

# CARACTERIZAÇÃO SAZONAL DO BALANÇO DE RADIAÇÃO NO COMPLEXO ESTUARINO-LAGUNAR MUNDAÚ-MANGUABA (ALAGOAS-BRASIL)

Alessandro René Souza do Espírito SANTO<sup>1</sup>

Marcos Antônio Lima MOURA<sup>2</sup>

## Resumo

Estudou-se a variação sazonal do Saldo de Radiação (**Rn**) e as componentes do Balanço de Radiação no manguezal do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (Maceió-AL), no período de outubro de 2004 a outubro de 2005, onde verificou-se uma grande variação do **Rn** entre as estações seca e chuvosa, visto pelos valores médios máximos. Tal fato é decorrente, principalmente, da grande variação sazonal da Radiação global (**Rg**), da qual o **Rn** apresenta uma grande dependência. Foi percebido uma redução sazonal do **Rn** em torno de 44%, variando de aproximadamente 800W.m<sup>-2</sup>, durante a estação seca, para menos de 450W.m<sup>-2</sup> na estação chuvosa. A sazonalidade do **Rn** também pode ser compreendida através do balanceamento entre ondas curtas e ondas longas, onde o Balanço de ondas curtas (**Sn**) denotou uma queda por volta de 44%, cerca de 860W.m<sup>-2</sup> para menos de 480W.m<sup>-2</sup>, enquanto que o balanço de ondas longas (**Ln**) demonstrou um aumento sazonal na energia perdida por ondas longas na época seca, variando 33,3% entre as estações. Por meio dos dados coletados, geraram-se equações com coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) superiores a 0.8, possibilitando à estimativa do **Rn** em função do **Rg** e do **Sn**, ao longo do ano.

**Palavras-Chave:** Micrometeorologia. Radiação solar. Manguezal. Saldo de Radiação.

## Abstract

### Seasonal Characterization of Net Radiation on the Mundaú-Manguaba Estuary-Lagunar Complex (Alagoas - Brazil)

This work characterized the seasonal variation in net radiation (**Rn**) and the components of the radiation balance in the mangrove of the Mundaú-Manguaba Estuary-Lagunar Complex (Maceió-AL), during the period of October 2004 to October 2005. The measurements of **Rn** showed large variation between the dry and rainy season, as a result of the large seasonal variation in incoming shortwave radiation (**Rg**). A seasonal reduction of 44% in **Rn** was observed, varying from approximately 800Wm<sup>-2</sup> during the dry season, to less than 450Wm<sup>-2</sup> during the rainy season. The seasonality of **Rn** can also be understood through the balance between short and longwave radiation, where the net shortwave (**Sn**) experienced a decrease of 44%, approximately 860Wm<sup>-2</sup> to less than 480Wm<sup>-2</sup>, while net longwave (**Ln**) indicated a seasonal increase in the energy lost by longwave radiation in the dry season, ranging up to 33.3% between the dry and rainy season. Through the data collected, best linear fit models were generated with a R<sup>2</sup> greater than 0.8, making it possible to estimate **Rn** as a function of **Rg** and **Sn** throughout the year.

**Key words:** Micrometeorology. Solar Radiation. Mangrove. Net Radiation.

<sup>1</sup> Mestre em Meteorologia pela UFAL, E-mail: arses.rene@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Dr. do Instituto de Ciências Atmosféricas da UFAL, E-mail: malm@pq.cnpq.br

## INTRODUÇÃO

A grande extensão do litoral brasileiro permitiu o surgimento de diferentes ecossistemas, todos com características e belezas singulares contendo em suas estruturas uma rica diversidade de espécimes de flora e fauna. Dentre eles destacamos o manguezal que possui potencial para a realização de vários estudos em diferentes áreas científicas.

Os manguezais são lugares semi-abrigados da ação das ondas, ventos fortes e resacas, constituindo um ecossistema de baixa energia, mas aberto para receber a água do mar. Por isso é comum se encontrar este ecossistema em regiões estuarinas, lagos, enseadas, baías, barras e reentrâncias costeiras, onde haja encontro de águas de rios com a do mar, ou diretamente expostos à linha da costa (RODRIGUES, 2006).

Eles também só ocorrem em pontos da costa onde há depósito de sedimento fino, daí os manguezais estarem sempre associados à lama. Portanto, o manguezal desenvolve-se em solo lamacento rico em matéria orgânica que conferem ao solo altas concentrações de sulfeto com pouco oxigênio e dominado por espécies vegetais típicas, adaptadas as condições específicas deste ambiente (alta salinidade e solo encharcado) (RODRIGUES, 2006). Sendo assim, são reconhecidas como "ecossistemas-chave" cuja preservação é fundamental para a manutenção de outros ecossistemas maiores e fora de seus limites (FAO, 2007).

O Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú – Manguaba (CELMM), além de ser o ambiente mais representativo do litoral médio alagoano, tem um valor socioeco-nômico muito importante para o Estado de Alagoas e, primordialmente, para a cidade de Maceió, assim a realização contínua de estudos e trabalhos capazes de identificar a real dinâmica do local pode ajudar cada vez mais o aproveitamento máximo dos seus benefícios. Nessas circunstâncias, torna-se necessário monitorar e analisar os processos físicos naturais que o complexo possui e os exemplos negativos das reações ambientais provocadas pelas atividades antrópicas, com o fim de detectar os impactos sobre o meio ambiente do CELMM (BRASILIANA, 2006).

Estudos envolvendo a radiação solar são importantes por ser esta a principal fonte de energia para os processos físicos e biológicos que ocorrem na biosfera (LEITÃO, 1994). Com isso, é importante se fazer um estudo do balanço de radiação para se determinar como é o comportamento do saldo de radiação em um sistema florestal como, por exemplo, de um manguezal, e como essa energia disponível influenciará os diferentes processos físicos do sistema (SANTO, 2009). Então, o saldo de radiação em coberturas vegetais é uma variável fundamental no estudo de processos como evapotranspiração, fotossíntese, trocas energéticas com a atmosfera, etc. (ANGELOCCI *et al.*, 2001).

