

## MODELO DE LINKE PARA A ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO DIRETA NA INCIDÊNCIA

Eduardo Nardini Gomes – [engomes@fca.unesp.br](mailto:engomes@fca.unesp.br)

João Francisco Escobedo – [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br)

Departamento de Recursos Naturais/Ciência Ambiental – FCA/UNESP/Botucatu/SP/Brasil

Amauri Pereira de Oliveira – [apdolive@usp.br](mailto:apdolive@usp.br)

Jacyra Soares – [jacyra@usp.br](mailto:jacyra@usp.br)

Departamento de Ciências Atmosféricas – IAG/USP/São Paulo/SP/Brasil

**RESUMO.** No trabalho é descrito o modelo de estimativa paramétrico de Linke, baseado no fator de turbidez de Linke (TL). A base de dados das radiações direta na incidência e global utilizada é de 1996 a 2003. Os resultados mostram que o fator de turbidez de Linke variou mensalmente entre 3,1 ( $\pm 0,7$ ) em maio e 3,9 ( $\pm 0,7$ ) em setembro, com média anual igual a 3,5. Na validação, em cada mês ocorreu sub/superestimativa (MBE), espalhamento (RMSE) e ajustamento (d), respectivamente, na ordem de: janeiro: -4,38%; 13,87%; 0,83; fevereiro: -1,0%; 14,18%; 0,86; março: -5,26%; 13,44%; 0,86; abril: 1,32%; 9,91%; 0,93; maio: -2,67%; 12,15%; 0,91; junho: 2,00%; 8,98%; 0,94; julho: -5,20%; 14,52%; 0,87; agosto: 2,53%; 9,93%; 0,92; setembro: -1,75%; 15,20%; 0,79; outubro: 11,39%; 14,66%; 0,77; novembro: -4,35%; 15,57%; 0,84; e dezembro: -5,84%; 12,88%; 0,86. Com base no desempenho dos três indicativos, os melhores resultados foram no período de céu aberto.

**Palavras-chave:** radiação solar, radiação direta, turbidez atmosférica, Linke.

### 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil encontra-se em pleno desenvolvimento científico e tecnológico na busca de fontes alternativas e renováveis de energia. A radiação solar apresenta grande destaque neste contexto, principalmente na conversão da radiação solar térmica, fotovoltaica, biomassa e biodiesel entre outras.

A radiação solar direta na incidência é uma fração da radiação solar global e possui aplicações na engenharia térmica, relacionada com os concentradores solares, na agronomia e engenharia florestal, onde a radiação fotossinteticamente ativa direta, junto com a difusa, são responsáveis por desencadear o fluxo de elétrons na fotossíntese, e em demais áreas relacionadas com a biologia, ecologia, etc.

O conhecimento da radiação solar direta na incidência (0,285 a 4,0 $\mu$ m) se dá por meio de séries temporais, e de modelos de estimativa (estatístico ou paramétrico). Os modelos de estimativa são uma alternativa de grande importância, pois podem ser utilizados em projetos de simulação da radiação solar em outros locais de características climáticas similares. Nos modelos de estimativa estatísticos, a radiação ou a variável meteorológica (normalmente a radiação global ou número de horas de brilho solar) é medida de rotina em redes meteorológicas distribuída nos países que fazem previsão de tempo, enquanto que nos modelos paramétricos necessita-se de informações mais detalhadas a respeito de diversos parâmetros atmosféricos, de menor disponibilidade na rede solarimétrica mundial, como é o caso da concentração de ozônio, aerossóis, gases, etc.

Um dos modelos paramétricos mais conhecidos para a estimativa da radiação solar direta na incidência é o modelo de Linke, que utiliza o fator de turbidez de Linke (TL), a espessura óptica de Rayleigh e a massa óptica. Esse modelo, uma vez calibrado ou parametrizado para o local, permite a

estimativa por meio de informações meteorológicas e geográficas mínimas, sem a necessidade de utilizar dados de radiação solar como parâmetro do modelo.

