

18 de outubro de 2002

### Técnicas de Estimativa de Precipitação em Microondas Passivo

Nos comprimentos de onda de microondas (~mm até cm), as gotas de nuvem têm uma interação muito pequena com a radiação. Sendo que nesta faixa do espectro eletromagnético, as microondas “penetram” as nuvens.

As gotas com tamanho precipitável (mm) interagem fortemente com a radiação em microondas, o que possibilita sua detecção por radiômetros nestas frequências.

As vantagens da utilização desta frequência é que ele tem baixa resolução espacial (3.5 km até 25 km) e temporal (órbitas polares e equatoriais).

O conceito físico das técnicas em microondas é que as partículas precipitáveis absorvem e espalham energia na faixa de microondas.

Podemos utilizar os cálculos de Spencer et al. (1989) para ilustrar as diferentes propriedades da precipitação observadas em diferentes frequências, sendo que 3 pontos podem ser observados:

- Gel geralmente não absorve radiação em microondas; somente espalha.
- Gotas líquidas absorvem e espalham, mas a absorção domina.
- Espalhamento e absorção aumentam como o aumento da frequência e a taxa de precipitação. Entretanto, o espalhamento por partículas de gelo cresce mais rapidamente com a frequência do que o espalhamento do líquido.

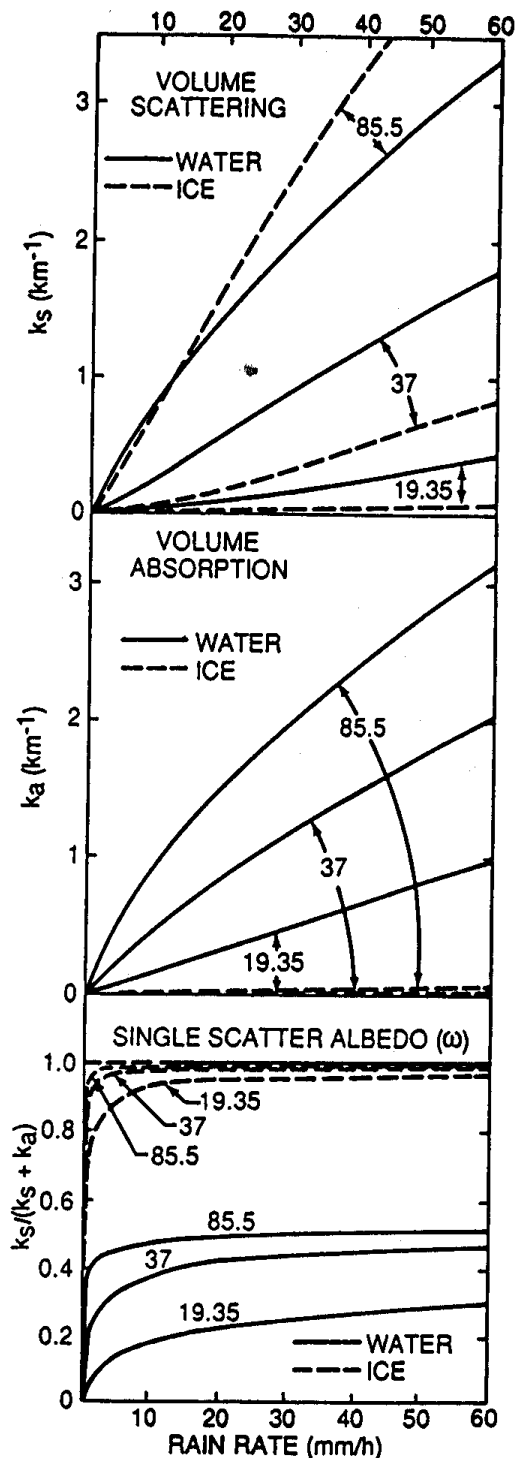


FIGURE 9.15. Mie volume scattering coefficients (top), volume absorption coefficients (middle), and single scattering albedos (bottom) for a Marshall-Palmer precipitation size distribution of water and ice spheres at three frequencies (GHz). (Note that Spencer *et al.* use  $k$  to symbolize volume scattering coefficient, whereas we use  $\sigma$ .) [After Spencer *et al.* (1989).]

