



# Journal Club do Laboratório de Física Atmosférica (LFA)

**André Cezar Pugliesi da Silva**

**Departamento de Física Aplicada  
Instituto de Física da Universidade de  
São Paulo (IFUSP)**

**[andre.cezar.silva@usp.br](mailto:andre.cezar.silva@usp.br)**

**Junho de 2018**

# Artigo apresentado (Journal of Applied Meteorology)

## Effect of Amazon Smoke on Cloud Microphysics and Albedo—Analysis from Satellite Imagery

YORAM J. KAUFMAN

*NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland*

TERUYUKI NAKAJIMA

*Center for Climate System Research, University of Tokyo, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan*

(Manuscript received 6 January 1992, in final form 6 July 1992)

### ABSTRACT

NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer images taken over the Brazilian Amazon Basin during the biomass burning season of 1987 are used to study the effect of smoke aerosol particles on the properties of low cumulus and stratocumulus clouds. The reflectance at a wavelength of  $0.64 \mu\text{m}$  and the drop size, derived from the cloud reflectance at  $3.75 \mu\text{m}$ , are studied for tens of thousands of clouds. The opacity of the smoke layer adjacent to each cloud is also monitored simultaneously. Though from satellite data it is impossible to derive all the parameters that influence cloud properties and smoke–cloud interaction (e.g., detailed aerosol particles size distribution and chemistry, liquid water content, etc.); satellite data can be used to generate large-scale statistics of the properties of clouds and surrounding aerosol (e.g., smoke optical thickness, cloud-drop size, and cloud reflection of solar radiation) from which the interaction of aerosol with clouds can be surmised. In order to minimize the effect of variations in the precipitable water vapor and in other smoke and cloud properties, biomass burning in the tropics is chosen as the study topic, and the results are averaged for numerous clouds with the same ambient smoke optical thickness.

It is shown in this study that the presence of dense smoke (an increase in the optical thickness from 0.1 to 2.0) can reduce the remotely sensed drop size of continental cloud drops from 15 to  $9 \mu\text{m}$ . Due to both the high initial reflectance of clouds in the visible part of the spectrum and the presence of graphitic carbon, the average cloud reflectance at  $0.64 \mu\text{m}$  is reduced from 0.71 to 0.68 for an increase in smoke optical thickness from 0.1 to 2.0. The measurements are compared to results from other years, and it is found that, as predicted, high concentration of aerosol particles causes a decrease in the cloud-drop size and that smoke darkens the bright Amazonian clouds. Comparison with theoretical computations based on Twomey's model show that by using the measured reduction in the cloud-drop size due to the presence of smoke it is possible to explain the reduction in the cloud reflectance at  $0.64 \mu\text{m}$  for smoke imagery index of  $-0.02$  to  $-0.03$ .

Smoke particles are hygroscopic and have a similar size distribution to maritime and anthropogenic sulfuric aerosol particles. Therefore, these results may also be representative of the interaction of sulfuric particles with clouds.

# Sumário

---

- 1) Introdução
- 2) Nuvens e fumaça sobre a Bacia Amazônica
- 3) Sensoriamento remoto da interação entre aerossóis e nuvens (Procedimento Exp.)
- 4) Resultados:
  - 4.a) Características da cobertura ("field") de nuvens;
  - 4.b) Limite inferior para a temperatura do topo das nuvens;
  - 4.c) Efeitos da fumaça de queimadas em nuvens para a época de queimadas de 1987;
  - 4.d) Outros fatores que podem afetar propriedades de nuvens;
  - 4.e) Comparação com temporadas de queimadas de outros anos.
- 5) Conclusões

# Introdução

---

- Cita alguns papers (e.g. Albrecht 1989; Radke et al. 1989) que indicam a **influência que concentrações crescentes de CCN** de fumaça ( $N_c$ ) exercem sobre a concentração de gotas de nuvem ( $N_d$ ), a formação de precipitação, o albedo e o ciclo de vida das nuvens;
- Explica os efeitos de **resfriamento direto** (espalhamento traseiro da radiação solar) **e indireto** (maior  $N_c$  -> mais gotas de nuvens, gotas menores -> maior albedo) que aerossóis que contém enxofre podem exercer sobre o sistema climático;

# Introdução

- Visando **reduzir incertezas** no estudo da relação entre aerossóis e nuvens, **há 2 abordagens**:
  - i) Instrumentos a bordo de **aviões** buscando relacionar SO<sub>2</sub> com a formação de CCN e gotas de nuvem;
  - ii) **Análises estatísticas** podem ser feitas utilizando propriedades de várias nuvens individuais e os aerossóis que as circundam.
- Utiliza-se a **segunda abordagem através do sensoriamento remoto por satélite**;
- Dados analisados para 4 períodos secos na Amazônia (**1981, 1984, 1987 e 1989**);
- Uso de médias e a escolha da época seca buscam minimizar outros efeitos que não a variação de N<sub>c</sub> (quantidade disponível de vapor d'água e intensidade dos processos de convecção, por exemplo).

# Nuvens e fumaça sobre a Bacia Amazônica

---

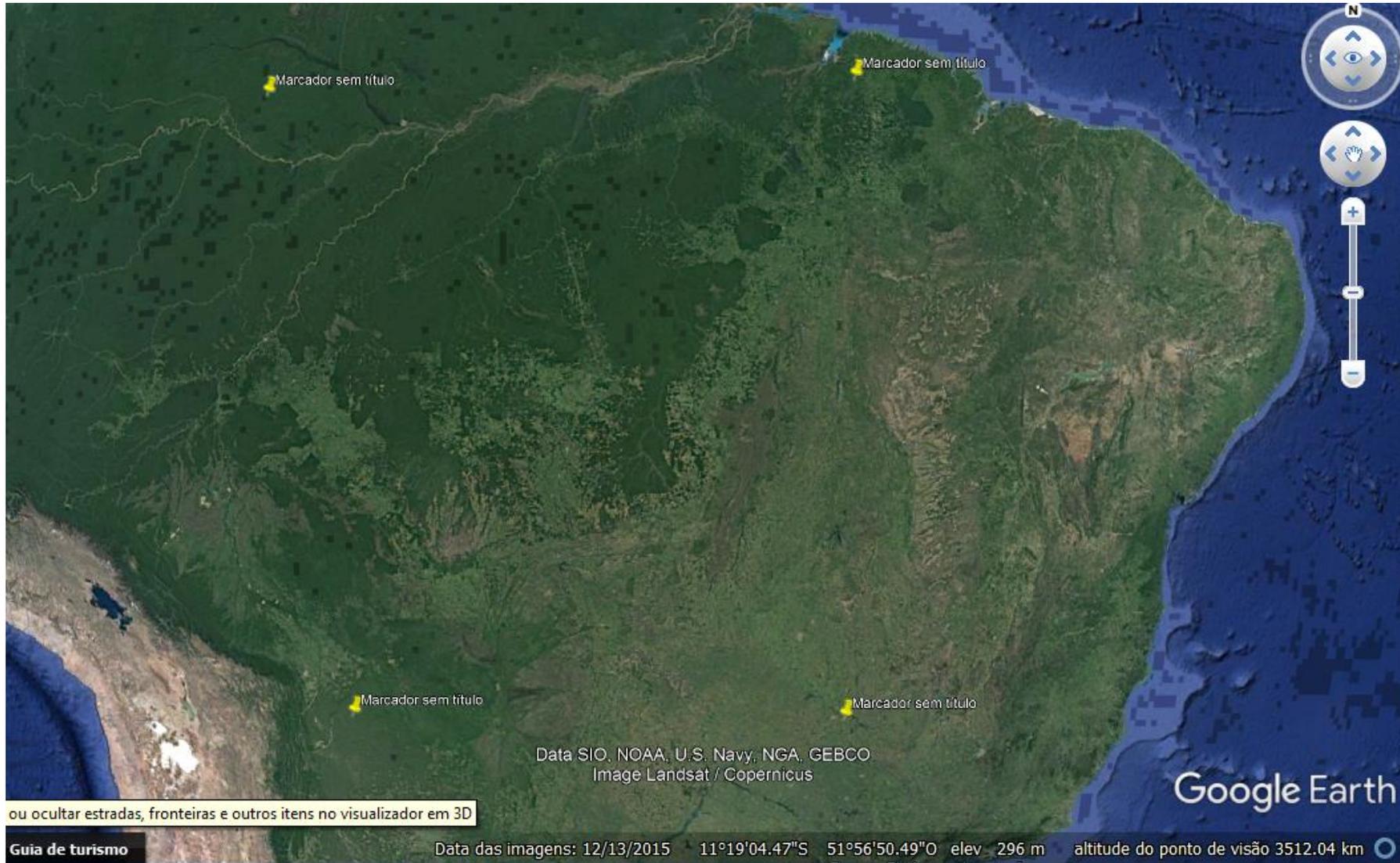
- É difícil isolar o efeito devido a aerossóis de outras variáveis meteorológicas;
- Na estação seca, contudo, propriedades ópticas de nuvens são pouco dependentes daquelas variáveis;
- A Bacia Amazônica possui cobertura de superfície escura e uniforme (floresta), o que faz com que as baixas refletâncias na região do visível ( $\rho_{VIS}$ ) e do infravermelho  $\rho_{NIR}$  tornem a determinação da espessura óptica do aerossol (AOT), do albedo de espalhamento simples e de algumas outras propriedades de nuvens seja mais fácil e acurada.