A literatura mostrou que o TL depende das condições atmosféricas relacionadas com concentração de aerossóis e vapor de água. Portanto, a geração do modelo de Linke (equação de estimativa) depende inicialmente da obtenção do TL local, também conhecido como calibração do modelo. Com as medidas de  $I_{sc}$  (é a constante solar no topo da atmosfera) e  $I_b$  (radiação direta na incidência), o cálculo da espessura ótica de Rayleigh, e da massa ótica, determina-se TL antecipadamente. Assim, objetivou-se no trabalho determinar o fator de turbidez de Linke (TL) para Botucatu, de forma a se propor equações de estimativa para radiação direta na incidência usando o modelo paramétrico de Linke.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1- Clima e Instrumentação

A Estação de Radiometria Solar, mostrada na Figura 1, está inserida em ambiente rural na Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu (latitude 22,85°S, longitude 48,45°O e altitude 786m), e monitora de rotina a radiação solar: global e direta na incidência, desde 1995.



Figura 1. Pireliômetro Eppley – Detector da radiação solar direta na incidência.

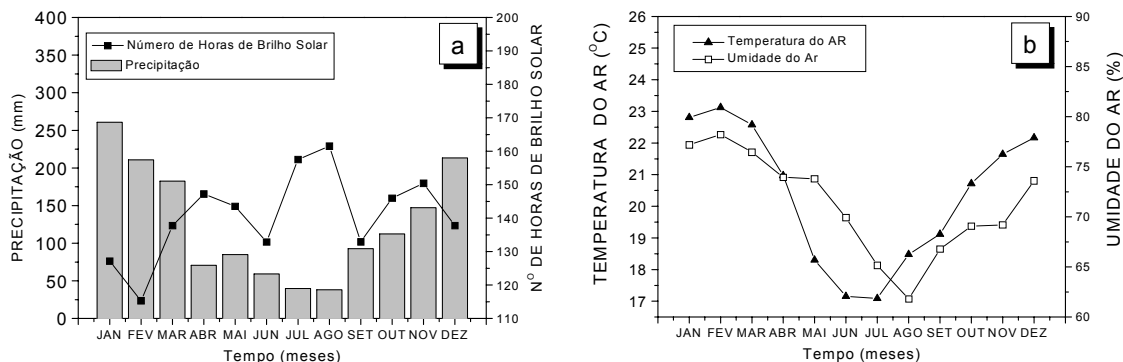


Figura 2. (a) Evolução anual da precipitação e número de horas de brilho solar acumulados médios anuais (35 anos); (b) Evolução anual da temperatura e umidade médias mensais de 35 anos.

O clima local é classificado como Cwa (critérios de KÖPPEN), temperado quente (mesotérmico), o verão é quente e úmido e o inverno é seco. O dia mais longo (solstício de verão) tem 13,4 horas em dezembro, e o mais curto (solstício de inverno) tem 10,6 horas em junho. Os

meses de maior e menor número de horas de brilho solar ocorrem em agosto e fevereiro com totais de 161,56h e 115,28h respectivamente. A maior precipitação ocorre no mês de janeiro com total de 260,7mm e a mínima em agosto com 38,2mm. Os meses de fevereiro e julho são o mais quente e frio do ano, respectivamente, com temperaturas médias de 23,2<sup>o</sup>C e 17,1<sup>o</sup>C, enquanto que fevereiro e agosto são os meses mais e o menos úmidos, com percentuais de 78,2% e 61,80% respectivamente. A Figura 2 mostra as series normais da precipitação, número de horas de brilho solar, temperatura e umidade do posto meteorológico da FCA/UNESP/Botucatu

A base de dados das radiações solares direta na incidência e global compreendem os anos de 1996 a 2003. A irradiância global ( $I_g$ ) é monitorada por um piranômetro Eppley PSP enquanto a direta na incidência ( $I_b$ ) por um pireliômetro Eppley NIP, acoplado a um rastreador solar ST3 da Eppley. As características operacionais referentes a fator de calibração, intervalo espectral, tempo de resposta, linearidade, resposta ao co-seno e a temperatura dos detectores da radiação global e direta estão apresentados na Tabela 1:

**Tabela 1.** Características operacionais referentes a fator de calibração, intervalo espectral, tempo de resposta, linearidade, resposta ao co-seno e a temperatura dos detectores da radiação global e direta.