Consequentemente estas curvas nos levam a 2 conclusões:

- O espectro em microondas pode ser dividido em 3 partes basicamente:
  - 1–Abaixo de 22GHz, absorção é o mecanismo primário que afeta RTF em microondas; Espalhamento ocorre mas é de segunda ordem.
  - 2–Entre 22 e 60GHz, ambos o espalhamento e absorção são importantes.
  - 3–Acima de 60GHz, o espalhamento domina a absorção.
- Diferentes frequências observam diferentes partes da estrutura vertical da chuva:
  - 1–Abaixo de 22GHz, qualquer gelo acima da chuva é quase transparente; Logo radiômetro em microondas responde diretamente a camada de chuva.
  - 2–Acima de 60GHz, o espalhamento de gelo é o processo dominante; os radiômetros em microondas somente respondem ao gelo e não podem “ver” a chuva abaixo.

Dessa maneira, estimativa de precipitação feita com frequências altas são mais indiretas que as feitas em baixa frequência.

Um outro ponto relevante, o qual não pode ser esquecido, é que as gotas de nuvem, vapor d’água e oxigênio absorvem radiação na faixa de microondas e portanto tem potencial de introduzir erros na estimativa de precipitação baseadas em absorção.

Se um modelo de estrutura vertical de precipitação e condições atmosféricas (perfil vertical de temperatura e umidade relativa) for assumido, podemos utilizar a equação de transferência radiativa e calcular as temperaturas de brilho em microondas sem a função de taxa de precipitação. **.(Sensores bordo do AQUA).**

Estes cálculos dependem das variáveis assumidas na atmosfera (água de nuvem e estrutura vertical da chuva), mas mostram um comportamento geral na presença de chuva, como apresentado na figura 9.16 assumindo um instrumento observando o nadir.

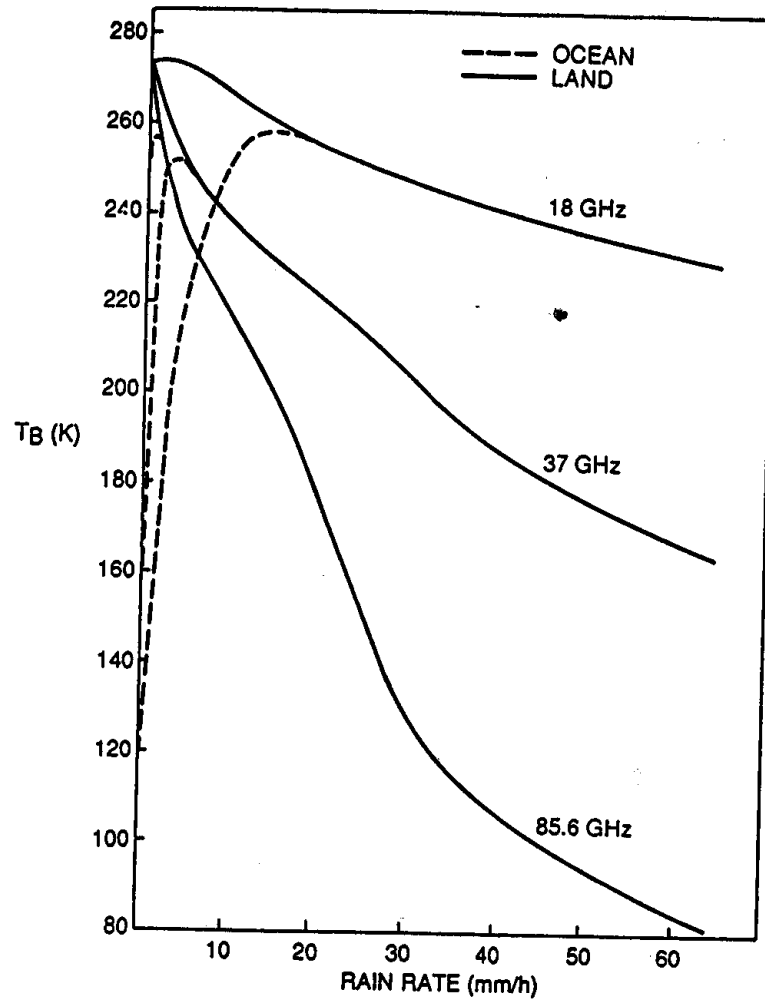


FIGURE 9.16. Brightness temperature versus rain rate for three frequencies. [After Spencer *et al.* (1989).]

