\circ\text{C}$  às 06:51 HL e no



**Figura 9** - Mesmo que a Fig. 8, mas para o período das 03:00 HL às 07:00 HL do dia 24 de julho de 2013 (caso 2). Os dados de vento da estação *OESTE* não estavam disponíveis. Os dados (hora cheia) de vento, temperatura e pressão ao nível médio do mar observados na estação do INMET, São José – SC, estavam disponíveis apenas para as 5:00 HL, 6:00 HL e 7:00 HL.



**Figura 9 (cont.)** - Mesmo que a Fig. 8, mas para o período das 03:00 HL às 07:00 HL do dia 24 de julho de 2013 (caso 2). Os dados de vento da estação *OESTE* não estavam disponíveis. Os dados (hora cheia) de vento, temperatura e pressão ao nível médio do mar observados na estação do INMET, São José – SC, estavam disponíveis apenas para as 5:00 HL, 6:00 HL e 7:00 HL.

*SUL* é  $6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  às 04:57 HL. Portanto, a maior diferença das  $T$  mínimas é de  $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre as estações *SUL* e *NORTE*, sendo que os valores mínimos de  $T$  são alcançados quase ao mesmo tempo, por volta das 5:00 HL. Já os valores mínimos de  $T$  do *LESTE* e *OESTE* são alcançados somente por volta das 7:00 HL, cerca de 2 h depois. Próximo aos horários de  $T$  mínima verifica-se uma queda nos valores de  $p$ , o que também é observado nos quatro pontos de observação da MISC (Fig. 9) e, em parte, está associado a um dos picos mínimos da maré barométrica (Fig. 7b).

