MONITORAMENTO DE NUVENS DE GELO E DE ÁGUA LÍQUIDA SUPER-RESFRIADA SOBRE AS REGIÕES SUL E SUDESTE DO BRASIL UTILIZANDO-SE IMAGENS MULTIESPECTRAIS DO GOES-8

Nelson Jesus Ferreira
Cláudia Cristina dos Santos
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE / MARSP
Av. dos Astrounatas, 1758, Jd. da Granja, São José dos Campos-SP, 12.227-010
e-mail: nelson@ltid.inpe.br, claudiac@met.inpe.br

Graziela Balda Scofield
Instituto Tecnológico Aeronáutico - ITA
Praça Mal. Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, São José dos Campos-SP, 12228-900
e-mail: graziela@infra.ita.cta.br

Egídio Arai
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE / SERE
Av. dos Astrounatas, 1758, Jd. da Granja, São José dos Campos-SP, 12.227-010
e-mail: egidio@ltid.inpe.br

ABSTRACT

A methodology for monitoring night-time supercooled liquid water clouds and ice clouds, using GOES-8 multispectral imagery is discussed. According to this technique, high level clouds are identified by subtracting the 3.9 μm brightness temperature channel from the corresponding 10.7 μm channel. The satellite imagery for July 9 th, 1997 (23:45 UTC) and June 1 th, 1998 (03:39 UTC) period were used to test the method for the south and southeast regions of Brazil.

1. INTRODUÇÃO

As imagens do canal espectral infravermelho (IV) detectam a temperatura do topo de nuvens e da superfície terrestre. Atualmente, existem outras formas de imagens (vapor de água, microondas, etc.). A Tabela 1 mostra as principais características das imagens transmitidas pelo satélite meteorológico Geostationary Operational Environmental Satellite-8 (GOES-8), que monitora a América do Sul. Esse satélite fornece imagens de uma mesma região geográfica com grande resolução temporal.

Nas últimas décadas, com a disponibilidade dos sensores multiespectrais a bordo de satélites, tornou-se possível implementar técnicas para a obtenção de diversas variáveis/produtos de interesse meteorológico. Como conseqüência, uma gama de produtos tornou-se disponíveis para os meteorologistas operacionais do Hemisfério Norte. Como exemplo desses produtos tem-se: poeiras vulcânicas, nuvens de gelo e de gotículas super-resfriadas, nevoeiro, umidade troposférica, e imagem de reflectância. Eyre et al. (1984), Arking e Childs (1985) foram pioneiros nesse tipo de enfoque. No Brasil, Ferreira e outros (1998), implementaram a metodologia que utiliza a diferença dos canais 4 e 2, para monitorar nevoeiros nas regiões Sul e Sudeste utilizando-se imagens do GOES-8. Entretanto, apesar da importância desses produtos derivados, estes produtos ainda são pouco explorados na América do Sul.

O presente estudo apresenta os resultados preliminares da implementação da técnica multiespectral para monitoramento de nuvens de gelo e de gotículas de água super-resfriadas sobre o Brasil. Em função da alta resolução temporal (imagens de 30 em 30 minutos) do satélite GOES-8, e da rapidez e simplicidade do método, o monitoramento de gelo poderia ser realizado facilmente nos principais centros de previsão de tempo de nosso país.

Tabela 1 - Características instrumentais do satélites geoestacionário GOES-8

Canal	Região Espectral (µm)	Nome da região Espectral	Resolução Espacial (km)	Principais Utilidades
1	0,52-0,72	Visível	1	Detecção de nuvens, poluição e névoa; e identificação de tempestade severas.
2	3,78-4,03	Janela no IV em ondas curtas	4	Identificação de nevoeiro a noite; discriminação entre nuvens de água e nuvens de gelo ou de neve durante o dia; detecção de queimada e de erupções vulcânicas; e determinação de temperatura da superfície do mar a noite.
3	6,47-7,02	Janela no IV em ondas longas	8	Delineação das regiões de advecção e de conteúdo de umidade em níveis médios; e estimativa de ventos troposféricos em níveis médios.
4	10,2-11,2	Vapor d'água em altos níveis	4	Estimativa de ventos troposféricos; identificação de tempestade severas, e localização de chuvas intensa.
5	11,5-12,5	Janela no IV em ondas longa - mais sensível ao vapor d'água	4	Identificação da umidade em baixos níveis; determinação de temperatura de superfície do mar, e detecção de cinza vulcânica e poeira suspensa.

