

## IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL HORÁRIA SAZONAL NO AGRESTE DE ALAGOAS

**Cícero Manoel dos Santos** – ciceromanoel2007@gmail.com

**José Leonaldo de Souza** – leonaldojs@yahoo.com.br

**Marshall Victor Chagas Santos** – marshallvictor@hotmail.com

**Iêdo Teodoro** – iedoteodoro@ig.com.br

Universidade Federal de Alagoas, Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar

**Chigeru Tiba** – tiba@ufpe.br

**Rinaldo Oliveira de Melo** – rinaldoom@hotmail.com

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear – Grupo FAE

**Resumo.** Neste trabalho realiza-se uma comparação da evolução da irradiação solar global média horária mensal ( $H_g^h$ ) ( $MJm^{-2}$ ) e da transmitância atmosférica média horária sazonal por estação ( $k_t^h$ ), entre 2008 à 2010, nas microrregiões de Arapiraca e Palmeira dos Índios, localizadas no Agreste do Estado de Alagoas. Os dados de irradiação solar global foram medidos por piranômetros instalados em estações solarimétricas situadas nas duas localidades. A transmitância atmosférica ( $k_t^h$ ) foi obtida a partir da razão entre a irradiância solar global média horária mensal ( $R_g^h$ ) ( $Wm^{-2}$ ) e a irradiância solar global média horária mensal no topo da atmosfera ( $R_0^h$ ) ( $Wm^{-2}$ ). Consideraram-se valores de  $H_g^h$  compreendidos entre 6:00 horas e 17:00 horas, totalizando 11 intervalos e para  $k_t^h$  valores médios horários por estação. Verificou-se nas regiões de Arapiraca e Palmeira dos Índios variação de  $H_g^h$  quase simétrica do nascer do Sol até o pôr-do-Sol. Máximos valores foram observados próximo ao meio dia, com mínimos no nascer e pôr-do-Sol. O ano de 2009 indicou maior incidência de irradiância solar global ( $R_g$ ) nas regiões de Arapiraca e Palmeira dos Índios, este último mostrando maior potencial de  $R_g$ . Observou-se comportamento parabólico de  $k_t^h$  ao longo das médias horárias mensais, com mínimo no período matutino (início da manhã) e máxima ao meio dia, decaindo no período da tarde. Estes resultados comprovam a grande incidência de  $H_g^h$  que o Agreste do Estado de Alagoas apresenta.

**Palavras-chave:** Irradiação Solar Global horária, Agreste de Alagoas, Transmitância Atmosférica.

### 1. INTRODUÇÃO

Valores da irradiância solar global ( $R_g$ ) fornecem informações sobre a quantidade de energia solar incidente em uma superfície durante um determinado intervalo de tempo. A  $R_g$  é componente de extrema importância no sistema terra – atmosfera, impulsionado o tempo e o clima. Portanto, o conhecimento de sua variabilidade e suas interações com atmosfera é de grande importância para estudos relacionados com a arquitetura (aquecimento e iluminação natural de ambientes), construção civil, estudos climáticos, agricultura e na utilização prática como recursos de energia renovável. Na agricultura  $R_g$  é um dos fatores responsável pelo processo de evapotranspiração (ET) das culturas, ou seja, a evaporação de água do solo e das plantas para a atmosfera na forma de vapor. Por ser uma fonte de energia quase inesgotável,  $R_g$  é de fundamental importância para o processo de conversão direta de energia solar em elétrica, através do efeito fotovoltaico, que consiste na geração de diferença de potencial elétrica (ddp) por interação de um fluxo de energia radiante com a matéria (Cometta, 1978). A  $R_g$ , que é a soma da irradiância solar direta ( $R_D$ ) com a irradiância solar difusa ( $R_d$ ), pode ser medida por diferentes instrumentos denominados de radiômetros – estes instalados em estações (meteorológicas ou solarimétricas) de superfície. Para conhecer a irradiação solar global ( $H_g$ ) incidente em um período, não é suficiente apenas armazenar o total acumulado durante um dia, por exemplo, mas uma gravação em intervalo de tempo pequeno. Pois assim, viabilizar-se-á um estudo detalhado da evolução temporal de  $R_g$ , analisando a dispersão e absorção ocasionado pelos constituintes atmosféricos.

A transmitância atmosférica global (índice de claridade) ( $k_t$ ) - que é a razão entre a irradiância solar global em superfície ( $R_g$ ) e a irradiância solar no topo da atmosfera ( $R_0$ ), indica a fração de cobertura de nuvens do céu. Em geral, esse índice mostra condições de céu nublado, parcialmente nublado ou limpo, indicando maior incidência de  $R_d$  ou mais  $R_D$ , sendo fundamental para se compreender o potencial solar da região de interesse. Gomes et al., (2005) mostraram a evolução anual da irradiação solar global média mensal e  $k_t$  na região de Botucatu – SP, observando dependência sazonal com a nebulosidade e a precipitação. Na região de Cascavel – PR, Valiati e Ricieri (2005) identificaram  $k_t$  variando de 0,15 a 0,58 e 0,14 a 0,58 para partição sazonal e mensal, respectivamente. Na região de Alagoas os primeiros trabalhos (Souza, 1997; Souza et al., 1998; Souza et al., 2000) mostram a variação sazonal da transmitância atmosférica global e  $H_g$  em escala horária e diária para região de Maceió, indicando em termo horário valor mínimo de  $k_t$  no período matutino, crescendo até o meio dia (hora local) e com pouco decaimento durante o turno vespertino. Em um estudo mais amplo, Souza et al., (2005) analisaram a evolução horária, diária e mensal de  $H_g$  e  $k_t$  na região de