A investigação da interação entre ecossistemas de manguezal e os processos físicos na atmosfera irá ampliar o conhecimento sobre as condições micrometeorológicas propícias a sustentabilidade do equilíbrio ecológico nesses ecossistemas, principalmente para a utilização de forma adequada dos recursos fornecidos gratuitamente por esse ambiente.

Com a intenção de estudar um manguezal, com suas características naturais ainda preservadas, já que existe uma crescente degradação desses ecossistemas, ocasionada muitas vezes de forma predatória e ilegal, assim como devido a pouca produção literária a respeito desse ambiente, dentro do âmbito micrometeorológico, motivou-se o desenvolvimento deste trabalho cujo objetivo principal é caracterizar a variação sazonal do saldo de radiação de um manguezal em uma área do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (Maceió-AL).

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado com os dados coletados durante o período de outubro de 2004 a outubro de 2005 em um sítio experimental (Lat.  $9^{\circ}42'18''\text{S}$  e Long.  $35^{\circ}48'32''\text{W}$ ), localizado na ilha de Santa Rita (Figura 1) no município de Marechal Deodoro, dentro do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, aproximadamente 15km ao sul da cidade de Maceió – AL. O sítio é caracterizado pelo tipo de cobertura vegetal, apresentando vegetação nativa com uma altura média do dossel em torno de 11,5m, mais especificamente floresta de manguezal e esta, por sua vez, faz parte da Área de Preservação Ambiental (APA) pertencente ao condomínio Laguna.

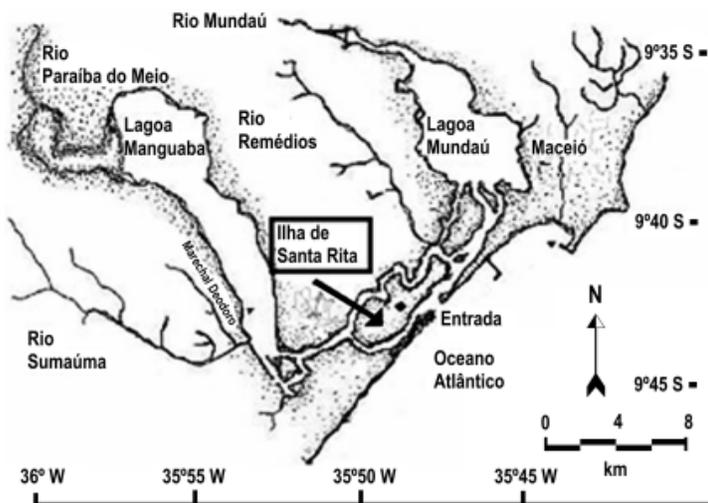


Figura 1 - Mapa básico do Complexo Lagunar Estuarino Mundaú-Manguaba

Fonte: Moura *et al.*, (2006)

No interior do manguezal foi erguida uma torre de 14m, na qual foram instalados diversos sensores para monitorar diferentes variáveis, sendo que para o presente trabalho foram utilizados: saldo de radiação ( $R_n$ ), medido por sensores do tipo Q7\_1-L REBS Net radiometer da Campbell Scientific; radiação solar global ( $R_g$ ), medido por piranômetros modelo SP – LITE da Campbell Scientific; radiação de ondas curtas refletida pela superfície ( $R_r$ ), medido por um piranômetro, da LI-COR Inc., modelo LI200SZ com seu sensor voltado para baixo.

### Parâmetros calculados

Foram obtidos e analisados os seguintes parâmetros: balanço de radiação ( $R_n$ ) e suas componentes, o Índice de Transmitância Atmosférica e a regressão linear do  $R_n$  com a Radiação global ( $R_g$ ) e com o Saldo de radiação de ondas curtas ( $S_n$ ).

O balanço de radiação da superfície de um dossel significa o estudo das trocas verticais de radiação entre a atmosfera e a superfície, representando a quantidade de energia que foi absorvida pela superfície do sistema e que está disponível para ser usada em diferentes processos físicos, e pode ser dado pela soma algébrica do balanço de ondas curtas ( $S_n$ ) e o balanço de radiação de ondas longas ( $L_n$ ), ou seja:

$$Rn = Sn + Ln \quad (1)$$

Os valores de **Sn** e **Ln** foram calculados da seguinte forma:

$$Sn = Rg - Rr \quad (2)$$

$$Ln = Rn - Sn \quad (3)$$

onde: **Rn** = Saldo de radiação ( $W.m^{-2}$ ); **Rg** = Radiação solar global incidente na superfície ( $W.m^{-2}$ ); **Rr** = Radiação solar refletida pela superfície ( $W.m^{-2}$ ); **Rs** = Radiação emitida ou emissão da superfície ( $W.m^{-2}$ ). O albedo ( $\alpha$ ) foi obtido pela razão entre o **Rg** e o **Rr**.

A classificação da nebulosidade (Tabela 1) foi obtida por meio do Índice de Transmitância Atmosférica (**Kt**) (IQBAL, 1983), que é de grande interesse para a análise da radiação solar global (**Rg**), pois de acordo com a quantidade de nuvens haverá um aumento ou uma redução dessas radiações (TAVARES, 2005). Querino (2006) utilizou a relação entre **Rg**, medida por piranômetros instalados acima da dossel, e a radiação solar no topo da atmosfera (**R<sub>0</sub>**). E, baseado nesses parâmetros, verificou-se a representatividade sazonal para dias claros, parcialmente nublados e nublados, a fim de um melhor entendimento do comportamento da **Rg** e de sua influência no **Rn**.

