



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (PAR) ACIMA
E ABAIXO DO DOSSEL DE FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DE
ALAGOAS.**

Antonio Marcos Delfino de Andrade

Maceió (AL), Brasil.

Março de 2011

Antonio Marcos Delfino de Andrade

**RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (PAR) ACIMA
E ABAIXO DO DOSSEL DE FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DE
ALAGOAS.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Atmosféricas - ICAT da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Meteorologia – Área de concentração em processos de superfície Terrestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Lima Moura

Maceió (AL), Brasil.

Março de 2011

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

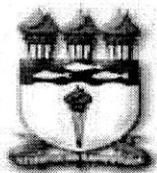
A553r Andrade, Antonio Marcos Delfino de.
Radiação solar global e fotossinteticamente ativa (PAR) acima e abaixo do dossel de floresta de mata atlântica no estado de Alagoas / Antonio Marcos Delfino de Andrade. – 2011.
72 f. : grafs. tabs.

Orientador: Marcos Antônio de Lima Moura.
Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2011.

Bibliografia: f. 66-72.

1. Radiação solar – Mata Atlântica. 2. Floresta tropical – Alagoas. 3. Ângulo Zenital. 4. Fotossíntese. I. Título.

CDU: 551.521.1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

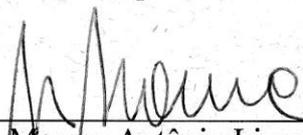
N.º de ordem: MET-UFAL-MS-087.

“RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (PAR) ACIMA E ABAIXO DO DOSSEL DE FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DE ALAGOAS.”

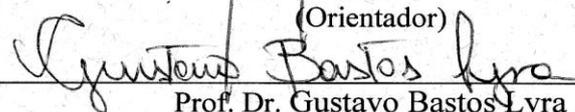
Antônio Marcos Delfino de Andrade

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

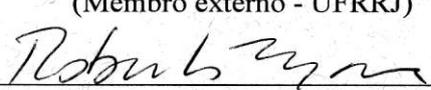
Aprovado pela Banca Examinadora composta por:



Prof. Dr. Marcos Antônio Lima Moura
(Orientador)



Prof. Dr. Gustavo Bastos Lyra
(Membro externo - UFRRJ)



Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra
(Membro interno)

Março /2011

DEDICATÓRIA

A Deus, por todas as graças concedidas.

A toda minha família, em especial minhas tias independente da distância, que sempre me apoiaram para a conclusão deste trabalho.

A Aurilene Barros que sempre deu apoio e incentivo ao longo do curso do mestrado e também para o aperfeiçoamento da apresentação deste trabalho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus fonte de toda a sapiência e por ter me ajudado até os dias de hoje, a minha família pelo apoio e incentivo para o término do mestrado.

Ao meu orientador, professor e amigo Dr. Marcos Antonio Lima Moura, pela dedicação, paciência, pelas suas correções assíduas e por ter acreditado em mim para a realização deste projeto.

Ao professor Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra por aceitar o convite de participação da banca e pelos ensinamentos no decorrer do curso, pelas discussões e sugestões para o aperfeiçoamento deste trabalho, e também aos demais professores desta instituição. E ao professor Dr. Gustavo Bastos Lyra por também ter aceitado ao convite de participar da banca e pelas suas sugestões para ao aprimoramento deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio ao desenvolvimento e financiamento deste projeto.

A Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A pelo apoio, por disponibilizado a área de estudo e a nossa permanência em suas dependências sempre que foi preciso.

Aos amigos pela ajuda concedida em algumas etapas deste trabalho e pela manutenção deste projeto em Coruripe, tais como: Rayonil, José Eduardo (Biro-Biro), Ruany, Paulo José, Ricardo Alexandre e Juliete.

E aos amigos que fiz ao longo da graduação pela convivência, amizade e discussões ao longo do curso especialmente: Allan, Aurilene (minha companheira), Eliane, Iata, Thalyta, Nyron, Anderlan, Ronabson, Alexandre Soares (Aliba), André Deodato, Antonio Marcos (Marquinhos), Anthony Porfírio, Bruno Miranda e aos professores Ricardo Amorim e Hélio Soares, e também aos meus colegas de turma do mestrado: Allan Rodrigues, Ana Carla, André Gonçalo, Clébson do Carmo, Fabiano Prestelo, Maicon Weber e Walsineide Cristiane.

A todos, muito obrigado!

PENSAMENTOS

"O homem tem que estabelecer um final para a guerra, senão, a guerra estabelecerá um final para a humanidade."

(John F. Kennedy)

"Para alcançar conhecimento, adicione coisas todo dia. Para alcançar sabedoria, elimine coisas todo dia."

(Lao-Tsé)

"Para adquirir conhecimento, é preciso estudar; mas para adquirir sabedoria, é preciso observar."

(Marilyn vos Savant)

"O tempo muda tudo, é o que as pessoas dizem. Mas, não é verdade. Fazer coisas é o que muda algo. Não fazer nada, deixa as coisas do jeito que eram."

(Dr. House)

SUMÁRIO

	Páginas
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Mata Atlântica	17
2.1.1 Mata Atlântica Alagoana.....	20
2.2 Radiação Solar	22
2.3 Radiação Solar em dosséis vegetais	24
2.4 Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR)	25
2.5 Índice de Área Foliar (IAF)	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Descrição da área de estudo	29
3.2 Climatologia da região	30
3.3 Medidas Micrometeorológicas	31
3.4 Aquisição e tratamento dos dados	33
3.5 Descrição da rotina das observações	33
3.6 Parâmetros calculados	34
3.6.1 Transmitância, Refletância e Fração PAR.....	35
3.6.2 Classificação da Nebulosidade.....	36
3.6.3 Saldo da Radiação Fotossinteticamente Ativa.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Radiação Solar no topo da atmosfera (R_o)	37
4.2 Radiação Solar Global (R_g), Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PAR) e Refletida ($PAR\uparrow$)	38
4.2.1 Perfil vertical da Radiação Solar Global Externa (R_{g_Ext}), sob a Copa (R_{g_Copa}) e à Superfície (R_{g_Spf}).....	38
4.2.2 Perfil vertical da Radiação Fotossinteticamente Ativa Externa (PAR_{Ext}), sob a copa (PAR_{Copa}) e à superfície (PAR_{Spf}).....	44
4.2.3 Perfil vertical da Radiação Fotossinteticamente Ativa refletida na parte Externa ($PAR\uparrow_{Ext}$) e à Superfície ($PAR\uparrow_{Spf}$).....	50
4.3 Saldo de Radiação Fotossinteticamente Ativa Externo e próximo à superfície	52

4.4	Albedo da Radiação Fotossinteticamente Ativa (APAR)	55
4.5	Estimativas da Transmitância, Refletância e Fração PAR (f_{PAR})	57
4.6	Fluxos em Função do Ângulo Zênital (Z)	59
4.6.1	Dias de menor Ângulo Zênital (Z) ao meio-dia.....	59
4.6.2	Dias de maior Ângulo Zênital (Z) ao meio-dia.....	61
5	CONCLUSÕES	63
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Área de desmatamento do bioma Mata Atlântica. Fonte: INPE (2009).....	20
Figura 2.	Localização geográfica da área de estudo, em destaque, o município de Coruripe, Alagoas.....	30
Figura 3.	<i>Layout</i> da estação meteorológica automática, onde: DD – Direção do vento; VV – Velocidade do vento; Rg – Radiação solar global; Al – Albedo; PAR – Radiação Fotossinteticamente Ativa; PAR↑ – PAR refletido; Rn – Saldo de Radiação; T/UR – Temperatura e Umidade do Ar; WS – <i>Wetness Grid</i> ; TS – Temperatura do Solo; FCS – Fluxo de Calor no Solo; PP – Precipitação.....	32
Figura 4.	Variação temporal da Radiação Solar no topo da atmosfera (R_o) ($W m^{-2}$) no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.....	38
Figura 5.	Variação temporal da Radiação Solar Global em três diferentes níveis: acima do dossel (Rg_Ext) (a); sob a copa das árvores (Rg_Copa) (b) e à superfície (Rg_Spf) (c) no período de outubro/2009 a setembro/2010.....	41
Figura 6.	Variação temporal do Índice de Transmissão Atmosférica (Kt) no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.....	43
Figura 7.	Variação temporal do total horário acumulado de precipitação (mm) na floresta no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.....	44
Figura 8.	Variação temporal da Radiação Fotossinteticamente Ativa em três diferentes níveis: acima da floresta (PAR_Ext) (a); na copa das árvores (PAR_Copa) (b) e à superfície (PAR_Spf) (c) no período de outubro/2009 a setembro/2010.....	49
Figura 9.	Variação temporal da Radiação Fotossinteticamente Ativa Refletida na parte Externa ($PAR\uparrow_Ext$) (a) e no chão da floresta ($PAR\uparrow_Spf$) (b) no período de outubro/2009 a setembro/2010.....	51
Figura 10.	Ciclo do saldo da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) na parte externa (a) e na superfície (b) da floresta nos meses de novembro/2009 e maio/2010.....	53
Figura 11.	Comportamento da Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente e Refletida na parte externa da floresta nos dias de céu claro 17/11 (a) e nublado 03/06 (b).....	55
Figura 12.	Variação temporal do albedo da Radiação Fotossinteticamente Ativa Externa ($APAR_Ext$) (%) no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.....	57

- Figura 13.** Padrão da Radiação Solar Global Externa (R_{g_Ext}) e à superfície (R_{g_Spf}), e da Radiação Fotossinteticamente Ativa Externa (PAR_{Ext}) e à superfície (PAR_{Spf}) em função do Ângulo Zenital (Z), (a) e (b) dia 10/03, (c) e (d) dia 23/10..... 61
- Figura 14.** Padrão da Radiação Solar Global Externa (R_{g_Ext}) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa Externa (PAR_{Ext}) (a), da Radiação Solar Global à superfície (R_{g_Spf}) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa à superfície (PAR_{Spf}) (b) ambas em função do Ângulo Zenital (Z), para o dia 17/06/2010..... 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Áreas naturais que são consideradas como Mata Atlântica.....	18
Tabela 2.	Média mensal da transmitância (%) entre as alturas de 23m e 2m ($t_{\text{topo-2}}$), transmitância entre as alturas de 23m e 13m ($t_{\text{topo-13}}$); de refletância (r) na altura de 23m; e da Fração PAR de 23m ($f_{\text{PAR_topo}}$) e de 2m ($f_{\text{PAR_Spf}}$).....	58