2. DADOS E METODOLOGIA

Neste trabalho, foram utilizados os campos de temperatura de brilho transmitidos pelo satélite GOES-8, fornecidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Avaliou-se o uso de imagens da diferença dos canais 4 e 2, para identificar a presença de nuvens constituídas de gelo e de gotículas de água líquida super-resfriadas, no período noturno. A formação de gelo em aviões é um fator de risco que afeta a eficiência aerodinâmica das aeronaves, podendo inclusive impedir o vôo em situações extremas. Entre 0 e 20 ^{0}C, grande parte das nuvens são constituídas por gotículas de água líquida super-resfriadas. Na atmosfera, geralmente essas gotículas não estão em contato com gelo, podendo persistir neste estado instável às temperaturas bem abaixo do ponto de congelamento da água. Nuvens que possuem um número significativo de gotículas de água líquida super-resfriadas relativamente grandes, podem causar danos as aeronaves. Abaixo de –40 ^{0}C, as nuvens são compostas essencialmente de partículas de gelo. A imagem diferença possibilita identificar essas características das nuvens.

O canal 2 do GOES-8 tem a banda espectral centrada em 3,9 µm, enquanto que no canal 4, o comprimento de onda central está em 10,7 µm. Devido a sua posição espectral, o canal 2 é sensível tanto a radiação solar refletida como a emitida pela superfície terrestre e nuvens durante o dia. O método adotado para monitorar gelo, neste trabalho, é baseado nos estudos de Ellrod (1994), RAMM GOES 3.9 µm Channel Tutorial (1996), e Ferreira e outros (1998). Após a subtração dos canais espectrais, a imagem resultante obtida é normalizada para mostrar os valores positivos. A diferença que ocorre é devida a variabilidade das propriedades óticas das nuvens formadas por cristais de gelo. Essa técnica funciona bem durante a noite quando a imagem do Canal 2 não é contaminada pela refletividade da superfície terrestre e das nuvens. A análise pode ser completada utilizando imagem infravermelho em 10,7 µm e dados de radiossondas. No presente trabalho, as diferenças positivas entre os dois canais espectrais utilizados destacam as nuvens compostas de gelo e gotículas de água líquida super-resfriadas. Nas regiões com presença de cirrus espessos, a imagem resultante foi filtrada, uma vez que o canal 3,9 µm é muito sensível a temperaturas baixas. Para facilitar a interpretação/identificação, na borda das nuvens onde predomina cirrus fino, utilizou-se a cor amarela. Nas regiões onde as nuvens são mais espessas e constituídas de água líquida super-resfriadas, utilizou-se a cor verde.

3. RESULTADOS

A Fig. 1 mostra a imagem infravermelho convencional (canal 4) do satélite meteorológico GOES-8, cobrindo as regiões sul e sudeste do Brasil no dia 09/07/1997 às 23:45 UTC. Observa-se que grande parte do continente apresenta céu limpo. Nota-se, por exemplo, que a temperatura do rio Paraná esta mais elevada que a da superfície terrestre. Observa-se também ao longo do litoral das regiões sul e sudeste, a presença de nuvens cirriformes com topos frios (tonalidade branca). Em Minas Gerais e parte do Paraná observa-se predominância de nuvens baixas (tonalidade cinza médio). A diferença entre as temperaturas de brilho dos canais 4 e 2 pode ser vista na imagem da Fig.. 2. As áreas realçadas com cores falsas estão associadas com nuvens compostas de gelo e de gotículas de água líquida super-resfriadas. Nessa imagem é possível observar filamentos em forma de garra ao longo da costa sudeste do Brasil, indicando nuvem com cristais de gelo. A porção da nuvem mais espessa, constituída de água líquida super-resfriada, é destacada pela cor verde.

As Figs. 3 e 4 apresentam imagens similares às anteriores, porém, para o dia 01/06/1998 às 03:39 UTC. Como no caso anterior, pode-se identificar na imagem infravermelho as nuvens altas e frias (tonalidade branca), as nuvens baixas (tonalidade cinza médio) e também a superfície continental. A imagem derivada destaca a presença de gelo e água líquida super-resfriada (cores amarela e verde) nas nuvens altas. Como mencionado anteriormente, a identificação de gelo na atmosfera é de grande interesse para apoiar a segurança das aeronaves.

