

RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA INCIDENTE E REFLETIDA ACIMA E ABAIXO DO DOSSEL DE FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA EM CORURIBE, ALAGOAS.

ANTONIO MARCOS DELFINO DE ANDRADE¹, MARCOS ANTONIO LIMA MOURA², AURILENE BARROS DOS SANTOS³, RAYONIL GOMES CARNEIRO¹, ROSIBERTO SALUSTIANO DA SILVA JUNIOR²

¹Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Campina Grande, PB, Brasil

²Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, AL, Brasil

³Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Estadual do Amazonas (INPA/UEA), Manaus, AM, Brasil

marcoslaba@hotmail.com, malm@pq.cnpq.br, leneufal@hotmail.com, rayonil_ono@hotmail.com, rosiberto@icat.ufal.br

Recebido Fevereiro de 2013 - Aceito Junho de 2013

RESUMO

O estudo da radiação solar é importante para entender os diversos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na biosfera, em particular nas florestas. O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução temporal da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) incidente e refletida acima e abaixo do dossel de uma floresta de Mata Atlântica. Para isso, foi realizado um estudo na Reserva Particular do Patrimônio Natural, localizada no município de Coruripe, Alagoas, no período de outubro/2009 a setembro/2010, baseado em observações da PAR (2, 13, 26 m) realizadas numa estação micrometeorológica instalada em uma torre de 24 metros de altura (10° 00' 37''S, 36° 17' 60''W, 160 m alt.). A PAR incidente e refletida, acima (PAR↓_Ext e PAR↑_Ext) e abaixo (PAR↑_Spf) da floresta, seguem a sazonalidade imposta pelo movimento aparente do Sol, o que acarretou em maiores registros médios horários de PAR na estação seca, superiores a 600 e 12 W m⁻², e as menores na estação chuvosa, inferiores a 300 e 8,0 W m⁻², influenciadas pela presença da nebulosidade. Nas primeiras e últimas horas do período diurno, constatarem-se registros de PAR↑_Spf próximos à zero. Já o oposto foi observado próximo às 12 h (novembro e dezembro), com aproximadamente 14 W m⁻². **Palavras-chave:** floresta tropical, radiação solar, sazonalidade, ângulo zenital, PAR.

ABSTRACT: INCIDENT AND REFLECTED PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION ABOVE AND BELOW CANOPY IN THE MATA ATLANTICA FOREST IN CORURIBE, ALAGOAS.

The study of solar radiation is important to understand the several physical, chemical and biological processes that occur in the biosphere, particularly in the forest. The objective of this study has been to evaluate the temporal evolution of incident and reflected Photosynthetic Active Radiation (PAR) above and below the canopy of the Mata Atlantica forest. The study has been conducted in a Private Reserve Natural Heritage, located in the Coruripe city, Alagoas, during the period from October 2009 to September 2010, based on the PAR (2, 13, 26 m) observations obtained at the micrometeorological station, installed on a 24 meters high tower (10° 17' 36''S, 36° 17' 24''W, 160 m asl). According to the results the incident and reflected PAR outside (PAR↓_Ext and PAR↑_Ext) and inside (PAR↑_Spf) forest follow the seasonality imposed by the apparent motion of the Sun. The higher PAR values occur during the dry season, exceeding 600 and 12 W m⁻², and during the wet season these averages was less than 300 and 8.0 W m⁻², influenced by cloudiness. At the beginning and ending of sunlight time PAR↑_Spf values near zero were measured. The opposite measurements of about 14 W m⁻², around 12 h (November and December) were observed.

Keywords: tropical forest, solar radiation, seasonality, zenith angle, PAR.

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é um dos ecossistemas de maior diversidade biológica do mundo. Ela também desempenha função importante no clima local, regional e do planeta por participar ativamente do ciclo do carbono (Prado-Moura, 2006). Esse bioma é representado por vários tipos de vegetação, além de ser caracterizado pelo alto grau de endemismo e de biodiversidade. Contudo, é o ecossistema mais devastado e ameaçado do planeta. Apenas 7,9% da área ocupada originalmente por esse bioma permanecem preservadas (INPE, 2011). Antes cobrindo áreas extensas, as florestas remanescentes foram reduzidas a vários arquipélagos de fragmentos florestais de pequena extensão e bastante separadas entre si (Gascon et al., 2000).

A dinâmica do desmatamento se acentuou nas últimas três décadas, o que resultou em severas alterações nos ecossistemas pela alta fragmentação do habitat e perda de sua biodiversidade (INPE, 2011). Sua fragmentação pode ser entendida como o grau de ruptura de uma unidade da paisagem contínua (Metzger, 2003). Particularmente no estado de Alagoas, o processo de degradação iniciou-se com a retirada indiscriminada do Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata*) e de outros tipos de madeiras de lei. Isso resulta em danos à biodiversidade, o que leva ao aparecimento do efeito de borda. Esse efeito altera os fatores ambientais, devido ao aumento da incidência de luz em locais anteriormente cobertos por vegetação, diminuição da umidade e aumento da temperatura do ar e do solo, aumento da velocidade dos ventos, que estão associados ao tombamento de árvores dentro dos fragmentos, antes protegidos (Louzada et al., 2001).

O estudo da radiação solar é importante para se entender os diversos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na biosfera, em particular em ecossistemas florestais (Moura et al., 2001). A radiação solar é essencial, pois é um dos fatores que determina a distribuição espacial das espécies, dinâmica das florestas, produção de biomassa, dentre outros (Vilani et al., 2007). No ambiente de floresta a radiação solar se destaca, sendo fundamental nos processos de fotossíntese, aquecimento do ar e superfície e evapotranspiração. A interação existente entre a radiação solar e o sistema florestal reveste-se de grande importância para a compreensão dos processos de fisiologia vegetal, produtividade de biomassa e trocas turbulentas de energia e massa entre a floresta e a atmosfera (Moura, 2001). Contudo, a caracterização da luz (energia) nos diversos níveis do dossel das florestas é difícil, devido à sua variabilidade espacial e temporal (Alvalá e Correia, 2000).

