

TAXA DE ABSORÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE AS CIDADES DE BOTUCATU-SP E RIO DE JANEIRO-RJ

NELSON VEISSID¹, JOÃO F. ESCOBEDO² E MARCO ANTONIO GALDINO³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais Laboratório Associado de Sensores e Materiais (INPE/CTE), São José dos Campos, SP, Brasil

²Estação de Radiometria Solar do Departamento de Recursos Naturais/Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP), Botucatu, SP, Brazil

³Departamento de Tecnologias Especiais/Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (DTE/CEPEL/ELETROBRÁS), Rio de Janeiro, RJ, Brazil

veissid@las.inpe.br, escobedo@fca.unesp.br, marcoag@cepel.br

Recebido Setembro 2009 - Aceito Abril 2010

RESUMO

O segundo satélite da Missão Espacial Completa Brasileira (SCD2/MECB) foi colocado em órbita em 23 de Outubro de 1998 e carrega a bordo um experimento de células solares. Célula solar de silício é um dispositivo semicondutor, que pode medir a intensidade da radiação visível e parte da radiação infravermelha (400-1100 nm). O experimento permite medir simultaneamente a insolação direta e parte da radiação solar que é refletida pela Terra para o espaço. Os dados do experimento célula solar são transmitidos em tempo real pela telemetria do satélite e recebidos pela estação terrestre em Cuiabá, MT-Brasil (16°S; 56°W). Este fato limita a cobertura espacial para um círculo sobre a América do Sul. O albedo planetário é obtido dentro desta cobertura e seus valores podem ser agrupados em períodos temporais (anual, sazonal ou mensal), ou podem ser estudados para várias localizações (latitude e longitude) durante a vida do satélite.

O coeficiente de transmissão atmosférica ou índice de claridade (Kt), medido em estações meteorológicas na superfície da Terra, junto com o valor medido simultaneamente do albedo planetário, permite calcular o coeficiente de absorção atmosférica (Ka). O método desenvolvido neste trabalho para avaliar Ka considera que o albedo planetário é composto por duas partes: uma refletividade local e uma refletividade não local. Considerando este novo conceito, é definida uma taxa de absorção atmosférica (denominada Ra) que é a razão entre Ka e a potência de irradiância solar líquida, que não atravessou a atmosfera (100%-Kt). A taxa de absorção atmosférica assim definida é independente da cobertura de nuvens. O histograma de frequência de Ra mostra os valores de $0,86 \pm 0,07$ e $0,88 \pm 0,09$ sobre as cidades de Botucatu-SP e do Rio de Janeiro-RJ, durante os anos de 1999 até 2006, respectivamente.

ABSTRACT: ATMOSPHERIC ABSORPTION RATIO ON THE CITIES OF BOTUCATU-SP AND RIO DE JANEIRO-RJ

The second satellite of the Brazilian Complete Space Mission (SCD2/MECB) was launched on October 23, 1998 and it hosts on board a solar cell experiment. Silicon solar cell is a semiconductor device that senses visible and near infrared (400-1100 nm) radiations. The experiment permits the simultaneous inference of direct insolation and the insolation that is reflected outside of Earth. The data of the solar cell experiment are transmitted in real time by the satellite telemetry and are received by the ground station of Cuiabá, MT-Brazil (16°S, 56°W). This fact limits their spatial coverage to a circle on the South America. The planetary albedo is obtained inside this coverage area and the data can be grouped into periods of time (annual, seasonal or monthly) or studied for several places (latitude and longitude) during the life of the satellite.

Atmospheric transmission coefficient or clearness index (K_t), measured at meteorological stations around the Earth surface, together with simultaneous measured of the planetary albedo permits to calculate the atmospheric absorption coefficient (K_a). The developed method in this work for evaluating the K_a considers that the planetary albedo is composed by two parts: the local and the non local reflectivity. Considering this new concept, an atmospheric absorption ratio (called here R_a) is defined as the quotient between K_a and the net solar irradiance power that is not transmitted through the atmosphere ($100\% - K_t$). The atmospheric absorption ratio defined by this way is not cloud cover dependent. The frequency histogram of R_a indicates the values of 0.86 ± 0.07 and 0.88 ± 0.09 on the cities of Botucatu-SP and Rio de Janeiro-RJ respectively, during the years of 1999 to 2006.

Keywords: planetary albedo, solar energy, atmospheric transmission, atmospheric absorption

1. INTRODUÇÃO

Os satélites de coleta de dados meteorológicos (SCD1 e SCD2), lançados em fevereiro de 1993 e outubro de 1998 respectivamente, atuam como receptores e transmissores dos parâmetros medidos em plataformas meteorológicas terrestres espalhadas ao longo do território Brasileiro. Desde 1980, o Laboratório Associado de Sensores e Materiais do INPE (LAS/CTE/INPE) desenvolve tecnologia para a fabricação de células solares para uso em satélite. Um dos marcos desta atividade foi o desenvolvimento de Experimentos de Células Solares para serem colocados em satélites. Os dois Experimentos, dos satélites SCD1 e SCD2, usam células solares de silício tipo convencional fabricadas no Brasil e qualificadas por testes para uso em satélite. Eles têm o objetivo de estudar a degradação de células solares com a irradiação por partículas ionizantes (elétrons e prótons de alta energia) encontradas na ionosfera. As células solares destes experimentos foram projetadas e

fabricadas por pessoal do LAS/INPE usando a infra-estrutura do Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP em São Paulo (LME/EPUSP). Elas são homojunções tipo n+/p fabricadas a partir de substratos de silício monocristalino. Vários artigos foram publicados relatando os resultados obtidos nestes experimentos (Nubile et al., 1994 e Veissid et al., 1990; 1997; 1998; 1999; Veissid 2005a, 2005b e 2008). A conclusão principal desses artigos é que a degradação do desempenho das células solares, com o tempo de vida do satélite, está ocorrendo conforme o previsto para este dispositivo de acordo com manual de degradação de células solares para satélite (Tada et al. 1982).

O satélite SCD2 tem uma órbita circular equatorial com altitude de 750 km. Nestas condições o período de sua órbita é de 100 min, sendo 65 min iluminados pelo sol e 35 min no cone de sombra da Terra, que provoca ciclo térmico com variação de -30°C a 45°C . O Experimento Célula Solar (ECS), colocado a bordo deste satélite, recebe em média três arquivos diários dos valores telemetrizados, e estes dados são transmitidos em

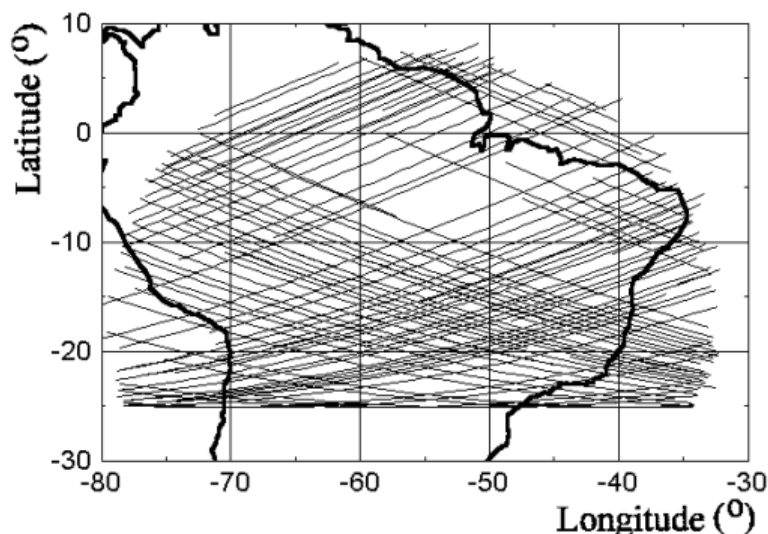


Figura 1 - Algumas órbitas do satélite SCD2 durante o mês de novembro de 1998 na visada da estação receptora de Cuiabá.

tempo real para a estação receptora de Cuiabá (16°S; 56°W). A Figura 1 mostra várias trajetórias do satélite SCD2 no período de novembro de 1998 dentro da visada de Cuiabá.

