

FRAÇÕES SOLARES GLOBAL, DIFUSA E DIRETA DO ESPECTRO INFRAVERMELHO EM BOTUCATU/SP/BRASIL

Taiza Juliana Rossi –taizarossi@fca.unesp.br

João Francisco Escobedo –escobedo@fca.unesp.br

Cícero Manoel dos Santos –ciceromanoel@fca.unesp.br

Maurício Bruno Prado da Silva – mauricio.prado19@hotmail.com

Enzo Dal Pai- edalpai.unesp.br

Departamento de Engenharia Rural – FCA/UNESP – Botucatu/SP/Brasil

Resumo. O trabalho descreve a análise estatística e climática das frações solares K_{GIV}^d , K_{aIV}^d e K_{DIV}^d para uma base de dados das irradiações global (H_G^d), difusa (H_d^d) e direta (H_D^d) do espectro total e das irradiações global (H_{GIV}^d), difusa (H_{aIV}^d) e direta (H_{DIV}^d) do espectro IV, medida nos anos de 2003 a 2006 em Botucatu-SP. São apresentadas ainda equações que permitem estimar as frações médias K_{GIV}^d e K_{aIV}^d em função de K_t com elevados coeficientes de determinação $R^2 = 0,958$ e $R^2 = 0,943$ respectivamente, e a fração média K_{aIV} em função de K_d com coeficiente de determinação $R^2 = 0,982$.

Palavras-chave: irradiações solares global, difusa e direta, irradiação infravermelha.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre as frações solares UV, PAR e IV no espectro total, no tempo e espaço, é importante em muitas áreas científica e tecnológica. A fração UV-global (0,28 a 0,385 μ m) da radiação solar global G ($K_{UV} = UV/G$) tem sido investigada em muitos países (Al-Aruri et al, 1988; Robaa, 2004, Cañada et al, 2003, Martinez-Lozano et al, 1999 , Jacovides *et al*, 2006, Ogunjobi and Kim, 2004 e Escobedo et al, 2009 e 2011, Leal et al., 2011, Porfírio et al., 2012 entre outros. Os resultados mostram que a fração UV/G é altamente dependente das variações da concentração de nuvens, vapor d'água e aerossóis na atmosfera do local, e seu valor varia entre 2.0 % a 9.5 %. Estudos sobre as frações UV-difusa na difusa total (UV_d/d) ou UV- direta na radiação direta total (UV_D/D) há pouca informação na literatura. A fração PAR (0,385-0,7 μ m) da radiação solar global G ($K_{PAR} = PAR/G$) também já foi estudado em muitos locais e com diferentes climas (Jacovides *et al.* 2007; Finch et al.2004; Blackburn e Proctor 1983; Rao 1984; de Papaioannou et al. 1993 e 1996; de Stigter e Musabilha 1982 e Escobedo et al 2009 e 2011). Os resultados mostram que a K_{PAR} – global também depende do clima local e a fração PAR/G varia entre 40,8% a 63,1%. Estudos com a radiação PAR- direta na radiação direta (PAR_D/D) bem como da fração PAR-difusa na radiação difusa (PAR_d/d) dependem das variações da concentração de nuvens, vapor d'água e aerossóis na atmosfera do local (Karalis, 1989, Alados, I., Alados-Arboledas, 1999).

A radiação IV (0,7 – 3,0 μ m) é usada na técnica observacional por satélites e em aplicações nas áreas biológicas e agrônomicas. O efeito biológico da radiação IV nas plantas é importante para o desenvolvimento vegetativo da cultura como germinação das sementes, alongamento, floração e coloração dos frutos. A fração IV da radiação global G ($K_{IV} = IV/G$) foi menos estudada que as demais radiações espectrais, e ainda há poucas informações sobre observações experimentais simultâneas das duas radiações na superfície terrestre. Estudos com a radiação IV-global mostram que a fração K_{IV} depende das condições de cobertura de céu, principalmente da presença de vapor de água na atmosfera, e varia entre 44,0% na cobertura de céu nublado a 51,5% na cobertura de céu aberto (Escobedo et al., 2009). Para todas as coberturas de céu juntas, a fração K_{IV} varia entre 46,9% a 51,0%, como mostram os trabalhos de Bolsenga (1997), Zhang (2000), Escobedo et al., (2011). Similarmente as radiações UV e PAR, existem poucos estudos com as frações IV-difusa na difusa total (IV_d/d) e a fração IV- direta na direta total (IV/D). Resultados recentes obtidos por Rossi et al (2015) mostram que para todas as coberturas de céu juntas, a fração IV-difusa na difusa total (IV_d/d) e a fração IV- direta na direta total(IV/D) em Botucatu são da ordem de 38,2% e 51,1% respectivamente. A análise sazonal mostrou ainda que, em relação à fração anual $IV_d/d = 38,2\%$, a fração sazonal IV_d/d é maior na primavera(40,1%), igual no verão(38,2%), e menor no outono (34,9%) e inverno (33,9%). Similarmente, em relação à fração anual $IV/D = 51,1\%$, a fração sazonal IV/D é menor no verão (49,0%) e primavera (49,3%), e maior no outono (52,7%) e inverno (53,9%).