| <b>Radiação</b>               | <b>Direta</b>                               | <b>Global</b>                                  |
|-------------------------------|---|--|
| <b>Sensor - Marca</b>         | Pireliômetro - Eppley                       | Piranômetro - Eppley                           |
| <b>Fator de Calibração</b>    | 7,59 $\mu$ V/Wm <sup>-2</sup>               | 7,45 $\mu$ V/Wm <sup>-2</sup>                  |
| <b>Range Espectral</b>        | 295-2800nm                                  | 295-2800nm                                     |
| <b>Tempo de resposta</b>      | 1s  | 1s   |
| <b>Linearidade</b>            | $\pm 0,5\%$<br>(0 a 1400 W/m <sup>2</sup> ) | $\pm 0,5\%$<br>(de 0 a 2800 W/m <sup>2</sup> ) |
| <b>Co-seno</b>                | --  | $\pm 1\%$ (0<Z<70°)<br>$\pm 3\%$ (70°≤Z<80°)   |
| <b>Resposta à temperatura</b> | $\pm 1\%$ de -20°C a 40°C                   | $\pm 1\%$ de -20°C a 40°C                      |

Na aquisição dos dados foi utilizado um Datalogger da Campbell CR23X operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 300 leituras ou 5 minutos. Os dados armazenados diariamente no módulo de memória SM192 da Campbell foram transferidos para um microcomputador através de uma interface SC532 e do software PC208w da Campbell.

## 2.2 Descrição do Modelo Paramétrico

No modelo de Linke, o fator de turbidez de Linke ( $TL$ ) foi determinado à partir da expressão proposta por Li & Lam (2002):  $TL = \ln(I_{SC}E_0/I_b)/(\delta_R m_a)$ , onde:  $I_{SC}$  é a constante solar no topo da atmosfera, igual a 1367 W/m<sup>2</sup>;  $E_0$  é a excentricidade da Terra,  $m_a$  é massa ótica a pressão real,  $\delta_R$  é a espessura ótica de Rayleigh, e  $I_b$  é a irradiância direta na incidência. O fator de turbidez de Linke (TL) representa o número de atmosferas secas e limpas (ASL) que são necessárias para produzir na radiação extraterrestre uma atenuação equivalente à atenuação de uma atmosfera real (Pedrós et al., 1999, e Hussain et al., 2000), ou seja, é um indicador da atenuação da radiação solar pelos constituintes atmosféricos: moléculas de ar, vapor de água, poeira e aerossóis, sendo assim um importante parâmetro de predição da disponibilidade da radiação solar em dias sem nuvens.

A massa ótica a pressão real ( $m_a$ ) foi calculada pela expressão:  $m_a = m_r(p/p_0)$ , onde  $m$  é massa ótica relativa:  $m = [\cos Z + 0,15(93,885 - Z)^{-1,253}]^{-1}$ , e  $Z$  é o ângulo zenital em graus.

A relação  $p/p_0$  é a razão entre a pressão local a pressão padrão (ao nível do mar), e foi calculada em função da altitude ( $h$ ) em metros (Iqbal, 1983) pela expressão:  $p/p_0 = \exp(-0,0001184h)$ . A espessura ótica de Rayleigh ( $\delta_R$ ) foi calculada de acordo com Louche et al.(1986) e Kasten (1996) através da massa ótica relativa, sendo representada por:  $\delta_{RP} = (6,6296 + 1,7513m - 0,1202m^2 + 0,0065m^3 - 0,00013m^4)^{-1}$ . Na depuração dos dados foi adotado o critério de corte para céu aberto proposto por Karayel (1984), onde a irradiância direta na incidência deve ser maior que  $200\text{W/m}^2$ , e a razão entre a irradiância difusa pela global menor que  $1/3$ .

### 2.3 Indicativos Estatísticos

Os indicativos estatísticos *MBE* (Mean Bias Error), *RMSE* (Root Mean Square Error), e “*d*” de Willmott utilizados na avaliação da performance das equações de estimativa foram:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{1/2} \quad d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P'_i| + |O'_i|)^2}$$

Onde:  $P_i$  representa os valores estimados,  $O_i$  os valores medidos,  $N$  o número de observações,  $|P'_i|$  o valor absoluto da diferença  $P_i - \bar{O}_i$ , onde  $\bar{O}_i$  representa a média de  $O_i$ , e  $|O'_i|$  representa o valor absoluto da diferença  $O_i - \bar{O}_i$ .