**Tabela 1 - Classificação da cobertura de nuvens proposta por Iqbal (1983)**

$K_t \leq 0,3$	Dia nublado (NB)
$0,3 < K_t < 0,7$	Dia parcialmente nublado (PN)
$K_t \geq 0,7$	Dia com céu limpo (CL)

Por fim, utilizando as observações de radiação global, de radiação refletida e do saldo de radiação, foram determinadas as relações **Rn** versus **Rg** e **Rn** versus **Sn**, obtendo-se as seguintes relações empíricas:

$$Rn = a_i Rg + b_j \quad (4)$$

$$Rn = a_i Sn + b_j \quad (5)$$

onde **a<sub>i</sub>** e **b<sub>j</sub>** ( $i = 1$  e  $j = 2$ ) são constantes obtidas a partir de regressão linear, para cada caso.

## RESULTADOS E3 DISCUSSÃO

### *Variação Sazonal da Radiação Solar Global (Rg)*

Conhecer a quantidade de energia solar que chega à superfície em diferentes épocas do ano é primordial para compreendermos o padrão sazonal do **Rn**. Variações nos níveis da radiação solar incidente são principalmente afetados pelo estado de transparência da atmosfera, sendo a nebulosidade um fator de grande influência na variação da **Rg** (SILVA, 2007), afetando drasticamente a transmissividade atmosférica e proporciona maiores fluxos de **Rg** no verão e menores no inverno. Os valores de **Rg** (Figura 2) são relacionados tanto com a sazonalidade quanto com as flutuações diárias, e podem ser melhor compreendidos se observarmos o índice de transmitância atmosférica (**Kt**) (Figura 3). Esse índice mostra a condição de nebulosidade que o céu se encontra, nos permitindo observar a influência principalmente da cobertura de nuvens na quantidade de radiação chegando à superfície (QUERINO, 2006).

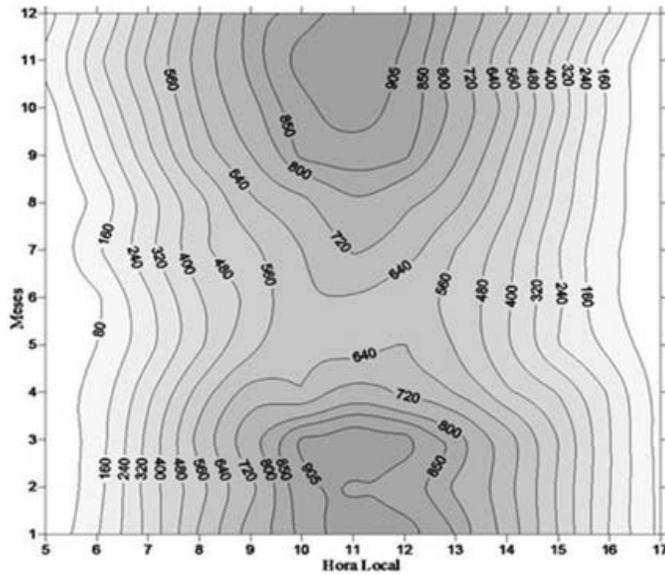


Figura 2 - Variação sazonal anual da Radiação Solar Global ( $R_g$ ) média horária ( $W.m^{-2}$ ) sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005

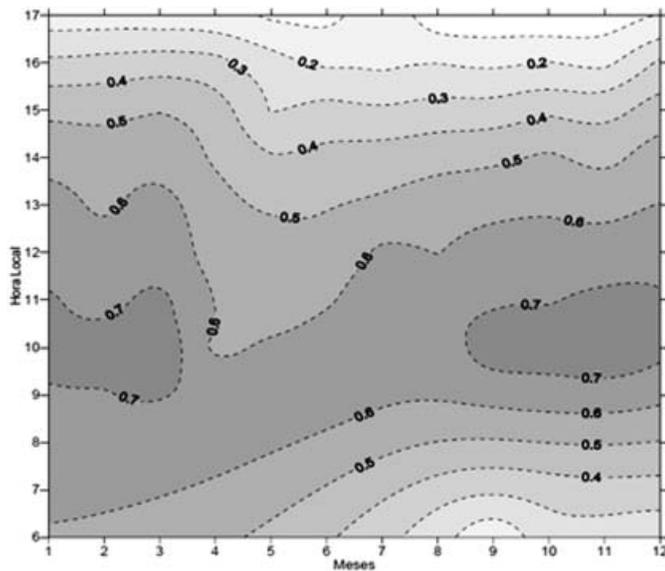
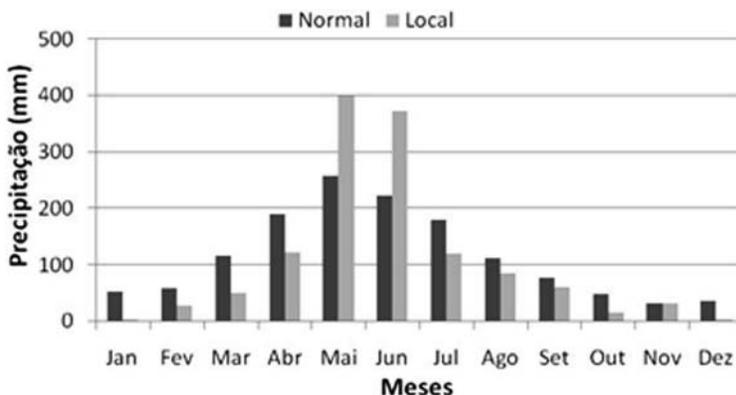


Figura 3 - Ciclo anual médio horário do Índice de Transmitância Atmosférica ( $K_t$ ) (%) no período de outubro 2004 setembro de 2005 no manguezal

Fonte: QUERINO, 2006.