LISTA DE ABREVIACOES, SIGLAS E SÍMBOLOS

APAR	- Albedo da Radiação Fotossinteticamente Ativa
CO₂	- Dióxido de Carbono
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
FAPESP	- Fundação de Amparo  Pesquisa do Estado de São Paulo
FPAR	- Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa
HL	- Hora Local
HN	- Hemisfério Norte
HS	- Hemisfério Sul
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAF	- ndice de rea Foliar
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Kt	- ndice de Transmitância Atmosférica
NASA	- Agência Espacial Norte-Americana (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>)
PAR	- Radiação Fotossinteticamente Ativa
PAR\uparrow	- Radiação Fotossinteticamente Ativa Refletida
Rg	- Radiação Solar Global
Ro	- Radiação no Topo da Atmosfera
RPPN	- Reserva Particular de Proteção Natural
UNESCO	- Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
d_n	- Dia Juliano
ha	- Hectare (unidade de área)
m s⁻¹	- metros por segundo (unidade da velocidade de acordo com o S.I.)
W m⁻²	- <i>Watts</i> por metro quadrado (unidade de potência de acordo com o S.I.)
μm	- micro metro (unidade do comprimento de onda)
δ	- ângulo zenital solar
φ	- Declinação solar

ANDRADE, A. M. D. **Radiação Solar Global e Fotossinteticamente Ativa (PAR) acima e abaixo do dossel de floresta de Mata Atlântica no Estado de Alagoas.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió, 72p. 2011. Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Lima Moura.

RESUMO

A Mata Atlântica é um dos mais ricos ecossistemas em termos de diversidade biológica do mundo. Ela é representada por vários tipos de vegetações, além de ser caracterizada pelo alto grau de endemismo. Atualmente, esta floresta, se encontra bastante fragmentada, restando apenas 7,5%. Apesar disso, ainda mantém níveis extremamente altos de biodiversidade e endemismo. Contudo, este bioma, provavelmente, é o mais devastado e seriamente ameaçado do planeta. Apesar da importância do estudo sobre Mata Atlântica, pouco se conhece dos processos físicos, químicos e biológicos existentes acima e abaixo do dossel. O estudo da radiação solar é importante para entender os diversos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na biosfera, em particular em floresta. Ainda no ambiente de floresta a radiação solar se destaca entre outros fatores, sendo fundamental nos processos de fotossíntese, aquecimento do ar e da superfície e evapotranspiração. O processo de fotossíntese ocorre apenas em parte do espectro da Radiação Solar, compreendido entre os comprimentos de onda eletromagnética de 0,4 a 0,7 μm e denominada de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR). Com base no exposto, o objetivo é caracterizar a evolução temporal da Radiação Solar Global (R_g) e Fotossinteticamente Ativa acima e abaixo de um fragmento remanescente de Mata Atlântica no Estado de Alagoas. O estudo foi realizado, no período de outubro/2009 a setembro/2010, com a obtenção dos dados (R_g , PAR, PAR refletida e precipitação) provenientes de uma torre micrometeorológica ($10^{\circ}17'36''\text{S}$, $36^{\circ}17'24''\text{W}$) de 26 metros instalada numa área de floresta de Mata Atlântica. A área de estudo está localizada na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) – Lula Lobo I – inserida na fazenda Capiatã A, pertencente à Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A, no município de Coruripe, Alagoas. Verificou-se que a radiação solar incidente (Radiação Solar Global Externa (R_{g_Ext}) e Radiação Fotossinteticamente Ativa na parte Externa (PAR_{Ext})) seguem a sazonalidade imposta pelo movimento aparente do Sol. Na época seca observou-se os maiores registros de R_{g_Ext} e PAR_{Ext} , com respectivas médias superiores a 900 W m^{-2} e 600 W m^{-2} . Enquanto que, na época chuvosa foram registradas as menores médias, com R_{g_Ext} abaixo de 500 W m^{-2} e PAR_{Ext} inferior a 300 W m^{-2} . Entretanto, uma pequena fração da radiação solar atinge o solo da floresta, ou seja, menos de 8% incide sobre a superfície. A radiação solar que incide no chão da floresta tem grande dependência do ângulo zenital (Z) e da estrutura do dossel. Notou-se também grande influência do Z na R_{g_Ext} e PAR_{Ext} , onde se verificou que quanto maior Z, menores são os valores destas componentes, em razão do maior caminho óptico que os raios solares tem que percorrer para atingir à superfície.

Palavras-chave: Floresta Tropical, Fotossíntese, Ângulo zenital.

ANDRADE, A. M. D. **Global Solar and Photosynthetically Active Radiation (PAR) above and below the canopy of Atlantic Forest in Alagoas State.** Dissertation (Master in Meteorology). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió, 72p. 2011. Adviser: Prof. Dr. Marcos Antonio Lima Moura.

ABSTRACT

The Atlantic Forest is a richest ecosystems in terms of biodiversity in the world. It's represented by various types of vegetation, and is characterized by a high degree of endemism. Currently, this forest is highly fragmented, with only 7.5%. So, it still maintains extremely high levels of biodiversity and endemism. However, this biome is probably the most devastated and seriously threatened the planet. Still the importance of the study on Atlantic Forest, little known of the physical, chemical and biological processes occurring below and above the canopy. The study of solar radiation is important to understand the various physical, chemical and biological processes that occur in the biosphere, in the forest particularly. Still in the forest solar radiation stands out among other factors, is fundamental in the photosynthesis processes, heating of air and surface and evapotranspiration. The photosynthesis process occur only in part of the spectrum of solar radiation, between the electromagnetic wavelengths from 0.4 to 0.7 μm called Photosynthetically Active Radiation (PAR). Based on the foregoing, the objective is to characterize the temporal evolution of global radiation (R_g) and PAR above and below a fragment of Atlantic forest in Alagoas State. The study was conducted during the period October/2009 to September/2010, obtaining data (R_g , PAR, reflected PAR and precipitation) coming from a micrometeorological tower ($10^{\circ}17'36''\text{S}$, $36^{\circ}17'24''\text{W}$) 26 meters installed in a Atlantic Forest. The study area is located in a Private Natural Heritage Reserve (PNHR) – Lula Lobo I - inserted in Capiatã A farm, owned by the Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A, in the Coruripe, Alagoas. It was found that the solar radiation incident (Global Solar Radiation Outside (R_{g_Ext}) and Photosynthetically Active Radiation Outside (PAR_{Ext})) follow the seasonality imposed by the apparent motion of the Sun. In the dry season there was the greatest records and R_{g_Ext} PAR_{Ext} , with exceeding means 900 W m^{-2} and 600 W m^{-2} , respectively. While, in the wet season were recorded the lowest averages, with R_{g_Ext} below 500 W m^{-2} and PAR_{Ext} less than 300 W m^{-2} . However, a small fraction of solar radiation reaches the forest floor, in other words, less than 8% relates to the surface. The solar radiation incident on the forest floor has a large dependence of the zenith angle (Z) and the canopy structure. It was also noted the great influence of Z on R_{g_Ext} and PAR_{Ext} , where it was found that the higher Z , the lower the values of these components, due to the higher optical path that the sun's rays must traverse to reach the surface.

Keys-words: Tropical Forest, Photosynthesis, Zenith angle

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é um dos mais ricos ecossistemas em termos de diversidade biológica do mundo. Ela também desempenha papel 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 vegetações, além de ser caracterizado pelo alto grau de endemismo. Atualmente, se encontra bastante fragmentada. Apesar disso, ainda mantém níveis altos de biodiversidade e endemismo. Contudo, este bioma, é o mais devastado e mais seriamente ameaçado do planeta. Prado-Moura (2006) relata que atualmente restam apenas 7,6% de toda cobertura original, o que corresponde a cerca de 100 mil km².

A dinâmica da destruição 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, 2009). 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. Atualmente, a Mata Atlântica se encontra bastante fragmentada, devido à ocupação urbana e agrícola, principalmente ao cultivo de cana-de-açúcar. Isso resulta em perda da biodiversidade o que leva ao aparecimento do efeito de borda. Esse efeito altera os fatores ambientais, devido o 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.

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) 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).

A atenuação da radiação solar no sistema florestal depende das características dos elementos e estruturas da vegetação, como por exemplo, Área Foliar, que frequentemente é representada pelo Índice de Área Foliar (IAF). O IAF é definido como a razão entre a área foliar de uma população de plantas e a área de solo por ela ocupada (Sanches et al., 2008). Estudos mostram que o IAF tem relação inversa com a quantidade de radiação solar que incide no solo da floresta. Wang et al. (2005) relatam que o IAF é uma importante variável biofísica da vegetação, sendo usado em vários modelos de produção primária através de escalas e modelos globais de clima, hidrologia, biogeoquímica e ecologia.

Apesar da grande 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 é caracterizar a evolução temporal da Radiação Solar Global e Fotossinteticamente Ativa (PAR) acima e dentro de um fragmento remanescente de Mata Atlântica no Estado de Alagoas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mata Atlântica

A floresta Tropical Atlântica do Brasil (Mata Atlântica) é o segundo ecossistema mais ameaçado do mundo, atrás apenas das quase extintas florestas da ilha de Madagascar, na costa Leste da África. Recentemente foi considerada a principal prioridade para a conservação de biodiversidade em todo o continente americano. Heinisch et al. (2007) mencionam que, este complexo de Ecorregiões da Mata Atlântica situado no Brasil, possui apenas 7,4% dos seus 1.713.535 km² originais de cobertura florestal. A Mata Atlântica se estende desde as latitudes tropicais dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, na costa Nordeste do Brasil, até as latitudes subtropicais, com clima estacional do Estado do Rio Grande do Sul. Estende-se do Oceano Atlântico para o interior, em direção Oeste, passando pelas montanhas costeiras do Brasil até a bacia do Rio Paraná, no Leste do Paraguai e na Província de Misiones, na Argentina (Ab'Sáber, 2003; MMA, 2003). Prado-Moura (2006) comenta que a partir dos critérios botânicos e fisionômicos, cruzados com dados geológicos, geográficos e, considerando ainda questões relativas à conservação ambiental, chegou-se a uma definição ampla de Mata Atlântica, que englobava diferentes tipos florestais. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) aprovou em 1992, conceito de Domínio Mata Atlântica a área originalmente ocupada pelas seguintes formações florestais (Tabela 1), publicada no Mapa da Vegetação Brasileira do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 1993. Esse conceito foi incorporado à legislação brasileira através do Decreto Federal n^o 750, fevereiro de 1993.