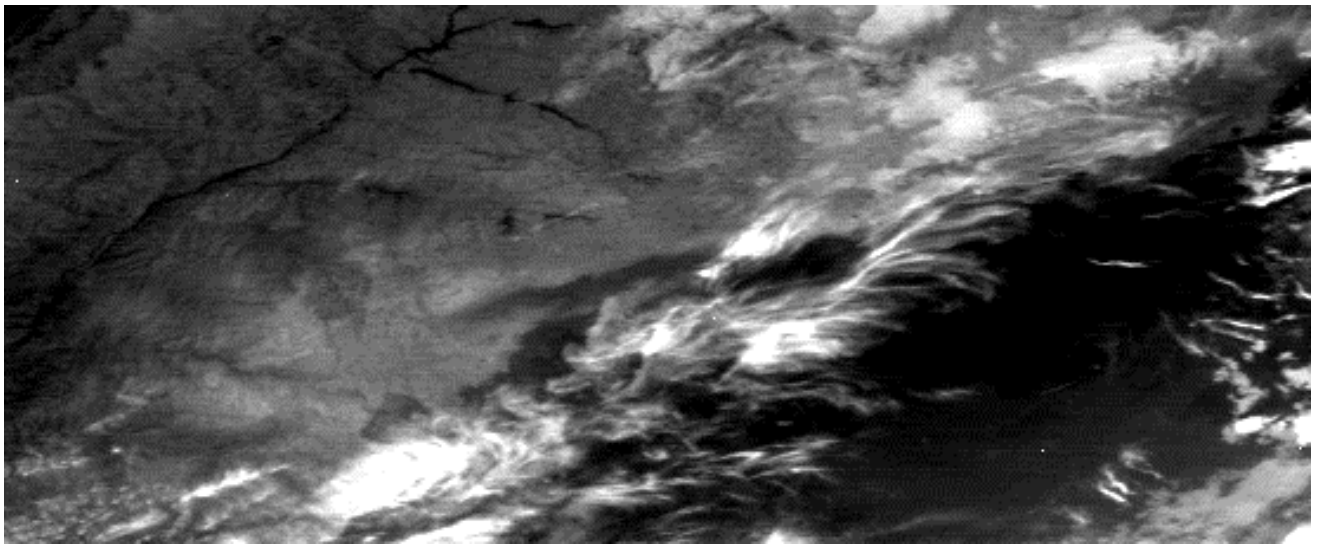

Figura 1: Imagem obtida pelo satélite GOES-8, canal infravermelho, do dia 09/07/1997, às 23.45 UTC.