Diante da necessidade de se conhecer melhor as relações entre as radiações dos espectros total e IV, neste trabalho é apresentado uma análise estatística e climática, bem como estudo da modelagem entre as frações global, difusa e direta infravermelha em função de K_t , e da fração difusa infravermelha em função da fração difusa do espectro total.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Análise climática do local

A variabilidade dos valores das radiações global, difusa e direta na horizontal dos espectros total e infravermelho está fortemente associada às variações do clima local. O clima local é classificado como Cwa (Cepagri, 2012),

temperado quente (mesotérmico), o verão é quente e úmido e o inverno é seco. As Fig. 1a, 1b, 1c e 1d mostram as séries climáticas da temperatura, umidade relativa, precipitação e nebulosidade, do período de 1970 a 2008 em Botucatu. A evolução anual da temperatura e umidade relativa Fig. 1 a mostra que fevereiro é mês mais quente e julho é o mais frio do ano, com temperaturas médias de 22,5 °C e 16,8 °C, respectivamente. Os meses de janeiro e agosto são mais e o menos úmidos, com percentuais de 76,5% e 61,2 % respectivamente.

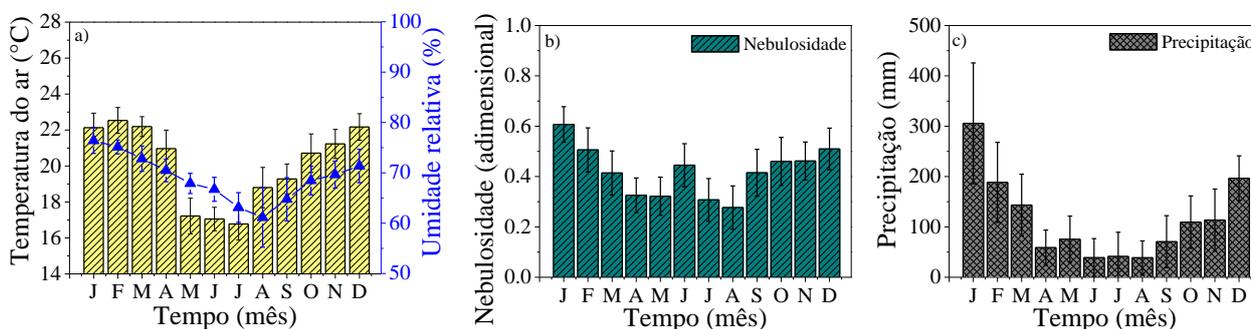


Figura 1 - Séries Climáticas da Temperatura e Umidade Relativa (a), Nebulosidade (b), Precipitação (c) do período de 1970 a 2008.

A nebulosidade(f), calculada pela expressão $f = 1 - (n/N)$, expressa a fração do número de horas em que o sol fica encoberto por nuvens no dia, onde (n/N) é a razão de insolação, n é o número de horas de brilho solar e N é o fotoperíodo. A nebulosidade Fig. 1b é mais elevada nos meses de janeiro ($f = 0,61$) e menor em agosto ($f = 0,28$). Por outro lado, os meses de maior e menor número de horas de brilho solar ocorrem em agosto e fevereiro com totais de 229 h e 175,28 h, respectivamente.

A evolução anual da precipitação Fig. 1c segue a evolução da nebulosidade, e é constituído de dois períodos distintos: chuvoso e seco, onde o limite entre os períodos é o valor da precipitação de 100 mm, aproximadamente. No período chuvoso, de outubro a março (primavera e verão), a precipitação é de natureza microclimática originada do processo de convecção livre e macro-climáticas originadas dos eventos meteorológicos como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Sistemas Frontais do Atlântico Sul. O ZCAS atua desde a Bacia Amazônica até o oceano Atlântico Sul, como resultado da convergência de massas de ar quente e úmido oriundas da Bacia Amazônica e do oceano Atlântico Sul. O ZCAS gera aumento da nebulosidade e ocorrência de chuvas intensas e persistentes entre a primavera e verão (Carvalho et al., 2004). A frequência de ocorrência é de duas a quatro vezes ao ano, com duração média de 8 dias e de intensidade variável (Nogués-Paegle, J 1997;). A maior precipitação ocorre no mês de janeiro com total de 304 mm e a menor em junho e agosto com 38,8 mm.

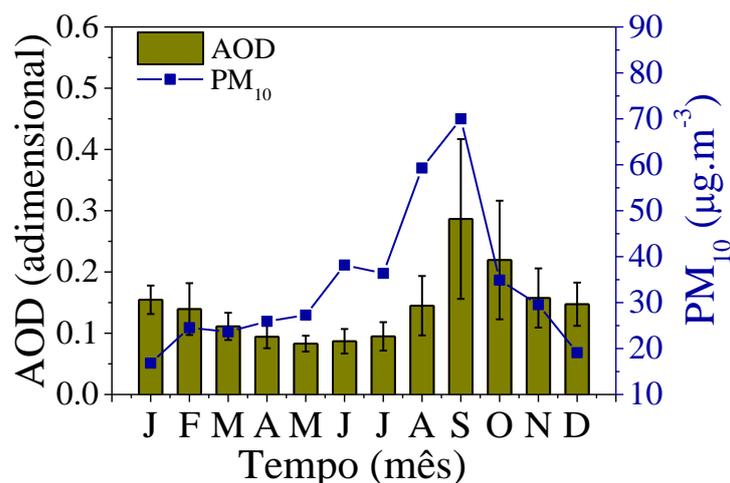


Figura 2 - Relação entre a evolução anual da profundidade óptica de aerossóis AOD médias mensais (obtidas do satélite TERRA) no ano de 2001 a 2005. Relação entre e a concentração de materiais particulados PM₁₀ em µg.m³.