# Sensoriamento remoto da interação entre aerossóis e nuvens

---

- Propriedades de aerossóis que circundam as nuvens: Experimentos de campo realizados com aviões em 1989.
- **Imagens** obtidas em 1987 no **período da tarde** e com **1 km de resolução**: Radiômetro de alta resolução da NOAA (**AVHRR**).
- 3 canais:  $0,64 \mu\text{m}$  (**VIS**),  $3,75 \mu\text{m}$  (**NIR**) e  $11 \mu\text{m}$  (IR -> **Temperatura de brilho**).
- Área observada:  $48^{\circ}\text{O}$ ,  $64^{\circ}\text{O}$ ,  $2^{\circ}\text{S}$ ,  $19^{\circ}\text{S}$  -> **3 milhões de  $\text{km}^2$** .

# Sensoriamento remoto da interação entre aerossóis e nuvens



# Sensoriamento remoto da interação entre aerossóis e nuvens

Propriedades de nuvens estudadas a partir das medidas do AVHRR:

- 1) Refletância ( $\rho$ ) e profundidade óptica de nuvens (COT ou  $\tau$ ) -> somente em pixels TOTALMENTE preenchidos por nuvens;
- 2) Tamanho de gotas de nuvens ( $r$ ), derivado a partir da refletância média em  $3,75 \mu\text{m}$  ( $\rho_{\text{NIR}}$ );
- 3) Tamanho de nuvens e n° de pixels na sua borda;
- 4) Temperatura de topo das nuvens, obtida pelo canal em  $11 \mu\text{m}$  (T).

OBS: Somente nuvens bem desenvolvidas ( $\rho_{\text{vis}} > 40\%$  e COT  $> 10$ ) são analisadas.

# Sensoriamento remoto da interação entre aerossóis e nuvens

Nakajima & King (1990) mostram que  $COT$  e  $r$  podem ser derivados diretamente de  $\rho_{NIR}$  e  $\rho_{VIS}$  desde que estas refletâncias sejam ortogonais (Figura 1, obtida para  $SZA=60^\circ$ ,  $\varphi=30^\circ$  e  $150^\circ$ , VZA médio igual a  $10^\circ$ ):

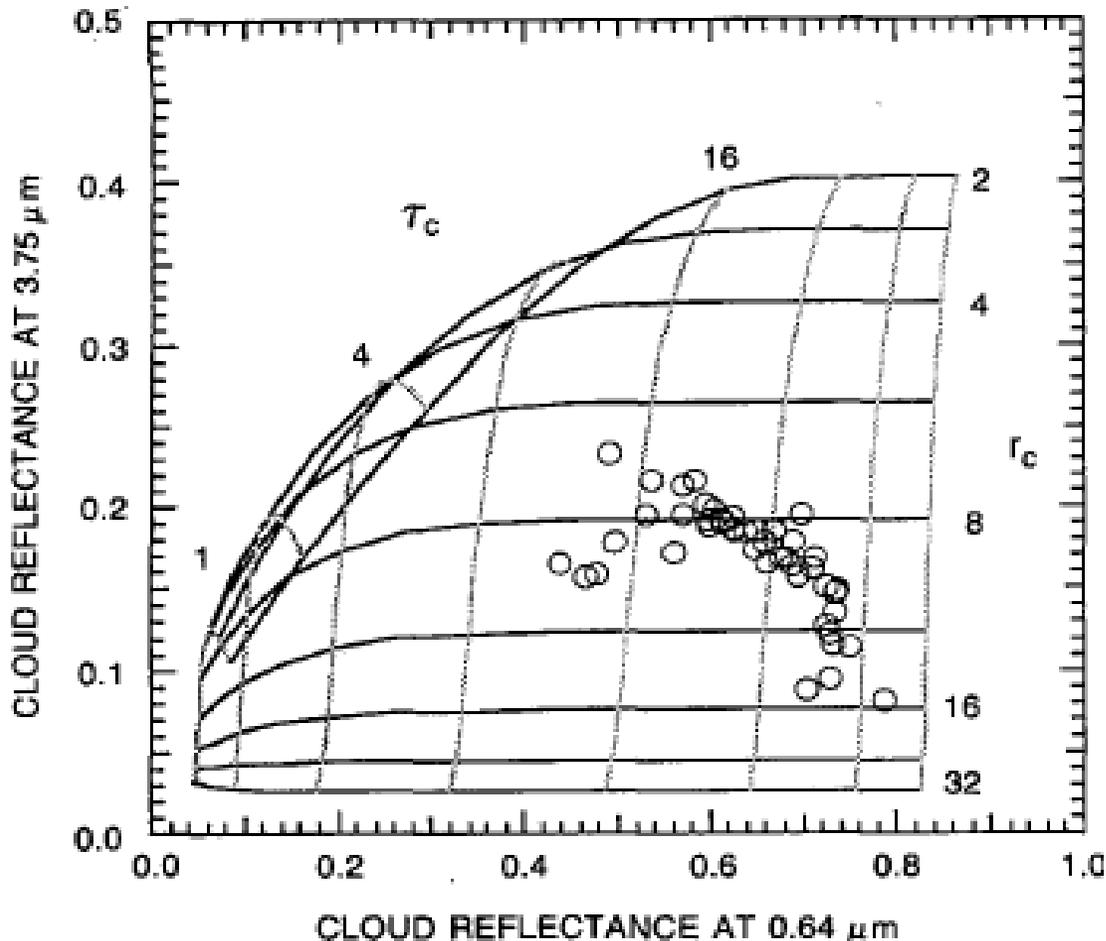
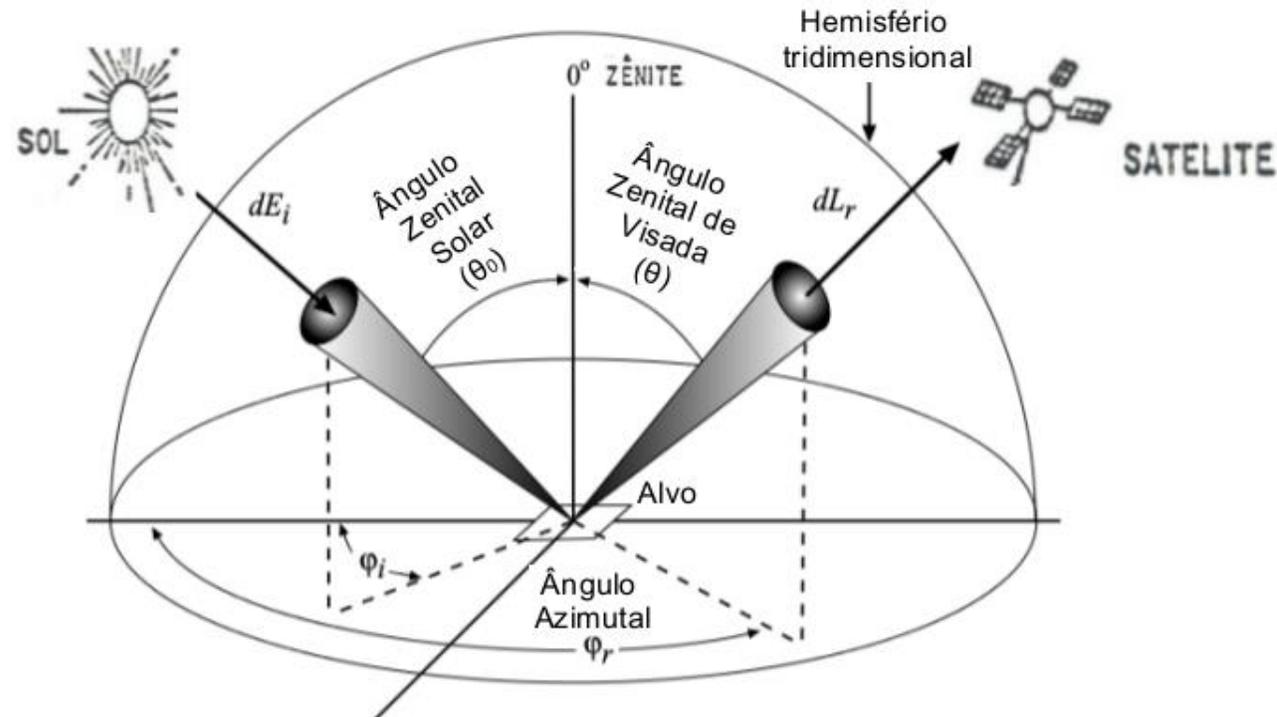


FIG. 1. Contour lines of equal cloud optical thickness ( $\tau_c$ —gray lines) and equal average drop radius ( $r_c$ —black lines) in coordinates of the cloud reflectance in the 0.64- $\mu\text{m}$  channel and the 3.75- $\mu\text{m}$  channel. Except for small drop size or small cloud optical thickness, the lines are almost orthogonal, indicating that the optical thickness and the drop size can be detected from these two AVHRR channels. The AVHRR data for clouds in Brazil, averaged for equal steps of the cloud-free radiance (indicating the smoke optical thickness) are also plotted ( $\circ$ ). The theoretical data and the measurements are averaged for the two azimuths ( $30^\circ$  and  $150^\circ$ ) for  $\theta_0 = 60^\circ$  and average view direction of  $10^\circ$ .