O indicativo *MBE* representa a média dos desvios e provê informações quanto à performance do modelo. Os Valores negativos de *MBE* indicam subestimativa do modelo testado, e vice-versa. Segundo Stone (1993), quanto menor o valor absoluto de *MBE*, melhor é a performance do modelo testado. A desvantagem deste método é que uma superestimativa cancela uma subestimativa.

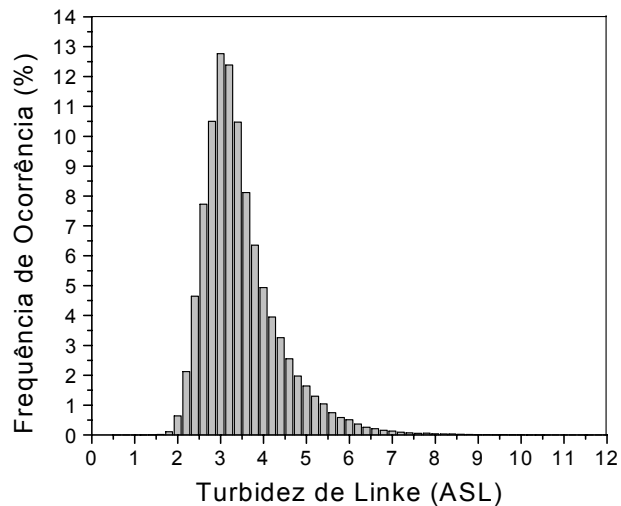
O *RMSE* é a raiz quadrada do erro quadrático médio e informa sobre o valor real do erro produzido pelo modelo. As desvantagens do *RMSE* são que alguns erros de grande proporção na soma podem causar acréscimos significativos nos valores de *RMSE*, além do que ele não diferencia superestimativa de subestimativa. Em geral, quanto menores os valores obtidos para *RMSE*, melhor a performance dos modelos.

O índice de ajustamento “*d*”, variando de 0 a 1, representa o total desajustamento ou ajustamento, respectivamente, entre a estimativa e a medida (Willmott 1981). A vantagem do indicativo “*d*” é que descreve as variações proporcionais de duas variáveis, fazendo distinção entre tipo e magnitude de possíveis covariâncias, diferentemente do índice de correlação (*R*) e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que não fazem distinção.

A utilização conjunta dos indicativos estatísticos *MBE*, *RMSE* e índice de ajustamento “*d*”, é a alternativa adequada para validação de modelos estatísticos, pois permite análise simultânea do desvio da média, identificando a ocorrência de sub ou superestimativa, espalhamento e ajustamento do modelo em relação às medidas. Alados et al. (2000) utilizaram o índice “*d*” conjuntamente com o *RMSE* no teste de validação de seus modelos de radiação solar.

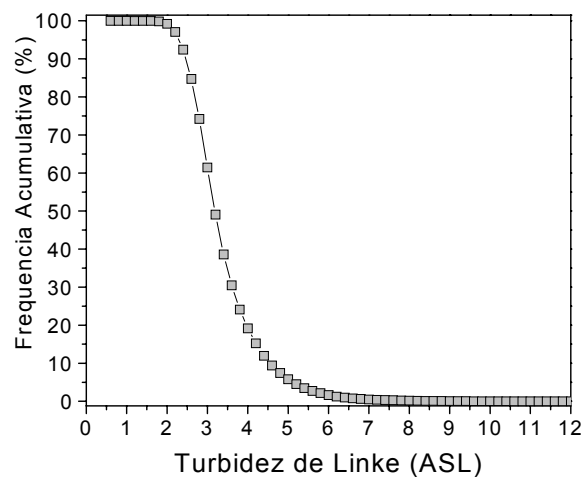
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para caracterizar a turbidez atmosférica de Botucatu, segundo a metodologia proposta por Linke, a Figura 3 mostra a frequência de ocorrência percentual do fator de turbidez de Linke em atmosferas secas e limpas (ASL). O pico da distribuição ocorreu em 3ASL, representando cerca de 12,8% das observações. Menos de 1% das observações ocorreram quando TL foi superior de 5,5, sendo que aproximadamente 99% das ocorrências de TL encontram-se no intervalo entre 2,0 e 6,0.