Figura 9.16

O comportamento das curvas de  $T_B$  em função da taxa de precipitação podem ser entendidos qualitativamente a partir das equações de transferência radiativa.

Usando a aproximação de Rayleigh-Jeans e assumindo por simplicidade que estamos olhando para baixo no ar.

$$\frac{dT_B}{dz} = \sigma_a (T - T_B) + \sigma_s (\langle T_B' \rangle - T_B) \quad (1)$$

where  $\langle T_B' \rangle$  é a temperatura de brilho média pesada direcionalmente

$$\langle T_B' \rangle = \frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} T_B' p(\psi) d\Omega \quad (2)$$

se ignoramos por agora o modo de espalhamento, a equação (1) se torna:

$$\frac{dT_B}{dz} = \sigma_a (T - T_B) \quad (3)$$

Assumindo que  $T$  é quase que constante na camada de chuva ( $T = T_A$ ) e notando que o coeficiente de absorção volumétrico é quase que zero, exceto na camada de chuva, podemos integrar a equação (3):

$$T_B = T_{BS} \tau + T_A (1 - \tau) \quad (4)$$

onde  $\tau$  é a transmitância da camada de chuva

$T_{BS}$  é a temperatura de brilho da superfície, que é a temperatura de brilho da superfície e temperatura de brilho do céu refletida.

$$T_{BS} \approx \epsilon T_S + (1 - \epsilon) [T_A (1 - \tau) + T_{space} \tau] \quad (5)$$

Combinando (4) e (5) temos

$$T_B \approx \epsilon \tau T_S + (1 - \epsilon) \tau^2 T_{space} + [1 - \epsilon \tau - (1 - \epsilon) \tau^2] T_A \quad (6)$$

Ignorando o termo  $T_{space}$ , temos:

$$T_B \approx \left[ 1 + \epsilon \left( \frac{T_S}{T_A} - 1 \right) \tau - (1 - \epsilon) \tau^2 \right] T_A \quad (7)$$

a transmitância da camada de chuva é dada aproximadamente por:

$$\tau \approx \exp\{-\sigma_a D\} \quad (8)$$

onde  $D$  é a espessura da camada de chuva.

Esta equação é a melhor aplicada para frequências inferiores a 22 GHz, onde o gelo na camada de chuva é quase que transparente.

Examinando a equação (7), temos que para  $\tau = 1$  (sem chuva),  $T_B = \epsilon T_S$ .

Sendo que para  $\tau$  decrescendo (chuva aumentando),  $T_B$  converge para  $T_A$ .

Isso é esperado uma vez que para  $\tau$  se aproximando de zero, a camada de chuva é obscura e a superfície enquanto o visível aumenta.

Sobre superfícies oceânicas (água),  $T_B$  aumenta dramaticamente com a taxa de precipitação, uma vez que a emissividade ( $\epsilon$ ) é pequena (Figura 9.17), logo a superfície de água profunda é FRIA ( $\epsilon T_S \sim 150K$ ).

Áreas de chuva são facilmente detectáveis por causa do contraste com o fundo frio.

Sobre regiões de terra seca (áridas), onde  $\epsilon \sim 0.9$ , as mudanças de  $T_B$  com a taxa de precipitação são pequenas (ou absentes) e não têm muito ou nenhuma estimativa de precipitação.