No período seco, de abril a setembro (outono e inverno), a precipitação é do tipo frontal originada do encontro das massas frias e secas vindas da região sul com as massas quentes e úmidas, da região sudeste durante o outono, inverno. A distribuição da chuva frontal gera aumento na nebulosidade com ocorrência de chuvas generalizada na região. A intensidade da precipitação é fraca a moderada, dependendo do tipo de frente fria, e a duração é de média a longa (horas ou dias), dependendo da velocidade de deslocamento da frente. (Satyamurty et al., 1998). Segundo Lemos & Calbete

(1996), ocorrem em média 5 eventos de sistemas frontais por mês no Estado de São Paulo. A menor precipitação no período seco ocorre em agosto com 38,2 mm.

Nos meses de seca, de junho à novembro, a atmosfera local apresenta elevada concentração de materiais particulados provenientes das queimadas da cana de açúcar. A evolução anual das médias mensais da AOD (profundidade ótica de aerossóis) obtidas pelo satélite TERRA do período de 2000 a 2005, mostra que no início das queimadas da cana de açúcar em julho, a concentração de aerossóis mensal aumenta consideravelmente passando por um valor máximo de AOD=0.45 em setembro, o que é equivalente à concentração PM₁₀ de 70.0 µg.m⁻³, ver Fig. 2 (Codato *et al.*, 2008).

2.2 Medida das radiações global e difusa dos espectros total e infravermelho

As medidas das radiações global e difusa dos espectros total e infravermelho foram realizadas nos anos de 2003 a 2006, na Estação de Radiometria Solar de Botucatu-SP da UNESP. As irradiâncias global do espectro total e infravermelho (I_G^d e I_{GIV}^d) foram medidas por dois piranômetros Eppley PSP com cúpulas de transmissividade nos comprimentos de onda de 0,285 a 3,0 µm e 0,70 a 3,0 µm respectivamente. As irradiâncias difusas (I_d^d e I_{dIV}^d) foram monitoradas por dois piranômetros Eppley PSP com cúpulas de transmissividade nos comprimentos de onda de 0,285 a 3,0 µm e 0,70 a 3,0 µm, respectivamente, utilizando anéis de sombreamento tipo **MEO** (Melo e Escobedo, 1994) com as seguintes especificações: 80 cm de diâmetro, 10 cm de largura e 1mm de espessura. O sistema operacional do anel de sombreamento **MEO** é inverso do anel de sombreamento de **Drummond**: ao invés da translação do anel, as variações na declinação solar são compensadas por meio da translação do piranômetro numa base móvel mantido sempre à sombra do anel. No sistema **MEO** o anel fixo é inclinado na latitude local, onde eixo central do anel é paralelo a direção polar.



Figura 3 - piranometro medindo A global total; b) piranometro com anel de sombreamento medindo a difusa; c) piranometro medindo a IV, e d) piranometro com anel de sombreamento medindo a difusa infravermelho.

A medida da radiação difusa necessitou de correções denominado isotrópico (FC), para compensar a parcela de radiação difusa obstruída pelo próprio anel, os quais dependem de vários parâmetros, tais como: largura e diâmetro, latitude, declinação solar entre outros. O fator de correção isotrópico (FC usado para compensar as radiações difusa interceptada pelo anel de sombreamento **MEO**, foram calculados pelas expressões:

$$FC = [1 - (H'_d/H_d)]^{-1} \quad (1)$$

onde H_d ou H_{dIV} são as radiações difusas, enquanto que H'_d ou H'_{dIV} são as radiações difusas interceptadas durante o dia pelo anel de sombreamento.

A razão H'_d/H_d ou H'_{dIV}/H_{dIV} foram calculadas pela Eq. (2) proposta por Oliveira et al 2002 em função das dimensões do anel (largura e diâmetro) do dia (declinação solar) e local das medidas (latitude):

$$H'_d / H_d = \left(\frac{2b}{\pi R} \right) \cos(\delta) \left[\frac{\cos(\phi + \delta)}{\cos(\phi)} \right]^2 \int_0^{\omega_s} \cos(z) d\omega \quad (2)$$

onde b e R são a largura e raio do anel, δ é a declinação solar, ϕ é a latitude, z é o ângulo zenital e ω é o ângulo horário do sol, variando do nascer até o pôr do sol. As incertezas das medidas das radiações difusas anel de sombreamento **MEO** em função do tipo de cobertura de céu são: 3,4% parcialmente nublada, 8,4% céu parcialmente nublado com dominância para claro e 12,0% céu aberto. Sobre todas as coberturas de céu juntas, a incerteza é da ordem de 4,6% (Dal Pai et al., 2011 e 2014). Assim o erro da estimativa das irradiâncias direta e direta Infravermelha está associado à imprecisão das medidas de I_G e I_d pelos piranômetros da Eppley e à imprecisão das medidas de I_{GIV} e I_{dIV} pelos piranômetros PSP da Eppley, os quais possuem uma incerteza da ordem de 4,1% (Reda, 2008). Assim a radiação direta e direta Infravermelha obtidas pelo método da diferença por meio das equações: $I_D = I_G - I_d$ ou $I_{DIV} = I_{GIV} - I_{dIV}$ possuem uma incerteza estimada de 12,8%.