Maceió. Este trabalho mostra a evolução sazonal da irradiação solar global média horária mensal ( $H_g^h$ ) e transmitância atmosférica média horária sazonal por estação ( $k_t^h$ ), observados no período de 2008 a 2010 nas regiões de Arapiraca ( $9^\circ47'54,8''S$ ,  $37^\circ36'23,4''W$  e 239,0 m acima do nível médio do mar) e Palmeira dos Índios ( $9^\circ24'19,9''S$ ,  $36^\circ39'22,7''W$  e 328,0 m) localizadas no Agreste do Estado de Alagoas - Brasil.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS.

O presente trabalho foi desenvolvido com uso de dados solarimétricos de duas estações instaladas nas microrregiões de Arapiraca ( $9^\circ47'54,8''S$   $37^\circ36'23,4''W$  e 239,0 m) e Palmeira dos Índios ( $9^\circ24'19,9''S$   $36^\circ39'22,7''W$  e 328,0 m), Agreste do Estado de Alagoas - microrregiões do interior central (localizadas entre o Sertão, Litoral e a Zona da Mata). Segundo a classificação de Thornthwaite – Mather, o clima de Arapiraca é do tipo DA's2d, caracterizado por ser Semiárido (D), Megatérmico (A') com grande deficiência de água no verão (s2) e excesso de água pequeno no inverno (d). Possuindo precipitação anual de 1055,2 mm e temperatura do ar média de  $24,3^\circ C$  (UFAL, período de 2008 a 2011), respectivamente. No período de abril a agosto ocorrem 62,0% da chuva esperada para o ano inteiro. A região de Palmeira dos Índios possui a mesma classificação climática de Arapiraca (tipo DA's2d). Por sua vez, apresenta precipitação média anual de 869,6 mm e temperatura média anual de  $25,3^\circ C$  (INMET, período de 1961 à 1990). No período de abril a agosto ocorrem 72,0% da chuva esperada para o ano inteiro. Os dados de  $R_g$  ( $Wm^{-2}$ ) foram medidos por piranômetros preto e branco da Eppley instalados em estações solarimétricas, durante o período de 2008 à 2010. A aquisição de dados e armazenamento foi utilizando um Datalogger da Campbell modelo CR1000, programado para capturar informações a cada segundo e gravar médias a cada minuto. Os dados medidos foram transferidos para um microcomputador e separados em planilhas eletrônicas no Software Estatístico Microsoft Excel<sup>®</sup>, distribuídos mensalmente. Dados duvidosos, falhas relacionadas com o período de calibração e mau funcionamento dos sensores foram removidos. Na estação de Arapiraca foram excluídos 5 dias e Palmeira dos Índios 39 dias, que corresponde a 3,56% dos 1095 dias. A integração da irradiação solar global média horária mensal ( $H_g^h$ ), Eq. (1), foi obtida conforme,

$$H_g^h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_g^h \quad (1)$$

$$h_g^h = \int_{t_o}^{t_f} I_g^h(t) dt \quad (2)$$

em que N é o número de dias do mês para a hora em análise,  $h_g^h$  (Eq. 2) a irradiação solar global horária,  $t_0$  a hora inicial e  $t_f$  a hora final. A irradiância solar global que chega ao topo da atmosfera ( $R_0$ ) ( $Wm^{-2}$ ) foi obtida em função da constante solar ( $S_0 = 1367 Wm^{-2}$ ), da excentricidade do eixo da Terra ( $E_0$ ), da latitude local ( $\varphi$ ), da declinação ( $\delta$ ) e do ângulo horário solar ( $\omega$ ), de acordo com Iqbal (1983). Para gerar os dados de  $R_0$  foi criado um arquivo padrão em planilhas eletrônicas com as equações descritas em (Iqbal, 1983). A transmitância atmosférica média horária mensal por estação ( $k_t^h$ ), Eq. (3), foi obtida através da razão entre a irradiância solar média horária mensal ( $R_g^h$ ) e a irradiância solar global média horária mensal no topo da atmosfera ( $R_0^h$ ), de acordo com,

$$k_t^h = \frac{R_g^h}{R_0^h} \quad (3)$$

As curvas de  $H_g^h$  foram geradas por intermédio do “Software Surfer<sup>®</sup>” e frequência de  $k_t^h$  foram geradas por intermédio do programa estatístico “Software<sup>TM</sup> Microcal Origin 6.0<sup>®</sup>”.