A Figura 2 mostra como os sinais do canal de corrente de curto circuito da célula são recebidos pela telemetria do satélite. Nesta figura são mostrados os pontos de leitura que variam de um valor máximo, quando o ECS está orientado para o Sol até um valor mínimo. Estes pontos estão separados de meio segundo, pois a amostragem de leitura do computador de bordo do satélite tem uma taxa de duas leituras por segundo.

Os dados da telemetria do Experimento mostrados na Figura 2 permitem obter por ajuste, o valor da rotação do satélite, que em média é de 35rpm. A seguir, por uma transformada de

variável de tempo (t) para ângulo de fase da rotação do satélite (θ), pode-se obter os valores experimentais dos picos associados às radiações refletida e solar. Após correções geométricas esféricas, estes valores convertem-se nas intensidades das radiações refletida e solar. O albedo é calculado pela razão entre estas duas intensidades. A Figura 3 mostra a curva dos dados da Figura 2 depois da transformada de variável de t para θ . Esta figura é ilustrativa porque ela mostra que os dois picos estão defasados de aproximadamente 180°, e isto acontece quando o satélite se encontra exatamente entre a Terra e o Sol.

Estudos relacionados ao albedo planetário, vistos pelo Experimento Célula Solar do satélite SCD2, permitiram a publicação de artigos em revistas de Atmosfera Terrestre

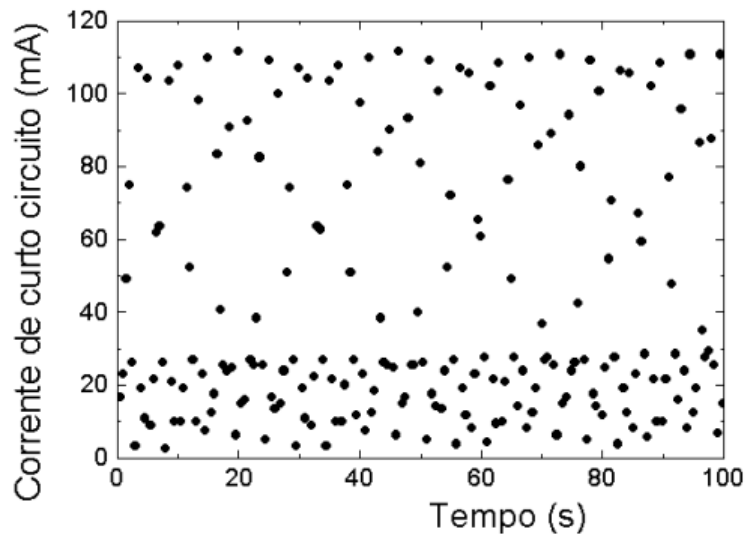


Figura 2 - Amostra do sinal do ECS recebido pela telemetria do satélite. Os pontos estão amostrados em intervalos de meio segundo.

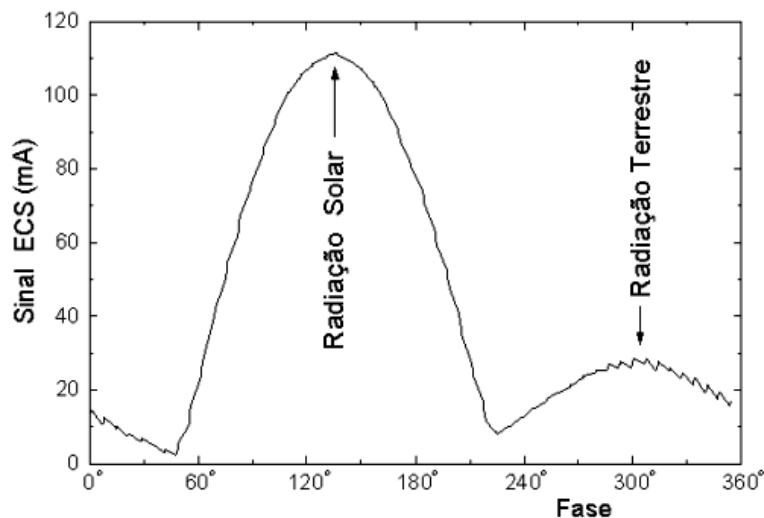


Figura 3 - Amostra do sinal do ECS recebido pela telemetria do satélite. Os pontos estão amostrados em intervalos de meio segundo.

(Veissid, 2003) e de Geofísica (Veissid, 2003; Veissid e Pereira, 2000). Também, permitiram apresentação em congressos de trabalhos nas áreas de Meteorologia (Veissid, 2002), Sensoriamento Remoto (Veissid, 2005 e 2009) e Mudanças Climáticas Globais (Veissid, 2004 e 2007).

Simulação teórica do funcionamento do Experimento Célula Solar (Veissid, 2003), como sensor de albedo planetário, mostra que apesar das células solares terem uma visada de 180° , é possível estimar o albedo local no ponto Nadir do satélite. A Figura 4 ilustra este conceito, pois o disco central da visada do ECS é responsável por 80% do albedo medido. Devido a isto, pode-se dizer, que a resolução da visada do ECS é de aproximadamente $\pm 2,5^\circ$ em latitude e longitude, correspondente a uma área de $\approx 500\text{km}$ de diâmetro.

O albedo medido pelo ECS é determinado por uma relação que envolve o quociente da altura dos picos mostrados na Figura 3. O sinal do ECS é função da temperatura e da degradação que as células solares sofrem durante a vida do satélite (Veissid e Andrade, 1991 e Veissid et al., 1995). No entanto, estes dois efeitos não afetam o valor do albedo porque o quociente usado para calcular seu valor compensa estes dois fatores. Portanto, pode-se dizer que o Experimento usado como sensor de albedo é autocalibrável devido ao algoritmo matemático.

O índice de claridade consiste na razão entre a radiação global incidente em uma superfície horizontal na superfície da Terra, e a radiação extraterrestre incidente no topo da atmosfera ($K_t = R_G/R_0$). A Figura 5 mostra os diversos componentes da radiação. A taxa de absorção atmosférica é definida como a razão da radiação absorvida na atmosfera

pela radiação que não foi absorvida na superfície do planeta ($K_a/(K_a+K_r)$).

2. MÉTODO

Foram selecionados todos os valores do albedo planetário medidos pelo ECS durante as passagens do satélite SCD2, nas coordenadas mais próximas de Botucatu (23°S ; $48,5^\circ\text{W}$) e do Rio de Janeiro (23°S ; 43°W), dentro de um círculo de 5° de diâmetro em latitude e longitude. Considerando os instantes destas medidas, com uma tolerância de um minuto, também, foram selecionadas as leituras dos piranômetros das estações meteorológicas destas duas cidades. As Figuras 6 e 7 mostram as medidas usadas para o desenvolvimento deste trabalho, nas cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro, respectivamente.

Um tratamento elementar da óptica do sistema atmosférico pode ter início a partir da Equação 1, onde os coeficientes de transmissão, de absorção e de reflexão somam 100%.

$$K_t + K_a + K_r = 100\% \quad (1)$$

Desta forma, considerando numa primeira tentativa, que o albedo planetário é o próprio K_r e que o coeficiente de absorção é constante, curvas do albedo versus o valor da diferença, $100\% - K_t$, iriam produzir uma reta com inclinação unitária e deslocada por um valor de K_a . A Figura 8 mostra que as curvas em períodos diferentes para as duas cidades estudadas não apresenta este resultado, pois a inclinação da curva não

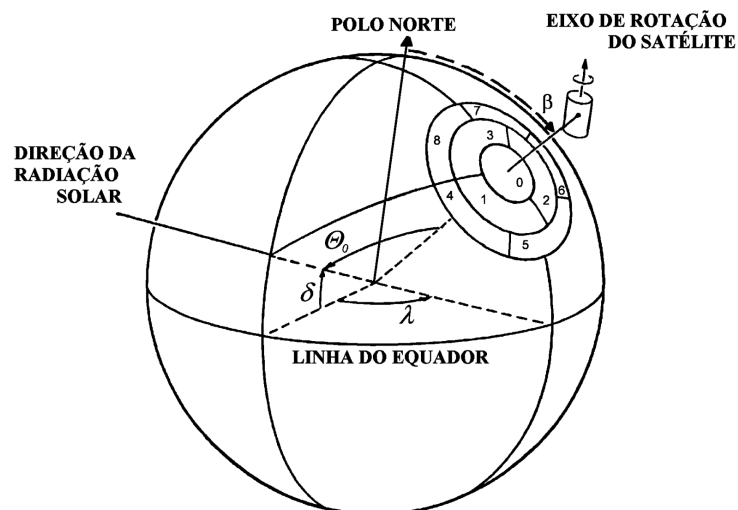


Figura 4 - Ilustração esquemática do sistema de coordenada usado para simular a refletividade dentro do campo de visada do Experimento Célula Solar do satélite SCD2 (Veissid, 2003; adaptado de King e Curran, 1980).