A radiação fotossinteticamente ativa PAR (do inglês – *Photosynthetically Active Radiation*) é a fração do espectro da radiação solar global entre os comprimentos de 0,4 a 0,7 μm , que é utilizada no processo de fotossíntese (Finch et al., 2004).

Especificamente no caso de vegetação das florestas, as folhagens normalmente são agrupadas na copa com picos e depressões organizados nas superfícies dos dosséis, o que faz com que grande quantidade de radiação solar incidente penetre no dossel antes de ser refletida (Shuttleworth et al., 1984).

Levantamentos realizados por Pereira et al. (2006) revelam que, no Brasil, os maiores níveis de incidência PAR ocorrem durante a primavera, sobre as regiões Nordeste e Centro-Oeste, e durante o verão, na região Sul e Nordeste. Xiao et al. (2005) citam que florestas tropicais úmidas na Amazônia apresentam sazonalidade na radiação PAR, geralmente com os maiores valores na estação seca e menores na estação úmida. Já Finch et al. (2004), em um ambiente de Savana – Zâmbia, achou maior variabilidade de PAR diário durante a estação quente-úmida e menor variabilidade na estação quente-seca.

Apesar da importância do estudo sobre Mata Atlântica, pouco se conhece dos processos físicos, químicos e biológicos existentes dentro e acima do dossel. Com base no que foi exposto, o principal objetivo deste trabalho foi caracterizar a evolução temporal da radiação fotossinteticamente ativa incidente e refletida acima e dentro de um fragmento remanescente de Mata Atlântica no estado de Alagoas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido no período de outubro/2009 a setembro/2010 em uma área da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) – Lula Lobo I – na fazenda Capiatã A, pertencente à Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A, no município de Coruripe (distante 80 km de Maceió), Alagoas. Detalhes sobre a descrição da área de estudo são apresentados por Menezes et al. (2004) e Machado (2003).

O município de Coruripe está situado na região ambiental do litoral sul do estado de Alagoas (10° 00' 37" S, 36° 17' 60" W, 160 m alt.) (Figura 1). A área de estudo está inserida na região dos Tabuleiros Costeiros, em terrenos do Grupo Barreiras, onde se desenvolve a Floresta Ombrófila Aberta com transição para Floresta Estacional Semidecidual, subsistindo em fragmentos florestais nos tabuleiros, encostas de grande declividade e poucas áreas de várzea (Machado, 2003).

2.2 Climatologia da região

De acordo com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) de Alagoas, o período chuvoso é compreendido entre abril e julho, enquanto o período seco é observado entre outubro e janeiro (SEMARH, 2003). Em: <<http://www.semarh.al.gov.br/tempo-e-clima/boletins-e>

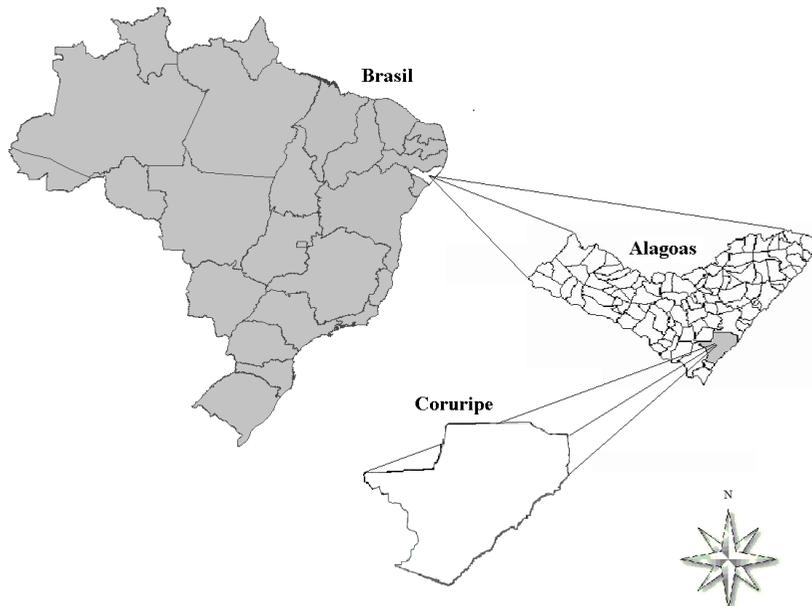


Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo, em destaque, a área do experimento no município de Coruripe, Alagoas.

análises-técnicas/normal-climatológica/litoral>. Acesso em: 26 de março 2013.), sendo os demais meses considerados como períodos de transição. Tenório et al. (2008) relatam, que segundo a classificação de Köppen, o clima local é caracterizado como tropical quente úmido com estação seca de primavera-verão e chuvosa de outono-inverno. A precipitação média dos totais anuais é de 1.634,2 mm (Mascarenhas et al., 2005).

Baseado na normal climatológica, da temperatura do ar e umidade relativa do ar (UR), do período de 1974 a 2004, a média anual da temperatura do ar é de 25,1°C, sendo fevereiro o mês mais quente (Santos e Frizzone, 2006). Os valores da UR são elevados, com médias anuais de aproximadamente 76,5%. O vento apresenta velocidade média anual de 2,0 m s⁻¹, com variações entre 1,7 m s⁻¹ (março) e 2,5 m s⁻¹ (janeiro), sendo as direções predominantes de nordeste (outubro a março) e sudeste (abril a setembro) (Machado, 2003). A irradiação solar global média mensal varia de 14,8 MJ m⁻² em Julho a 24 MJ m⁻² em Novembro (Souza et al., 2005).