## 3. Resultados

As Figs. 1a, b e c mostram a variação anual da irradiação solar global média horária mensal ( $H_g^h$ ) na microrregião de Arapiraca, correspondente aos anos de 2008, 2009 e 2010. A evolução horária de  $H_g^h$  apresenta uma variação quase simétrica do nascer do Sol até o meio dia e do meio dia até o pôr-do-Sol. Segundo Spokas & Forcela (2006) este aspecto está ligado à variação diária da irradiação solar com o ângulo de incidência. Em geral, no período da tarde as energias médias horárias são maiores que as da manhã, ocasionado pelo aumento da irradiação solar direta ( $H_D$ ) e redução da nebulosidade durante o dia – que diminui a irradiação solar difusa ( $H_d$ ). Em estudo realizados para região de Maceió (Souza et al, 2005; Souza, 1997) encontraram variabilidade semelhante com a microrregião de Arapiraca, indicando ocorrer máximo valor de  $H_g^h$  entre 11:30h e 12:30h, que concorda com a passagem do Sol no zênite de Maceió e com a maior proximidade da terra em relação ao Sol. É importante destacar que a irradiação solar global horária é determinada não só pela variação diurna da irradiação solar no topo da atmosfera, mas também pela variação

diurna da transmitância, ou seja, baixa transmitância no início da manhã e final da tarde, enquanto transmitância alta perto do meio-dia, como destacou Yang et al., (2006). A evolução diária começa às 6h00 da manhã com valores médios próximo de  $0,5 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ , cresce até às 12h00, atingindo o máximo médio aproximadamente de  $3,50 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ , decrescendo a seguir até o nível de zero energia às 18h00. Observa-se uma dependência de  $H_g^h$  ao longo do ano com a nebulosidade e a precipitação. No período entre abril e agosto ocorre redução para  $H_g^h$  ocasionado pelo aumento da precipitação (elevada nebulosidade) e baixo brilho solar. Nos meses da estação seca, entre setembro e março, maiores picos são observados, indicando valores inferiores que a irradiação solar global média horária mensal no topo da atmosfera ( $H_0^h$ ). Segundo Querino et al., (2011) o motivo para esses valores terem sido atingidos no intervalo de hora mencionado devêm-se aos fatores astronômicos.

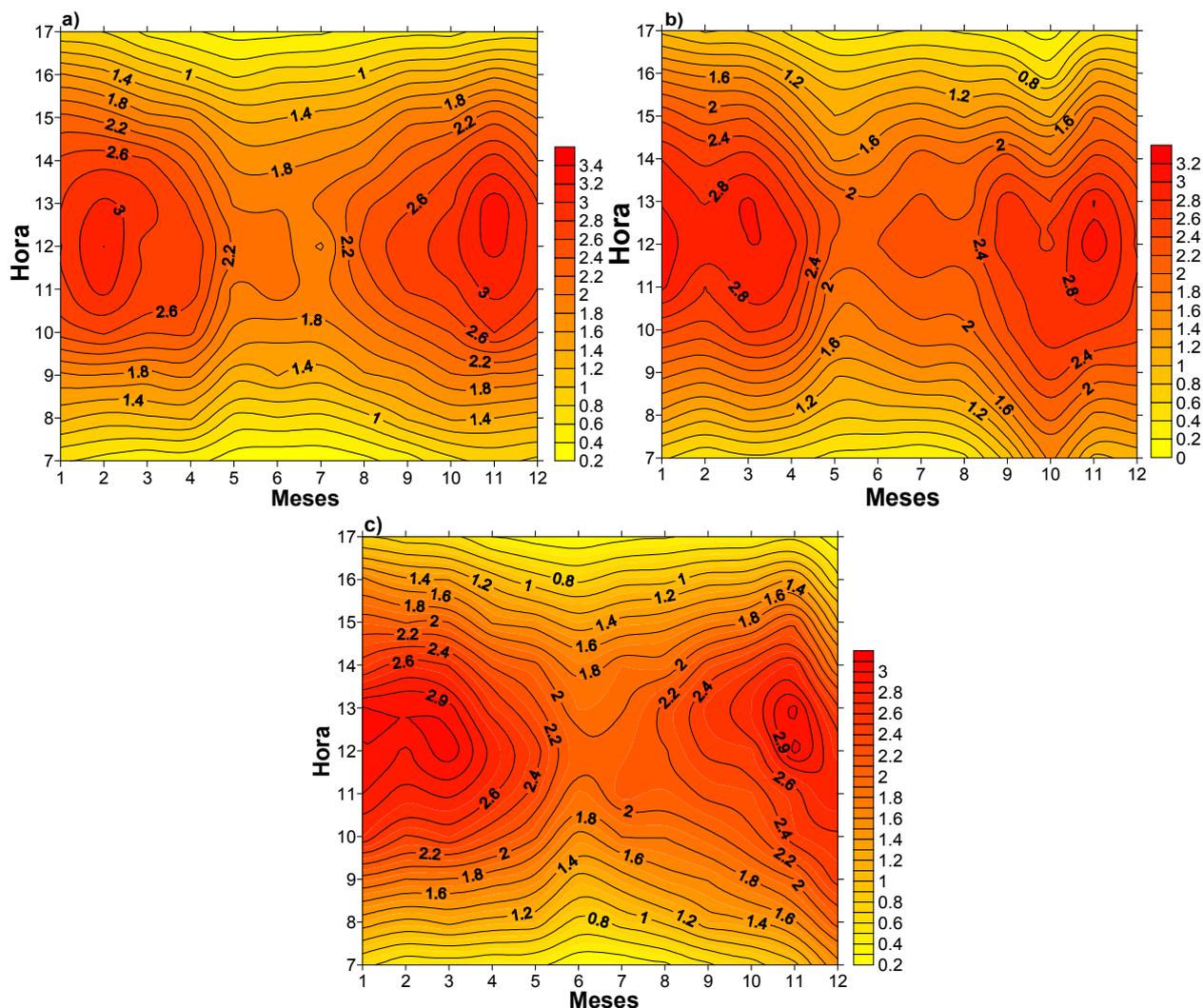


Figura 1- Variação anual da irradiação solar global média horária mensal ( $H_g^h$ ,  $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) para região de Arapiraca, nos anos de a) 2008, b) 2009 e c) 2010.

