

## **Determinação da trajetória de nuvens na região de Candiota através da análise de imagens de satélite**

Leila M.V.Carvalho e Amauri P. Oliveira  
Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG-USP, Rua do Matão, 1226  
05508.900 - São Paulo, SP, Brasil

### **Abstract**

Infrared images from the Meteosat 3 are used to identify the trajectory of the clouds over the area of Candiota in order to determine whether the emission from the power plant can contribute to the acidity of the rain by rainout or washout processes. A calibration test was carried out by comparing net radiation measurement with satellite information on January 20-21, 1994 (first campaign of measurements). The trajectory of the clouds, associated to a cold front penetration on July 20, 1994 (second campaign of measurements) are identified by the methodology proposed in this paper. Surface information indicated that winds from NE quadrant may carry the plume toward the cloud area and if the SO<sub>2</sub> concentrations are strong enough rainout may be used as a plausible explanation for low values of PH of the rain in the region of Mello.

### **Resumo**

Imagens IV do satélite meteorológico METEOSAT-3 são analisadas com duas finalidades: 1) dias 20 e 21 de janeiro de 1994 nas coordenadas de Candiota para a verificação do comportamento conjunto da radiação líquida medida *in loco* com a radiação no infravermelho medida remotamente e em uma resolução espacial reduzida; 2) dia 20 de julho de 1994 para o estudo da trajetória de núcleos convectivos na região envolvendo as cidades de Candiota e Mello no Uruguai. A análise conjunta indicou que a radiação obtida por satélite para a área do pixel em que se encontra Candiota está em fase com o comportamento da radiação líquida. O estudo da nebulosidade na penetração do sistema frontal de 20 de julho, indicou a possibilidade de chuvas em Mello, e a trajetória de sistemas convectivos de NW-SE, à medida que a frente avança de SW.

## 1 Introdução

Os processos de acidificação da precipitação na região de Candiota é tão difícil de ser quantificado quanto a própria acidez da precipitação. Estudos preliminares efetuados pela Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul indicaram um pH em torno do padrão (5,6) para a chuva coletada em uma área de cerca de 80 Km ao redor da usina (Candiota, Bagé e Aceguá) nos meses de janeiro a junho de 1992 (Mengatto et al, 1992). Contudo, a presença de  $SO_2$  nas emissões locais indicam a possibilidade da participação desta fonte em uma possível acidificação da precipitação na região.

Uma vez presente na pluma ou na atmosfera ambiente, o  $SO_2$  gasoso emitido por uma fonte na superfície é oxidado, para aerossóis de ácido sulfúrico ou sulfatos. Os aerossóis ácidos gerados nesses processos podem ser removidos por deposição seca ou úmida, levando à acidificação da precipitação. Somando-se as dificuldades de se quantificar os processos químicos de conversão química, o  $SO_2$  emitido pela usina é transportado pelo vento e pela difusão turbulenta na CLP.

Por outro lado, o  $SO_2$  pode também ser transportado para as nuvens, e em contato com altas umidades e com outros compostos se converte para sulfato, na fase líquida (Faust, 1994). No interior da nuvem esse composto pode ficar na forma de ácido sulfúrico e ser um dos causadores da acidificação da precipitação ("rainout" ou "washout").

Independentemente da origem da acidez da precipitação, a determinação da presença das nuvens, da sua natureza e da sua trajetória é um importante passo na descrição do processo de formação da chuva ácida na região de Candiota (Moraes, et al. 1994).

A avaliação da trajetória de nuvens tem por objetivo inferir qualitativamente dois aspectos relevantes relacionados à acidificação da chuva: o transporte de poluentes e conseqüente acidificação tanto pelas gotas de nuvens ("rainout") e pela remoção pela água chuva ("washout"). Esse último processo pode ser crítico em uma situação de ventos de superfície favoráveis ao transporte de poluentes de Candiota para Mello.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma técnica para estimar a trajetórias de nuvens na escala superior a 10Km através da análise de imagens do Satélite METEOSAT-3. Neste trabalho serão apresentados os resultados encontrados com as imagens de infravermelho amostradas a cada 30 minutos durante o experimento de Janeiro e Julho de 1994.

## 2 Metodologia

As imagens são setorizadas para a área de estudo (~240x330km), correspondendo a 51x51 pixels nas coordenadas do satélite, e centradas nas coordenadas de Candiota (31°28'S, 53°40'W). Tratam-se de imagens amostradas a cada 2 pixels (i.e. pixel sim, pixel não).