Na aquisição dos dados, utilizou-se um Datalogger Campbell 23X, operando na frequência de 1Hz e armazenando médias de 5 minutos. Os dados de irradiâncias passaram por um controle de qualidade onde foram eliminados os valores espúrios, e numa segunda etapa, foram processados as integrações das radiações nas partições horária e diária

(Chaves e Escobedo, 2000). A Estação de Radiometria Solar dispõe de um piranometro da Eppley PSP, o qual é utilizado unicamente para aferição dos piranometros de rotina, periodicamente pelo método comparativo sugerido pela OMM (Fröhlich e London, 1986).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Evolução temporal das frações

Geralmente é comum expressar as medidas (horária ou diária) em função das irradiações espectrais como frações das componentes do espectro total, para melhor detectar as relações entre as irradiações dos espectros espectrais e total. A evolução temporal das frações $K_t = (H_G^d / H_0^d)$, $K_{GIV} = (H_{GIV}^d / H_G^d)$, $K_{dIV} = H_{dIV}^d / H_d^d$ e $K_{DIV} = (H_{DIV}^d / H_D^d)$ período de 2003 a 2006, Fig. 4, é periódica, e a sazonalidade é resultante das variações climáticas por meio das variações das concentrações de nuvens, vapor d'água e aerossóis da atmosfera local do ano.

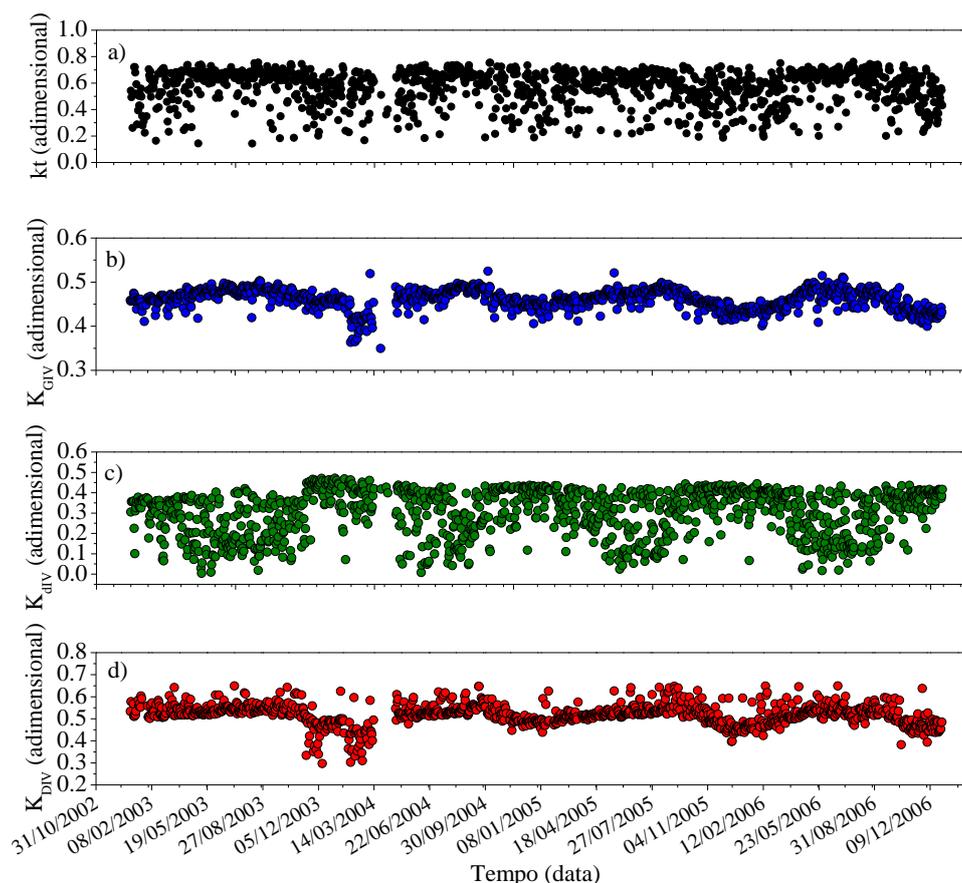


Figura 4 - Evolução temporal das frações K_t , K_{GIV}^d , K_{dIV}^d e K_{DIV}^d período de 2003 a 2006.

As Fig. 4a, 4b, 4c e 4d mostram que a nebulosidade é o parâmetro meteorológico mais efetivo na variabilidade das frações K_t^d , K_{GIV}^d , K_{dIV}^d e K_{DIV}^d . Os valores das K_{GIV}^d e K_{DIV}^d (Fig. 4a e Fig. 4c), acompanham os valores de K_t Fig. 4a, são menores no período chuvoso, primavera e verão, nas quais a atmosfera possui maiores concentrações de nuvens e vapor d'água no ano, e foram maiores no período seco, outono e inverno, nas quais a atmosfera possui as menores concentrações de nuvens e vapor d'água, e maior concentração de aerossóis Fig. 2. Os valores médios de K_{GIV}^d por estação do ano foram: primavera $K_{GIV}^d = 0,45$; verão $K_{GIV}^d = 0,44$; outono $K_{GIV}^d = 0,47$; inverno $K_{GIV}^d = 0,48$. Para K_{DIV}^d os valores foram: primavera $K_{DIV}^d = 0,50$; verão $K_{DIV}^d = 0,49$; outono $K_{DIV}^d = 0,53$; inverno $K_{DIV}^d = 0,55$. No período de 2003 a 2006, o valor de K_G^d variou de 0,35 a 0,525 com média geral de 0,46. O valor de K_D^d variou de 0,04 a 0,47 com média geral de 0,30. O valor K_D^d variou de 0,30 a 0,65 com média geral de 0,519. Os valores de K_{dIV}^d Fig. 4b foram contrários aos valores de K_t , são maiores na primavera e verão, nas quais são maiores concentrações de nuvens e vapor d'água no ano, e foram menores no outono e inverno, em atmosferas com menores concentrações de nuvens e vapor d'água, e maior concentração de aerossóis. Os valores médios de K_{dIV}^d por estação do ano foram primavera $K_{dIV}^d = 0,36$; verão $K_{dIV}^d = 0,36$; outono $K_{dIV}^d = 0,26$; inverno $K_{dIV}^d = 0,24$.