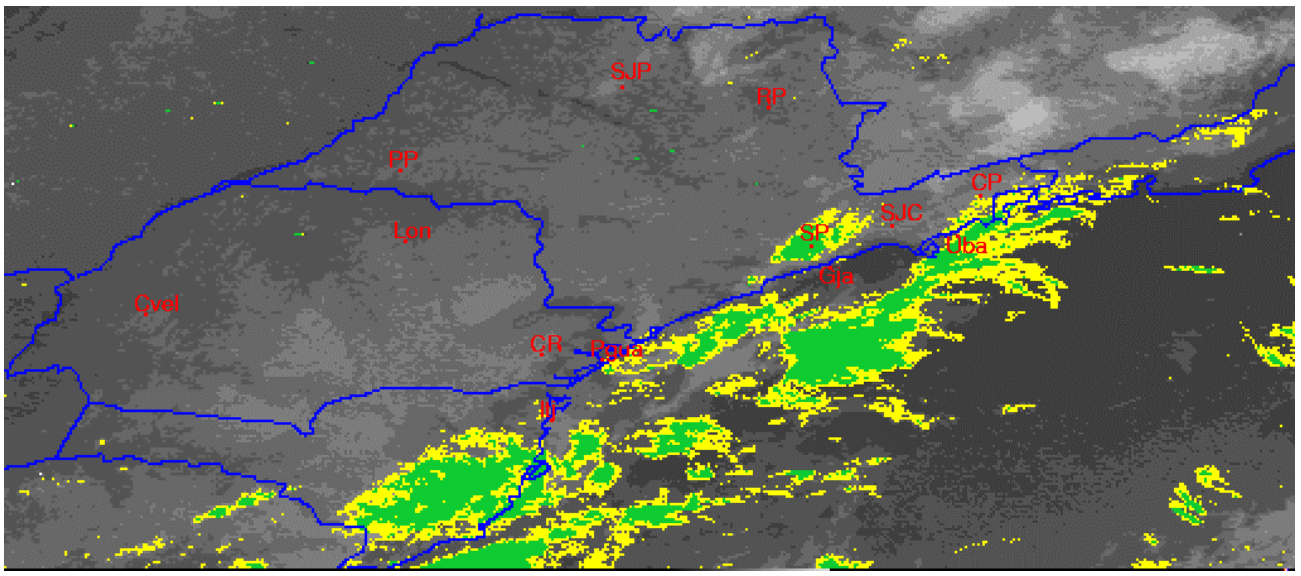

Figura 2: Imagem diferença (Canal 4 - Canal 2) do GOES-8, do 09/07/1997, às 23.45 UTC

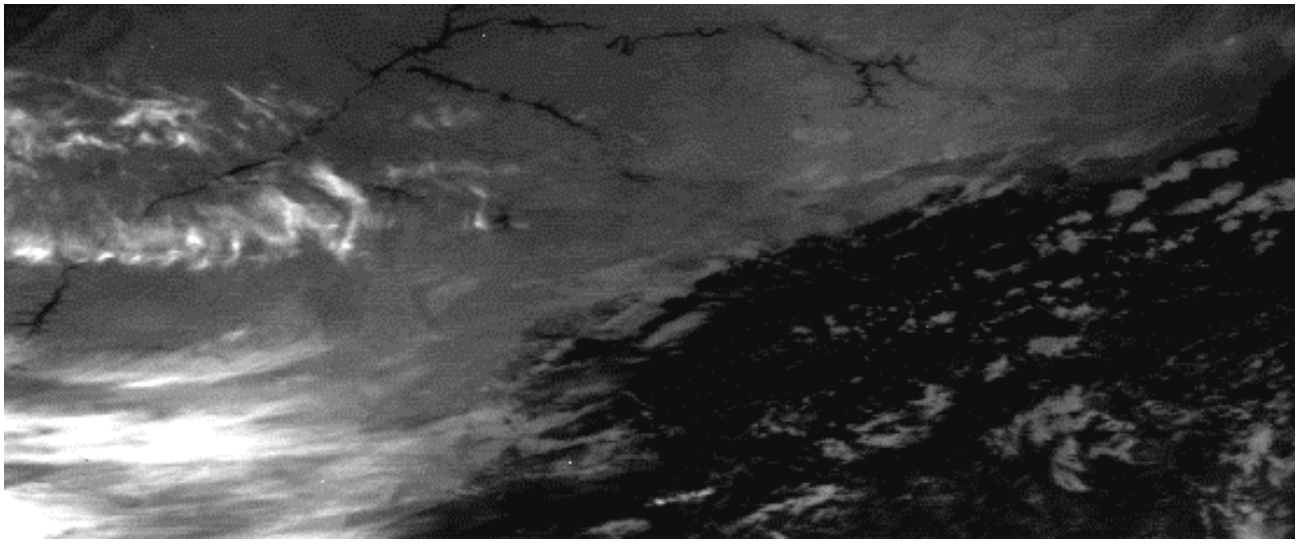

Figura 3: Imagem obtida pelo satélite GOES-8, canal infravermelho, do 01/06/1998, às 03:39 UTC.