A temperatura equivalente de corpo negro é obtida para cada pixel na imagem setorizada em coordenadas do satélite, sendo remapeadas para a grade regular em graus através de um procedimento de interpolação denominado Mínima Curvatura. Esse procedimento atribui a cada ponto de grade o valor mais próximo àquele ponto, respeitando assim os valores originais obtidos em coordenadas do satélite. Considerou-se, portanto, um método adequado para a interpolação dos dados do satélite, uma vez que a densidade de dados é grande (Carvalho, 1992). Esse método tem como resultado superfícies, ou "curvas de nível", como podemos interpretar os valores de temperatura no IV, mais "alisadas". O número de pontos de grade escolhidos foi igual ao número de pixels da imagem em questão: 51x51.

As áreas de nuvens são identificadas nas imagens setorizadas e remapeadas para a grade regular através de um limiar de temperatura pré-definido. No caso específico foi utilizado como limiar a temperatura de 253 K.

A distribuição das imagens de satélite disponíveis neste estudo são apresentadas na tabela I.

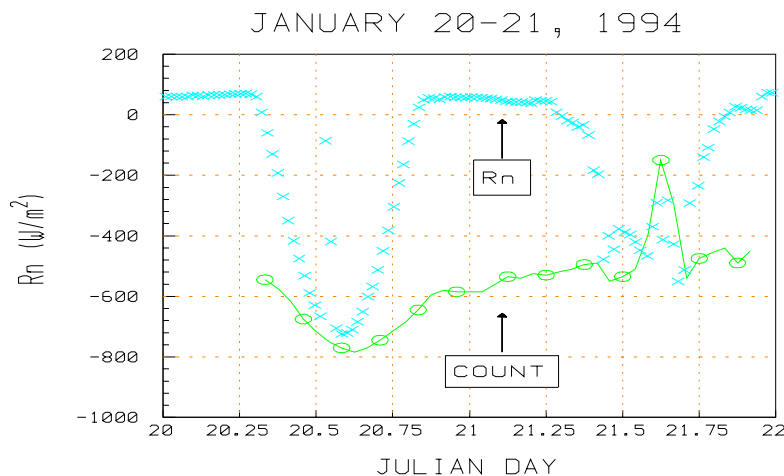
| Campanha | Período (Dia Juliano)      | Imagem | Frequência | Observação (dias julianos com falhas) |
|----------|----------------------------|--------|------------|---------------------------------------|
| Primeira | 17-24.01.1994 (017-024)    | IR     | 30 min     | 17, 19, 20, 22, 23, 24                |
| Segunda  | 18-29.07.1994 (199-210)    | IR     | 30 min     | 202, 209                              |
| Terceira | 07-17.02.1995 (038-048)    | -      | -          |                                       |
| Quarta   | 22.05-01.06.1995 (142-152) | -      | -          |                                       |
| Quinta   | 06-16.11.1995 (310-320)    | -      | -          |                                       |

**Tabela I:** Descrição dos dados de satélite disponíveis

### 3 Resultados

Com a finalidade de serem comparados os valores de radiação líquida obtidos em Candiota com os valores de intensidade de radiação obtida no pixel mais próximo às coordenadas de Candiota, escolheu-se os dias 20 e 21 de janeiro, que indicam a transição de um período sem nebulosidade para um período de aumento de nebulosidade e posterior resfriamento radiativo, associado a uma passagem frontal (Fig. 1). Os valores de intensidade de pixel estão em unidades de "count" que varia de 0 a 255, indicando uma escala decrescente de temperatura. Isto é, os maiores valores de "count" estão relacionados às menores temperaturas. Os valores máximos e mínimos encontrados para o período foram 170 e 43, respectivamente.