é unitária e nem está deslocada para a parte negativa de K_r . Portanto, a seguinte consideração foi adotada neste trabalho:

- A absorção atmosférica é proporcional à parcela de radiação solar que não foi absorvida na superfície do planeta, na forma:

$$Ra = Ka / (100\% - Kt) \tag{2}$$

onde: R_a é agora chamada de taxa de absorção atmosférica. Por exemplo, se numa determinada condição atmosférica de céu claro, tem-se $R_a=0,8$ e $K_t=80\%$, então $K_a=16\%$. Portanto,

pela Equação 1 sobram 4% para K_r . Outro exemplo, para o mesmo valor $R_a=0,8$ e, agora, $K_t=5\%$ que corresponde a um céu nublado, então $K_a=76\%$ e, portanto, sobra 19% para K_r . Esta consideração estabelece que a curva esperada para a Figura 8 seria uma reta com inclinação inferior a unidade passando pela origem, dado por:

$$K_r = (1 - R_a) \times (100\% - K_t) \tag{3}$$

A Figura 8 mostra que os pontos em períodos diferentes para as duas cidades estudadas não geram retas médias que

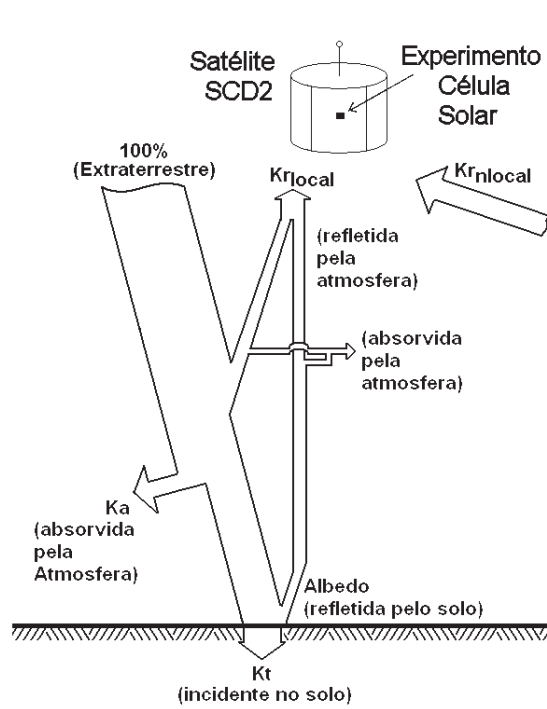


Figura 5 - Ilustração esquemática das radiações envolvidas na atmosfera.

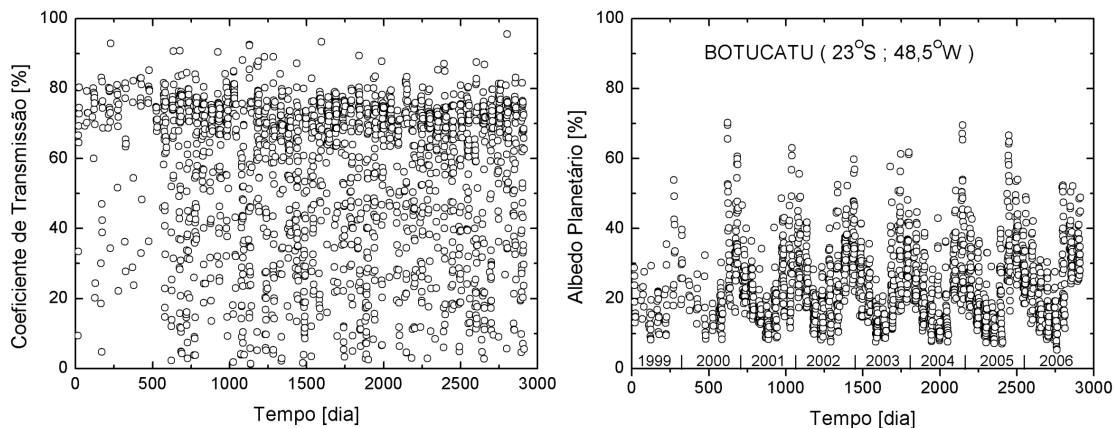


Figura 6 - Medidas simultâneas, com tolerância de um minuto, do coeficiente de transmissão (K_t) realizado na estação meteorológica de Botucatu e do albedo planetário pelo ECS durante passagem do satélite SCD2 sobre esta cidade.

passam pela origem. Portanto, outra consideração deve ser adotada:

• O albedo planetário é composto pela soma de uma refletividade não local com uma refletividade local. A Figura 4 ilustra esta consideração, pois o círculo central corresponde a parte da atmosfera responsável pela refletividade local (K_{rLOCAL}). Os anéis exteriores são os responsáveis pela refletividade não local ($K_{rNLOCAL}$), e não representam a condição atmosférica local. Portanto, o albedo planetário pode ser expresso como:

$$\text{Albedo} = K_{rLOCAL} + K_{rNLOCAL} \quad (4)$$

Desta forma, a Equação 4 pode ser escrita pela Equação 5, com K_{rLOCAL} dado pela Equação 3. Com esta nova consideração a Figura 8 fica entendida, pois o incremento em Albedo que esta

acima da origem é o valor de K_r não local ($K_{rNLOCAL}$). Agora, o problema matemático se resume em estimar os valores de refletividade não local e, através de uma equação obtida por ajuste, subtrai-lo dos valores do albedo planetário para se obter os valores de refletividade local.

$$\text{Albedo} = (1-R_a) \times (100\% - K_t) + K_{rNLOCAL} \quad (5)$$

A Figura 8 mostra que a refletividade não local para a região de Botucatu foi de $17,02\% \pm 1,37\%$ e de $7,76\% \pm 1,54\%$ para os períodos de 6 a 29 de janeiro de 2004 e de 6 a 31 de maio de 2002, respectivamente. Analogamente, a Figura 8 mostra que a refletividade não local para a região do Rio de Janeiro foi de $23,95\% \pm 2,24\%$ e de $7,67\% \pm 1,34\%$ para os períodos de 5 a 26 de janeiro de 2004 e de 13 de abril a 6 de maio de 2004, respectivamente.

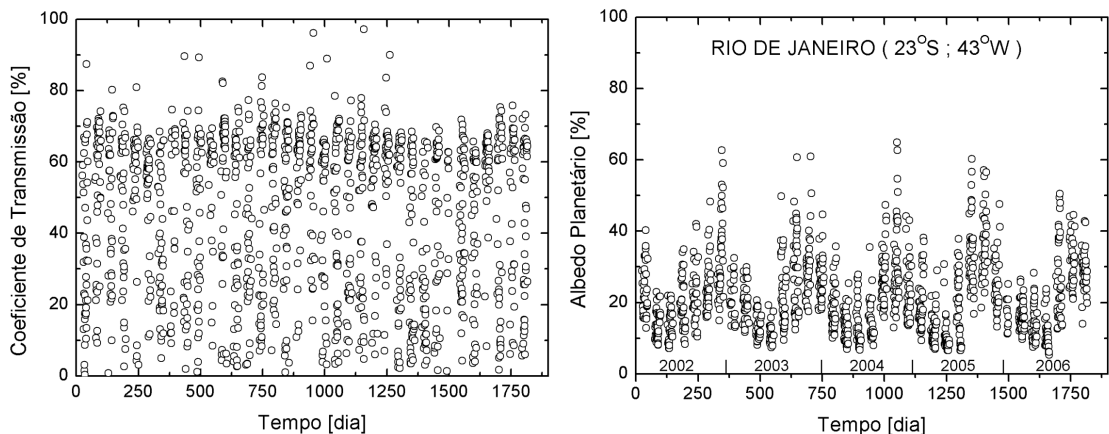


Figura 7 - Medidas simultâneas, com tolerância de um minuto, do coeficiente de transmissão (K_t) realizado na estação meteorológica do Rio de Janeiro e do albedo planetário pelo ECS durante passagem do satélite SCD2 sobre esta cidade.