TABELA 1. Áreas naturais que são consideradas como Mata Atlântica.

Floresta Ombrófila Densa	Vegetação alta e densa, com a vegetação dos estratos inferiores em um ambiente sombrio e úmido dependente da vegetação do estrato superior. Apresenta um grande número de lianas (cipós), epífitas e palmeiras.	
Floresta Ombrófila Mista	Clima ameno e solo rico e profundo. O estrato superior é constituído por pinheiro (<i>Araucaria Lustifolia</i>), sob o qual surge outro estrato arbóreo.	
Floresta Ombrófila Aberta	Floresta de transição entre a ombrófila densa e estacional. Áreas com maior variação de temperatura e mais dias secos durante o ano.	
Floresta Estacional Semidecidual	Vegetações condicionadas por duas estações climáticas no ano: uma bastante chuvosa; outra seca (ou com frio intenso, causando seca fisiológica).	
Formações Pioneiras (vegetação condicionada primariamente por características do solo)	Manguezais	Localizados ao longo dos estuários, apresentam uma comunidade vegetal bem adaptada, sujeita à influência das águas salobras.
	Restingas	Vegetação que ocorre sobre solo arenoso, em formação geológica de mesmo nome, ou sobre outras áreas arenosas contíguas, ao longo das áreas costeiras.
	Áreas alagadas	Várzeas, brejos, planícies fluviais, lagoas, lagunas. Terrenos instáveis ocupados predominantemente por vegetação hidrófila.
Refúgios	Brejos de altitude	Manchas de vegetação florestal circundadas pela caatinga, situadas no Agreste e no Sertão nordestino, em altitudes superiores a 500 m.
Encraves e zonas de tensão ecológica	Encraves de cerrados, campos e campos de altitude compreendidos no interior de áreas de floresta.	

A Mata Atlântica tem como característica fundamental a biodiversidade. Isso é resultado de sua extensão e sazonalidade. Dentre as espécies que ocupam a região, metade delas é endêmica. Por suas condições de umidade e temperatura são os ecossistemas terrestres que dispõem da maior diversidade de seres vivos. A Mata Atlântica tem a segunda maior biodiversidade no Brasil depois da floresta Amazônica (Ledru et al., 2005). Estas três características – 93% da área originalmente ocupada já terem sido devastadas; a riqueza de espécies; e o alto grau de endemismos – caracteriza a Mata Atlântica como um *hotspot* (Miers et al., 2000). *Hotspot* é toda área prioritária para conservação, isto é, de alta biodiversidade e ameaçada no mais alto grau. O Brasil é o líder entre os países detentores de megadiversidade e a Mata Atlântica é um dos cinco *hotspots* prioritários de biodiversidade mundial.

Localizada em 17 Estados brasileiros, a Mata Atlântica apresenta formação acidentada e um excepcional conjunto de sistemas costeiros, planícies, vertentes abruptas e desfiladeiros florestados, que abrigam orquídeas, bromélias, papagaios, macacos, sagüis, entre outros. A distinção da Mata Atlântica fez com que a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) a reconhecesse como Reserva da Biosfera. Essa é uma forma de proteger o patrimônio biológico que ela apresenta por meio de mecanismos que garantam sua preservação, manutenção e recuperação. Mais de 80% da população brasileira vive em seu domínio (Menezes et al., 2004). É ela que regula o fluxo dos mananciais hídricos, assegura a fertilidade do solo, controla o clima e protege as escarpas e encostas das serras. Além disso, os diversos rios que nascem no seu interior abastecem cidades e metrópoles brasileiras, beneficiando mais de 100 milhões de pessoas.

Prado-Moura (2006) relatou que a área total do Domínio Mata Atlântica engloba uma extensa faixa latitudinal sobre áreas de solos com fertilidade e estruturas variáveis. Além disso, podem-se encontrar variações climáticas bastante pronunciadas ao longo de sua área. Enquanto no Nordeste as temperaturas do ar variam em torno de 24°C, nas regiões Sul e Sudeste podem chegar a 6°C. Em virtude dessas diferenças, a Mata Atlântica apresenta-se como um conjunto diversificado de ecossistemas florestais, os quais têm o fator comum mais relevante à umidade, condicionada, principalmente, pela influencia de massas de ar oriundas do Oceano Atlântico.

O levantamento do “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica” (INPE, 2009) mostra que a Mata Atlântica está distribuída ao longo da costa atlântica do país, atingindo áreas da Argentina e do Paraguai nas regiões sul e sudeste. O referido Atlas mostrou ainda que o desflorestamento no período de 2005-2008 totalizou 102 938 ha e os Estados avaliados mantêm a média anual de 34.121 ha de desflorestamento/ano (Figura 1), bem próximo da média anual identificada no período de 2000-2005, que foi de 34.965 ha de desflorestamento/ano. Deste total, 59 ocorrências são áreas acima de 100 ha, que totalizaram 11.276 ha, e cerca de 76% foram desflorestamentos menores que 10 ha. Também foi divulgado que os Estados mais críticos são: Minas Gerais, Santa Catarina e Bahia, que perderam, nos últimos três anos, 32.728 ha, 25.953 ha e 24.148 ha, respectivamente. O desflorestamento foram na ordem de 9.978 ha no Estado do Paraná, 3.117 ha no Rio Grande do Sul, 2.455 ha em São Paulo, 2.215 ha no Mato Grosso do Sul, 1.039 ha no Rio de Janeiro, 733 ha em Goiás e 573 ha no Espírito Santo.

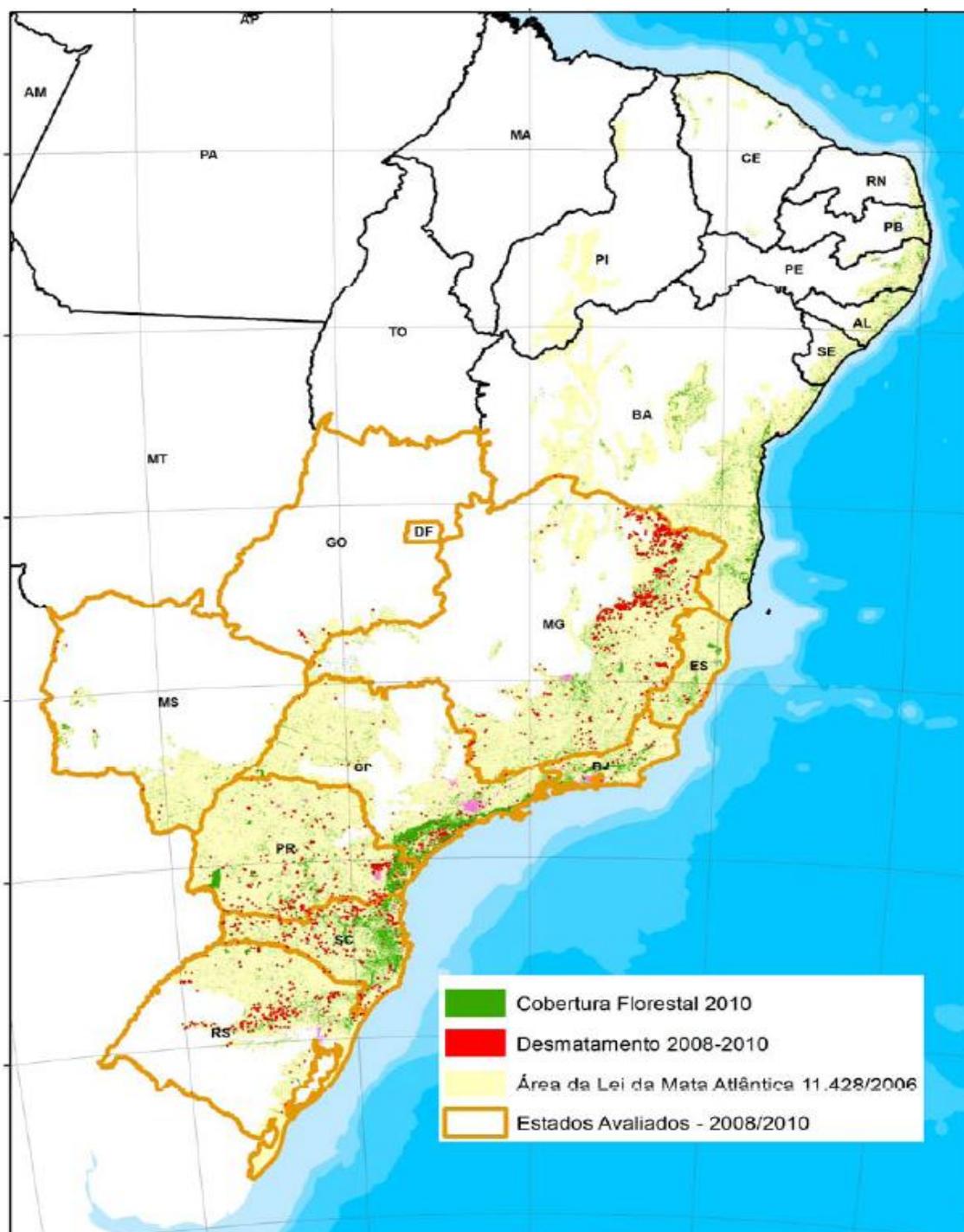


Figura 1. Área de desmatamento do bioma Mata Atlântica. Fonte: INPE (2009)

2.1.1 Mata Atlântica Alagoana

Menezes et al. (2004) citam que nos últimos 500 anos de colonização do Brasil a Mata Atlântica em Alagoas passou por uma série de ciclos econômicos de exploração de seus ecossistemas, o que resultou na devastação do bioma. Sua área original abrangia toda região

costeira e penetrava bastante para o interior, chegando, provavelmente, a municípios hoje inseridos no Agreste, tais como Igaci e Palmeiras dos Índios (Prado-Moura, 2006). Segundo Machado (2003), ela apresentava do Nordeste ao Sudeste alagoano, três paisagens. A primeira, ao Nordeste, cobria as colinas da superfície dissecada do Rio Manguaba, sendo drenada por rios alagoanos como o Manguaba, Tatuamunha, Camaragibe e Santo Antonio Grande. A segunda paisagem da mata cobria os vales do Mundaú e do Paraíba do Meio, e se estendia pelos tabuleiros e ondulações serranas da depressão periférica e superfície dissecadas daqueles cursos d'água, ocupando altitudes entre 230 a 550 m, e alcançando pontos bem acima disto, como a Serra do Cavaleiro (849 m) e Guariba (882 m). A terceira paisagem se estendia pelos municípios de Coruripe e atual Teotônio Vilela, ficando bem caracterizada na área da Colônia de Pindorama, com a chamada Mata do pescoço, conhecida no início da colonização pelas árvores de melhor qualidade. No Estado de Alagoas são 61 municípios que apresentam vegetação de Mata Atlântica, sendo que estas áreas sofrem constantes agressões relacionadas a fatores como: falta de condições para a manutenção das Unidades de Conservação já existentes; deficiência operacional dos órgãos governamentais, tanto na esfera Federal, quanto na Estadual, sem considerar que no âmbito dos municípios esta operacionalidade inexistente; falta compromisso com a preservação da natureza por parte da grande maioria dos empresários do setor agropecuário, entre outros. Além disso, do atual quadro de fragmentação, pouco se conhece sobre as espécies da mata alagoas devido ao escasso número de estudos realizados. O desconhecimento dificulta a definição de áreas prioritárias para a conservação.

