

ESTIMATIVA DA TEMPERATURA E UMIDADE DO DOSSEL DA FLORESTA AMAZÔNICA  
UTILIZANDO RADIOMETRIA DE MICROONDAS POR SATÉLITE

JORGE LUÍS SILVA BRITO

Departamento de Geografia

UFU - Universidade Federal de Uberlândia

Av. universitária, S/N, Campus Santa Mônica

38400-902 Uberlândia, MG, Brasil

Jbrito@brufu.bitnet

**Abstract.** The forest canopy humidity and temperature of the region of Manaus ( $3^{\circ}$  S,  $60^{\circ}$ W) have been estimated for the 1985 wet (April-May) and dry (July-August) seasons at 12:00 and 00:00 local standard time, from spaceborne microwave radiometer, along with microwave emission models. The satellite data consist of SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) Nimbus-7 corrected brightness temperatures for the 6.6, 10.7, 18.0 and 37.0 frequencies. To model the signal emitted by the forest canopy, two different numerical models were used: a discrete model and a continuous model. A sensitivity study of the models has also been conducted to evaluate the influence of the moisture, temperature and vegetal biomass on the brightness temperatures simulated by the models. The moisture and vegetal temperature obtained through the inversion of the continuous model have been consistent with the ones obtained by the other authors.

## 1 - INTRODUÇÃO

A estimativa da evapotranspiração da superfície terrestre é de grande importância para a modelagem do clima e para monitoramento agrometeorológico da biosfera. Usualmente, estimativas de evapotranspiração são feitas a partir de dados obtidos em estações meteorológicas convencionais. No caso de regiões de difícil acesso, como a floresta Amazônica, essas estações são esparsas. Além disso, os fenômenos hidrológicos diferenciam-se espacial e temporalmente, ao passo que as técnicas convencionais de coleta de dados são espacialmente limitadas, o que permite a gerações de informações apenas pontuais (Novo, 1988).

A evapotranspiração depende de dois balanços interligados, o balanço de energia e o balanço hidrológico da superfície. A variável resultante do balanço de energia é a temperatura da superfície, que pode ser obtida por radiometria de microondas. Uma das variáveis resultantes do ciclo hidrológico é a umidade do solo e da cobertura vegetal, as quais podem ser avaliadas com o auxílio desta mesma técnica.

A principal vantagem da utilização da técnica de radiometria de microondas está na possibilidade de obtenção de dados sobre a superfície, mesmo sob condições de nebulosidade. Neste contexto, a metodologia da radiometria de microondas utilizada apresenta-se como uma ferramenta com potencial para a obtenção dos parâmetros de umidade e temperatura do dossel de vegetação.

Para interpretar o sinal de microondas emitido pela superfície são utilizados modelos que simulam a temperatura de brilho da cobertura vegetal a partir da uso da teoria de

transferência radiativa (Choudhury et al., 1990; Mo et al., 1982; Kerr e Njoku, 1990), na qual os efeitos dos processos físicos de absorção, extinção e difusão do meio são quantificados.

A emissão térmica de superfícies vegetadas consiste na contribuição da camada de vegetação e do solo. A presença de vegetação causa atenuação da radiação emitida pela superfície do solo e espalhamento, tanto na radiação emitida pelo solo quanto na radiação emitida pela própria vegetação. O espalhamento e a absorção dos elementos da vegetação (folhas, galhos, troncos) dependem de suas propriedades dielétricas, do seus tamanhos e da direção do campo em relação à geometria dos elementos (Ulaby et al., 1982).

Este trabalho tem por objetivo utilizar modelos discretos e contínuos de emissão de microondas, juntamente com dados de temperatura de brilho do sensor SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) do satélite Nimbus 7, para a obtenção de informações sobre a evolução da umidade e temperatura do dossel da floresta Amazônica, numa escala de modelos de circulação geral (100 x 100 km).

