UMA ANÁLISE DE PROPRIEDADES RADIATIVAS DE NUVENS CIRROS NO NORDESTE USANDO IMAGENS MULTIESPECTRAIS DE METEOSAT-5

Roberto Carlos Gomes Pereira - rcarlos@cptec.inpe.br ([1])
Juan Carlos Ceballos - juanc@cptec.inpe.br ([1])

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Abstract

Cirrus clouds properties were deduced from Meteosat-5 images during the EIS project (Experimento Integrado do Semi-Árido), along ten days in March-April 1995. Brightness temperatures in IV and WV channels were used. Clouds were identified by using cluster analysis. From theoretical methods and parameterizations found in litterature, typical thermodynamic temperatures were 218K were obtained (a height of 12420 gpm when comparing with sounding data); emissivities varied between 0.88 and 0.97; optical thicknesses in visible spectrum were between 2 and 5.4. The results are similar to others found in litterature, suggesting the potential usefulness of satellite images for determining atmospheric parameters used in circulation models.

1 - INTRODUÇÃO

Os Cirros fazem parte de uma família composta por nuvens altas com extensões horizontais que estão entre 15 e 100 Km e estão no interior de regiões com fortes movimentos convectivos. São classificadas em três espécies: cirros, cirrocúmulos e cirro-estratos, que possuem uma mesma formação e altitude em comum e têm, quanto às suas formas e origem, pequenas diferenças. Quanto a sua constituição, são quase que exclusivamente compostos por cristais de gelo e gotículas d'água fortemente super-resfriadas com temperaturas que atingem valores de -60°C (Sassen et al. 1989).

Durante as últimas décadas as propriedades radiativas dos sistemas cirros têm gerado um crescente interesse na comunidade meteorológica mundial que estuda a radiação atmosférica. Isto se deve a que, sendo de grande extensão, esse tipo de nuvem é um modulador potencial e significativo no balanço radiativo da Terra. Devido a sua semitransparência no espectro visível, permitem a entrada de boa parte da radiação solar. Entretanto, são bastante opacas para a transmissão de radiação no espectro termal, funcionando como um "tampão" virtual para a radiação emergente do sistema Terra-atmosfera. Por causa de sua elevada altitude sua temperatura é baixa; dessa forma, ao mesmo tempo que absorvem e reemitem radiação de volta para o planeta, a perda radiativa para o espaço planetário é relativamente menor do que para as nuvens mais baixas. Determinações experimentais de suas propriedades requerem aparelhos sofisticados (em particular, de aeronaves). Tem-se tentado aproveitar a informação fornecida por satélite, com base na teoria de propagação de radiação na atmosfera e com modelos microfísicos destas (Fu e Liou, 1993). No presente trabalho apresentam-se resultados de uma aplicação às condições atmosféricas do Nordeste, aproveitando os dados do Projeto Experimento Integrado do Semi-Árido (EIS).

2 - DADOS UTILIZADOS

Neste trabalho foram usados dados coletados durante o Projeto EIS, realizado no período de 25 de março a 05 de abril de 1995, no qual estavam incluídos vários subprojetos, como o EMAS (*Experimento de Meso escala na Atmosfera do Sertão),* com radiossondagens nos horários sinóticos

[1] Grupo de Aplicações de Satélites Meteorológicos - CPTEC/INPE.

durante o período do projeto, e o RADSAT (Radiação-Satélite), com medidas de radiação solar, captação e gravação de imagens dos satélites NOAA-12, 14 e Meteosat-5.

As imagens utilizadas neste trabalho foram do Meteosat-5, gravadas mediante colaboração entre o Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPb) e o Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto do Estado da Paraíba (LMRS-PB). Os canais utilizados foram visível (VIS), Infravermelho (IV) e vapor dágua (WV) em um recorte de 200x200 "pixels" que cobre todo o Nordeste, ficando de fora apenas uma pequena parte ao Sul de 17°S. O processamento computacional de imagens foi realizado mediante microcomputador PC, com programação em Turbo-Basic.

As sondagens utilizadas correspondem a Barbalha ($7^o13'S$; 37^oW), no Estado do Ceará, e Campina Grande ($7^o13'S$; 35^oW), no Estado da Paraíba, e foram cedidas pela Coordenação do projeto EMAS junto à UFPb, Campus II, Campina Grande (Pb).