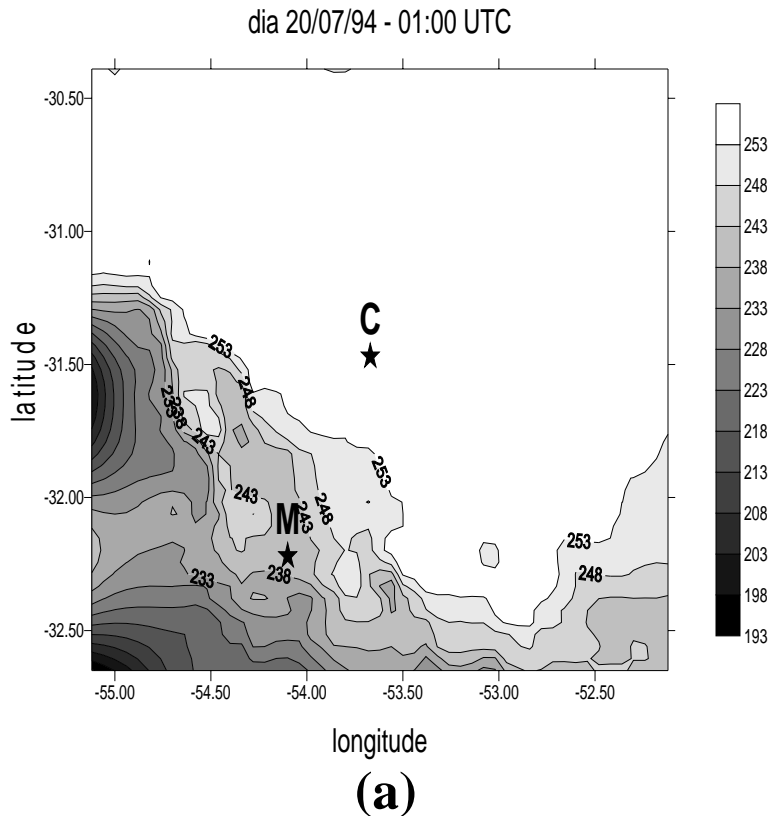
A Fig. 1 indica a boa concordância entre as medidas locais de radiação líquida e de radiação por satélite em Candiota. Observa-se um aumento de temperatura (diminuição dos valores de "counts") no meio do dia 20 concordante com o aumento da radiação líquida emergente. No final do dia 21, a entrada do sistema frontal está nitidamente marcada pelo aumento nos valores de "counts", concordante com a perturbação no padrão de  $R_n$ , característica da presença de nebulosidade. Deve-se salientar que a radiação obtida via satélite representa uma média em área que depende das dimensões do pixel. A comparação entre essas informações, locais e remotas, tem como implicação a própria comparação entre resoluções espaço-temporais das medidas.



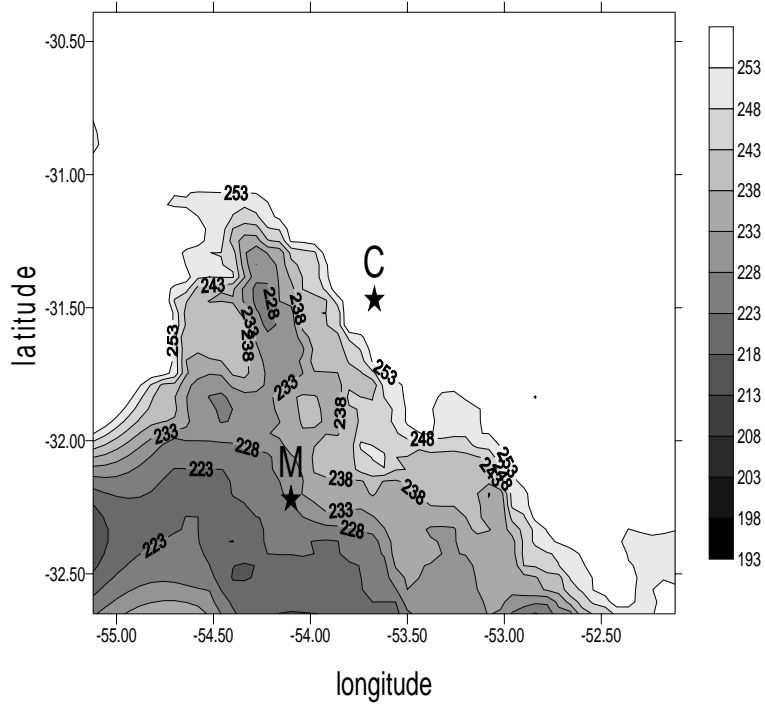
**Figura 1:** Radiação líquida versus intensidade de pixel de candiota no dia 20 e 21 de janeiro de 1994.