## 2 - METODOLOGIA E DADOS

### 2.1 - Descrição dos modelos

Para simular o sinal emitido pela cobertura vegetal, os modelos contínuos e discretos foram utilizados. Esses modelos calculam a temperatura de brilho da vegetação. No modelo contínuo a cobertura vegetal é caracterizada por uma estrutura tridimensional, sendo que a emissão da vegetação é modelada estatisticamente através das flutuações da permissividade da camada da vegetação. As variações na permissividade da camada são

descritas por uma função de autocorrelação (Tsang e Kong, 1985). No modelo discreto a vegetação é caracterizada como uma coleção de difusores discretos (folhas, galhos, troncos), representados nominalmente por duas formas básicas: cilindros dielétricos com raio e tamanho variáveis para os troncos e galhos; pequenos elipsóides dielétricos para as folhas (Mougin et al., 1990). Esse modelo considera as características geométricas e a densidade de cada bioelemento da vegetação para o cálculo dos coeficientes de extinção e difusão da equação de transferência radiativa.

Os parâmetros micrometeorológicos e de entrada nos modelos foram obtidos a partir dos experimentos "Anglo Global Tropospheric/Amazon Boundary Layer Experiment 2A" (ABLE/2a) e "Anglo-Brazilian Amazon Region Micrometeorological Experiment" (ARME), realizados na Reserva Florestal Ducke, localizada a 02 57'S de latitude e 59 57'W de longitude.

Para proceder à inversão dos modelos utilizaram-se temperaturas de brilho nas polarizações vertical e horizontal obtidas pelo sensor SMMR.

## 2.2 - Descrição da área de estudo

Os dados de campo foram obtidos na Reserva Florestal Ducke, situada aproximadamente a 25 km a leste de Manaus. A resolução média espacial dos "pixels" é baixa (55.6 km x 55.6 km) e o pixel da temperatura de brilho que cobre a área da Reserva Florestal Ducke apresentou-se contaminado por superfícies de água. Para contornar este problema, utilizou-se o valor médio dos "pixels" não contaminados. Os dados SMMR utilizados cobrem uma área de 334 x 278 km, delimitada pelas coordenadas de latitude 00° 00'S a

03° 00'S e de longitude 57° 30'W a 60° 00'W.

A Reserva Florestal Ducke tem área de aproximadamente 10.000 ha, estando encravada em sedimentos terciários da série barreiras, na porção central da floresta Amazônica. O relevo é caracterizado como ondulado e com cota máxima de 100 m. A cobertura vegetal é do tipo floresta de terra firme, com copas que possuem uma altura média de 35 m. Os solos da região são do tipo latossolo amarelo, de textura muito pesada, muito profundos e fortemente intemperizados, bem drenados e com teor de argila sempre superior a 70% (Forti, 1989).

## 2.3 - Dados orbitais

O satélite Nimbus 7 foi o último da série Nimbus, lançado em 1978, em órbita com altitude média de 954 km, ângulo de inclinação de 99.2 em relação ao equador e período de 104 minutos. Sua órbita heliossíncrona, cruza o Equador ao meio-dia (órbita ascendente) e a meia-noite (órbita descendente), com um ângulo de visada de 50.2 em relação ao nadir. O satélite levou a bordo doze instrumentos, incluindo o sensor SMMR.

### 2.3.1 - O Sensor SMMR

O sensor SMMR mede a temperatura de brilho emitida pela superfície terrestre e pela atmosfera, operando em cinco frequências nas polarizações horizontal (Kerr e Njoku, 1990). Na Tabela 1 estão listados os canais do sensor SMMR com suas frequências e respectivas resoluções espaciais no terreno.

TABELA 1 - Frequência e resolução espacial dos canais do sensor SMMR

CANAL	FREQUÊNCIA (GHz)	RESOLUÇÃO ESPACIAL (Km)
1-2	6.60	148x95
3-4	10.7	91x59
5-6	18.0	55x41
7-8	21.0	46x30
9-10	37.0	38x17

Fonte: Comiso e Zwally (1989), p. 21.