3 - METODOS

O primeiro passo foi a identificação de cirros em imagens multiespectrais, antes de inferir sobre parâmetros como temperatura, emissividade, transmitância, profundidade óptica e altitude. Para a classificação utilizou-se um método estatístico baseado na análise de características de segmentos de imagens de satélite através de uma representação gráfica de histogramas bi ou multidimensionais, dependendo do número de canais espectrais utilizados. Aceitando que um tipo de cena (superfície de céu claro, camada de nuvens, etc.) tem níveis de cinza ("counts") característicos nos canais VIS e IR, os picos de freqüência evidenciam grupos de cenas com os seus valores de "counts" característicos ou, pelo menos, mais freqüentes na imagem (Tsonis 1984; Phulpin et al. 1985). Este método pode usar como informações complementares outras variáveis derivadas das imagens, que são as variâncias locais dos "counts" em torno de um "pixel" (elemento de imagem), que caracterizam a "textura" da imagem, ou seja sua variabilidade espacial local. Esses dados juntamente com os "counts" das imagens permitem definir diferentes grupos através de seus centros de gravidade (centróides) multidimensionais. O agrupamento dos "pixels" de uma imagem foi feito pela menor distância euclideana aos centros de gravidade, fazendo varias iterações e estimando de cada vez uma nova média e variância de cada classe (Sèze e Desbois, 1987). Com isso novos centróides foram determinadas, até existir uma distinção entre as classes determinados por um critério; que neste caso, foi de um grupo ocupar determinada porcentagem da imagem.
A temperatura de brilho foi determinada com a equação que se encontra nos boletins mensais divulgados pela EUMETSAT.
A figura 1 ilustra as componentes das radiâncias recebidas pelo satélite provenientes do sistema terra-atmosfera. Escrevendo estas componentes da radiação para os dois canais do infravermelho do Meteosat, temos:

$$L_i = \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{2i}} \phi_\lambda L_\lambda (T d\lambda = \varepsilon_i \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{2i}} \phi_\lambda L_\lambda (T_N) d\lambda + (1-\varepsilon_i) \int_{\lambda_{1i}}^{\lambda_{2i}} \phi_\lambda L_\lambda (T_{bi}) d\lambda \qquad (1)$$

onde:

$\phi\lambda$ - resposta espectral do sensor do satélite no comprimento de onda λ;
L_i , i= 1,2 - radiâncias registradas nos canais espectrais WV e IR do METEOSAT
$L\lambda(T_N)$, $L\lambda(T_b i)$ - radiância de "corpo negro" para as temperaturas T_N (temperatura termodinâmica da nuvem) e T_{bi} (temperatura de brilho, à base da nuvem no canal i).

ε_i - emissividade no canal *i*;

$d\lambda$ - elemento infinitesimal de comprimento de onda.

Szejwach (1982) mostrou que as emissividades das nuvens Cirrus nos canais espectrais IR e WV diferem entre si em menos de 6%. Com isto, as equações (1) se reduzem a uma relação linear Ψ:

$$L_1(T_1) = a\, L_2(T_2) + b \qquad (2)$$

onde *a*, *b* são coeficientes constantes para uma nuvem em particular.

Os pares de radiâncias espectrais emitidas por um corpo negro nos canais WV e IR (1 e 2 respectivamente) para diversas temperaturas, descrevem uma curva Γ num plano (L_1, L_2). A reta ψ é determinada a partir de diversas radiâncias L_1, L_2 sobre a imagem do cirro (correspondendo a posições com diversas espessuras). A interseção ψ com Γ define o par [$L_1(T)$, $L_2(T)$] para a temperatura termodinâmica $T = T_N$ da nuvem.

Conhecendo-se a radiância L_i que chega ao satélite proveniente de uma nuvem semitransparente e as temperaturas T_N e de superfície, as eqs. (1) permitem avaliar a emissividade (ε).

A altitude das nuvens é determinada a partir dos perfis atmosféricos provenientes de radiossondagens e da temperatura termodinâmica encontrada.

A transmitância no infravermelho é obtida a partir da lei de Kirchhoff , considerando que a absorção mais a transmitância é igual à unidade (não há reflexão de radiação), e que a absorção é igual a emissividade.

A profundidade óptica no visível (τ_{vis}) é determinada a partir de estimativas teóricas de Fu e Liou (1993), os quais encontraram uma relação funcional com a emissividade:

$$\tau_{vis} = ln(1/1-\varepsilon)/b,$$

onde *b* é um fator de ajuste igual a 0,79.