2.3 Parâmetros mensurados

Durante o período de estudo realizaram-se medidas da radiação fotossinteticamente ativa incidente e refletida, acima e abaixo do dossel, sendo 3 (três) sensores PAR modelo LITE (Kipp & Zone, Delft), com as faces voltadas para cima captando a PAR incidente, com acurácia de $\pm 10\%$, instalados nos níveis de 2 m (superfície), 13 m (sob a copa) e 26 m (acima da floresta) de altura, e 2 (dois) modelo LI190SB Quantum Sensor (Campbell Scientific Inc., Utah), com as faces voltadas para baixo captando a PAR refletida, com precisão de $\pm 5\%$, nos

níveis de 2 (superfície) e 26 (acima da copa) metros. Salienta-se que esses sensores eram novos, recém-calibrados em fábrica, onde as unidades eram expressas em W m⁻². E para a medição precipitação pluviométrica utilizou-se 1 pluviômetro (TE 525, Texas Instruments, USA), instalado no topo da torre. Todos os sensores foram conectados a dois *dataloggers* (CR10X e 21X, Campbell Scientific), programados para efetuar medidas a cada 20 segundos e registrar médias a cada 10 minutos, as quais foram armazenadas em módulos de armazenamento.

2.4 Tratamento dos dados

A partir da obtenção dos dados meteorológicos medidos nessa área, foram realizadas avaliações comparativas das médias horárias e diárias, dentro dos valores compreendidos entre 06 e 17 h (hora local), para que fossem montados os gráficos com as devidas relações entre diferentes parâmetros.

Os dados de PAR incidente acima da floresta (PAR↓_Ext), sob a copa das árvores (PAR↓_Copa) e à superfície (PAR↓_Spf) e de PAR refletida acima da floresta (PAR↑_Ext) e à superfície (PAR↑_Spf), foram consistidos através da visualização das curvas diárias, onde foram estabelecidos critérios de filtragem, sendo eliminados valores negativos e fisicamente inconsistentes, antes do nascer e após o pôr do sol.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A diminuição na PAR foi ocasionada pela presença de nebulosidade e, conseqüente precipitação, que atuam como elemento espalhador e atenuante da radiação solar, ou seja, o

regime pluviométrico exerceu grande influência na incidência de radiação solar à superfície. Para a região de estudo, percebeu-se que os maiores totais de chuva se concentraram nos meses de maio e julho (Figura 2), período em que foi observado redução na incidência média mensal do PAR (ver Figura 3). Notou-se que na estação seca, especificamente no período diurno, os índices pluviométricos ficaram abaixo de 3 mm h^{-1} . É nessa época que a atmosfera se encontra com menor nebulosidade, ou seja, pouca cobertura de nuvens, como também onde se registra as maiores incidências de radiação solar. De acordo com Echer et al. (2001), a radiação solar em condição de céu claro é pouco atenuada, quando comparada com condições de céu encoberto (parcialmente ou totalmente).

A variabilidade temporal da incidência de radiação fotossinteticamente ativa acima da floresta ($\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$), sob a copa ($\text{PAR}\downarrow_{\text{Copa}}$) e à superfície ($\text{PAR}\downarrow_{\text{Spf}}$) mostrou diferenças no padrão da PAR ao penetrar na vegetação (Figura 3). No interior da vegetação os níveis médios anuais de PAR incidentes foram menores, aproximadamente 7% da $\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$ atingiu a superfície da floresta, existindo pouca luz solar (direta e/ou difusa) dentro do dossel. De acordo com Pezzopane et al. (2000), as maiores frações de radiação difusa ocorrem porque o processo de interação entre a radiação solar e as folhas é seletivo, ocorrendo alta absorção na faixa espectral da radiação fotossinteticamente ativa e baixa absorção na faixa espectral do infravermelho próximo. Outra explicação é que o dossel protege o interior florestal da forte e intensa radiação solar, além de outros fatores meteorológicos tempestades, fortes ventos e grandes variações térmicas. De acordo com Machado et al. (1985), ao ser interceptada pelo dossel, a radiação solar pode ser absorvida, transmitida e refletida em proporções variáveis,

dependendo do ângulo de incidência dos raios solares e das características estruturais das plantas. Tais características estão diretamente relacionadas com a disposição espacial das folhas, ângulo de inserção foliar, índice de área foliar e propriedades ópticas da vegetação.

Examinando medidas médias de PAR incidente acima da floresta ($\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$), ao longo das estações climáticas, observou-se que entre as estações seca ($370,8 \text{ W m}^{-2}$) e chuvosa ($287,1 \text{ W m}^{-2}$), ocorreu redução em torno de 23% de $\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$ (Figura 3A).

As médias mensais variaram de $217,3 \text{ W m}^{-2}$ (junho) a $427,3 \text{ W m}^{-2}$ (novembro) no período de estudo. No final de maio a meados de agosto se percebeu os menores registros de $\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$, com médias mensais inferiores a 320 W m^{-2} ao longo desses meses. Nos meses de novembro e fevereiro ocorreram as maiores $\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$, porque esses meses são caracterizados climaticamente como período seco da região, e assim, não se espera que a influência da cobertura de nuvens e precipitação seja menor do que no período chuvoso, além de ser o período em que o Sol se encontra próximo do zênite local. As maiores médias foram encontradas na estação seca, variando entre $316,6 \text{ W m}^{-2}$ a $427,3 \text{ W m}^{-2}$. Valores estes maiores do que o encontrado por Senna et al. (2005), durante a estação seca, em uma floresta tropical úmida (Santarém – PA), onde variaram entre $137,6 \text{ W m}^{-2}$ e $182,8 \text{ W m}^{-2}$.