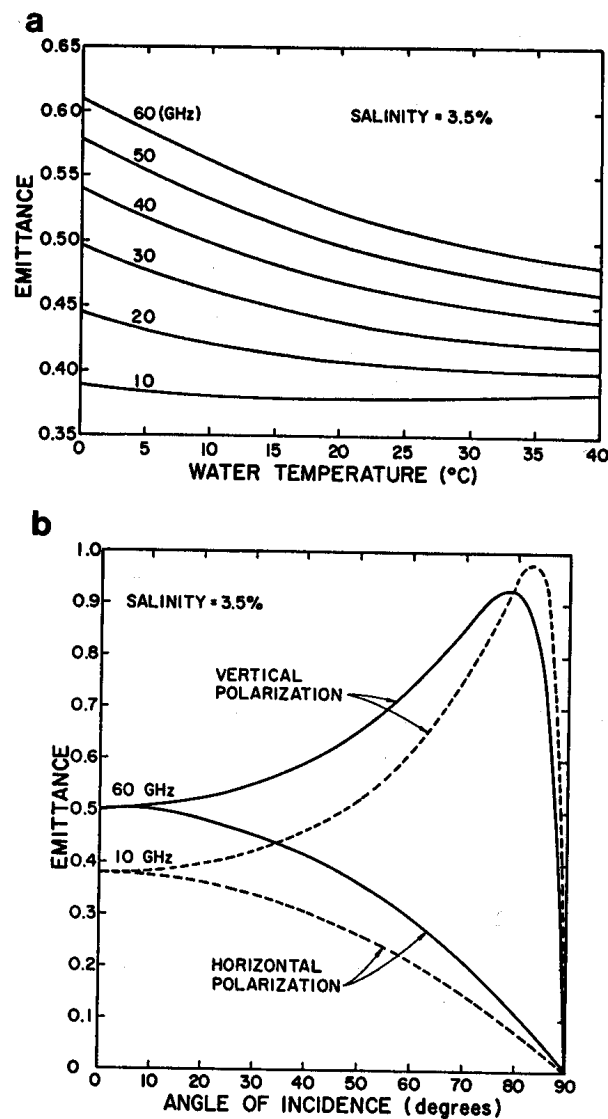


FIGURE 9.17. (a) Nadir emittance of a smooth ocean surface as a function of sea surface temperature. (b) Emittance of a smooth ocean surface as a function of zenith angle. [After Kidder (1979).]

Dois dificuldades existem em se calcular a taxa de precipitação a partir das medidas de temperatura de brilho:

- A taxa de precipitação é relacionada com  $\sigma_a$ , mas as medidas de  $T_b$  são relacionadas com o produto  $\sigma_a D$ , logo para calcular a taxa de precipitação temos que saber a espessura da camada de chuva.
- Gotas de nuvem evaporam a água e contribuem para  $\sigma_a$ .

Como o aumento da taxa de precipitação ou da frequência, o espalhamento torna-se importante. Logo, segundo a equação (1) adicione a um efeito na temperatura de brilho, devido a função de fase.

Se  $\langle T_b' \rangle$  é maior que  $T_B$  do ponto, a radiação por cima é maior; se for menor, a radiação por cima é diminuída. Uma vez que a temperatura do espaço é muito baixa ( $T_{space} = 2.7K$ ), o espalhamento tende a diminuir a temperatura de brilho observada.

Este efeito explica por que sobre a Terra ou Oceano a temperatura decresce como os hidrometeoros de gelo são particularmente bons diminuidores de temperatura porque emitem muito pouco.

Em altas frequências, as nuvens são mais sensíveis ao gelo, a temperatura de brilho decresce mais rapidamente com o aumento da taxa de precipitação do que para frequências baixas.

Dessa maneira podemos separar as técnicas de estimativa de precipitação em microondas nas técnicas que se baseiam em absorção e em espalhamento. Posteriormente as duas técnicas são combinadas para um melhor complemento.

### 1. Métodos de Absorção :

Rodgers et al. (1979): A statistical technique for determining rain fall over land employing Nimbus 6 ESMR measurements. *J. Appl. Meteor.*, 18, 978-991.

Weilheit et al. (1977): A satellite technique for quantitatively mapping rain fall rates over the oceans. *J. Appl. Meteor.*, 16, 551-560.

Weinman, J.A. and P.J. Guetter (1977): Determination of rain fall distributions from microwave radiation measured by the NUMUS 6 ESMR. *J. Appl. Meteor.*, 16, 437-442.

As primeiras tentativas de se estimar precipitação via microondas foram feitas a partir do lançamento do satélite "Electrically Scanning Microwave Radiometer on the Nimbus 5 satellite (ESMR-5)" em Dezembro de 1972.