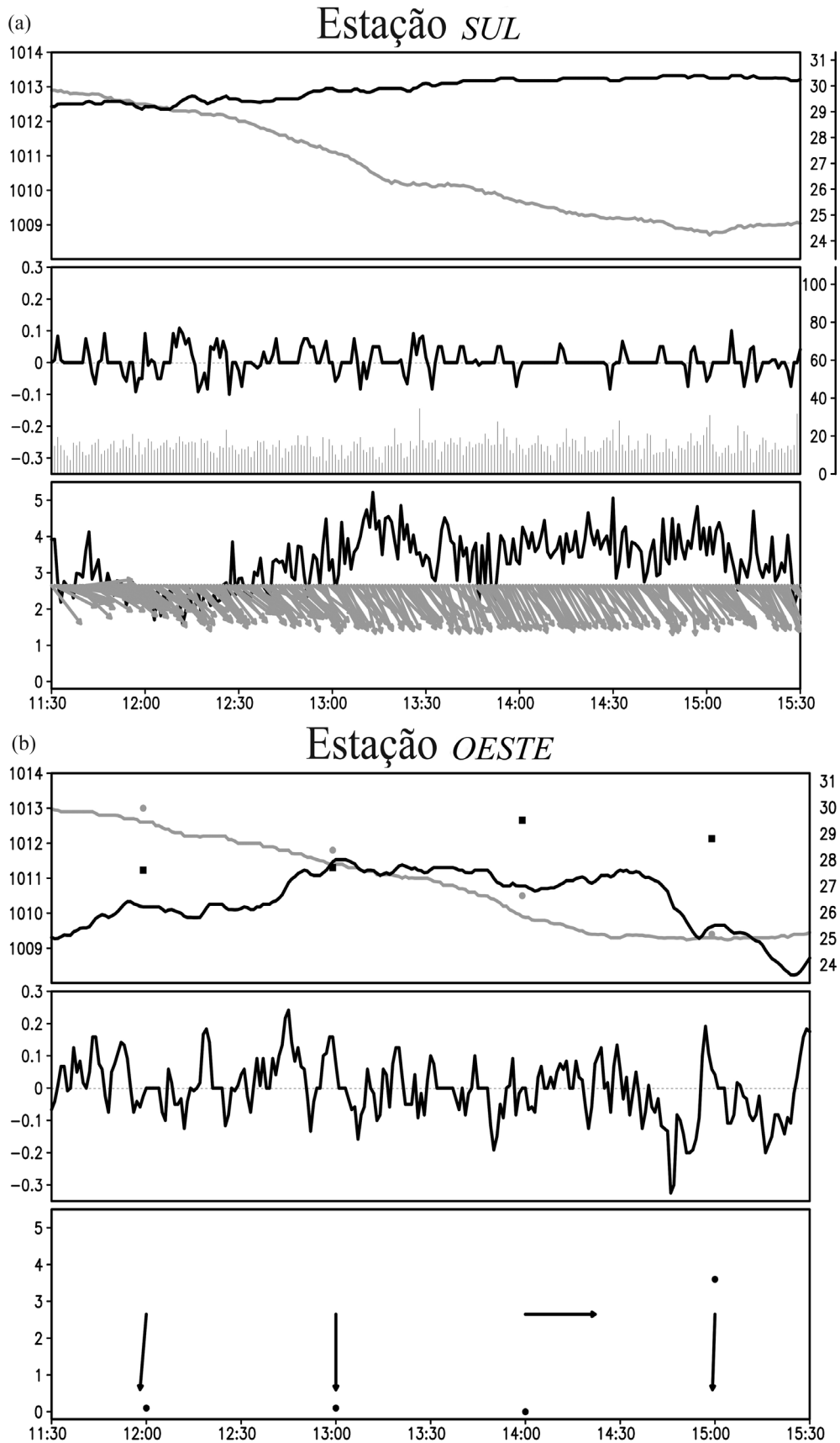
A atuação homogênea do sistema de alta pressão em toda a MISC indica que as diferenças no comportamento de  $T$  entre as quatro estações ocorrem essencialmente devido às características locais de cada ponto de observação. Supõe-se que no *NORTE* o declínio seja mais acentuado devido a esta estação ter sido instalada em área plana, mais distante do mar em relação às demais estações e, a uma distância de aproximadamente 5 km, cercada ao sul e oeste por elevações de pelo menos 200 m. Com o vento calmo, o ar mais frio e denso deposita-se nas áreas mais baixas, onde a estação *NORTE* está localizada. Praticamente no mesmo horário (aproximadamente 5:00 HL) a estação *SUL* também registra o valor mínimo de  $T$ , porém, aproximadamente  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  mais alto em relação à estação *NORTE*, lembrando que a distância entre as estações *NORTE* e *SUL* é de aproximadamente 29 km. No caso da estação *SUL*, a sua localização caracteriza-se por ser um ponto relativamente mais alto que os arredores e com maior proximidade do mar (aproximadamente 200 m a leste) e da Lagoa do Peri (aproximadamente 250 m a noroeste). Isto favorece as condições de ar mais úmido em relação à estação *NORTE*, inibindo dessa forma um decréscimo tão acentuado da  $T$ . O valor médio registrado da  $q$  no período de 3:00 HL a 7:00 HL do dia 24 de julho de 2013 é de  $4,6\text{ g kg}^{-1}$  no *NORTE* e de  $6,2\text{ g kg}^{-1}$  no *SUL*. As outras duas estações (*LESTE* e *OESTE*) também são localizadas muito próximas ao mar, o que manteve o ar mais úmido na madrugada do dia 24 de julho, dificultando um decréscimo da  $T$  da forma como ocorre na estação *NORTE*. A  $q$  média durante as 4 h do caso 2 é de  $5,7\text{ g kg}^{-1}$  no *OESTE* e de  $5,9\text{ g kg}^{-1}$  no *LESTE*. Estas constatações são importantes para o conhecimento do quanto as diferentes características locais dentro do domínio da MISC podem impactar no campo de temperatura, favorecendo uma maior precisão dos resultados de análise e previsão de tempo. Além disso, uma diferença de aproximadamente  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura mínima é determinante para a ocorrência ou não de geada, fenômeno extremamente importante para vários setores do campo produtivo.

Nos três horários de observação simultânea na estação meteorológica do INMET e na estação móvel *OESTE*, percebe-se pouca distinção nos valores de  $p$  e diferenças de  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  nos valores de  $T$ .