4 - RESULTADOS E CONCLUSÕES

As nuvens cirros encontravam-se associadas a aglomerados convectivos, apresentando dois aspectos típicos: 1) tênue, nas bordas, e 2) espesso, mais ao centro do aglomerado. Estas nuvens estiveram presentes durante todos os dias observados, com uma cobertura sobre a região de 20% a 60% da área e uma predominância maior no período noturno.

A figura 2 ilustra a obtenção da temperatura termodinâmica de nuvem em um caso de cirro. A variável escolhida é o "count", obtendo-se um valor de interseção 222, correspondente a T_N= 215K. Em dez casos observados em oito dias do EIS, encontraram-se temperaturas T_N entre 224K e 215K.

As altitudes encontradas oscilaram entre 11970mgp e 13120mgp, valores usuais de latitudes tropicais. As maiores altitudes foram observadas no período noturno; essas nuvens teriam sido provenientes de movimentos fortemente convectivos que ocorreram durante o dia.

Os valores de emissividade variaram entre 0.88 e 0.97, sendo coerentes com os encontrados por Shenk e Curran (1973), e podendo ser considerados bons quando comparados com outros autores que utilizaram medidas precisas no cálculo da emissividade (Beck *et al*. 1996).

Para a transmitância obtiveram-se valores entre 2% e 15%; as maiores transmitâncias estão relacionadas com as áreas tênues de nuvem, como era de se esperar.

A profundidade óptica no visível (λ = 0,5 μm) situou-se entre 2.04 e 5.39, dentro dos limites encontrados por Liou (1986), variando muito pouco em áreas tênues ao longo das observações. Nas áreas mais densas, observou-se maior profundidade óptica nos horários diurnos.

Os resultados evidenciam que imagens de satélite nos canais visível, vapor d'água e infravermelho termal podem ser uma fonte valiosa de informações para avaliar diversas propriedades físicas de cirros. Dada a importância destas no balanço de energia da atmosfera, tais estimativas contribuiriam para o monitoramento de alguns parâmetros físicos relevantes usados por rotinas radiativas em modelos de circulação (tais como altitude/temperatura, emissividade, reflectância, profundidade óptica de cirrus).

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beck, H.P.G.; Davis, J.M. e Cox, S.K. Radiative properties of cirrus clouds derived from surface interferometric measurements. *J. of Applied Meteorology*. **35:** 1240-1255. 1996.

Fu, Q. e K. N. Liou. Parametrization of the Radiative Properties of Cirrus Cloud. *J. of the Atmospheric Sciences*. **50**: 2008-2025. 1993.

Liu, K. N. Influence of Cirrus on Weather and Climate Processes: The Global Pespective. *Mon. Wea. Rev.* **114**: 1167-1199. 1986.

Phulpin, T.; Derrein, M.; Brard, A. A Two-Dimensional Hystogram Procedure to Analyse Cloud Cover from NOAA Satellite High Resolution Data. *J. of Climate and Applied Meteorology*. **22**: 1332-1345. 1985.

Sassen, K., Starr, D.O'C. e Uttal, T. Mesoscale and Microscale Structure of Cirrus Cloud s - Three Case Studies. *J. of Atmospheric Sciences*. **44**: 371-396. 1989.

Sèze, G; Desbois, M. Cloud Analysis from Satellite Imagery Using Spatial and Temporal Charcaterstics of the Data. J. of Applied Meteorology. **26**: 287-303. 1987.

Shenk, W.E. e R. Curran. A multi-spectral method for estimating cirrus cloud top heights. *J. of Applied Meteorology* **12:** 1213-1216. 1973.

Szejwach, G. Determination of Semi-Transparent Cirrus Cloud Temperature from Infrared Radiances: Application to METEOSAT. *J. of Applied Meteorology*. **21**: 384-393. 1982.

Tsonis, A . On the Separability of Various Classes from GOES Visible and Infrared Data. *J. of Climate and Applied Meteorology*. **23**: 1393-1410. 1984.

Reconhecimento. O presente trabalho resume o desenvolvimento de dissertação de mestrado em meteorologia: Pereira, R. C. G., 1997. *Análise das Propriedades Radiativas de Nuvens Cirrus*. UFPb, Campina Grande, 76 pp.Pub. DCA – CMM TD N^{o} 04-1997.