Para avaliarmos a trajetória de nuvens convectivas, estudamos o caso do dia 20 de julho de 94 quando há a penetração de um sistema frontal que provoca o aumento de nebulosidade e chuvas na área. A Fig. 2 mostra uma seqüência temporal de imagens de temperatura do topo de nuvens, com o limiar de 253K. Esse é um possível limiar máximo associado à presença de chuva nos trópicos (Adler e Negri, 1988, Griffith et. al, 1978, Negri et. al. 1984). Topos convectivos melhor relacionados à chuva convectiva podem ser identificados em limiares mais baixos como 233K (Carvalho, 1992, Negri and Adler, 1993).

Portanto, o acompanhamento do movimento de núcleos mais frios sobre a área, dão-nos a informação do movimento dos sistemas convectivos, ou aglomerados de Cbs, embutidos nos sistemas frontais. A trajetória desses núcleos pode nos dar uma idéia da possibilidade de transporte de poluentes via correntes ascendentes nas nuvens, que viessem a se depositar por precipitação em locais remotos.

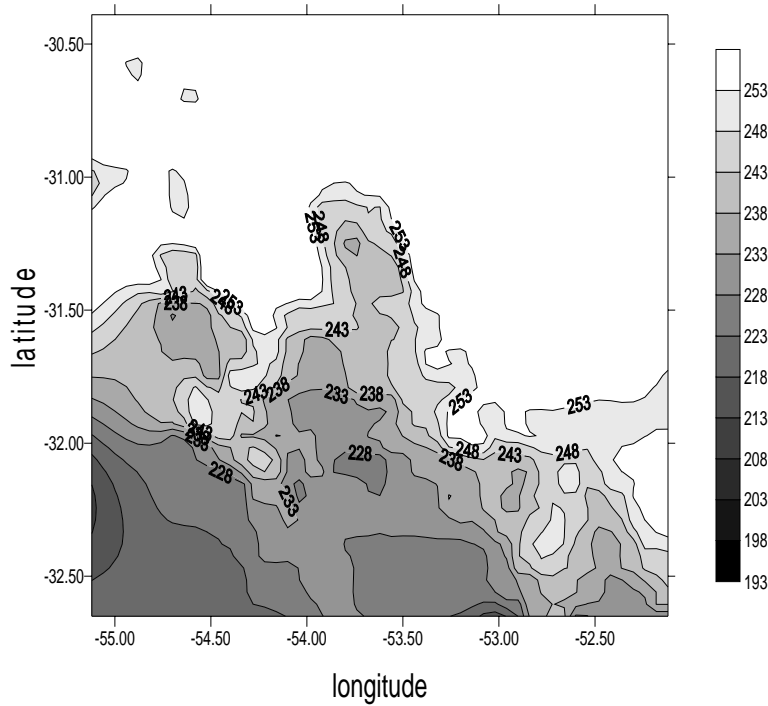


dia 20/07/94 - 01:30 UTC

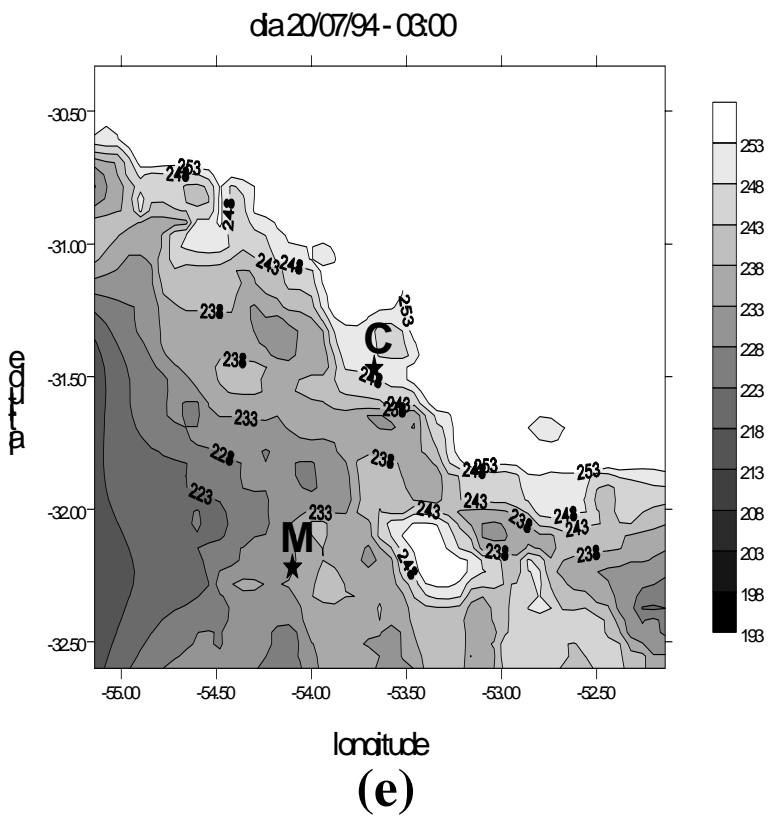
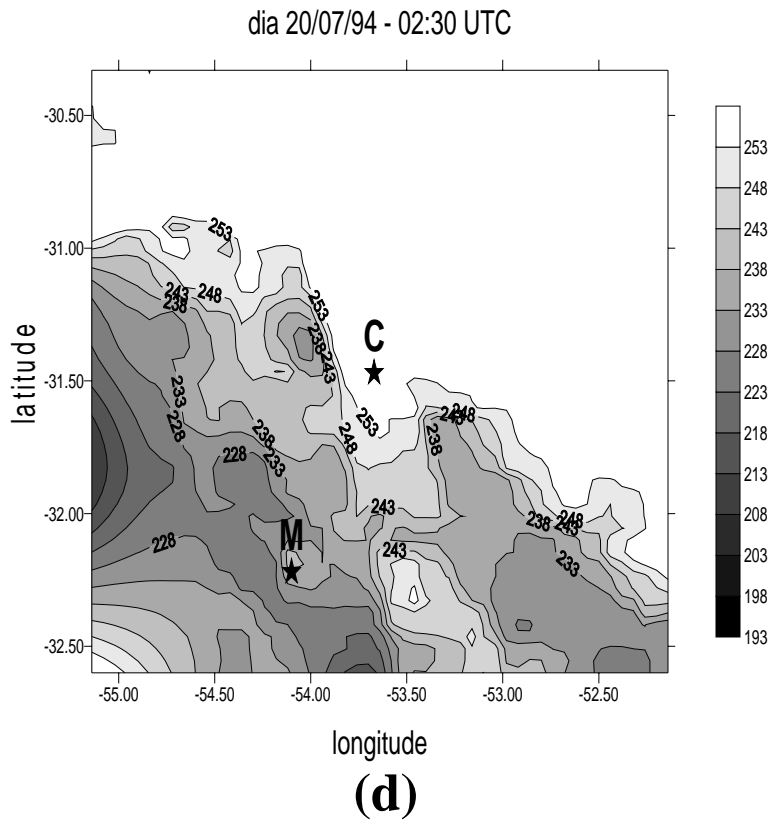


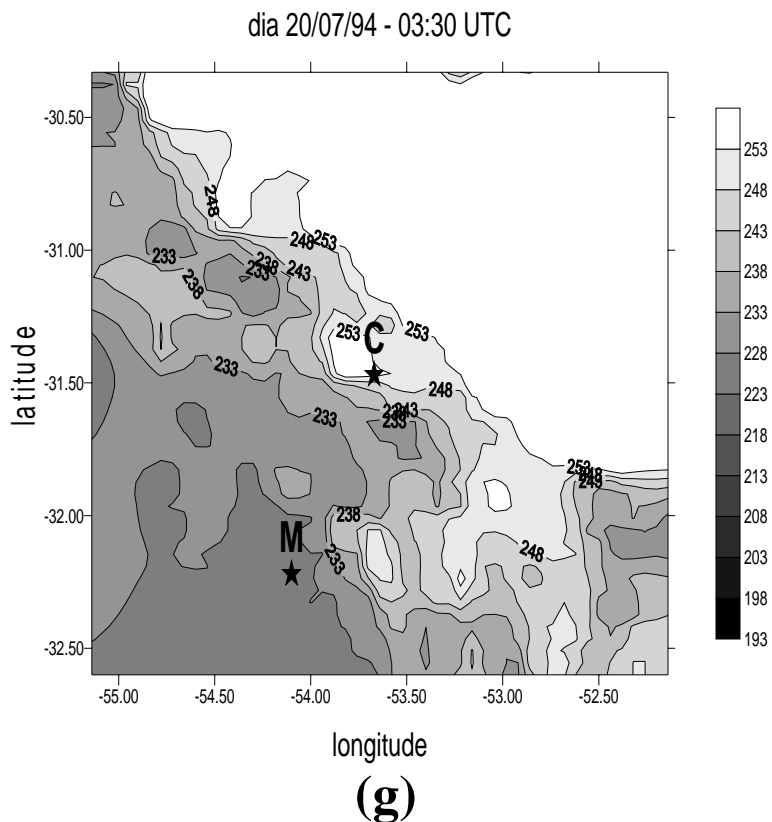
(b)

dia 20/07/94 - 02:00 UTC



(c)