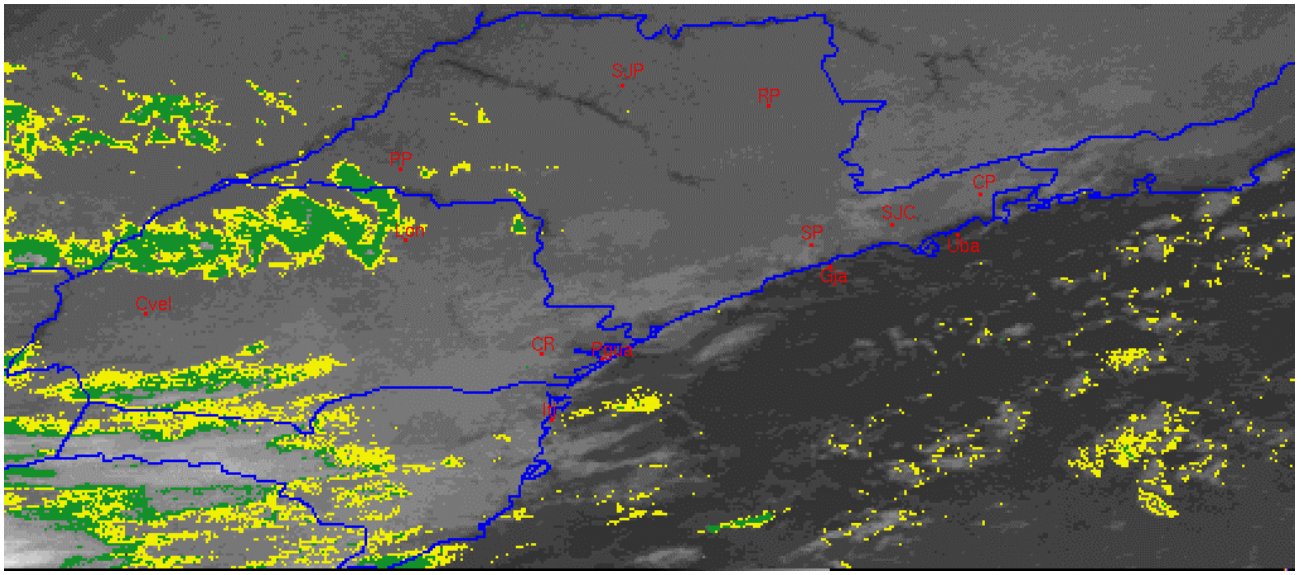

Figura 4: Imagem diferença (Canal 4- Canal 2) do GOES-8, do 01/06/1998, às 03:39 UTC

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta uma metodologia para monitorar gelo na atmosfera utilizando-se imagens do satélite meteorológico GOES-8. Essa técnica não é inédita pois já vem sendo utilizada há algum tempo pelos meteorologistas no Hemisfério Norte. Entretanto, no Brasil, esse tipo de produto derivado de imagens não tem sido explorado.

A combinação de dados multiespectrais do GOES-8 pode ser utilizada de forma simples e rápida para o monitoramento de nuvens compostas de gelo ou de gotículas de água líquida super-resfriadas. Essa identificação é possível devido as diferenças das características do gelo nas imagens espectrais do satélite. Esse tipo de informação é de grande valia para a segurança dos vôos. Na atmosfera, essas nuvens ocorrem em condições tal que existe a fase líquida em temperaturas abaixo do ponto de congelamento. Os resultados obtidos sugerem que a metodologia proposta tem grande potencial para ser utilizada no Brasil, entretanto ainda são necessárias análises de um número maior de casos para a sua utilização efetiva.

4. AGRADECIMENTOS

Este trabalho beneficiou-se dos dados cedidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) e contou com o apoio do CNPq e FAPESP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arking, A., and J.D. Childs, 1985: Retrieval of cloud cover parameters from multispectral satellite images. ***J. Clim. Appl. Meteor.***, **24,** 322-333.

Ellrod, E., 1994: Detection and analysis of fog at night using GOES multispectral infrared imagery. **NOAA Technical Report NESDIS 75**.

Eyre, J.R.; Brownscombe, J.L.; Allan, R.J., 1984: Detection of fog at night using advanced very high resolution radiometer (AVHRR) imagery. **Meteorological Magazine**, **113**, 266-271.

Ferreira, N. J., Nunes, A M.B., Ferreira, N.S., Bastos, E. B., 1998: Determinação de nevoeiros sobre as regiões sul e sudeste do Brasil utilizando-se imagens multiespectrais do satélite GOES-8**. X Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Brasilia.

RAMM GOES 3.9 µm Channel Tutorial, 1996. Developed by the NOAA/NESDIS Regional and Mesoscale Meteorology Team (RAMMT) in cooperation with CIRA scientists.