No ano de 2008 (Fig. 1a) observa-se máximo valor ( $24,17 \text{ MJm}^{-2}$ ) de integração para média horária mensal no mês de novembro e mínimo ( $14,20 \text{ MJm}^{-2}$ ) em maio. O valor máximo de incidência horária ( $3,39 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) ocorreu às 12 horas no mês de novembro. No ano de 2009 (Fig. 1b) o máximo de incidência integrado ocorreu no mês de janeiro ( $23,19 \text{ MJm}^{-2}$ ) e mínimo ( $14,07 \text{ MJm}^{-2}$ ) em maio. Já em 2010 (Fig. 1c) ocorreu máximo em novembro ( $22,47 \text{ MJm}^{-2}$ ) e mínimo em junho ( $13,43 \text{ MJm}^{-2}$ ). O diferencial energético entre 2009 e 2008 indica ocorrer aumento médio de  $1,46 \text{ MJm}^{-2}$  nos meses de janeiro, março, abril, junho, julho e setembro, enquanto ocorreu redução de  $-1,27 \text{ MJm}^{-2}$  nos demais. Comparando  $H_g^h$  entre 2010 e 2008 nota-se redução média de  $1,15 \text{ MJm}^{-2}$  nos meses de fevereiro, abril, junho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, com aumento médio de  $1,20 \text{ MJm}^{-2}$  nos demais. O diferencial energético entre 2010 e 2009 mostra aumento médio de  $0,95 \text{ MJm}^{-2}$  nos meses de fevereiro, maio, agosto e dezembro, enquanto ocorreu redução média de  $1,06 \text{ MJm}^{-2}$  nos restantes. A diferença máxima entre a estação seca e chuvosa foi  $9,05 \text{ MJm}^{-2}$  observada para o ano de 2010. Souza et al., (2005) encontraram diferença média de  $1,0 \text{ MJm}^{-2}$ , mostrando está relacionada com o caminho aparente do Sol no Hemisfério Sul (HS) durante o inverno e o verão.

A variação anual da  $H_g^h$  entre os anos de 2008 e 2010 na microrregião de Palmeira dos Índios é mostrada nas Figs. 2a, b e c. A distribuição de  $H_g^h$  não mostra simetria durante todo ano, nota-se que o crescimento das curvas é mais

acentuado durante o período da manhã, com máximo ocorrendo entre 12h00 e 13h00. A evolução das irradiações apresenta simetria semelhante a  $H_0^g$ , com maiores irradiações no período seco (setembro a março) e menores picos na estação chuvosa (abril a agosto). A redução da irradiação no período chuvoso (época em que o Sol situa-se a mais no hemisfério norte) deve-se a ocorrência de precipitação (alta nebulosidade). Este decréscimo deve-se a redução da irradiação solar direta, que é absorvida e refletida ao interagir com a elevada nebulosidade. De acordo com Gu et al., (2001), a explicação para tal redução seria o processo de atenuação sofrido pelos raios nas diversas camadas atmosférica, onde ocorre reflexões múltiplas e absorção ocasionadas pelas diversas camadas de nuvens. Segundo Escobedo (2004) a irradiação solar global é maior antes da passagem do meridiano. Além do ciclo diurno, o total da irradiação solar que chega a atmosfera terrestre varia de acordo com a época do ano, ocasionado pela orbita elíptica que a terra descreve em torno do Sol, apresentando ciclos anuais contínuos. Nicácio (2002) destacou que a variação anual da irradiação solar global deve-se mais a variação da nebulosidade que da declinação solar – já que este efeito não é muito marcante para regiões com baixas latitudes.