### 3.3.3. Caso 3 - Maior temperatura

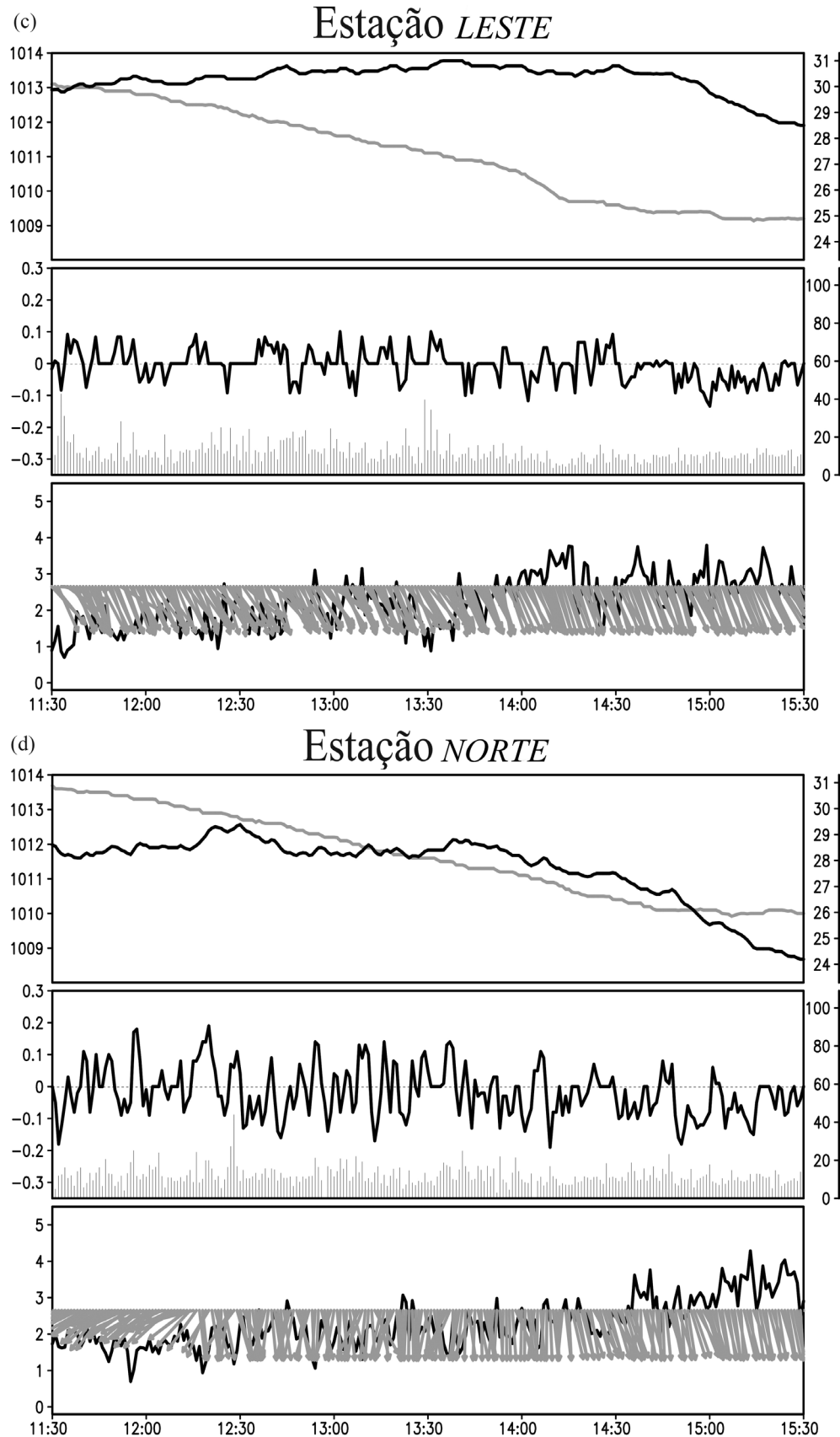
O caso de maior temperatura registrada na campanha é decorrente da situação de um sistema frontal que deslocou-se sobre o Rio Grande do Sul e favoreceu o predomínio dos ventos do quadrante norte em toda a MISC. No período de 11:30 HL a 15:30 HL do dia 2 de agosto de 2013, a  $D$  nas estações *SUL* e *LESTE* é predominantemente de noroeste. No *NORTE*, a  $D$  predomina de nordeste na primeira hora e de norte/noroeste durante o restante do período. A estação *OESTE* apresenta falha no registro de vento, mas na estação do INMET é observado  $V$  muito fraca de norte na primeira metade do período e  $V$  mais alta, também de norte, no final do período de 4 h. A  $V$  no *SUL* varia entre  $2\text{ m s}^{-1}$  e  $5\text{ m s}^{-1}$ , com  $dD$  entre  $18^{\circ}$  e  $20^{\circ}$ , enquanto no *LESTE* e no *NORTE* a  $V$  é da ordem de  $2\text{ m s}^{-1}$  até aproximadamente as 14:00 HL e em torno de  $3\text{ m s}^{-1}$  depois desse horário. Durante o período de 4 h, as variáveis  $V$ ,  $D$  e  $dD$  apresentam comportamento similar nos pontos de observação *LESTE* e *NORTE* (Figs. 10c-d). No entanto, a tendência de  $T$  não respondeu da mesma forma. A variação da  $T$  a cada minuto é relativamente maior no *NORTE*. Isso corrobora para a teoria de que a variabilidade da  $T$ , além de depender da  $D$ , do  $dD$  e da  $V$  com que as massas de ar são transportadas, depende também das características locais em torno do ponto de observação. Essas características determinam a intensidade dos processos turbulentos e os diferentes  $\nabla T$  ao longo do caminho percorrido pelas massas de ar.