Estima-se que nos primórdios da nossa colonização a área com cobertura vegetal típica de Mata Atlântica atingisse algo em torno de 83 % do território alagoano, cerca de 23 400 km², mas segundo INPE (2009), se sabe que atualmente os remanescentes florestais e ecossistemas associados da Mata Atlântica no Estado de Alagoas, ano base 2005, não ultrapasse de 10,37%.

De acordo com Prado-Moura (2006), em Alagoas a classificação fisionômico-ecológica, as florestas são do tipo: Ombrófila densa, Ombrófila aberta e estacional semidecidual. Existe uma vasta área, dentro do Domínio Mata Atlântica, coberta por formações pioneiras, tais como: manguezais, alagados e restingas. Assim como em outros Estados brasileiros a Mata Atlântica é heterogênea. As matas de planícies são diferentes das matas de tabuleiros, tanto em fisionomia quanto em composição de espécies. Isso mostra a necessidade de se preservar os distintos tipos de matas existentes, sob pena de se perder espécies de ocorrência exclusiva em outro habitat. Atualmente, o que resta da mata alagoana é encontrado principalmente sobre

morros e encostas. Isso ocorre devido ao difícil acesso, e à dificuldade para a ocupação agrícola. Existem também alguns fragmentos de mata situados em planícies, várzeas ou tabuleiros. Como consequência, muitas espécies que poderiam ocorrer exclusivamente ou predominantemente nestes habitats podem ter desaparecido, antes mesmos de terem sido registradas.

2.2 Radiação Solar

Kolling (2001) define radiação solar como a quantidade de energia que chega à superfície horizontal terrestre proveniente do sol, sendo também, o principal processo de transferência de energia na atmosfera é radiação eletromagnética. A radiação eletromagnética viaja em forma de onda, e todas as ondas eletromagnéticas viajam à mesma velocidade, a velocidade da luz. Esta é $2,99793 \pm 1 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ no vácuo e quase a mesma velocidade no ar. A luz visível, raios gama, raios X, luz ultravioleta, radiação infravermelha, microondas, sinais de televisão, e ondas de rádio constituem o espectro eletromagnético (Liou, 2002).

A radiação proveniente do sol tem a maior parte de sua energia contida em comprimentos de onda entre 0,1 e 4,0 μm , correspondendo às bandas do ultravioleta, do visível e do infravermelho próximo (Brutsaert, 1982). Com o máximo de intensidade na região do visível, em aproximadamente 0,5 μm , correspondente à cor amarela (Hoyt e Schatten, 1997).

Do total emitido pelo Sol, a radiação visível ($0,4 < \lambda < 0,7\mu\text{m}$) representa 43%, o infravermelho próximo ($\lambda > 0,7\mu\text{m}$) responde por 49%, a radiação ultravioleta ($\lambda < 0,4\mu\text{m}$) por 7%, e menos de 1% é emitido como raios X, raios gama ou ondas de rádio (Lutgens e Tarbuck, 1995). Ao atravessar a atmosfera, a composição da radiação solar muda consideravelmente. A fração da UV é quase totalmente absorvida pelo ozônio. A fração do infravermelho também sofre absorção significativa pelos constituintes atmosféricos, principalmente pelo vapor d'água e dióxido de carbono, enquanto a fração da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), que compreende a faixa do visível, é a que menos sofre influência, sendo menos absorvida pela atmosfera. Logo, é de se esperar que a composição da radiação solar que incide sobre determinada superfície varie tanto ao longo do dia como ao longo do ano.

A radiação solar incidente no topo da atmosfera terrestre varia basicamente com a latitude, a declinação solar, ângulo horário e a excentricidade da órbita terrestre, fatores que,

por sua vez, dependem dos movimentos de rotação, que fazem com que um local receba os raios solares com inclinação diferente ao longo do dia, e dos movimentos de translação ao redor do Sol, onde a Terra está sempre recebendo radiação.

A Terra realiza órbitas elípticas em torno do Sol, estando o Sol situado no foco da elipse. A excentricidade da órbita da Terra é definida pela razão entre o máximo desvio a partir de uma órbita circular e o próprio raio médio, assumindo um valor atual de 0,0167 (Peixoto e Oort, 1992). A radiação solar que incide no topo da atmosfera é o principal fator que define o clima. Determinando-a, analisando-a e comparando-a com a radiação solar global (R_g) em superfície se consegue caracterizar a qualidade da atmosfera com relação a sua turbidez, além de servir como suporte para vários métodos empíricos de estimativa da R_g na superfície (Querino, 2006).

A interação da atmosfera com a radiação solar só pode ser entendida se for considerado a sua composição química. A atmosfera é um meio extremamente complexo, através do qual a energia eletromagnética, proveniente do sol, atravessa até atingir à superfície da Terra. O ar atmosférico é constituído por um grupo de gases com concentrações aproximadamente constantes, e por outro grupo de elementos com concentrações variáveis. Contêm também, várias partículas sólidas e líquidas como aerossóis, gotas d'água e cristais de gelo, os quais são variáveis, em quantidade, no tempo e no espaço.

Quando atravessa a atmosfera, a radiação solar é modificada pelo espalhamento, absorção, reflexão e difusão pelos diferentes tipos de moléculas e partículas presentes na atmosfera tais como o vapor d'água, poeira, e outras partículas de aerossóis, resultando em modificações na quantidade, na qualidade e na direção dos raios solares que atingem a superfície terrestre (Inácio, 2009); portanto, a radiação solar global que alcança a superfície é constituída pela radiação solar difusa e direta (Correia, 2001). Ela constitui uma variável climática muito importante, por ser a principal fonte de energia do planeta e porque sua distribuição, não uniforme, influencia praticamente todos os elementos do clima. Por esta razão torna-se necessário saber de que maneira o balanço de energia, que ocorre próximo à superfície, disponibiliza a energia de natureza radiativa necessária aos processos físicos que ocorrem em superfícies continentais e oceânicas (Moura, 2001). Dentre os processos biofísicos determinantes do clima podemos destacar o coeficiente de reflexão da radiação solar global (albedo), devido sua influencia no balanço de energia.

A radiação solar difusa é a radiação que chega à superfície terrestre, através do espalhamento da radiação por gases e partículas suspensas na atmosfera. De acordo com Pereira et al. (2002) esse processo é mais facilmente percebido em dias de céu nublado e em

dias com alto teor de poeira, quando a radiação solar tem mais dificuldade de atingir diretamente a superfície, além de sofrer variações com o ângulo zenital do sol e sua estimativa é bastante complexa. Apesar disso costuma-se considerar que, para dias de céu claro, esta contribua com cerca de 15% do total de radiação solar que atinge à superfície e é medida por um piranômetro com anel de sombreamento (Pereira et al. 2002).

A radiação solar direta é a componente da R_g proveniente diretamente do Sol e que não sofreu mudança alguma de direção, além da provocada pela refração atmosférica (Santos e Polydoro, 2002). No ambiente florestal, a penetração da radiação na copa das plantas depende da arquitetura da planta, do ângulo de inclinação das folhas, da idade e história da planta (Rosenberg et al., 1983). 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 (Souza et al., 2002).

O albedo é a razão entre a radiação refletida e a radiação incidente. Sua medida pode ser feita através de aparelhos chamados albedômetros, que medem a radiação global incidente e a radiação refletida pela superfície. O albedo é uma medida adimensional que varia de acordo com as características superficiais (cobertura do solo e sua umidade). Leitão (1994), afirma que para uma superfície vegetada o albedo varia com o ângulo de elevação do sol, tipo de vegetação, condições de umidade do ar e da superfície, umidade e tipo de solo, além da quantidade e tipo de nuvens. Moura et al. (1999) relata que em áreas de floresta o albedo tem forte dependência da geometria das copas e da nebulosidade.

2.3 Radiação Solar em dosséis vegetais

A interação existente entre a radiação solar e o sistema florestal é 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). O estudo da interação da radiação solar com uma superfície vegetada, assim como em seu interior, ainda é um campo de estudo relativamente novo e complexo (Moura et al., 2000). O entendimento dos fenômenos físicos e fisiológicos que ocorrem em uma área vegetada tem como ponto de partida a caracterização da cobertura vegetal de floresta, bem como de sua estrutura e distribuição de seus elementos vegetais como galhos e folhas (Marques-Filho, 1997).

A caracterização da luz nos diversos níveis do dossel das florestas pode ser difícil, devido à variabilidade espacial e temporal (Alvalá e Correia, 2000). No ambiente de floresta a

radiação solar se destaca, sendo fundamental nos processos de fotossíntese, aquecimento do ar e superfície e evapotranspiração. Querino (2006) menciona que as florestas tropicais são de extrema importância para o clima, tanto em escala local como global, pois a vegetação é importante receptor e armazenador de energia e com isso desempenha função importante, uma vez que evita que parte da radiação solar que chega a superfície se atenua. Além de ser responsável pela maioria dos processos biológicos e fisiológicos dos vegetais, bem como responsável direto na disposição da energia disponível para os processos solo-planta-atmosfera.

