

CLÁUDIA REJANE JACONDINO DE CAMPOS

UM ESTUDO SOBRE O RESFRIAMENTO INFRAVERMELHO EM NUVENS

*Handwritten:*  
Recebido  
em 22  
1991

VIÇOSA

MINAS GERAIS - BRASIL

JANEIRO - 1991

BIBLIOTECA  
DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Ficha catalográfica preparada pela Área de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

Campos, Cláudia Rejane Jacondino de .  
C198u Um estudo sobre o resfriamento infravermelho em  
1991 nuvens. Viçosa, UFV, 1991.  
70p.

Tese (M.S.) - UFV

1. Radiação atmosférica. 2. Radiação infravermelho (Meteorologia). 3. Nuvens-Taxas de resfriamento. 4. Nuvens-Transferência de radiação. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 18.ed. 551.5273

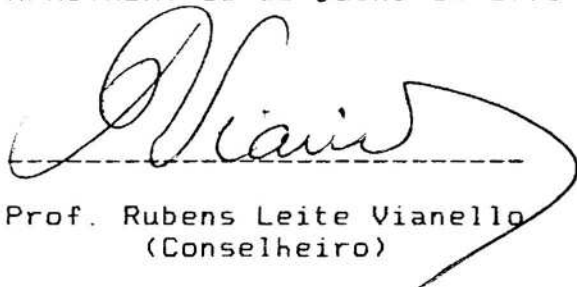
CDD 19.ed. 551.5273

CLAUDIA REJANE JACONDINO DE CAMPOS

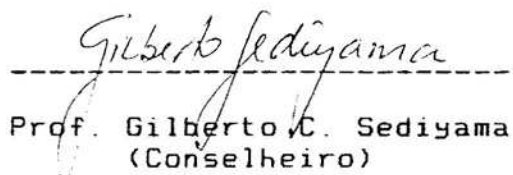
UM ESTUDO SOBRE O RESFRIAMENTO INFRAVERMELHO EM NUVENS

Tese Apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das Exigências do Curso de Meteorologia Agrícola, para Obtenção do Título de "Magister Scientiae".

APROVADA: 16 de julho de 1990



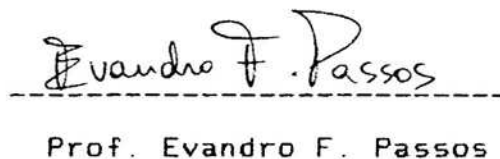
Prof. Rubens Leite Vianello  
(Conselheiro)



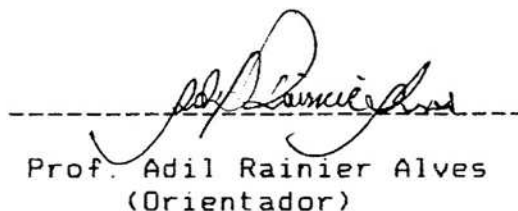
Prof. Gilberto C. Sedyama  
(Conselheiro)



Prof. Dirceu Teixeira Coelho



Prof. Evandro F. Passos



Prof. Adil Rainier Alves  
(Orientador)

Aos meus pais, Carlos e Carmen,  
e ao meu irmão Alessandro.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por ter me dado força e estímulo para desenvolver e concluir este trabalho.

A Universidade Federal de Viçosa, pelos ensinamentos.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao Professor Adil Rainier Alves, pela orientação segura, séria e amiga.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pela amizade e atenção.

Aos meus pais, pela educação que me deram.

Aos colegas do curso, pelo convívio sadio e alegre.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

## BIOGRAFIA

Cláudia Rejane Jacondino de Campos, filha de Carlos J.N. de Campos e Carmen Jacondino de Campos, nasceu em Canguçu, Estado do Rio Grande do Sul, no dia 13 de abril de 1966.

Cursou o primeiro e o segundo graus em Pelotas.

Graduou-se em Meteorologia, em janeiro de 1988, na Universidade Federal de Pelotas - RS.

Em fevereiro de 1988, iniciou o curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa.

## CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xii
EXTRATO .....	xiv
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. METODOLOGIA .....	4
2.1. Descrição do Modelo .....	4
2.1.1. Função de Transmissão .....	9
2.1.2. Raio Efetivo e Algumas Características Microfísicas .....	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
3.1. Coeficiente Monocromático de Absorção das Nuvens	13
3.2. Taxas de Resfriamento Radiativo em Nuvens .....	14
4. RESUMO E CONCLUSÕES .....	34
5. BIBLIOGRAFIA .....	36
APÊNDICES .....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Características microfísicas das nuvens A e B; CAL é o conteúdo de água líquida, $r_m$ é o raio modal, $r$ é o raio médio, $r_{ef}$ é o raio efetivo da distribuição de gotículas .....	11
2	Coeficiente monocromático de absorção das nuvens calculado para 10 $\mu$ m, utilizando: (1) distribuição Gama-modificada de Deirmendjian e (2) raio efetivo .....	14
3	Taxas de resfriamento do topo das nuvens determinadas por diferentes métodos .....	15
4	Taxas de resfriamento radiativo em diferentes regiões do espectro para nuvens sem inversão térmica acima do seu topo .....	32

Quadro	Página
5 Taxas de resfriamento radiativo em diferentes regiões do espectro, calculadas por ALVES (1987), (1) e as obtidas neste trabalho (2) ....	33

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Transmitância espectral dos gases, à altura de 2 km, considerando a atmosfera-padrão USA-1962 saturada. Curva "a": caminho ótico de 20 m; curva "b": caminho ótico de 200 m; curva "c": função de Planck à temperatura de 275,2 K, multiplicada pelo número de onda .....	17
2 Transmitância espectral das gotículas para caminhos óticos de 20 m (curva "a") e 200 m (curva "b"), para uma nuvem com CAL=0,114 g/m <sup>3</sup> (nuvem A do Quadro 1). A curva "c" representa a função de Planck à temperatura de 275,2 K, multiplicada pelo número de onda .....	19
3 Transmitância espectral das gotículas para caminhos óticos de 20 m (curva "a") e 200 m (curva "b"), para uma nuvem com CAL=1,034 g/m <sup>3</sup> (nuvem B	

Figura	Página
do Quadro 1). A curva "c" representa a função de Planck à temperatura de 275,2 K, multiplicada pelo número de onda .....	20
4 Transmitância espectral total da nuvem para um caminho ótico de 20 m. CAL=0,114 g/m <sup>3</sup> (curva "a"); CAL=1,034 g/m <sup>3</sup> (curva "b"). A curva "c" representa a função de Planck à temperatura de 275,2 K, multiplicada pelo número de onda .....	22
5 Densidades de fluxos de radiação para uma nuvem com espessura de 1km e com CAL=0,114 g/m <sup>3</sup> (nuvem A, Quadro 1). A integração espectral foi feita de 350 a 2850 cm <sup>-1</sup> . Curva "a": fluxo para cima; curva "b": fluxo para baixo; curva "c": saldo de radiação .....	23
6 Densidades de fluxos de radiação para uma nuvem com espessura de 1km e com CAL=1,034 g/m <sup>3</sup> (nuvem B, Quadro 1). A integração espectral foi feita de 350 a 2850 cm <sup>-1</sup> . Curva "a": fluxo para cima; curva "b": fluxo para baixo; curva "c": saldo de radiação .....	24
7 Densidades de fluxos de radiação para uma nuvem com espessura de 1km e com CAL=0,114 g/m <sup>3</sup> (nuvem A, Quadro 1). A integração espectral foi feita de 750 a 1250 cm <sup>-1</sup> . Curva "a": fluxo para cima; curva "b": fluxo para baixo; curva "c": saldo	

Figura	Página
de radiação .....	25
8 Densidades de fluxos de radiação para uma nuvem com espessura de 1km e com CAL=1,034 g/m <sup>3</sup> (nuvem B, Quadro 1). A integração espectral foi feita de 750 a 1250 cm <sup>-1</sup> . Curva "a": fluxo para cima; curva "b": fluxo para baixo; curva "c": saldo de radiação .....	26
9 Taxas de resfriamento radiativo das nuvens A (CAL=0,114 g/m <sup>3</sup> ) e B (CAL=1,034 g/m <sup>3</sup> ) do Quadro 1, calculadas para o intervalo de número de ondas de 350 a 2850 cm <sup>-1</sup> , para diferentes níveis. Curva "a": taxas de resfriamento para a nuvem A; curva "b": taxas de resfriamento para a nuvem B .....	28
10 Taxas de resfriamento radiativo das nuvens A (CAL=0,114 g/m <sup>3</sup> ) e B (CAL=1,034 g/m <sup>3</sup> ) do Quadro 1, calculadas para a região da janela atmosférica (750 a 1250 cm <sup>-1</sup> ), para diferentes níveis. Curva "a": taxas de resfriamento para a nuvem A; curva "b": taxas de resfriamento para a nuvem B. ....	29
11 Radiância espectral dirigida para baixo, multiplicada pelo número de onda, na altura de 2 km na atmosfera-padrão USA-1962 (ângulo zenital de 60 graus): curva "a"; radiância do corpo negro à temperatura do topo da nuvem (275,2 K), multipli-	

Figura	Página
cada pelo número de onda: curva "b" .....	31
1A Estrutura do programa principal que calcula a taxa de resfriamento radiativo em nuvens .....	41

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $a, n, \gamma$  - parâmetros empíricos (adimensionais);
- $B_{\nu}$  - função de Planck ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}/\text{cm}^{-1}$ );
- CAL - conteúdo de água líquida ( $\text{g.m}^{-3}$ );
- $c_p$  - calor específico a pressão constante ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ );
- $F^+$  - densidade de fluxo de radiação dirigida para cima ( $\text{W.m}^{-2}$ );
- $F^-$  - densidade de fluxo de radiação dirigida para baixo ( $\text{W.m}^{-2}$ );
- $F_{\text{net}}$  - saldo de radiação ( $\text{W.m}^{-2}$ );
- $I^+$  - radiância dirigida para cima ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}/\text{cm}^{-1}$ );
- $I^-$  - radiância dirigida para baixo ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}/\text{cm}^{-1}$ );
- $K_{\text{abs},\nu}$  - coeficiente linear monocromático de absorção ( $\text{m}^{-1}$ );
- $\tilde{m}$  - índice complexo de refração (adimensional);
- $N$  - número total de gotículas ( $\text{m}^{-3}$ );
- $n(r)$  - concentração de gotículas d'água ( $\text{m}^{-3}.\mu\text{m}^{-1}$ );
- $Q_{\text{abs},\nu}$  - fator de eficiência para a absorção (adimensional);
- $r_m$  - raio modal da distribuição ( $\mu\text{m}$ );

- $r_{ef}$  - raio efetivo da distribuição de gotículas ( $\mu\text{m}$ );
- $r$  - raio da gotícula d'água ( $\mu\text{m}$ );
- $T$  - temperatura (K);
- $t$  - tempo (s);
- $Tr_p$  - transmitância espectral (adimensional);
- $z$  - altura acima da superfície da terra (m);
- $\theta$  - ângulo zenital (rad);
- $\lambda$  - comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ );
- $\nu$  - número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ );
- $\rho$  - densidade absoluta do ar ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ );
- $\rho_a$  - densidade absoluta da água ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ );
- $l$  - caminho ótico (m);

## EXTRATO

CAMPOS, Cláudia Rejane Jacondino M.S., Universidade Federal de Viçosa, janeiro 1991. Um estudo sobre o resfriamento infravermelho em nuvens. Professor Orientador: Adil Rainier Alves. Professores Conselheiros: Rubens Leite Vianello e Gilberto Sedyama.

Desenvolveu-se um modelo para o cálculo de radiações, densidades de fluxo e taxas de resfriamento radiativo\* para os diferentes níveis da atmosfera. O modelo possui altas resoluções espectral e vertical; utiliza as funções de transmissão do código computacional LOWTRAN 6 e o código computacional Mie de Wiscombe, para determinar as características óticas das gotículas.

Para o cálculo do coeficiente monocromático de absorção das nuvens, utilizou-se neste trabalho o raio efetivo da distribuição de gotículas ao invés de se proceder à integração

-----  
\* Neste trabalho, o termo "radiativo" refere-se à radiação, e não à radioatividade.

da seção transversal das gotículas d'água em toda a sua população. Verificou-se que o raio efetivo pode ser usado para os cálculos, não implicando grandes discrepâncias em relação aos cálculos feitos quando se integram as seções transversais das gotículas em toda a sua população.

A taxa de resfriamento radiativo atmosférico obtida para a nuvem A (com conteúdo de água líquida de  $0,114 \text{ g/m}^3$ ), próxima ao topo da nuvem, foi de  $8,0 \text{ K/h}$  e para a nuvem B (com conteúdo de água líquida de  $1,034 \text{ g/m}^3$ ) foi de  $34,9 \text{ K/h}$ . Tais valores quando comparados com os obtidos por ALVES (1987), que utilizou um modelo mais detalhado, procedendo à integração da seção transversal das gotículas d'água em toda a população de gotículas, apresentaram discrepâncias aceitáveis para os principais tipos de modelagens atmosféricas.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo WISCOMBE (1983), dois problemas teóricos em ciências atmosféricas, dentre outros, são ainda objeto de muitos estudos. O primeiro refere-se ao efeito estufa, o outro à transferência de energia radiante em nuvens, com as respectivas implicações na microfísica e na dinâmica da camada limite planetária (CLP).

Considerando-se a existência de camadas de nuvens cobrindo, em regime quase permanente, extensas porções do globo, especialmente a oeste dos continentes, e que este regime persistente de nuvens afeta o balanço de radiação do sistema Terra-Atmosfera, sendo importante na determinação do clima da Terra, vários pesquisadores têm se dedicado, nas últimas décadas, ao estudo das relações entre as nuvens e o campo de radiação.

A importância do estudo da taxa de resfriamento radiativo da atmosfera tem sido discutida por vários pesquisadores. Segundo TWOMEY (1983), o cálculo das

divergências do saldo de radiação é de fundamental importância para estudos da CLP e para modelagens climáticas, o que também é discutido por LILLY (1968), DEARDORFF (1976) e muitos outros. FRAVALO et al. (1981), por outro lado, sugerem que não somente o balanço total de radiação, mas também a distribuição vertical da divergência do saldo de radiação tem papel importante na evolução de alguns tipos de CLP<sub>s</sub>.

Muitos modelos físico-matemáticos, de diferentes graus de sofisticação, têm sido apresentados para o cálculo de taxas de resfriamento radiativo. FEIGELSON (1973), por exemplo, apresenta uma equação semi-empírica, que fornece a taxa de resfriamento radiativo da região próxima ao topo das nuvens. Já YAMAMOTO et al. (1971) apresentam um modelo mais detalhado, que calcula as divergências do saldo de radiação com alta resolução vertical, usando o método de ordenadas discretas. Outra contribuição é o trabalho de KHVOROST'YANOV (1981), que mostrou ser a "janela atmosférica" (8 a 13  $\mu\text{m}$ ) a faixa espectral mais importante para o resfriamento radiativo do topo das nuvens.

Tendo em vista que há muitos meios de se tratar a transferência de energia radiante na atmosfera, desde as mais simples aproximações dos "corpos cinzentos" até os mais sofisticados tratamentos, que levam em consideração cada linha espectral de absorção, este trabalho teve como objetivos:

- a) desenvolver um modelo para o cálculo de radiâncias, densidades de fluxos e taxas de resfriamento atmosférico, considerando a presença de nuvens;
- b) analisar a validade do modelo por meio de com-

parações com modelos existentes;

- c) determinar a contribuição da região do infravermelho, de 3,5 a 28,5  $\mu\text{m}$  para o resfriamento radiativo em nuvens, com diferentes conteúdos de água líquida (CAL).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Descrição do Modelo

Foi desenvolvido um detalhado modelo físico-matemático de transferência de radiação de ondas longas, para a CLP. Este modelo possui altas resoluções espectral e vertical e fornece radiâncias, densidades de fluxo e taxas de resfriamento radiativo para os diferentes níveis da atmosfera.

Foram usadas as funções de transmissão do código LOWTRAN 6 (KNEIZYS et al., 1983). LOWTRAN 6 é um dos melhores tratamentos sobre a transmissão atmosférica, com alta resolução espectral (intervalo de número de ondas de  $20 \text{ cm}^{-1}$ ). Esse código inclui a absorção contínua pelo vapor d'água no intervalo de 8 a  $13 \mu\text{m}$ , o espalhamento molecular e a extinção devido aos aerossóis. A refração atmosférica e os efeitos de curvatura da Terra também são incluídos. Esse código, além de permitir a entrada de perfis observados ou estimados, oferece a opção de se usar perfis atmosféricos

padrão de temperatura, umidade e concentração de aerossóis.

O modelo ora desenvolvido utiliza o código Mie de WISCOMBE (1979) para determinar as características óticas das gotículas, o qual, obviamente baseia-se na teoria de Mie. Na atmosfera o espalhamento Mie está relacionado às gotículas de nuvens, aos aerossóis, entre outros, sendo muito importante a distribuição por tamanho de tais constituintes (DPT). A teoria de Mie fornece, para uma simples partícula de raio "r", índice de refração "m" e comprimento de onda "λ", os fatores de eficiência para o espalhamento " $Q_{sc}(\tilde{m}, r)$ " e para a extinção " $Q_{ex}(\tilde{m}, r)$ " como:

$$Q_{sc}(\tilde{m}, r) = (2/\lambda^2) \sum_{u=1}^{\infty} (2u+1) (a_u a_u^* + b_u b_u^*), \quad \text{eq. 1}$$

$$Q_{ex}(\tilde{m}, r) = (2/\lambda^2) \sum_{u=1}^{\infty} (2u+1) \text{Re}(a_u + b_u), \quad \text{eq. 2}$$

em que:

$$a_u = \frac{\psi'_u(\tilde{m}x) \psi_u(x) - \tilde{m} \psi_u(\tilde{m}x) \psi'_u(x)}{\psi'_u(\tilde{m}x) \xi_u(x) - \tilde{m} \psi_u(\tilde{m}x) \xi'_u(x)}, \quad \text{eq. 3}$$

$$b_u = \frac{\tilde{m} \psi'_u(\tilde{m}x) \psi_u(x) - \psi_u(\tilde{m}x) \psi'_u(x)}{\tilde{m} \psi'_u(\tilde{m}x) \xi_u(x) - \psi_u(\tilde{m}x) \xi'_u(x)}, \quad \text{eq. 4}$$

sendo  $\psi$  e  $\xi$  as funções de Ricatti-Bessel, definidas como:

$$\psi_u(x) = (\pi x/2)^{1/2} J_{u+0,5}^*(x), \quad \text{eq. 5}$$

$$\xi_u(x) = (\pi x/2)^{1/2} [J_{u+0,5}^*(x) + i(-1)^u J_{-u-0,5}^*(x)], \quad \text{eq. 6}$$

em que:  $x = 2\pi r/\lambda$  - parâmetro de tamanho;

$J^*$  - função de Bessel de primeira espécie;

( $'$ ) - derivada com relação ao argumento;

$$a_u a_u^* = a_u^2 (a_u^* - \text{complexo conjugado de } a_u);$$

$$b_u b_u^* = b_u^2 (b_u^* - \text{complexo conjugado de } b_u).$$

Note que o fator de eficiência para absorção é dado por:

$$Q_{abs}(\tilde{m}, r) = Q_{ex}(\tilde{m}, r) - Q_{sc}(\tilde{m}, r). \quad \text{eq. 7}$$

As seções transversais relativas à extinção, ao espalhamento e à absorção, para uma simples partícula, são determinadas pelo produto da seção geométrica ( $\pi r^2$ ) e o correspondente fator de eficiência. Levando-se em consideração a distribuição desigual dos diâmetros das partículas, definem-se os coeficientes lineares de extinção, espalhamento e absorção como:

$$K_{ex,\lambda} = \int_0^{\infty} \pi r^2 Q_{ex}(\tilde{m}, r) n(r) dr, \quad \text{eq. 8}$$

$$K_{sc,\lambda} = \int_0^{\infty} \pi r^2 Q_{sc}(\tilde{m}, r) n(r) dr, \quad \text{eq. 9}$$

$$K_{abs,\lambda} = \int_0^{\infty} \pi r^2 Q_{abs}(\tilde{m}, r) n(r) dr, \quad \text{eq. 10}$$

em que:  $n(r)$  é o número de partículas por intervalo unitário de raio, por unidade de volume.

As principais condições e hipóteses assumidas para o desenvolvimento do referido modelo são:

- a) a atmosfera é um meio não-espalhante, na região do infravermelho de 3,5 a 28,5  $\mu\text{m}$  e estratificada horizontalmente;

- b) os gases radiativamente importantes estão em equilíbrio termodinâmico local;
- c) o espectro é dividido em intervalos relativamente largos para mostrar a estrutura detalhada das linhas espectrais de absorção, mas estreitos o suficiente para que a função de Planck seja dada pelo seu valor médio no intervalo;
- d) as condições da atmosfera acima da cobertura de nuvens são as mesmas da atmosfera padrão USA-1962 (McCLATCHEY et al., 1971);
- e) o perfil de temperatura da nuvem é adiabático e não apresenta inversão térmica acima do seu topo;
- f) para toda a atmosfera, as distribuições verticais dos demais gases, como,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  e  $\text{N}_2$  são as mesmas utilizadas no código LOWTRAN 6.