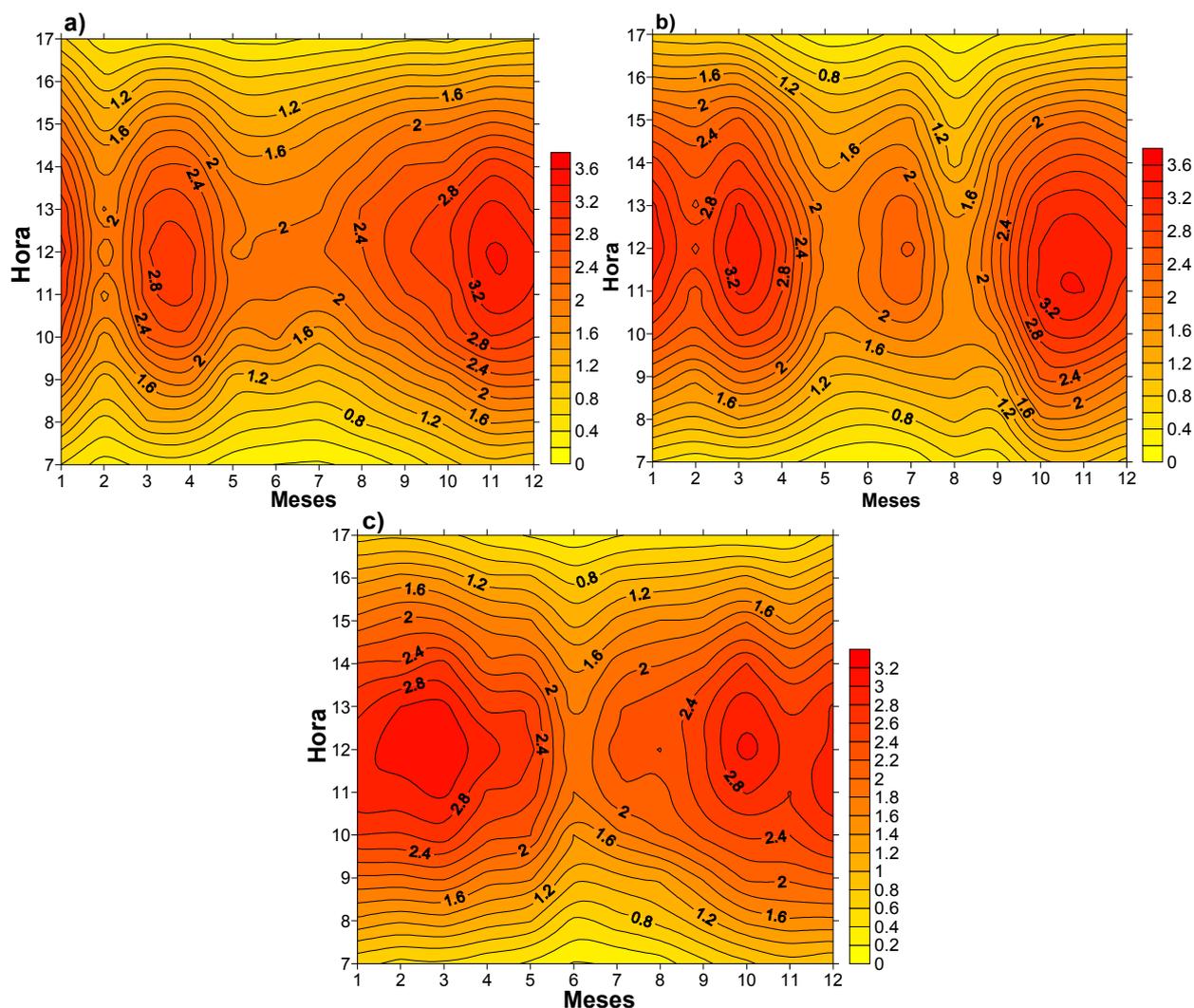


Figura 2 - Variação anual da irradiação solar global média horária mensal ( $H_g^h$ ,  $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) para região de Palmeira dos Índios, nos anos de a) 2008, b) 2009 e c) 2010.

Percebe-se baixo valor de  $H_g^h$  no mês de fevereiro para 2008 (Fig. 2 a), possivelmente ocasionado pelo mês ter sido bastante nublado. Este comportamento pode ser comprovado no estudo de  $k_t^h$  (Fig. 4). No ano de 2008, nota-se valor máximo ( $25,33 \text{ MJm}^{-2}$ ) da integração da média horária mensal para o mês de novembro, mínimo ( $13,15 \text{ MJm}^{-2}$ ) em fevereiro. Estes resultados estão de acordo com as variações sazonais na nebulosidade (quanto maior a atenuação da radiação solar, menor a taxa de transferência), conforme verificado nos meses de abril até agosto (Souza et al., 2005). Para o ano de 2009 (Fig. 2 b) o máximo de incidência integrado ocorreu no mês de novembro ( $24,79 \text{ MJm}^{-2}$ ), o mínimo ( $12,13 \text{ MJm}^{-2}$ ) em agosto. Já em 2010 (Fig. 2c), ocorreu máximo em março ( $22,60 \text{ MJm}^{-2}$ ) e mínimo em junho ( $12,04 \text{ MJm}^{-2}$ ). O valor máximo de incidência horária ( $3,19 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) ocorreu às 11:00 horas no mês de março. Observa-se que ocorreram os maiores e menores valores de incidência em meses pertencente à estação seca e chuvosa, respectivamente. O diferencial energético entre 2009 e 2008 indica ocorrer redução média de  $1,93 \text{ MJm}^{-2}$  nos meses de abril, maio, junho, agosto, setembro, novembro e dezembro, enquanto ocorreu aumento médio de  $3,13 \text{ MJm}^{-2}$  nos

demais meses. Comparando  $H_g^h$  entre 2010 e 2008 nota-se aumento médio de  $3,44 \text{ MJm}^{-2}$  nos meses de fevereiro, março, maio, julho e outubro, com redução média de  $1,97 \text{ MJm}^{-2}$  nos demais. O diferencial energético entre 2010 e 2009 mostra redução média de  $2,40 \text{ MJm}^{-2}$  nos meses de janeiro, março, abril, junho, julho, outubro e novembro, enquanto ocorreu aumento médio de  $2,62 \text{ MJm}^{-2}$  nos restantes. A diferença máxima entre a estação seca e chuvosa foi  $12,66 \text{ MJm}^{-2}$ , observada para o ano de 2009. A diferença mínima ( $3,95 \text{ MJm}^{-2}$ ) entre a estação seca e chuvosa, ocorreu ano de 2010.