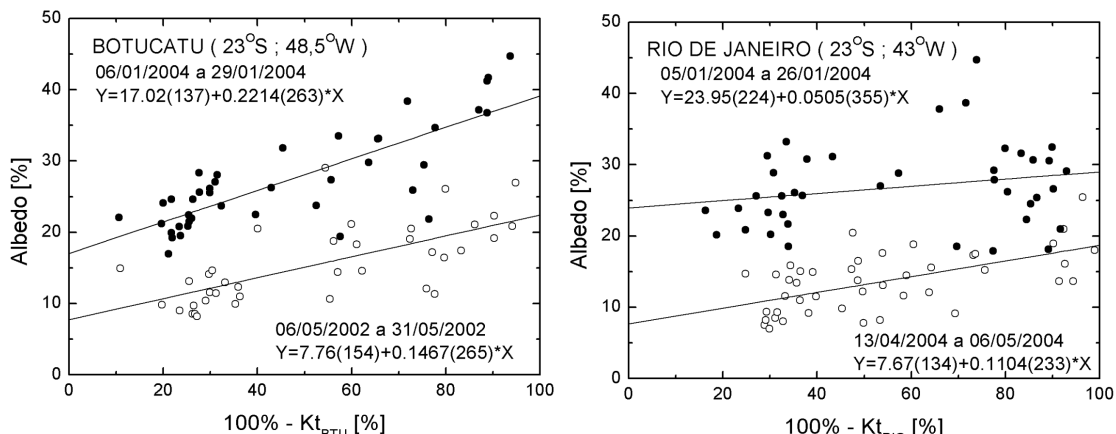


Figura 8 - Valores do albedo planetário medido pelo ECS do satélite SCD2 versus $100\% - K_t$ e suas retas médias, para diferentes períodos medidos em Botucatu e no Rio de Janeiro.

3. RESULTADOS

O resultado mais importante neste trabalho são os valores das taxas de absorção atmosférica. Para seu cálculo é necessário primeiro a determinação da refletividade não local e, em seguida, usando os valores de $K_{r_{NLOCAL}}$, determina-se a refletividade local e o coeficiente de absorção.

3.1 Refletividade não Local

Usando ajuste linear dos pontos de albedo planetário versus $(100\% - Kt)$, foi calculada a refletividade não local para todos os períodos de medida, para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro. A Figura 9 mostra os valores de $K_{r_{NLOCAL}}$ calculado para as duas cidades.

O ajuste de uma função seno dos valores dos coeficientes de reflexão não local da Figura 9 resultaram nas Equações 6 e 7, para Botucatu e para o Rio de Janeiro, respectivamente.

$$K_{r_{NLOCAL-BTU}}[\%] = (15,96 \pm 0,32) + (7,60 \pm 0,40) \text{seno}(2 * \pi(\text{dia} - (239,0 \pm 3,3)) / 365) \tag{6}$$

$$K_{r_{NLOCAL-RIO}}[\%] = (14,23 \pm 0,45) + (6,75 \pm 0,58) \text{seno}(2 * \pi(\text{dia} - (244,2 \pm 5,2)) / 365) \tag{7}$$

As Equações 6 e 7, mostram que os valores máximos de $K_{r_{NLOCAL}}$ foram $23,56\% \pm 0,55\%$ e $20,98\% \pm 0,73\%$, para Botucatu e para o Rio de Janeiro, respectivamente. O valor mínimo de $K_{r_{NLOCAL}}$ foram $8,36\% \pm 0,55\%$ e $7,48\% \pm 0,73\%$, para Botucatu e para o Rio de Janeiro, respectivamente. Estes valores estão de acordo com o esperado para a radiação difusa que é emitida para o espaço exterior, pois no solstício de verão estes valores são altos e no de inverno baixos.

3.2 Refletividade Local e o Coeficiente de Absorção

Usando a Equação 4 foi calculada a refletividade local para todos os períodos de medida de albedo planetário, mostrados

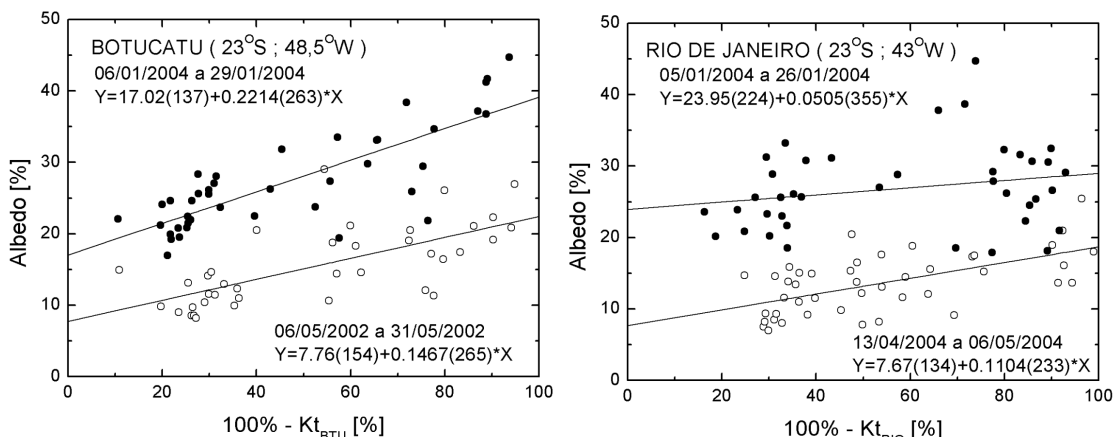


Figura 9 - Valores de refletividade não local em função do tempo para a cidade de Botucatu, figura à esquerda, e para a cidade do Rio de Janeiro na figura à direita.

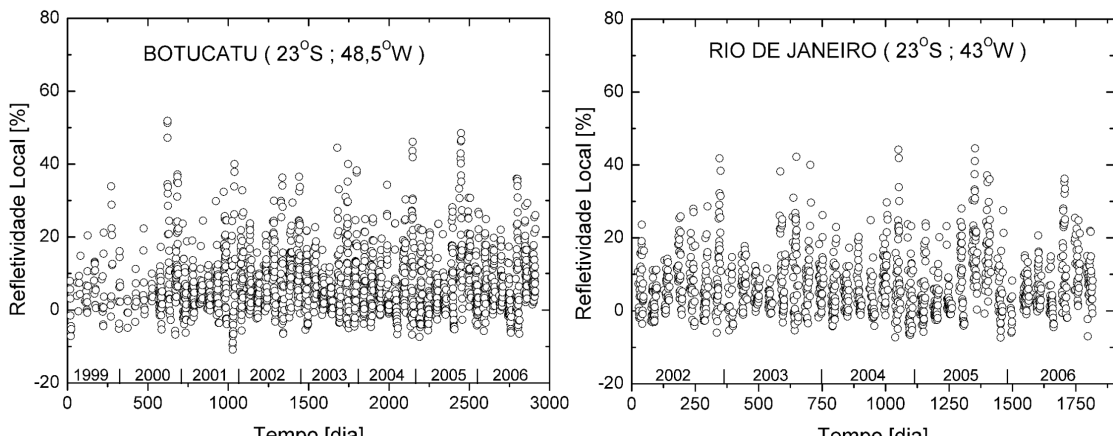


Figura 10 - Pontos experimentais da refletividade local em função do dia do ano. Os valores de refletividade média foram de 7,7% e 7,4% para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro, respectivamente.

nas Figuras 6 e 7. A refletividade não local foi calculada usando as Equações 6 e 7. A Figura 10 mostra os valores de $K_{r,LOCAL}$ para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro.