### 2.3.2 - Processamento dos dados SMMR

Apesar da resolução dos "pixels" no terreno ser diferente para todas as frequências, conforme mostrado na tabela 1, os dados SMMR utilizados no formato de fitas, apresentam uma resolução média dos "pixels" de  $1/2 \times 1/2$  (55.6 x 55.6 Km) para todas as frequências. Esses dados foram obtidos às 12:00 e 24:00 horas local, que são os horários de passagem do satélite Nimbus-7. Cada fita corresponde a uma única medida dentro de um período de seis dias, que é o período necessário para a cobertura global. Os dados na frequência de 21.0 GHz apresentaram problemas de correção radiométrica e por isso não foram usados.

Foram utilizados os dados orbitais referentes a dois períodos de 1985, correspondentes aos dias julianos 92 até o dia 138, para a estação úmida (períodos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 do SMMR), e do dia

juliano 182 até o dia 240, para a estação seca (períodos 5, 6, 7, 8, 9 e 10 do SMMR), obtidos às 12:00 e 24:00 horas local. Esses períodos foram escolhidos levando em consideração a disponibilidade dos dados micrometeorológicos.

Calvet e Kerr (1991) mostraram que existe uma forte contaminação por água dos "pixels" situados nas margens dos rios Negro e Solimões. Para selecionar os "pixels" contaminados, os autores utilizaram o índice razão de polarização (RP), definido por:

$$RP = (TBv - TBh) / (TBv + TBh)$$

onde TBv representa a temperatura de brilho na polarização vertical e TBh a temperatura de brilho na polarização horizontal.

Considerou-se como contaminados por superfícies de água os "pixels" que apresentaram a RP superior a 0.015 nas quatro frequências (6.6, 10.7, 18.0 e 37.0 GHz). Para o cálculo das temperaturas de brilho média da área de estudo, foram utilizados apenas "os pixels" não contaminados por superfícies de água.

Para a correção atmosférica das temperaturas de brilho, utilizou-se um programa computacional que tem como dados de entrada o conteúdo vapor d'água verticalmente integrado na atmosfera (IWC), a altura da base e do topo das nuvens, a densidade de água líquida da camada de nuvens e a taxa de precipitação. Esses dados foram obtidos a partir das medidas micrometeorológicas feitas durante os experimentos ABLE/2A e ARME. Uma descrição detalhada do método utilizado no programa para o cálculo da correção atmosférica é dada Hofer e Njoku (1981).

A Figura 1 mostra os valores da temperatura de brilho da vegetação com correção atmosférica para a estações úmida (abril/maio) e seca (julho/agosto) de 1985 às 12:00 horas local, obtida a partir da temperatura de brilho detectada pelo sensor SMMR. Nessa figura são plotados também os valores de absortância atmosférica calculado através do programa computacional, mencionado anteriormente. Como esperado, os valores de absortância atmosférica calculados foram altos para a frequência de 37.0 GHz, diminuindo para valores próximos de zero para a frequência de 6.6 GHz.

## 2.4 - Dados da cobertura vegetal e do solo

Utilizaram-se os dados de campo referentes à biomassa e a estrutura da floresta de terra firme, obtidos de Carvalho Júnior (1991), Folster et al., (1976), Jordan e Uhl (1978). Os dados de textura e umidade do solo usados foram obtidos por Cabral (1991) em experimento de campo, realizado na reserva Florestal Ducke, durante o ano de 1985.

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizou-se um estudo de sensibilidade do modelo visando a identificação dos parâmetros de entrada no modelo possíveis de serem calculados a partir da inversão dos modelos. Para isto, os modelos foram calibrados para o dia juliano 100, devido a existência de valores de temperatura das folhas da vegetação calculados por Marques (1990) para esse dia.