A partir dessas considerações e também admitindo simetria azimutal do campo de radiação, as radiâncias espectrais ( $I_\nu^+$  para cima e  $I_\nu^-$  para baixo) em qualquer nível  $z$ , na direção definida pelo ângulo zenital  $\theta$ , são calculadas como segue:

$$I_\nu^+(z, \theta) = I_{0\nu}^+(0, \theta) \text{Tr}_\nu(0, z, \theta) + \int_0^z B_\nu[T(z')] \left[ \partial \text{Tr}_\nu(z', z, \theta) / \partial z' \right] dz', \quad \text{eq. 11}$$

$$I_\nu^-(z, \theta) = I_{0\nu}^-(\omega, \theta) \text{Tr}_\nu(\omega, z, \theta) + \int_\omega^z B_\nu[T(z')] \left[ \partial \text{Tr}_\nu(z', z, \theta) / \partial z' \right] dz', \quad \text{eq. 12}$$

em que  $\text{Tr}_\nu(z', z, \theta)$  é a transmitância espectral do nível  $z'$  ao

nível  $z$ , na direção definida por  $\theta$ , e  $B_\nu(T)$  é o valor da função de Planck, calculado para o número de onda  $\nu$  (inverso do comprimento de onda) e temperatura  $T$ .

As densidades de fluxo de radiação dirigidas para cima ( $F^+$ ) e para baixo ( $F^-$ ), no nível  $z$ , são calculadas por integrações angulares e espectrais das radiâncias, como segue:

$$F^+(z) = -2\pi \int_0^\infty \int_{\pi/2}^\pi I_\nu^+(z, \theta) \sin\theta \cos\theta \, d\theta \, d\nu, \quad \text{eq. 13}$$

$$F^-(z) = 2\pi \int_0^\infty \int_0^{\pi/2} I_\nu^-(z, \theta) \sin\theta \cos\theta \, d\theta \, d\nu \quad \text{eq. 14}$$

Nas equações 13 e 14, a integração angular foi feita sobre cada intervalo espectral, usando o método das quadraturas de Gauss. Para cada hemisfério, três direções foram consideradas, o que, segundo ALVES (1987), mostrou ser suficiente para cálculos de densidades de fluxo no infravermelho.

De posse das densidades de fluxo  $F^+(z)$  e  $F^-(z)$ , o saldo de radiação  $F_{\text{net}}$  foi calculado como segue:

$$F_{\text{net}}(z) = F^+(z) - F^-(z), \quad \text{eq. 15}$$

e as taxas de resfriamento radiativo foram, então, determinadas como:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{rad}} = (-1/\rho c_p) \partial F_{\text{net}}/\partial z, \quad \text{eq. 16}$$

em que:

$T$  - temperatura (K);

$t$  - tempo (s);

z - altura acima da superfície da Terra (m);  
 $\rho$  - densidade absoluta do ar ( $\text{kg/m}^3$ );  
 $c_p$  - calor específico do ar à pressão constante  
( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ).

#### 2.1.1. Função de Transmissão

ALVES (1987), ao determinar as contribuições de diferentes regiões do espectro da radiação infravermelha para a taxa de resfriamento radiativo em nuvens, concluiu que a faixa de maior interesse, na ausência de inversão térmica, acima da camada de nuvens, corresponde ao intervalo de 3,5 a 28,5  $\mu\text{m}$ . Por esta razão, neste trabalho, não foi utilizado todo o espectro infravermelho para os cálculos da taxa de resfriamento radiativo em nuvens, mas sim aquela região que compreende os comprimentos de ondas entre 3,5 e 28,5  $\mu\text{m}$ . A contribuição de comprimentos de onda maiores que 28,5  $\mu\text{m}$ , para a divergência do saldo de radiação, é nula, por isso pode-se comparar os resultados deste trabalho com os de ALVES (1987), que utilizou uma faixa espectral diferente.

A determinação da função de transmissão ( $Tr_v$ , nas equações 11 e 12) corresponde à parte mais problemática do trabalho.  $Tr_v$  compreende uma parte exponencial, relativa às gotículas d'água, e outra parte não-exponencial, relativa aos gases atmosféricos. A parte não-exponencial de  $Tr_v$  é calculada com resolução espectral de 20  $\text{cm}^{-1}$ , no intervalo de números de ondas de 350 a 2850  $\text{cm}^{-1}$ , usando o código LOWTRAN 6 (KNEIZYS et al., 1983). A parte

exponencial de  $Tr_{\nu}$ , associada às gotículas d'água, foi calculada como segue:

$$Tr_{\nu}(\ell) = \exp(-K_{abs,\nu} \ell) \quad , \quad \text{eq. 17}$$

em que  $\ell$  é o caminho ótico e  $K_{abs,\nu}$ , como mencionado anteriormente, o coeficiente linear monocromático de absorção pelas gotículas, determinado como:

$$K_{abs,\nu} = \int_0^{\infty} \pi r^2 Q_{abs}(\tilde{m}, r) n(r) dr \quad , \quad \text{eq. 18}$$

em que "r" representa o raio da gotícula, "n(r)" a concentração de gotículas e " $Q_{abs}(\tilde{m}, r)$ " o fator de eficiência para a absorção, que aqui foi determinado usando o código Mie de WISCOMBE (1979). Os valores usados para o índice de refração ( $\tilde{m}$ ) das gotículas d'água foram aqueles apresentados por IRVINE e POLLACK (1968) e por HALE e QUERRY (1973).

Como a atenuação da radiação pelos gases e a atenuação devido às gotículas não se correlacionam, a função de transmissão total foi determinada pelo produto das partes exponencial e não-exponencial. Essa propriedade multiplicativa das funções de transmissão é discutida por GOODY (1964).

Na determinação da função de transmissão total não foi levado em consideração o espalhamento da radiação, uma vez que ALVES e DAVIES (1986), usando o método de Monte Carlo, concluíram que o espalhamento da radiação infravermelha apresentou contribuição inferior a 5% para a taxa de resfriamento da região próxima ao topo das nuvens.

### 2.1.2. Raio Efetivo e Algumas Características Microfísicas

O Quadro 1 apresenta algumas características de dois tipos de nuvens, A e B, escolhidas para o presente trabalho com a finalidade de permitir comparações com resultados apresentados por ALVES (1987). Note que o raio efetivo foi determinado por ALVES (1987), com base na equação que se segue:

$$r_{ef} = \int r^3 n(r) dr / \int r^2 n(r) dr , \quad \text{eq. 19}$$

sendo a distribuição de gotículas por tamanho representada pela distribuição gama-modificada de Deirmendjian, apresentada por WELCH e COX (1980), como:

$$n(r) = a r^{\eta} \exp[ - \eta/\gamma (r/r_m)^{\gamma} ] , \quad \text{eq. 20}$$

sendo " $r_m$ " o raio modal da distribuição, e, "a", " $\eta$ " e " $\gamma$ " parâmetros derivados empiricamente. Valores típicos para esses parâmetros são apresentados por WELCH e COX (1980), para uma variedade de nuvens.

QUADRO 1. Características Microfísicas das Nuvens A e B ; CAL é o Conteúdo de Água Líquida,  $r_m$  é o Raio Modal,  $r$  é o Raio Médio e  $r_{ef}$  é o Raio Efetivo da Distribuição de Gotículas

Nuvem	CAL(g/m <sup>3</sup> )	$r_m$ (μm)	$r$ (μm)	$r_{ef}$ (μm)
A	0,114	4,70	5,57	7,33
B	1,034	9,67	11,16	15,97

No presente trabalho, o raio efetivo da distribuição de gotículas ( $r_{ef}$ ) foi utilizado ao invés dos raios da distribuição. Assim, para uma nuvem com determinado raio efetivo e com um certo conteúdo de água líquida (CAL), o número total de gotículas por unidade de volume,  $N$ , dado por:

$$N = \int n(r)dr \quad , \quad \text{eq. 21}$$

é facilmente calculado como:

$$N = (3 \text{ CAL})/4 \pi r_{ef}^3 \rho_a \quad , \quad \text{eq. 22}$$

sendo  $\rho_a$  a densidade absoluta da água. A partir dessa consideração, a equação 18 torna-se:

$$K_{abs,\nu} = N \pi r_{ef}^2 Q_{abs,\nu}(\tilde{m}, r_{ef}) \quad , \quad \text{eq. 23}$$

que é a equação simplificada para o cálculo do coeficiente monocromático de absorção da população de gotículas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho são comparados com os obtidos por ALVES (1987), para dois tipos de nuvens, A e B, mencionados anteriormente.

#### 3.1. Coeficiente Monocromático de Absorção das Nuvens

O Quadro 2 mostra os valores obtidos para o coeficiente de absorção quando se utiliza o raio efetivo da distribuição de gotículas, e aqueles obtidos por ALVES (1987), quando se faz a integração da seção transversal das gotículas d'água em toda a sua população. Observa-se que as diferenças são pequenas, da ordem de 6% para a nuvem do tipo A e de 4% para a nuvem B. Tais diferenças são da mesma ordem de grandeza da incerteza nominal associada às funções de transmissão usadas nos melhores métodos de transferência de radiação, de estreitas faixas espectrais.

QUADRO 2. Coeficiente Monocromático de Absorção das Nuvens, Calculado para  $10\ \mu\text{m}$ , Utilizando: (1) Distribuição Gama-modificada de Deirmendjian e (2) Raio Efetivo

Nuvem	CAL ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	$r_{\text{ef}}$ ( $\mu\text{m}$ )	(1)		(2)		erro (%)
			$K_{\text{abs}}$ ( $\text{km}^{-1}$ )	$K_{\text{abs}}$ ( $\text{km}^{-1}$ )	$K_{\text{abs}}$ ( $\text{km}^{-1}$ )	$K_{\text{abs}}$ ( $\text{km}^{-1}$ )	
A	0,114	7,33	6,69	7,11	6,28		
B	1,034	15,97	44,32	46,22	4,28		

### 3.2. Taxas de Resfriamento Radiativo em Nuvens

De acordo com a literatura, um valor típico para o resfriamento atmosférico de ondas longas na média troposfera e, na ausência de nuvens, é de 2 K/dia. Quando há nuvens, taxas de resfriamento de duas ordens de magnitude maior podem ocorrer numa pequena camada próxima ao topo das nuvens e, em alguns tipos de camadas, este forte resfriamento é um mecanismo forçante muito importante que afeta a dinâmica da camada limite planetária.

A fim de determinar taxas de resfriamento em nuvens, muitos pesquisadores têm desenvolvido estudos teóricos e experimentais com vários graus de sofisticação. Alguns resultados para diferentes nuvens e condições atmosféricas são apresentados no Quadro 3. Este quadro mostra taxas de resfriamento que variam de 1,5 K/h, determinadas sob condição de forte inversão de temperatura acima do topo da nuvem, a valores de 45 K/h calculadas por um detalhado modelo de

QUADRO 3 - Taxas de Resfriamento do Topo das Nuvens Determinadas por Diferentes Métodos

Autores	Taxas de resfr. da região próxima ao topo da nuvem ( K/h )	Máximo CAL <sup>3</sup> ( g/m )	Inversão térmica acima da nuvem ( K )	Resolução vertical ( m )	Intervalo espectral ( cm <sup>-1</sup> )	Fluxos	
						calculado	observado
Feigelson (1970)	4,2	0,18	0	50	-		"stratus" (medidas-aviões)
Yamamoto et al. (1971)	45,0	0,28	0	1	250-2000	Atmosfera padrão	
Khvorost'yanov (1981)	2,5	0,19	0	33	750-1250	Atmosfera úmida de verão	
Twomey (1983)	1,5	0,20	13	10	-	Stratus	
Alves (1987)	10,4	0,38	5	1	100-2850	Atmosfera padrão	
Alves (1987)	20,1	0,38	0	1	100-2850	Atmosfera padrão	

transferência de radiação que usa alta resolução vertical.

Considerando que o fluxo líquido de radiação varia rapidamente com a altura na região próxima ao topo da nuvem, parece que a resolução vertical usada em um modelo teórico é um importante fator na estimativa da divergência do saldo de radiação. Como discutido por ALVES (1987), a resolução espectral do modelo também é importante para tal estimativa.

No presente trabalho as taxas de resfriamento foram calculadas com resolução vertical de 1 m, próximo ao topo da nuvem, e com resolução espectral de  $20 \text{ cm}^{-1}$ , abrangendo a faixa espectral de 350 a  $2850 \text{ cm}^{-1}$ , para as nuvens do tipo A e B (Quadro 1). Tais nuvens apresentam o topo a uma altura de 2 km, com temperatura de 275,2 K e a base a uma altura de 1 km, com temperatura de 281,0 K. Elas se encontram na atmosfera-padrão USA - 1962 (McCLATCHEY *et al.*, 1971) sendo adiabático o seu perfil de temperatura, e sem inversão térmica acima do topo.

As transmitâncias relativas aos gases foram calculadas considerando-se a atmosfera saturada de 1 a 2 km, à temperatura do topo da nuvem.

Como mencionado anteriormente, a transmitância total da nuvem é determinada pelo produto da transmitância dos gases e a das gotículas d'água. Enquanto a transmitância das gotículas é exponencial e varia lentamente com o número de onda, a transmitância relativa aos gases é não-exponencial e apresenta maior variação espectral. A Figura 1 mostra a transmitância espectral dos gases no topo da nuvem, à temperatura de 275,2 K, para caminhos óticos de 20 m (curva "a") e 200 m (curva "b")

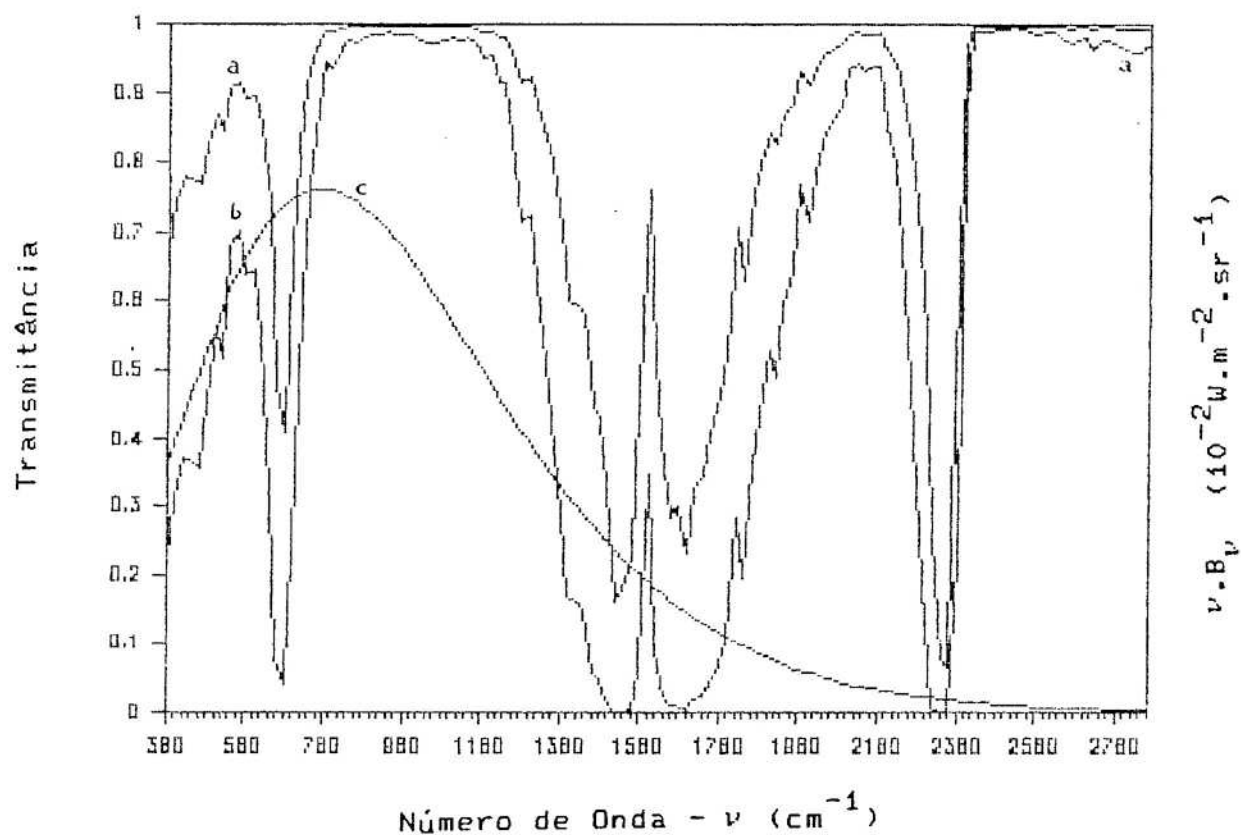


FIGURA 1 - Transmitância Espectral dos Gases, à Altura de 2 km, Considerando a Atmosfera Padrão USA-1962 Saturada. Curva "a": Caminho Ótico de 20 m; Curva "b": Caminho Ótico de 200 m; Curva "c": Função de Planck à Temperatura de 275,2 K, Multiplicada pelo Número de Onda.

A curva "c" representa a função de Planck, multiplicada pelo número de onda. Esta Figura mostra claramente as mais importantes bandas de absorção de ondas longas para cálculos da taxa de resfriamento radiativo, isto é, a banda vibracional de  $6,3 \mu\text{m}$  ( $1587,3 \text{ cm}^{-1}$ ), do vapor d'água, a banda vibracional de  $15 \mu\text{m}$  ( $666,7 \text{ cm}^{-1}$ ), do dióxido de carbono, a qual fica próxima ao valor máximo da função de Planck, e a banda de  $4,3 \mu\text{m}$  ( $2300 \text{ cm}^{-1}$ ), em que o  $\text{CO}_2$  absorve fortemente. Esta última é, no entanto, uma banda menos importante para cálculos de fluxos, uma vez que a função de Planck nessa região tem seus menores valores, ou seja, a quantidade de energia nessa região é muito pequena. Como é mostrado na Figura 1, os gases atmosféricos são praticamente transparentes na região espectral entre  $8$  e  $13 \mu\text{m}$  ( $750$  a  $1250 \text{ cm}^{-1}$ ), a principal janela atmosférica no infravermelho. Nesta região há uma forte banda de absorção em  $9,6 \mu\text{m}$  ( $1041,7 \text{ cm}^{-1}$ ), devido a absorção pelo ozônio, a qual não aparece na Figura 1, porque a concentração de ozônio é muito pequena no nível em que os cálculos foram feitos, isto é,  $2 \text{ km}$ .

As Figuras 2 e 3 mostram a transmitância espectral relativa às gotículas d'água, para nuvens com CAL de  $0,114$  e  $1,034 \text{ g/m}^3$ , respectivamente. Em ambas as Figuras, as curvas "a" e "b" referem-se a caminhos óticos de  $20$  e  $200 \text{ m}$ , respectivamente, e a curva "c" é a mesma da Figura 1. Estas Figuras mostram que não há, no espectro de ondas longas, uma região onde a absorção pelas gotículas possa ser desprezada.