### 3.1 Transmitância atmosférica média horária mensal por estação ( $k_t^h$ )

O melhor entendimento para as variações de  $H_g^h$  na microrregião de Arapiraca é através da análise do comportamento de  $k_t^h$  (Fig. 3). A estação seca (primavera-verão) indicou maiores valores de  $k_t^h$ , com máximo (0,61) observado às 14h00 de 2008. O que tende a caracterizar uma transmitância atmosférica alta é a maior incidência de irradiação solar direta horária ( $H_D^h$ ), ocasionada pela baixa nebulosidade na atmosfera. No período da manhã, para os anos de 2008 e 2010 o  $k_t^h$  apresenta valores mais baixos que a média (0,52), indicando uma atmosfera com mais nebulosidade e maior espalhamento de  $H_g^h$ , que reduz a incidência da  $H_D^h$ . O ano de 2009 mostrou maiores valores de  $k_t^h$  no período matutino e no período vespertino menores valores. O menor valor de  $k_t^h$  (0,48) na estação seca foi observado às 17h00 de 2008. Na estação chuvosa  $k_t^h$  indicou menores valores (média de 0,49), mostrando máximo (0,53) e mínimo (0,29) em 2008, em 2009 nota-se máximo (0,56) e mínimo (0,31), enquanto o ano de 2010 indicou máximo (0,54) e mínimo (0,33). A variação de  $k_t^h$  deve-se principalmente a grande nebulosidade existente que ocorre nos meses da estação chuvosa. Em média  $k_t^h$  apresentou comportamento parabólico (com concavidade voltada para baixo), valores crescentes no turno matutino, máximo valor próximo ao meio dia, decaindo no período vespertino até o final da tarde. Isto ocorre pelo fato de  $k_t^h$  crescer com o aumento do ângulo de elevação solar e decrescer com o aumento da massa ótica, mostrando como a nebulosidade altera a quantidade de energia solar que chega ao topo da atmosfera e transmitida para superfície terrestre. De acordo com Hoyt (1979) a transmitância atmosférica máxima ocorre na primavera quando a espessura ótica diminui rapidamente e o total de água precipitável pouco aumenta. Segundo Lima et al., (2007) a quantidade de vapor d'água existente na atmosfera influencia nos processos de transmissividade atmosférica, para isso quando se deseja observar a variabilidade da profundidade ótica de uma localidade, a avaliação dos totais pluviométricos torna-se primordial. Das observações realizadas na Fig. 3, é importante salienta a possibilidade de camuflagem do comportamento horário da transmitância a atmosférica, a partir da média horária mensal por estação. Para região de Maceió, Souza (1997) observou para dias específicos ocorrer  $k_t$  mínimo no período matutino, crescendo ate o meio dia e decaindo no período da tarde.

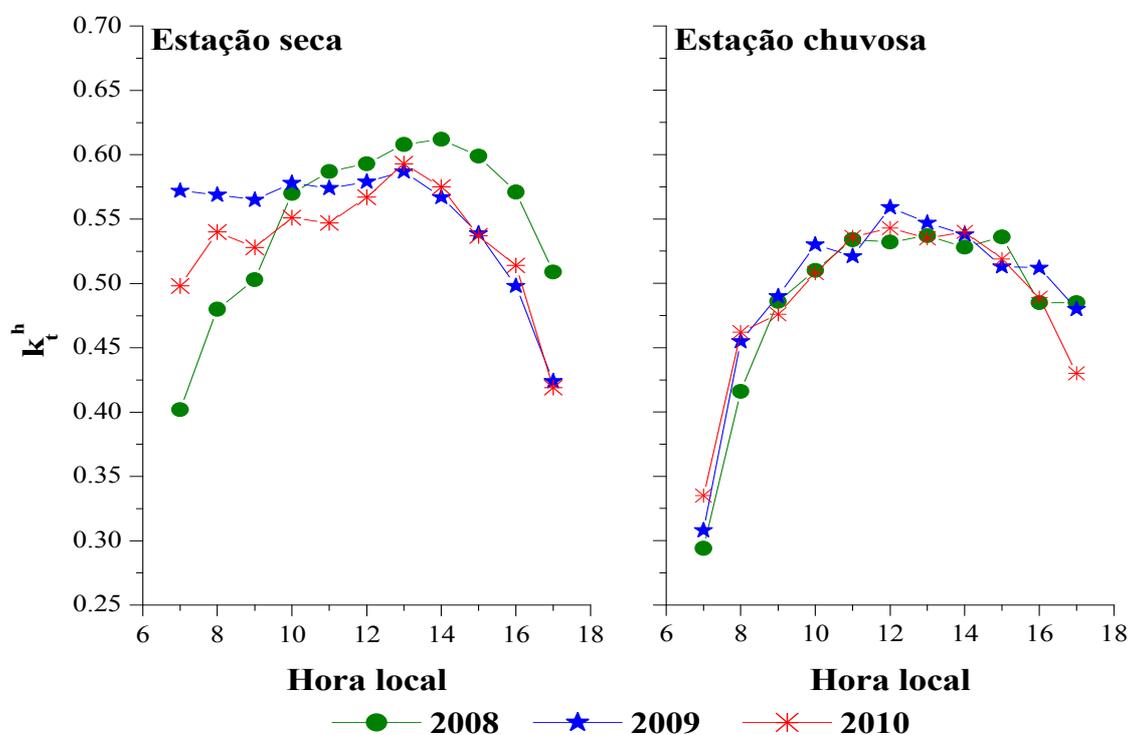


Figura 3 - Índice de claridade (transmitância atmosférica -  $k_t^h$ ), para a média horária mensal correspondente aos meses da estação seca (setembro a março) e estação chuvosa (abril a agosto), na região de Arapiraca para os anos de 2008, 2009 e 2010.