**Figura 3.** Frequência de Ocorrência do Fator de Turbidez de Linke.

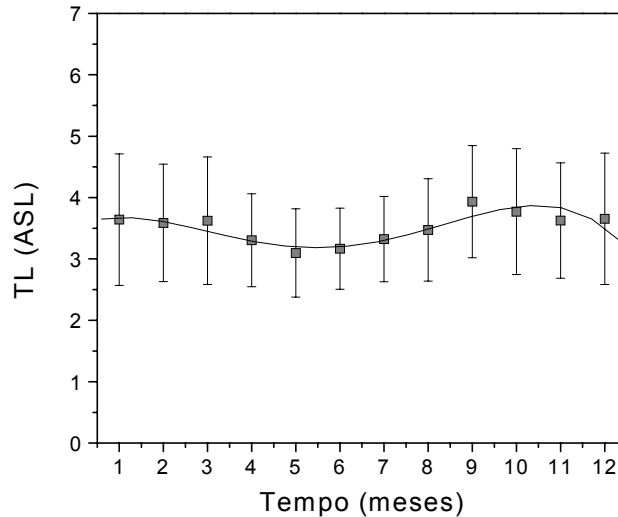
A frequência acumulativa de distribuição do fator de turbidez de Linke está apresentada na Figura 4, e serve como indicativo da porcentagem de observações (instantâneas de dias de céu sem nuvens) em que um dado nível de turbidez é atingido. Cerca de 90% das observações ocorrem abaixo de 2,5. O valor  $TL=3,2$  é o divisor da curva de frequência, pois 50% das observações encontram-se abaixo e acima deste valor.



**Figura 4.** Frequência Acumulativa de Distribuição do Fator de Turbidez de Linke.

Estes valores são diferentes dos observados por Li & Lam (2002) em Hong Kong, onde 50% das observações de TL encontram-se entre 4,3 e 5,3ASL, indicando que a cobertura atmosférica é de turbida a clara. A cobertura da atmosfera de Botucatu mostra ser bem mais limpa que de Hong Kong.

A Figura 5 mostra a evolução anual das médias mensais de TL e seus respectivos desvios. Os valores de TL variam de mês para mês, com uma periodicidade característica, onde os maiores valores de TL ocorrem na primavera e verão (maior nebulosidade), e os menores no outono e inverno (menor nebulosidade). A Tabela 2 mostra os valores médios mensais de TL e respectivos desvios para os meses de janeiro a dezembro.



**Figura 5.** Fator de Turbidez de Linke Médio Mensal em função do tempo em meses.

Os meses de abril a agosto são os que apresentaram os menores valores de TL, devido à maior estabilidade atmosférica, enquanto que os demais meses apresentam cobertura de céu mais instável, com maior ocorrência de entrada e saída de nuvens, resultando em maior turbidez, e conseqüentemente maiores desvios. Os valores médios mensais de TL são de  $3,1 \pm 0,7$  em maio a  $3,9 \pm 0,7$  em setembro, e na média geral TL foi igual a 3,5.

Este resultado é aproximadamente igual ao obtido por Pedrós et al. (1999) em Valência, Espanha (TL entre 2,9 a 4,7); Hussain et al (2000) em 3 regiões Bangladesh (TL entre 3,46ASL a 4,83ASL, com média de 4,0ASL); e menor que os obtido por Shaltout et al., (2001) em EL-Menia, região poluída do Egito (TL entre 2,01 e 5,86ASL); Li & Lam, (2002) em Hong Kong, (TL entre 3,7 a 5,26ASL) e Diabaté et al., (2003) na África (TL=3,5ASL).

Segundo Becker (2001), valores de TL entre 4 e 6 ASL indicam que a região é úmida, enquanto que, acima de 6 ASL, é poluída. Já TL entre 1,8 a 2,7 indica áreas montanhosas.