# Sensoriamento remoto da interação entre aerossóis e nuvens

Nakajima & King (1990) mostram que COT e  $r$  podem ser derivados diretamente de  $\rho_{\text{NIR}}$  e  $\rho_{\text{VIS}}$  desde que estas refletâncias sejam ortogonais (Figura 1, obtida para  $\text{SZA}=60^\circ$ ,  $\varphi=30^\circ$  e  $150^\circ$ , VZA médio igual a  $10^\circ$ ):



Esboço da geometria envolvendo os ângulos  $\theta_0$  (SZA),  $\theta$  (VZA) e  $\varphi$ . Adaptado de Jensen, 2014.

# Procedimento para obter propriedades de nuvens

- 1) Os pixels de nuvens são identificados;
- 2) Estes pixels são agrupados, delimitando assim cada nuvem;
- 3) Para cada nuvem:
  - 3.1) Calcula-se médias de  $\rho$  e  $T$ . Para o cálculo de refletância no canal 2, assume-se que a nuvem é um corpo negro (em  $11 \mu\text{m}$ ) e que a radiação transmitida no interior da nuvem é nula em  $3.75 \mu\text{m}$  ( $\rho$ / nuvens com  $\text{COT} \geq 10$ ).

$$\rho_{0,64} = \frac{\pi L_{0,64}}{F_0 \mu_0} \quad \rho_{3,75} = \frac{L_{3,75} - t'_{3,75} B_{3,75}(T)}{\left(t_{3,75}^0 F_0 \mu_0 / \pi\right) - [t'_{3,75} B_{3,75}(T)]} \quad T = \frac{L_{11}}{B_{11} t'_{11}}$$

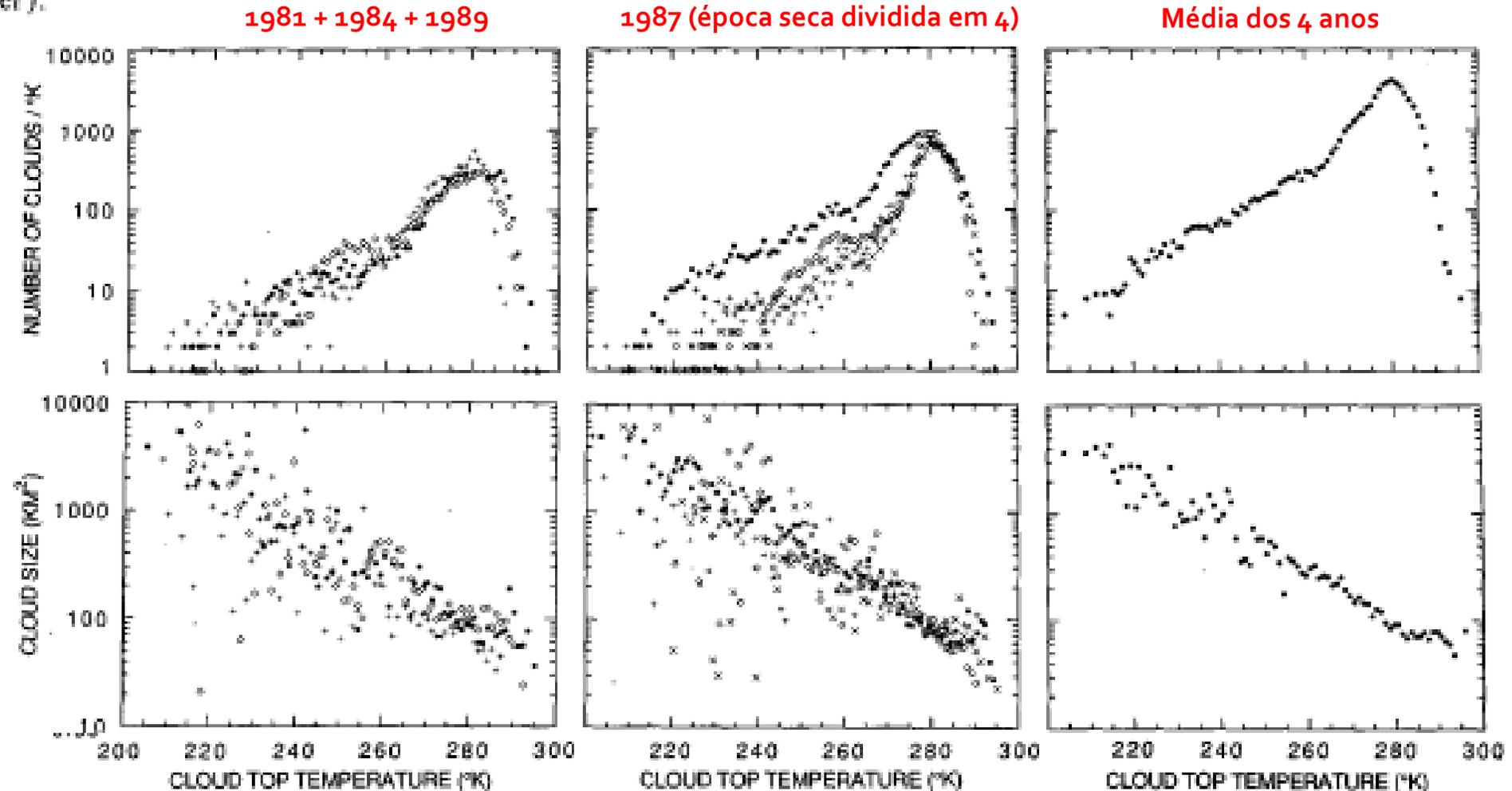
OBS:  $t$ 's dependem da quantidade total de vapor d'água acima da nuvem.

# Procedimento para obter propriedades de nuvens

- 3) Para cada nuvem (Continuação):
  - 3.2) O **pixel mais brilhante é identificado** e a refletância e a temperatura  $T$  é calculada. A rugosidade (subtração de  $T$  do pixel mais brilhante com a  $T$  média da nuvem) também é calculada;
  - 3.3) Calcula-se a **área e o número de pixels na borda** da nuvem;
  - 3.4) A partir da  $\rho_{VIS}$  **é invertido o valor de AOT** através de um modelo de aerossol de fumaça (como?). Este valor é usado como **medida de  $N_c$** .
  - 3.5) A partir de  $\rho_{NIR}$  **é invertido** o tamanho das gotas da nuvem ( $r$ ). Para tanto, **assume-se** que há uma **camada de 0,7 cm de vapor d'água acima** do topo **da nuvem** e que a porcentagem de **reflexão** da luz do Sol acima da nuvem é igual a **75%**.

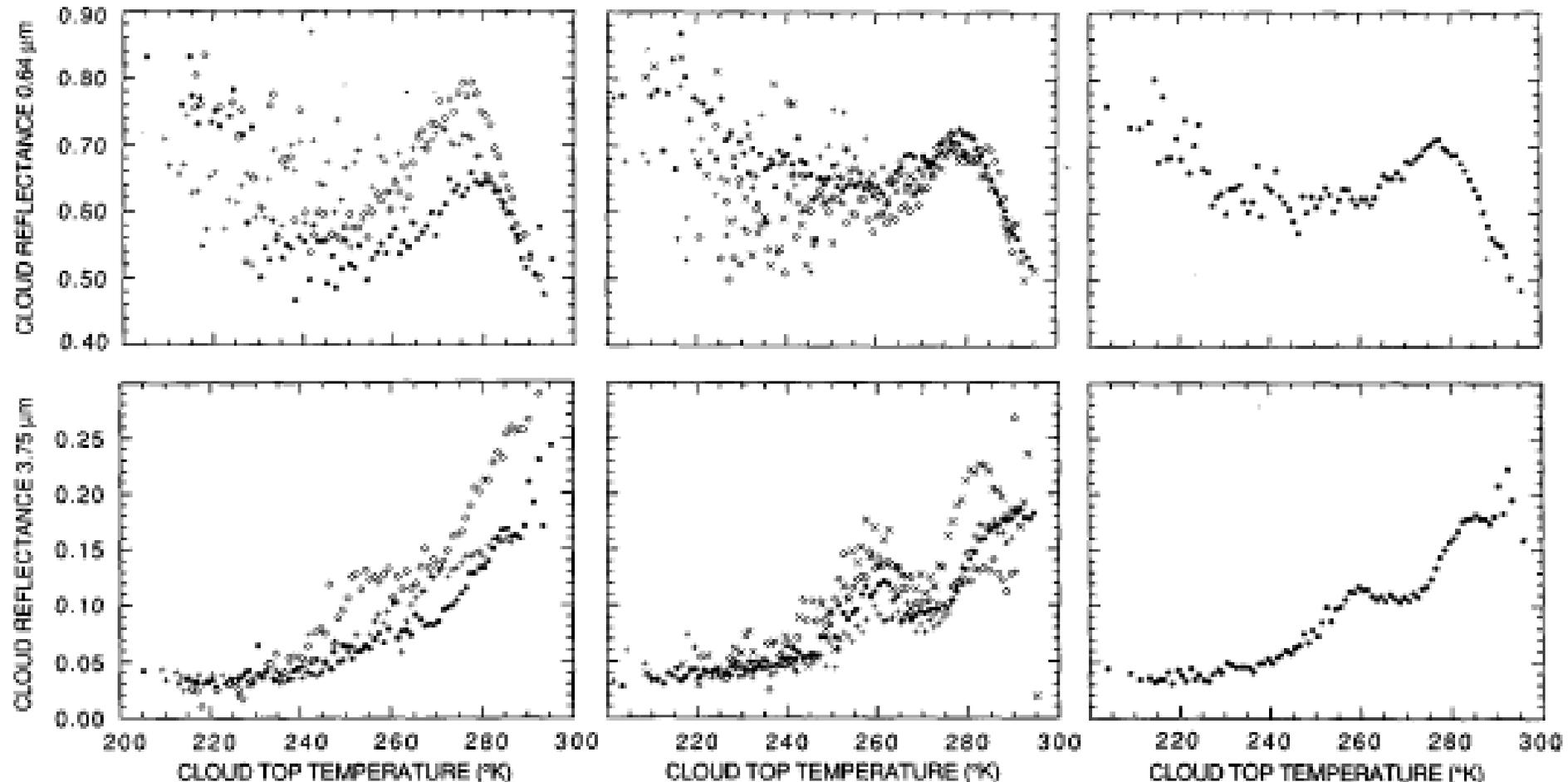
# Resultados (Cobertura de nuvens)