Verificou-se que o ciclo médio horário mensal de $\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$ durante o período estudado, apresentou homogeneidade nas primeiras horas da manhã e no final do período vespertino. Destaca-se que a tendência de variação média anual de $\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$ tendeu a acompanhar a radiação solar global incidente. Com base nisso notou-se dois picos médios horários máximos

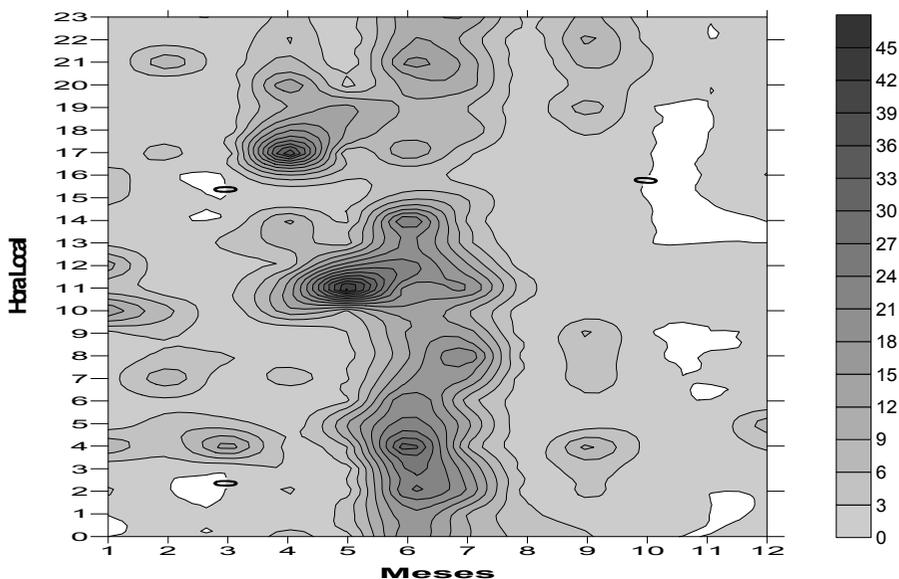


Figura 2 – Variação temporal do total horário acumulado de precipitação (mm h^{-1}) na floresta no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.

ao redor do meio dia (10 às 13 h), no período de setembro até o início de março, com médias superiores a 500 W m^{-2} . Enquanto que no final do dia, após às 15 h, essas médias não ultrapassaram 300 W m^{-2} . Os maiores picos ocorreram devido à incidência da radiação solar para essa região ser mais perpendicular nesse período, o que provocou a maior disponibilidade de energia (período em que o Sol encontra-se no Hemisfério Sul). Em função do decréscimo (aumento) durante o período matutino (vespertino) do caminho óptico, observou-se aumento (diminuição) mais acentuado da PAR acima da floresta.

Estudos realizados por Moura (2001) mostraram que o padrão médio diurno da PAR incidente no topo da torre

(60 m de altura) em uma floresta tropical úmida durante a estação chuvosa (26 de janeiro a 11 de março de 1999), foi de aproximadamente $197,8 \text{ W m}^{-2}$. Cássia-Silva (2002) realizou medidas de PAR incidente, a 21 m de altura, para diferentes coberturas de céu (dias claros, dias nublados e parcialmente nublados, período total), no pantanal do Mato Grosso do Sul. A autora reportou pequena diferença, em torno de $5,5 \text{ W m}^{-2}$, entre as médias diurnas de PAR incidente para dois períodos distintos: i) setembro de 1999 e ii) entre setembro a novembro de 2000. Os resultados encontrados para o ano de 1999 foram os seguintes: $241,8 \text{ W m}^{-2}$ para os dias claros; $107,3 \text{ W m}^{-2}$ para dias nublados e parcialmente nublados e $210,3 \text{ W m}^{-2}$ para