A equação polinomial de quarta ordem que melhor se ajusta à variação de TL em função do tempo, em meses, é dada por:

$$TL = 3,52846 + 0,30153T - 0,18083T^2 + 0,02749T^3 - 0,00121T^4 \quad (1)$$

O desenvolvimento desta equação busca uma facilitação no cálculo do Modelo de Linke, pois visa a determinação de TL em função e um parâmetro simples (o tempo em meses), ao invés de utilizar parâmetros mais complexos da metodologia de Linke. A equação apresenta um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,8122, indicando que cerca de 81,2% da variação de TL é explicada pelo tempo (em meses).

A estimativa da radiação direta na incidência, calculada mensalmente (valores médios mensais de TL) pela expressão de Li & Lam (2002):  $I_b = 1367E_0 \exp(-TL \delta_R m_a)$  estão apresentados na tabela 2.

**Tabela 2.** Valores médios mensais de TL e respectivos desvios.

| <b>Mês</b> | <b>TL</b> | <b>Desvios</b> |
|------------|-----------|----------------|
| Janeiro    | 3,64      | 1,07           |
| Fevereiro  | 3,59      | 0,96           |
| Março      | 3,62      | 1,04           |
| Abril      | 3,31      | 0,76           |
| Mai        | 3,10      | 0,72           |
| Junho      | 3,17      | 0,66           |
| Julho      | 3,32      | 0,69           |
| Agosto     | 3,47      | 0,83           |
| Setembro   | 3,93      | 0,91           |
| Outubro    | 3,77      | 1,03           |
| Novembro   | 3,63      | 0,94           |
| Dezembro   | 3,65      | 1,07           |

A comparação entre a estimativa e a medida instantânea da radiação direta na incidência para os meses é apresentada na tabela abaixo.

**Tabela 3.** Resultados da Validação do Modelo de Linke nos meses do ano de 2002

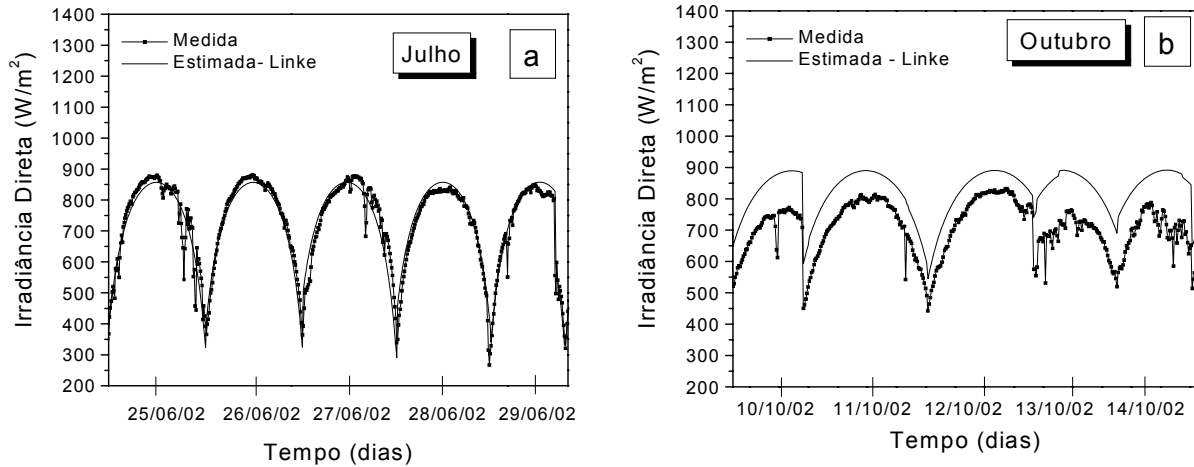
| <b>Mês</b> | <b>MBE(%)</b> | <b>RMSE(%)</b> | <b>“d”</b> |
|------------|---------------|----------------|------------|
| Janeiro    | -4,38         | 13,87          | 0,83       |
| Fevereiro  | -1,00         | 14,18          | 0,86       |
| Março      | -5,26         | 13,44          | 0,86       |
| Abril      | 1,32          | 9,91           | 0,93       |
| Mai        | -2,67         | 12,15          | 0,91       |
| Junho      | 2,00          | 8,98           | 0,94       |
| Julho      | -5,20         | 14,52          | 0,87       |
| Agosto     | 2,53          | 9,93           | 0,92       |
| Setembro   | -1,75         | 15,20          | 0,79       |
| Outubro    | 11,39         | 14,66          | 0,77       |
| Novembro   | -4,35         | 15,57          | 0,84       |
| Dezembro   | -5,84         | 12,88          | 0,86       |