A transmitância total da nuvem, obtida pelo produto das transmitâncias dos gases e das gotículas, é apresentada na

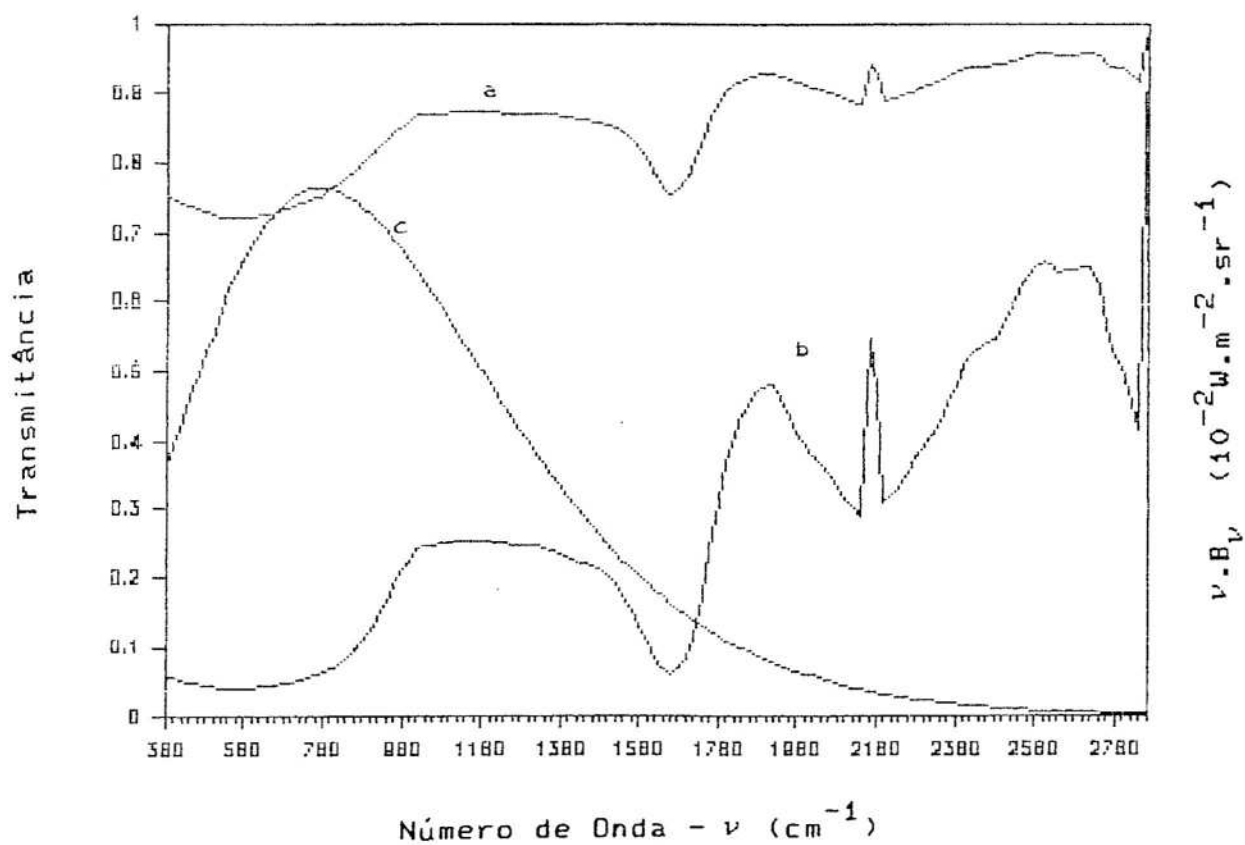


FIGURA 2 - Transmitância Espectral das Gotículas para Caminhos Óticos de 20 m (Curva "a") e 200 m (Curva "b"), para uma Nuvem com CAL = 0,114 g/m<sup>3</sup> (Nuvem A do Quadro 1). A curva "c" Representa a Função de Planck à Temperatura de 275,2 K, Multiplicada pelo Número de Onda.

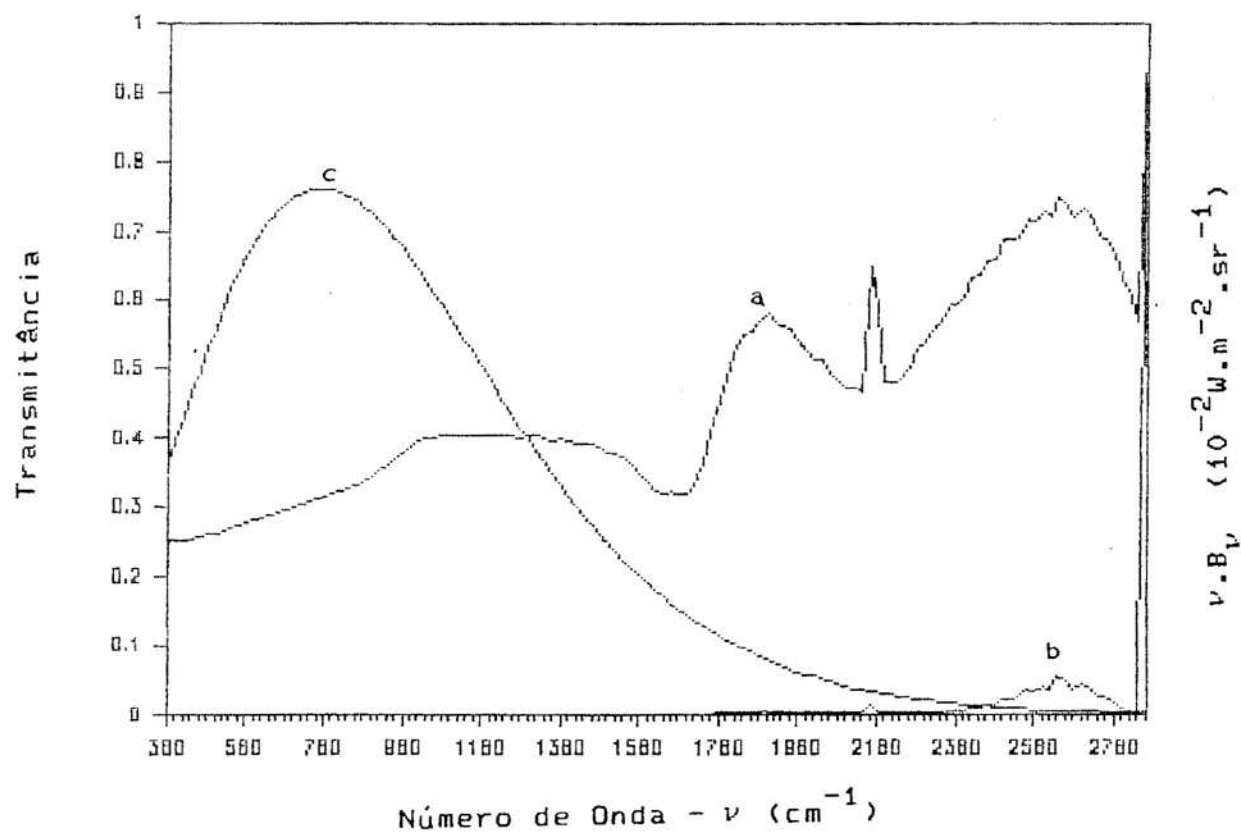


FIGURA 3 - Transmitância Espectral das Gotículas para Caminhos Óticos de 20 m (Curva "a") e 200 m<sub>3</sub> (Curva "b"), para uma Nuvem com CAL = 1,034 g/m<sup>3</sup> (Nuvem B do Quadro 1). A Curva "c" Representa a Função de Planck à Temperatura de 275,2 K, Multiplicada pelo Número de Onda.

Figura 4. Tal figura mostra a transmitância total através de um caminho de 20 m, para nuvens com CAL de  $0,114 \text{ g/m}^3$  (curva "a") e  $1,034 \text{ g/m}^3$  (curva "b"). Como pode-se notar, a transmitância total para a nuvem A apresenta valores maiores do que os apresentados pela nuvem B, uma vez que esta apresenta coeficientes de absorção maiores do que aquela.

De posse das transmitâncias espectrais da nuvem e das condições termodinâmicas da camada, calcularam-se os fluxos dirigidos para cima e para baixo para diferentes níveis. As Figuras 5 e 6 mostram os fluxos de radiação para nuvens com 1 km de espessura e com CAL de  $0,114$  e  $1,034 \text{ g/m}^3$ , respectivamente. Em ambas as figuras a integração espectral foi feita no intervalo de número de ondas de  $350$  a  $2850 \text{ cm}^{-1}$ . As curvas "a", "b" e "c" representam em ambas as figuras, respectivamente, o fluxo para cima, o fluxo para baixo e o saldo de radiação. As Figuras 7 e 8 mostram o mesmo que as Figuras 5 e 6, porém para intervalos de integração espectral de  $750$  a  $1250 \text{ cm}^{-1}$ , ou seja, na janela atmosférica.

O saldo de radiação ( $F_{\text{net}}$ ) foi definido pela equação 15 como o fluxo para cima menos o fluxo para baixo. Assim, um valor positivo da divergência do saldo de radiação ( $\partial F_{\text{net}}/\partial z$ ) significa um resfriamento radiativo. Maiores contribuições para as taxas de resfriamento são esperadas nas regiões espectrais de maiores coeficientes de absorção, associadas com as regiões onde ocorrem os maiores valores da função de Planck. Fortes contribuições para a taxa de resfriamento são esperadas nas fortes bandas de absorção de  $6,3$  e  $15 \text{ }\mu\text{m}$  (isto é,  $1587,3$  e  $666,7 \text{ cm}^{-1}$ ). Pela Figura 4 pode-se

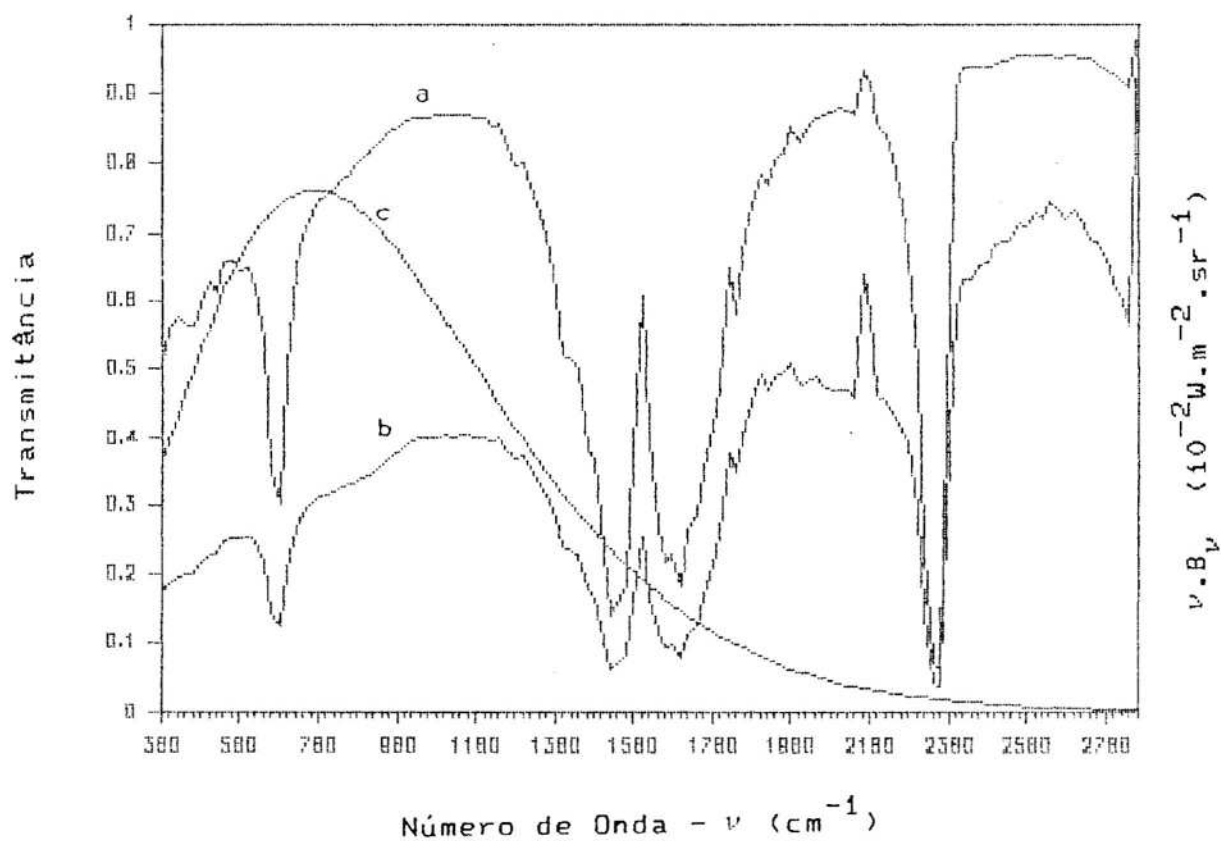


FIGURA 4 - Transmitância Espectral Total da Nuvem para um Caminho Ótico de  $20_3 \text{m}$ .  $\text{CAL} = 0,114 \text{ g/m}^3$  (Curva "a");  $\text{CAL} = 1,034 \text{ g/m}^3$  (Curva "b"). A Curva "c" Representa a Função de Planck à Temperatura de  $275,2 \text{ K}$ , Multiplicada pelo Número de Onda.

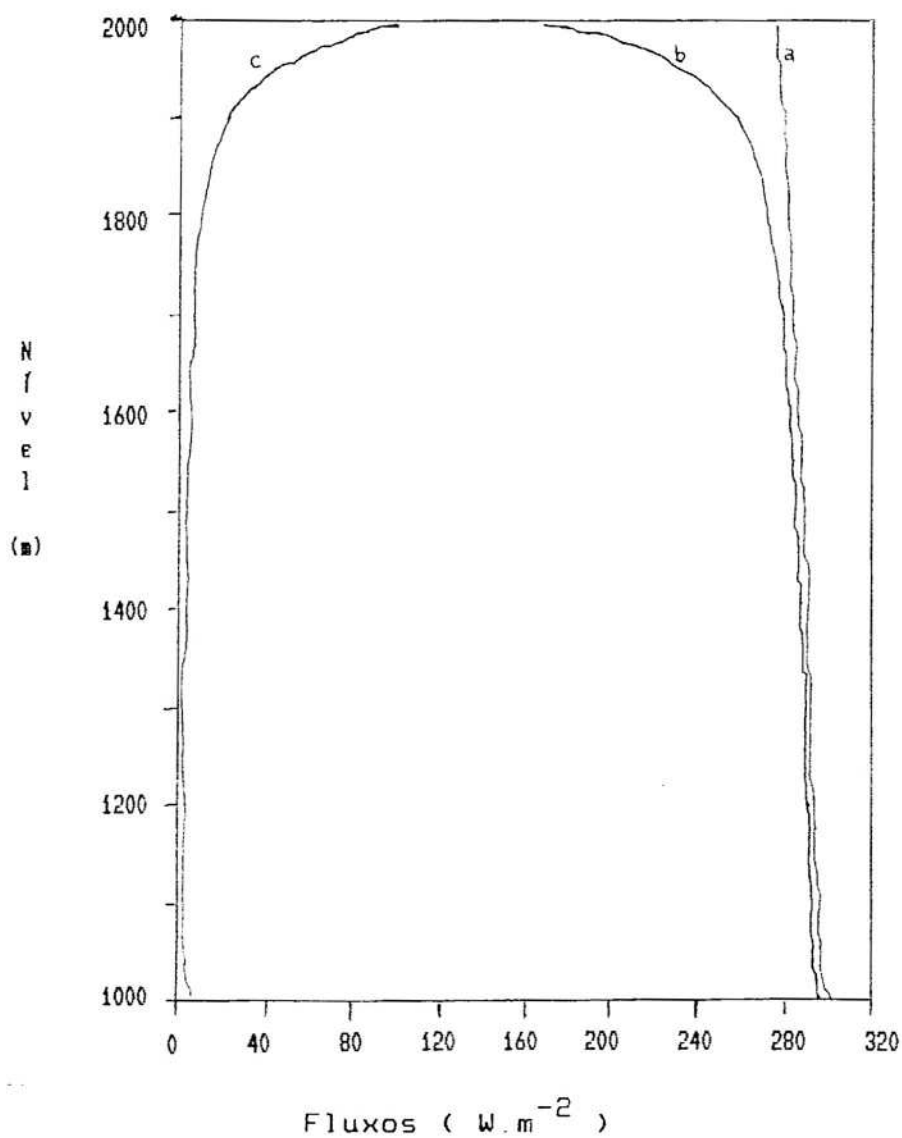


FIGURA 5 - Densidades de Fluxos de Radiação para uma Nuvem com Espessura de 1 km e com CAL = 0,114 g/m<sup>3</sup> (Nuvem A, Quadro 1). A Integração Espectral Foi Feita de 350 a 2850 cm<sup>-1</sup>. Curva "a": Fluxo para Cima; Curva "b": Fluxo para Baixo; Curva "c": Saldo de Radiação.

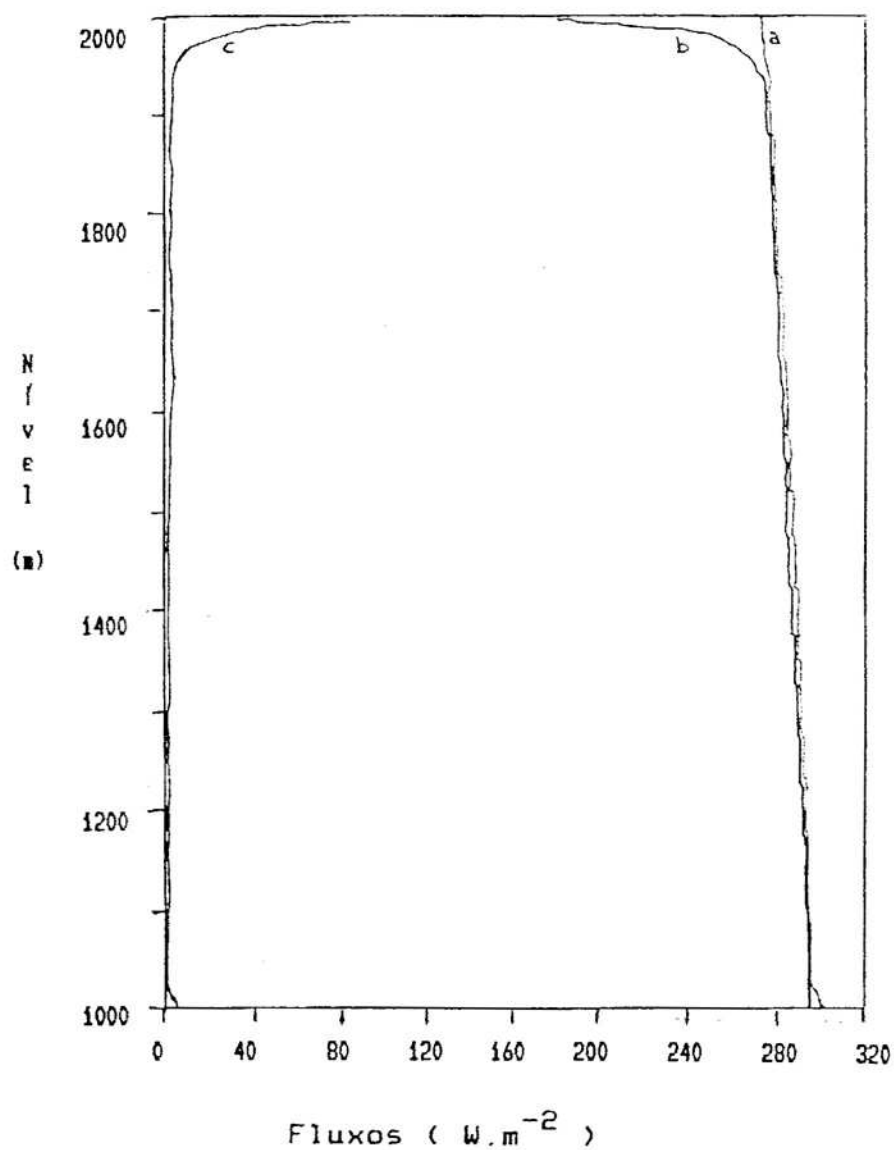


FIGURA 6 - Densidades de Fluxos de Radiação para uma Nuvem com Espessura de 1 km e com CAL =  $1,034 g/m^3$  (Nuvem B, Quadro 1). A<sub>1</sub> Integração Espectral Foi Feita de 350 a 2850  $cm^{-1}$ . Curva "a": Fluxo para Cima; Curva "b": Fluxo para Baixo e Curva "c": Saldo de Radiação.