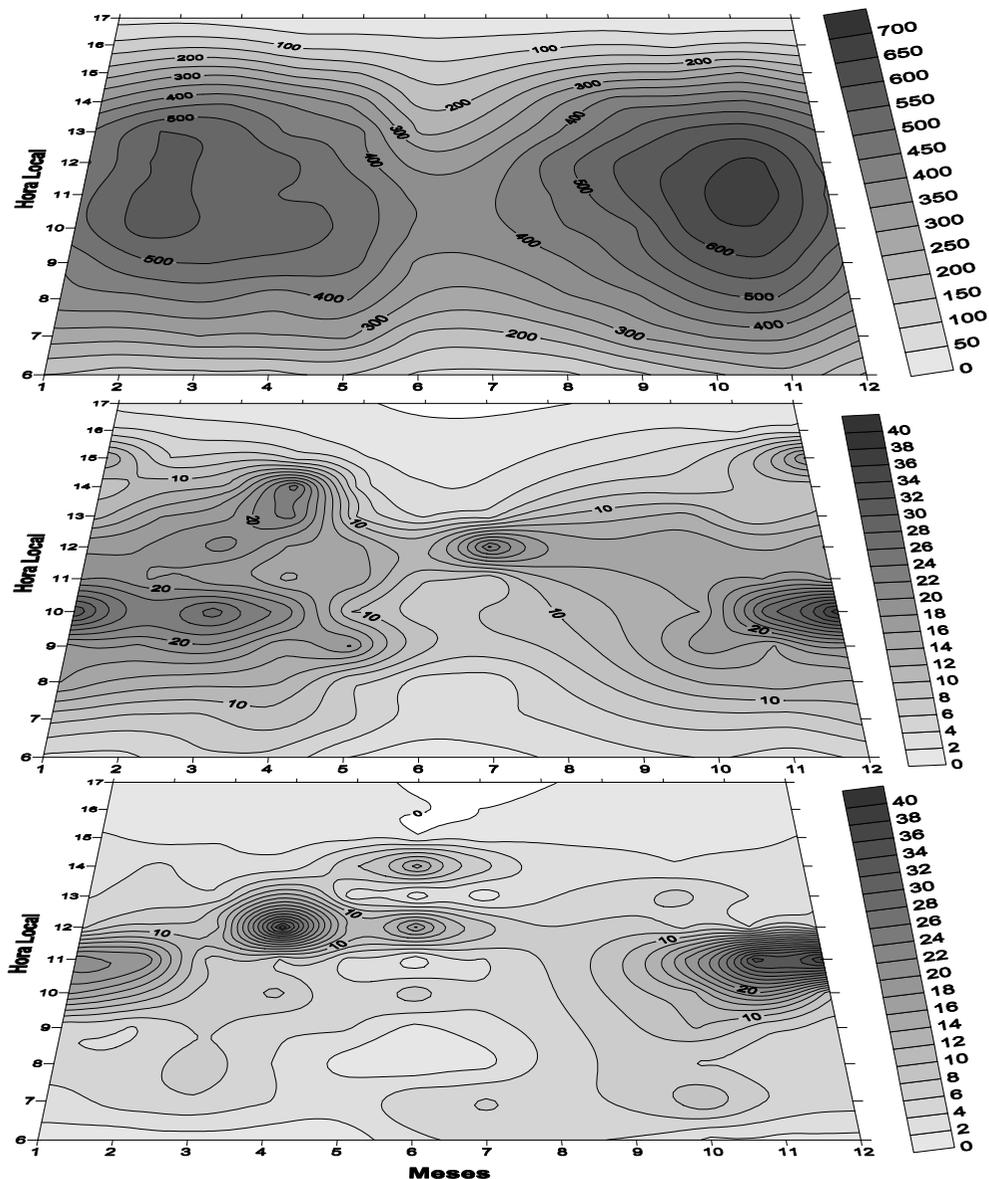


Figura 3 – Variação temporal da Radiação Fotosinteticamente Ativa incidente (W m^{-2}) em três: (a) acima da floresta ($\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$); (b) sob a copa das árvores ($\text{PAR}\downarrow_{\text{Copa}}$) e (c) à superfície ($\text{PAR}\downarrow_{\text{Spf}}$), no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.

o período total. Já para o ano de 2000 ela foi de $247,3 \text{ W m}^{-2}$ para os dias claros; $93,2 \text{ W m}^{-2}$ dias nublados e parcialmente nublados e $216,5 \text{ W m}^{-2}$ para o período total.

O padrão da $\text{PAR}\downarrow_{\text{Copa}}$ apresentou picos médios máximos de 25 W m^{-2} (estação seca) e de 14 W m^{-2} (fase de transição da estação seca-chuvosa) (Figura 3B), conforme discutido anteriormente. Foi observado também menores valores de $\text{PAR}\downarrow_{\text{Copa}}$ na estação chuvosa. Marcado pela forte presença de nuvens, comum nesse período, proporcionando redução na quantidade que chega sobre a copa das árvores, o que dificulta a penetração da radiação solar no interior da floresta.

Em novembro e dezembro os máximos médios foram de 30 W m^{-2} , tanto abaixo da copa, quanto à superfície. Isso representou redução de 93% em relação ao $\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$. Já no início da estação chuvosa, notaram-se picos máximos próximos ao meio-dia, com média de até 16 W m^{-2} , ou seja, do $\text{PAR}\downarrow_{\text{Ext}}$ apenas 3% atingiram a superfície da floresta. De acordo com Spolador et al. (2006), esses picos máximos ocorrem porque no ciclo diurno, com a mudança da inclinação solar a incidência de PAR, pode atingir pequenas clareiras na estrutura superior do dossel, o que permite maior penetração em determinados pontos e em diferentes horários em função da estrutura do dossel (heterogeneidade da vegetação, clareiras, crescimento vegetativo, entre outros).

Verificou-se ainda, na estação chuvosa, os maiores registros no período da manhã, próximo às 11 h, e à tarde após às 14 h as menores incidências. Nesses horários foram notados médias máximas superiores a 20 W m^{-2} e após às 15 h esses valores foram abaixo de $4,0 \text{ W m}^{-2}$. Percebeu-se também, após o meio-dia, especificamente em abril, um acréscimo, ultrapassando 20 W m^{-2} , o que não condiz com o normalmente esperado nessa época, onde os máximos médios não ultrapassaram 10 W m^{-2} . Isto ocorreu devido às pequenas clareiras na estrutura no dossel que permitem a penetração da radiação solar até o sensor.

Como era de se esperar a $\text{PAR}\downarrow_{\text{Spf}}$ sofreu forte atenuação ao longo do período estudado, apenas 7% da PAR_{Ext} atingiu o solo da floresta. Estes baixos valores se devem basicamente a pouca transmissão de radiação solar. Então, entre novembro e dezembro, próximo às 12 h, apresentaram valores similares (30 W m^{-2}), nos quais foram registradas suas maiores médias (Figura 3C), enquanto que na estação chuvosa foram observadas as menores máximas (12 W m^{-2}). Essa diferença entre as citadas épocas alcançou até aproximadamente 60%. Ressalta-se que no mesmo horário, para o mês de abril, obtiveram-se registros próximos ao encontrado na estação seca.

Percebeu-se forte redução do $\text{PAR}\downarrow_{\text{Spf}}$ no início da manhã e ao entardecer, onde as médias não ultrapassaram 6 W m^{-2} , isso se explica, segundo Souza et al. (2002), que ao

penetrar na floresta, a radiação é atenuada de forma não-linear, sendo afetada pela densidade de folhas, de modo que os galhos superiores recebem maior quantidade de luz.