Radin (2002) relata que a produção final de matéria seca de uma planta depende da quantidade de radiação solar absorvida pelas folhas e da eficiência com que essas convertem a energia radiante em energia química, através da fotossíntese. Porém, somente uma fração do espectro solar é utilizada pelas plantas para este processo de conversão. Para Salisbury e Ross (1994) as clorofilas e os carotenóides apresentam picos de absorção de radiação nas faixas do azul ($0,45\mu\text{m}$) e do vermelho ($0,65\mu\text{m}$). Nesta porção do espectro ocorre excitação das moléculas de clorofila, dando início ao fluxo de energia necessário para a fotossíntese, sendo, todavia, nomeada de Radiação Fotossinteticamente Ativa.

Sob um dossel, um único ponto recebe ambas as radiações direta e difusa. A radiação direta proveniente do sol e varia consideravelmente, tanto espacialmente, quanto temporalmente. Entre a vegetação parte da energia é consumida na evaporação, o que afeta significativamente o balanço de energia. Sua disponibilidade no solo da floresta é determinada pela posição do curso do sol, localização dentro das lacunas, tamanho das lacunas, altura do dossel, nebulosidade, fenologia das folhas e movimento da folhagem devido ao vento (Gendron et al., 1998). A quantidade de radiação direta que penetra no solo da floresta também varia com a hora do dia e ano, assim como varia com a altitude solar (Hutchison e Matt, 1977). Inversamente, a radiação difusa provém de todas as partes do céu, sendo mais uniforme espacialmente e temporalmente do que a radiação direta sob um dossel (Gendron et al., 1998).

2.4 Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR)

A radiação solar, especificamente a radiação fotossinteticamente ativa, é essencial para o processo de fotossíntese, pelo qual a planta captura a energia e o carbono necessário para os seus processos metabólicos. A fotossíntese está associada à interceptação da radiação

fotossinteticamente ativa pelos órgãos da planta que contêm clorofila. A análise do crescimento da planta em termos de radiação interceptada se baseia na eficiência com que esta radiação acumulada é usada para a produção de matéria seca. No entanto, esta análise deve ser realizada com cautela, pois a radiação fotossinteticamente ativa e, portanto, a taxa de crescimento da planta, também é função das características do solo, meio ambiente e fatores biológicos internos (Leitão, 1994). Palva et al. (1998) afirmaram que dentro de florestas coníferas, a variabilidade espacial da PAR próximo à superfície (solo) é grande, devido à existência de espaços na folhagem na direção da inclinação do sol criando, assim, sombreamentos e penumbras à superfície que contribuem para esta variabilidade.

Levantamentos realizados por Pereira et al. (2006) revelam que, no Brasil, os maiores níveis de irradiação PAR ocorrem durante a primavera, sobre as regiões Nordeste e Centro-Oeste, e durante o verão, na região Sul e Nordeste.

De acordo com Cássia-Silva (2002), medidas de PAR são utilizadas para caracterizar o crescimento e a morfologia de plantas (Carter e Klinka, 1992; Ackerly e Bazzaz, 1995), para estimar competição entre plantas (DeLong, 1991; Cannell e Grace, 1993), bem como para avaliar interações entre plantas (Aphalo e Ballaré, 1995). Essas medidas são úteis também para o cálculo do índice de área foliar (IAF) a partir da transmissão da luz pelo dossel (Pierce e Running, 1988; Martens et al., 1993; Chen, 1996) e ainda para documentar as variações temporais nas estruturas dos dosséis da vegetação (Baldocchi et al., 1984; Rich et al., 1993; Knyazikhin et al., 1997). 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 à estação quente-úmida e menor variabilidade na quente estação seca.

Spolador et al. (2006) encontraram as maiores PAR incidente global no topo da floresta amazônica nas estações seca e seco-úmida, como também encontraram grandes variações de PAR incidente parcial (filtrados pela ação do dossel) no período diurno, maiores até do que os PAR incidente e albedo PAR.

2.5 Índice de Área Foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF) é a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo (Watson, 1947). Para Lang e McMurtrie (1992) é uma variável

biofísica que esta diretamente relacionada com a transpiração e a produtividade florestal. Segundo Myneni et al. (2002) o IAF e a fração PAR (FPAR), absorvida pela vegetação, caracterizam a vegetação do dossel e capacidade de absorção de energia. De acordo com Caruzzo e Rocha (2000) esse índice é uma importante medida de cobertura vegetal, por causa da importância das folhas nas trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera, além de estar diretamente relacionada com a evapotranspiração e a produtividade (Xavier e Vettorazzi, 2003). O IAF é de importância para vários modelos de produção primária através de escalas e modelos globais de clima, hidrologia, biogeoquímica, e ecologia (Wang et al., 2005), por exemplo, massa (água e CO₂) e momentum entre a superfície e a atmosfera (Sellers et al., 1997).

Estudos realizados por Marques-Filho e Delarosa (2001) – na reserva florestal de Jarú em Rondônia – explicam que a atenuação da radiação solar em meio vegetal é um fenômeno físico de dupla utilidade entre seus limites, e o conhecimento de seu perfil vertical no interior de uma cobertura vegetal, permite a definição da distribuição de energia disponível nas diferentes camadas da vegetação, dos perfis verticais das fontes de calor e de vapor d'água na cobertura, e a estreita dependência existente entre essa atenuação e a distribuição espacial dos elementos vegetais representa a base de apoio para uma grande parte dos métodos indiretos de caracterização de uma cobertura vegetal, particularmente na sua função de densidade de área foliar e no IAF.

O IAF tem estreita relação com a produtividade primária e com a biomassa da vegetação (Moura, 2001). Wandelli e Marques-Filho (1999) citam que a dinâmica do IAF de uma cobertura vegetal é resultante das respostas ecofisiológicas das plantas às condições químicas, físicas e biológicas do solo; às condições do microclima como temperatura, umidade e radiação; às condições bióticas como herbívora, competição e às interdependências desses fatores nos diferentes estágios sucessivos da vegetação. Além de possuir uma forte relação direta com a produtividade primária e com a biomassa da vegetação.

Marques-Filho et al. (2005) apresentaram a distribuição vertical média de área foliar, na reserva biológica de Cuieiras – ZF2 (no km 14 e km 34 – distantes 10 km), a 60 km de Manaus-AM. Mostraram que existem pelo menos duas zonas distintas de concentração de área foliar: uma principal, situada na parte alta da vegetação, e pelo menos uma secundária, na parte baixa da vegetação. Essas zonas são intercaladas por uma zona de transição com baixa densidade de área foliar. Esse estudo mostra que existem duas zonas distintas de concentração de área foliar: uma principal situada na parte alta da vegetação concentra-se o máximo de área foliar de 0,34 m² m⁻², situado a 27 m de altura; e uma secundária na parte baixa da vegetação,

que apresenta picos de densidade de área foliar variando entre 0,16 a 0,25 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$. Já no quilômetro 34, os autores expõem a curva média de área foliar apresenta três estratos de vegetação: a zona principal à qual correspondem picos de concentração de área foliar da ordem de 0,33 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ situada entre 26 e 28 m de altura; a segunda zona apresenta densidade média máxima de área foliar de 0,24 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ na altura de 15 m e, finalmente, uma zona próxima ao solo com pico de densidade média de área foliar de 0,26 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ na altura de 4 m.

3. METODOLOGIA

3.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido durante o período de outubro/2009 a setembro/2010 em uma área localizada na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) – Lula Lobo I – inserida na fazenda Capiatã A, pertencente à Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A, no município de Coruripe, Alagoas. Durante o período do estudo foram realizadas medidas micrometeorológicas. Detalhes sobre a descrição da área de estudo pode ser encontrado em Menezes et al. (2004) e Machado (2003). Essa RPPN destina-se à coleta de sementes para a recuperação das áreas degradadas da usina, para programas de educação ambiental e para pesquisa científica. Entretanto, por ser integrante do Sítio do Pau-Brasil, um Posto Avançado da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, pode ser visitada como forma de Educação Ambiental, com visitas programadas.

O município de Coruripe está situado na região ambiental do Litoral Sul do Estado de Alagoas (10°00'37"S, 36°17'60"W, 16 m) (Figura 2). Machado (2003) relata que 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.

Atualmente, são 61 os Municípios que apresentam vegetação da Mata Atlântica (Menezes et al., 2004). Dentre estas áreas encontram-se mais de 8.000 hectares destinados a preservação e ao reflorestamento da vegetação nativa de Mata alagoana, situado na região Sul do Estado, na usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A. Nessas terras estima-se que se encontre a maior concentração nativa do país de Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata*) e pau-falha (*Aspidosperma affinis*) ainda virgem, com árvores com mais de 400 anos. Dessa área, 288,56 hectares foram transformados em duas RPPN's, junto ao IBAMA. Com isso a proteção da biodiversidade local é assegurada pela contratação própria de guardas-campo, cujo desenvolvimento sustentável vem sendo garantido pela produção de mudas e o seu plantio além de estímulo ao artesanato local com palhas do ouricuri (*Syagrus coronata*) e do licuri (*Syagrus shizophilla*).