A razão para a variação de  $R_g$  nos períodos seco (entre abril e julho, com máximo de 400mm em maio) e chuvoso (entre outubro a janeiro, com menos de 10 mm em dezembro e janeiro) (Figura 4), é devido basicamente a variação da transmitância atmosférica ( $K_t$ ) que é afetada diretamente pela variação sazonal da nebulosidade. Segundo Querino (2006), que fez uma abordagem detalhada de seu padrão sobre o manguezal, afirma que nos meses de verão nos horários de máxima incidência solar o  $K_t$  apresenta-se em 70%, o que caracteriza uma transmitividade atmosférica muito boa. Já nos meses de maio e junho tem-se uma transmitância média inferior a 60%, assinalando assim uma atmosfera menos transparente, absorvendo, refletindo e espalhando mais radiação solar, o que resulta na redução da  $R_g$ .

Por tão fato, verifica-se que  $R_g$  apresenta fluxos médios acima de  $905 \pm 160 \text{ W.m}^{-2}$  (entre 10 e 12h) durante os meses de outubro a janeiro (estação seca), assim como de fevereiro a início de março, período de transição seco-chuvoso. No período chuvoso, tem-se uma queda na  $R_g$  médio para menos de  $700 \pm 260 \text{ W.m}^{-2}$ , onde se observa fluxos inferiores a  $640 \pm 270 \text{ W.m}^{-2}$  no mês de maio (menor valor médio). Percebe-se, então, que houve uma diminuição de aproximadamente  $920 \text{ W.m}^{-2}$  (máximo médio) no verão, para menos de  $640 \text{ W.m}^{-2}$  no inverno, indicando uma redução de mais de 30,4% da  $R_g$  incidente no dossel do manguezal, o que possivelmente influencia em uma redução significativa do  $R_n$ .



**Figura 4 - Comparação entre a Normal climatológica de precipitação (mm) para a cidade de Maceió- AL (1961-2001) e dados coletados na região do experimento (outubro de 2004 a outubro de 2005)**

Fonte: QUERINO (2006)

#### *Varição sazonal do Saldo de Radiação ( $R_n$ ).*

Observando a variação sazonal da  $R_n$  (Figura 5), principalmente no período diurno, vê-se que a mesma está bem diferenciada ao longo do ano. Nota-se que, na transição do período seco para o chuvoso, há uma queda no  $R_n$  disponível aos processos físicos e biológicos do manguezal. Na estação seca, entre 10 e 12h, verifica-se as maiores médias de  $R_n$  ( $> 750 \text{ W.m}^{-2}$ ), onde os fluxos de outubro a janeiro foram de  $800 \pm 140 \text{ W.m}^{-2}$ , período este em que sol encontra-se no Hemisfério Sul. Enquanto que na estação chuvosa, tem-se as menores médias de  $R_n$  ( $< 500 \text{ W.m}^{-2}$ ), onde nos meses de abril a julho os fluxos apresentaram médias de aproximadamente  $480 \pm 190 \text{ W.m}^{-2}$  e  $450 \pm 180 \text{ W.m}^{-2}$ , respectivamente.

Essa sazonalidade do  $R_n$  ocorre, pois nos meses extremamente secos (outubro a janeiro, verão austral), a atmosfera encontra-se mais transparente à passagem da radiação solar, apresentando  $K_t$  em 70%. Isso favorece um grande fluxo de  $R_g$  (em torno de  $905 \text{ W.m}^{-2}$ ), evidenciando um maior suprimento de energia na superfície, proporcionando assim um

alto saldo de radiação disponível. Por outro lado, de maio a junho (inverno austral), meses com chuva acima da normal climatológica, a atmosfera encontra-se menos transparente a passagem da radiação solar com  $Kt d^{-1}$  70%. Isso causa um menor suprimento de energia em superfície, devido o pequeno fluxo de  $R_g$  sobre o manguezal ( $< 700 W.m^{-2}$ ), causando assim uma queda no saldo de energia disponível.

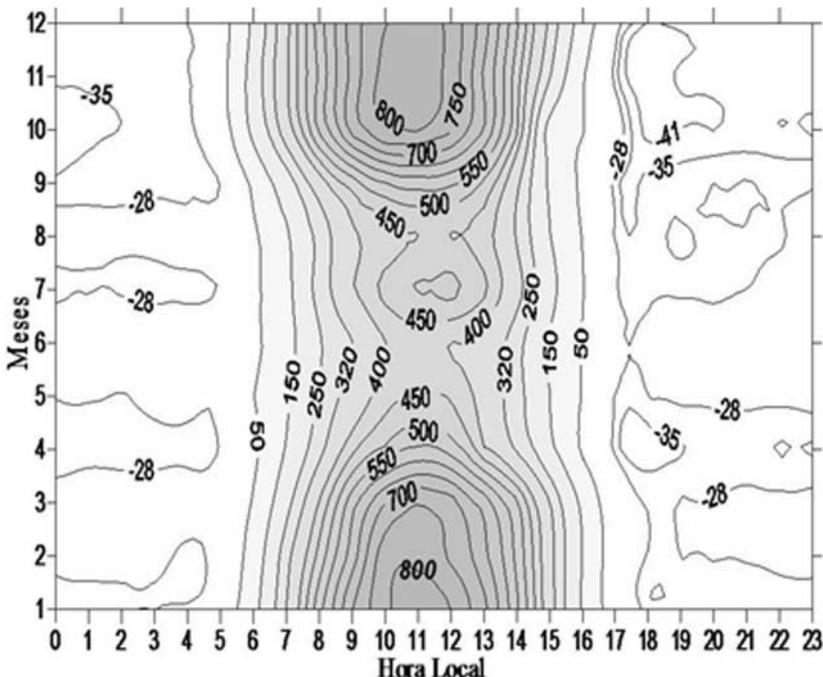


Figura 5 - Variação Sazonal anual do Saldo de Radiação ( $R_n$ ) médio horário ( $W.m^{-2}$ ), sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005

O padrão comportamental do  $R_n$  para os horários noturnos apresenta um quadro de fluxos negativos, o que já era esperado para o horário. Nesse horário, o saldo de radiação é governado em função do balanço de ondas longas ( $Ln = Ra - Rs$ ). Então, essa contabilização negativa ( $R_n < 0$ ) se dá pelo fato da superfície terrestre ser mais quente do que a atmosfera, proporcionando maior emissão de radiação de onda longa ( $Rs$ ) do que a atmosfera ( $Ra$ ). E, com o decorrer da noite, há uma queda das emissões de  $Rs$  pela superfície o que favorece o resfriamento da camada de ar junto a superfície.