Nos quatro pontos de observação, a  $p$  diminui ao longo das quatro horas, atingindo o menor valor no final desse período. Os dados de  $p$  da estação do INMET e da estação móvel *OESTE* são praticamente coincidentes nos horários cheios. Quanto à variável  $T$ , são verificados comportamentos diferenciados entre os quatro pontos de observação. A  $T$  máxima é de  $31,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (13:35 HL) na estação *LESTE*, seguido de  $30,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (14:46 HL) na estação *SUL*, de  $29,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (12:30 HL) na estação *NORTE* e de  $28,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (13:00 HL) na estação *OESTE*. Nota-se, portanto, que a maior diferença das  $T$  máximas é de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre as estações *OESTE* e *LESTE*, as quais são as mais próximas uma da outra. Outro detalhe que chama atenção é que o valor máximo da  $T$  é alcançado entre 12:30 e 13:35 HL (praticamente dentro de 1 h) nas estações *NORTE*, *OESTE* e *LESTE* e somente as 14:46 HL (mais de 1 h depois) no *SUL*. A  $T$  observada na estação do INMET, em São José, SC, é coincidente com a  $T$  observada pela estação móvel *OESTE* às 13:00 HL, mas nos demais horários cheios (12:00 HL, 14:00 HL e 15:00 HL) são verificadas diferenças de  $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre as temperaturas observadas nessas duas estações. A característica de superfície no entorno dessas duas estações é possivelmente a principal causa para a  $T$  na estação do INMET ter sido quase sempre maior que na estação *OESTE*. Ambas as estações localizam-se em áreas urbanas. No entanto, ao norte da estação do INMET, de onde o vento predominou, a área urbana é bem mais ampla em relação ao que é encontrado no setor norte da estação *OESTE*, onde



**Figura 10** - Mesmo que a Fig. 8, mas para o período das 11:30 HL as 15:30 HL do dia 02 de agosto de 2013 (caso 3). Os dados de vento da estação *OESTE* não estão disponíveis para todo o período.





**Figura 10 (cont.)** - Mesmo que a Fig. 8, mas para o período das 11:30 HL às 15:30 HL do dia 02 de agosto de 2013 (caso 3). Os dados de vento da estação *OESTE* não estão disponíveis para todo o período.

nesse caso, há uma pequena área urbana e uma grande área oceânica composta pela Baía Norte. Dessa forma, o vento de norte pode ter advectado ar mais quente para a estação do INMET pelo fato de ter percorrido por uma área maior com características favoráveis ao aquecimento. As características do entorno da estação *OESTE*, permitindo uma fraca advecção de ar quente, quando este é proveniente de norte, parece também ter sido o principal motivo para as diferenças de temperatura observadas no *OESTE* e no *LESTE*. Novamente, a heterogeneidade das características locais em toda a MISC pode provocar grandes diferenças no campo de temperatura entre dois pontos de observação relativamente próximos. Isso implica em um bom subsídio para as análises e previsões de temperatura máxima para Florianópolis e cidades metropolitanas.

#### 4. Considerações Finais

Nesse trabalho, é realizada uma análise dos dados observados durante uma campanha meteorológica executada na Mesorregião da Ilha de Santa Catarina. Os dados observados nesta campanha destacam-se pela alta frequência temporal de observação, com registros a cada minuto, e pela distribuição espacial de quatro estações meteorológicas móveis que cobrem com o mesmo padrão de medida algumas das áreas estratégicas da Mesorregião da Ilha de Santa Catarina, em especial a parte insular da cidade de Florianópolis, SC.

Apesar de os dados de vento apresentarem falhas na estação *OESTE*, identificou-se que este ponto de observação possui as maiores velocidades de vento em comparação aos demais. Deve-se considerar, entretanto, que a direção predominante do vento na estação *OESTE* durante a campanha foi de sul e que ao sul dessa estação há a Baía Sul, ou seja, uma superfície de baixa rugosidade que reduz os efeitos de atrito sobre o vento.