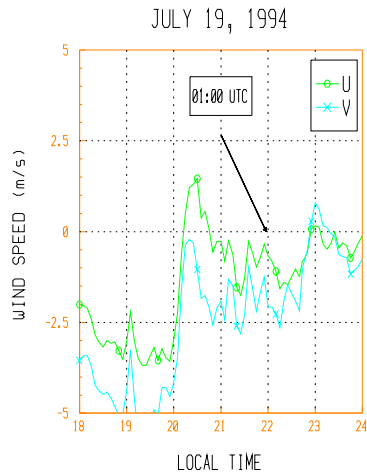




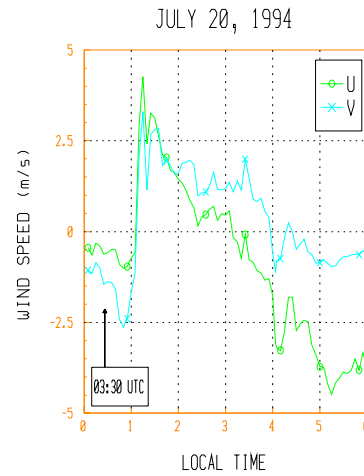
**Figura 2:** Distribuição espacial de nebulosidade na região de Candiota. A localização da Usina de Candiota está indicado por um “C” e da cidade de Mello (Uruguai) por um “M”.

Observa-se através da Fig. 2 que o sistema frontal avança de SW para NE ao longo do dia. Entretanto, a observação de núcleos mais frios (limiares menores que 233K) indica um movimento das células sobre Candiota de NW para SE, como seria esperado se considerarmos o movimento das células com o vento médio da camada em que se encontram. Isso poderia ser um indicativo de que o transporte de poluentes via correntes ascendentes não afetaria diretamente Mello, uma vez que as células não cruzariam a fronteira entre as duas localidades. Entretanto, no caso estudado, verificamos que os topos mais frios, e portanto, melhor correlacionados à chuva, encontraram-se sobre a localidade de Mello, o que indica que o processo de 'washout' pode estar ocorrendo em uma situação em que os ventos de superfície sejam favoráveis ao transporte de poluentes da usina de Candiota. Nesse caso, ventos do quadrante norte, bastante comuns em situações frontais, estariam favorecendo a acidificação da chuva na região de Mello.

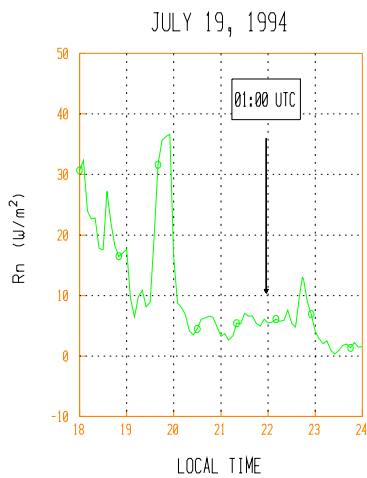




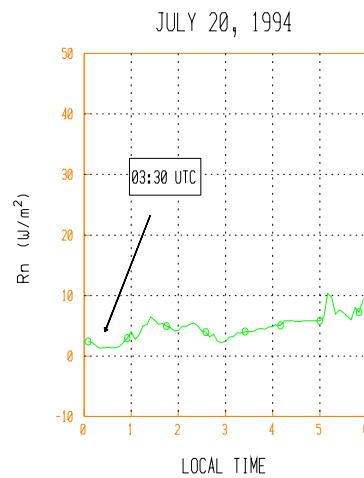
(3a)



(3b)



(3c)



(3d)

**Figura 3:** Evolução temporal das componentes zonal e meridional do vento e da radiação líquida observadas em Candiota nos dias (a,c) 19 e (b,d) 20 de julho de 1994 (segunda campanha de medidas).

O estudo detalhado desse problema deveria acompanhar a medida de acidificação da chuva, além de dados de radares meteorológicos que localizassem melhor a presença de hidrometeoros.