#### Sazonalidade das componentes do Balanço de Radiação ( $\alpha$ , $Sn$ , $Ln$ ).

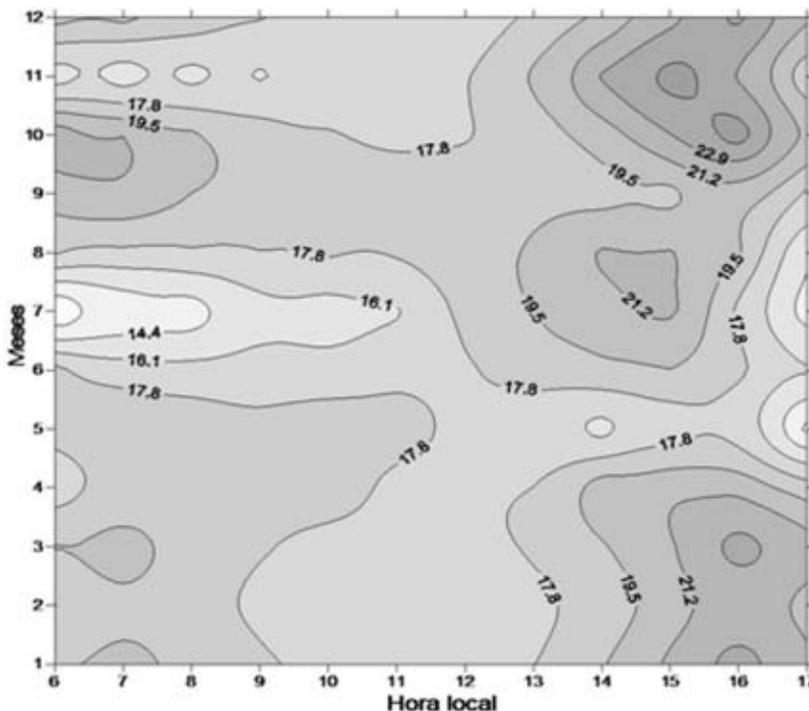
A avaliação dos diferentes componentes do balanço de radiação na superfície indica como a entrada de radiação no sistema atmosfera-Terra é dividida e usada. O balanço ou saldo de radiação representa as fontes e sumidouros de radiação que afetam as condições meteorológicas (ASSIS, 2008). Sendo assim, dentro da abordagem feita até então, averigua-se algumas variáveis que contabilizam o saldo de radiação ( $\alpha$ ,  $Sn$ ,  $Ln$ ), pois a partir de

seus comportamentos sazonais, pode-se visualizar melhor o padrão de sua distribuição ao longo do ano.

### *Varição sazonal do Albedo ( $\alpha$ )*

Dentre as variáveis estudadas, temos então a variação sazonal do albedo ( $\alpha$ ) sobre o manguezal (Figura 6), que segundo Silva Neto (2006), é uma medida de refletância da luz durante o dia, onde é maior ou menor, de acordo com as características da superfície e o ângulo de elevação solar (tanto diário quanto horário). Então, buscar entender o comportamento do Saldo radiação sobre o manguezal está, também, associado à necessidade de verificar o padrão comportamental do albedo, pois o **Rn** é dependente de sua variação.

A necessidade de verificar suas variações sazonais se faz importante, pois mostra o quanto de radiação solar é perdida pela reflexão do manguezal. Evidenciando a quantidade de energia solar que não será utilizada nos processos físico-biológicos do local. Segundo Penndorf (1956), essa perda afeta o balanço térmico, pois manifesta maior ou menor capacidade de absorção de radiação solar incidente pelo local.



**Figura 6 - Variação Sazonal anual do Albedo ( $\alpha$ ) médio horário (%) sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 a setembro de 2005**

Observando a distribuição anual e horária, percebe-se que o albedo (entre 9 e 14hs) apresenta no período seco, em média, um percentual de aproximadamente 17,8%. Porém, no período chuvoso, percebe-se uma discreta diminuição do mesmo para aproximadamente

16,5%. Isso evidencia que durante o período chuvoso devido ao menor coeficiente de reflexão, há maior absorção de radiação solar pelo dossel em função de um maior volume de água precipitada sobre o mesmo e, como no período seco o volume é menor, então a reflexão da radiação solar é favorecida. Caracteriza assim um dos motivos pelo qual há essa redução, do período seco para o chuvoso, evidenciando que esse diferencial de energia solar associada à pequena diminuição do albedo é contabilizado no saldo de radiação, sendo utilizado principalmente na forma de radiação de ondas longas na época chuvosa.

A explicação para essas diferenças sazonais do albedo é decorrente da frequência de molhamento do dossel, influenciada de forma particular pela variação sazonal da precipitação entre o período seco e chuvoso, pois quanto maior a quantidade de água sobre a vegetação melhor será a absorção de radiação solar. Já que Geiger (1990) menciona que porções de terreno ou de plantas quando se cobrem de água, os raios de luz podem penetrar nesta película de água, vindos de qualquer direção, mas não saem senão aqueles que possuem o ângulo limite de reflexão total, ou seja, pequenos ângulos de elevação solar. E a porção de radiação não refletida pela superfície é completamente absorvida.

Outro fato já esperado é uma tendência dos valores de albedo serem menores ao meio dia e maiores durante as primeiras e últimas horas do dia. O fato está relacionado aos menores ângulos de elevação solar ao nascer e pôr-do-sol, quando o processo de reflexão da radiação é favorecido, ocorrido principalmente pela deposição de orvalho ou ocorrência de chuva noturna, já no final da tarde a precipitação também pode favorecer o aumento do albedo.