As figuras 2 e 3 demonstram a variação da temperatura de brilho da vegetação na polarização vertical em função dos parâmetros de umidade, fitomassa e temperatura da superfície, calculada pelos modelos contínuo e discreto respectivamente. O modelo contínuo considera a vegetação como uma única camada, sendo sua biomassa representada pela fração volumétrica de toda vegetação, dada pela razão entre o volume de vegetação e o volume total ocupado pela cobertura vegetal; Já no modelo discreto o parâmetro principal de biomassa é o índice de área foliar. Esses resultados demonstram que é possível obter informações sobre umidade, fitomassa e temperatura da vegetação a partir da inversão dos modelos. Além disso, as figuras 2 e 3 demonstraram que o cálculo da temperatura de brilho da vegetação é mais sensível ao parâmetro de umidade da vegetação. O modelo discreto requereu muitos

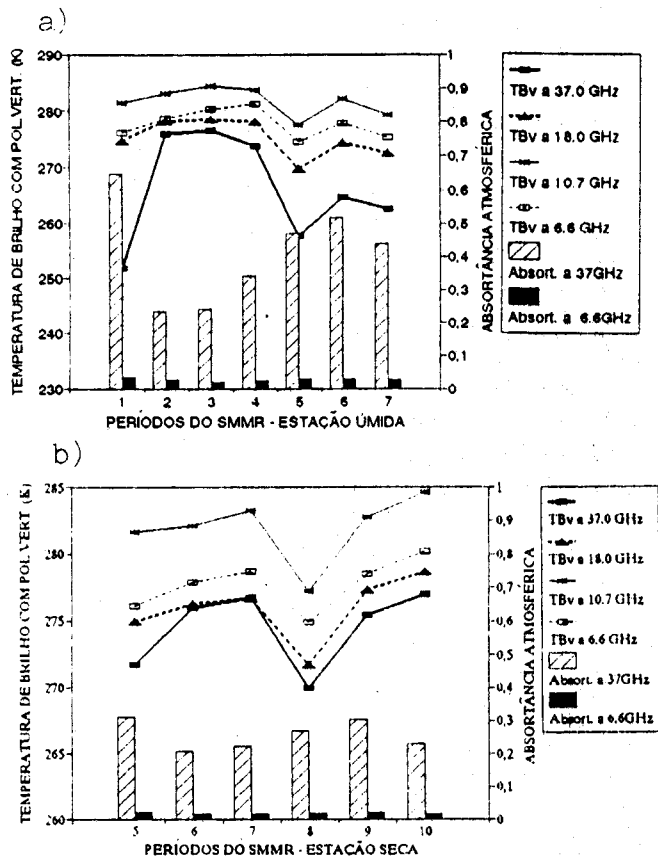


Fig. 1 - Valores de temperatura de brilho da vegetação e de absortância atmosférica, calculados para às 12:00 horas local, durante as duas estações de 1985 a) úmida (abril/maio) e b) seca (julho/agosto).

parâmetros de entrada referentes a estrutura da vegetação e muito tempo de processamento, o que tornaram inviável a sua inversão.