Na microrregião de Palmeira dos Índios (Fig. 4), durante a estação seca o valor máximo (0,62) para  $k_t^h$  ocorreram às 11h00 e 12h00 de 2009. Nos anos de 2008 e 2010, os máximos de (0,59) e os mínimos (0,40 e 0,44) ocorreram às 12h00 e 07h00, respectivamente. Observa-se no período vespertino decaimento dos valores de  $k_t^h$ , apresentando média de ( $k_t^h = 0,53$  em 2008), ( $k_t^h = 0,57$  em 2009) e ( $k_t^h = 0,54$  em 2010). Isso mostra o comportamento parabólico de  $k_t^h$  ao longo do dia, que está relacionado com aumento da massa ótica. De acordo com Echer et al. (2001) a radiação solar em condição de céu claro é pouco atenuada quando comparada com condições de céu nublado. Segundo Heermann (1985) a transmitância atmosférica, em alguns casos, pode ser utilizada para estimar a irradiação solar com erro de 5%. No período de maior nebulosidade (estação chuvosa), verificam-se entre 10h00 e 12h00 os maiores valores de  $k_t^h$ , enquanto os menores ocorrem no período matutino. Em 2010 observou-se máximo (0,56) e mínimo (0,28), enquanto o ano de 2008 indicou valores de 0,54 e 0,25 para o valor máximo e mínimo, respectivamente. Teoricamente, ocorre maior incidência de irradiação solar entre 11h00min e 13h00min, que corresponde ao período com maiores valores de  $k_t^h$  observados. Em geral a estação chuvosa indicou menores valores de  $k_t^h$  que a estação seca, isto está relacionado à ocorrência de dias com maior nebulosidade. O comportamento de  $k_t^h$  observado nas Figs. 3 e 4, não representa o comportamento diário, pois as condições de nebulosidade no céu variam de acordo com a dinâmica atmosférica e padrões distintos da transmitância atmosférica são observados, quando comparados dados diários para céu claro ou nublado. Souza et al (2000) encontraram para região de Maceió, maior frequência de transmitância atmosférica global diária entre 0,50 e 0,73. Mostrando para as estações do ano valores de 0,60 no verão, 0,50 em outono, 0,49 no inverno e 0,61 na primavera. Nicácio (2002) observou para a região de Maceió a ocorrência da transmitância atmosférica global horária máxima (0,62) às 12h00.

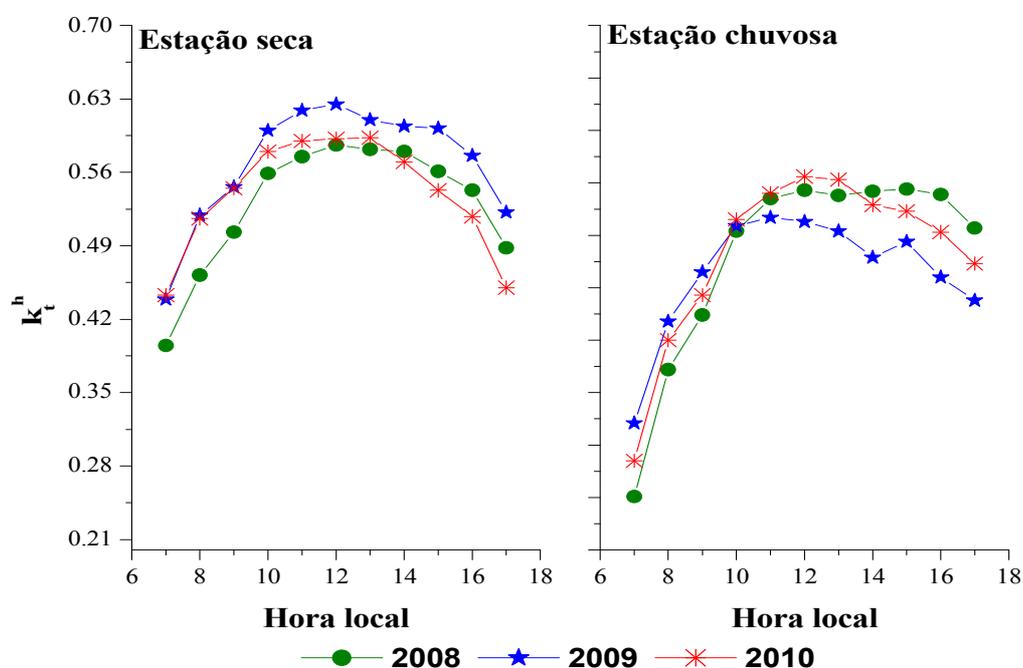


Figura 4 - Índice de claridade (transmitância atmosférica -  $k_t^h$ ), para a média horária mensal correspondente aos meses da estação seca (setembro a março) e estação chuvosa (abril a agosto), na região de Palmeira dos Índios para os anos de 2008, 2009 e 2010.

#### 4. CONCLUSÃO

Os maiores valores de  $H_g^h$  foram observados próximo ao meio dia, com mínimos no nascer e no pôr-do-Sol. O ano de 2009 mostrou maior incidência de  $R_g$  nas regiões de Arapiraca e Palmeira dos Índios, este último indicou maior potencial de  $R_g$ . Observou-se mínimos valores de  $k_t^h$  no período da manhã e máximos próximo ao meio dia. A estação seca indicou em média maiores valores de  $k_t^h$  que a estação chuvosa.

#### Agradecimentos:

A CT-Hidro/CNPq 504068-03-2, CNPq-Universal 479143/2007-2, FAPEAL, CAPES, ELETROBRAS, INMET.

