

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 193-199, 1998.

Recebido para publicação em 18/05/98. Aprovado em 06/08/98.

ISSN 0104-1347

**RELAÇÃO SAZONAL ENTRE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E INSOLAÇÃO NO SUDOESTE
DA AMAZÔNIA¹**

**SEASONAL RELATIONSHIP BETWEEN GLOBAL RADIATION AND SUNSHINE IN
THE SOUTHWESTERN AMAZÔNIA (BRAZIL)**

José Holanda Campelo Júnior²

RESUMO

Medidas de insolação vêm sendo realizadas em Mato Grosso há quase um século e constituem uma série climatológica importante para estimar a disponibilidade de energia solar, cuja medição direta é rara e esparsa no sudoeste da Amazônia. Em diversos outros locais têm sido desenvolvidos trabalhos de pesquisa para estimar a radiação solar global a partir dos dados obtidos com heliógrafos. Os resultados obtidos têm demonstrado que existem variações sazonais importantes nos parâmetros empíricos dos modelos de estimativa. A relação entre a radiação solar global e a insolação diária foi analisada, mês a mês, ao longo de 29 meses em Santo Antônio do Leverger, Mato Grosso, Brasil, segundo os modelos de Ångström, Ångström-Prescott, Hay e Havfeim. Os modelos de Ångström-Prescott e de Hay se mostraram equivalentes entre si e superiores aos outros dois, para estimar a radiação solar global. A variação sazonal dos parâmetros dos modelos de Ångström-Prescott e de Hay pode ser explicada em função dos valores médios mensais do ângulo zenital ao meio-dia.

Palavras-chave: radiação solar, insolação, variação sazonal, modelo.

SUMMARY

¹ Trabalho financiado com recursos do CNPq

² Engenheiro Agrônomo, Doutor, FAMEV/UFMT, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Bolsista do CNPq, 78060-900 Cuiabá, MT.

Sunshine data has been collected in the State of Mato Grosso (Brazil), for about 100 years and it's an essential climatological series to estimate solar energy availability, whose measurements are sparse in the southwestern Amazonia. In several other places research works were developed to estimate global solar irradiance from sunshine data. The results have demonstrated large seasonal variability of model parameters. The relationship between solar irradiance and sunshine was analysed, month by month, for 29 months at Santo Antônio do Leverger, Mato Grosso, Brazil, using Ångström, Ångström-Prescott, Hay e Havfeim models. The Ångström-Prescott and Hay models were similar to each other and superior to Ångström and Revfeim models. The seasonal variability of Ångström-Prescott and Hay models parameters are associated with monthly average noon zenital angle.

Key words: solar radiation, sunshine, seasonal variation, model.

INTRODUÇÃO

A avaliação da radiação solar global disponível em um determinado local se reveste de importância sob diversos aspectos, incluindo a análise do seu potencial como fonte alternativa de energia para uso pela sociedade para vários fins, e a análise do seu efeito sobre o ambiente onde vivem as plantas, o homem e outros animais.

Nos modelos de simulação de produção de biomassa é uma das informações essenciais, uma vez que a radiação fotossinteticamente ativa constitui aproximadamente a metade da radiação solar (De WIT, 1965; GOUDRIAAN, 1988).

Assim como para qualquer outro elemento do clima, a existência de uma série climatológica de longa duração é um dos requisitos fundamentais para se determinar a disponibilidade local de energia solar. Desse modo, com base na série histórica, torna-se possível estimar valores médios, bem como as probabilidades associadas à ocorrência de valores superiores ou inferiores a limites previamente estabelecidos.

Na maior parte da superfície terrestre, entretanto, não se dispõe de séries climatológicas de medidas da radiação solar incidente. Além disso, em diversas partes onde hoje a observação é efetuada rotineiramente, o equipamento de medida é de instalação relativamente recente, dificultando a avaliação da radiação global disponível.