A refletividade local média nas duas cidades é menor do que 10% (Botucatu=7,8% e Rio de Janeiro=7,4%), conforme pode ser verificado na Figura 10. Nesta figura, os pontos com $K_{r,LOCAL}$ menor do que zero são resultados de propagação de erros devido aos valores calculados da refletividade não local usando Equações 6 e 7. Diferenças entre os valores das curvas destas equações e os valores dos pontos experimentais, ver Figura 9, acarretam disparidades no valor de K_r . Outra coisa interessante, que deve ser destacada na Figura 10, é o fato que as maiores refletividades locais em Botucatu estão entre 45% e 50% e, no Rio de Janeiro entre 40% e 45%. Este fato se deve a diferença de altitude entre os dois locais (Rio de Janeiro - nível do mar e Botucatu - 800m). O efeito da altitude, também, é

visto nas Figuras 6 e 7 onde o coeficiente de transmissão médio para céu claro é de 75% em Botucatu e 65% no Rio de Janeiro.

A Equação 1 permite calcular o coeficiente de absorção para cada ponto mostrado nas Figuras 6, 7 e 10. A Figura 11 mostra os valores de K_a para as duas cidades estudadas neste trabalho. A cidade de Botucatu tem um coeficiente de absorção médio para céu claro de 25% e a cidade do Rio de Janeiro o valor de K_a médio é de 35%. O valor de K_a é fortemente dependente da nebulosidade.

3.3 Taxa de Absorção Atmosférica

Os valores de K_t e Albedo Planetário são os dados experimentais deste trabalho mostrados nas Figuras 6 e 7. Os valores de K_r não local são dados pelas Equações 6 e 7. A taxa de absorção atmosférica (R_a), dada pela Equação 2, é obtida pelo

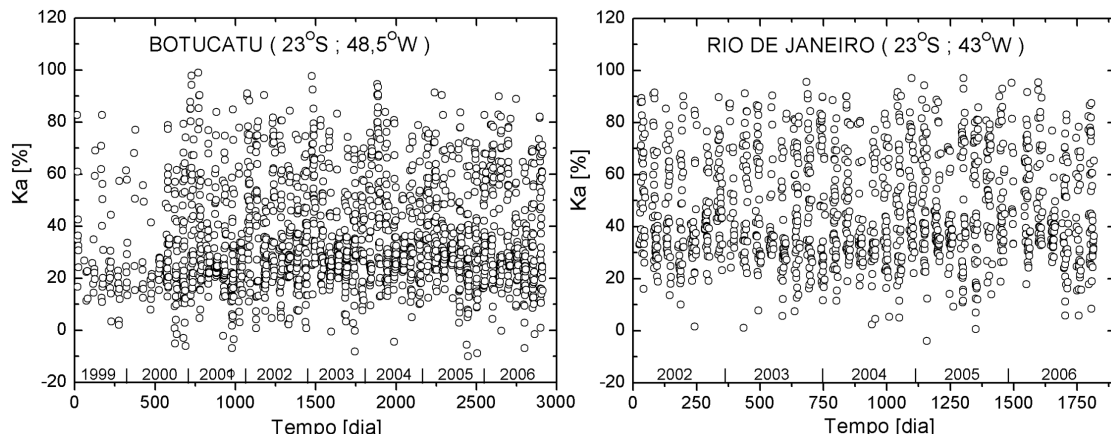


Figura 11 - Pontos experimentais do coeficiente de absorção em função do dia do ano. Os valores do coeficiente médio foram de 36,0% e 46,9% para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro, respectivamente.

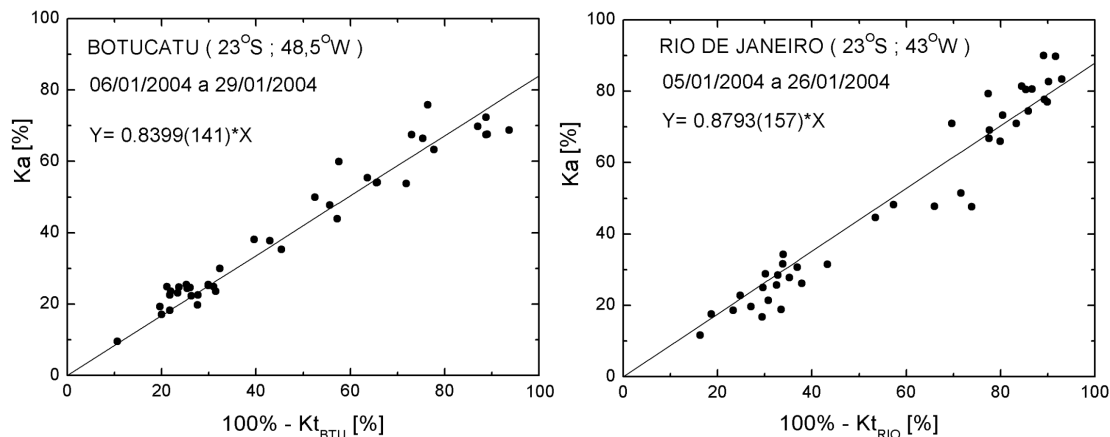


Figura 12 - Pontos experimentais do coeficiente de absorção em função de 100%- K_t , para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro no período de Janeiro de 2004.

ajuste linear de uma equação do tipo $y=ax$ que passa pela origem, similar a Equação 2 onde y é o valor de K_a , x é o valor de $100\%-K_t$ e o coeficiente linear a é a taxa de absorção R_a . Os valores de K_a são obtidos pela Equação 8, deduzida a partir das Equações 1 e 4.

$$K_a = 100\% - K_t - \text{Albedo} + K_{r_{\text{LOCAL}}} \quad (8)$$

A Figura 12 é um exemplo prático deste tratamento matemático e foi feito para o período de Janeiro de 2004 nas duas cidades consideradas neste trabalho. Esta figura mostra que a taxa de absorção atmosférica (R_a) em Botucatu foi $0,8399 \pm 0,141$, e no Rio de Janeiro de $0,8793 \pm 0,157$. Observando-se a distribuição dos pontos na Figura 12, pode-se notar que a taxa de absorção atmosférica não é função das condições de nebulosidade, pois alto valor de $100\%-K_t$ indica coeficiente de transmissão muito baixo, que é típico de céu

coberto por nuvens. Contrariamente, baixo valor de $100\%-K_t$ indica coeficiente de transmissão muito alto, $K_t=100\%$, que é típico de céu aberto sem nuvens. Portanto, pode-se concluir em primeira aproximação que a taxa de absorção não é função da nebulosidade.

As Figuras 13 e 14 são outros exemplos interessantes de taxa de absorção que devem ser destacados neste trabalho. Todas estas figuras (12, 13 e 14) mostram os valores de K_a nos mesmos períodos nas duas cidades. A Figura 13 corresponde a coletânea de pontos que tiveram o maior valor de $R_a \approx 1$, de todos os períodos estudados no trabalho. Por outro lado, a Figura 14 corresponde ao período que teve um dos menores valores de $R_a \approx 0,7$.

Todos os intervalos de tempo estudados neste trabalho mostraram taxas de absorção constante durante o período, mas com valores diferentes para períodos diferentes, conforme se pode ver nas Figuras 12-14. A Figura 15 mostra as taxas

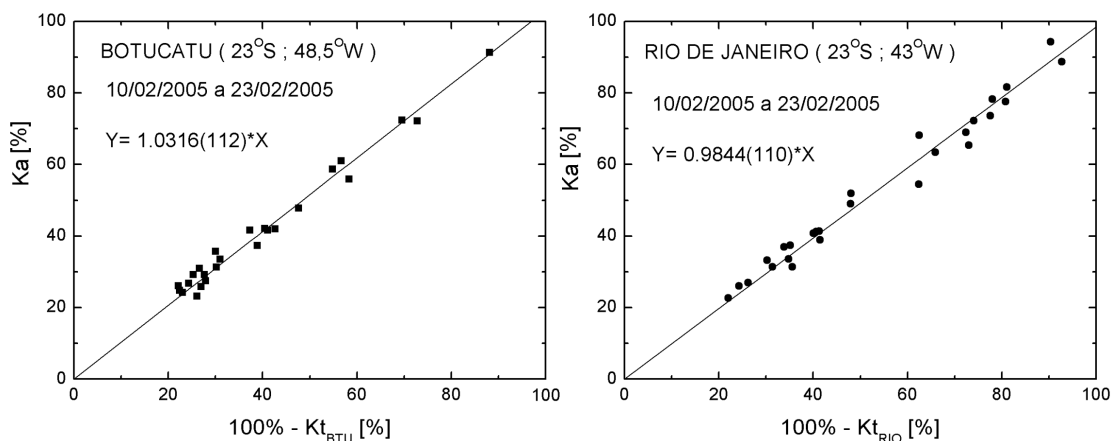


Figura 13 - Pontos experimentais do coeficiente de absorção em função de $100\%-K_t$, para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro no período de Fevereiro de 2005.