FIG. 2. Statistics of cloud properties as a function of cloud-top temperature. Left column: September–October 1981—(+); August–September 1984—( $\diamond$ ); and September 1989—( $\circ$ ). Middle column: 1987. Right column: average of all the datasets (except for the cloud number that is the sum of all the clouds per kelvin that are used in the analysis). The data for 1987 were divided into four subsets corresponding to different periods of the dry season. Main dataset A (+)—nine images from the whole dry season (7 July–18 September); control set B ( $\diamond$ )—four images from the beginning of the dry season before major burning takes place (30 June–6 July); set C ( $\circ$ )—seven images from the beginning of the burning period (15 July–30 July); and set D ( $\times$ )—six images for the end of the burning period (7 August–2 September).



# Resultados (Cobertura de nuvens)

FIG. 2. Statistics of cloud properties as a function of cloud-top temperature. Left column: September–October 1981—(+); August–September 1984—( $\diamond$ ); and September 1989—( $\circ$ ). Middle column: 1987. Right column: average of all the datasets (except for the cloud number that is the sum of all the clouds per kelvin that are used in the analysis). The data for 1987 were divided into four subsets corresponding to different periods of the dry season. Main dataset A (+)—nine images from the whole dry season (7 July–18 September); control set B ( $\diamond$ )—four images from the beginning of the dry season before major burning takes place (30 June–6 July); set C ( $\circ$ )—seven images from the beginning of the burning period (15 July–30 July); and set D ( $\times$ )—six images for the end of the burning period (7 August–2 September).



# Resultados (Cobertura de nuvens)

A Figura 2 mostra que:

- Há **repetibilidade** de comportamentos **de ano para ano** (de época seca para época seca);
- A **quantidade de nuvens** é maior para  $T = 280 \text{ K}$  ( $6,85^\circ\text{C}$ ) e **cai exponencialmente conforme T diminui** (se repete de ano para ano e dentre as 4 “subestações” de 1987);
- O **tamanho** das nuvens **aumenta exponencialmente conforme T cai**;
- $\rho_{\text{VIS}}$  não apresenta diferenças entre as 4 subestações de 1987, embora  $N_c$  aumente.  $\rho_{\text{VIS}}$  para 1984 é mais alta que para outros anos;
- $\rho_{\text{NIR}}$  é diferente para cada “subestação” de 1987. **Para o último período** (quando a quantidade de queimadas é máxima) a  **$\rho_{\text{NIR}}$  é máxima, indicando tamanhos de gotas mínimos**;

# Resultados (Cobertura de nuvens)

---

A Figura 2 mostra que:

- $\rho_{\text{NIR}}$  para 1984 é maior que para os outros anos, indicando que as gotas foram menores naquele ano;
- A correlação entre  $\rho_{\text{VIS}}$  e  $\rho_{\text{NIR}}$  para 1984 sugere que houve uma forte influência dos aerossóis de fumaça sobre as nuvens no período seco de 1984.

# Resultados (Limite inferior para T)

---

A determinação do limite inferior para T é feita através dos resultados mostrados na **Figura 3** e compilados na **Tabela 1**. Nesta Figura, nas qual as nuvens de ambiente “limpo” ( $COT < 40\%$ ) estão separadas das nuvens de ambiente poluído ( $COT \geq 40\%$ ), são plotadas a **médias diárias das refletâncias** no visível (3B) e no infravermelho próximo (3A). **Cada tipo de marcador corresponde às médias para um intervalo de  $5^\circ$**  de temperatura e somente foram utilizadas imagens de 1987 para  **$VZA \leq 20^\circ$**  para média diárias.

# Resultados (Limite inferior para T)

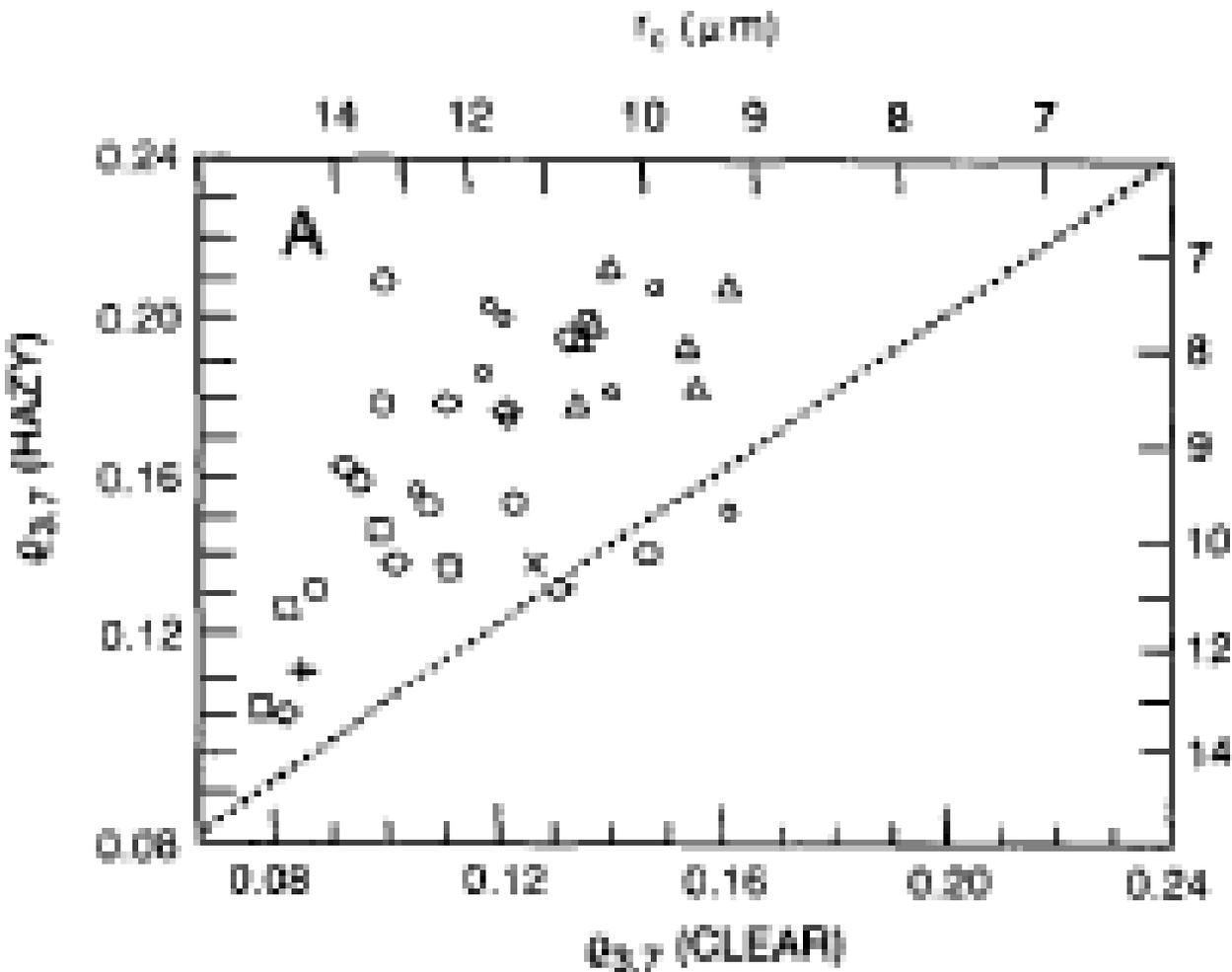


FIG. 3. Scatter diagrams between cloud reflectance in the "high smoke concentration" and the "low smoke concentration" days for the 3.75- $\mu\text{m}$  (top figure) and the 0.64- $\mu\text{m}$  (bottom figure) channels. Clouds for "high" smoke concentration were defined for smoke optical thickness larger than 0.4, and clouds for "low" smoke concentration were defined for optical thickness less than 0.4. The data are for 1987 set A for  $\theta \leq 20^\circ$ . Each point represents an average, for a given day, of the cloud reflectance for all clouds that have cloud-top temperature in a  $5^\circ$  range as indicated in each figure. A value was plotted only if at least 50 clouds were used in the averaging.