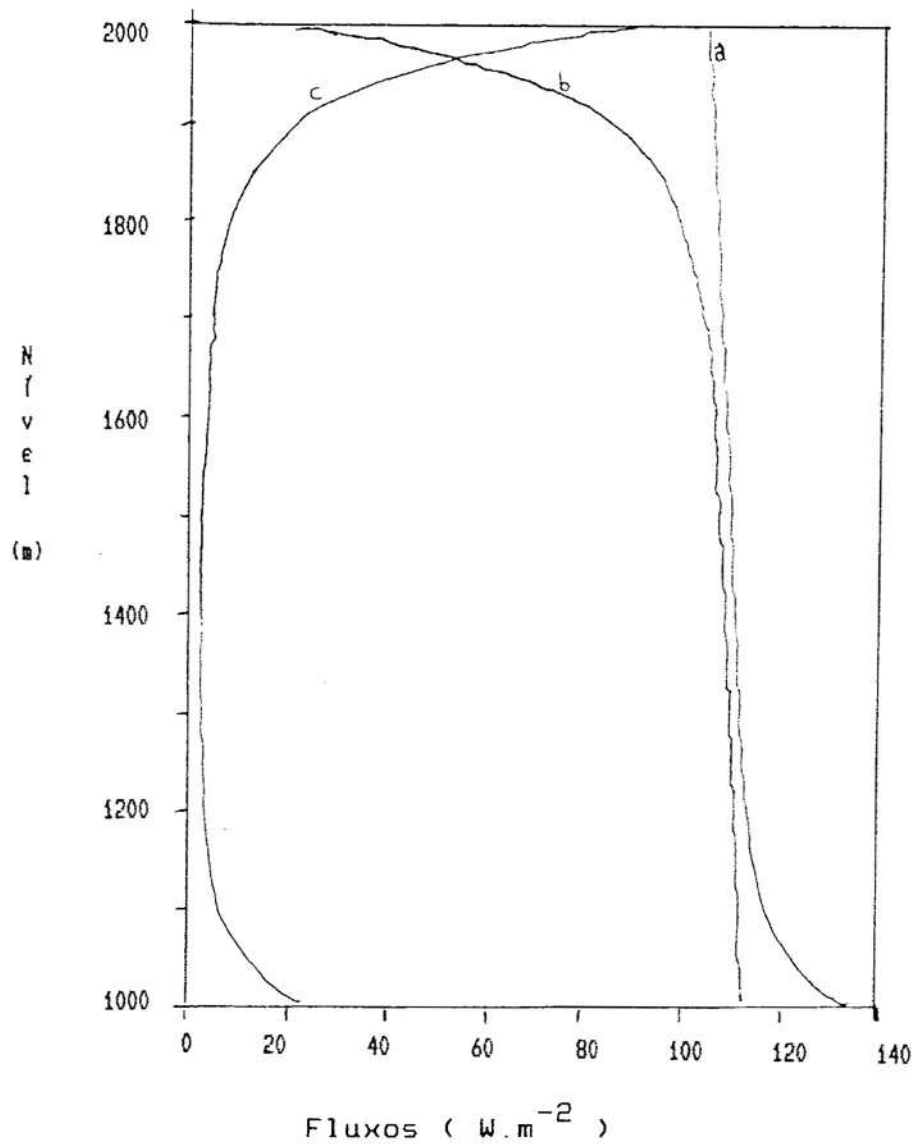


FIGURA 7 - Densidades de Fluxos de Radiação para uma Nuvem com Espessura de 1 km e com CAL = 0,114 g/m<sup>3</sup> (Nuvem A, Quadro 1). A Integração Espectral Foi Feita de 750 a 1250 cm<sup>-1</sup>. Curva "a": Fluxo para Cima; Curva "b": Fluxo para Baixo; Curva "c": Saldo de Radiação.

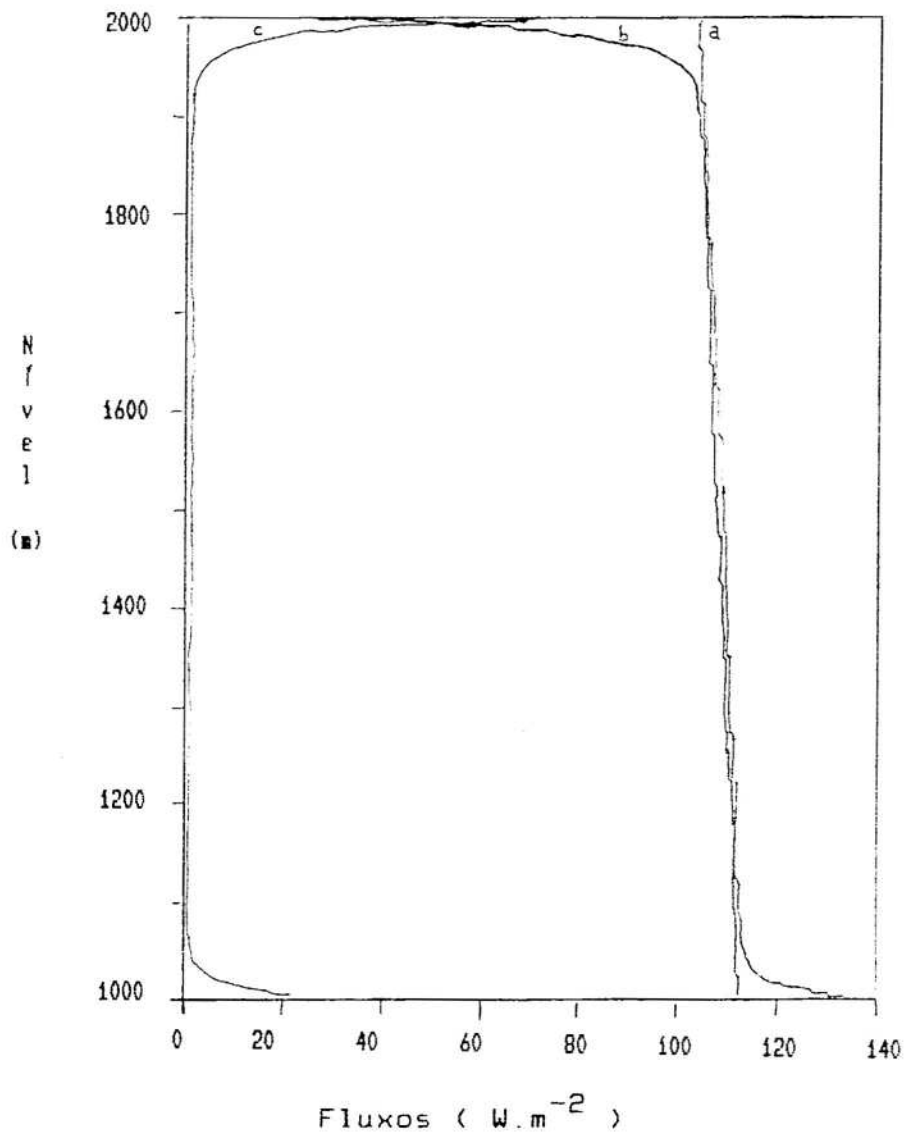


FIGURA 8 - Densidades de Fluxos de Radiação para uma Nuvem com Espessura de 1 km e com CAL = 1,034 g/m<sup>3</sup> (Nuvem B, Quadro 1). A Integração Espectral Foi Feita de 750 a 1250 cm<sup>-1</sup>. Curva "a": Fluxo para Cima; Curva "b": Fluxo para Baixo; Curva "c": Saldo de Radiação.

notar que a absorção na banda de  $6,3 \mu\text{m}$  ( $1587,3 \text{ cm}^{-1}$ ) é mais forte que a absorção em  $15 \mu\text{m}$  ( $666,7 \text{ cm}^{-1}$ ). Por outro lado, os valores da função de Planck, encontrados próximo ao pico de  $15 \mu\text{m}$ , são maiores que aqueles próximo ao pico de  $6,3 \mu\text{m}$ . Há, então, uma compensação entre a absorção e a quantidade de energia envolvida próximo a esses picos, podendo assim ser explicada a maior taxa de resfriamento radiativo encontrada em  $15 \mu\text{m}$ , em relação àquela em  $6,3 \mu\text{m}$ .

A Figura 9 mostra as taxas de resfriamento radiativo das nuvens A ( $\text{CAL}=0,114 \text{ g/m}^3$ ) e B ( $\text{CAL}=1,034 \text{ g/m}^3$ ) do Quadro 1, calculadas no presente trabalho para o intervalo de números de ondas de  $350$  a  $2850 \text{ cm}^{-1}$ , para diferentes níveis no interior das nuvens. A curva "a" representa a taxa de resfriamento para a nuvem A e a curva "b", a taxa de resfriamento para a nuvem B. Pode-se notar, na Figura 9, que a nuvem B apresenta taxas de resfriamento radiativo maiores que a nuvem A, o que se deve ao fato de a nuvem B apresentar coeficientes de absorção maiores do que a nuvem A (devido ao seu maior conteúdo de água líquida e maior raio efetivo, como pode ser visto no Quadro 2). A Figura 10 mostra também as taxas de resfriamento radiativo para as nuvens A e B, porém calculadas para a região da janela atmosférica. As curvas "a" e "b" representam o mesmo que na Figura 9. A nuvem com CAL de  $1,034 \text{ g/m}^3$ , na região da janela atmosférica, apresenta um grande resfriamento, uma vez que tal nuvem possui alto coeficiente de absorção nessa região. A nuvem com CAL de  $0,114 \text{ g/m}^3$ , por outro lado, apresenta menor coeficiente de absorção, o que, em consequência, propicia uma taxa de

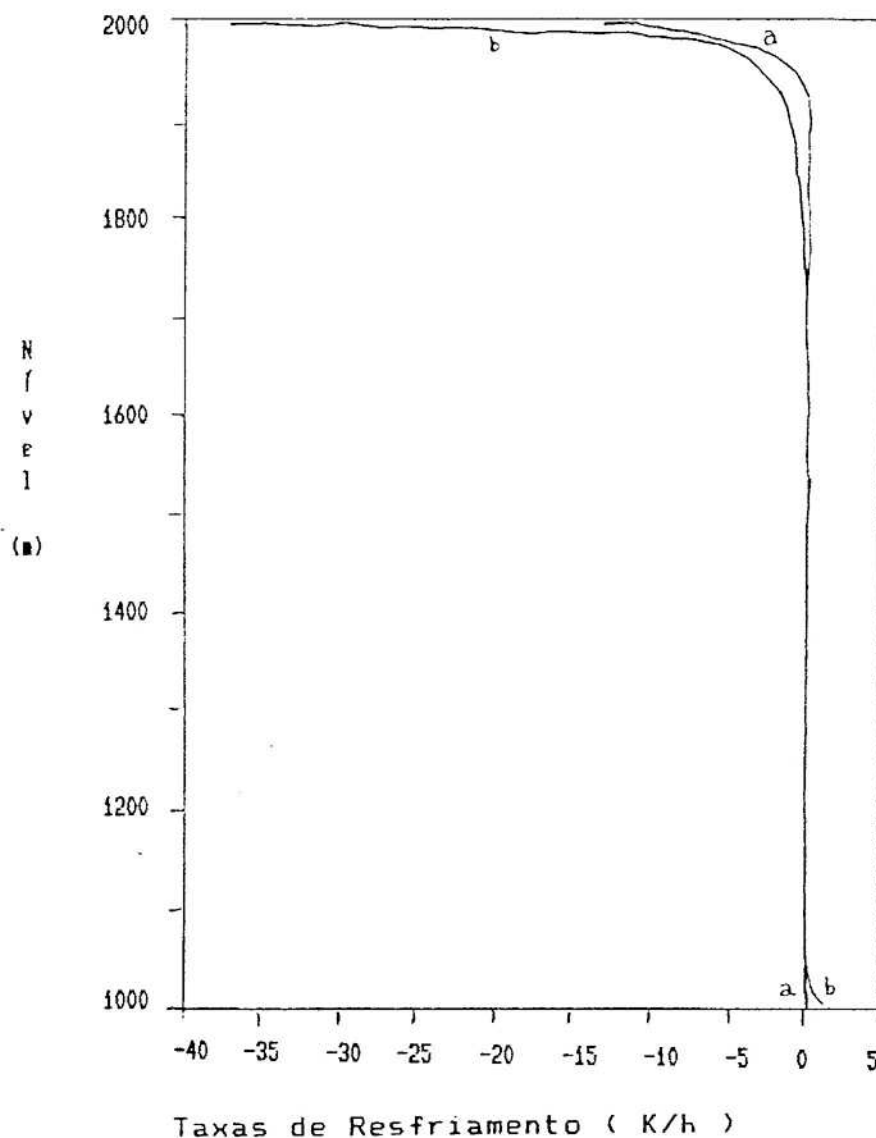


FIGURA 9 - Taxas de Resfriamento Radiativo das Nuvens A (CAL=0,114 g/m<sup>3</sup>) e B (CAL=1,034 g/m<sup>3</sup>) do Quadro 1, Calculadas para o Intervalo de Número da Ondas de 350 a 2850 cm<sup>-1</sup>, para Diferentes Níveis. Curva "a": Taxas de Resfriamento para a Nuvem A; Curva "b": Taxas de Resfriamento para a Nuvem B.

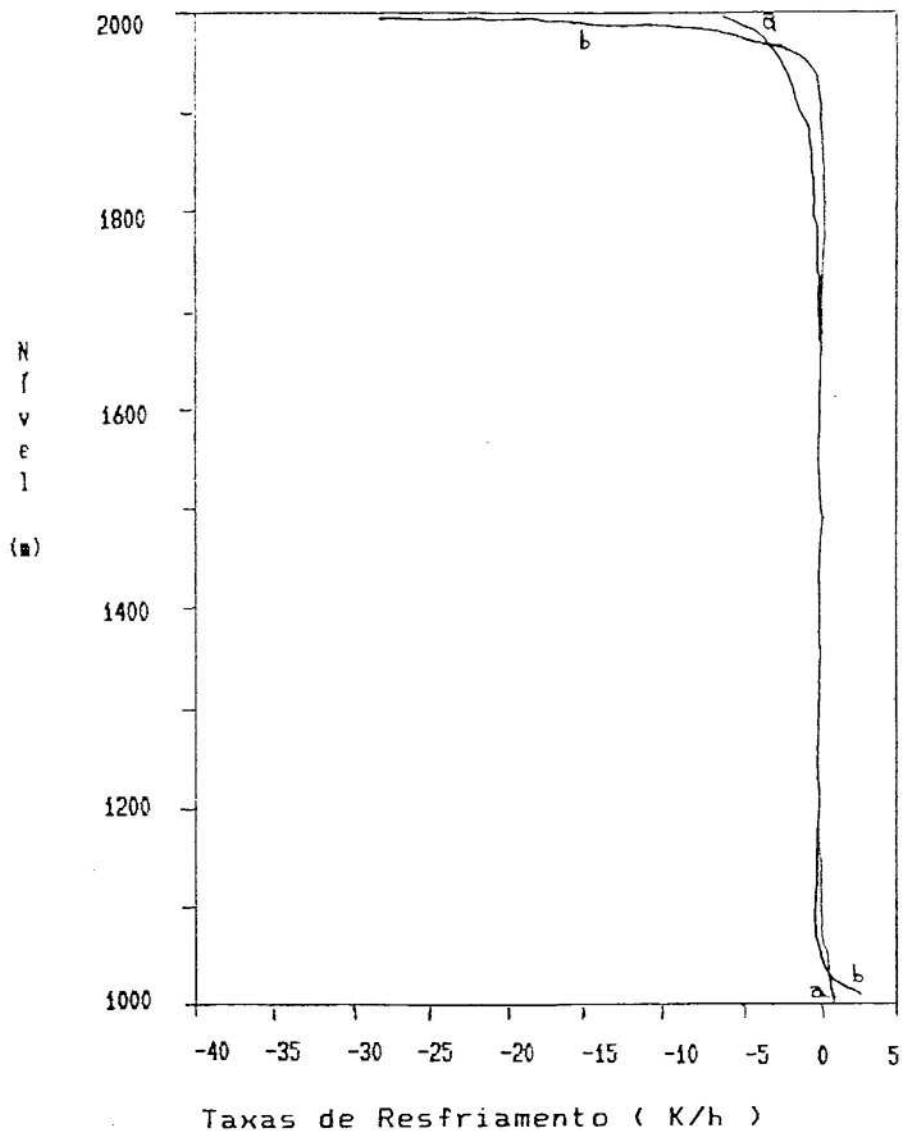


FIGURA 10 - Taxas de Resfriamento Radiativo das Nuvens A (CAL=0,114 g/m<sup>3</sup>) e B (CAL=1,034 g/m<sup>3</sup>) do Quadro 1, Calculadas para a Região da Janela Atmosférica (750 a 1250 cm<sup>-1</sup>), para Diferentes Níveis. Curva "a": Taxas de Resfriamento para a Nuvem A; Curva "b": Taxas de Resfriamento para a Nuvem B.

resfriamento bem menor.

A título de ilustração a Figura 11 mostra a radiância espectral incidente no topo da camada de nuvens, com ângulo de 60 graus. Cálculos efetuados mostram que na faixa de 350 a 2850  $\text{cm}^{-1}$ , a densidade de fluxo incidente é da ordem de 2085,35  $\text{W/m}^2$  (área sob a curva "a"). Na região da janela atmosférica de 750 e 1250  $\text{cm}^{-1}$ , entretanto, a densidade de fluxo incidente no topo é de apenas 238,09  $\text{W/m}^2$ , o que equivale a uma pequena fração do fluxo emitido por um corpo negro na mesma região espectral, à temperatura do topo da nuvem (cerca de 1634,65  $\text{W/m}^2$ ). O resultado líquido desses dois efeitos, por um lado o resfriamento devido à emissão interna pela nuvem (que se comporta aproximadamente com um corpo negro), especialmente na janela atmosférica, e por outro um aquecimento devido à absorção da contra-radiação atmosférica na mesma faixa espectral (janela atmosférica), corresponde a um resfriamento radiativo da região próxima ao topo das nuvens, como visto anteriormente (Figuras 9 e 10).

O Quadro 4 apresenta as taxas de resfriamento radiativo obtidas no presente trabalho, para a região próxima ao topo das nuvens e a 10 m abaixo, em diferentes faixas espectrais. Como era de se esperar, a nuvem opticamente mais espessa (maior coeficiente de absorção) apresenta maior taxa de resfriamento nas duas regiões espectrais consideradas.

Observe que a região da janela atmosférica contribuiu com 75% do resfriamento líquido próximo ao topo, e com 74% a 10 m abaixo do topo, para a nuvem com CAL igual a

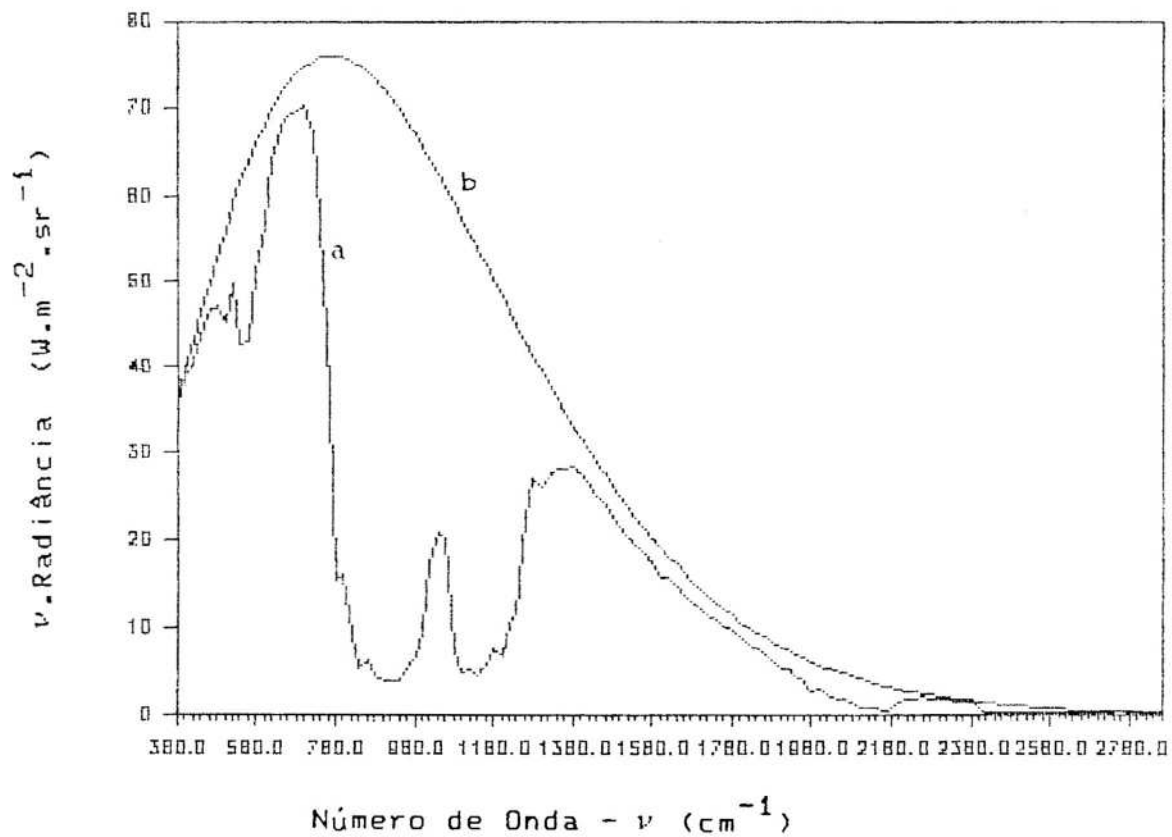


FIGURA 11 - Radiância Espectral Dirigida para Baixo, Multiplicada pelo Número de Onda, na Altura de 2 km na Atmosfera-padrão USA - 1962 (Ângulo Zenital de 60 Graus): Curva "a"; Radiância do Corpo Negro à Temperatura do Topo da Nuvem (275,2 K) Multiplicada pelo Número de Onda: Curva "b".

1,034 g/m<sup>3</sup>. Já para a nuvem mais tênue, com CAL igual a 0,114 g/m<sup>3</sup>, a contribuição da janela foi de 72% próximo ao topo e de 60% a 10 m abaixo do topo. Este resultado vem mostrar que, em contraposição a STEPHENS (1978), a região extrajanela pode também ser importante no que tange aos cálculos de resfriamento radiativo em nuvens.