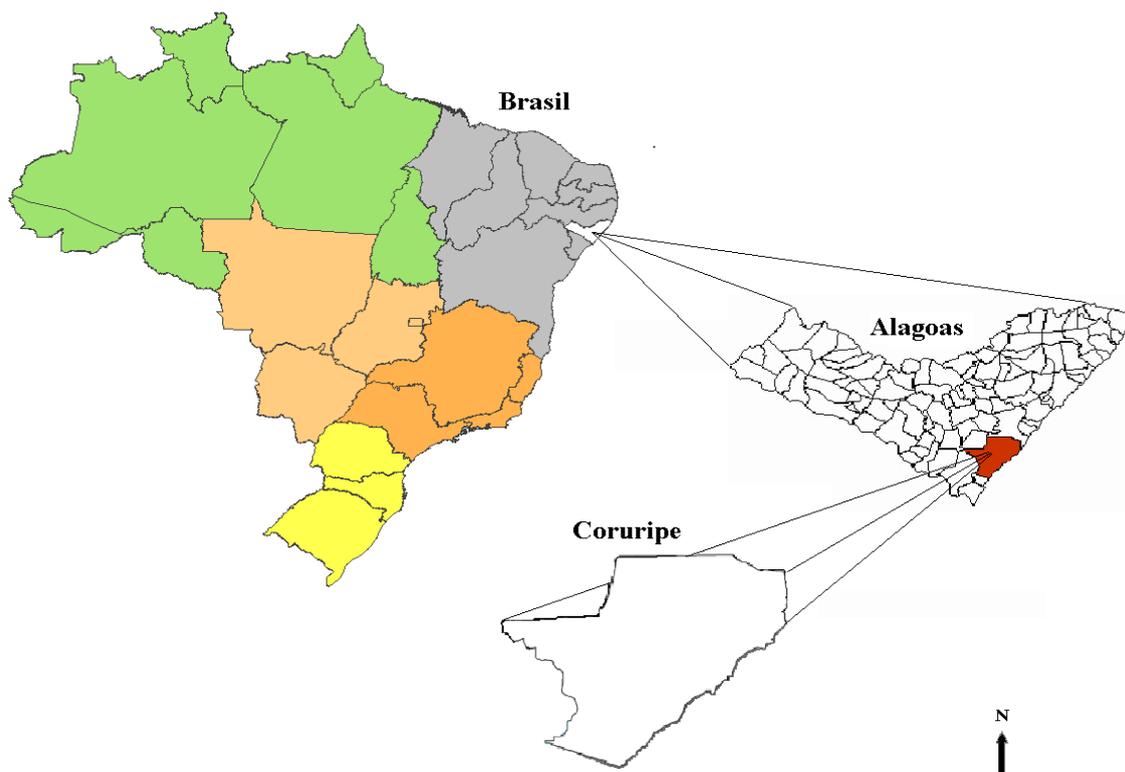


Figura 2. Localização geográfica da área de estudo, em destaque, o município de Coruripe, Alagoas.

3.2 Climatologia da região

Baseado na normal climatológica da temperatura do ar e umidade relativa do ar (UR), do período de 1974 a 2004, a temperatura do ar média anual é de 25,1°C, sendo fevereiro o mês mais quente (Santos e Frizzone, 2006). Os valores anuais da UR são elevados, com médias de aproximadamente 76,5%.

A velocidade do vento apresenta 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 que as direções predominantes são de nordeste (outubro a março) e sudeste (abril a setembro) (Machado, 2003).

Mascarenhas et al. (2005) relatam que o clima local é caracterizado como do Tropical Chuvoso com verão seco, e que o período chuvoso começa no outono, com início em abril e término em julho. A precipitação média anual é de 1.327 mm (Silva-Junior et al., 2005). Molion e Bernardo (2002) afirmam que a parte Leste do Nordeste os totais pluviométricos variam de 600 mm a 3.000 mm ao ano. O máximo de chuvas na região estaria ligado à maior

atividade de circulação de brisa que advecta bandas de nebulosidade para o continente e à ação das frentes frias, ou seus remanescentes, que se propagam ao longo da costa (Kousky, 1979). Esse máximo de chuvas estaria associado à máxima convergência dos Alísios com a brisa terrestre, a qual deve ser mais forte durante as estações de outono e inverno, quando o contraste de temperatura entre a terra e o mar é maior.

A normal climatológica para região segundo a Secretaria de Estado de Recursos Hídricos e irrigação (SERHI), apresenta o período chuvoso compreendido entre os meses de abril e julho, enquanto o período seco está compreendido entre outubro e janeiro. Os demais meses são considerados como períodos de transição.

3.3 Medidas Micrometeorológicas

Nesse local foi instalada uma torre micrometeorológica de 26 metros de altura ($10^{\circ}17'36''S$, $36^{\circ}17'24''W$) para medir algumas variáveis micrometeorológicas (Figura 3). Foram realizadas medidas da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) (modelo PAR LITE, *Kipp & Zone, Campbell Scientific Inc.*), PAR refletida (PAR \uparrow) (modelo LI190SB *Quantum Sensor* da *Campbell Scientific Inc.*), Radiação Solar Global (Rg) (Modelo CM5, *Kipp & Zone, Campbell Scientific Inc.*) e de precipitação (TE 525, *Texas Instruments, USA*). Os sensores PAR e o piranômetro foram instalados em diferentes alturas e posições, nos níveis de 2, 13 e 26 metros de altura, e os dois sensores *Quantum Sensor*, nos níveis de 2 e 26 metros. Enquanto que o pluviômetro foi instalado no topo da torre.

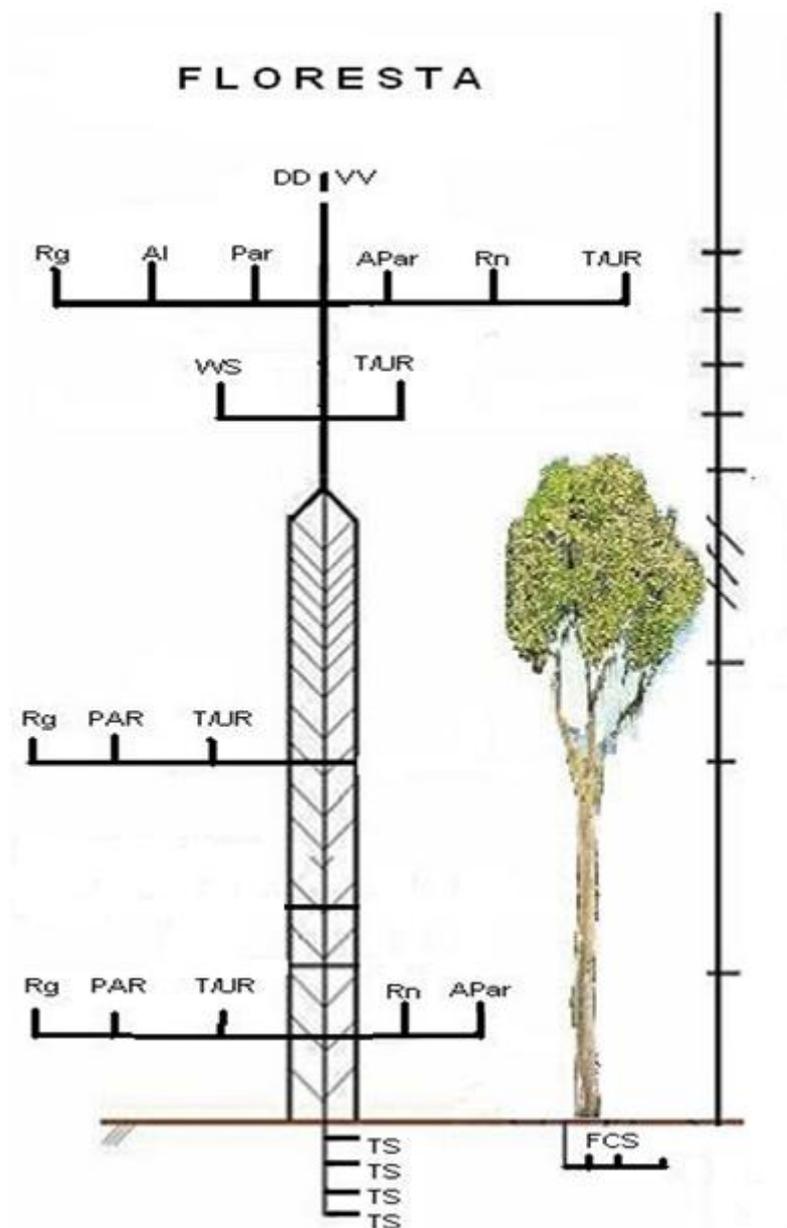


Figura 3. *Layout da estação meteorológica automática, onde: DD – Direção do vento; VV – Velocidade do vento; Rg – Radiação solar global; Al – Albedo; PAR – Radiação Fotossinteticamente Ativa; PAR \uparrow – PAR refletido; Rn – Saldo de Radiação; T/UR – Temperatura e Umidade do Ar; WS – Wetness Grid; TS – Temperatura do Solo; FCS – Fluxo de Calor no Solo; PP – Precipitação.*

Ressalta-se que todos os instrumentos foram previamente testados e calibrados, no Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) na Universidade Federal de Alagoas – UFAL, antes de serem colocados em campo.

Também foram instaladas, aleatoriamente, 20 coletores de serapilheira, sendo 10 coletores, denominadas de serapilheiras normais, de 0,5 x 0,5 m com fundo de tela de náilon

com malha de 1,0 x 1,0 mm, colocados a 50 cm acima da superfície do solo. E outras 10 serrapilheiras acumuladas, que se constituía de uma caixa de metal de 0,25 x 0,25 m, posicionada aleatoriamente sobre a superfície do solo nas proximidades das caixas de interceptação das serrapilheiras normais.

3.4 Aquisição e tratamento dos dados

Durante todo o período experimental a coleta dos dados foi realizada por dois *dataloggers* (21X e CR10X), na qual estes dados foram medidos a cada 20 segundos e suas médias armazenadas a cada 10 minutos, onde eram armazenadas em módulos de armazenamento do tipo SM716 e SM4M, todos da *Campbell Scientific*. Os módulos eram descarregados quinzenalmente em microcomputadores, no local ou no Instituto de Ciências Atmosféricas.

A partir da obtenção dos dados meteorológicos medidos nessa área e utilização da metodologia adequada, foram realizadas avaliações comparativa das médias horárias e diárias, dentro dos valores compreendidos entre 06 hs e 18 hs (hora local). Em seguida foram confeccionados gráficos com o recurso computacional adequado.

Após a escolha das variáveis que seriam trabalhadas, foram estabelecidos critérios de filtragem, onde os valores de PAR e APAR, tanto interno e externo foram todos considerados, sendo eliminados valores negativos fisicamente inconsistentes, antes do nascer e após o pôr do sol.