Diversos autores no Brasil (MOTA et al., 1977; NUNES et al., 1979; DECICO & SANTOS, 1980; FONTANA & OLIVEIRA, 1996) e no exterior (ÅNGSTRÖM, 1924; PRESCOTT, 1940; HAY, 1979; RIETVELD, 1978; MARTINEZ-LOZANO et al., 1984; REVFEIN, 1997) têm estudado o problema, propondo o ajuste local e temporal de parâmetros de equações de regressão linear, associando a radiação à insolação.

O objetivo do presente trabalho foi determinar os valores mensais dos parâmetros empíricos de estimativa da radiação solar global, a partir de dados de insolação, e analisar a variação sazonal desses parâmetros, para as condições de Santo Antônio do Leverger, MT.

MATERIAL E MÉTODO

As medidas foram realizadas na Estação Agroclimatológica Padre Ricardo Remetter, situada na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT, em Santo Antônio do Leverger, MT (latitude: 15°47'11"S; longitude: 56°04'17"W; altitude: 140m), no período de 01/08/95 a 31/12/97.

A radiação solar global foi medida com um piranógrafo Belfort, utilizado exclusivamente no estudo e aferido no início do período de observação, com cilindro de rotação diária, instalado a 1,50m de altura da superfície do solo, no interior do cercado da Estação Agroclimatológica. A insolação foi medida com um heliógrafo de Campbell-Stokes, instalado a 2m de distância do piranógrafo, na direção horizontal. A nebulosidade foi determinada por observação visual realizada no horário padrão de 12, 18 e 24 GMT.

A determinação da radiação solar incidente foi realizada mediante a integração numérica da curva de registro contínuo do piranógrafo, procedendo-se a leitura dos registros, a cada 15 minutos, ao longo do dia.

A relação entre radiação global e insolação foi analisada de acordo com os seguintes modelos:

1. Modelo de Ångström (ÅNGSTRÖM, 1924):

$$\frac{Q}{Q_c} = g + (1-g) \frac{n}{N} \quad (1)$$

onde Q é a radiação solar global diária incidente na superfície terrestre, em MJ/m² dia; Q_c a radiação solar global diária incidente na superfície terrestre, em um dia inteiramente sem nuvens, em MJ/m² dia; g a fração da radiação solar global incidente na superfície terrestre, em um dia inteiramente encoberto por

nuvens; n a insolação total no dia, em horas de brilho solar; N a insolação máxima possível, em horas, em um dia, dada por $N = 2 H / p$, sendo H , em radianos, obtido por $H = \cos^{-1}(-tgj \operatorname{tg}d)$, onde j =latitude e d =declinação solar, dada por $d = 23,45 \operatorname{sen} [2 p (284 + m) / 365]$, sendo m o emésimo dia do ano.

2. Modelo de Ångström-Prescott (PRESCOTT, 1940):

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (2)$$

onde a e b são parâmetros empíricos ajustados à época e local; Q_0 é a radiação solar global diária incidente no topo da atmosfera terrestre, em MJ/m² dia, dada por:

$$Q_0 = 86,4 J_0 [H \operatorname{sen}j \operatorname{sen}d + \operatorname{cos}j \operatorname{cos}d \operatorname{sen}H] / p \quad (3)$$

onde J_0 é a Constante solar, em kW/m², dada por:

$$J_0 = 1,369 \left\{ [1 + \operatorname{cos} (m + 84) / 360] \right\} \quad (4)$$

3. Modelo de Hay (HAY, 1979):

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{a'}{A} + \frac{b'}{A} \frac{n}{N'} \quad (5)$$

onde a' e b' são parâmetros empíricos ajustados à época e local; A o fator de ajuste associado à reflexão múltipla, dado por:

$$A = 1 - a \left[b \frac{n}{N'} + a_c \left(1 - \frac{n}{N'} \right) \right] \quad (6)$$

onde $a=0,20$, é o albedo da superfície; $a_c=0,60$, o albedo da base das nuvens; $b=0,25$, o coeficiente de espalhamento da atmosfera sem nuvens; N' a insolação registrável máxima possível em um dia, considerando que o heliógrafo registra apenas quando a altura do sol é superior a 5°, dada por $N' = 2 H' / p$, sendo:

$$H' = \cos^{-1} \left(\frac{\operatorname{cos}85^\circ - \operatorname{sen}j \operatorname{sen}d}{\operatorname{cos}j \operatorname{cos}d} \right) \quad (7)$$