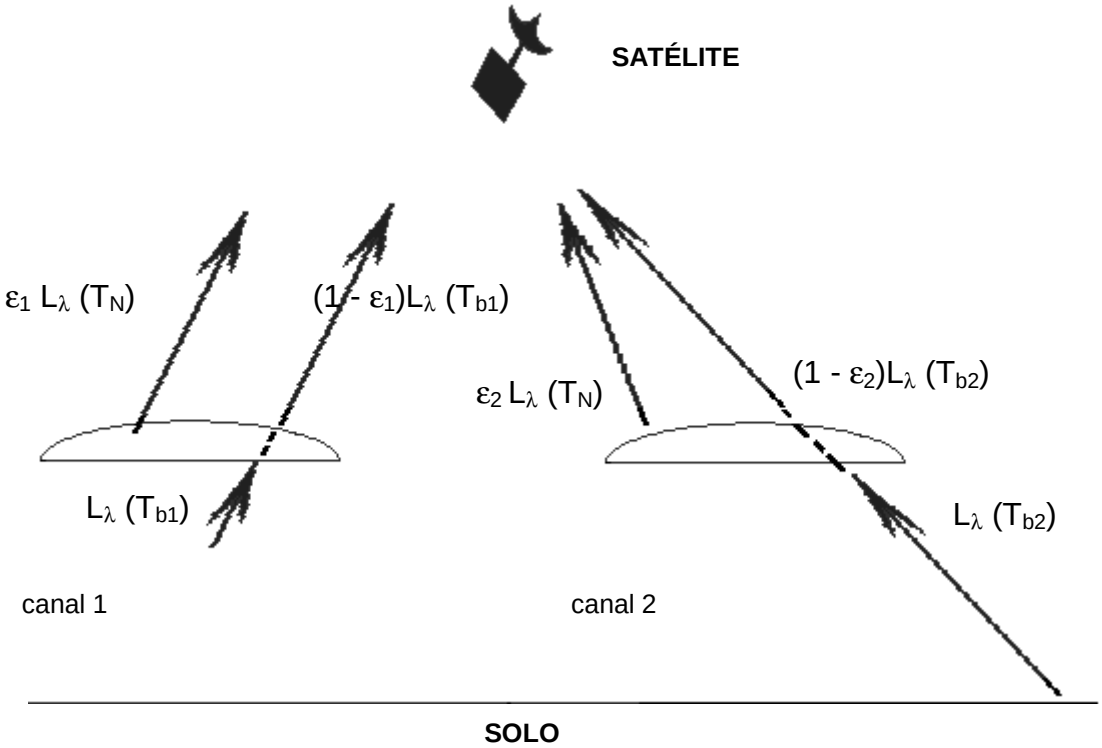

Figura 1 - Componentes da radiação de onda longa (proveniente do sistema Terra-Atmosfera), ao satélite, por transmissão e emissão das nuvens.

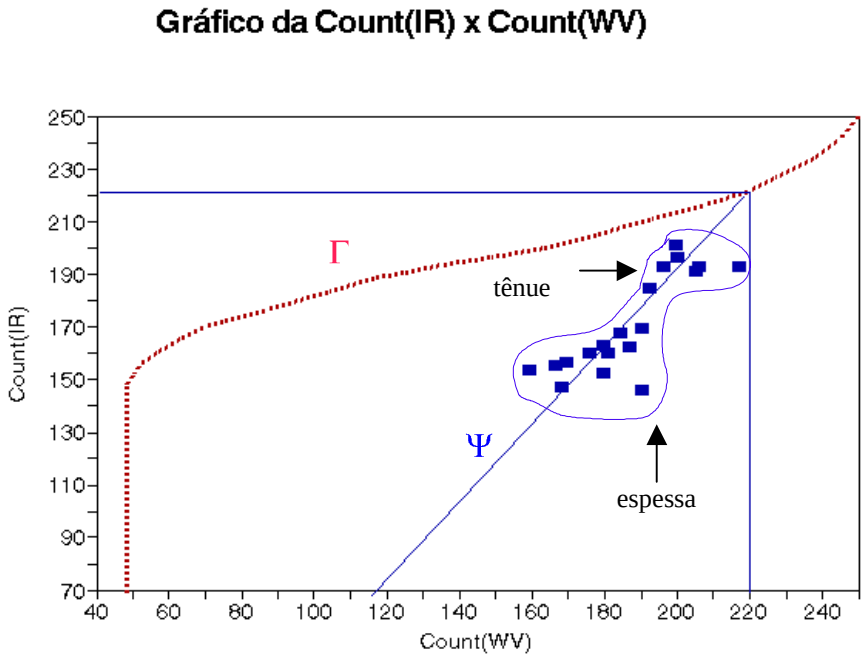

Figura 2 - Interseção entre às curvas f[C(IR),C(WV)] e C(IR)=f[C(WV)], para uma nuvem cirro com seus dois aspectos , tênue e espesso.