3.2 Correlações das frações K_{GIV}^d , K_{DIV}^d e K_{DIV}^d em função de Kt

Para melhor ilustrar a dependência das frações K_{GIV}^d , K_{DIV}^d e K_{DIV}^d com os constituintes atmosféricos como nebulosidade e concentração de vapor de água e aerossóis, as Fig. 5a, 5b e 5c mostram as correlações entre os valores de K_{GIV}^d , K_{DIV}^d e K_{DIV}^d em função de Kt , respectivamente. A dispersão dos dados experimentais das três radiações é bastante elevada nas três correlações (Fig. 5a, 5b e 5c), nas quais para cada valor de Kt há um largo intervalo de variação nos valores K_{GIV}^d , K_{DIV}^d e K_{DIV}^d respectivamente. Isso ocorre porque existe uma grande variabilidade das concentrações de nuvens, vapor de água e aerossóis na atmosfera nos períodos úmido e seco, que absorvem e espalham as radiações diferentemente com maior ou menor intensidade nas duas estações para mesmos valores de Kt .

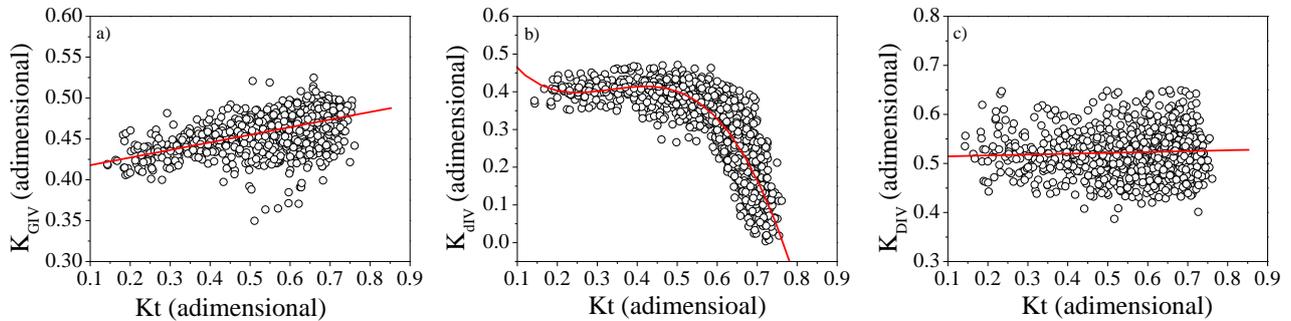


Figura 5 - Evolução temporal das frações K_{GIV}^d , K_{DIV}^d e K_{DIV}^d período de 2003 a 2006.

A Fig 5a mostra que existe uma pequena correlação ($r = 0,551$) entre K_{GIV}^d e Kt , com valores de K_{GIV}^d aumentando lentamente no sentido em que a cobertura atmosférica se transforma de céu nebuloso a aberto. A reta obtida na regressão linear, com baixo coeficiente angular, mostra que a variação do tipo cobertura de céu tem pouca influencia na variação da fração K_{GIV}^d que variou de de 0,41 a 0,48 no intervalo de variação de Kt entre 0, 15 a 0,78. Na cobertura nebulosa ($Kt < 0,35$) os valores de K_{GIV}^d são menores que nas demais coberturas porque o vapor de água absorve mais H_{GIV}^d que H_G diminuindo o valor da fração K_{GIV}^d (Martinez-Lozano, 1999). Por outro lado, na cobertura de céu aberto, na qual é alta a concentração de aerossóis, os valores de K_{GIV}^d são maiores que nas demais coberturas porque a atenuação de H_G é maior que de H_{GIV}^d . O espalhamento não proporcional na cobertura de céu por aerossóis deve-se ao fato que comprimentos de onda curtos são preferencialmente extintos (Alados e Arboledas 1999).

Ao contrário da relação K_{GIV}^d e Kt , na relação K_{DIV}^d e Kt - Fig. 5b, existe uma correlação ($r = 0,738$) mais significativa estatisticamente com valores de K_{DIV}^d diminuindo no sentido que a cobertura atmosférica se transforma de céu nebuloso a aberto. Os valores das frações K_{DIV}^d são maiores na cobertura nebulosa por que a extinção é maior para H_d^d que para H_{DIV}^d , aumentando os valor da fração H_d^d / H_d^d . Por outro lado, os valores das frações K_{DIV}^d são menores na cobertura de baixa nebulosidade, seca e com aerossóis, por que o espalhamento de H_{DIV}^d e H_d^d pelos aerossóis é maior para H_d^d que para H_{DIV}^d , diminuindo o valor da fração H_{DIV}^d / H_d^d . A Fig. 5c mostra que não existe correlação ($r = 0,056$) entre K_{DIV}^d e Kt , com valores de K_{DIV}^d permanecendo constante ou crescendo muitíssimo lentamente no sentido que a cobertura atmosférica se transforma de céu nebuloso a aberto.

3.3 Equações de estimativas das frações médias K_{GIV}^d e K_{DIV}^d em função de Kt

Com objetivo de buscar uma equação que melhor descreva a variação de K_{GIV}^d e K_{DIV}^d em função de Kt , optou-se em trabalhar com valores médios: K_{GIV}^d e K_{DIV}^d em funções de intervalos discretos centesimais de Kt , ver Fig. 1a e Fig. 1b.