$\theta \leq 20^\circ$	
CLOUD TEMPERATURE	
T °K	
x	255-260
+	260-265
○	265-270
⊙	270-275
◊	275-280
◌	280-285
△	285-290

# Resultados (Limite inferior para T)

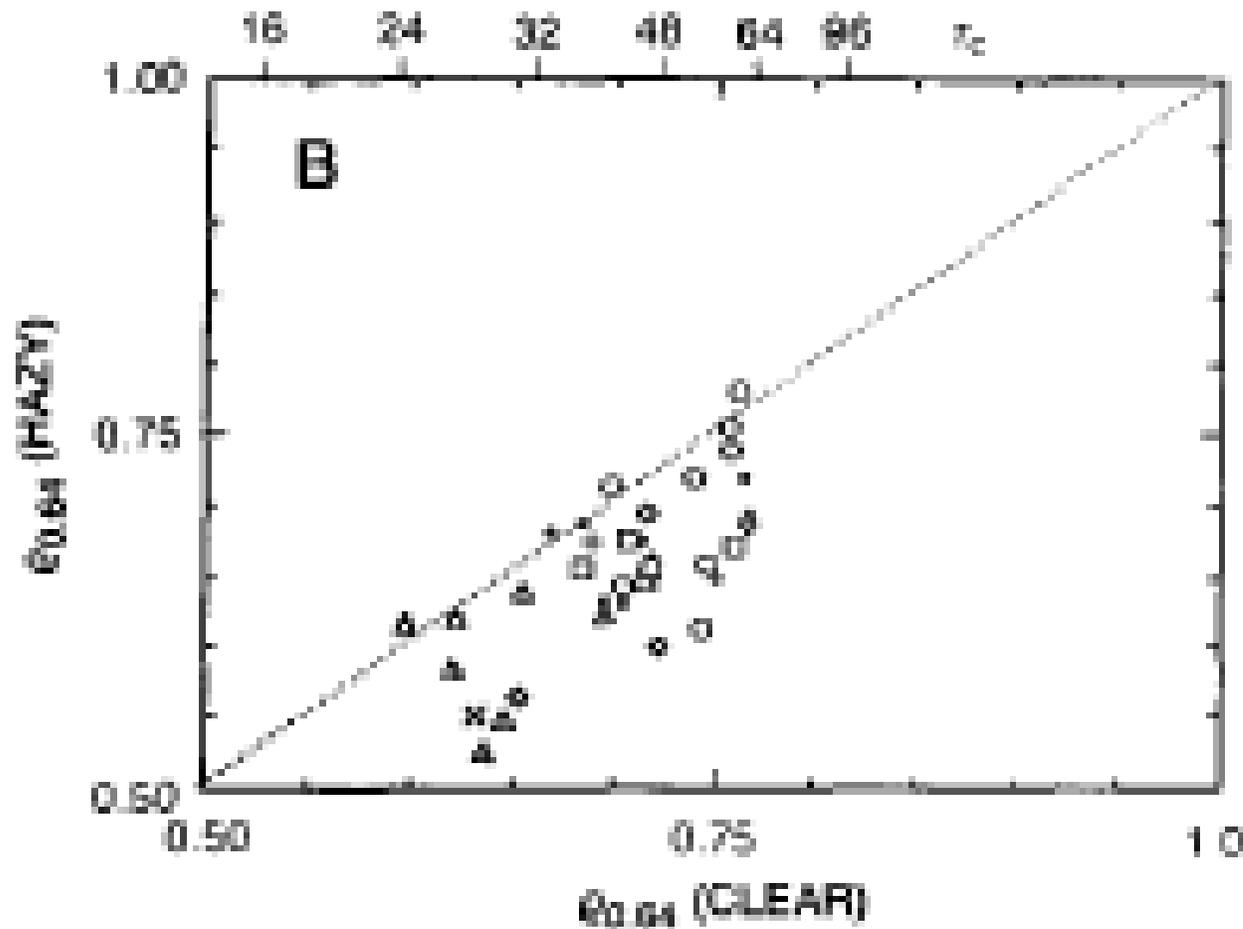


FIG. 3. Scatter diagrams between cloud reflectance in the "high smoke concentration" and the "low smoke concentration" days for the 3.75- $\mu\text{m}$  (top figure) and the 0.64- $\mu\text{m}$  (bottom figure) channels. Clouds for "high" smoke concentration were defined for smoke optical thickness larger than 0.4, and clouds for "low" smoke concentration were defined for optical thickness less than 0.4. The data are for 1987 set A for  $\theta \leq 20^\circ$ . Each point represents an average, for a given day, of the cloud reflectance for all clouds that have cloud-top temperature in a  $5^\circ$  range as indicated in each figure. A value was plotted only if at least 50 clouds were used in the averaging.

$\theta \leq 20^\circ$   
CLOUD  
TEMPERATURE  
T °K

- × 255-260
- + 260-265
- ⊙ 265-270
- ⊖ 270-275
- 275-280
- 280-285
- △ 285-290

# Resultados (Limite inferior para T)

TABLE 1. The effect of smoke on the cloud-drop size. Average results are given for “low smoke concentration” (smoke optical thickness,  $\tau_a < 0.4$ ) and for “high smoke concentration” ( $\tau_a \geq 0.4$ ). The percentage decrease from the “low” to the “high” smoke concentration is also shown. The standard deviations are between the average results for nine images, each one containing at least 50 clouds that belong to a given category.

Temperature (K)	<b>(Limpo)</b> Cloud-drop radius ( $\mu\text{m}$ ) $\tau_a < 0.4$		<b>(Poluído)</b> $\tau_a \geq 0.4$		Percentage decrease
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	
255–260	12.2		11.5		6
260–265	16.0		13.5		15
265–270	15.2	1.7	12.3	1.5	19
270–275	13.8	1.6	11.2	1.9	19
275–280	13.2	1.7	10.0	1.3	24
280–285	12.1	1.2	9.2	0.6	24
285–290	11.0	0.6	8.9	0.4	20

# Resultados (Limite inferior para T)

---

A partir dos valores da Tabela 1 e dos gráficos da Figura 3 temos:

- O aumento na  $N_c$  causa aumento na  $\rho_{\text{NIR}}$  (r médio cai) e diminui  $\rho_{\text{VIS}}$ . Isso acontece de maneira mais acentuada para T entre 275 e 285 K.
- Sendo assim, só nuvens com topos maiores que 270 K ( $T > -3,15^\circ\text{C}$ ) são estudadas (para uma superfície a  $\sim 27^\circ\text{C}$ , corresponde a nuvens com topo a  $\sim 6$  km de altura).

# Resultados (Limite inferior para T)

Forte atividade convectiva em nuvens tropicais pode “bombear” aerossóis de fumaça de queimadas para altitudes maiores que 4 km (Figura 4).



FIG. 4. Photographs of the smoke interaction with clouds during the biomass burning season in the Amazon Basin. The lower photograph show the source of the smoke on the ground, transport through the condensation level, and the formation of a cloud. The upper picture shows the effect of a strong cumulus cloud in transferring the smoke to higher altitudes when the cloud top stratifies. Note that there is a part of blue sky between the lower and upper smoke layers.

# Resultados (Limite inferior para T)

Forte atividade convectiva em nuvens tropicais pode “bombear” aerossóis de fumaça de queimadas para altitudes maiores que 4 km (Figura 4).



# Resultados (Efeitos da fumaça observados na época seca de 1987)

- Estudo de nuvens (valores médios) com  $T > 270$  K na época seca de 1987;
- Assume que a  $N_c$  nos arredores das nuvens é representativa da concentração de aerossóis de fumaça abaixo e na base das nuvens;
- **Figura 5 ( $n^\circ$  de nuvens  $\times \rho^*$ )** mostra que na época em que há queimadas a maior presença de fumaça aumentou a largura de distribuição de  $\rho^*$ ;
- **Figura 6a ( $\rho_{\text{NIR}} \times \rho^*$ )** mostra que o aumento nos valores de  $\rho_{\text{NIR}}$  como função de AOT indica a **redução de  $r$  induzida pela presença de aerossol de fumaça**;