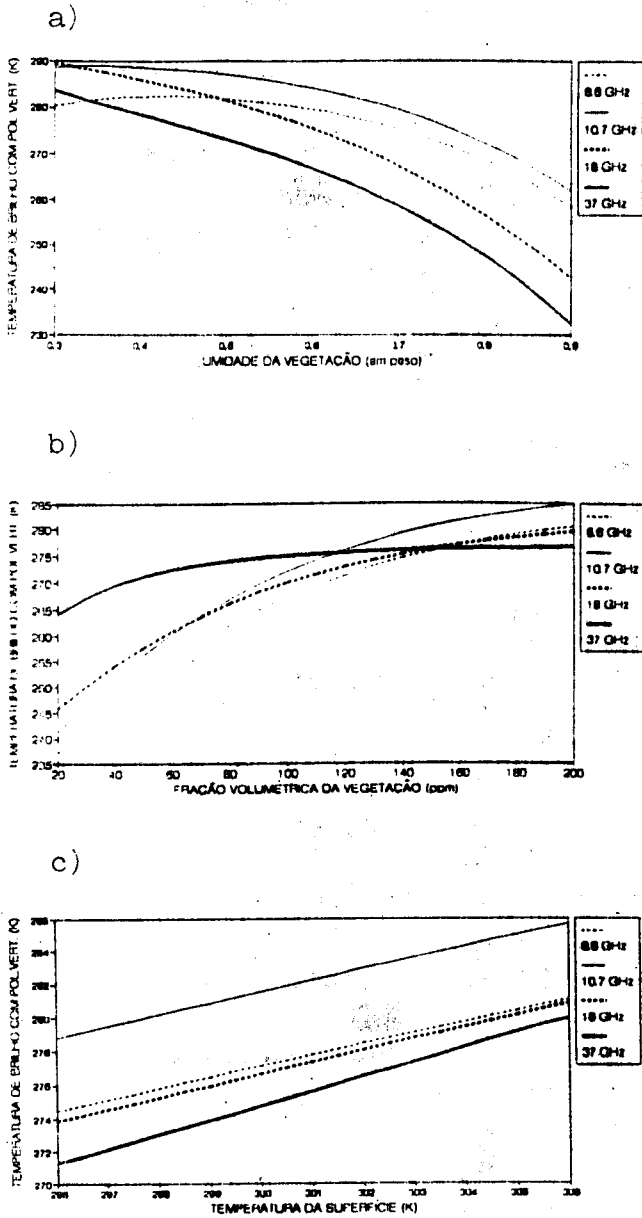


Figura 2 - Variação da temperatura de brilho da vegetação, na polarização vertical, como função dos seguintes parâmetros: a) Umidade da vegetação; b) Fração volumétrica da vegetação e c) temperatura da superfície, simulados pelo modelo contínuo.