4. Modelo de Revfeim (REVFEIM, 1997):

$$\frac{Q \cdot \Delta t}{Q_0} = \frac{S}{A} g + (1 - g) \frac{S}{A} R \frac{n}{N} \quad (8)$$

onde Δt é a variação da transmitância atmosférica em função do vapor d'água, dada por:

$$\Delta t = 1 + (\bar{e} - e) / 100 \quad (9)$$

onde \bar{e} é a média anual local da pressão de vapor d'água atmosférica, em hPa; e é a pressão de vapor d'água atual na atmosfera, em hPa; A é o fator de ajuste associado à reflexão múltipla, dado por:

$$A = 1 - a \left[b \frac{n}{N} + a_c \left(1 - \frac{n}{N} \right) \right] \quad (10)$$

onde $a=0,20$, é o albedo da superfície; $a_c=0,60$, o albedo da base das nuvens; $b=0,25$, o coeficiente de espalhamento da atmosfera sem nuvens; S é a transmitância atmosférica em dias sem nuvens; R é um fator de ajuste associado à maior intensidade da radiação solar global, em torno do meio-dia, dado por:

$$R = 1 + 0,25 \left(1 - \left| 1 - 2 \frac{n}{N} \right| \right) \quad (11)$$

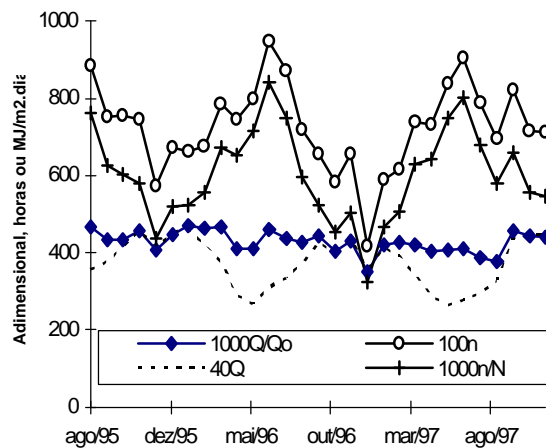


Figura 1. Valores médios mensais da relação Irradiância Global ao Nível do Solo/Irradiância Extraterrestre (Q/Q_0); Insolação (n , em horas/dia); Irradiância Global ao Nível do Solo (Q , em MJ/m^2 dia); e Razão de Insolação (n/N), em Santo Antônio do Leverger, MT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período estudado, a radiação solar global diária foi medida em 796 dias e variou entre $26,0 MJ/m^2$ dia a $2,5 MJ/m^2$ dia. Os valores superiores a $25,0 MJ/m^2$ dia ocorreram no início de novembro e no final de fevereiro, aproximadamente nos dias da localização do sol no zênite no local, quando havia alguma nebulosidade. Os valores inferiores a $4,0 MJ/m^2$ dia ocorreram em dias inteiramente nublados,

durante a passagem de frentes frias no local, predominantemente um a dois meses após o solstício de inverno, mas sendo também registrados em dias com ângulo zenital próximo de zero.

Embora os valores diários da insolação tenham oscilado entre praticamente zero e cerca de 90% do máximo possível, a cada mês, em termos de valores médios mensais, o comportamento das variáveis analisadas mostrou tendências claramente identificáveis, como pode ser avaliado através da Figura 1. O valor médio mensal da relação Q/Q_0 se manteve praticamente constante ao longo de todo o período de observação. A razão de insolação média mensal mostrou um comportamento de variação periódica, praticamente independente da duração do dia, com valores máximo em agosto e valores mínimos entre janeiro e fevereiro. É importante destacar também que os maiores valores médios mensais de irradiância foram observados na época de menores valores médios mensais de insolação e razão de insolação.