QUADRO 4. Taxas de Resfriamento Radiativo em Diferentes Regiões do Espectro para Nuvens Sem Inversão Térmica Acima do seu Topo

Nuvem	CAL <sub>3</sub> (g/m <sup>3</sup> )	região no interior da nuvem	taxa de resfriamento (K/h)	
			TOTAL	JANELA
A	0,114	topo	8,0	5,8
		10 m (*)	7,8	4,7
B	1,034	topo	34,9	26,2
		10 m (*)	14,3	10,6

TOTAL : 350 - 2850 cm<sup>-1</sup>  
 JANELA: 750 - 1250 cm<sup>-1</sup>  
 (\*) : abaixo do topo

No sentido de validar o modelo ora desenvolvido, o qual utiliza o raio efetivo da população de gotículas, os resultados foram comparados com os obtidos por ALVES (1987), para as mesmas nuvens e condições termodinâmicas (porém procedendo-se à integração da seção transversal das gotículas d'água em toda a sua população). Os resultados são apresentados no Quadro 5. Nota-se que os valores obtidos neste trabalho foram bem próximos daqueles obtidos por ALVES (1987),

apresentando discrepâncias relativamente pequenas, tanto na região da janela atmosférica quanto em todo o espectro. Tais discrepâncias, em termos gerais, são aceitáveis nos principais tipos de modelagens atmosféricas, que envolvam estimativas de taxas de resfriamento radiativo, como, por exemplo, os modelos sobre variações climáticas; os modelos do tipo "mixed layer" sobre a camada limite planetária etc.

QUADRO 5. Taxas de Resfriamento Radiativo em Diferentes Regiões do Espectro, Calculadas por ALVES (1987) (1) e as Obtidas neste Trabalho (2)

Nuvem	CAL <sub>3</sub> (g/m <sup>3</sup> )	região no interior da nuvem	taxa de resfriamento (K/h)			
			TOTAL		JANELA	
			(1)	(2)	(1)	(2)
A	0,114	topo	10,3	8,0	5,2	5,8
		10 m (*)	7,1	7,8	4,6	4,7
B	1,034	topo	36,6	34,9	26,3	26,2
		10 m (*)	12,8	14,3	10,1	10,6
TOTAL : 100-2850 cm <sup>-1</sup> (faixa espectral usada por ALVES (1987))						
JANELA : 350-2850 cm <sup>-1</sup> (faixa espectral usada neste trabalho)						
(*) : abaixo do topo						

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Um detalhado modelo de transferência de radiação foi desenvolvido, a fim de determinar a taxa de resfriamento radiativo na presença de nuvens, na região do infravermelho entre 350 e 2850  $\text{cm}^{-1}$ , com alta resolução vertical, especialmente próximo ao topo das nuvens, onde os fluxos variam rapidamente com a altura. Este modelo usa as funções de transmissão do código LOWTRAN 6 com resolução espectral de 20  $\text{cm}^{-1}$ . As propriedades óticas das gotículas d'água foram determinadas pelo código Mie de Wiscombe e foi utilizado o raio efetivo da distribuição de gotículas para os cálculos do coeficiente de absorção das nuvens. O espalhamento da radiação de ondas longas, segundo ALVES e DAVIES (1986), tem um efeito menor do que 5% nos cálculos das taxas de resfriamento radiativo, e foi, portanto, desprezado no presente trabalho, uma vez que a incerteza nominal associada às funções de transmissão dos melhores métodos de transferência de radiação que usam estreitas faixas espectrais é dessa mesma ordem.

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que o raio efetivo da distribuição de gotículas pode ser usado, ao invés de proceder-se à integração da seção transversal das gotículas d'água em toda a sua população, para o cálculo dos coeficientes de absorção das nuvens. As diferenças foram pequenas, da mesma ordem de grandeza da incerteza nominal associada às funções de transmissão usadas nos melhores métodos de transferência de radiação, de estreitas faixas espectrais.

As taxas de resfriamento radiativo mostraram estar fortemente relacionadas com o conteúdo de água líquida (CAL) da nuvem.

A resolução espectral do modelo mostrou ser também importante na determinação da taxa de resfriamento para a região próxima ao topo das nuvens. A contribuição da janela atmosférica variou de acordo com o conteúdo de água líquida e com a posição dentro da nuvem, como ilustrou a Figura 10. No topo da nuvem a janela atmosférica apresentou uma contribuição para a taxa de resfriamento atmosférico que variou de 72 a 75% para nuvens com CAL de 0,114 e 1,034 g/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Os valores das taxas de resfriamento radiativo obtidos para a região próxima ao topo das nuvens A e B foram, respectivamente, de 8,0 e 34,9 K/h. Tais valores quando comparados com aqueles obtidos por ALVES (1987), que utilizou um modelo mais detalhado, procedendo à integração da seção transversal das gotículas d'água em toda a sua população, apresentaram discrepâncias aceitáveis para os principais tipos de modelagens atmosféricas.

## BIBLIOGRAFIA

## 5. BIBLIOGRAFIA

- ALVES, A.R. On the interactions of longwave radiation, micro-physics, and turbulence in boundary layer clouds. Purdue: Purdue University, 1987. 184 p. (Tese Ph.D.)
- ALVES, A.R., DAVIES, R. The response of cloud tops to radiative forcing. In: CONFERENCE ON ATMOSPHERIC RADIATION, 6, 1986, Williamsburg. Proceedings... Williamsburg: American Meteorological Society, 1986. p. 39-42.
- DEARDORFF, J.W. On the entrainment rate of a stratocumulus-topped mixed layer. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., v.102, p. 563-582, 1976.
- FEIGELSON, E.M. Radiant heat transfer in a cloudy atmosphere. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations, 1973. 191 p.
- FRAVALD, C., FOUQUART, Y., ROSSET, R. The sensitivity of a model of low stratiform clouds to radiation. J. Atmos. Sci., v. 38, p. 1049-1062, 1981.
- GOODY, R.M. Atmospheric radiation, I. Theoretical basis. Oxford: Clarendon Press, 1964. 436 p.
- HALE, G.M., QUERRY M.R. Optical constants for water in the 200-nm to 200- $\mu$ m wavelength region. Appl. Opt., v. 12, p. 555- 563, 1973.

- IRVINE, W.M., POLLACK, J.B. Infrared optical properties of water and ice spheres. Icarus, v.8, p. 324-360, 1968.
- KHVOROST'YANOV, V.I. Schematization of the atmosphere's longwave radiation spectrum for cloud and fog models on the basis of high vertical resolution spectral calculations. Atmos. Ocean. Phys., v.17, p.758-764, 1981.
- KNEIZYS, F.X., SHETTLE E.P., GALLERY, W.D. et al. Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOWTRAN 6. Hanscom AFB, MA: Air Force Geophysics Laboratory, 1983. 200 p. (AFGL - TR - 83 - 0187).
- LILLY, D.K. Models of cloud-topped mixed layers under strong inversion. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., v.94, p.292-309, 1968.
- McCLATCHEY, R.A., FENN, R.W., SELBY, J.E.A. et al. Optical properties of the atmosphere. Bedford, MA: Air Force Cambridge Research Laboratories, 1971. 85p. (AFCRL-71-0279).
- STEPHENS, G. L. Radiation Profiles in Extended Water Clouds. I, Theory. J. Atmos. Sci., v.35, p.2111-2122, 1978.
- TWOMEY, S. Radiative effects in California stratus. Contr. Atmos. Phys., v.56, p.429-439, 1983.
- WELCH, R.M., COX, S.K.. The effect of monomodal drop size distributions, cloud top heights, cloud thickness and vertical water vapor profiles upon cloud heating rates and the cloud radiation field. In: WELCH, R.M., COX, S.K., DAVIS. Solar Radiation and Clouds. Boston, MA. American Meteorological Society, 1980. p.3-21 (Meteor. monogr., 39).
- WISCOMBE, W.J. Mie Scattering Calculations: advances in technique and fast, vector-speed computer codes. Boulder, CO: National Center for Atmospheric Research, 1979. 91 p. (NCAR Tech. Note TN-140+STR).
- WISCOMBE, W.J. Atmospheric Radiation. Rev. Geo. Space Phys., New York, p. 997-1021, 1983.
- YAMAMOTO, G., TANAKA, M., ASANO, S. Radiative heat transfer in water clouds by infrared radiation. J. Quant. Spectr. Radiat. Transfer, v.11, p. 697-708, 1971.

APÊNDICES

## APÊNDICE A

## Estrutura computacional

Os programas utilizados para obter os dados foram desenvolvidos em Fortran 77.

A Figura 1A mostra a estrutura do programa principal, que calcula a taxa de resfriamento radiativo em nuvens.

O programa LOW61.FTN é parte do programa principal LOWTRAN 6, criado por KNEIZYS et al. em junho de 1983, que foi modificado por ALVES em novembro de 1989. Este programa fornece dados de transmitâncias e radiâncias. As sub-rotinas utilizadas neste programa não são aqui listadas, pois as mesmas encontram-se no código LOWTRAN 6.

Os arquivos TRANS.DAT, KDROP.DAT e LW.DAT são arquivos de dados que foram gerados a partir dos programas que são listados no APÊNDICE B. Por esta razão, esses arquivos não são listados neste trabalho. Para gerá-los basta rodar os respectivos programas. Ou seja, para se obter TRANS.DAT, que é um arquivo que contém os dados de transmitâncias monocromáticas dos gases, utilizou-se o programa fonte TRANSM.FTN. O arquivo KDROP.DAT, que contém os valores dos coeficientes de absorção das gotículas da nuvem, foi gerado pelo programa fonte KDROPDAT.FTN. Este programa foi executado duas vezes, uma vez para a nuvem A e outra para a nuvem B. Finalmente, o arquivo LW.DAT, que contém os valores das radiâncias incidentes no topo da nuvem, foi gerado pelo programa fonte RAD.FTN.

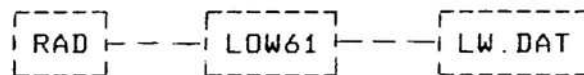
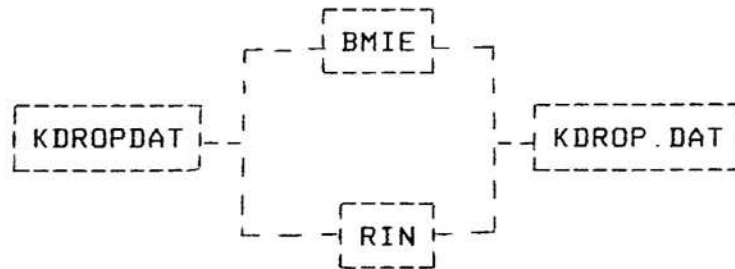
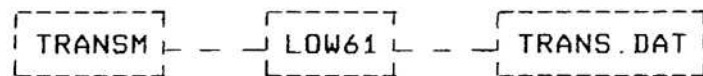
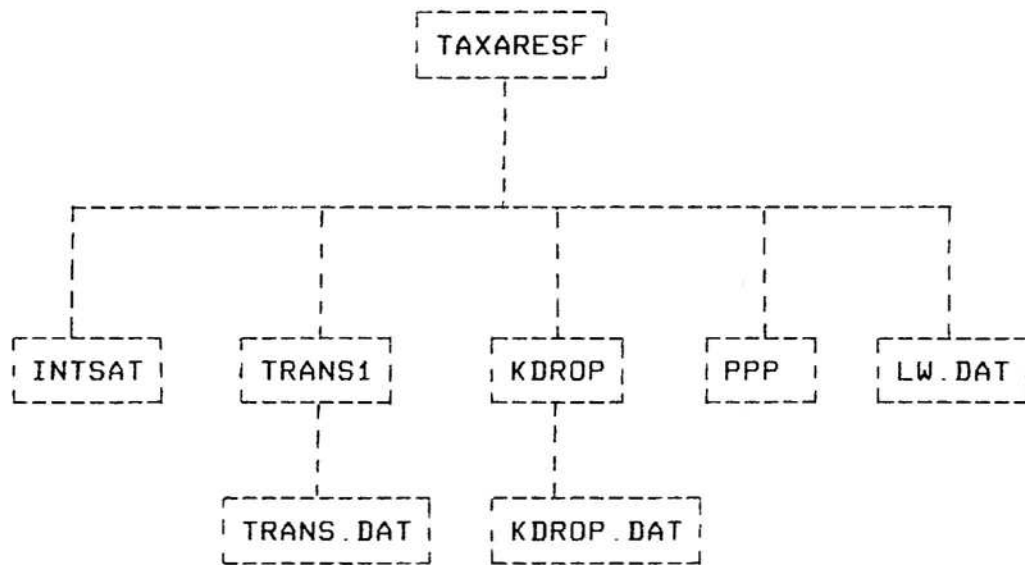


FIGURA 1A - Estrutura do Programa Principal que Calcula a Taxa de Resfriamento Radiativo em Nuvens.

## APÊNDICE B

Listagem de alguns programas computacionais

```

C-----
C          *** TAXARES.FTN   ABR / 90   ***
C-----
C ESTE PROGRAMA, CRIADO POR ALVES EM MAI/86 E MODIFICADO POR
C CLAUDIA EM ABR/90, CALCULA TAXAS DE RESFRIAMENTO RADIATIVO
C PARA DIFERENTES NIVEIS DENTRO DA NUVEM.
C CHAMA AS SUBROTINAS: INTSAT, TRANS1, PPP E KDROP.
C USA OS SEGUINTE ARQUIVOS DE DADOS: TRANS, KDROP E LW.
C
C CASO INTERNO: EMISSAO DA RADIACAO DE ONDAS LONGAS DE 360 A
C                2840 ( CM-1 )
C CASO EXTERNO: ABSORCAO DA RADIACAO DE ONDAS LONGAS DE 360 A
C                2840 ( CM-1 )
C
C AS FUNCOES DE TRANSMISSAO DOS GASES SAO CALCULADAS USANDO
C LOWTRAN6 PARA NUMEROS DE ONDA ENTRE 360 E 2840 CM-1.
C
C OS CAMINHOS OTICOS SAO DETERMINADOS BASEADOS NAS CONDICOES
C DO TOPO DA NUVEM: T = 275.2 K ,      WV = 5.576 G/M**3,
C P = 795 MB.
C
C AS FUNCOES DE TRANSMISSAO EXPONENCIAL DAS GOTICULAS SAO CAL
C CULADAS USANDO OS COEFICIENTES DE ABSORCAO DA TEORIA DE MIE.
C
C NN = NUMERO DE NUMEROS DE ONDA (125)
C NTL = NUMERO DE CAMINHOS PARA OS DADOS DE TRANSMISSAO (21)
C NLE = NUMERO DE NIVEIS DA NUVEM (35)
C NLA = NUMERO DE CAMADAS (34)
C-----
C          COMMON/TRANSM/ TRA(125,21)
C          COMMON/DROPLET/ WVN(125), ABS(125)
C          DIMENSION RLW(125,3), ZLEV(35), FUP(35), FDO(35), WI(3),
C          # AMUI(3), FUPEXT(35), FDOEXT(35), DFDZIN(34), DFDZEXT(34),
C          # UH2O(34), ZBAR(34), TBAR(34), PBAR(34), ES(34), DTDT(35)
C
C          DATA PI/3.1415926/
C
C          DATA ZLEV/1000., 1020., 1040., 1060., 1080., 1100., 1150.,
C          # 1200., 1250., 1300., 1400., 1500., 1600., 1700., 1750.,
C          # 1800., 1850., 1900., 1910., 1920., 1930., 1940., 1950.,
C          # 1960., 1970., 1980., 1985., 1990., 1992., 1994., 1996.,
C          # 1998., 1999., 1999.5, 2000./
C
C          ABSCISSAS E PESOS
C          DATA AMUI/ 0.88729833, 0.5, 0.11270166/
C          DATA WI/ 0.27777777, 0.44444444, 0.27777777/
C-----
C AL - J/KG
C CP - J/KG.K

```

```

C   TSTAR - TEMPERATURA DE REFERENCIA ACIMA DA NUVEM (=TTOP)
C   ZLEV(35)           ALTURA DO TOPO DA NUVEM (M)
C   ZLEV(1)           NIVEL DA BASE DA NUVEM
C-----
C       AL=2.5E6
C       CP=1005.
C       MODEL=6
C       TSTAR=275.2
C
C           RAZAO DE MISTURA CTE.
C-----
C   PARAMETROS DE REFERENCIA
C
C   TREF(K)-TEMP. DE REF. DO TOPO DA NUVEM PARA VALORES DA
C   FUNCAO DE TRANSM.
C   PREF(MB)-PRESSAO DE REF.
C   WVREF(G/M**3)-DENSIDADE DE REF. DO VAPOR
C   UREF(G/CM**2/M)-CAMINHO DE REF.
C-----
C       TREF= 275.2
C       PREF=795.
C       WVREF=5.576
C       UREF=1.0E-4*WVREF*((PREF/1013.25)*SQRT(273./TREF))**0.9
C-----
C   ZBAR(M), WVBAR(G/M**3), PBAR(MB) E TBAR(K) P/ TODAS CAMADAS:
C-----
C           PERFIL ADIABATICO
C       TTOP = 275.2
C       WRITE(*,*) 'ENTRE COM A TEMP. DA SUP., TBOUND(K)'
C       READ(*,*) TBOUND
C
C       DO 78 I=1,34
C         ZBAR(I)=(ZLEV(I)+ZLEV(I+1))/2.
C         ZKM=ZBAR(I)/1000.
C         CALL INTSAT(MODEL,ZKM,TTT,PBAR(I),WWW)
C         TBAR(I)=TTOP+(5./1000.)*(ZLEV(35)-ZLEV(I))
C       WRITE(*,210) ZBAR(I),PBAR(I),TBAR(I)
C       78   CONTINUE
C       210  FORMAT (3 (1X,F15.2))
C-----
C   WVN = NUMERO DE ONDA (CM-1)
C   TRA = TRANSMITANCIA ESPECTRAL P/ O CAMINHO PL
C   PL = CAMINHO (M)
C   ABS = COEF. DE ABSORCAO DA GOTICULA
C   LW = DADOS DE TRANSMITANCIA
C-----
C       OPEN(1,FILE='TRANS.DAT',STATUS='OLD')
C         DO 41 J=1,21
C           DO 42 I=1,125
C             READ(1,212) V,X,TRA(I,J),ANGLE
C           42   CONTINUE
C           41   CONTINUE
C       212  FORMAT(2X,F9.2,3X,F10.4,3X,E11.4,5X,F8.2)
C       CLOSE(1)
C-----

```

```

OPEN(2,FILE='KDROP.DAT ',STATUS='OLD')
DO 43 I=1,125
  READ(2,213)WVN(I),ABS(I)
43      CONTINUE
213    FORMAT(F7.2,22X,E13.6)
      CLOSE(2)
-----
C
C
C      LER EM LW.DAT AS RADIANCIAS NO TOPO DA NUVEM
C      ( RLW: W/M**2/SR/CM-1)
C
-----
81 OPEN (3,FILE='LW.DAT',STATUS='OLD',FORM='FORMATTED')
DO 98 J=1,3
DO 108 N=1,125
  READ(3,185) V,TETA,RLW(N,J)
108    CONTINUE
  98    CONTINUE
185    FORMAT(2X,F9.2,3X,F6.2,3X,E11.4)
      CLOSE(3)
C
-----
C      CALCULO DAS QTIDADES ABSORVEDORAS DO VAPOR DAGUA -
C      UH20 (ESCALA LOWTRAN)
C
-----
DO 10 I=1,34
C ES - PRESSAO DE SAT. (MB)
C ROS - DENSIDADE DE SAT. DO VAPOR (G/M**3)
C UH20- CAMINHO (G/CM**2/M)
C
      ES(I)=6.1078*EXP(17.2693882*(TBAR(I)-273.16)/
#      (TBAR(I)-35.86))
C
      ROS=ES(I)*1.E5/(461.5*TBAR(I))
C
      UH20(I)=1.0E-4*ROS*((PBAR(I)/1013.25)*SQRT
#      (273./TBAR(I)))*0.9
10 CONTINUE
C
C*****
C
C      PARTE I: CAMPO INTERNO (EMISSAO PELA NUVEM)
C
C*****
C
C      FLUXOS PARA CIMA
C
C      ... DO 20 - NIVEIS ...
DO 20 I=2,35
  FLUX=0.
C
C      ... DO 25 - DIRECOES ...
DO 25 KK=1,3
C
C      ... DO 120 - NUMERO DE ONDAS ...
DO 120 L=360,2840,20
  W=FLOAT(L)