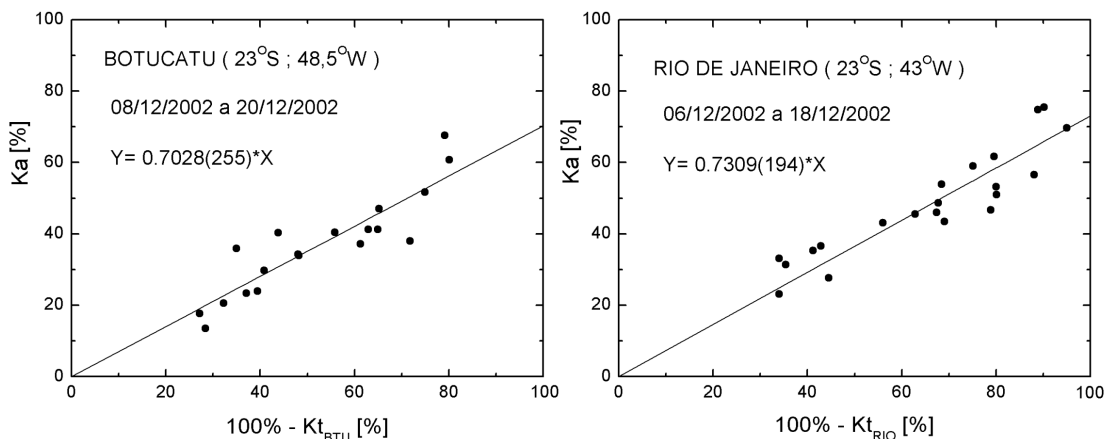


Figura 14 - Pontos experimentais do coeficiente de absorção em função de $100\%-K_t$, para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro no período de Dezembro de 2002.

calculadas para todos os períodos e a data considerada para cada ponto da figura corresponde ao dia médio do período. Por exemplo, sobre a cidade de Botucatu, no período de 10 a 23 de fevereiro de 2005 (dias 41 a 54), foi medido $Ra=1,032\pm 0,011$ e o dia 47,5. Os pontos da Figura 15, que tiveram fatores de correlação (R^2) maior do que 0,90, são mostrados nas Tabelas 1 e 2 para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro, respectivamente.

Os valores das taxas de absorção atmosférica mostrada nestas duas tabelas têm vários períodos em comum nas duas cidades. Nestes períodos em comum os valores de Ra do Rio de Janeiro são em média 6% maiores. Este fato, talvez, pode ser explicado pela diferença de altitude entre Botucatu e o Rio de Janeiro. Também, deve ser ressaltado que existem vários

períodos consecutivos em Botucatu (22 e 23; 24 e 25; 26 e 27; 31 e 32) e no Rio de Janeiro (20 e 21) onde houve variação abrupta dos valores de Ra .

Os pontos da Figura 15 permitem montar um histograma da frequência de contagem dos valores da taxa de absorção atmosférica. A Figura 16 mostra os histogramas sobre as duas cidades estudadas neste trabalho.

Os histogramas da Figura 16 permitem calcular as taxas de absorção média que são $0,859\pm 0,070$ ($R^2=0,78$ e qui-quadrado reduzido de 3,759) e $0,882\pm 0,088$ ($R^2=0,61$ e qui-quadrado reduzido de 3,714) para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro, respectivamente. As incertezas destes dois valores correspondem ao desvio padrão das Gaussianas ajustadas nestes histogramas. O desvio padrão é consequência de dois diferentes

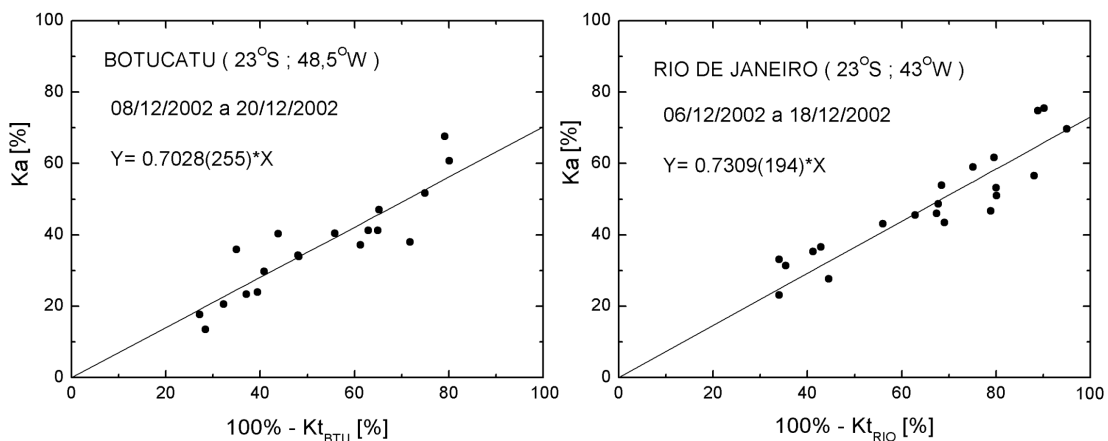


Figura 15 - Pontos experimentais da taxa de absorção atmosférica em função do dia do ano, para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro. Os pontos em destaque são os valores das Figuras 12-14.

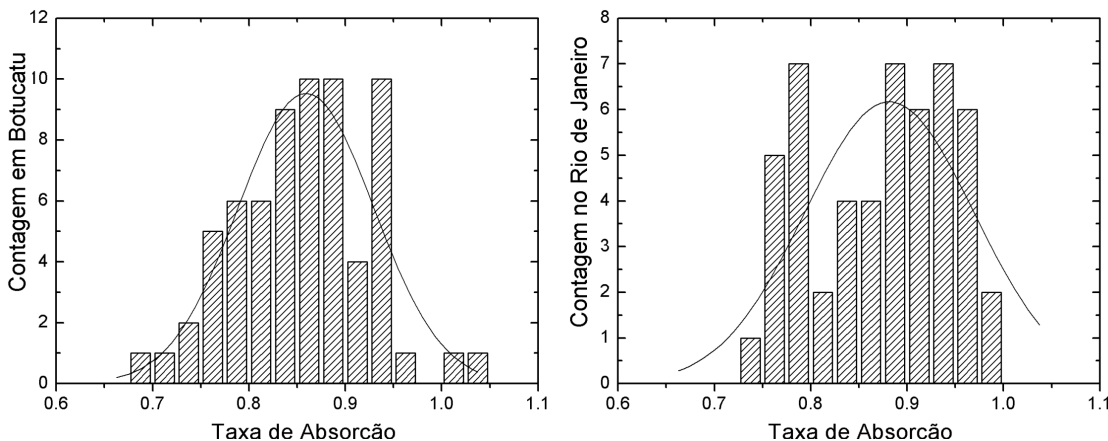


Figura 16 - Histogramas das contagens das taxas de absorção atmosférica (Ra) da Figura 15, para as cidades de Botucatu e do Rio de Janeiro.

tipos de erros associados às medidas. Primeiro, ele é devido à incerteza inerente da medida experimental (erro dos equipamentos de medidas e desvios resultantes da falta de simultaneidade exata das medidas do radiômetro e da incerteza do albedo planetário visto pelo experimento célula solar) e segundo, o desvio padrão reflete as diferentes condições atmosféricas (massa de ar, umidade relativa do ar, pressão barométrica e temperatura média diária) que atuavam durante as medidas.

4. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

O objetivo principal do trabalho é o de apresentar resultados derivados de medidas experimentais, do ECS e das estações radiométricas do Rio de Janeiro e de Botucatu. Os parâmetros estabelecidos para este estudo possuem conexão intrínseca com parâmetros específicos da física da atmosfera, mas os autores escolheram não se estender nesta parte, porque

Tabela 1 - Valores da taxa de absorção para a cidade de Botucatu que tiveram fator de correlação (R^2) maior do que 0,90. A terceira coluna indica o número de pontos na curva que existe no período indicado na segunda coluna.