Do amanhecer até às 09 h o comportamento do $\text{PAR}\downarrow_{\text{Spf}}$ se mostrou bastante difuso, principalmente na estação chuvosa, com registros oscilando entre $0,6 \text{ W m}^{-2}$ (às 06 h), $4,8 \text{ W m}^{-2}$ (às 07 h), $1,7 \text{ W m}^{-2}$ (às 08 h) e $3,4 \text{ W m}^{-2}$ (às 09 h). Notou-se que no período vespertino foram encontrados baixos valores e após às 15 h esses registros não ultrapassaram $3,0 \text{ W m}^{-2}$, possivelmente associado as baixas incidências de radiação solar no interior da floresta. Foi observado também, que, ao entardecer, especificamente entre junho e julho, ocorreram menores registros, com os mínimos se aproximando à zero, isso estaria relacionado à ausência da incidência de radiação solar sobre o sensor, o que fez com que os valores obtidos pelos instrumentos fossem nulos, provocados, talvez, pelo sombreamento das folhas e/ou galhos sobre o mesmo.

Em geral, a variação média mensal da PAR incidente no interior ($\text{PAR}\downarrow_{\text{Copa}}$ e $\text{PAR}\downarrow_{\text{Spf}}$) mostrou padrão similar entre os horários de máximas e mínimas, além de acompanhar a sazonalidade. Observaram-se, ao longo do ano, picos distintos de incidência de PAR no interior da floresta (Figuras 3B e 3C).

Pode-se entender a redução da radiação solar que é transmitida pelo dossel da floresta à medida que se aumenta a densidade e/ou a cobertura vegetal desse dossel. Essa cobertura vegetal do dossel pode ser expressa pelo Índice de Área Foliar (IAF). De acordo com Marques-Filho e Dallarosa (2001), obter o perfil vertical da atenuação da radiação solar no interior da cobertura vegetal permite a definição da distribuição de energia disponível nos diferentes estratos da vegetação e, por consequência, dos perfis verticais da fonte de calor e de vapor d'água na cobertura. Além disso, expressa a disponibilidade de superfície assimiladora de CO_2 , da radiação fotossinteticamente ativa e de perdas de água (transpiração) da população de plantas, tendo relação com a capacidade fotossintética da população vegetal por estar relacionada à área de assimilação de CO_2 e de interceptação de radiação, ou pela redução da própria taxa fotossintética, quando altos índices de área foliar indicam perda de água e consequente deficiência hídrica (Müller et al., 2005). Segundo Sanches et al. (2008), o IAF é um parâmetro dinâmico que pode variar de dia para dia, ano para ano de acordo com a dinâmica da floresta.

Analisando as curvas de Radiação Fotossinteticamente Ativa refletida acima da floresta ($\text{PAR}\uparrow_{\text{Ext}}$), notou-se que houve tendência sazonal característica, similar ao ocorrido com a PAR incidente, ou seja, com registros maiores ou menores em determinada estação (seca ou chuvosa) e intermediários nos períodos de transição (Figura 4A). Durante a estação seca obteve-se médias superiores a 12 W m^{-2} . Leitão et al. (2002) explicou que a reflexão nos dosséis nessa situação pode

estar associada a redução do teor de umidade nas folhas, que contribui para diminuir a absorção de radiação pela superfície foliar. Já na estação chuvosa ocorreu redução no $PAR\uparrow_{Ext}$, inferior a $8,0 \text{ W m}^{-2}$, o que pode ser explicado pelo alto índice de umidade nas folhas, o que as torna mais verdes e aumenta não só o poder de absorção de radiação solar, como diminui a reflexão da mesma.

Nas primeiras e últimas horas do período diurno, ao longo do ano, constataram-se baixos registros de reflexão. Já o oposto foi observado nos horários próximos às 12 h (novembro e dezembro), com valores próximos a 14 W m^{-2} . Moura (2001) observou na floresta amazônica, que a média diurna do fluxo de PAR refletida foi de $6,1 \pm 2,9 \text{ W m}^{-2}$, enquanto o máximo foi de $10,2 \pm 3,9 \text{ W m}^{-2}$.

A $PAR\uparrow_{Spf}$ apresentou evolução semelhante à radiação solar incidente no interior da floresta. Vale ressaltar, que no ambiente de floresta, a reflexão da radiação solar depende da superfície vegetada, como discutido anteriormente. A superfície

com tonalidade verde mais escura apresenta menor reflexão e, conseqüentemente, a superfície mais clara, no caso das folhas secas, refletem mais radiação. Destaca-se que a região de estudo apresenta uma superfície totalmente coberta por folhas secas, o que contribui para o aumento da reflexão.

No período matutino nos meses de outubro a dezembro, e próximo ao meio-dia nos meses de março e maio, notaram-se maiores médias de $PAR\uparrow_{Spf}$, superiores a $1,0 \text{ W m}^{-2}$ (Figura 4B). Foi constatado anteriormente maior penetração da radiação solar incidente nesses mesmos horários. Diante desse fato e em conjunto com as características ópticas (coloração mais clara) das folhas secas, isso foi suficiente para proporcionar o aumento da radiação refletida. Entretanto, as médias encontradas nos meses de junho a agosto foram de aproximadamente $0,04 \pm 0,01 \text{ W m}^{-2}$, proporcionados pelas baixas incidências de radiação solar no interior do dossel, como também a coloração mais escura das folhas secas, comum nessa época do ano.