```

```

C
C          ... DO 130 - CAMADAS ...
C      DO 130 J=1,I-1
C          U=0.
C          DO 140 K=J,I-1
C          U=U+UH20(K)
140      CONTINUE
C          V=U-UH20(J)
C          XL1=(ZLEV(I)-ZLEV(J))/AMUI(KK)
C          XL2=(ZLEV(I)-ZLEV(J+1))/AMUI(KK)
C
C      PATH1 - CAMINHO EQUIVALENTE (M)
C          PATH1=U*XL1/UREF
C          PATH2=V*XL2/UREF
C
C      CALL TRANS1(W,PATH1,TRG1)
C      CALL TRANS1(W,PATH2,TRG2)
C      CALL KDROP(W,ABS DR)
C      TRD1=EXP(-ABS DR*XL1)
C      TRD2=EXP(-ABS DR*XL2)
C      DELTR=TRG2*TRD2-TRG1*TRD1
C          ----- BB: W/M**2/SR/CM-1 -----
C      CALL PPP(TBAR(J),W,BB)
C
C      FLUX=FLUX+2.*PI*BB*20.*WI(KK)*AMUI(KK)*DELTR
C
C      130 CONTINUE
C      120 CONTINUE
C      25  CONTINUE
C          FUP(I)=FLUX
C      20  CONTINUE
C-----
C
C          FLUXOS PARA BAIXO
C
C          ... DO 30 - NIVEIS ...
C
C      DO 30 I=1,34
C          FLUX=0.
C
C          ... DO 35 - DIRECOES ...
C      DO 35 KK=1,3
C
C          ... DO 40 - NUMEROS DE ONDA ...
C
C      DO 40 L=360,2840,20
C          W=FLOAT(L)
C
C          ... DO 50 - CAMADAS ...
C      DO 50 J=34,I,-1
C          U=0.
C          DO 141 K=I,J
C          U=U+UH20(K)
141      CONTINUE
C          V=U-UH20(J)
C          XL1=(ZLEV(J+1)-ZLEV(I))/AMUI(KK)
C          XL2=(ZLEV(J)-ZLEV(I))/AMUI(KK)

```

```

C          PATH1=U*XL1/UREF
          PATH2=V*XL2/UREF
C
          CALL TRANS1(W,PATH1,TRG1)
          CALL TRANS1(W,PATH2,TRG2)
          CALL KDROP(W,ABSDR)
          TRD1=EXP(-ABSDR*XL1)
          TRD2=EXP(-ABSDR*XL2)
          DELTR=TRG2*TRD2-TRG1*TRD1
          CALL PPP(TBAR(J),W,BB)
C
          FLUX=FLUX+2.*PI*BB*20.*WI(KK)*AMUI(KK)*DELTR
C
50      CONTINUE
40      CONTINUE
35      CONTINUE
          FDO(I)=FLUX
30      CONTINUE
C*****
C
C      PARTE II:  CAMPO EXTERNO (ABSORCAO PELA NUVEM)
C*****
C
C          FLUXOS PARA BAIXO
C
C          ... DO 90 - NIVEIS ...
C
C          DO 90 I=35,1,-1
          FLUX=0.
C
C          ... DO 95 - DIRECOES ...
C
C          K=0
          DO 95 KK=1,3
          K=K+1
          M=0
C
C          ... DO 91 - NUMEROS DE ONDA ...
C
          DO 91 L=360,2840,20
          W=FLOAT(L)
          M=M+1
          R=RLW(M,K)
          IF(I.EQ.35) THEN
          TOTTR=1.
          GO TO 211
          ENDIF
          U=0.
          DO 92 J=34,I,-1
          U=U+UH20(J)
92      CONTINUE
          XL=(ZLEV(35)-ZLEV(I))/AMUI(KK)
          PATH=U*XL/UREF
C
          CALL KDROP(W,ABSDR)
          TRD=EXP(-ABSDR*XL)
C-----

```

```

C   BB: W/M**2/SR/CM-1
C   EMITOP - EMISSIVIDADE DO TOPO DA NUVEM
C-----
      CALL PPP(TSTAR,W,BBSTAR)
      EMITOP=R/BBSTAR
      IF (EMITOP.GT.1.) WRITE(*,*)'EMITOP=',EMITOP
      CALL TRANS1(W,PATH,TRG)
      TOTTR=TRG*TRD
211  FLUX=FLUX+2.*PI*R*20.*WI(KK)*AMUI(KK)*TOTTR
C
  91  CONTINUE
  95  CONTINUE
      FDOEXT(I)=FLUX
  90  CONTINUE
C-----
C
C           FLUXOS PARA CIMA
C
C           ... DO 29 - NIVEIS ...
      DO 29 I=1,35
      FLUX=0.
C           ... DO 79 - DIRECOES ...
      DO 79 KK=1,3
C           ... DO 39 - NUMEROS DE ONDA ...
      DO 39 L=360,2840,20
      W=FLOAT(L)
C
C           RADIANCIA BB DA SUPERFICIE
      CALL PPP(TBOUND,W,BLACK)
      IF(I.EQ.1) THEN
      TOTTR=1.
      GO TO 49
      ENDIF
      U=0.
      DO 59 J=1,I-1
      U=U+UH20(J)
59   CONTINUE
      XL=(ZLEV(I)-ZLEV(1))/AMUI(KK)
      PATH=U*XL/UREF
C
      CALL TRANS1(W,PATH,TRG)
      CALL KDROP(W,ABSDR)
      TRD=EXP(-ABSDR*XL)
      TOTTR=TRG*TRD
C
  49  FLUX=FLUX+2.*PI*BLACK*20.*WI(KK)*AMUI(KK)*TOTTR
C
  39  CONTINUE
  79  CONTINUE
      FUPEXT(I)=FLUX
  29  CONTINUE
C-----
C
      OPEN(4,FILE='TAXAS.DAT',STATUS='NEW')

```

```

      DO 100 I=1,35
      IF(I.LT.35) THEN
      DFDZIN(I)=(FUP(I)-FDO(I)-FUP(I+1)+FDO(I+1))/(ZLEV(I)
#           -ZLEV(I+1))
      DFDZEX(I)=(FUPEXT(I)-FDOEXT(I)-FUPEXT(I+1)+FDOEXT(I+1))/
# (ZLEV(I)-ZLEV(I+1))
      DFDZTT=DFDZIN(I)+DFDZEX(I)
C
C CONVER - K/H
C ROAIR - KG/M**3
C DTDI - K/S
C
      ROAIR=PBAR(I)*100./(287.*TBAR(I))
      ROCP=ROAIR*CP
      DTDI(I)=-DFDZTT/ROCP
C
      WRITE(4,103)ZBAR(I),DFDZIN(I),DFDZEX(I),DFDZTT,
#           DTDI(I)*3600.
      ENDIF
103  FORMAT(F7.2,3(2X,F11.4),2X,F8.3)
100  CONTINUE
      DTDI(35)=999.
      DO 13 I=1,35
      XYZ=FUP(I)-FDO(I)
      ZYX=FUPEXT(I)-FDOEXT(I)
      WRITE(4,102)ZLEV(I),FUP(I),FDO(I),FUPEXT(I),FDOEXT(I),
#           XYZ
102  FORMAT(F7.2,5(1X,F11.4))
      WRITE(4,101)ZYX
101  FORMAT(F11.4)
      13  CONTINUE
      CLOSE(4)
C-----
      STOP
      END

```

```

C-----
C           ***  INTSAT.FTN  MAR /90  ***
C-----
C CRIADA POR ALVES EM JUN/86, ESTA SUBROTINA INTERPOLA VALORES
C DE TEMPERATURA, PRESSAO E DENSIDADE DE VAPOR D'AGUA.
C
C      MODEL= PERFIL ATMOSFERICO PADRAO (6)
C      TT   = TEMPERATURA(K)
C      PP   = PRESSAO(MB);
C      WWV  = VAPOR D'AGUA(G/M**3)
C      Z    = NIVEL(KM)
C      NN   = NUMERO DE NIVEIS
C-----
C      SUBROUTINE INTSAT(MODEL,Z,TT,PP,WWV)
C
C      DIMENSION ALEV(34),T6(34),P6(34),WV6(34),T(34),P(34),
#           WV(34)

```

C

```

DATA ALEV/
1  0.,  1.,  2.,  3.,  4.,  5.,  6.,  7.,  8.,
2  9., 10., 11., 12., 13., 14., 15., 16., 17.,
3 18., 19., 20., 21., 22., 23., 24., 25., 30.,
4 35., 40., 45., 50., 70., 100.,99999./

DATA P6/
1 1.013E+03, 8.988E+02, 7.950E+02, 7.012E+02, 6.166E+02,
2 5.405E+02, 4.722E+02, 4.111E+02, 3.565E+02, 3.080E+02,
3 2.650E+02, 2.270E+02, 1.940E+02, 1.658E+02, 1.417E+02,
4 1.211E+02, 1.035E+02, 8.850E+01, 7.565E+01, 6.467E+01,
5 5.529E+01, 4.729E+01, 4.047E+01, 3.467E+01, 2.972E+01,
6 2.549E+01, 1.197E+01, 5.746E+00, 2.871E+00, 1.491E+00,
7 7.978E-01, 5.520E-02, 3.008E-04, 0. /

DATA T6/
1 2.882E+02, 2.752E+02, 2.752E+02, 2.687E+02, 2.622E+02,
2 2.557E+02, 2.492E+02, 2.427E+02, 2.362E+02, 2.297E+02,
3 2.233E+02, 2.168E+02, 2.167E+02, 2.167E+02, 2.167E+02,
4 2.167E+02, 2.167E+02, 2.167E+02, 2.167E+02, 2.167E+02,
5 2.167E+02, 2.176E+02, 2.186E+02, 2.196E+02, 2.206E+02,
6 2.216E+02, 2.265E+02, 2.365E+02, 2.504E+02, 2.642E+02,
7 2.707E+02, 2.197E+02, 2.100E+02, 2.100E+02/

DATA WV6/
1 5.900E+00, 5.576, 5.576, 1.800E+00, 1.100E+00,
2 6.400E-01, 3.800E-01, 2.100E-01, 1.200E-01, 4.600E-02,
3 1.800E-02, 8.200E-03, 3.700E-03, 1.800E-03, 8.400E-04,
4 7.200E-04, 6.100E-04, 5.200E-04, 4.400E-04, 4.400E-04,
5 4.400E-04, 4.800E-04, 5.200E-04, 5.700E-04, 6.100E-04,
6 6.600E-04, 3.800E-04, 1.600E-04, 6.700E-05, 3.200E-05,
7 1.200E-05, 1.500E-07, 1.000E-09, 0. /

```

C

```

DO 16 I=1,34
  T(I)=T6(I)
  P(I)=P6(I)
  WV(I)=WV6(I)
16 CONTINUE
  ENDIF
  IF(Z.EQ.0.) THEN
    TT=T(1)
    PP=P(1)
    WWV=WV(1)
    GO TO 99
  ENDIF

```

C

```

IF(Z.GT.100. .AND. Z.LE.99999.) THEN
  TT=T(33)+((Z-100.)/99899.)*(T(34)-T(33))
  PP=P(33)+((Z-100.)/99899.)*(P(34)-P(33))
  WWV=WV(33)+((Z-100.)/99899.)*(WV(34)-WV(33))
  GO TO 99
ENDIF

```

C

```

IF(Z.GT.99999.) THEN
  TT=T(34)
  PP=0.
  WWV=0.

```

```

      GO TO 99
    ENDIF
  C
    I=1
  10  IF(Z.LE.ALEV(I)) GO TO 20
      I=I+1
      GO TO 10
  20  TT=T(I-1)+(Z-ALEV(I-1))/(ALEV(I)-ALEV(I-1))*(T(I)-
#    T(I-1))
      AK=-ALOG(P(I)/P(I-1))/(ALEV(I)-ALEV(I-1))
      PP=P(I-1)*EXP(-AK*(Z-ALEV(I-1)))
      AK1=-ALOG(WV(I)/WV(I-1))/(ALEV(I)-ALEV(I-1))
      WWV=WV(I-1)*EXP(-AK1*(Z-ALEV(I-1)))
  99  RETURN
    END

```

```

C-----
C          *** TRANS1.FTN  MAR / 90 ***
C-----
C    ESTA SUBROTINA INTERPOLA A TRANSMITANCIA ESPECTRAL
C    PARA UM DADO CAMINHO OTICO
C
C    WVN = NUMERO DE ONDA (CM-1)
C    TR  = TRANSMITANCIA ESPECTRAL PARA O CAMINHO PL
C    PL  = CAMINHO (M)
C
C    TRA(NN,NPL)
C    NN  = NUMERO DE NUMEROS DE ONDAS
C    NPL = NUMERO DE CAMINHOS
C-----
C    SUBROUTINE TRANS1(WVN,PL,TR)
C    DIMENSION X(21)
C    COMMON /TRANSM/ TRA(125,21)
C-----
C    CAMINHO (M) DATA:
C
C    DATA X/ 0.5, 1., 2., 4., 8., 16., 32., 64., 128., 256.,
# 512., 1000., 2092., 5760., 9560.,11470.,14340.,28650.,
# 57300., 114600., 229180./
C-----
C    IF(WVN.LT.360..OR.WVN.GT.2840.) STOP 'WVN'
C    ACHAR "L" DANDO O WVN;  TR(I,J),  I=1,NN  J=1,NPL
      I=(WVN-360.)/20.+1
C-----
C
C    IF (PL.LT.0.0) THEN
      STOP 'PATH MENOR QUE ZERO'
    ENDIF
    IF (PL.LT.X(1)) THEN
      IF((X(1)-X(2)).NE.0..AND.TRA(I,2).NE.0..AND.TRA(I,1).
#    NE.0.)THEN
        AK=(1/(X(1)-X(2)))*LOG(TRA(I,2)/TRA(I,1))
        TR=TRA(I,2)*EXP(AK*(X(2)-PL))

```

```

C      WRITE (*,*) TRA(I,1), TRA(I,2)
      ELSE
      TR=0
      GO TO 20
      ENDIF
      ENDIF
      IF (PL.GT.X(21)) THEN
      IF((X(20)-X(21)).NE.0..AND.TRA(I,21).NE.0..AND.
#     TRA(I,20).NE.0.) THEN
      AK=(1/(X(20)-X(21)))*LOG(TRA(I,21)/TRA(I,20))
      TR=TRA(I,21)*EXP(AK*(X(21)-PL))
C      WRITE (*,*) TRA(I,20), TRA(I,21)
      GO TO 20
      ELSE
      TR=0.
      GO TO 20
      ENDIF
      ENDIF
      IPL=2
1     IF (PL.GT.(X(IPL)+1.E-10)) THEN
      IPL=IPL+1
      GO TO 1
      ENDIF
      IF((X(IPL-1)-X(IPL)).NE.0..AND.TRA(I,IPL).NE.0..AND.
#     TRA(I,IPL-1).NE.0.) THEN
      AK=(1/(X(IPL-1)-X(IPL)))*LOG(TRA(I,IPL)/TRA(I,IPL-1))
      TR=TRA(I,IPL)*EXP(AK*(X(IPL)-PL))
      WRITE (*,*) TRA(I,IPL-1), TRA(I,IPL)
      GO TO 20
      ELSE
      TR=0.
      GO TO 20
      ENDIF
C
C 20    RETURN
      END

```

```

C-----
C          *** KDROP.FTN  MAR /90 ***
C-----
C ESTA SUBROTINA CRIADA POR ALVES EM JAN/86 FAZ A INTERPOLACAO
C LINEAR DOS VALORES DE KDROP : COEFICIENTE DE ABSORCAO DA GO-
C TICULA (M-1).
C
C     INPUT= NUMERO DE ONDA (CM-1)
C
C          WVN= NUMERO DE ONDA (CM-1)
C          ABS= COEFICIENTE DE ABSORCAO DA GOTICULA (M-1)
C-----
C          SUBROUTINE KDROP(WV,ABSDR)
C          COMMON/DROPLET/ WVN(125),ABS(125)
C

```

```

W =10000./WV
IF(W.LT.0.3.OR.W.GT.200.) GO TO 200
W1=WV
I=0
IF(W1.EQ.2840.) GO TO 30
10  I=I+1
      IF(W1.LT.WVN(I)) GO TO 20
      GO TO 10
20  ABSDR=ABS(I-1)+((W1-WVN(I-1))/(WVN(I)-WVN(I-1)))*(ABS(I)
1    -ABS(I-1))
      GO TO 99
30  ABSDR=ABS(125)
      GO TO 99
200 STOP 'COMP. DE ONDA FORA DO INTERV. PERMITIDO-KDROP.FTN'
99  RETURN
END

```

```

C-----
C                                     *** PPP.FTN   FEV / 90 ***
C-----
CESTA SUBROTINA CRIADA POR ALVES EM ABR/86 CALCULA A RADIANCIA
CESPECTRAL DE UM CORPO NEGRO A TEMPERATURA T(K)
C
C T   - TEMPERATURA EM KELVIN (K)
C WVN - NUMERO DE ONDA (CM-1)
C B   - RADIANCIA ESPECTRAL (W/(M**2.SR.CM-1))
C-----
SUBROUTINE PPP(T,WVN,B)
W= 10000./WVN
WM=W*1.E-6
Z= T*WM
IF(Z.LT.1.66E-4)GO TO 1
X= 1.438786E-2/(T*WM)
C
C-----BB - (W/(M**2.SR.M))
C
      BB=(1.191062E-16/(WM**5))/(EXP(X)-1.)
C
C-----B - (W/(M**2.SR.UM))
C
      B=BB*1.E-6
C
C-----B - (W/(M**2.SR.CM-1))
C
C
      B=B*W**2*1.E-4
      GO TO 2
1  B=0.
2  RETURN
END

```

```

C-----
C          ***  TRANSM.FTN  -  FEV / 90  ***
C-----
C  ESTE PROGRAMA FONTE CALCULA A TRANSMITANCIA MONOCROMATICA
C  PARA CAMINHOS OTICOS DE 0.5M A 229.180 KM, USANDO LOWTRAN 6,
C  DE 360 A 2840 CM-1, A INTERVALOS DE 20 CM-1, PARA O MODEL 6,
C  SENDO A ATMOSFERA SATURADA DE 1 A 2 KM (VER BSAT6).
C
C  SISTEMA DE OVERLAYS USADO: OVLSAT.BAT
C  LINK TRANSM+(LOW61)+(A)+(BSAT6)+(CC)+(D)+(EE)+(F)+(G)+(H)+
C  (I)+(J)
C-----
C  COMMON /CARD1/ MODEL, ITYPE, IEMSC, M1, M2, M3, IM, NOPRNT,
1  TBOUND, SALB
C  COMMON /CARD2/ IHAZE, ISEASN, IVULCN, ICSTL, ICIR, IVSA, VIS,
1  WSS, WHH, RAINRT
C  COMMON /CARD3/ H1, H2, ANGLE, RANGE, BETA, RE, LEN
C  COMMON /CARD4/ V1, V2, DV
C
C  DIMENSION  X(21), TETA(9)
C
C  DATA X/ 0.0005, 0.001, 0.002, 0.004, 0.008, 0.016, 0.032,
# 0.064, 0.128, 0.256, 0.512, 1.00, 2.92, 5.76, 9.56, 11.47,
# 14.34, 28.65, 57.3, 114.6, 229.18/
C
C  DATA TETA/ 70., 80., 84., 85., 86., 88., 89., 89.5, 89.75/
C
C  OPEN(1, FILE='TRANS.DAT', STATUS='NEW')
C  MODEL=6
C  PI=ACOS(-1.)
C-----
C  I=0
20  I=I+1
C  WRITE(*,*) I
C  ITYPE=2
C  AH2=2.
C  AH1=AH2-X(I)
C  IF(I.GT.12) GO TO 200
C-----
C
C          ...  NUMEROS DE ONDA  ...
C
C  DO 10 J=360, 2840, 20
C  ANGLE=0.
C  V=FLOAT(J)
C  V2=V
C  V1=V-5.
C  H1=AH1
C  H2=AH2
C-----
C  IHAZE=0
C  SUMVV=0
C  SUMV=0
C  TR=0
C

```

```

RANGE=0.
BETA=0.
RO=0
HMIN=0
LEN=0
NOPRNT=0
IM=0
M1=0
M2=0
M3=0
IEMSCT=1
TBOUND=0
ISEASN=0
IVULCN=0
VIS=0
SALB=0
ICSTL=0
ICIR=0
IVSA=0
WSS=0
WHH=0
RAINRT=0

C
      CALL LOW61(SUMVV, SUMV, TR)
C
      WRITE(1,85) V, X(I), TR, ANGLE
85  FORMAT(2X, F9.2, 3X, F10.4, 3X, E11.4, 5X, F8.2)
10  CONTINUE
C-----
      GO TO 20
200 CONTINUE
C      ... ANGULOS ...
      DO 500 JK=1,9
C
C      ... NUMEROS DE ONDA ...
      DO 30 J=360,2840,20
      ANGLE=TETA(JK)
      V=FLOAT(J)
      V2=V
      V1=V-5.
      H1=1
      H2=2
C-----
      IHAZE=0
      SUMVV=0
      SUMV=0
      TR=0
C
      RANGE=0.
      BETA=0.
      RO=0
      HMIN=0
      LEN=0
      NOPRNT=0
      IM=0

```

```

M1=0
M2=0
M3=0
IEMSCT=1
TBOUND=0
ISEASN=0
IVULCN=0
VIS=0
SALB=0
ICSTL=0
ICIR=0
IVSA=0
WSS=0
WHH=0
RAINRT=0

C
      CALL LOW61(SUMVV, SUMV, TR)
C
      WRITE(1, B6) V, X(I), TR, ANGLE
B6  FORMAT(2X, F9.2, 3X, F10.4, 3X, E11.4, 5X, F8.2)
30  CONTINUE
      I=I+1
      ITYPE=2
500 CONTINUE
C-----
      CLOSE(1)
      STOP
      END

C-----
C
      *** KDROP.DAT.FTN - FEV / 90 ***
C-----
C ESTE PROGRAMA FONTE CALCULA O COEFICIENTE DE ABSORCAO ESPEC
C TRAL KABS (M-1) PARA AS GOTICULAS NUMA DADA CAMADA DENTRO
C DA NUVEM USANDO O CODIGO MIE DE WISCOMBE
C
C WVN = NUMERO DE ONDA (CM-1)
C AR, AI = INDICE DE REFRACAO REAL E IMAGINARIO (POSITIVO)
C REF = RAO EFETIVO DA DISTTRBUICAO DE GOTICULAS(UM)
C WC = CONTEUDO DE AGUA LIQUIDA DA NUVEM(G/M**3)
C ABS = COEF. LINEAR DE ABSORCAO DAS GOTICULAS (M-1)
C RD = DENSIDADE DA AGUA (G/M**3)
C AN = # DE GOTICULAS DE RAO REF / M**3
C-----
      REAL NR, NI
      COMPLEX IDR
      OPEN(1, FILE='KDROP.DAT', STATUS='NEW')
      WRITE(*,*) 'ENTRE COM O CONTEUDO DE AGUA LIQ.:(G/M**3)'
      READ(*,*) WC
      WRITE(*,*) ' ENTRE COM O RAO EFETIVO : ( UM ) '
      READ(*,*) REF
C-----
C NUMEROS DE ONDA:

```

```

WV1 = 360.
WV2 = 2840.
DV = 20.