Em geral, o modelo de Linke subestimou as medidas nos meses de janeiro (4,38%), fevereiro (1,0%), março (5,26%), maio (2,67%), julho (5,20%), setembro (1,75%), novembro (4,35%) e dezembro (5,84%), e superestimou as medidas nos meses de abril (1,32%), junho (2,0%), agosto (2,53%) e outubro (11,39%).

Segundo RMSE, o espalhamento variou entre 8,98% (junho) e 15,57% (novembro). Os meses de abril (9,91%), junho (8,98%) e agosto (9,93%) foram os que ocorreram os menores espalhamentos, enquanto que nos meses de setembro (15,20%), outubro (14,66%) e novembro (15,57%) ocorreram os maiores espalhamentos.

O índice de ajustamento (“*d*”) foi de satisfatório a bom, pois na maioria dos meses foi superior a 0,83, com exceção dos meses de setembro (0,79) e outubro (0,77), nos quais o índice foi inferior. No geral, (*d*) variou entre 0,77 (outubro) e 0,94 (junho), sendo os meses de abril a agosto os que apresentaram os melhores resultados.

A Figura 6 mostra a comparação entre a medida (base de dados de 2002) e estimada (modelo de Linke) da radiação direta ( $W/m^2$ ) em função do tempo em horas, para os dias 25/06/2002 a 29/06/2002 (Figura 6a); e 10/10/2002 a 14/10/2002 (Figura 6b). O modelo de Linke apresenta os melhores resultados na Figura 6(a), enquanto na Figura 6(b) ocorrem os piores resultados dentro da base de dados da validação.



**Figura 6.** Radiação Direta Medida e Estimada para os meses de (a) Julho (dias 25/06/02 a 29/06/02); (b) Outubro (dias 10/10/02 a 14/10/02).

A tabelas 4 mostra os indicativos MBE, RMSE e *d* da comparação entre medida e estimada para os dias 25 a 29 de julho de 2002 (fig. 6a), e de 10 a 14 de outubro de 2002 (fig. 6b), respectivamente. A melhor estimativa do modelo de Linke forneceu os indicativos estatísticos, MBE inferior a 4,0%, RMSE inferior a 7,5% e ajustamento acima de 0,98. O pior resultado, nos dias 10 a 15 de outubro, os indicativos estatísticos foram: MBE de 10,0% até 23,0%, RMSE de 14,0% a 23,5%, e o ajustamento de 0,85 a 0,43

**Tabela 4.** Indicativos estatísticos MBE, RMSE e *d* para os dias de 25/06/2002 a 29/06/2002

| Data     | MBE(%) | RMSE(%) | “ <i>d</i> ” |
|----------|--------|---------|--------------|
| 25/06/02 | -0,86  | 6,50    | 0,97         |
| 26/06/02 | -1,91  | 3,39    | 0,99         |
| 27/06/02 | -0,95  | 7,26    | 0,96         |
| 28/06/02 | 3,68   | 5,19    | 0,98         |
| 29/06/02 | 1,76   | 5,91    | 0,98         |
| 10/10/02 | 18,67  | 19,03   | 0,56         |
| 11/10/02 | 14,44  | 14,82   | 0,77         |
| 12/10/02 | 10,32  | 10,56   | 0,85         |
| 13/10/02 | 22,69  | 23,11   | 0,43         |
| 14/10/02 | 22,39  | 23,21   | 0,38         |



No geral, o modelo estimou a radiação direta diária dentro dos limites deste intervalo de variação, onde o melhor desempenho é estabelecido para os indicativos de junho e o pior para os indicativos de outubro.

#### **4 CONCLUSÕES**

Dos resultados discutidos das equações de estimativas com modelo de LINKE mensal pode-se concluir que o fator de turbidez de Linke (TL) varia mensalmente, onde os maiores TL ocorrem nos meses mais nebulosos (verão e primavera), e os menores nos meses de céu claro (outono e inverno). Os TL médios mensais foram de  $3,1 \pm 0,7$  em maio e  $3,9 \pm 0,7$  em setembro, com média TL igual a 3,5.