Para observar e analisar as causas de variação sazonal e interanual dos parâmetros dos modelos de estimativa da radiação solar em função da insolação, a análise dos modelos foi efetuada separadamente para 29 conjuntos de dados diários, obtidos a partir do agrupamento dos dados diários de cada um dos 29 meses de observação.

Para analisar a adequação do modelo de Ångström, foi necessário estimar a radiação solar incidente em dias inteiramente sem nuvens (Q_c). Para se obter uma estimativa do valor de Q_c , foi inicialmente realizada a identificação dos dias em que a nebulosidade registrada foi nula, ao longo do período de estudo. Entretanto, o levantamento efetuado mostrou que essa situação se verificou apenas nos meses de junho, julho e agosto, sem ocorrências nos demais meses. Por outro lado, em todos os meses do ano foram encontrados dias com registro contínuo de insolação, do amanhecer ao pôr do sol. Em consequência disso, foi necessário fazer uma estimativa de Q_c . A determinação de Q_c foi efetuada mensalmente usando-se o valor medido de radiação solar global no dia de menor nebulosidade, em dias com registro contínuo de insolação. A equação obtida com esses dados, para estimativa de Q_c/Q_0 , em função do dia juliano (x) foi:

$$\frac{Q_c}{Q_0} = 0,5731 + 0,0027x - 5,7204 (10^{-5}) x^2 + 2,9251 (10^{-7}) x^3 - 4,3338 (10^{-10}) x^4$$

com $r^2=0,7497$, erro padrão da estimativa= 0,0424 e nível de significância de 2,84%, para a regressão.

Os valores encontrados como coeficiente linear da equação da reta de regressão entre Q/Q_c e n/N , foram assumidos como valores de g do modelo Ångström para cada um dos 29 meses analisados, uma vez que todos os intervalos de confiança das somas dos parâmetros da regressão linear não diferiram

Os valores de g podem ser vistos na Figura 2, tendo variado entre 0,26 e 0,49 ao longo do período de observação.

Os valores de g (equação 1) obtidos com o modelo de Ångström estão dentro da faixa de variação descrita na literatura, pela revisão efetuada por MARTINEZ-LOZANO et al. (1984), em que foram encontrados valores de g entre 0,68 e 0,22.

A avaliação das causas de variação sazonal e interanual de g foi realizada por meio de análise de regressão múltipla, tomando como variáveis a pressão de vapor, os valores médios mensais da razão de insolação, os valores do ângulo zenital ao meio-dia para o décimo quinto dia de cada mês, e a posição desse dia no calendário juliano. O nível de significância encontrado para a regressão foi superior a 10%. O valor encontrado para o coeficiente de determinação, mostrou que esses fatores poderiam explicar menos de 20% da variância observada. Os valores de g apresentaram portanto uma variação aleatória, praticamente inviabilizando o uso do modelo para obter estimativas de radiação solar diária, fora do período estudado.

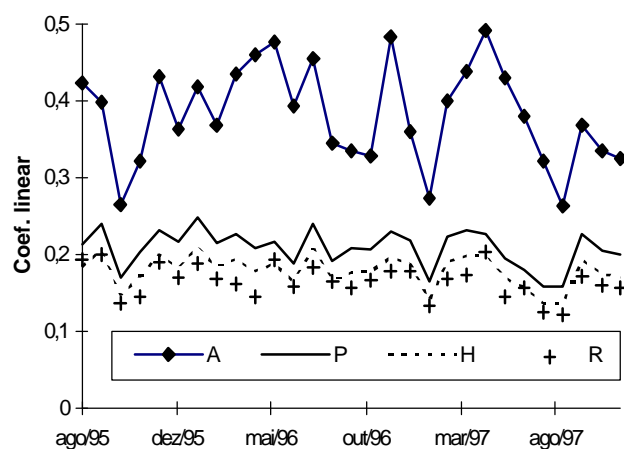


Figura 2. Valores mensais dos coeficientes lineares das retas de regressão ajustadas aos modelos de Ångström (A), Ångström-Prescott (P), Hay (H) e Revfeim (R), em Santo Antônio do Leverger, MT.