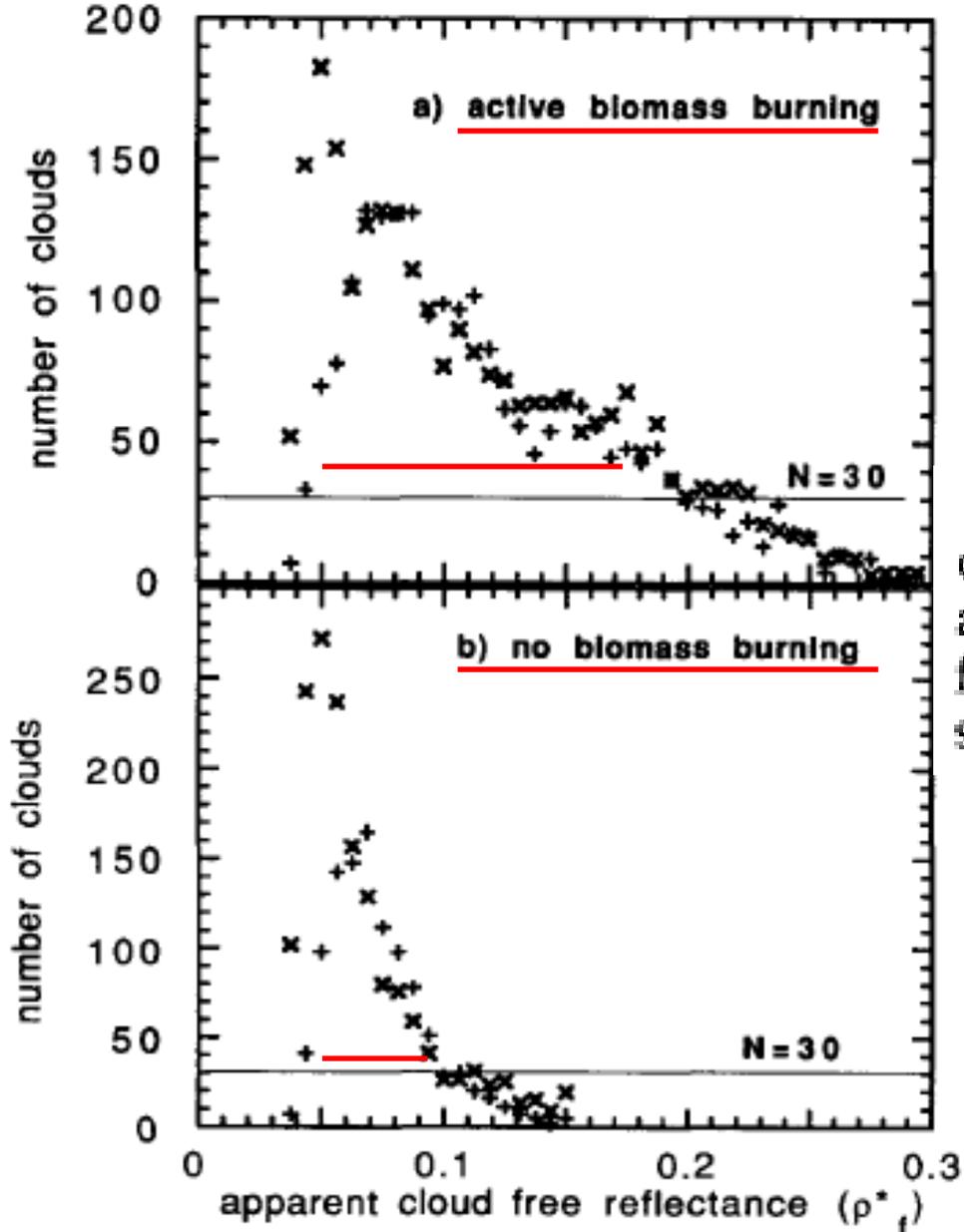
OBS:  $\rho^*$  é a refletância aparente no visível (balanço entre a porção refletida pela superfície da Terra e a porção espalhada por fumaça, aerossóis e moléculas na atmosfera), convertida para AOT.

# Resultados (Efeitos da fumaça observados na época seca de 1987)

- Figura 6b mostra que na ausência de fumaça a  $\rho_{\text{NIR}}$  é menos dependente da  $\rho^*$  -> gotas menores na presença de fumaça;
- Figuras 7a e 7b evidenciam dois efeitos que competem entre si: o aumento do albedo das nuvens (causado pelo aumento em  $N_c$ ) e o escurecimento das nuvens devido à absorção pelo carbono grafítico.

OBS:  $\rho^*$  é a refletância aparente no visível (balanço entre a porção refletida pela superfície da Terra e a porção espalhada por fumaça, aerossóis e moléculas na atmosfera), convertida para AOT.

# Resultados (Efeitos da fumaça observados na época seca de 1987)



**FIG. 5.** Number distribution of clouds used in the analysis of the cloud properties in Figs. 6 and 7. The number of clouds used in the averaging for each plotted value is shown as a function of the cloud-free reflectance  $\rho_f^*$  at  $0.64 \mu\text{m}$ : (a) for active biomass burning and smoke and (b) for a period preceding extensive biomass burning.

# Resultados (Efeitos da fumaça observados na época seca de 1987)

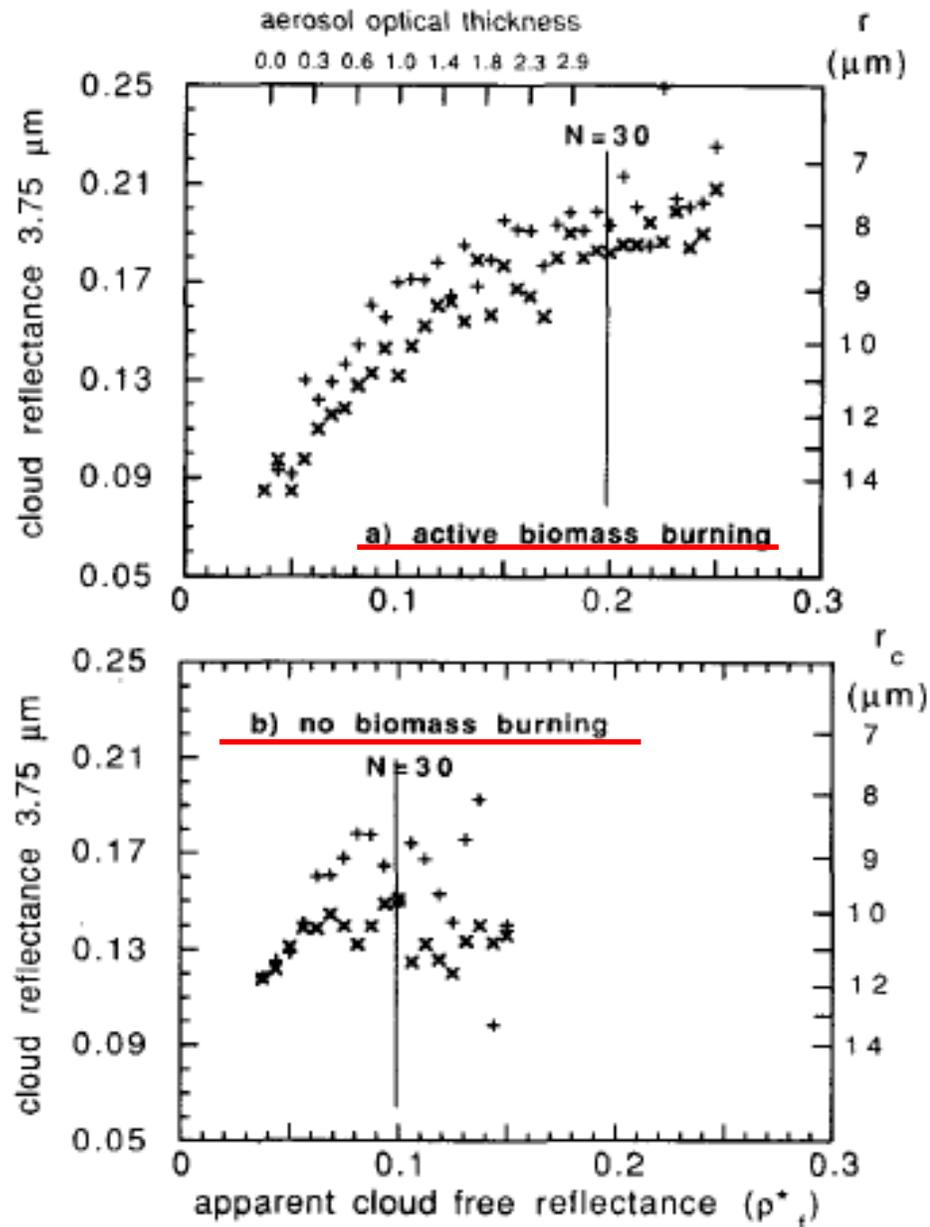


FIG. 6. Cloud reflectance at 3.75  $\mu\text{m}$  as a function of the apparent cloud-free reflectance  $\rho_f^*$  at 0.64  $\mu\text{m}$ , for period of time with (a) active biomass burning and smoke and for (b) a period preceding extensive biomass burning. The data are averaged for clouds observed in the near nadir direction ( $\theta \leq 20^\circ$ ) for the solar ( $\times$ ) and antisolar ( $+$ ) directions. Cloud reflectance is averaged for bins of 0.005 in  $\rho_f^*$ . The number of clouds averaged for each data point is given in Fig. 5. The axes are also labeled by the corresponding drop radius  $r_c$  and by the smoke aerosol optical thickness for (a) only. The data to the left of the  $N = 30$  lines are for more than 30 clouds in each average. Model simulations are shown by curve lines for four values of the imaginary part of the refractive index  $m_i$ .