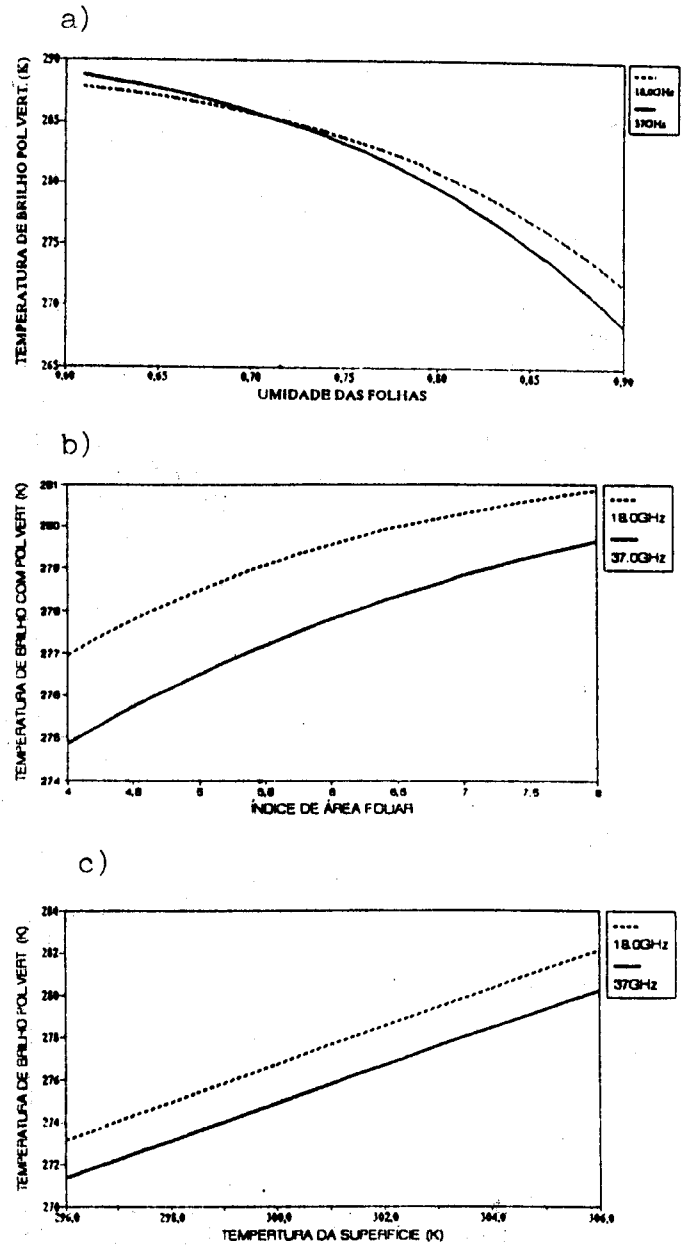


Figura 3 - Variação da temperatura de brilho da vegetação na polarização vertical, como função dos seguintes parâmetros: a) Umidade das