Os parâmetros do modelo de Ångström-Prescott (equação 2) apresentaram uma variação inferior ao intervalo encontrado por MARTINEZ-LOZANO et al. (1984). O valor do coeficiente linear da equação de regressão (a) foi de $0,21 \pm 0,02$, sendo praticamente constante ao longo do período estudado (Figura 2). Esse valor médio de a encontrado para Santo Antônio do Leverger foi cerca de 30% inferior ao proposto por GLOVER & MCCULLOCH (1958b), de $a = 0,29 \cos j$, mas se encontra na faixa de variação prevista

por SFEIR (1981), de $0,230 \pm 0,055$. O coeficiente linear do modelo de fração da radiação extraterrestre, que incide ao nível do solo em um dia inteiramente nublado. Desse modo, um valor constante de a ao longo do ano si zonal significativa na composição atmosférica ou nos tipos de nuvens na região, nos dias inteira encobertos.

O valor do coeficiente angular da equação de regressão (b) do modelo de oscilou entre 0,26 e 0,54, tendo uma variação aproximadamente periódica ao longo do ano, apresentando vembro e março, e inferiores à média entre abril e agosto (Figura 3).

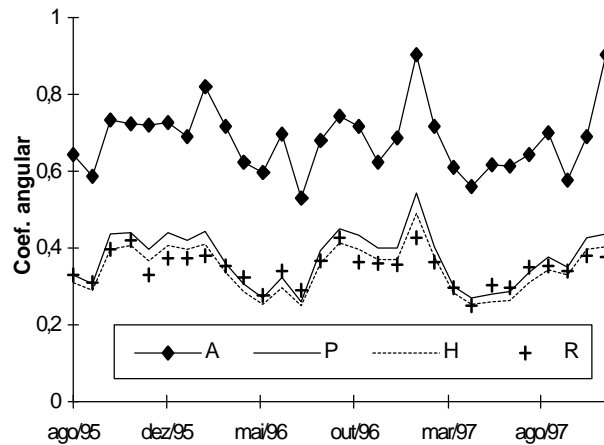


Figura 3. Valores mensais dos coeficientes angulares das retas de regressão ajustadas aos modelos de Ångström-Prescott (P), Hay (H) e Leverger, MT.

A fim de identificar as causas de variação de b ao longo do ano, procedeu-se a análise de re os valores mensais de e os valores médios mensais da pressão de vapor, da razão de insolação, bem com os valores do ângulo zenital ao meio-dia ($z = f - d$ posição desse dia no calendário juli (x). Essas variáveis foram escolhidas tomando por base alguns estudos da mesma natureza pu 1958b), SFEIR(1981), RIETVELD (1978), MARTINEZ-LOZANO et al. (1984) e REVFEIM (1997). Com base nos maio estimativa, os melhores ajustes encontrados para a variação de b foram:

$$= - 0,212 \cdot 18, \exp[- z] + 8,1943 \cdot z)$$

$$b = 0,3989 + 0,0035x - 6,4214(10^{-5})x^2 + \\ + 3,0441(10^{-7})x^3 - 4,2641(10^{-10})x^4$$

No primeiro caso, do ângulo zenital ao meio-dia, que apresentou $r^2=0,75$ e $\text{erro}=0,0369$, a variação pode ser explicada em função da redução da radiação incidente em consequência da redução da transmitância atmosférica provocada pelo aumento da massa ótica ($\sec z$), assim como em função do aumento da reflexão da superfície e conseqüentemente da reflexão das nuvens, conforme as suposições de HAY (1979).

O efeito demonstrado na segunda equação, com $r^2=0,76$ e $\text{erro}=0,0372$, se explica pela variação local de z em função da declinação solar, e desta em função do dia juliano (x).