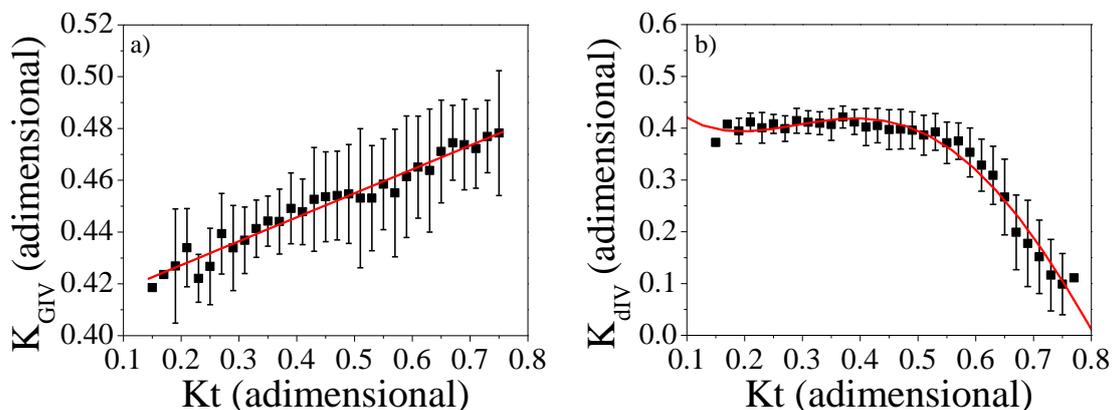


Figura 6 - Correlações das frações K_{GIV}^d e K_{DIV}^d em função de Kt .

A técnica foi usada em vários trabalhos como de Orgill & Hollands (1977), Bartoli et al., (1982) e Erbs et al., (1982) para a radiação difusa, entre outros. Para isso, o intervalo total de K_t foi sub-dividido em 100 sub-intervalos, onde $(K_t)_i$ representa o sub-intervalo i (de 0,01 em 0,01 unidades) de K_t . Em cada sub-intervalo $(K_t)_i$ calculou-se o valor médio: K_{GIV}^d e K_{DIV}^d e os desvios e os respectivos desvios de K_{GIV}^d e K_{DIV}^d , como mostrado na Fig. 6a e 6b.

As distribuições dos valores das frações K_{GIV}^d e K_{DIV}^d confirmam os resultados da secção anterior, as correlações são do tipo linear e polinomial, com elevados coeficientes de correlações ($r = 0,979$ e $r = 0,971$) respectivamente. As curvas de regressão obtidas nas duas distribuições são apresentadas por meio das Eq. (3) e Eq. (4) com seus respectivos coeficientes de determinação R^2 :

$$K_{GIV} = 0.408 + 0.092 * kt \quad R^2 = 0,958 \quad (3)$$

$$K_{DIV} = 0.541 - 1.929 * kt + 8.295 * kt^2 - 2.804 * kt^3 + 5.519 * kt^4 \quad R^2 = 0,943 \quad (4)$$

Os elevados coeficientes de determinação, próximos dos 100% mostram que as frações K_{GIV}^d e K_{DIV}^d estão muito bem correlacionadas em cada intervalo de K_t ente 0,15 a 0,75.

3.4 Equações de estimativas da fração média K_{DIV}^d em função de K_d

A Fig. 7a mostra a correlação entre os valores de K_{DIV}^d em função de K_d . Similarmente, as correlações K_{GIV}^d , K_{DIV}^d e K_{DIV}^d em função de K_t , a dispersão dos dados experimentais de K_{DIV}^d em função de K_d é bastante elevada, na qual para cada valor de K_d há um largo intervalo de variação nos valores K_{DIV}^d devido a variabilidade atmosférica das concentrações de nuvens, vapor de água e aerossóis nos períodos úmido e seco ao longo do ano. A correlação K_{DIV}^d e K_d Fig. 7a, aumenta no sentido que a cobertura atmosférica vai se transformando de céu aberto para nebuloso.

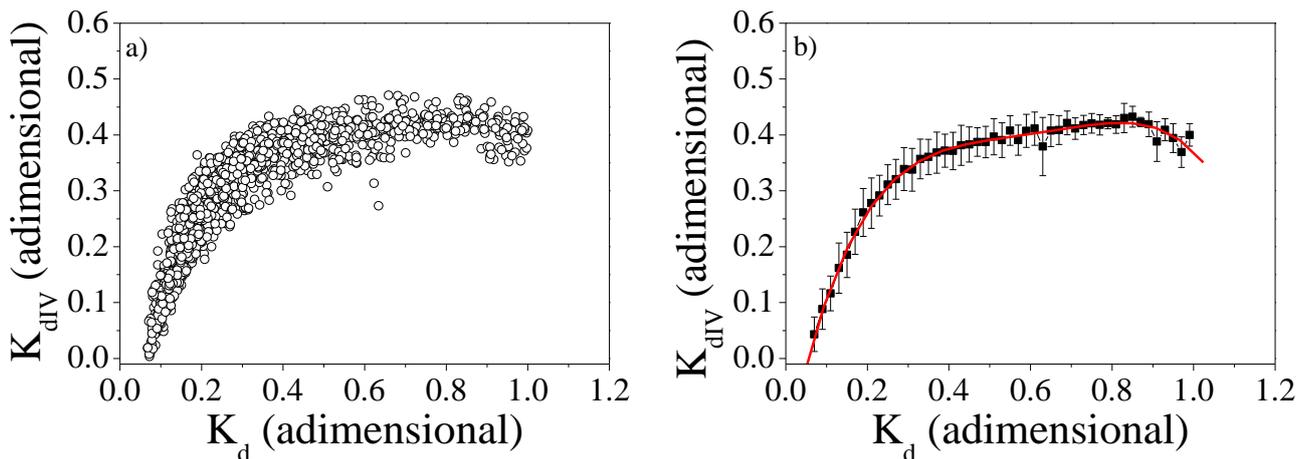


Figura 7 - Correlações a) da fração K_{DIV}^d em função de K_d , e b) da fração média K_{DIV}^d em função de K_d .