```

```

C-----
DO 20 I=360,2840,20
WVL=10000./FLOAT(I)
PI=3.1415926
CALL RIN(WVL,NR,NI)
IDR=CMPLX(NR,-NI)
WVN=10000./WVL
RD=1000.
IF(REF.EQ.7.33.AND.WC.EQ.0.114)GO TO 10
REF=15.97
WC=1.034
10 SP=2.*PI*REF/WVL
CALL BMIE (SP, IDR, QEXT, QSCA, G)
QABS=QEXT-QSCA
AN=((3.*WC)/(4.*PI*REF**3*RD))*1.E15
C
ABS=AN*PI*(REF)**2*QABS*1.0E-12
C
C-----
WRITE(1,30)WVN,ABS
WRITE(*,*) ABS
30 FORMAT(F7.2,22X,E13.6)
20 CONTINUE
CLOSE(1)
END

```

```

C-----
C                                     *** RAD.FTN - MAR / 90 ***
C-----
C ESTE PROGRAMA FONTE, CRIADO POR ALVES EM OUT/86, CALCULA RA-
C DIANCIAS PARA BAIIXO (W/M**2/SR/CM-1) USANDO LOWTRAN 6 , PARA
C WVNS 360, 380, ..., 2840 CM-1
C
C SUMVV= RADIANCIA(W/CM**2*SR*MICRON) GERADA NA SUB. TRANS
C SUMV= " (W/CM**2*SR*CM-1)
C NN= NUMERO DE NIVEIS PARA CALCULOS DE FLUXOS
C ALEV= NIVEL(KM)
C
C SISTEMA DE OVERLAYS USADO: OVL.BAT
C LINK RAD+(LOW61)+(A)+(B)+(CC)+(D)+(EE)+(F)+(G)+(H)+(I)+(J)
C-----
COMMON /CARD1/ MODEL, ITYPE, IEMSCT, M1, M2, M3, IM, NOPRNT,
1 TBOUND, SALB
COMMON /CARD2/ IHAZE, ISEASN, IVULCN, ICSTL, ICIR, IVSA, VIS,
1 WSS, WHH, RAINRT
COMMON /CARD3/ H1, H2, ANGLE, RANGE, BETA, RE, LEN
COMMON /CARD4/ V1, V2, DV
DIMENSION TETA(3)
C-----
DATA TETA/ 27.4643, 60., 83.5289/

```

```
C-----  
OPEN(1, FILE='LW.DAT', STATUS='NEW')  
MODEL=6  
PI=ACOS(-1.)  
ITYPE=2  
AH1=2.  
AH2=100.  
  
C  
C          ... ANGULOS ...  
DO 500 JK=1,3  
  
C          ... NUMEROS DE ONDA ...  
C  
DO 10 J=360,2840,20  
ANGLE=TETA(JK)  
V=FLOAT(J)  
V2=V  
V1=V-5.  
H1=AH1  
H2=AH2  
  
C  
IHAZE=0  
SUMVV=0  
SUMV=0  
TR=0  
  
C  
RANGE=0.  
BETA=0.  
RO=0  
HMIN=0  
LEN=0  
NOPRNT=0  
IM=0  
M1=0  
M2=0  
M3=0  
IEMSCT=1  
TBOUND=0  
ISEASN=0  
IVULCN=0  
VIS=0  
SALB=0  
ICSTL=0  
ICIR=0  
IVSA=0  
WSS=0  
WHH=0  
RAINRT=0  
  
C          CALL LOW61(SUMVV,SUMV,TR)  
C  
WRITE(1,85) V,TETA(JK),10000.*SUMV  
85  FORMAT(2X,F9.2,3X,F6.2,3X,E11.4)  
C  
10  CONTINUE
```

```

500 CONTINUE
      CLOSE(1)
      STOP
      END

```

```

C-----
C                                     *** RIN.FTN ***
C-----
C THIS SUBROUTINE CREATED BY R. DAVIES 7/1/82
C IT LINEARLY INTERPOLATES FROM STORED ARRAYS TO FIND THE
C REAL AND IMAGINARY REFRACTIVE INDICES OF WATER AT A GIVEN
C WAVELENGTH IN MICRONS.
C
C THE DATA IS TAKEN CHIEFLY FROM HALE AND QUERRY,1973:APP.OPT.
C AND IS SUPPLEMENTED FROM IRVINE AND POLLACK,1968:ICARUS TO
C GIVE FINER SPECTRAL RESOLUTION.
C
C INPUT
C
C       WVL - THE WAVELENGTH IN MICRONS
C
C OUTPUT
C
C       NR - REAL REFRACTIVE INDEX
C       NI - IMAGINARY REFRACTIVE INDEX
C
C       BOTH NR AND NI ARE REAL VARIABLES
C
C PARAMETER NWVL=207
C
C SUBROUTINE RIN(WVL,NR,NI)
C REAL NR,NI
C DIMENSION FWVL(207),FNR(207),FNI(207)
C DIMENSION FWVL1(44),FWVL2(44),FWVL3(44),FWVL4(44),
C #   FWVL5(31)
C DIMENSION FNR1(44),FNR2(44),FNR3(44),FNR4(44),FNR5(31)
C DIMENSION FNI1(44),FNI2(44),FNI3(44),FNI4(44),FNI5(31)
C
C EQUIVALENCE (FWVL(1),FWVL1(1)),(FWVL(45),FWVL2(1))
C EQUIVALENCE (FWVL(89),FWVL3(1)),(FWVL(133),FWVL4(1))
C EQUIVALENCE (FWVL(177),FWVL5(1))
C
C EQUIVALENCE (FNR(1),FNR1(1)),(FNR(45),FNR2(1))
C EQUIVALENCE (FNR(89),FNR3(1)),(FNR(133),FNR4(1))
C EQUIVALENCE (FNR(177),FNR5(1))
C EQUIVALENCE (FNI(1),FNI1(1)),(FNI(45),FNI2(1))
C EQUIVALENCE (FNI(89),FNI3(1)),(FNI(133),FNI4(1))
C EQUIVALENCE (FNI(177),FNI5(1))
C
C DATA FWVL1/0.2,0.225,0.25,0.275,0.3,0.325,0.35,0.375,
1   0.40,0.425,0.45,0.475,0.50,0.525,0.55,0.575,
2   0.60,0.625,0.65,0.675,0.70,0.725,0.75,0.76,0.775,

```

3 0.80, 0.806, 0.825, 0.85, 0.875, 0.90, 0.925, 0.95, 0.97,  
 4 0.975, 1.00, 1.05, 1.06, 1.10, 1.15, 1.19, 1.20, 1.25, 1.258/  
 DATA FWUL2/1.30, 1.35, 1.40, 1.45, 1.50, 1.55, 1.60, 1.65, 1.66,  
 1 1.70, 1.75, 1.80, 1.85, 1.90, 1.94, 1.95, 2.00, 2.05,  
 2 2.10, 2.15, 2.20, 2.21, 2.25, 2.30, 2.35, 2.40, 2.45,  
 3 2.50, 2.55, 2.60, 2.65, 2.70, 2.75, 2.80, 2.85, 2.90,  
 4 2.95, 3.00, 3.05, 3.10, 3.15, 3.20, 3.25, 3.30/  
 DATA FWUL3/3.35, 3.40, 3.45, 3.50, 3.60, 3.70, 3.75,  
 1 3.80, 3.83, 3.90, 4.00, 4.10, 4.20, 4.30, 4.40, 4.50,  
 2 4.60, 4.66, 4.70, 4.80, 4.90, 5.00, 5.10, 5.20, 5.26,  
 3 5.30, 5.40, 5.50, 5.60, 5.70, 5.80, 5.90, 6.00, 6.05,  
 4 6.10, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 7.0/  
 DATA FWUL4/7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9, 8.0, 8.2,  
 18.4, 8.6, 8.8, 9.0, 9.2, 9.4, 9.6, 9.8, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0  
 2 , 12.5, 13.0, 13.5, 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0, 16.5, 17.0  
 3 , 17.5, 18.0, 18.5, 19.0, 19.5, 20., 21., 22., 23., 24./  
 DATA FWUL5/25., 26., 27., 28., 29., 30., 32., 34., 36., 38., 40.,  
 1 42., 44., 46., 48., 50., 60., 70., 80., 90., 100., 110., 120.,  
 2 130., 140., 150., 160., 170., 180., 190., 200./

C

DATA FNR1/.396, .373, .362, .354, .349, .346, .343, .341,  
 1 .339, .338, .337, .336, .335, .334, .333, .333, .332, .332,  
 2 .331, .331, .331, .330, .330, .329, .330, .329, .328, .329,  
 3 .329, .328, .328, .328, .327, .327, .327, .327, .325, .325,  
 4 .324, .3235, .323, .324, .322, .322/  
 DATA FNR2/.321, .320, .321, .319, .318, .317, .317, .316, .315,  
 1 .315, .314, .312, .311, .309, .307, .307, .306, .302,  
 2 .300, .296, .296, .292, .290, .286, .282, .279, .270,  
 3 .246, .213, .242, .219, .188, .157, .142, .149, .201,  
 4 .292, .371, .426, .467, .483, .478, .467, .450/  
 DATA FNR3/.432, .420, .410, .400, .385, .374, .372, .364,  
 1 .358, .357, .351, .346, .342, .338, .334, .332, .330,  
 2 .338, .330, .330, .328, .325, .322, .317, .318, .312,  
 3 .305, .298, .289, .277, .262, .248, .265, .324, .319,  
 4 .363, .357, .347, .339, .334, .329, .324, .321, .317/  
 DATA FNR4/.314, .312, .309, .307, .304, .302, .299, .297, .294,  
 1 .291, .286, .281, .275, .269, .262, .255, .247, .239, .229,  
 2 .218, .185, .153, .126, .111, .123, .146, .177, .210, .241,  
 3 .270, .297, .325, .351, .376, .401, .423, .443, .461, .476,  
 4 .480, .487, .500, .511, .521/  
 DATA FNR5/.531, .539, .545, .549, .551, .551, .546, .536, .527,  
 1 .522, .519, .522, .530, .541, .555, .587, .703, .821, .886,  
 2 .924, .957, .966, 1.004, 1.036, 1.056, 1.069, 1.081, 1.094,  
 3 1.107, 1.119, 1.130/

C

DATA FNI1/1.1E-7, 4.9E-8, 3.35E-8, 2.35E-8, 1.6E-8,  
 1 1.08E-8, 6.5E-9, 3.5E-9, 1.86E-9, 1.3E-9, 1.02E-9,  
 2 9.35E-10, 1.00E-9, 1.32E-9, 1.96E-9, 3.60E-9, 1.09E-8,  
 3 1.39E-8, 1.64E-8, 2.23E-8, 3.35E-8, 9.15E-8, 1.56E-7,  
 4 1.50E-7, 1.48E-7, 1.25E-7, 1.20E-7, 1.82E-7, 2.93E-7,  
 5 3.91E-7, 4.86E-7, 1.06E-6, 2.93E-6, 3.55E-6, 3.48E-6,  
 6 2.89E-6, 1.1E-6, 1.07E-6, 1.66E-6, 7.32E-6, 9.9E-6,  
 7 9.89E-6, 8.85E-6, 8.8E-6/  
 DATA FNI2/1.117E-5, 2.9E-5, 1.38E-4, 3.0E-4, 2.065E-4,  
 1 1.184E-4, 8.55E-5, 6.7E-5, 6.6E-5, 6.97E-5, 8.91E-5,

```

2  1.15E-4,1.399E-4,1.217E-3,1.76E-3,1.707E-3,1.1E-3,
3  6.689E-4,4.345E-4,3.25E-4,2.89E-4,2.72E-4,3.04E-4,
4  4.21E-4,5.61E-4,9.56E-4,1.189E-3,1.651E-3,1.968E-3,
5  3.17E-3,6.7E-3,1.9E-2,0.059,0.115,0.185,0.268,0.298,
6  0.272,0.240,0.192,0.135,0.0924,0.061,0.0368/
DATA FNI3/0.0261,0.0195,0.0132,9.4E-3,5.15E-3,3.6E-3,
1  3.55E-3,3.4E-3,3.38E-3,3.8E-3,4.6E-3,5.62E-3,6.88E-3,
2  8.45E-3,1.03E-2,1.34E-2,1.47E-2,1.73E-3,1.57E-2,1.50E-2,
3  1.37E-2,1.24E-2,1.11E-2,1.01E-2,9.59E-3,9.8E-3,1.03E-2,
4  1.16E-2,1.42E-2,2.03E-2,3.3E-2,6.22E-2,0.107,0.11208,
5  0.131,0.088,0.057,4.49E-2,3.92E-2,3.56E-2,3.37E-2,
6  3.27E-2,3.22E-2,3.20E-2/
DATA FNI4/3.2E-2,3.21E-2,3.22E-2,3.24E-2,3.26E-2,3.28E-2,
1  3.31E-2,3.35E-2,3.39E-2,3.43E-2,3.51E-2,3.61E-2,
2  3.72E-2,3.85E-2,3.99E-2,4.15E-2,4.33E-2,4.54E-2,
3  4.79E-2,5.08E-2,6.62E-2,9.68E-2,.142,.199,.259,
4  .305,.343,.370,.388,.402,.414,.422,.428,.429,
5  .429,.426,.421,.414,.404,.393,.382,.373,.367,
6  .361/
DATA FNI5/.356,.350,.344,.338,.333,.328,.324,.329,.343,
1  .361,.385,.409,.436,.462,.488,.514,.587,.576,.547,
2  .536,.532,.531,.526,.514,.500,.495,.496,.497,.499,
3  .501,.504/

```

C  
C

```

IF (WVL.GE.FWVL(1).AND.WVL.LE.FWVL(207)) GO TO 10
WRITE (*,40) WVL
40 FORMAT (2X,'COMP. DE ONDA=',F10.2,'FORA INTERVALO
1 PERMITIDO')
STOP

```

C  
C

```

10 CONTINUE
C COM A INTERPOLACAO
DO 20 I=1,207
IF (WVL.EQ.FWVL(I)) GO TO 25
IF (FWVL(I).LT.WVL) GO TO 20
DWVL=(FWVL(I)-WVL)/(FWVL(I)-FWVL(I-1))
NR=FNR(I)-DWVL*(FNR(I)-FNR(I-1)) + 1.0
NI=FNI(I)-DWVL*(FNI(I)-FNI(I-1))
GO TO 30
20 CONTINUE
25 NR=1.+FNR(I)
NI=FNI(I)
30 RETURN
END

```

C-----  
C  
C-----

\*\*\* BMIE.FTN \*\*\*

C THIS SUBROUTINE CREATED BY R. DAVIES 6/30/82  
C IT IS A SUBSET OF WISCOMBE'S MIEV0, MODIFIED FOR THE PDP  
C AND TO ELIMINATE THE PHASE FUNCTION.

```

C SEE WISCOMBE'S PROGRAM OR REPORT FOR DETAILS.
C
C INPUT XX, THE SIZE PARAMETER, AND IOR, THE COMPLEX R. I.
C OUTPUT QEXT,QSCA, THE EFFICIENCY FACTORS, AND GFAC, THE
C ASYMMETRY
C
C XX MIE SIZE PARAMETER (2*PI*RADIUS/WAVELENGTH)
C IOR COMPLEX REFRACTIVE INDEX (IMAG PART MUST BE NEGATIVE)
C QEXT EXTINCTION EFFICIENCY FACTOR, DEFINED AS
C (2/XX**2)*SUM ( (2N+1)*RE( A(N) + B(N) ))
C QSCA SCATTERING EFFICIENCY FACTOR, DEFINED AS
C (2/XX**2)*SUM((2N+1)*(CABS(A(N))**2+CABS(B(N))**2))
C WHERE A(N) AND B(N) ARE THE USUAL MIE COEFFICIENTS
C LITTLE-A-SUB-N AND LITTLE-B-SUB-N
C GFAC ASYMMETRY FACTOR, DEFINED AS
C (4/XX**2)*SUM((N-1/N)*RE(A(N)* (A(N))+CONJG(B(N-1))*
C CONJG(B(N)))+(2N+1)/(N(N+1))*RE(A(N-1)*CONJG(B(N))))/
C QSCA S1(N),S2(N),N=1 TO NUMANG AT EACH ANGLE SPECIFIED BY
C XMU AR
C I N T E R N A L V A R I A B L E S
C
C NT1 PARAMETER. MAX. POSSIBLE NUMBER. OF TERMS IN MIE SERIES
C NOIMAG : TRUE, ASSUME IMAGINARY REFRACTIVE INDEX IS
C ZERO AN TAKE COMPUTATIONALLY FASTER BRANCHES
C IN CODE
C AIMIOR : MAGNITUDE OF IMAGINARY REFRACTIVE INDEX
C REIOR : REAL PART OF REFRACTIVE INDEX
C A1,A2,B1 : MIE COEFFICIENTS LITTLE-A-SUB-1,
C LITTLE-A-SUB-2, LITTLE-B-SUB-1, WITH
C NUMERATOR AND DENOMINATOR EXTENDED IN POWERS
C OF XX, AND A FACTOR OF XX**3 DIVIDED OUT
C (USED IN SMALL-XX LIMIT)
C IORSQ,RAT,TEM : TEMPORARY VARIABLES USED IN SMALL-XX LIMIT
C NT : NO. OF TERMS IN MIE SERIES
C NTP1 : NT+1
C XINV : 1/XX
C ZINV : 1/(IOR*XX)
C F : ARITHMETIC STATEMENT FUNCTION USED IN
C DETERMINING WHETHER TO USE UP OR DOWN
C RECURRENCE FOR BIGA
C FF : CONTAINS INTERMEDIATE AND FINAL VALUES OF
C LENTZ CONTINUED FRACTION FOR BIGA(NT). ALSO
C USED AS TEMPORARY VARIABLE IN INITIALIZING
C UP-RECURRENCE FOR BIGA.
C AK,KK,DEN,DTD, : TEMPORARY VARIABLES USED IN COMPUTING FF
C NUM,NTN,TT
C MM : +1AND-1 ALTERNATELY. USED IN COMPUTING FF,
C SPS,SM
C KOUNT ITERATION COUNTER FOR FF COMPUTATION
C MAXIT : MAXIMUM ALLOWED NO. OF ITERATIONS IN FF
C COMPUTATION
C EPS1 : ILL-CONDITIONING CRITERION FOR LENTZ
C CONTINUED FRACN.
C EPS2 : CONVERGENCE CRITERION FOR LENTZ CONTINUED