### *Variação do Balanço de ondas curtas ( $S_n$ ) e ondas longas ( $L_n$ )*

Compreender como o  $R_n$  varia durante o ano no manguezal concretiza-se com a visualização do padrão comportamental do  $S_n$  e do  $L_n$ , pois, a partir daí, percebe-se como o fluxo de energia proveniente do Sol é balanceado entre ondas curtas e longas sobre este local e, assim, contabilizar o saldo de energia disponível.

Verificando a distribuição sazonal do  $S_n$  (Figura 7) e do  $L_n$  (Figura 8), pode-se observar que no período seco têm-se (entre 10 e 12h), respectivamente, saldos máximos médios em torno de  $860W.m^2$  e  $-57W.m^2$ . Tais resultados indicam que do total de energia disponível através do  $S_n$ , o manguezal perde em torno de 7% de energia em ondas longas, o que corresponde à contabilização final do  $R_n$  de aproximadamente  $803W.m^2$ , sendo este o saldo final de energia disponível para o manguezal neste período.

Como já esperado, para a estação chuvosa temos uma sazonalidade bem diferente nos balanços de ondas curtas e longas. Observa-se que o  $S_n$  apresenta uma queda (entre 10 e 12h) para menos de  $480W.m^2$ , resultado que evidencia uma diminuição em torno de 44% no saldo de ondas curtas, enquanto que o  $L_n$  apresenta um aumento da energia perdida em ondas longas em torno de  $-38W.m^2$ , sendo que esta perda é em torno de 7,9%, quando se contabiliza o  $R_n$  para este período, o que corresponde a saldos de aproximadamente  $442W.m^2$ .

Observa-se que a variação do  $S_n$  e do  $L_n$  entre a estação seca e chuvosa é bastante evidente, sendo assim, entender seus comportamentos sazonais passa pela compreensão da sazonalidade do  $R_g$  e  $\alpha$  do local. Como estas variáveis já foram averiguadas anteriormente, a partir desse conhecimento, já se tem uma visão parcial para o entendimento do padrão anual de  $R_n$  sobre o manguezal, contudo esse entendimento se torna completo quando as análises individuais dessas variáveis são relacionados para explicar a distribuição do  $S_n$  e  $L_n$  ao longo do ano. De um modo geral, a explicação para a diminuição, da estação seca para a chuvosa, do  $S_n$  observado se dá pela ação conjunta da queda brusca nos fluxos do  $R_g$ , ocorrido pela mudança na cobertura de nuvens, o que afeta drasticamente a transmissividade atmosférica, e pela perda de energia de ondas curtas pela refletância da superfície.

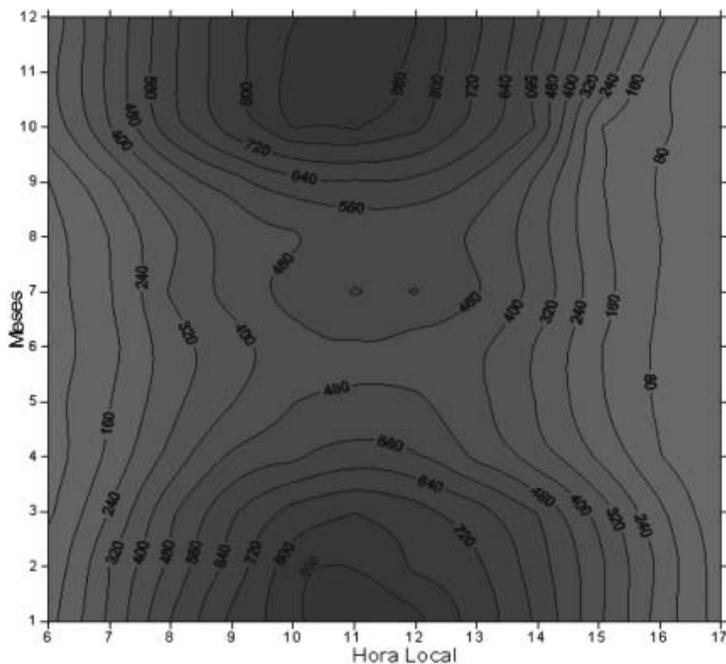


Figura 7 - Variação Sazonal anual do Balanço de ondas curtas ( $S_n$ ) médio horária ( $W.m^{-2}$ ) sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005

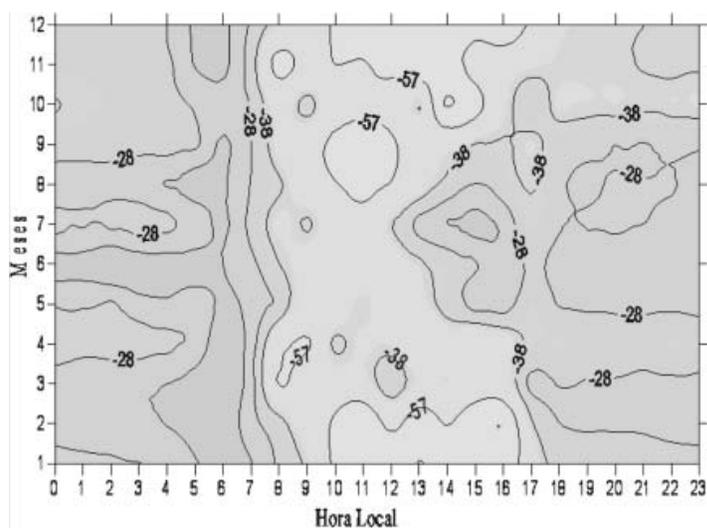


Figura 8 - Variação sazonal anual do Balanço de ondas longas ( $L_n$ ) médio horário ( $W.m^{-2}$ ) na região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005

Por outro lado, a característica sazonal do **Ln** de ser mais negativa durante a estação seca do que chuvosa é decorrente principalmente do menor fornecimento de energia sobre o manguezal neste período. A compreensão para esse comportamento na estação chuvosa, segundo Souza Filho *et al.* (2006), pode ser explicado em razão deste período apresentar temperatura menor, maior cobertura de nuvens e mais umidade, contribuindo assim para tornar o balanço de **Ln** menos negativo. Isso porque o balanço de radiação de onda longa é controlado, basicamente, pelas temperaturas do ar e do solo, pela nebulosidade e pelas concentrações de vapor d'água e dióxido de carbono na atmosfera.