## REFERÊNCIAS

- Cometta, E., 1978. Energia solar: utilização e empregos práticos, Editora hemus – São Paulo, 127 páginas. Tradução e adaptação: Noberto de Paula Lima.
- Echer, E.; Sousa M. P.; Schuch, N. J., 2001. The beer's law applied to the earth's atmosphere, Revista Brasileira de Física, São Paulo, v.23, n.3, p.276-283.
- Escobedo, J. F. ; DAL Pai, A. ; Oliveira, A. P. ; Soares, J. R., 2004. Radiações global, direta e difusa: I Evoluções sazonais diária e anual. In: X reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorologia, Mar Del Plata.
- Gomes, E. N.; Escobedo, J. F. ; Soares, J. ; Oliveira, A. P., 2005 . Evolução anual das irradiações diárias médias mensais global e direta do visível e espectro total, IX Congresso Argentino de Meteorologia, Buenos Aires.
- Gu, L.; Fuentes, J.D.; Garstang, M.; Silva, J.T.; Heitz, R.; Sigler, J., 2001. Cloud modulation of surface solar irradiance at a pasture site in southern Brazil, Agricultural and Forest Meteorology, v. 106, p. 117 – 129.
- Heermann, D.F.; Harrington, G.J.; Stahl, K.M., 1985. Empirical Estimation of Daily Clear Sky Solar Radiation, Journal of Climate and Applied Meteorology, v. 24, n. 2, p. 206-14.
- Hoyt, D., 1979. Hourly Solar Radiation – Surface Meteorological Observations. Final Report 9724, National oceanic and Atmospheric Administration. National Climate Center. Sol – Met. 2, App. V, 128.
- Iqbal, M., 1983. An introduction to solar radiation, New York, Academic Press.
- Lima, E. A.; Molion, L. C. B.; Filho, M. F. G.; Firmino, J. L. N.; Silva, A., 2007. O Variabilidade interanual da profundidade óptica da atmosfera sobre Maceió, AL, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, n.5, p.509–514.
- Nicácio, R. M., 2002. Radiação Solar Global e Difusa para a Região de Maceió – AL: medidas e modelos, Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências Atmosféricas, ICAT/UFAL, Maceió.
- Querino, C. A. S.; Moura, M. A. L.; Querino, J. K. A. S.; Filho, A. O. M., 2011. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade ( $k_t$ ), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas – Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.2, p.204 – 214.
- Souza, J. L., 1997. Irradiância solar no litoral do Nordeste: Avaliação Preliminar, X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Piracicaba – SP.
- Souza, J. L.; França, A., O., S.; Filho, G., M., 1998. Características da irradiância solar na costa Alagoana, X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília – BR.
- Souza, J. L.; Nicácio, R. M.; Bernardo, S., O.; Cavalcante, E., A., B., 2000. Irradiância solar e transmitância na região de Maceió – AL, XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro – RJ.
- Souza, J. L.; Nicácio, R. M.; Moura, M. A. L., 2005. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil, Renewable Energy. v. 30, p. 1203 – 1220.
- Spokas, K.; Forcela, F., 2006. Estimating hourly incoming solar radiation from limited meteorological data, Weed Science, v.54, p.184 – 189.
- Valiati, M., I.; Riceri, R., P., 2005. Estimativa da irradiação solar global com participação mensal e sazonal para região de Cascavel – PR, Engenharia Agrícola Jaboticabal, v. 25, p. 76 – 85.
- Yang, K.; Koike, T.; Ye, B., 2006. Improving estimation of hourly, daily, and monthly solar radiation by importing global data sets. Agricultural and Forest Meteorology, v.137, p.43–55.

## SAEASONAL GLOBAL SOLAR IRRADIATION HOURLY IN THE ALAGOAS HINTERLAND (AGRESTE)

**Abstract.** *This paper performs a comparison of the evolution of global solar irradiation hourly average monthly ( $H_g^h$ ) ( $MJm^{-2}$ ) and seasonal average hourly transmittance by season ( $k_t^h$ ) between 2008 to 2010, in the microregions of the Arapiraca and Palmeira dos Índios located in the Hinterland (Agreste) region of the Alagoas state. The global solar irradiation data were measured by pyranometers installed in solarimetric stations located in two locations. The atmospheric transmittance ( $k_t^h$ ) was obtained from the ratio between the global solar irradiance hourly average monthly ( $R_g^h$ ) ( $Wm^{-2}$ ) and global solar irradiance hourly average monthly on top of the atmosphere ( $R_0^h$ ) ( $Wm^{-2}$ ). It was considered  $H_g^h$  values of between 6:00 hours and 17:00 hours, a total of 11 intervals and  $k_t^h$  hourly average values per station. It was found in regions of the Arapiraca and Palmeira dos Índios  $H_g^h$  variation almost symmetrical sunrise and sunset sun. Maximum values were observed near midday, with minimum at sunrise and sunset sun. The year 2009 showed a higher incidence of global solar irradiance ( $R_g$ ) in the Arapiraca and Palmeira dos Índios regions, the latter showing the greatest potential for  $R_g$ . Parabolic behavior was observed over the  $k_t^h$  along the monthly hourly averages, with a minimum in the morning (early morning) and maximum in the afternoon (late afternoon). These results confirm the large  $H_g^h$  Hinterland that presents the state of Alagoas.*

**Keywords:** Solar irradiation hourly, Alagoas Hinterland (Agreste), Atmospheric Transmittance.