```

```

C          FRACTION
C  BIGA(N)  : -N/Z+J-SUB(N-1) OF Z/J-SUB-N OF Z, WHERE
C           Z=IOR*X AND J-SUB-N IS THE NTH-ORDER
C           SPHERICAL BESSEL FUNCTION.
C  CTAN     : EXTERNAL FUNCTIONN FOR COMPLEX TANGENT
C           (USED TO INITIALIZE UP-RECURRENCE FOR BIGA)
C  REZ      : REAL(IOR)*XX
C  REZINV   : 1/REZ
C  EQBIGA   : REAL ARRAY EQUIVALENCES TO BIGA. USED TO
C           CONTAIN BIGA WHEN NOIMAG = TRUE, WHEN BIGA
C           IS PURELY REAL.
C  IORINV   : 1/IOR ( USED IN CALCULATION)
C  RIORIV   : 1/REAL(IOR) ( USED IN AN CALCULATION)
C  FN       : N (FLOATED)
C  TWONP1   : 2N + 1 (FLOATED)
C  COEFF    : (2N+1)/(N(N+1))
C  NPIDN    : (N+1)/N
C  PSI(N)   : RICATTI-BESSEL FUNCTION PSI-SUB-(N-1) OFXX
C  AN(N)    : MIE COEFFICIENT LITTLE-A-SUB-N,LATER USED
C           TO STORE (2N+1)/(N(N+1))*(AN+BN)
C  BN(N)    : FIRST USED FOR RICATTI-BESSEL FUN. ZETA-SUB
C           (N-1) OF XX, THEN FOR MIE COEFFICIENT LITTLE
C           -B-SUB-N, FINALLY FOR (2N+1)/(N(N+1))*(AN-BN)
C  ANPM     : (-1)**(N+1)*AN(N), WHERE AN(N) IS IN FINAL
C           FORM
C  BNPM     : (-1)+

```

```

-----
C          SUBROUTINE BMIE(XX, IOR, QEXT, QSCA, GFAC)
C          REAL N2CUT, NP1ON
C          PARAMETER NT1=20150      JTHIS IS ORIGINAL SIZE
C          PARAMETER NT1=1750
C          LOGICAL NOIMAG
C          COMPLEX IOR, A1, A2, B1, IORSQ, RAT, FFPRIM
C          COMPLEX ZINV, FF, AK, DEN, NUM, NTN, DTD, TT, BIGA, IORINV, AN, BN,
1          ANM1, BNM1, ZET, ZETN, ZETNP1
C          DIMENSION BIGA(1750), EQBIGA(1750)
C          EQUIVALENCE (BIGA(1), EQBIGA(1))
C          F(REM) = -15.04 +REM*(8.42+16.35*REM)
C          DATA EPS1/1.E-2/, EPS2/1.E-8/, N2CUT/1.E-8/
C          DATA MAXIT/10000/

```

```

C
C

```

```

AIMIOR = ABS(AIMAG(IOR))
REIOR  = REAL(IOR)
NOIMAG = AIMIOR.LE.N2CUT

```

```

C

```

```

IF(CABS(IOR)*XX.GT.0.1) GO TO 7

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

* SMALL-PARTICLE LIMIT *

```

```

IORSQ = IOR**2
RAT = (0., 0.6666666666666667)*(IORSQ-1.0)
A1 = RAT*(1.0-0.1*XX**2+(4.*IORSQ+5.)/1400.*(XX**4))
* /((IORSQ+2.0+(1.0-0.7*IORSQ)*(XX**2)-(8.*IORSQ**2
* -385.*IORSQ+350.)/1400.*(XX**4)+(XX**3)*RAT*

```

```

*      (1.0-0.1*XX**2)
B1 = (XX**2/30.)*RAT*(1.0+(2.*IORSQ-5.)/70.*(XX**2))
*      /(1.0-(2.*IORSQ-5.)/30.*(XX**2))
A2 = (0.1*XX**2)*RAT*(1.0-XX**2/14.)
*      /(2.*IORSQ+3.-(2.*IORSQ-7.)/14.*(XX**2))
TEM = CABS(A1)**2+CABS(B1)**2+(5./3.)*CABS(A2)**2
QSCA = 6.*(XX**4)*TEM
GFAC = REAL(A1*CONJG(A2+B1))/TEM
QEXT = QSCA
IF(AIMIOR.GT.1.E-12) QEXT =6.*XX*REAL(A1+B1+(5./3.)*A2)
C
GO TO 99
C
C
CCALCULATE NUMBER OF TERMS IN MIE SERIES (A LEAST UPPER BOUND)
CUSING EMPIRICAL FORMULAS WHICH WERE FITTED FOR SIZE
CPARAMETERS UP TO 20,000
C
7  IF(XX.LE.8.0) NT =XX+4.*XX**(1./3.)+1.
   IF(XX.GT.8.0.AND.XX.LT.4200.)NT =XX+4.05*XX**(1./3.)+2.
   IF(XX.GE.4200.) NT= XX+4.*XX**(1./3.)+2.
   NTP1= NT + 1
   IF(NTP1.LE.1750) GO TO 10
   WRITE (*,8000) NT,XX
8000  FORMAT(///'ESTIMATED LENGTH OF MIE SERIES NT='I6,
1      'FOR SIZE PARAM ='F12.2/' EXCEEDS BIGA DIMENSIONS')
      STOP 1001
C
C
C      COMPUTE BIGA
C
10  XINV = 1.0/XX
    ZINV = XINV/IDR
C    DECIDE WHETHER BIGA-N CAN BE CALCULATED BY UP-RECURRENCE
    IF(AIMIOR.LT.F(REIDR)/XX) GO TO 100
C
C    PREPARE FOR DOWN-RECURRENCE
C    COMPUTE INITIAL HIGH-ORDER BIGAN USING LENTZ METHOD
C
    FF = NTP1*ZINV
    MM = -1
    KK = 2*NT+3
    AK =(MM*KK)*ZINV
    DEN = AK
    NUM = DEN + 1.0/FF
    KOUNT = 1
C
20  KOUNT = KOUNT + 1
    IF(KOUNT.GT.MAXIT) GO TO 40
    IF(CABS(NUM/AK).GT.EPS1.AND.CABS(DEN/AK).GT.EPS1)
#    GO TO 30
C  ILL-CONDITIONED CASE -- STRIDE TWO TERMS INSTEAD OF ONE
    MM = -MM
    KK = KK+2

```

```

AK = (MM*KK)*ZINV
NTN = AK*NUM + 1.0
DTD = AK*DEN + 1.0
FF = (NTN/DTD)*FF
MM = -MM
KK = KK+2
AK = (MM*KK)*ZINV
NUM = AK + NUM/NTN
DEN = AK + DEN + DTD
KOUNT = KOUNT + 1
GO TO 20
C
30 TT = NUM/DEN
FF = TT*FF
C CHECK FOR CONVERGENCE
IF (ABS(REAL(TT) - 1.) .LT. EPS2 .AND. ABS(AIMAG(TT)) .LT. EPS2)
* GO TO 50
MM = -MM
KK = KK+2
AK = (MM*KK)*ZINV
NUM = AK + 1.0/NUM
DEN = AK + 1.0/DEN
GO TO 20
C
40 WRITE(*,8001) NT, XX, IOR, AK, NUM, DEN, TT, FF
8001 FORMAT(///'CONTINUED FRACTION FOR A-SUB-NT FAILED TO'
1 'CONVERGE'/ ' NT='I6/' X='E20.8/' REFR INDEX='2E20.8/
1 ' AK='2E20.8/' NUM='2E20.8/' DEN='2E20.8/' TT='2E20.8/
1 ' FF='2E20.8)
STOP 1002
C
50 BIGA(NT) = FF
C DOWNWARD RECURRENCE FOR BIGA-N
C
DO 70 M=2,NT
N=NT+2-M
70 BIGA(N-1) = (N*ZINV) - 1.0/((N*ZINV)+BIGA(N))
GO TO 200
C
UPWARD RECURRENCE FOR BIGA-N
C
100 IF(NOIMAG) GO TO 140
C
GENERAL CASE
C
CALL CTAN(IOR*XX,FFPRIM,DENOM)
BIGA(1)=-ZINV+FFPRIM/(ZINV*FFPRIM-DENOM)
DO 120 N = 2, NT
120 BIGA(N) = - (N*ZINV)+1.0/((N*ZINV)-BIGA(N-1))
GO TO 200
C
NO-ABSORPTION CASE
C
140 REZ = REIOR*XX
REZINV = 1.0/REZ

```

```

      TEM = TAN(REZ
      EQBIGA(1) = -REZINV + TEM/(REZINV*TEM-1.0)
      DO 160 N = 2, NT
160   EQBIGA(N) = -(N*REZINV) + 1.0/((N*REZINV)-EQBIGA(N-1))
C
200   CONTINUE
      IORINV = 1.0/IOR
      RIORIV = 1.0/REIOR
C     INITIALIZE QUANTITIES USED FOR EFFICIENT CALCULATION OF
C     NUMERICAL COEFFICIENTS IN MIE SERIES
      FN = 1.0
      RN = 1.0
      MM = 1
C  INITIALIZE RICATTI-BESSEL FUNCTION ZETA FOR UPWARD RECURRENCE
      PSIN = SIN(XX)
      CHIN = COS(XX)
      PSINP1 = XINV*PSIN-CHIN
      CHINP1 = XINV*CHIN+PSIN
      ZETN = CMPLX(PSIN,CHIN)
      ZETNP1 = CMPLX(PSINP1,CHINP1)
C     INITIALIZE PREVIOUS COEFFICIENTS (A-SUB-N-1, B-SUB-N-1)
C     FOR USE IN ASYMMETRY FACTOR SERIES
C
      ANM1 = (0.0,0.0)
      BNM1 = (0.0,0.0)
C     INITIALIZE SUMS FOR EFFICIENCIES AND ASYMMETRY FACTOR
      QEXT = 0.0
      QSCA = 0.0
      GFAC = 0.0
      DO 500 N = 1,NT
C     COMPUTE THE VARIOUS NUMERICAL COEFFICIENTS NEEDED
      FNP1 = FN + 1.0
      TWONP1 = FN + FNP1
      RNP1 = 1.0/FNP1
      COEFF = RN +RNP1
      NP1ON = 1.0 + RN
C
C     CALCULATE THE MIE SERIES COEFFICIENTS LITTLE-A AND LITTLE-B
C
      IF(NOIMAG) GO TO 300
C     GENERAL CASE
      AN = ((IORINV*BIGA(N)+(FN*XINV))*PSINP1-PSIN)/
      * ((IORINV*BIGA(N)+(FN*XINV))*ZETNP1-ZETN)
      BN = ((IOR*BIGA(N)+(FN*XINV))*PSINP1-PSIN)/
      * ((IOR*BIGA(N)+(FN*XINV))*ZETNP1-ZETN)
C     INCREMENT SERIES FOR SCATTERING EFFICIENCY
C
      QSCA = QSCA +TWONP1*((REAL(AN))**2+(AIMAG(AN))**2
      * ((REAL(BN))**2+(AIMAG(BN))**2)
      GO TO 350
C
300   CONTINUE
C     * NO-ABSORPTION CASE *
      AN = ((RIORIV*EQBIGA(N)+(FN*XINV))*PSINP1-PSIN)/
      * ((RIORIV*EQBIGA(N)+(FN*XINV))*ZETNP1-ZETN)

```

```

      BN=((REIDR*EQBIGA(N)+(FN*XINV))*PSINP1-PSIN)/
      *((REIDR*EQBIGA(N) +(FN*XINV))*ZETNP1-ZETN)
C
  350  CONTINUE
C INCREMENT SERIES FOR ASYMMETRY FACTOR AND EXTINCTION
C EFFICIENCY
      GFAC=GFAC+(FN-RN)*REAL(ANM1*CONJG(AN)+BNM1*CONJG(BN))
      *      +COEFF*REAL(AN*CONJG(BN))
      QEXT = QEXT +TWOXP1*REAL(AN+BN)
  450  FN = FNP1
      RN = RNP1
      ANM1 = AN
      BNM1 = BN
C CALCULATE RICATTI-BESSEL FUNCTIONS BY UPWARD RECURRENCE
      ZET = (TWOXP1*XINV)*ZETNP1-ZETN
      ZETN = ZETNP1
      ZETNP1 = ZET
      PSIN = PSINP1
      PSINP1 = REAL(ZETNP1)
  500  CONTINUE
C
C
      QEXT = 2.*(XINV**2)*QEXT
      QSCA = 2.*(XINV**2)*QSCA
      IF(NOIMAG) QSCA = QEXT
      GFAC = 4.*(XINV**2)*GFAC/QSCA
  99  IF (QSCA.GT.QEXT) THEN
      WRITE(*,*) ' BMIE ERROR. XX,IOR,QEXT,QSCA '
      WRITE(*,*) XX,IOR,QEXT,QSCA
      END IF
      RETURN
      END
C
      SUBROUTINE CTAN(Z,FFPRIM,DENOM)
      COMPLEX FFPRIM,Z
C COMPLEX TANGENT OF Z
C
      TWOX = 2.*REAL(Z)
      E2Y = EXP(2.*AIMAG(Z))
      E4Y = E2Y**2
      DENOM = ((2.*E2Y)*COS(TWOX)+E4Y+1.)
      FFPRIM=CMPLX(2.*E2Y*SIN(TWOX),E4Y-1.)
      RETURN
      END
C-----
C
C *** LOW61.FTN ***
C-----
C ESTE PROGRAMA E PARTE DO PROGRAMA PRINCIPAL LWTRN6
C CRIADO POR KNEIZYS ET AL. EM JUN/83, QUE FOI MODIFICADO
C POR ALVES EM NOV/89 E QUE SE CHAMA SUBROTINA LOW61.FTN
C
C VICOSA - 24/11/89 . ADIL RAINIER ALVES

```

```

C
C SUBROTINA QUE FORNECE TRANSMITANCIAS E RADIANCIAS
C MONOCROMATICAS.
C
C NOTA: OS DADOS DOS "CARDS" 1,2,3 e 4 DEVEM SER
C FORNECIDOS NO PROGRAMA FONTE (COM OS COMMONS)
C
C SUBROUTINE LOW61(SUMVV,SUMV,TR)
C
C SUMVV= RADIANCE (W/CM**2*SR*MICRON) - FROM SUB. TRANS
C SUMV = RADIANCE (W/CM**2*SR*CM-1) - "
C TX(9) = TOTAL TRANSMITTANCE (TX(9)) - FROM SUBROUTINE TRANS
C
COMMON RELHUM(34),HSTOR(34),ICH(4),VH(16),TX(16),W(16)
COMMON WPATH(68,16),TBBY(68)
COMMON ABSC(4,40),EXTC(4,40),UX2(40)
COMMON /IFIL/ IRD,IPR,IPU,NPR
COMMON /CARD1/ MODEL,ITYPE,IEM SCT,M1,M2,M3,IM,NOPRNT,
1 TBOUND,SALB
COMMON /CARD2/ IHAZE,ISEASN,IVULCN,ICSTL,ICIR,IVSA,VIS,
1 WSS,WHH,RAINRT
COMMON /CARD3/ H1,H2,ANGLE,RANGE,BETA,RE,LEN
COMMON /CARD4/ V1,V2,DV
COMMON /CNSTNS/ PI,CA,DEG,GCAIR,BIGNUM,BIGEXP
COMMON /CNTRL/ KMAX,M,IKMAX,NL,ML,IKLO,ISSGEO
COMMON /MODEL/ ZM(34),PM(34),TM(34),RFNDX(34),
# DENSTY(16,34)
COMMON /SOLS/ AH1(68),ARH(68),WPATHS(68,16),PA(68),
1 PR(68),ATHETA(35),ADBETA(35),LJ(69),JTURN,ANGSUN
COMMON /MART/ RHH
COMMON /USRDTA/ NANGLS,ANGF(50),F(4,50)
COMMON /MDLZ/ HMDLZ(8)
COMMON /ZVSALY/ ZVSA(10),RHVSA(10),AHVSA(10),IHVSA(10)
COMMON /TITL/ HHAZE(5,15),HSEASN(5,2),HVULCN(5,5),BLANK,
1 VSB(9),HMET(5,2),HMODEL(5,8),HTRRAD(6,4)
C DATA IRPT / 0 /
IRPT=0
IRD = 5
IPR = 6
IPU = 7
PI=2.0*ASIN(1.0)
CA=PI/180.
DEG= 1.0/CA
GCAIR = 2.87053E+3
BIGNUM = 1.0E38
BIGEXP = 87.0
NL=33
KMAX=16
C*****START CALCULATION
100 CONTINUE
M=MODEL
NPR = NOPRNT
C*****CARD 2 AEROSOL MODEL
C
IF(VIS.LE.0.0.AND.IHAZE.GT.0) VIS=VSB(IHAZE)

```

```

RHH= 0.
IF(MODEL.EQ.0.OR.MODEL.EQ.7) GO TO 205
IF((MODEL.EQ.3.OR.MODEL.EQ.5).AND.ISEASN.EQ.0) ISEASN=2
C
  IF(IHAZE.EQ.3) CALL MARINE(VIS,MODEL,WSS,WHH,ICSTL,EXTC,
1    ABSC,1)
  ICH(1)=IHAZE
  ICH(2)=6
  ICH(3)=9+IVULCN
205  IF(RAINRT.EQ.0) GO TO 210
210  ICH(4)=15
  IF(ICH(1).LE.0) ICH(1)=1
  IF(ICH(3).LE.9) ICH(3)=10
  IFLGA=0
  IFLGT=0
  CTHIK=-99.
  CALT=-99.
  ISEED=-99
230  CONTINUE
C*****CARD 2B VERTICAL STRUCTURE ALGORITHM
  ZCVSA=-99.
  ZTVSA=-99.
  ZINVSA=-99.
240  IF (MODEL.NE.7) ML=NL
  DO 250 I=1,5
  IF(M.NE.0) HMODEL(I,7)=HMODEL(I,M)
250  IF(M.EQ.0) HMODEL(I,7)=HMODEL(I,8)
260  CONTINUE
300  CONTINUE
C*****CARD 3 GEOMETRY PARAMETERS
C
  310  CONTINUE
312  CONTINUE
  IF (MODEL.EQ.0) GO TO 320
C*****CARD 3
  GO TO 320
C*****CARD 3 FOR DIRECTLY TRANSMITTED SOLAR RADIANCE(ITEMSCT=3)
  315  CONTINUE
C*****RO IS THE RADIUS OF THE EARTH
320  RE=6371.23
  IF (MODEL.EQ.1) RE=6378.39
  IF (MODEL.EQ.4) RE=6356.91
  IF (MODEL.EQ.5) RE=6356.91
  IF (RO.GT.0.0) RE=RO
C
  321  CONTINUE
  IPARM  =-99
  IPH    =-99
  IDAY  =-99
  ISOURC=-99
C
  PARM1  =-99.
  PARM2  =-99.
  PARM3  =-99.
  PARM4  =-99.

```

```

        TIME  =-99.
        PSIPO =-99.
        ANGLEM=-99.
        G      =-99.
C
        IF (IEMSCT.NE.2) GO TO 330
C*****CARD 3A1
        330 CONTINUE
            IF (IRPT.EQ.3) GO TO 500
C*****CARD 4 WAVENUMBER
        400 CONTINUE
            IF (IRPT.EQ.4) GO TO 560
500 CONTINUE
        MDEL=MODEL
        IF (MDEL.EQ.0)MDEL=8
        MM1=MDEL
        MM2=MDEL
        MM3=MDEL
        IF (M1.NE.0)MM1=M1
        IF (M2.NE.0)MM2=M2
        IF (M3.NE.0)MM3=M3
510 IF (M.EQ.7) GO TO 520
        IF (ISEASN.EQ.0)ISEASN=1
        IF (IVULCN.LE.0) IVULCN=1
        IHVUL=IVULCN+9
        IHMET=1
        IF (IVULCN.GT.1)IHMET=2
        IF (IHAZE.EQ.0) GO TO 520
520 CONTINUE
        IF (IEMSCT.NE.2) GO TO 550
C
C*****INTREPRET SOLAR SCATTERING PARAMETERS
550 CONTINUE
        V1 =FLOAT(INT(V1/5.0+0.1))*5.0
        V2 =FLOAT(INT(V2/5.0+0.1))*5.0
        ALAM1=10000./V1
        ALAM2=10000./V2
        IF (DV.LT.5.)DV=5.
        DV=FLOAT(INT(DV/5+0.1))*5.0
C*****LOAD ATMOSPHERIC PROFILE INTO /MODEL/
C
        CALL STDMDL
C
C**TRACE PATH THROUGH THE ATMOSPHERE AND CALCULATE ABSORBER
C AMOUNTS
C
        ISSGEO=0
        CALL GEO (IERROR,BENDNG )
C
        IF (IERROR.GT.0) GO TO 630
        IF (IEMSCT.EQ.3 .AND. IERROR.EQ. -5) GO TO 557
        GO TO 558
557 CONTINUE
        GO TO 630
558 CONTINUE

```

```
IF(IERROR.GT.0) GO TO 630
CALL EXABIN
560 CONTINUE
IRPT=0
IRAIN=0
IF(RAINRT.GT.0) IRAIN=1
C
CALL TRANS(IPH,ISOURC,IDAY,ANGLEM,SUMV,SUMVV,TX(9))
TR=TX(9)
1610 CONTINUE
630 CONTINUE
IF(IRPT.EQ.0) GO TO 900
IF(IRPT.GT.4) GO TO 900
GO TO (100,900,300,400), IRPT
900 RETURN
END
```