3.5 Descrição da rotina das observações

A ausência de dados se deve aos problemas logísticos, inerentes a qualquer experimento, ocorridos durante a condução do experimento. Os procedimentos que adotamos para condução do experimento foram:

I – verificação a cada 15 (quinze) dias do funcionamento dos sensores através do acompanhamento dos sinais de entrada no sistema de aquisição de dados e coleta dos cartuchos de memória;

II – verificação da evolução quinzenal das variáveis medidas;

III – coletas das serapilheiras, a cada 30 dias para as normais e 90 dias para as acumulativas;

IV – verificação da qualidade dos dados considerando a evolução quinzenal dos parâmetros medidos;

V – atualização dos arquivos mensais dos dados coletados;

VI – determinação dos totais acumulados mensais de algumas variáveis medidas;

VII – atualização dos gráficos que descrevem as médias mensais e os totais acumulados mensais.

3.6 Parâmetros calculados

Para apreciação da Radiação Solar no topo da atmosfera (R_o), empregou-se a expressão definida por Iqbal (1983) onde R_o é estimada em função da constante solar ($S_o = 1367 \text{ W m}^{-2}$), raio vetor da órbita terrestre (E_o), latitude local (φ), declinação solar (δ) e ângulo zenital (Z):

$$R_o = S_o * E_o * \cos Z \quad (1)$$

sendo:

$$E_o = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{2 * \pi * d_n}{365}\right) \quad (2)$$

em que, d_n o dia do ano correspondente ao calendário Juliano (1 – 365). Para o ângulo zenital solar (Z), que consiste no ângulo entre o vetor que liga os centros da Terra e do Sol e o zênite local, utilizou-se a seguinte expressão:

$$\cos Z = \sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos H \quad (3)$$

em que, φ latitude local (para este caso é igual $10^{\circ}17'36''\text{S}$), δ é a declinação solar, expressa em graus, que é considerada a latitude (celeste) que se encontra o Sol, podendo variar de 0° a $\pm 23^{\circ}22''$ ao longo do ano, e é calculada com a seguinte expressão:

$$\delta = 23,45 * \sin\left[\frac{360}{365} * (284 + d_n)\right] \quad (4)$$

O ângulo horário H , que é uma medida indicativa da posição do astro no sistema equatorial horário de coordenadas, e assume valores entre $\pm 90^\circ$, sendo os valores negativos atribuídos para antes e os positivos após o meio dia solar, e obrigatoriamente igual à zero neste horário (Plana-Fattori e Ceballos, 2009), sendo seus valores horários obtidos com a seguinte equação:

$$H = \cos^{-1} * (-\tan \varnothing * \tan \delta) \quad (5)$$

3.6.1 Transmitância, Refletância e Fração PAR

Para estimar a transmitância (t) utilizaram-se dados de medições de campo, entre as alturas de 26m (topo da torre) e 2m ($t_{\text{topo-2}}$) e a transmitância entre as alturas 26m e 13m ($t_{\text{topo-13}}$). As $t_{\text{topo-2}}$ e $t_{\text{topo-13}}$ foram determinadas pelas respectivas expressões:

$$t_{\text{topo-2}} = \frac{\text{PAR}_2}{\text{PAR}_{26}} \quad (6)$$

$$t_{\text{topo-13}} = \frac{\text{PAR}_{13}}{\text{PAR}_{26}} \quad (7)$$

em que, PAR_2 é a radiação fotossinteticamente ativa medida a 2m, PAR_{13} a 13m e o PAR_{26} a 26m.

A refletância (r) foi estimada com dados de observação de campo, pela relação:

$$r = \frac{\text{PAR}_{r26}}{\text{PAR}_{26}} \quad (8)$$

em que, PAR_r é a radiação fotossinteticamente ativa refletida, medida a 26m de altura.

De acordo com Gower et. al. (1999), a f_{PAR} pode ser estimar por meio de medições de campo, através da seguinte expressão:

$$f_{\text{PAR}} = 1 - r - t \quad (9)$$

3.6.2 Classificação da Nebulosidade

Na estimativa do índice de claridade (K_t) utilizou-se a relação entre R_{g_Ext} , medida por piranômetros instalados em superfícies e a radiação solar no topo da atmosfera (R_o). Esse índice é de grande interesse para a análise da radiação solar (global, difusa e direta), pois de acordo com a quantidade de nuvens haverá aumento ou redução dessas radiações (Tavares 2005).

$$K_t = \frac{R_{g_Ext}}{R_o} \quad (10)$$

$K_t \leq 0,3$ - dia nublado (NB)

$0,3 < K_t < 0,7$ – dia parcialmente nublado (PN)

$K_t \geq 0,7$ – dia com céu limpo (CL)

3.6.3 Saldo da Radiação Fotossinteticamente Ativa

O saldo de radiação fotossinteticamente ativa (saldo PAR) foi determinado a partir de informações da PAR incidente (PAR) e refletido (PAR) medidas. Da seguinte maneira:

$$\text{saldo PAR} = PAR - PAR\uparrow \quad (11)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Radiação Solar no topo da atmosfera (Ro)

A radiação solar no topo da atmosfera (Ro) para a região de estudo apresentou variabilidade ao longo do ano, obedecendo a sazonalidade, com amplitude de 230 W m^{-2} (em torno de 16%) entre os períodos de ocorrência dos extremos anual de Ro máximo diário (Figura 4). Como era de se esperar Ro atingiu altos valores nos horários próximo ao meio-dia, com extremo superior de Ro máximo diário de 1.300 W m^{-2} , observado nos meses de outubro e fevereiro, período esse em que o Sol se encontrava no Hemisfério Sul e que coincide com a estação seca da região. Já o extremo inferior do Ro máximo diário (1.100 W m^{-2}) ocorreu nos meses de junho e julho, período em que o Sol se localizava mais ao Hemisfério Norte, período no qual se observa a estação chuvosa na região. No início da manhã e no final da tarde Ro apresentou pouca variação, alcançando 1.000 W m^{-2} , até às 09 HL no verão e às 10 HL no inverno. Esses valores decrescem a partir das 15 HL no verão e das 14 HL no inverno, tendo assim defasagem de 1 hora entre as duas estações.

Outra explicação para a variação de Ro é atribuído a órbita elíptica da Terra em torno do Sol, já que esse movimento, em determinadas épocas do ano apresenta maior ou menor aproximação, denominados de afélio e periélio, respectivamente. De acordo com a Agência Espacial Norte-Americana (NASA), divulgada pela Agência FAPESP (2006), a Terra fica distante em torno de 147,5 milhões de quilômetros no mês de Janeiro, e atinge sua máxima distância de 152,6 milhões de quilômetros seis meses depois, no mês de Julho. Para Agência FAPESP (2006) essa diferença de extensão entre esses dois meses pode significar redução de 7% na radiação sobre a Terra.

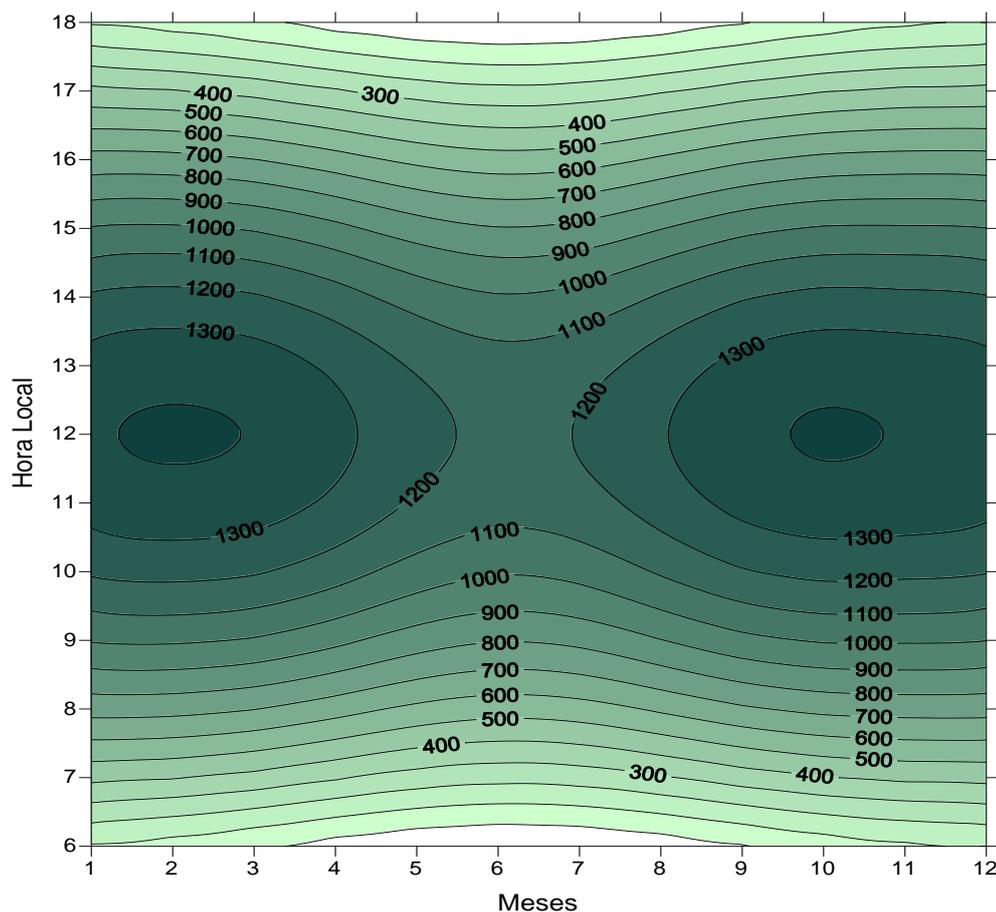


Figura 4. Variação temporal da Radiação Solar no topo da atmosfera (R_o) ($W m^{-2}$) no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.

4.2 Radiação Solar Global (R_g), Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PAR) e Refletida (PAR \uparrow)

4.2.1 Perfil vertical da Radiação Solar Global Externa (R_{g_Ext}), sob a Copa (R_{g_Copa}) e à Superfície (R_{g_Spf})

A evolução anual média da Radiação Solar Global Externa (R_{g_Ext}) pode ser comparada com R_o , que é regida por uma geometria Terra-Sol. Observando-se as curvas de R_{g_Ext} no período analisado (outubro/2009 a setembro/2010), verificou-se que R_{g_Ext} obedeceu a sazonalidade, apresentando registros horários médios mínimos durante a estação chuvosa e máximos na estação seca (Figura 5a). Em geral, a variabilidade anual da R_{g_Ext} tende a acompanhar R_o , só que com máximos médios inferiores ao incidente no topo da atmosfera. Segundo Querino (2006) essa redução é compreendida pelo fato do processo de

espalhamento natural sofrido pelos raios solares nas diversas camadas atmosféricas percorridas até atingir a superfície, ou pelas múltiplas reflexões ocasionadas por camadas de nuvens (Gu et al., 2001).