Weilheit et al. (1977) utilizou os dados do ESMR-5 oceano a partir de cálculos com um modelo de transferência radiativa, para estimar precipitação sobre

para estimar precipitação sobre oceano a partir de cálculos com um modelo de transferência radiativa, para uma frequência de 19.35 GHz.

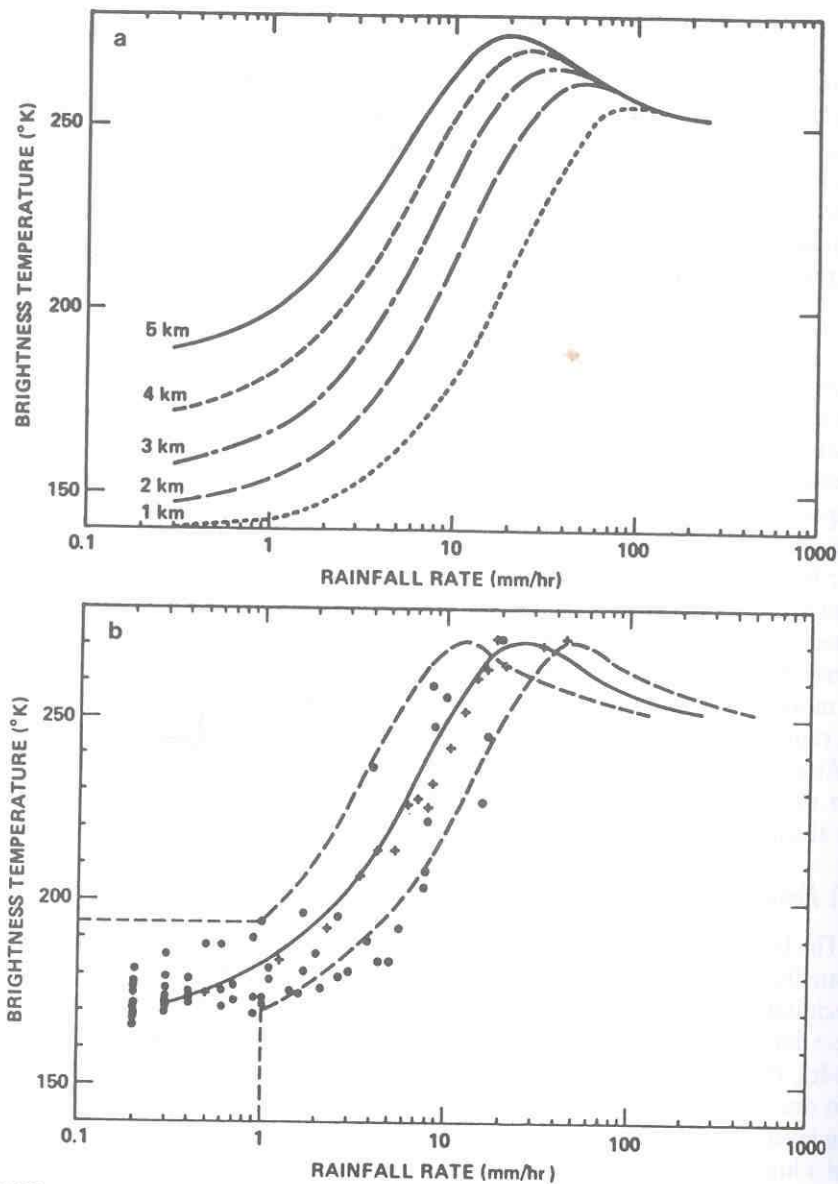


FIGURE 9.18. (a) Calculated 19.35-GHz brightness temperature as a function of rain rate for freezing levels of 1–5 km. (b) Brightness temperature as a function of rain rate: Nimbus 5 ESMR vs. WSR-57 radar (dots) and inferred from ground-based measurements of brightness temperature and direct measurements of rain rate (crosses). The solid line is the calculated brightness temperature for a 4-km freezing level. The dashed lines represent departure of 1 mm h<sup>-1</sup> or a factor of 2 in rain rate (whichever is greater) from the calculated curve. [After Wilheit *et al.* (1977).]