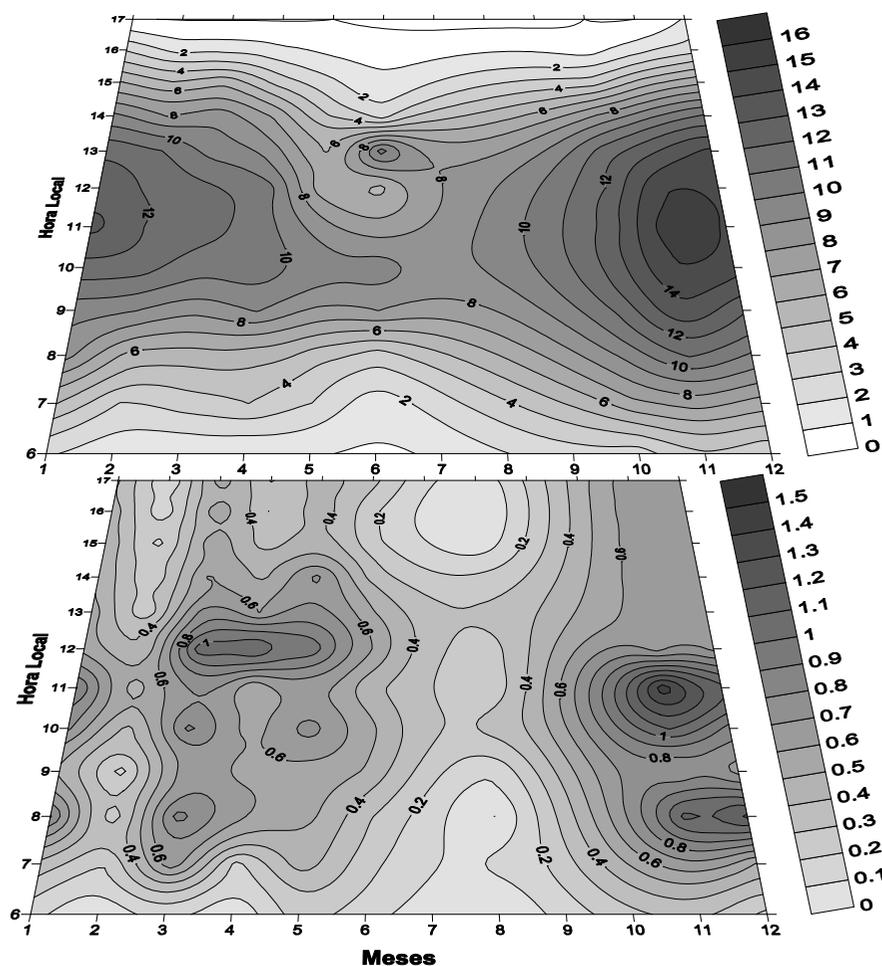


Figura 4 – Variação temporal da Radiação Fotossinteticamente Ativa refletida (W m^{-2}) em dois níveis: (a) acima da floresta ($PAR\uparrow_{Ext}$) e (b) à superfície ($PAR\uparrow_{Spf}$), no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.

4. CONCLUSÕES

Com base no que foi apresentado neste trabalho e das discussões realizadas, referentes às análises dos padrões da radiação fotossinteticamente ativa incidente e refletida em uma floresta de Mata Atlântica, pode-se concluir o seguinte:

- Entre as estações, seca e chuvosa, as médias mensais de PAR↓_Ext sofre redução de aproximadamente 23%, causada pela maior atenuação que as nuvens exercem sobre a mesma, além de ser dependente do ângulo zenital, sendo as maiores médias mensais no período de menor ângulo de incidência, ou seja, quanto maior for este ângulo, menor é intensidade de radiação solar à superfície.
- Verificou-se também que, no interior da floresta, as médias mensais de PAR incidente, PAR↓_Copa e PAR↓_Spf, apresentam forte redução em seus registros. Na estação seca essa redução foi de aproximadamente 93% e na estação chuvosa de 97%, para ambas. Evidenciando a influência da maior absorção pelos galhos e folhas que apresentam maior teor de umidade, que tende deixar a vegetação com tonalidade mais escura e devido a um maior ângulo zenital. Isto comprova que fatores como a posição do sol, condições atmosféricas e estrutura da vegetação afetam o regime de radiação solar no interior de uma floresta.
- As PARs refletidas, tanto acima como no interior da floresta, se mostram maiores na estação seca, como era de se esperar. Enquanto que na estação chuvosa as médias mensais ficaram abaixo de 8 W m^{-2} . Isso mostra que existe relação inversa entre a refletância e a umidade na vegetação. Quanto às menores curvas da PAR↓_Spf, em relação à estação seca, atribuí-se às mudanças de coloração por parte das folhas secas, tornando o solo mais claro devido à baixa umidade, e ocorrendo o oposto na estação chuvosa.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos à Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento para a realização deste estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVALÁ, R. C. S.; CORREIA, F. W. S. Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa e a irradiância de onda curta em área de policultivo na Amazônia. **Anais: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Rio de Janeiro – RJ. 2000.