O autor ainda comenta que o vapor de água e o CO<sub>2</sub> são considerados como termorreguladores atmosféricos, em razão da capacidade de absorver radiação de ondas longas e promover o efeito estufa. As nuvens são extremamente eficientes na absorção de ondas longas, atuando no espectro de radiação na faixa de comprimentos de onda referente à janela atmosférica de 8 a 12μm; portanto, sua presença minimiza, consideravelmente, o resfriamento radiativo da superfície. Quanto maior a temperatura da superfície, maior será sua emissão de radiação de onda longa. Por outro lado, com o aumento da temperatura do ar, há um aumento da contra radiação atmosférica, porém a superfície continua emitindo mais radiação de onda longa do que a atmosfera. Então, a maior temperatura da copa no período seco e, conseqüentemente, a maior temperatura do ar, justificam o **Ln** mais negativo encontrado neste período.

### *Estimativa do Rn por meio de equações empíricas*

Devido às relativas dificuldades para se medir alguns fluxos radiativos à superfície, muitos pesquisadores são forçados a usar métodos teóricos ou empíricos no intuito de tentar estimar alguns desses fluxos usando variáveis meteorológicas ou alguns fluxos medidos a superfície, muitas vezes com objetivo de obter o Saldo de Radiação a superfície. Então, executou-se a elaboração de equações obtidas por meio de regressões visando à estimativa do **Rn** horário em função **Rg** horário, variável de fácil obtenção em sítios experimentais.

A regressão é uma técnica estatística usada para explorar a natureza da relação entre duas variáveis aleatórias contínuas, com isso é possível investigar a mudança em uma variável, chamada resposta (**Rn**), correspondente à mudança na outra, conhecida como variável explicativa (**Rg**). O objetivo máximo da análise de regressão é prever ou estimar o valor resposta associado com um valor fixo da variável explicativa (PAGANO; GAUVREAU, 2004).

Para aplicações práticas, o **Rn** pode ser descrito empiricamente pela equação de regressão:  $Rn^* = aRg + b$ . Sendo **a** e **b** (W.m<sup>-2</sup>) constantes determinadas pela regressão linear, onde **a** (coeficiente angular) incorpora tanto o efeito da refletividade da superfície a radiação solar como da diferença entre os valores médios diurnos e noturnos do saldo de radiação de onda longa. Já a constante **b** (coeficiente linear) assume um valor muito próximo do valor médio do saldo de radiação de onda longa noturna (MOURA, 2001). Para cada mês do período aqui estudado, foram usados cerca de no mínimo 3793 pares de dados medidos a cada 5 minutos, garantindo uma robustez estatística dos resultados.

Na Figura 9 encontra-se as regressões lineares entre **Rn** e **Rg** para os meses do período seco e chuvoso no manguezal Alagoano e, por meio destes, foram obtidos as equações empíricas com o intuito de estimar o **Rn\*** em função da radiação de ondas curtas incidente. Assim sendo, verifica-se que para o período seco e chuvoso foram formulados as seguintes equações:

$$\bar{R}n^* = 0,843 Rg - 35,65 \text{ (período seco);}$$

$$\bar{R}n^* = 0,786 Rg - 28,69 \text{ (período chuvoso).}$$

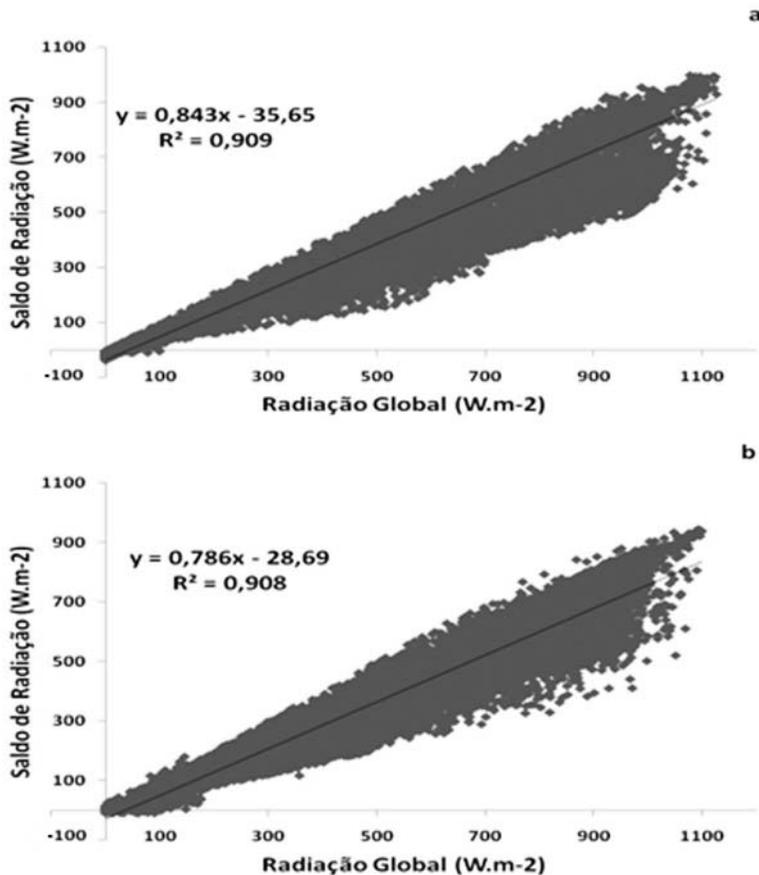


Figura 9 - Regressão linear entre o  $Rn$  e o  $Rg$  para o período seco (a) e chuvoso (b)