Os coeficientes de determinação obtidos com a aplicação do modelo de Hay (equação 5) se mostraram superiores e menos variáveis ao longo do tempo do que os obtidos com os demais modelos analisados, embora essas diferenças tenham sido de alguns centésimos, confirmando resultados obtidos por HAY (1979), SFEIR (1981), MAJMUDAR (1982), HAWAS & MUNER (1983) e MANI & RANGARAJAN (1983).

Na Figura 2, é possível observar que o coeficiente linear da reta obtida pelo método dos quadrados mínimos ajustada para determinar os parâmetros do modelo de Hay $\left(\frac{-}{A}\right)$ se manteve praticamente constante ao longo do período de estudo ($0,18 \pm 0,02$). Do mesmo modo que no modelo de

$\left(\frac{b'}{A}\right)$, apresentou uma variação periódica ao longo do ano

(Figura 3).

Para identificar as causas de variação de $\frac{b'}{A}$ ao longo do ano, procedeu-se a análise de regressão entre os valores mensais de $\frac{b'}{A}$ e os valores médios mensais das mesmas variáveis estudadas no modelo de Ångström-Prescott.

Com base nos maiores valores de coeficiente de determinação e nos menores valores do erro padrão de estimativa, os melhores ajustes encontrados para a variação de b foram:

$$\frac{b'}{A} = -0,8764 - 15,5832 \exp [-\sec(z)] + \\ + 7,0121 \cos(z)$$

que apresentou $r^2=0,77$ e $\hat{\text{erro}}=0,0309$;

$$\frac{b'}{A} = 0,3674 + 0,0032x - 5,8834(10^{-5})x^2 + \\ + 2,777(10^{-7})x^3 - 3,8815(10^{-10})x^4$$

que apresentou $r^2=0,79$ e $\hat{\text{erro}}=0,0306$.

A semelhança entre os resultados obtidos com o modelo de Hay e os resultados encontrados com o modelo de Ångström-Prescott, em relação ao coeficiente angular da reta de regressão, permite inferir que as causas de variação de ambos foram as mesmas. Esta semelhança entre os resultados obtidos com os parâmetros, com os coeficientes de determinação e com os erros de estimativa nos modelos de Ångström-Prescott e de Hay, provavelmente se deve a um efeito compensatório das duas diferenças existentes entre os modelos, ou seja, a introdução de uma razão de insolação que efetivamente possa atingir 1,0 teria um efeito contrário ao da inclusão de parâmetros que contabilizam a reflexão múltipla da radiação de onda curta.

Os coeficientes de determinação e os erros de estimativa obtidos com o modelo de Revfeim variaram entre 0,69 e 0,94, e entre 0,0240 e 0,0644, respectivamente, e se mostraram semelhantes aos obtidos com os modelos de Ångström-Prescott e de Hay.

O coeficiente linear da reta obtida pelo método dos quadrados mínimos ajustada para determinar os parâmetros do modelo de Revfeim (equação 8), se manteve praticamente constante ao longo do período de estudo ($\frac{S}{A}g=0,17\pm 0,02$). Em termos absolutos, o coeficiente angular apresentou uma variação maior do que a do linear, ou seja, $\frac{S}{A}(1-g)R=0,35\pm 0,04$. Os valores mensais do coeficiente angular foram semelhantes aos obtidos com os modelos de Ångström-Prescott e de Hay. Entretanto, na época do ano em que os valores dos coeficientes angulares foram superiores à media, os coeficientes obtidos no modelo de Revfeim foram menores do que os coeficientes dos modelos de Ångström-Prescott e de Hay. Na época do ano em que os valores dos coeficientes angulares foram inferiores à media, os coeficientes obtidos no modelo de Revfeim foram maiores do que os coeficientes dos modelos de Ångström-Prescott e de Hay (Figura 3).