A correlação dos valores da fração K_{DIV}^d em função de K_d Fig. 7b é do tipo polinomial de quarta ordem, com elevado coeficiente de correlação ($r = 0,991$). A curva de regressão obtida na distribuição é mostrada por meio da Eq. (5) com seu respectivo coeficiente de determinação $R^2 = 0,982$.

$$K_{DIV} = -0.166 + 3.489 * kt + -.441 * kt^2 + 9.285 * kt^3 - 3.797 * kt^4 \quad (5)$$

O resultado obtido para o coeficiente de determinação, próximo dos 100% mostra que a fração K_{DIV}^d está muito bem correlacionada em cada intervalo de K_d ente 0,05 a 1,0.

4. CONCLUSÕES

A sazonalidade das frações K_t , K_{GIV} , K_{DIV} , K_{DIV} anualmente são resultante das variações climáticas por meio das variações das concentrações de nuvens, vapor d'água e aerossóis da atmosfera local. Os valores das K_{GIV}^d e K_{DIV}^d acompanham os valores de K_t são menores no período chuvoso, primavera e verão, nas quais a atmosfera possui maiores concentrações de nuvens e vapor d'água no ano, e foram maiores no período seco, outono e inverno, nas quais a atmosfera possui as menores concentrações de nuvens e vapor d'água, e maior concentração de aerossóis. Os valores de K_{DIV}^d foram contrários aos valores de K_t , são maiores na primavera e verão, nas quais são maiores concentrações de nuvens e vapor d'água no ano, e foram menores no outono e inverno, em atmosferas com menores concentrações de nuvens e vapor d'água, e maior concentração de aerossóis.

A correlação da fração K_{GIV}^d , em função de K_t mostra que com valores de K_{GIV}^d é maior na cobertura de céu nebulosa e menor em céu aberto. Por outro lado a correlação K_{DIV}^d em função de K_t mostra que com valores de K_{DIV}^d são maiores na cobertura e são menores na cobertura de céu aberto, seco e com aerossóis. A correlação K_{DIV}^d e K_t , cresce muito pouco de céu nebuloso a aberto. As relações $(K_{GIV} \times K_t)$, $(K_{DIV} \times K_t)$, $(K_{DIV} \times K_t)$ apresentaram baixos valores nas correlações. A técnica de transformação das frações K_{GIV} , K_{DIV} , K_{DIV} em K_{GIV} , K_{DIV} , K_{DIV} em intervalos centesimais de K_t permitiu a obtenção de equações de estimativas com elevados coeficientes de determinação: linear para $(K_{GIV} \times K_t)$ com coeficiente de determinação $R^2 = 0,958$; polinomial de quarta ordem para $(K_{DIV} \times K_t)$ com coeficiente de determinação $R^2 = 0,943$, e polinomial de quarta ordem para $(K_{DIV} \times K_t)$ com coeficiente de determinação $R^2 = 0,982$.

Agradecimentos

A FAPESP, CNPq.

REFERÊNCIAS

- Alados, I., Alados-Arboledas, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agric. and For. Meteorol.*, v.93, p.27-38, 1999.
- Al-Aruri S, Rasas M, Al-Jamal K, Shaban N. An assessment of global UV solar radiation in the range (0.290-0.385 μ m) in Kuwait. *Solar Energy* 1988;41:159-62.
- Bartoli, b., Cuomo, v., Amato, u. diffuse and bean components of daily global radiation in Genova and Macerata. *sol. energy*, v.28, p.307-11, 1982.
- Blackburn WJ, Proctor JTA. Estimating photosynthetically active radiation from measured solar irradiance. *Solar Energy* 1983;31:233-34.
- Bolsenga SJ, Near Infrared Radiation in Northern Greenland. *Journal Applied Meteorology*, 1997, 6, 449-451.
- Cañada J, Pedros G, Bosca JV. Relationships between UV (0.290-0.385 μ m) and broad band solar radiation hourly values in Valencia and Córdoba, Spain. *Energy* 2003; 28:199-217.
- Carvalho, L. M. V.; Jones, C.; Liebmann, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual and Extreme Rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, p. 88-108, 2004.
- CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_086.html, acesso em 14/09/2012.
- Chaves M., Escobedo, J.F. A software to process daily solar radiation data. *Renewable Energy*, v19, n^o1, p339-344, 2000.
- Codato, G.; Oliveira, A. P.; Soares, J.; Escobedo, J. F.; Gomes, E. G.; Dal Pai, A. Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in southeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 93, p.57–73, 2008.
- Dal Pai, A.; Escobedo, J. F. Correa, Dal Pai, E.; Santos M. C. Estimation of Hourly, Daily and Monthly mean Diffuse Radiation Based Shadowing Correction. *Energy Procedia* 57(2014) 1150 - 1159
- Dal Pai, A.; Escobedo, J. F. Correa, F. H. Numerical correction for the diffuse solar irradiance by the Melo-Escobedo shadowing measuring method In: *ISES SOLAR WORLD CONGRESS 2011*, 2011 Kassel.
- Erbs, D.G., Klein, S.A., Duffie, J.A. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Sol. Energy*, v.28, p.293-302, 1982.
- Escobedo J. F., Gomes E., Oliveira A. P., Soares J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy* 86, 299-309, 2009.
- Escobedo J. F., Gomes E. N., Oliveira A. P., Soares J. R. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. *Renewable Energy* 36, 169-178, 2011
- Finch DA, Bailey WG, McArthur LJB, Nasitwitwi M. Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 2004;122:229-38.
- Fröhlich C, London J. Revised Instruction manual on radiation instruments and measurements. WCRP Publications series No. 7. WMO/TD No. 149, October 1986.
- Jacovides CP, Assimakopoulos VD, Tymvios FS, Theophilou K, Assimakopoulos DN. Solar global UV radiation and its relationship with solar global radiation measured on the island of Cyprus. *Energy* 2006;31:2728-38.
- Jacovides CP, Tymvios FS, Assimakopoulos VD, Kaltsounides NA. The dependence of global and diffuse PAR radiation components on sky conditions at Athens, Greece *Agricultural and Forest Meteorology* 2007;143:277-87.
- Karalis JD. Characteristics of direct photosynthetically radiation. *Agricultural and Forest Meteorology* 1989;48:225-34.
- Leal, S. S.; Tiba, C.; Piacentini, R. Daily UV radiation modeling with the usage of statistical correlations and artificial neural networks. *Renewable Energy*, v.36, p.3337-3344, 2011
- Lemos, C.F.; Calbete, N. O. Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987-1995. **Climanálise**, Edição comemorativa 10 anos, 1996. (INPE-10717-PRE/6178).
- Martinez-Lozano JA, Tena F, Utrillas MP. Ratio of UV to global broad band irradiation in Valencia, Spain. *International Journal of Climatology* 1999;19:903–11.
- Melo, J.M.D.; Escobedo, J.F. Medida da radiação solar difusa. VII Congresso Ibérico de Energia Solar, Vigo, Espanha. *Anais do Internacional Solar Energy Society*, v.1, 1994.