# Resultados (Efeitos da fumaça observados na época seca de 1987)

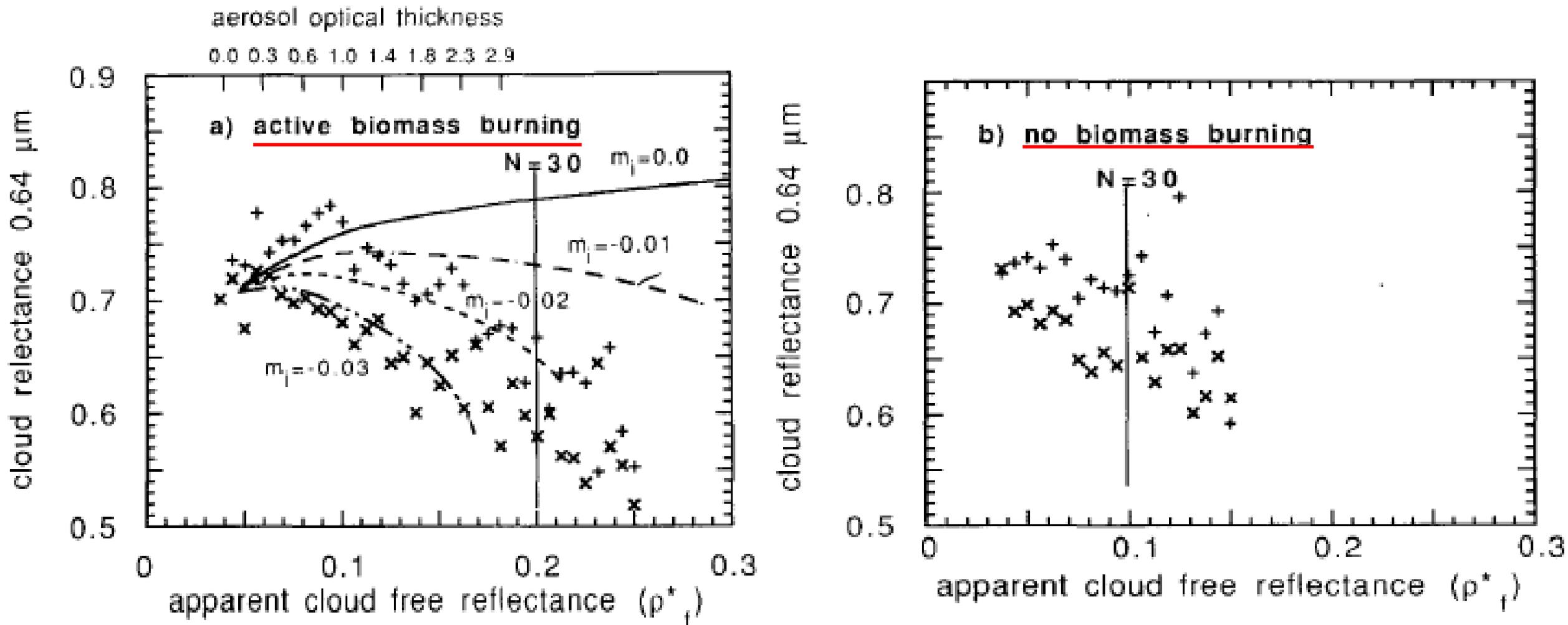


FIG. 7. Same as Fig. 6 but for the 0.64- $\mu\text{m}$  AVHRR channel. Model simulations are shown by lines for four values of the imaginary part of the refractive index of the smoke.

# Resultados (Efeitos da fumaça observados na época seca de 1987)

---

- Mesmo que os resultados das Figuras 5, 6 e 7 excluam os pixels nas bordas das nuvens, não é certo que estes pixels não afetam os resultados mostrados. Buscando estudar se estes pixels influenciavam, o autor analisou somente o pixel mais brilhante de cada nuvem e plotou os resultados na Figura 8 (similar às Figuras 6a e 7a).
- Os resultados foram muito similares, indicando que os pixels das bordas não exercem influência sobre os resultados anteriores.

# Resultados (Efeitos da fumaça observados na época seca de 1987)

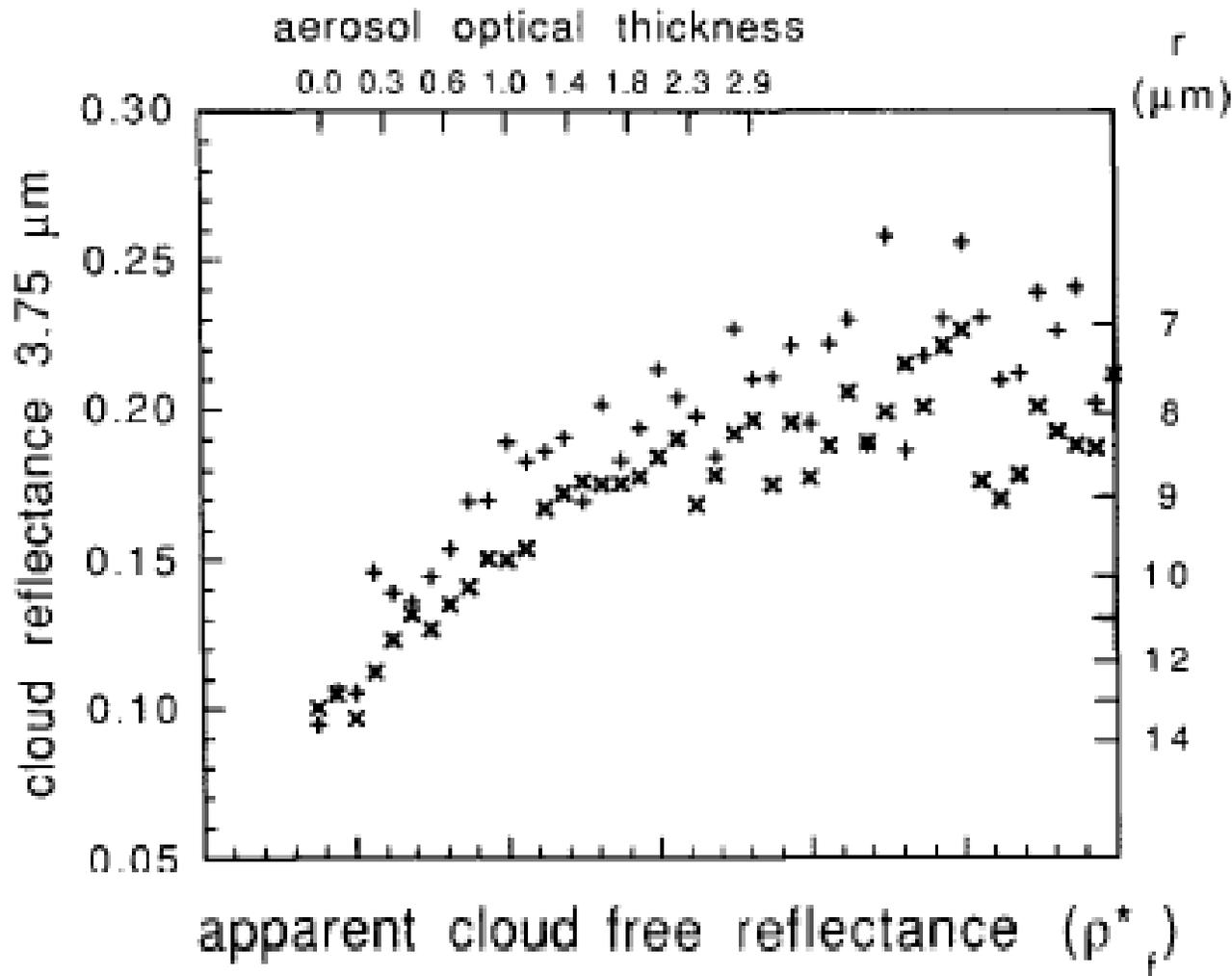


FIG. 8. Reflectance of the brightest pixel in each cloud at (a) 0.64  $\mu\text{m}$  and (b) of same pixels at 3.75  $\mu\text{m}$  grouped as a function of the apparent cloud-free reflectance  $\rho_{cl}^*$  for a period of time with active biomass burning and smoke as in Figs. 6a and 7a. The data are averaged for clouds observed in the near nadir direction ( $\theta \leq 20^\circ$ ) for the solar ( $\times$ ) and antisolar directions (+). Cloud reflectance is averaged for bins of 0.005 in  $\rho_{cl}^*$ . The number of clouds averaged for each data point is given in Fig. 5.