Ano	Período do ano	Pontos na curva	Ra	R^2	Período
1999	1) 16-24	9	$0,949 \pm 0,043$	0,9453	16 a 24 de Janeiro de 1999
1999	2) 109-127	12	$0,841 \pm 0,030$	0,9396	19 de Abril a 7 de Maio de 1999
1999	3) 165-177	12	$0,859 \pm 0,024$	0,9686	14 a 26 de Junho de 1999
2000	4) 5-64	8	$0,883 \pm 0,036$	0,9515	5 de Janeiro a 4 de Março de 2000
2000	5) 158-165	8	$0,883 \pm 0,010$	0,9309	6 a 13 de Junho de 2000
2000	6) 202-225	37	$0,900 \pm 0,016$	0,9418	20 de Julho a 12 de Agosto de 2000
2000	7) 352-366	23	$0,934 \pm 0,022$	0,9334	17 a 31 de Dezembro de 2000
2001	8) 1-12	17	$0,925 \pm 0,031$	0,9103	1 a 12 de Janeiro de 2001
2001	9) 37-61	40	$0,918 \pm 0,016$	0,9526	6 de Fevereiro a 2 de Março de 2001
2001	10) 89-112	31	$0,862 \pm 0,020$	0,9210	30 de Março a 22 de Abril de 2001
2001	11) 138-160	32	$0,901 \pm 0,012$	0,9692	18 de Maio a 9 de Junho de 2001
2001	12) 190-213	37	$0,884 \pm 0,022$	0,9031	9 de Julho a 1 de Agosto de 2001
2002	13) 27-50	44	$0,824 \pm 0,019$	0,9335	27 de Janeiro a 19 de Fevereiro de 2002
2002	14) 78-101	43	$0,871 \pm 0,013$	0,9573	19 de Março a 11 de Abril de 2002
2002	15) 126-151	38	$0,864 \pm 0,011$	0,9661	6 a 31 de Maio de 2002
2002	16) 244-253	11	$0,951 \pm 0,029$	0,9456	1 a 9 de Setembro de 2002
2002	17) 329-341	19	$0,838 \pm 0,020$	0,9431	25 de Novembro a 7 de Dezembro de 2002
2003	18) 14-26	22	$0,897 \pm 0,015$	0,9429	14 a 26 de Janeiro de 2003
2003	19) 67-90	37	$0,802 \pm 0,021$	0,9303	8 a 31 de Março de 2003
2003	20) 117-140	42	$0,872 \pm 0,009$	0,9784	27 de Abril a 20 de Maio de 2003
2003	21) 168-190	36	$0,927 \pm 0,014$	0,9357	17 de Junho a 9 de Julho de 2003
2003	22) 218-228	20	$0,745 \pm 0,022$	0,9467	6 a 16 de Agosto de 2003
2003	23) 229-241	24	$0,925 \pm 0,020$	0,9275	17 a 29 de Agosto de 2003
2003	24) 318-330	31	$0,890 \pm 0,021$	0,9022	14 a 26 de Novembro de 2003
2003	25) 331-341	15	$0,756 \pm 0,021$	0,9548	27 de Novembro a 7 de Dezembro de 2003
2004	26) 6-17	22	$0,909 \pm 0,019$	0,9512	6 a 17 de Janeiro de 2004
2004	27) 18-29	19	$0,804 \pm 0,015$	0,9615	18 a 29 de Janeiro de 2004
2004	28) 54-66	23	$0,942 \pm 0,015$	0,9205	23 de Fevereiro a 6 de Março de 2004
2004	29) 104-129	44	$0,879 \pm 0,015$	0,9424	13 de Abril a 8 de Maio de 2004
2004	30) 157-176	39	$0,885 \pm 0,013$	0,9567	5 a 24 de Junho de 2004
2005	31) 41-54	25	$1,032 \pm 0,011$	0,9815	10 a 23 de Fevereiro de 2005
2005	32) 55-66	21	$0,805 \pm 0,022$	0,9009	24 de Fevereiro a 7 de Março de 2005
2005	33) 93-108	32	$0,940 \pm 0,013$	0,9674	3 a 18 de Abril de 2005
2005	34) 144-166	39	$0,909 \pm 0,013$	0,9353	24 de Maio a 15 de Junho de 2005
2005	35) 244-253	16	$0,787 \pm 0,025$	0,9273	1 a 10 de Setembro de 2005
2006	36) 31-54	41	$0,849 \pm 0,017$	0,9155	31 de Janeiro a 23 de Fevereiro de 2006
2006	37) 81-104	45	$0,858 \pm 0,012$	0,9669	22 de Março a 14 de Abril de 2006
2006	38) 131-156	42	$0,848 \pm 0,014$	0,9447	11 de Maio a 5 de Junho de 2006
2006	39) 284-305	41	$0,754 \pm 0,019$	0,9079	11 de Outubro a 1 de Novembro de 2006
2006	40) 333-356	44	$0,837 \pm 0,013$	0,9482	29 de Novembro a 22 de Dezembro de 2006

Tabela 2 Valores da taxa de absorção para a cidade do Rio de Janeiro que tiveram fator de correlação (R^2) maior do que 0,90. A terceira coluna indica o número de pontos na curva que existe no período indicado na segunda coluna.

Ano	Período do ano	Pontos na curva	Ra	R^2	Período
2002	1) 25-48	40	0,882 ± 0,014	0,9090	25 de Janeiro a 17 de Fevereiro de 2002
2002	2) 76-99	44	0,957 ± 0,013	0,9537	17 de Março a 9 de Abril de 2002
2002	3) 127-149	37	0,885 ± 0,011	0,9565	7 a 29 de Maio de 2002
2002	4) 192-200	13	0,921 ± 0,018	0,9755	11 a 19 de Julho de 2002
2002	5) 329-339	18	0,941 ± 0,018	0,9234	25 de Novembro a 5 de Dezembro de 2002
2003	6) 14-35	22	0,932 ± 0,019	0,9298	14 de Janeiro a 4 de Fevereiro de 2003
2003	7) 65-90	37	0,873 ± 0,012	0,9584	6 a 31 de Março de 2003
2003	8) 118-140	39	0,911 ± 0,010	0,9750	28 de Abril a 20 de Maio de 2003
2003	9) 174-190	25	0,961 ± 0,011	0,9801	23 de Junho a 9 de Julho de 2003
2004	10) 5-26	40	0,879 ± 0,016	0,9408	5 a 26 de Janeiro de 2004
2004	11) 57-69	29	0,929 ± 0,016	0,9253	26 de Fevereiro a 9 de Março de 2004
2004	12) 104-127	44	0,909 ± 0,009	0,9712	13 de Abril a 6 de Maio de 2004
2004	13) 168-176	17	0,974 ± 0,008	0,9787	16 a 24 de Junho de 2004
2004	14) 220-229	13	0,959 ± 0,024	0,9535	7 a 16 de Agosto de 2004
2004	15) 254-268	22	0,829 ± 0,019	0,9292	10 a 24 de Setembro de 2004
2004	16) 307-319	24	0,942 ± 0,022	0,9246	2 a 14 de Novembro de 2004
2005	17) 41-54	27	0,984 ± 0,011	0,9761	10 a 23 de Fevereiro de 2005
2005	18) 91-116	44	0,942 ± 0,013	0,9361	1 a 26 de Abril de 2005
2005	19) 144-166	38	0,912 ± 0,014	0,9197	24 de Maio a 15 de Junho de 2005
2005	20) 194-205	21	0,786 ± 0,025	0,9265	13 a 24 de Julho de 2005
2005	21) 206-215	18	0,972 ± 0,020	0,9323	25 de Julho a 3 de Agosto de 2005
2005	22) 244-255	24	0,779 ± 0,014	0,9556	1 a 12 de Setembro de 2005
2005	23) 346-365	35	0,933 ± 0,015	0,9398	12 a 31 de Dezembro de 2005
2006	24) 31-38	11	0,994 ± 0,022	0,9517	31 de Janeiro a 7 de Fevereiro de 2006
2006	25) 81-104	46	0,913 ± 0,010	0,9516	22 de Março a 14 de Abril de 2006
2006	26) 131-154	40	0,897 ± 0,012	0,9378	11 de Maio a 3 de Junho de 2006
2006	27) 284-305	32	0,790 ± 0,017	0,9226	11 de Outubro a 1 de Novembro de 2006
2006	28) 333-356	43	0,866 ± 0,014	0,9379	29 de Novembro a 22 de Dezembro de 2006

o trabalho seria muito extenso e poderia mascarar o objetivo principal. De qualquer forma, o trabalho assim apresentado é uma fonte de dados experimentais para simulações e estudo da física atmosférica, principalmente sob as cidades do Rio de Janeiro e de Botucatu.