Em média, as temperaturas não são muito diferentes nos quatro pontos de observação. A  $\bar{T}$  mais baixa é observada no *NORTE*, com 14,4 °C, valor quase 1 °C mais baixo que no *SUL* e *OESTE* e 0,5 °C mais baixo que no *LESTE*. Entretanto, os estudos de caso mostram que em determinadas situações ocorrem importantes variações espaciais nos campos de temperatura mínima e máxima, podendo atingir diferenças de aproximadamente 4 °C entre dois pontos de observação.

O caráter inédito dessas medidas proporcionou a avaliação de alguns aspectos importantes da micro e mesoescala. As comparações das séries de vento entre os quatro pontos de observação da Mesorregião da Ilha de Santa Catarina mostram que, para o período analisado, a variabilidade da velocidade difere espacialmente muito mais devido à localização, em função das elevações existentes no entorno, do que devido à distância entre os pontos de observação. Constatou-se que o comportamento da velocidade do vento é similar entre o *OESTE* e *LESTE* e entre o *LESTE* e *NORTE*.

As comparações entre as quatro estações utilizando as séries de temperatura e umidade específica, com registros a cada minuto, mostram forte correlação entre todos os pontos de observação. A variabilidade temporal da temperatura e umidade específica é muito similar em toda Mesorregião da Ilha de Santa Catarina. No entanto, quando calcula-se a tendência destas variáveis a cada minuto, as séries apresentam correlações próximas a zero. Posteriormente, calculando as médias móveis das tendências de  $T$  e  $q$ , constata-se que, conforme os efeitos desses fenômenos meteorológicos locais (com escala temporal de 1 h a 3 h) passam a ser desprezíveis, as variações no tempo de temperatura e umidade específica passam a apresentar comportamentos similares em toda a Mesorregião da Ilha de Santa Catarina.

A análise dos três estudos de caso evidencia que as variações da temperatura a cada minuto são controladas pela turbulência e pelo comportamento da velocidade e direção do vento horizontal. Outras características de comportamento identificadas na análise da série de dados foram confirmadas nos estudos de caso, tais como a maior velocidade do vento nas estações *OESTE* e *SUL*, verificada no caso da passagem de um sistema frontal.

Tanto a avaliação da série completa como as análises das três “janelas” de 4 h revelam importantes características em termos de variabilidade espaço-temporal do comportamento meteorológico na Mesorregião da Ilha de Santa Catarina. Entretanto, essas observações realizadas em quatro pontos de observação e apenas em superfície requerem uma abordagem mais ampla. Nesse sentido, é interessante focar casos específicos como, por exemplo, a maior predominância e intensidade do vento de sul observado no *OESTE*. Para tanto, sugere-se a execução de trabalhos futuros com uso de modelagem numérica tomando como base essas observações.

#### Agradecimentos

Agradecemos a Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP (processo 04.12.0270.00) e a *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES) pelo suporte financeiro e ao IFSC, CASAN, ICMBio e Projeto Tamar/ICMBio pelo interesse científico em conceder os espaços para instalação das estações meteorológicas móveis. Os autores agradecem à Laís Gonçalves Fernandes pela elaboração do mapa de relevo da MISC (Fig. 1).

#### Referências

- ACEVEDO, O.C.; MORAES, O.L.L.; SILVA, R.; ANABOR, V.; BITENCOURT, D.P.; ZIMERMANN, H.R.; MAGNAGO, R.O.; DEGRAZIA, G.A.. Surface to atmosphere exchange in a river valley environment. **Journal of Applied Meteorology** (Boston), v. 46, n. 8, p. 1169-1181, 2007.
- ACEVEDO, O. C.2005ACEVEDO, O.C.; MORAES, O.L.L.; DEGRAZIA, G.A.; ANABOR, V.; SILVA, R.; BITENCOURT, D.P.; ZIMERMANN, H.R.; MAGNAGO, R.O.;