- Nogués-Paegle, J.; MO, K.C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Mon Wea Rev*, v. 125, p 279-291, 1997.
- Ogunjobi KO, Kim YJ. Ultraviolet (0.280-0.400 μm) and broadband solar hourly radiation at Kwangju, South Korea: analysis of r correlation with aerosol optical depth and clearness index. *Atmospheric Research* 2004;71:193-214.
- Oliveira, A.P., Escobedo, J.F., Machado, A.J. A new shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation at surface. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Boston, v.5, p 698-708, 2002.
- Orgill, J. F., Hollands, K. G. T. Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface. *Solar Energy*, v.19, n.3, p.357-359, 1977.
- Papaioannou G, Nikolidakis G, Asimakopoulos D, Retalis D. Photosynthetically active radiation in Athens. *Agricultural and Forest Meteorology* 1996;81:287–298.
- Papaioannou G, Papanikolaou N, Retalis D. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Theoretical and Applied Climatology* 1993;48:23-27.
- Porfirio, A. C. S.; Souza, J. L.; Lyra, G. B.; Lemes, M. A. M. An assessment of the global UV solar radiation under various sky conditions in Maceió-Northeastern Brazil. *Energy*, v. 44, p.584-592, 2012.
- Rao CRN. Photosynthetically active components of global solar radiation: measurements and model computations. *Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology* 1984;34:353-64.
- Reda, I.M.; Myers, D.R.; Stoffel, T.L. *Uncertainty Estimate for the Outdoor Calibration of Solar Pyranometers: NCSLI Measure*, *The Journal of Measurement Science*; 3(4), pp. 58-66, 2008.
- Robaa SM. A study of ultraviolet solar radiation at Cairo urban area, Egypt. *Solar Energy* 2004;77:251-59.
- Rossi, T. J.; Escobedo, J. F.; Santos, C. M.; Silva, M. B. P.; Gomes, E. N. Equações de estimativas sazonais para as radiações global, difusa e direta infravermelha em Botucatu/SP/Brasil. *Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 3, pp. 11.83-11.94, 2015.
- Satyamurty, P.; Nobre, C. A.; Silva Dias, P. L. 1998. Topics: South America. *Meteorological Monographs*, v.27, n.49, p.119-139, 1998.
- Stigter CJ, Musabilha MM. The conservative ratio of photosynthetically active to total radiation in the tropics. *Journal of Applied Ecology* 1982;19:853-58.
- Zhang X, Zhang Y, Zhou Y. 2000. Measuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April- October. *Agricultural Meteorology* 2000;102:207-12.

GLOBAL, DIFFUSE AND DIRECT SOLAR FRACTIONS OF THE INFRARED SPECTRUM IN BOTUCATU/SP/BRAZIL

Abstract. This study describes the statistical and climatic analyses of the solar fractions K_{GIV}^d , K_{dIV}^d and K_{DIV}^d for a database of the global (H_G^d), diffuse (H_d^d) and direct (H_D^d) irradiances of the total spectrum, and of the global (H_{GIV}^d), diffuse (H_{dIV}^d) and direct (H_{DIV}^d) irradiances of the IV spectrum measured in the period from 2003 to 2006 in Botucatu/SP/Brazil. Also, equations are presented in order to estimate the mean fractions K_{GIV}^d and K_{dIV}^d as a function of K_t with high determination coefficients $R^2 = 0.958$ and $R^2 = 0.943$ respectively, and the mean fraction K_{dIV}^d as a function of K_d with determination coefficient $R^2 = 0.982$.

Keywords: global, diffuse and direct solar irradiances, infrared irradiation