Com o propósito de identificar as causas de variação do coeficiente angular do modelo de Revfeim, $\frac{S}{A}(1-g)R$, ao longo do ano, procedeu-se a análise de regressão entre os valores mensais desse coeficiente angular e os valores médios mensais da pressão de vapor, da razão de insolação, os valores do

ângulo zenital ao meio-dia, e a posição do décimo quinto dia de cada mês, no calendário juliano. Para o modelo de Revfeim, os valores dos coeficientes de determinação entre essas variáveis e os parâmetros mensais da reta de regressão, ou a soma desses parâmetros, foram inferiores a 0,60. Portanto, a variação do coeficiente angular do modelo de Revfeim apresentou características mais aleatórias do que nos casos das variações periódicas observadas nos modelos de Ångström-Prescott e de Hay.

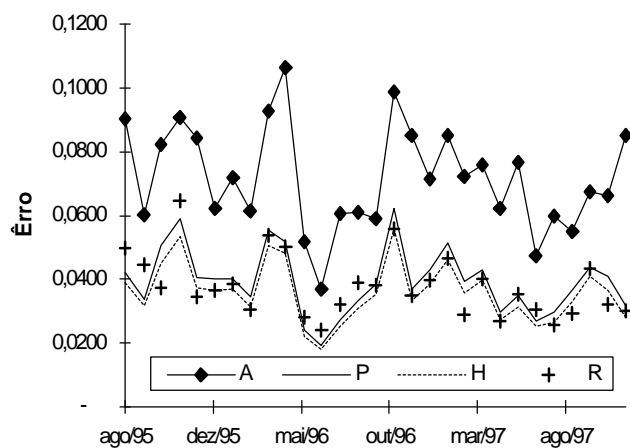


Figura 4. Valores mensais dos erros padrões de estimativa das equações das retas de regressão ajustadas aos modelos de Ångström (A), Ångström-Prescott (P), Hay (H) e Revfeim (R), em Santo Antônio do Leverger, MT.

É importante destacar que o modelo de Revfeim apresentou os menores valores dos parâmetros da reta, entre os modelos analisados. Conseqüentemente, em termos relativos, as variações desses parâmetros foram superiores às dos outros modelos. Por outro lado, como no caso do modelo de Ångström, ao longo do período de estudo, $\frac{S}{A}[g + (1 - g)R] = 0,52 \pm 0,04$, isto é, na maioria dos meses, uma elevação do coeficiente linear foi atenuada por uma redução do coeficiente angular.

Assim sendo, o uso de um modelo que leve em consideração o aumento de energia em torno do meio-dia, bem como as alterações na transmitância atmosférica provocadas pelo vapor d'água, nos termos propostos por Revfeim, não proporcionou aperfeiçoamento na estimativa de radiação no local do estudo.

Através da Figura 4 é possível comparar entre si os erros de estimativa proporcionados pelos quatro modelos nas condições do estudo.

Os erros encontrados com o modelo de Ångström foram praticamente dobrados, em relação aos encontrados com os outros três modelos. Por conseguinte, a estimativa da radiação incidente em dias sem nuvens reduziu a possibilidade de estimar a radiação em função da insolação.

Os modelos de Hay e Ångström-Prescott apresentaram resultados semelhantes entre si, com o mesmo padrão de variação, mas o modelo de Ångström-Prescott proporcionou erros sistematicamente superiores aos obtidos com o modelo de Hay. Do ponto de vista estatístico, portanto, os erros obtidos com o modelo de Hay se apresentaram inferiores aos obtidos com o modelo de Ångström-Prescott, entretanto as diferenças entre eles foram inferiores a 0,0065. Com diferenças dessa ordem, o melhor desempenho do modelo de Hay, na maioria dos casos provavelmente não supera a vantagem decorrente da simplicidade de cálculo proporcionada pelo modelo de Ångström-Prescott.

Os erros de estimativa obtidos com o modelo de Revfeim se mostraram da mesma ordem de grandeza dos encontrados nos modelos de Hay e de Ångström-Prescott, ora com erros superiores aos do modelo de Ångström-Prescott, ora com erros inferiores aos alcançados pelo modelo de Hay. Provavelmente, a adoção de um fator de ajuste associado à concentração da irradiância global, em torno do meio-dia (R), em forma de "domo", como um padrão único ao longo do ano, pode ser responsável por esse comportamento.