- CÁSSIA-SILVA, R. **Estudo do balanço de radiação no pantanal sul matogrossense**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos. 213p, 2002.
- ECHER, E.; SOUSA M. P.; SCHUCH, N. J. The beer's law applied to the earth's atmosphere. **Revista Brasileira de Física**, São Paulo, v.23, n.3, p.276-283, 2001.
- FINCH, D. A.; BAILEY, W. G.; McARTHUR, L. J. B.; NASITWITWI, M. Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 122, n. 3-4, p. 229–238, 2004.
- GASCON, C.; WILLIAMSON, B.; FONSECA, G. A. B. Receding forest edges and vanishing reserves. **Science**. v. 288, n. 5470, p. 1356-1358, 2000.
- INPE – Instituto Nacional Pesquisas Espaciais. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2008-2010**. Relatório parcial. São Paulo. 122p, 2011.
- LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, G. M. Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 6, n. 2, p. 256-261, 2002.
- LOUZADA, J. N. C.; SOUZA, O. F. F.; VAN DEN BERG, E. Ecologia e Manejo de fragmentos florestais. Lavras: Universitária/UFLA. Universidade Federal de Lavras. 2001.
- MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; CAMARGO, M. B. P.; FAHL, J. I. Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 44, n. 1, p. 229-238, 1985.
- MACHADO, M. A. B. L. **Florística e fitossociologia do estrato arbóreo de fragmentos de mata atlântica da usina Coruripe – Estado de Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. 100p, 2003.
- MARQUES-FILHO, A. O.; DELAROSA, R. G. Atenuação de radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta – Reserva Jarú – Rondônia, Brasil. **Acta Amazônica**. v. 31, n. 1, p. 39-59, 2001.
- MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA-JÚNIOR, L. C. (org.) **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea diagnóstico do município de Coruripe Estado de Alagoas**. Recife: CPRM/PRODEEM. 12p, 2005.
- MENEZES, A. F.; CAVALCANTE, A. T.; AUTO, P. C. C. A **Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado de Alagoas**. Caderno da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (nº 29): série Estados e Regiões da RBMA. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2004.
- METZGER, J. P. **Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas**. In: CULLEN JUNIOR, L., PÁDUA, C. V.; RUDRAN, R. Métodos de estudos em biologia da

- conservação e manejo da vida silvestre. Curitiba: Ed. UFPR/Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, p. 539-553. 667p, 2003.
- MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; BENNICASA, M.; TENÓRIO, R. S.; NASCIMENTO-FILHO, M. F. Comparação da radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 16, n. 1, p. 91-99, 2001.
- MOURA, R. G. **Estudos das radiações solar e terrestre acima e dentro de uma floresta tropical úmida**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos. 146p, 2001.
- MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; RADIN, B.; FRANÇA, S.; SILVA, M. I. G. Estimativa do Índice de Área Foliar do Milho a partir da Soma de Graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro da energia solar**. 1ª edição. São José dos Campos: Projeto SWERA-INPE. 60p, 2006.
- PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; COSTA, J. M. N.; HIGUCHI, P. Balanço de radiação no interior de uma floresta estacional semidecidual secundária no domínio da Mata Atlântica. **Anais: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Rio de Janeiro – RJ. 2000.
- PRADO-MOURA, F. B. **A Mata Atlântica em Alagoas**. Série conversando sobre ciências em Alagoas. EDUFAL. Maceió. 88p, 2006.
- SANCHES, L.; ANDRADE, N. L. R.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L. Índice de área foliar em floresta de transição amazônica cerrado em diferentes métodos de estimativa. **Ciência e Natura**, v. 30, n. 1, p. 57-69, 2008.
- SANTOS, M. A. L.; FRIZZONE, J. A. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) colhida no mês de janeiro: um modelo de análise de decisão para o litoral sul do Estado de Alagoas. **Irriga**, v. 11, n. 3, p. 339-355, 2006.
- SEMARH – Secretaria Estadual de Meio ambiente e Recursos Hídricos. **Boletins e análises técnicas**. 2003. Disponível em <http://www.semarh.al.gov.br/tempo-e-clima/boletins-e-analises-tecnicas/normal-climatologica/litoral>. Acessado em março de 2013.
- SENNA, M. C. A.; COSTA, M. H.; SHIMABUKURO, Y. E. Fraction of photosynthetically active radiation absorbed by Amazon tropical forest: A comparison of field measurements, modeling, and remote sensing. **Journal of Geophysical Research**. v. 110, n. G01008, p. 1-8, 2005.
- SHUTTLEWORTH, W. J.; GASH, J. H.; LLOYD, C. R.; MOORE, C. J.; ROBERTS, J.; MARQUES-FILHO, A.O.; FISCH, G.; SILVA-FILHO, V. P.; RIBEIRO, M. N. G.; MOLION, L. C. B.; SÁ, L. D. A.; NOBRE, C. A.; CABRAL, O. M. R.; PATEL, S. R.; MORAES, J. C. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v.97, p.541-564, 1984.
- SOUZA, M. J. H.; RAMOS, M. M.; COSTA, L. C.; LHAMAS, A. J. M.; SIQUIRA, D. L. Déficit hídrico e radiação interceptada e refletida pela Limeira Ácida Tahiti. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002 Foz do Iguaçu - PR. **Anais... 1CD ROM**.
- SOUZA, J. L.; NICÁCIO, R. M.; MOURA, M. A. L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. **Renewable Energy**. v. 30, n. 8, p. 1203 - 1220, 2005.
- SPOLADOR, J.; SANCHES, L.; COSTA, M. H. Radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta de transição cerrado-amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 301-307, 2006.
- TENÓRIO, F. J. C.; CALHEIROS, C. B. M.; MADALENA, J. A. S.; CUNHA, J. L. X. L.; CUSTÓDIO, J. A. S. Economia de água em irrigação por aspersão baseado na definição da velocidade de infiltração. **Revista Caatinga**. v. 21, n. 5, p. 185-188, 2008.
- VILANI, M. T.; SANCHES, L.; COSTA, M. H.; GAIO, D. C.; NOGUEIRA, J. S.; Estimativa da absorvância da radiação fotossinteticamente ativa de uma vegetação de transição floresta Amazônica-cerrado por três métodos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 15, n. 3, p. 289-298, 2007.
- XIAO, X.; ZHANG, Q.; SALESKA, S.; HUTYRA, L.; DE CAMARGO, P.; STEVEN WOFSEY, S.; FROLKING, S.; BOLES, S.; KELLER, M.; MOORE III, B. Satellite-based modeling of gross primary production in a seasonally moist tropical evergreen forest. **Remote Sensing of Environment**, v. 94, n. 1, p. 105-122. 2005.