folhas; b) Índice de área foliar e c) temperatura da superfície, simulados pelo modelo discreto.

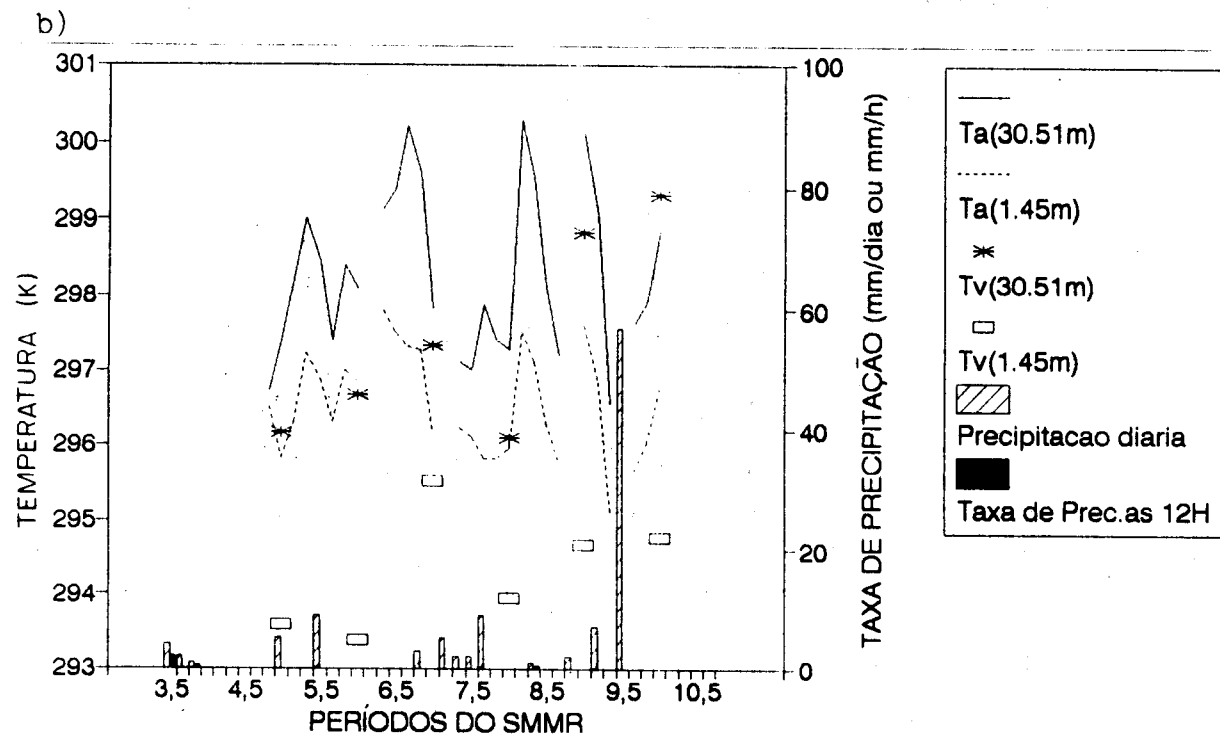
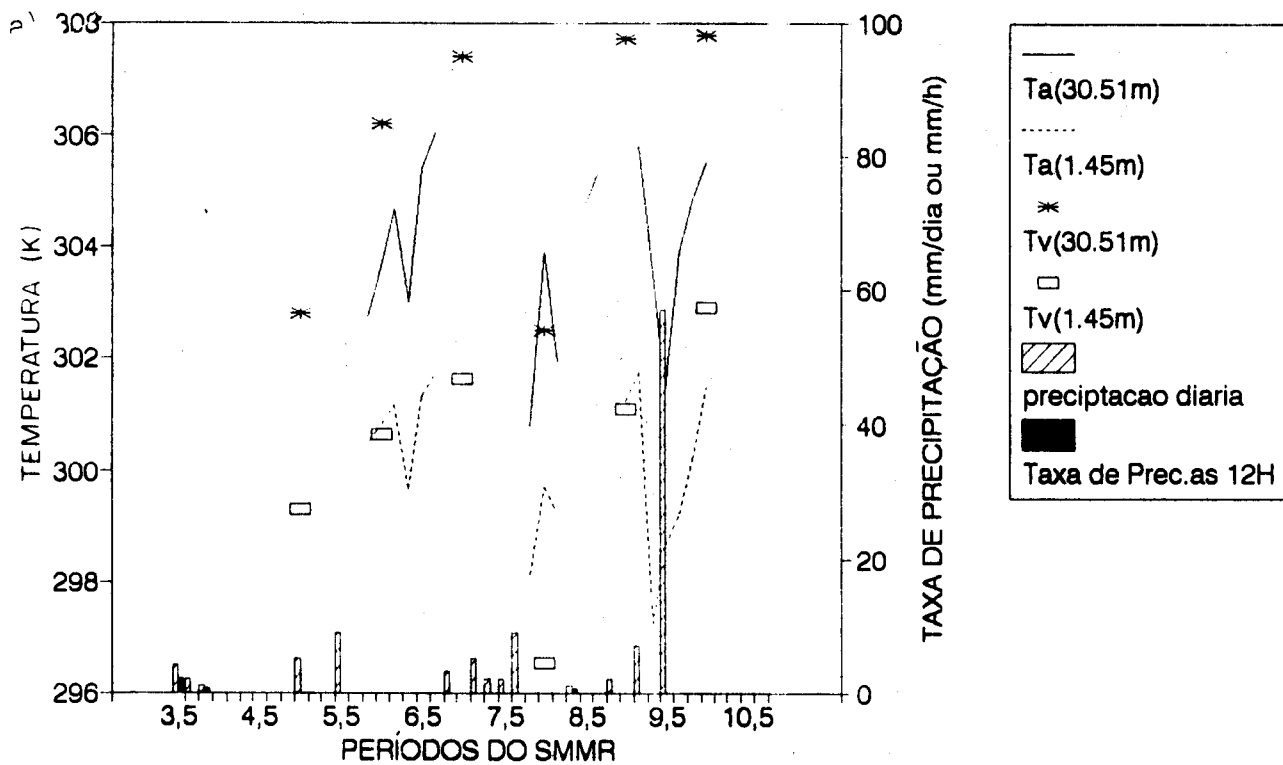