- PUHALES, F.S.; OLIVEIRA, P.E.S.; EXPANTAS 2005: Experimento de observações das transferências entre a superfície e a atmosfera na região do Rio das Antas. **Ciência e Natura**, v. Esp., p. 209-212, 2005.
- BITENCOURT, D.P.; ACEVEDO, O.C.. A influência do rio na estrutura térmica do Vale do Rio da Prata. **Ciência e Natura**, v. Esp., p. 265-268, 2007.
- BITENCOURT, D.P.; ACEVEDO, O.C.. Modelling the interaction between a river surface and the atmosphere at the bottom of a valley. **Boundary - Layer Meteorology**, v. 129, n. 2, p. 309-321, 2008.
- BITENCOURT, D.P.; ACEVEDO, O.C.; MORAES, O.L.L.. O efeito das condições de céu claro e encoberto no comportamento da temperatura do ar durante a noite em uma região de vale. **Ciência e Natura**, v. Esp., p. 281-284, 2003b.
- BITENCOURT, D.P.; ACEVEDO, O.C.; MORAES, O.L.L.; DEGRAZIA, G.A.. A interação do vento local no interior de um vale com o escoamento de grande escala - Análise de dois estudos de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 4, p. 02-13, 2009.
- BITENCOURT, D.P.; ACEVEDO, O.C.; MORAES, O.L.L.; FUENTES, M.V.. Avaliação da temperatura do ar na microescala de tempo e espaço sob efeito de um sistema meteorológico de escala sinótica. **Ciência e Natura**, v. Esp., p. 1043-1044, 2003.
- BROCK, F.V.; CRAWFORD, K.C.; ELLIOTT, R.L.; CUPEBUS, G.W.; STADLER, S.J.; Johnson, H.L.; EILTS, M.D.. The Oklahoma Mesonet: A technical overview. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 12, p. 5-19, 1995.
- FIEBRICH, C.A.; CRAWFORD, K.. The impact of unique meteorological phenomenon detected by the Oklahoma Mesonet and ARS Micronet on automated quality control. **Bulletin of the American Meteorological Society**, vol. 82, p. 2173-2187, 2001.
- GUO, X.; FU, D.; WANG, J.. Mesoscale convective precipitation system modified by urbanization in Beijing City. **Atmospheric Research**, vol. 82, n. 1-2, p. 112-126, 2006.
- KITADA, T.; OKAMURA, K.; ANAKA, S.. Effects of topography and urbanization on local winds and thermal environment in the Nohbi Plain, Coastal Region of Central Japan: A numerical analysis by mesoscale meteorological model with a k-turbulence model. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, vol. 37, n. 10, p. 1026-1046, 1998.
- MAGGIOTTO, S.R.; DIAS, N.L.; VISSOTTO, S.; PREVEDELLO, C.L.; NASCIMENTO, E.L.; GRODZKI, L.; DE SOUZA, M.F.. Diretrizes para redes automáticas e telemétricas de superfície. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 12, p. 225-240, 2007.
- MAGNAGO, R.; MORAES, O.L.L.; ACEVEDO, O.C.. Turbulence velocity spectra dependence on the mean wind at the bottom of a valley. **Physica A**, v. 388, n. 9, p. 1908-1916, 2009.
- MAXWELL, D.L.; SATAKE, E.. **Research and statistical methods in communication disorders**. USA: William & Wilkins, 1997.
- MINELLA, F.C.O.; RASIA, F.B.C.; KRÜGER, E.L.. Impactos microclimáticos do desenho urbano: Estudos realizados em Curitiba. **RAEGA**, v. 22, p. 298-336, 2011.
- MORAES, O.L.L.; ACEVEDO, O.C.; DEGRAZIA, G.A.; ANFOSSI, D.; SILVA, R.; ANABOR, V.. Surface layer turbulence parameters over a complex terrain. **Atmospheric Environment**, v. 39, n. 37, p. 3103-3112, 2005.
- MORAES, O.L.L.; ACEVEDO, O.C.; SILVA, R.; MAGNAGO, R.; SIQUEIRA, A.. Nocturnal surface layer characteristics at the bottom of a valley. **Boundary - Layer Meteorology**, v. 112, n. 1, p. 159-177, 2004.
- RAY, P.S.. **Mesoscale Meteorology and Forecasting**. Boston: American Meteorological Society, 1986.
- SPIEGEL, M.R.; SCHILLER, J.J.; SRINIVASAN, A.L.. **Schoums outline of probability and statistics**. New York: McGraw-Hill, 2000.
- TOKAIRIN, T.; SOFVANB, A.; KITADAA T.. Effect of land use changes on local meteorological conditions in Jakarta, Indonesia: Toward the evaluation of the thermal environment of megacities in Asia. **International Journal of Climatology**, vol. 30, n. 3, p. 1931-1941, 2010.