Na validação mês a mês, o modelo de Linke, constituído de 12 equações mensais, subestimou ou superestimou as medidas com bom nível de espalhamento e ajustamento. Com base no desempenho dos três indicativos MBE, RMSE e d de Willmott, o modelo apresentou melhores resultados nos meses de céu aberto.

**Agradecimento:** Os Autores agradecem o CNPq e a FAPESP pelo apoio financeiro.

#### **5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALADOS – ARBOLEDAS, L., OLMO, F.J., ALADOS, I., PÉREZ, M. Parametric models to estimate photosynthetically active radiation in Spain. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.101, p.187-201, 2000.
- ALADOS, I., OLMO, F. J., FOYO-MORENO, I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. Estimation of photosynthetically active radiation under cloudy conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.102, p.39-50, 2000.
- BECKER, S. Calculation of direct solar and diffuse radiation in Israel. **International Journal of Climatology**, v.21, p.1561-76, 2001.
- DIABATÉ, L. REMUND, J. WALD, L. Linke turbidity factors for several sites in Africa. **Solar Energy**, v.75, p.111-119, 2003.
- HUSSAIN, M. KHATUN, S., RASUL, M.G. Determination of atmospheric turbidity in Bangladesh. **Renewable Energy**, v.20, p. 325-32, 2000.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. New York: Academic Press, 1983. 390p.
- KARAYEL, M., NAVVAB, M. NE'EMAN, E., SELKOWITZ, S. Zenith luminance and sky luminance distributions for daylighting calculations. **Energy and Buildings**, v. 6, n.3, p. 283-91, 1984.
- KASTEN, F. The Linke turbidity factor based on improved values of the integral Rayleigh optical thickness. **Solar Energy**, v.56, n.3, p.239-44, 1996.
- LI, D.H.W., LAM, J.C. A study of atmospheric turbidity for Hong Kong. **Renewable Energy**, v.25, p. 1-13, 2002.
- LINKE, F. Die Sonnenstrahlung und ihre Schwächung in der Atmosphäre. *Handbuch Geophysic*, 8, 1942.
- LOUCHE, A. PERI, G., IQBAL, M. An analysis of Linke turbidity factor. **Solar Energy**, v.37, n.6, p.393-6, 1986.
- PEDRÓS, R., UTRILLAS, M. P., MARTÍNEZ-LOZANO, J. A., TENA. F. Values of broad band turbidity coefficients in a Mediterranean coastal site. **Solar Energy**, v.66, n.1, p.11-20, 1999.
- SHALTOU, M.A.M, HASSAN, A.H., FATHY, A.M. Study of the solar radiation over Menia. **Renewable Energy**, v.23, p.621-639, 2001.

STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v.51, n.4, p.289-91, 1993.  
WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**. v.2, p.184-94, 1981.

**ABSTRACT:** *In this work it's described the parametric model of Linke, based on the Linke's Turbidity Factor (TL). The database of the direct and global radiations is from 1996 to 2003. The results showed that the the Linke's Turbidity factor varied monthly among 3.1 ( $\pm 0,7$ ) in May and 3.9( $\pm 0.7$ ) in September, with annual average equal to 3.5. In the validation, every month showed MBE, RMSE and d, respectively, in the order of: January: -4.38%; 13.87%; 0.83; February: -1.0%; 14.18%; 0.86; March: -5.26%; 13.44%; 0.86; April: 1,32%; 9.91%; 0.93; May: -2.67%; 12.15%; 0.91; June: 2.00%; 8.98%; 0.94; July: -5.20%; 14.52%; 0.87; August: 2.53%; 9.93%; 0.92; September: -1.75%; 15.20%; 0.79; October: 11.39%; 14.66%; 0.77; November:-4.35%; 15.57%; 0.84; and December:-5.84%; 12.88%; 0.86. Based on the statistical indicators, the best results were in the period of open sky.*

**Keywords:** solar radiation, direct radiation, beam, turbidity, Linke.