Através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do período seco de 0,909 e da época chuvoso de 0,908, evidencia-se que as equações possuem ajustes de caráter satisfatório para estimar o  $Rn$  local. É possível verificar que os coeficientes lineares (b) quando cruzados com os valores médios do saldo de radiação de onda longa noturna (Figura 4), apresentam valores próximos da realidade, o que também comprova que as equações estão bem ajustadas para possibilitar a estimativa do saldo de radiação.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados neste trabalho e das discussões levantadas, referentes à análise da variação sazonal do saldo de radiação no manguezal alagoano, em função de diferentes fatores, chegou-se às seguintes conclusões:

A sazonalidade do saldo de radiação ( $R_n$ ) denotou uma redução de aproximadamente 44% na contabilização média máxima, decorrente, principalmente, da variação sazonal da nebulosidade, afetando assim diretamente na transmitância atmosférica ( $K_t$ ), onde, na estação seca, viu-se a predominância de dias com céu limpo, enquanto que na estação chuvosa houve a prevalência de dias com céu parcialmente nublado ou nublado, resultando em uma diferença sazonal na contabilização do  $R_n$  em torno de  $350\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

O balanço de ondas curtas ( $S_n$ ) apresentou uma diminuição, entre as estações, por volta de 44% na média máxima, o que propicia uma variação sazonal em torno de  $380\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  no  $S_n$ . Tal diferença é basicamente resultante da sazonalidade na radiação solar global ( $R_g$ ), já que o albedo praticamente não varia ao longo do ano no manguezal, onde a  $R_g$  teve uma redução do período seco para o chuvoso de cerca de 30,4% na incidência média máxima, indicando uma variação de mais de  $280\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  nos registros sazonais, provocado pela mudança nos níveis da  $K_t$ .

A variação no balanço de ondas longas ( $L_n$ ), durante o ano, foi de aproximadamente 33,3%, caracterizando uma diferença por volta de  $-19\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Percebeu-se, então, que o período seco perde mais radiação de onda longa do que o chuvoso, possivelmente propiciado, principalmente, pelo aumento da temperatura do dossel na época seca, favorecido pela maior incidência da  $R_g$ , aumento assim as emissões de radiação onda longa pelo manguezal.

Com o intuito de determinar o Saldo de Radiação ( $R_n^*$ ) sobre o manguezal alagoano, geraram-se equações através da técnica de regressão linear entre o  $R_n$  disponível e a  $R_g$ , assim como o  $R_n$  e o  $S_n$ , possibilitando assim estimar o  $R_n^*$ , dentro de uma abordagem horária mensal. As equações indicam se mostrar eficientes para estimar o  $R_n^*$ , já que apresentaram bons valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), todos maiores que 0,8.

## REFERÊNCIAS

- ANGELOCCI, L. R., VILLA NOVA, N. A., COELHO FILHO, M. A. Relações entre o saldo de radiação na copa da árvore e a irradiância solar global em pomar de lima ácida "Tahiti". Fortaleza – CE, 12, 2001. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. *Anais...* v.2, p.817.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Plano de ações e gestão integrada do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba – CELMM**: Resumo executivo. Brasília: ANA, 2006. 124 p.
- ASSIS, S. V. **Material de agrometeorologia**. Disponível em: <<http://ufpel.tche.br/~assis/>>. Acesso em: 20 dezembro 2008.
- FAO, FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED STATES. **The World's mangroves 1980-2005**. Rome: FAO Forestry Paper 153, 2007. 86p.
- GEIGER, R. **Manual de Micrometeorologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980. 556 p.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Ed. AP. Vancouver Canadá. 389p, 1983.

- LEITÃO, M. M. V. B. R. **Balanço de Radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica**: Campina, Campinarana e Mata densa. 1994. 135p. Tese (Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.
- MOURA, R. G. **Estudo das radiações solar e terrestre acima e dentro de uma Floresta Tropical úmida**. 2001. 114p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José dos Campos, 2001.
- MOURA, M. A. L.; QUERINO, C. A. S.; LYRA, R. F. da F.; NASCIMENTO FILHO, M. F. Alguns aspectos da interação da maré e precipitação na variação sazonal da temperatura do solo em um manguezal tropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA 14, 2006, Florianópolis. **Anais...** 1 CD ROM.
- PAGANO, M. L.; GAUVREAU, K. **Princípios de Bioestatística**. São Paulo: Ed. Pioneira Thomson, 2004.
- PENNDORF, R. Luminous reflectance (visual albedo) of natural objects. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v.37, 142-144p, 1956.
- QUERINO, C. A. S. **Avaliação da Radiação Solar em ecossistema de manguezal tropical em Alagoas, Brasil**. Maceió, 2006, 97p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.
- RODRIGUES, H. J. B. **Balanço de radiação, energia e CO2 em manguezal na Amazônia**. 2006. 207p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- SANTO, A. R. S. E. **Caracterização sazonal dos balanços de radiação e energia no Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (Alagoas)**, 2009. 76f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.
- SILVA, P. R. T. **Radiação Solar Global Mensal para o Estado de Alagoas - Mapeamento**. 2007. 93p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas-UFAL.
- SOUZA FILHO, J. D. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C. P.; ROCHA, E. J. P. Variação Sazonal do balanço de radiação em uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.21, n.3b, p. 318-330, 2006.
- TAVARES, P. S. **Observação e análise da radiação solar global e fotossinteticamente ativa na região de Maceió**. Maceió, 2005, 42p. TCC (Graduação em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, 2005.

Recebido em março de 2010

Aceito em setembro de 2010