CONCLUSÕES

Em Santo Antônio do Leverger (MT), a radiação incidente diária pode ser calculada através os modelos de Hay e de Ångström-Prescott, com erros de estimativa inferiores a 6% da radiação extraterrestre no local. Os valores mensais dos coeficientes lineares desses dois modelos são respectivamente, 0,18 e 0,21. Ao longo do ano, a variação dos coeficientes angulares, em função do ângulo zenital ao meio-dia, do décimo quinto dia de cada mês, são, respectivamente:

$$b = -1,0212 - 18,3098 \exp[-\sec(z)] + 8,1943 \cos(z)$$

$$\frac{b'}{A} = -0,8764 - 15,5832 \exp[-\sec(z)] + 7,0121 \cos(z)$$

As variações sazonais aleatórias dos parâmetros dos modelos de Ångström e de Revfeim não recomendam a utilização desses modelos para calcular a radiação incidente diária, no local do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÅNGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quartely Journal of Royal Meteorological Society**, London, n. 50, p. 121-125, 1924.
- DECICO, A., SANTOS, J.M. Considerações sobre a estimativa do potencial de radiação solar global. **Ciência e Cultura**, São Paulo, n. 32, p. 204-209, 1980.
- De WIT, C.T. **Photosynthesis of Leaf Canopies**. Wageningen : Centre for Agricultural Publications and Documentation, 1965. 57 p.
- FONTANA, D.C., OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 87-91, 1996.
- GOUDRIAAN, J. The bare bornes of leaf-angle distribution in radiation models for canopy photosynthesis and energy exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 43, p. 155-169, 1988.
- GLOVER, J., MCCULLOCH, J.S.G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine in high-altitude tropics. **Quartely Journal of Royal Meteorological Society**, Londres, n. 84, p. 56-80, 1958a.
- GLOVER, J., MCCULLOCH, J. S. G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. **Quartely Journal of Royal Meteorological Society**, Londres, n. 84, p. 172-175, 1958b.
- HAWAS, M.M., MUNER, T. Correlation between global radiation and sunshine data for India. **Solar Energy**, New York, v. 30, p. 289-290, 1983.
- HAY, J.E. Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces. **Solar Energy**, New York, v. 23, p. 301-307, 1979.
- MAJMUDAR, M.H. Availability of solar radiation and collection area requirement for solar heating of a laboratory in Srinagar. **Solar Energy**, New York, v. 28, p. 263-264, 1982.
- MANI, A., RANGARAJAN, S. Techniques for the precise estimation of hourly values of global, diffuse and direct solar radiation. **Solar Energy**, New York, v. 31, p. 557-596, 1983.

- MARTINEZ-LOZANO, J.A., TENA, F., ONRUBIA, J.E. et al. The historical evolution of the Ångström formula and its modification: review and bibliography. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 33, p. 109-128, 1984.
- MOTA, F.S., BEIRSDORF, M.I.C., ACOSTA M.J.C. Estimates of solar radiation in Brazil. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, n. 18, p. 241-254, 1977.
- NUNES, G.S.S., ANDRÉ, R.G.B., VIANELLO, R.L. et al. Estudo da distribuição de radiação solar incidente sobre o Brasil. **Revista Brasileira de Armazenagem**, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 5-30, 1979.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transactions of Royal Society Science Australian**, Adelaide, v. 64, p. 114-118, 1940.
- REVFEIM, K.J.A. On the relationship between radiation and mean daily sunshine. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 86, p. 183-191, 1997.
- RIETVELD, M.R. A new method for estimating the regression coefficients of the formula relating solar radiation to sunshine. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 19, p. 243-252, 1978.
- SFEIR, A.A. Solar radiation in Lebanon. **Solar Energy**, New York, v. 26, p. 497-502, 1981.