Este trabalho mostra de maneira inédita uma metodologia para a determinação experimental da absorção da radiação solar pela atmosfera. O conceito de taxa de absorção (Ra), apresentado neste trabalho, que é diferente do conceito de absorção atmosférica (Ka), está relacionado com a radiação líquida que não atravessou a atmosfera (100%-Kt) e, aparentemente, não é função da cobertura de nuvens.

A próxima publicação, continuação deste trabalho, pretende relacionar esta taxa com as condições atmosféricas e verificar a influência natural (frentes frias, por exemplo) e humana (queimadas, por exemplo) nos valores de Ka. Outro detalhe que será estudado é o fato que a taxa de absorção atmosférica mostra variações bruscas em alguns períodos

consecutivos. Por exemplo, o que aconteceu com a atmosfera no meio do mês de Agosto de 2003, quando o valor de Ra=0,745 subiu para Ra=0,925. Talvez, as queimadas em plantações de cana de açúcar, que acontecem nesta região e nesta época do ano, possam explicar este comportamento anômalo.

O albedo planetário visto pelo Experimento Célula Solar cobre uma vasta área sobre a América do Sul. Todas as estações radiométricas dentro desta área são passíveis, após seus dados de radiação global serem convertidos em coeficientes de transmissão (Kt), de estudo análogo ao deste trabalho. Desta forma, o estudo da taxa de absorção atmosférica permitirá mostrar as características de cada região (Pantanal, Amazônica, Semi-Árido e outras).

O Experimento Célula Solar continua operante e os dados dos anos seguintes (2007, 2008, 2009 e outros) permitirão formalizar a teoria apresentada neste trabalho. Talvez, nestes anos seguintes sob a influência de um efeito El-Niño forte, o formalismo simplificado da física da atmosfera apresentado

neste trabalho, possa permitir uma maior compreensão do sistema atmosférico e de suas mudanças decorrentes das mudanças globais antropogênicas.

5. BIBLIOGRAFIA

- KING, M. D.; CURRAN, R. J. The effect of a nonuniform planetary albedo on the interpretation of Earth radiation budget observations, **J. of the Atmospheric Sciences**, v. 37, p. 1262-1278, 1980.
- NUBILE, P.; VEISSID, N.; BELOTO, A. F. The Solar Cell Experiment of the First Brazilian Satellite: 500 Days of Data Analysis. In: FIRST WORLD CONFERENCE ON PHOTOVOLTAIC ENERGY CONVERSION, Hawaii-USA. **Anais do Congresso First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion**, p. 2232-2238, 1994.
- TADA, H. Y. et al. **Solar Cell Radiation Handbook**, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, JPL Publication 82-69, 1982.
- VEISSID, N. et al. The Solar Cell Experiment of the First Brazilian Complete Space Mission Satellite. In: TWENTY-FIRST SPECIALISTS PHOTOVOLTAIC CONFERENCE, Kissimmee, Florida-USA. **Anais do Congresso Twenty-First Specialists Photovoltaic Conference**, Kissimmee, p. 1184-1187, 1990.
- VEISSID, N.; ANDRADE, A. M. The IxV Silicon Solar Cell Characteristic Parameters Temperature Dependence: an Experimental Study using the Standard Deviation Method. In: TENTH E. C. PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, Lisboa-Portugal. **Anais do Congresso Tenth E. C. Photovoltaic Solar Energy Conference**, p. 43-48, 1991.
- VEISSID, N.; BONNET D.; RICHTER, H. Experimental Investigation of the Double Exponential Model of a Solar Cell under Illuminated Conditions: Considering the Instrumental Uncertainties in the Current, Voltage and Temperature Values, **Solid-State Electronics**, v. 38, n. 11, p. 1937-1943, 1995.
- VEISSID, N.; NUBILE, P.; BELOTO, A. F. Results of the solar cell experiment of the first Brazilian satellite, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 46, n.1, p. 1-16, 1997.
- VEISSID, N.; NUBILE, P.; BELOTO, A. F. The Solar Cell Experiment of the First Brazilian Satellite: 1000 Days of Data Analysis, In: SECOND WORLD CONFERENCE AND EXHIBITION ON PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONVERSION, Viena-Áustria. **Anais do Congresso Second World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion**, p. 3582-3585, 1998.
- VEISSID, N.; BELOTO, A. F.; FERREIRA LEITE, N. Experimentos Célula Solar 1 e 2 dos Satélites SCD1 e SCD2 do INPE. In: SEMINÁRIOS DE FONTES NÃO-CONVENCIONAIS DE ENERGIA – AS TECNOLOGIAS SOLAR, EÓLICA E DE BIOMASSA, Florianópolis-SC. **Anais do Seminários de Fontes Não-Convencionais de Energia – As Tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa**, p. 171-190, 1999.
- VEISSID, N.; PEREIRA, E. B. Estimativa do albedo planetário empregando dados do experimento célula solar do satélite Brasileiro SCD2. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18, n. 1, p. 25-38, 2000.
- VEISSID, N. Variabilidade Climática Caracterizada pelo Desvio Padrão do Albedo Planetário. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA: A METEOROLOGIA E A GESTÃO DE ENERGIA, Foz do Iguaçu-PR. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia: A Meteorologia e a Gestão de Energia**, trabalho 2142-1, 2002. 1 CD-ROM.
- VEISSID, N. New Developments in Using Solar Cells as Remote Sensors to Gauge Climate Change, **Environmental Geosciences**, v. 10, n. 2, p. 47-57, 2003a.
- VEISSID, N. New Satellite Sensor and Method for the Direct Measurement of the Planetary Albedo, Results for the 1999, 2000 and 2001 in South America, **Atmospheric Research**, v. 66, p. 65-82, 2003b.
- VEISSID, N. Experimento Célula Solar do Satélite SCD2/INPE, Potencial dos seus Dados para Monitoramento de Mudanças Climáticas. In: CONGRESSO 2004 SAE BRASIL, São Paulo - SP, **Anais do Congresso 2004 SAE BRASIL**, p. 44, 2004.
- VEISSID, N. Células Solares para Aplicações Espaciais. In: II SIMPÓSIO NACIONAL DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, CEPEL, Rio de Janeiro - RJ, **Anais do II Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica**, 2005a. 1 CD-ROM.
- VEISSID, N. Experimento Célula Solar do Satélite SCD2/INPE, Sensor não Colimado que Permite Fazer Imageamento do Albedo Planetário sobre a América do Sul. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia - GO, **Anais eletrônicos do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, <http://www.ltid.inpe.br/sbsr2005/index.htm>. ISBN 85-17-00018-8, 2005b. 1 CD-ROM (4531.pdf).
- VEISSID, N. Distribuição Logarítmica Temporal do Albedo Planetário sobre a América do Sul no Monitoramento de Mudanças Climáticas Globais. In: III CONFERÊNCIA REGIONAL SOBRE MUDANÇAS GLOBAIS: AMÉRICA DO SUL, São Paulo - SP, **Anais da III Conferência Regional sobre Mudanças Globais: América do Sul**, 2007. 1 CD-ROM (13.pdf).
- VEISSID, N.; BELOTO, A. F. Oito Anos de Análise dos Dados do Experimento Célula Solar do Segundo Satélite Brasileiro.

In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR – III CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA DE LAISES, Florianópolis – SC. **Anais do II Congresso Brasileiro de Energia Solar – III Conferência Latinoamericana de la ISES**, 2008. 1 CD-ROM (3201.pdf).

VEISSID, N. Novo Algoritmo para Mapas de Variabilidade Climática. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

SENSORIAMENTO REMOTO, Natal. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, p. 1707-1713. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.13.03>, 2009.