Nesta técnica de absorção, a espessura da camada de umidade da chuva mais espessa terá uma espessura maior e uma temperatura de brilho (sobre o oceano) N

chuvata que será considerada. A camada mais espessa e consequentemente este método, eles assumiram que a



espessura da camada de chuva é delimitada entre as superfícies isotérmicas de 0 °C. (Figura 9.18a)

Comparações com medidas de um radar meteorológico e de Miami (EUA), Figura 9.18b, mostraram que as estimativas estavam a uma ordem de 2 das do radar. O problema de técnica é a existência de uma saturação para taxas de precipitação grandes.

Com o lançamento do satélite Nimbus 6 (ESMR-6), (Lançado em 12 de junho de 1975) várias mudanças ocorreram: <http://www.earth.nasa.gov/history/nimbus/nimbus6.html>  
Varredura Canônica → mesmo footprint e ângulo de visada são sempre o mesmo.  
Obs: A maioria dos satélites hoje em dia utilizam o mesmo método (DMSP-SSM, TRMM, AQUA, TERRA).

Adicionaram a polarização horizontal e vertical e adicionaram um canal de 37 GHz (uma vez que eles queriam determinar a precipitação sobre o continente). As precipitações são mais sensíveis em altas frequências, e a polarização é utilizada para identificar a umidade (Weimann e Guetter, 1977)

Rodgers et al. (1979) comparando dados de radar com o ESMR-6 sobre os EUA, encontraram que a polarização poderia ser utilizada para discriminar a precipitação sobre solos secos e úmidos.

Estados de discriminação baseia que:

Solos secos são mais quentes que a precipitação;

Solos úmidos são mais polarizados (vertical > horizontal) que a precipitação.

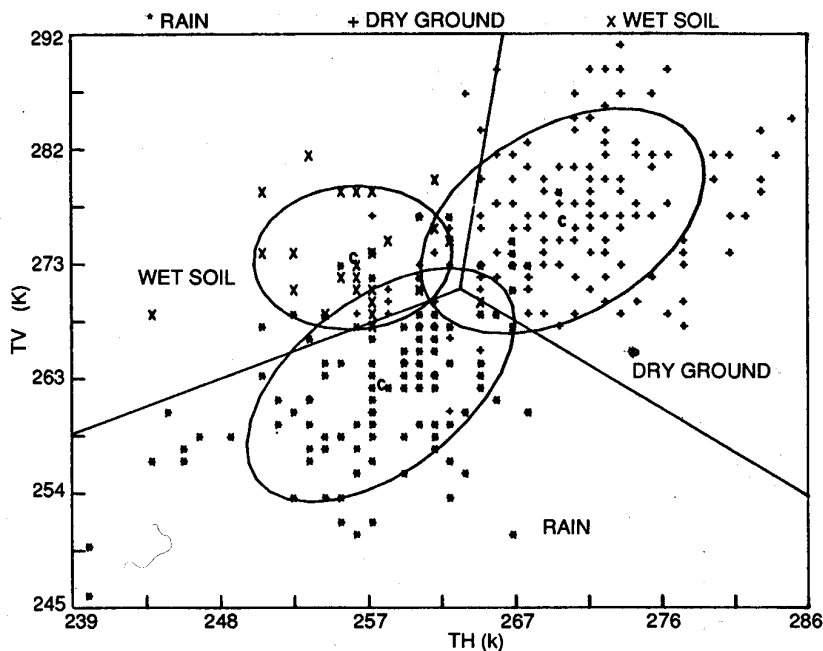


FIGURE 9.20. Vertically polarized versus horizontally polarized ESMR-6 brightness temperatures over the southeastern United States. [After Rodgers *et al.* (1979).]

$$T_B^H \approx T_A \left[ 1 + \varepsilon^H \left( \frac{T_S}{T_A} - 1 \right) \tau - (1 - \varepsilon^H) \tau^2 \right]$$

$$T_B^V \approx T_A \left[ 1 + \varepsilon^V \left( \frac{T_S}{T_A} - 1 \right) \tau - (1 - \varepsilon^V) \tau^2 \right]$$