Figura 4 - Temperaturas da vegetação (Tv) obtidas pela inversão do modelo contínuo, temperaturas do ar (Ta) e precipitação medida na Reserva Florestal Ducke, para a estação seca (julho/agosto) de 1985, nos horários de: a) 12:00 horas local; b) 24:00 horas local.

Os valores de umidade do dossel obtidos pelo modelo variaram entre 0.45 e 0.60 Kg/Kg para a estação úmida. Esses valores estão próximos aos obtidos em campo por carvalho Júnior (1991).

Os valores de temperatura da vegetação Tv para os horários de 12:00 e 24:00 horas local, obtidos através da inversão do modelo contínuo são mostrados na figura 4, onde são plotados também os valores da temperatura do ar e da precipitação medidas na reserva Floestal Ducke. Como esperado, a temperatura da vegetação às 12:00 horas local é em torno de dois graus superior à temperatura do ar no topo da vegetação. Por outro lado, a temperatura da vegetação próxima à superfície do solo às 24:00 horas local é menor que a temperatura do ar.

#### 4 - CONCLUSÕES

- 1) O teste de sensibilidade dos modelos mostrou que o cálculo da temperatura de brilho da vegetação é altamente sensível aos parâmetros de umidade da vegetação, fitomassa e temperatura da superfície. Além disso, os testes mostraram que a umidade da vegetação é o parâmetro de entrada no modelo que mais influência no cálculo da temperatura da vegetação;
- 2) O modelo contínuo mostrou-se mais eficiente do que o modelo discreto para o estudo da cobertura vegetal;
- 3) Os resultados da inversão do modelo contínuo mostraram que é possível estimar a temperatura e a umidade do dossel da floresta de terra firme, a partir da utilização de um modelo de emissão de microondas e de dados orbitais de temperatura de brilho obtidos pelo sensor SMMR do satélite Nimbus-7.

#### Referências Bibliográficas

- Cabral, M.R.C. **Armazenagem da água num solo com floresta de terra firme e com seringal implantado.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991. 104 p. (INPE-5282-TDI/452)
- Calvet, J.C.; Kerr, Y. **Utilization des micro-ondes passives sur la forêt Amazonienne.** Toulouse, MÉTEO-France, CNES/LERTS. 1991. 31p.
- Carvalho Júnior, J.A. **Balço de carbono em queimada na estação experimental de silvicultura tropical: INPA- Manaus: relatório preliminar.** São José dos Campos, SP.
- Choudhury, B.J.; Wang, J.R.; HSU, A.Y. **Simulated and observed 37 GHz emission over Africa.** *International Journal of Remote Sensing*, 11(10):1837-1868, Oct. 1990.
- Comiso, J.C.; Zwally, H.L. **Polar microwave Brightness temperatures from Nimbus-7 SMMR.** Washington, DC. July, 1989. 112 p. (NASA RP-1223).
- Folster, H.; De Las Salas, G.; Khanna, P. **A tropical evergreen forest site with perched water table, Madalena Valley, Colombia: Biomass and bioelement inventory of primary and secondary vegetation.** *Ecologia Plantarum*, 11(4):297-320, Apr. 1976.
- Forti, M.C. **Hidroquímica das soluções na interface atmosfera-solo num ecossistema de floresta de terra firme (Amazônia central).** (Tese de Doutorado em Geofísica). Departamento de



- Geofísica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. 151 p.
- Hofer, R.; Njoku, E.G. Regression techniques for oceanographic parameter retrieval using space borne microwave radiometer. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-19(1):178-189, 1981, Apr. 1981.
- Jordan, C.F.; UHL, C. Biomass of "tierra firme" forest in the Amazon Basin. *Ecologia Plantarum*, 13(4):387-400, Apr. 1978.
- Karam, M.A.; Fung, A.K. Electromagnetic scattering from a layer of finite length, randomly oriented, dielectric, circular cylinders over a rough interface with application to vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, 9(6):1109-1134, June 1988.
- Kerr, Y.H.; Njoku, E.G. A semiempirical model for interpreting microwave emission from semiarid land surfaces as seen from space. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-28(3):384-396, July 1990.
- Marques, A.O.F. Temperatura das folhas da vegetação da Reserva Florestal Ducke calculadas a partir de um modelo para o dia juliano 100 de 1985. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1991. Comunicação pessoal.
- Mo, T. et al. A model for microwave emission from vegetation. *Journal of Geophysical Research*, C87(13):11229-11237, Dec. 1982.
- Mougin, E.; Lopes, A.; Toan, T. Microwave propagation at X band in cylindrical shaped forest componentes: Attenuation observation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-28 (1):60-69, Jan. 1990.
- Novo, E.M.L.M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo, Edgard Blücher, 1988. 308 p.
- Tsang, L; Kong, J.A.; Shin, R.T. *Theory of microwave Remote sensing*. New York, NY, John Wiley and Sons, 1985. 611 p.
- Ulaby, F. T.; Moore, R.K.; Fung, A.K. *Microwave remote sensing: Active and passive*. Reading, MA, Addison Wesley, 1982. v.2.