Um acompanhamento da evolução temporal do vento na superfície (Figs. 3a e 3b) em Candiota indicam que durante a aproximação da massa de nebulosidade o vento permaneceu no quadrante NE, ou seja a trajetória da pluma gerada pela Usina de Candiota orientou-se ao longo na direção NE-SW, interceptando a região de nuvem. Os valores de radiação líquida também confirmam a entrada da nuvem após as 18:00 HL.

## 4 Conclusão

Através da metodologia proposta pudemos identificar a presença de nebulosidade associada à passagem frontal e o movimento de aglomerados de células convectivas possivelmente associadas à presença de chuva. As informações de temperatura de topo de nuvens não são uma medida direta da precipitação em superfície mas possuem uma relação física com a mesma. Topos frios implicam em nuvens espessas quando não se tratarem de nuvens do tipo cirrus. A decisão final entre nuvens cirrus ou convectivas depende da inclusão de outros canais, como o visível ou mesmo microondas (Negri e Adler, 1993), ou a análise conjunta de vários canais incluindo não só a informação de radiância do pixel, como sua variância espacial (Desbois et. al., 1982). A escolha do limiar de temperatura 253K pode estar incluindo bigornas dos Cbs, e grande parte da nebulosidade definida pode não estar associada à precipitação convectiva em superfície. Dados de radar poderiam ter sido usados para uma melhor determinação da área de chuva.

A informação da intensidade do pixel no IV nos dias 20 e 21/01/94 indicaram que a informação remota degradada em função da resolução espacial do satélite está em fase com as medidas de radiação obtidas *in loco* em Candiota.

As imagens do dia 20/07/94 indicaram o movimento de células convectivas de NW para SE, enquanto o sistema frontal avança de SW para NE, e, portanto, não possuem uma trajetória de Candiota em direção à Mello. Possivelmente ocorreu chuva convectiva na área e, muito provavelmente, em Mello durante a passagem frontal devido aos baixos valores de topos de nuvens observados sobre essa região.

É importante salientar que o remapeamento via interpolação pode induzir à perda de informação e, conseqüentemente, uma degradação na resolução do satélite. A metodologia não é adequada para identificar nuvens cujas dimensões sejam inferiores à resolução do pixel, aproximadamente 10 km (cumulus de bom tempo, formações isoladas, etc).

## 5 Agradecimentos

Ao Msc. José Luiz pelo desenvolvimento do software aplicativo para a obtenção das coordenadas das imagens de satélite, à Thelma Kruger e ao técnico Egidio e demais técnicos do INPE que colaboraram com a aquisição e gravação dos dados de satélite.

## 6 Referências

- Adler, R. F., and A. J. Negri, 1988: A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl. Meteor.*, **27**, 30-51.
- Carvalho, L. M. V., 1992: Análise da natureza da textura no infravermelho via satélite: um estudo de caso para São Paulo. Dissertação de Mestrado, IAG, USP.
- Desbois, M., G. Seze and G. Szejwach, 1982: Automatic classification of clouds on METEOSAT imagery: Application to high-level clouds. *J. Appl. Meteor.*, **21**, 401-412.
- Faust B. (1994) Photochemistry of Clouds , Fogs , and Aerosols. *Environ. Sci. Technol.* , vol 28 , no 5 , pp. 217-222 .
- Griffith, C. G., W. L. Woodley, P. G. Grube, D. W. Martin, J. Stout, and D. N. Sikdar, 1978: Rain estimation from geosynchronous satellite imagery: visible and infrared studies. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1153-1171.
- Mengatto, L.H e outros, 1992: Relatório de Monitoramento da qualidade das Chuvas, Região de Candiota, 1o Semestre - 1992. CEEE.
- Moraes, O.O.L., Degrazia, G.A., Oliveira, A. P., Andrades, M.F., Carvalho, L.M.V., Vasconcelos, C. M. P., 1994: Projeto Candiota, *Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 18 a 25 de Outubro de 1994, Belo Horizonte, MG, **1**, 101-104.
- Negri, A. J., R. F. Adler and P. J. Wetzel, 1984: Satellite rain estimation: An analysis of the Griffith-Woodley technique. *J. Climate Appl. Meteor.*, **26**, 1565-1576.
- Negri, A., and R. F. Adler, 1993: An intercomparison of three satellite infrared rainfall techniques over Japan and surrounding waters. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 357-373.