# Resultados (Efeitos da fumaça observados na época seca de 1987)

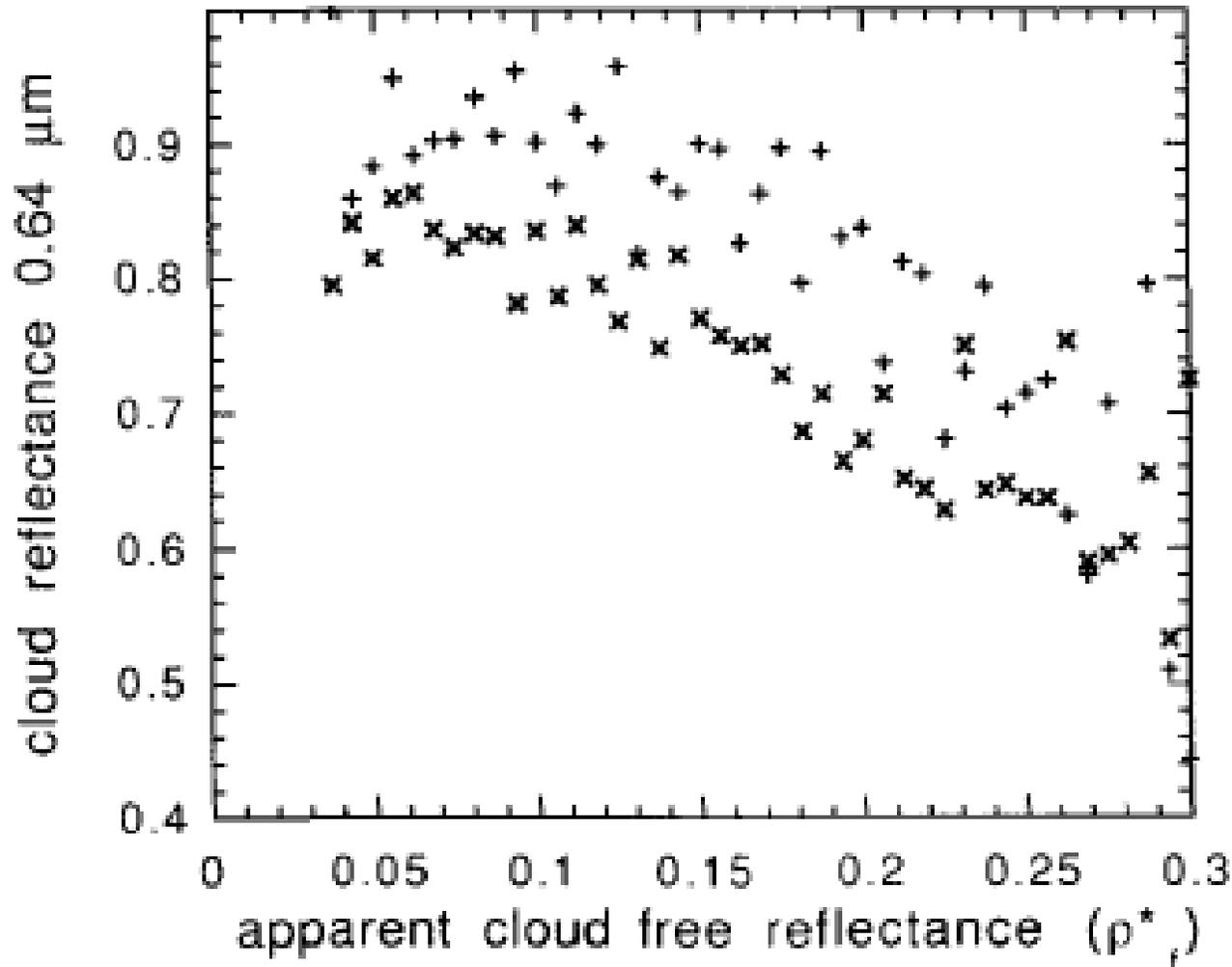


FIG. 8. Reflectance of the brightest pixel in each cloud at (a)  $0.64 \mu\text{m}$  and (b) of same pixels at  $3.75 \mu\text{m}$  grouped as a function of the apparent cloud-free reflectance  $\rho_f^*$  for a period of time with active biomass burning and smoke as in Figs. 6a and 7a. The data are averaged for clouds observed in the near nadir direction ( $\theta \leq 20^\circ$ ) for the solar (x) and antisolar directions (+). Cloud reflectance is averaged for bins of 0.005 in  $\rho_f^*$ . The number of clouds averaged for each data point is given in Fig. 5.

# Resultados (Outros fatores que podem influenciar propriedades de nuvens)

- As variações em propriedades de nuvens mostradas nas Figuras 5, 6 e 7 foram atribuídas a variações na  $N_c$ . Para **verificar se estes resultados não ocorrem devido a parâmetros que não a variação de  $N_c$** , a **Tabela 2 resume os valores destes parâmetros** de acordo com diferentes valores de  $\rho^*$  e COT para as mesmas nuvens.
- Conclusão: **mudanças em  $\rho_{NIR}$ ,  $\rho_{VIS}$  e tamanho** médio de gotas **ocorrem devido à variações na** concentração de aerossóis provenientes de fumaça de queimadas ( $N_c$ ).

# Resultados (Outros fatores que podem influenciar propriedades de nuvens)

$\rho_f^*$	0.05–0.06	0.13–0.17
$\tau_a$	0.1	2.0
Cloud reflectance at 0.64 $\mu\text{m}$	0.70–0.72	0.64–0.72
Cloud reflectance at 3.75 $\mu\text{m}$	0.08–0.09	0.15–0.18
Cloud-drop size	14–15 $\mu\text{m}$	8–9 $\mu\text{m}$
Number density of clouds <sup>a</sup>	10–50	50–70
Cloud-top temperature	277 K	282 K
Solar zenith angle	54°–57°	56°–59°
View zenith angle	7°–9°	8°–12°
Cloud-top roughness <sup>b</sup>	0°–1°	1°–2°
Cloud area (km <sup>2</sup> )	18–30	20–50
Cloud shape factor <sup>c</sup>	1.3–1.4	1.4–1.8

<sup>a</sup> Number of clouds for a given range of  $\rho_f^*$ :  $\Delta\rho_f^* = 0.005$ .

<sup>b</sup> Cloud-top roughness is defined as the average cloud-top temperature (excluding the perimeter) minus the temperature of the brightest pixel in the cloud.

<sup>c</sup> Cloud shape factor is defined as  $p^2/(4\pi S)$ , where  $p$  is the cloud perimeter and  $S$  is the cloud area.

TABLE 2. Variation in the cloud properties and other measures as a function of the apparent cloud-free reflectance  $\rho_f^*$  and the corresponding smoke aerosol optical thickness  $\tau_a$ . The values are for the 1987 main dataset (A), for view direction less than or equal to 20°, cloud-top temperature greater than or equal to 270 K, and cloud area greater than or equal to 9 km<sup>2</sup>.

# Resultados (Comparação com outras temporadas de queimada)

---

- Comparação entre as estações de queimada de 1981, 1984 e 1989;
- Em todos os casos há redução nos valores de  $r$  e  $\rho_{vis}$  conforme se aumenta o  $N_c$  (ou AOT) - > Tabela 3.

# Resultados (Comparação com outras temporadas de queimada)

TABLE 3. Variation in the average cloud properties and other measures, as in Table 2 but for 1981, 1984, and 1989. Low smoke is defined for  $\rho_f^* = 0.05$  to  $0.06$  ( $\tau_a = 0.1$ ) and heavy smoke for  $\rho_f^* = 0.13$  to  $0.15$  ( $\tau_a = 2.0$ ).

	Year 1981		1984		1989	
	Period	September–October	August–September	September	Low	Heavy
Smoke load:	Low	Heavy	Low	Heavy	Low	Heavy
$\tau_a$	0.1	2.0	0.1	2.0	0.1	2.0
Cloud reflectance						
at $0.64 \mu\text{m}$	0.66–0.75	0.56–0.65	0.62–0.71	0.56–0.66	0.65–0.72	0.59–0.72
at $3.75 \mu\text{m}$	0.08–0.10	0.12–0.15	0.04–0.05	0.14–0.23	0.11–0.16	0.16–0.20
Cloud-drop size ( $\mu\text{m}$ )	13–15	10–11	20–23	7–10	9–12	8–9
Number of clouds <sup>a</sup>	10–40	10–40	1–10	1–10	10–30	10–30
Cloud-top temperature	278 K	280 K	276 K	280 K	278 K	277 K
Solar zenith angle	$41^\circ$ – $43^\circ$	$41^\circ$ – $43^\circ$	$57^\circ$ – $59^\circ$	$59^\circ$ – $64^\circ$	$31^\circ$ – $34^\circ$	$32^\circ$ – $36^\circ$
Cloud-top roughness <sup>b</sup>	$0^\circ$ – $1^\circ$	$0^\circ$ – $1.5^\circ$	$0^\circ$ – $1^\circ$	$0^\circ$ – $3^\circ$	$0.5^\circ$	$0.5^\circ$ – $1.5^\circ$
Cloud area $\text{km}^2$	17–19	30–60	10–18	20–100	16–18	15–40
Cloud shape factor <sup>c</sup>	1.3–1.4	1.9–2.4	1.4–1.5	1.6–2.0	1.4–1.5	1.4–1.7

<sup>a</sup> Number of clouds for a given range of  $\rho_f^*$ :  $\Delta\rho_f^* = 0.005$ .

<sup>b</sup> Cloud-top roughness is defined as the average cloud-top temperature (excluding the perimeter) minus the temperature of the brightest pixel in the cloud.

<sup>c</sup> Cloud shape factor is defined as  $d^2/(4\pi S)$ , where  $d$  is the cloud perimeter and  $S$  is the cloud area.

# Conclusões

- 1) Imagens obtidas para 1987, observadas antes e durante o pico de queimadas na Amazônia, mostram que o aumento na concentração de fumaça resulta em nuvens com gotas menores e mais escuras para comprimento de onda na região do visível.
- 2) O tamanho médio de gotas de nuvens diminuiu  $6 \mu\text{m}$  (de  $15 \mu\text{m}$  para  $9 \mu\text{m}$ ) em 1987. Esta queda foi maior para o ano mais seco analisado ( $13 \mu\text{m}$  em 1984) e menor para o ano com época mais de queimadas mais úmida ( $2 \mu\text{m}$  em 1989).
- 3) O aumento na temperatura de topo média como função do AOT indica a possibilidade de que uma redução na convecção, causada por uma diminuição da velocidade de correntes ascendentes e uma diminuição também na quantidade de água líquida disponível para formar a nuvem. Isso pode contribuir para a redução da densidade de gotas da nuvem e, conseqüentemente, diminuir a refletividade em  $0,64 \mu\text{m}$ .

# Conclusões

---

- 4) Observou-se um aumento na refletividade da nuvem em  $3,75 \mu\text{m}$  (NIR).
- 5) Mesmo que o estudo não tenha considerado nuvens menos desenvolvidas (com  $\rho_{\text{vis}} < 40\%$ ), os resultados indicam que a presença de fumaça reduz (ao invés de aumentar) a refletividade de nuvens nos trópicos (em contraste com Penner et al., 1991 mas em concordância com Twomey, 1977).
- 6) Uma vez que o efeito de partículas de aerossol na microfísica de nuvens depende fortemente da distribuição de tamanhos de partículas pequenas (raio  $< 0,1 \mu\text{m}$ ) e essa distribuição de tamanhos depende das fontes de emissão e da idade da camada de aerossóis os efeitos que aerossóis marítimos e antropogênicos podem exercer sobre as nuvens podem diferir daqueles exercidos por aerossóis de fumaça -> Necessidade de mais informações acerca da distribuição de tamanhos e evolução temporal dos aerossóis.

*Journal Club do LFA*  
*André Cezar Pugliesi da Silva*

---

Muito obrigado pela atenção!