Examinando a variação da Rg_Ext observou-se máximos horários de 900 W m^{-2} nos meses de novembro e fevereiro (verão no Hemisfério Sul) entre 10 e 13 HL. Já nos meses de junho e julho estes máximos foram inferiores a 500 W m^{-2} . Em meados de agosto até dezembro foram observadas muitas variações ao longo do dia, com médias horárias de 979 W m^{-2} , ocasionadas pela ausência de nebulosidade. Entre janeiro e maio essas variações foram percebidas somente nas primeiras horas do dia. Isso é causado pelo caminho ótico a ser percorrido pelos raios solares, que resulta em redução na quantidade de radiação que chega a superfície por conta de maior atenuação pela atmosfera, sendo menor nos horários próximos ao meio dia, onde a incidência de radiação solar à superfície é mais perpendicular, provocando maior densidade de fluxo de radiação. Os valores observados são semelhantes aos obtidos por Souza et al. (2005) em estudo realizado na cidade de Maceió, distante aproximadamente 110km do local do experimento, como também por Querino (2006) na cidade de Marechal Deodoro (floresta de Manguezal) distante a 95km do município de Coruripe. Os autores encontraram em média $886,03 \text{ W m}^{-2}$ para a época seca e $630,19 \text{ W m}^{-2}$ na chuvosa em Maceió. Já na floresta de Manguezal as médias horárias foram de 900 W m^{-2} durante os meses compreendidos entre fim de setembro e março (época seca), das 10 às 14 HL, e de 600 W m^{-2} para os meses de abril a julho (época chuvosa).

No período matutino, o crescimento da curva é mais acentuado, como também os máximos ocorrem aproximadamente às 11:30 HL, o que estaria relacionado com o tempo solar verdadeiro, que para esta região apresenta defasagem média de 30 minutos (Querino, 2006). Notou-se também que nas últimas horas do dia há diminuição na intensidade de energia, conforme já discutido anteriormente.

Percebeu-se que as curvas de incidência de Radiação Solar Global logo abaixo da copa das árvores (Rg_Copa) (Figura 5b) não apresentaram as mesmas características da Rg_Ext , ou seja, na maioria das vezes aumento ou diminuição da incidência de Rg_Ext não foi seguido pela radiação solar que atingiu a copa. Isso é resultado do maior sombreamento proporcionado pelo dossel da vegetação e a posição do sensor instalado abaixo do dossel.

Analisando a sazonalidade da Rg_Copa vê-se que as médias máximas horárias ocorreram na estação seca, especificamente no mês de dezembro, e nos meses de transição seco-chuvoso. Esse máximo observado na estação seca pode ser facilmente esclarecido pelo fato de que é esse período que abrange o verão no Hemisfério Sul, onde foi registrado 100 W

m^{-2} . Esse padrão se deve principalmente ao movimento aparente do Sol e posição das clareiras. Já na época de transição seco-chuvosa, entre março e abril, notou-se dois picos máximos, um no período matutino (75 W m^{-2}) e outro no vespertino (82 W m^{-2}). Ambos semelhantes ao ocorrido com a Rg_Ext , enquanto as menores médias foram encontradas na estação chuvosa, mas não ultrapassaram 50 W m^{-2} .

Um dos fatores mais importantes que influem no microclima é a atenuação da radiação solar pela copa das florestas naturais, por atuar diretamente no balanço de energia e, conseqüentemente, nas condições ambientais (Hernandes et al., 2004).

Obviamente a variação média horária da Radiação Solar Global à Superfície (Rg_Spf) é inferior em comparação com a Rg_Ext (Figura 5c). Isso indica que grande parte dessa radiação é absorvida pelo dossel, pois a cobertura vegetal da Floresta Ombrófila Aberta é bastante densa.

Nota-se que as curvas de Rg_Spf são distintas não só das respectivas curvas da Rg_Ext , como também da Rg_Copa , ou seja, muitas vezes aumento ou diminuição da radiação incidente na parte externa (topo) não é acompanhado pela radiação que atinge a superfície do solo da floresta, já que em regiões cobertas com vegetação densa somente uma pequena fração da radiação solar atinge o chão da floresta, mas é variável no espaço e tempo (Januário et al., 1992).

Assim como foi observado na Rg_Ext (radiação solar difusa e direta), notou-se dois picos no chão da floresta, sendo que o primeiro ocorreu na estação seca com médias máximas de 50 W m^{-2} (novembro e dezembro) entre os horários de 10 às 11 HL, ou seja, apenas 5% da Rg_Ext atingiu a superfície da floresta. Já o segundo pico ocorreu no início da estação chuvosa (abril) sendo registradas médias de 72 W m^{-2} ao meio-dia, ou seja, um aumento de 22% em relação ao primeiro pico. A explicação para este aumento foi que a Rg_Spf sofreu pouca influencia de espalhamento proporcionado pelos galhos e folhas das árvores, ou seja, as folhagens do dossel são arranjadas de tal forma que existem espaços nas copas das árvores por onde a radiação solar penetra diretamente até atingir o solo da floresta.

Baixas incidências de Rg_Spf foram observadas nas primeiras horas da manhã e no fim de todo o período vespertino entre os meses de outubro e abril. Percebeu-se ainda que durante a estação chuvosa os valores médios não foram superiores a 20 W m^{-2} . Segundo Querino (2006) esses valores baixos no fim da tarde ocorrem porque ao penetrar na copa das árvores, com certa inclinação em relação à normal do dossel, os raios solares têm que percorrer um maior caminho entre galhos e folhas, fazendo com que a radiação solar seja mais espalhada e/ou absorvida por galhos e troncos antes de atingir a superfície.

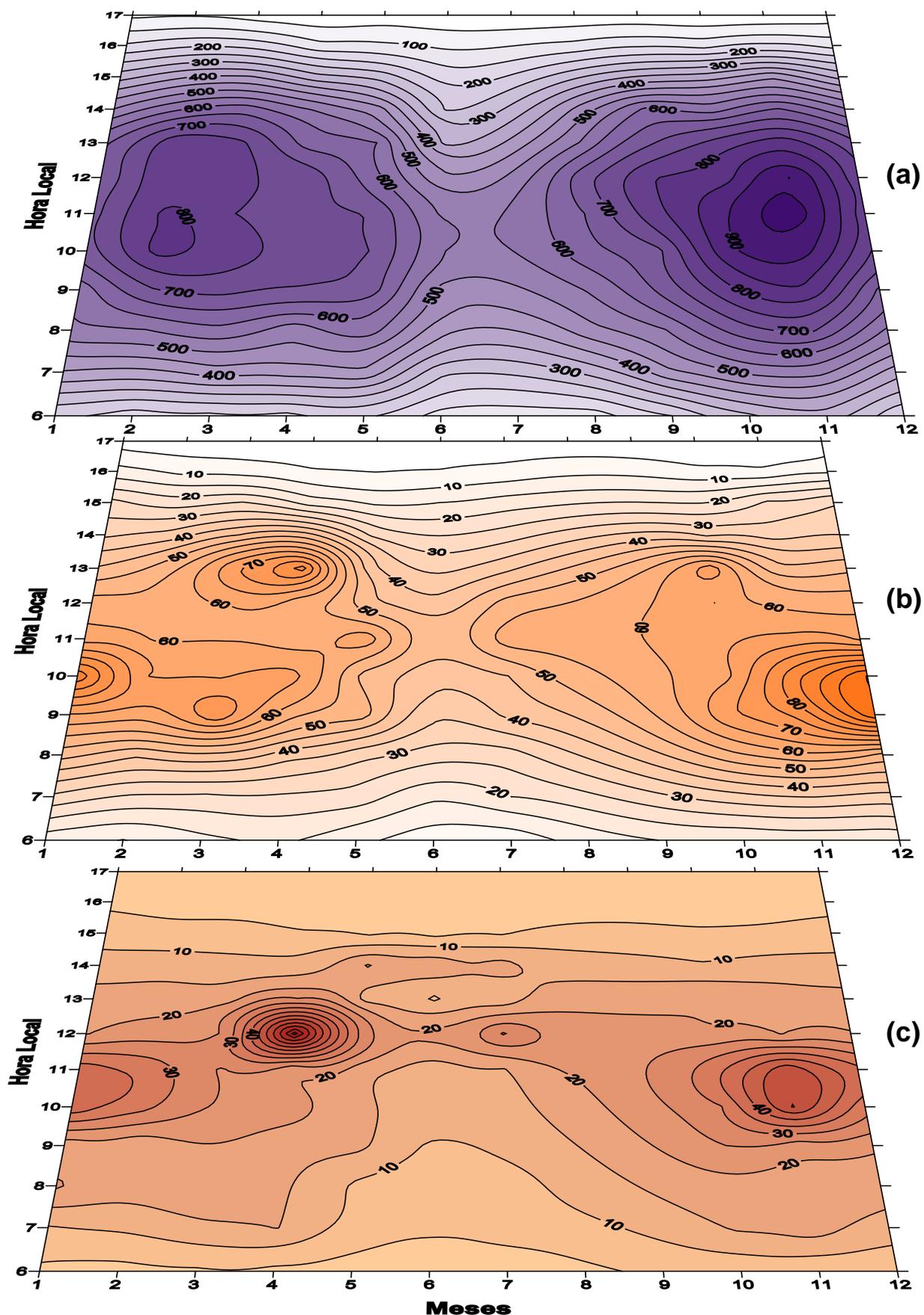


Figura 5. Variação temporal da Radiação Solar Global em três diferentes níveis: acima do dossel (Rg_Ext) (a); sob a copa das árvores (Rg_Copa) (b) e à superfície (Rg_Spf) (c) no período de outubro/2009 a setembro/2010.

Através do índice de transmitância atmosférica (K_t) pode-se compreender melhor o padrão diário dos valores de R_g . Isso nos possibilita examinar a influência da nebulosidade na quantidade de radiação solar incidente à superfície, uma vez que a radiação solar que penetra na atmosfera depende principalmente da turbidez atmosférica e da cobertura de nuvens.

Assim como a radiação solar incidente (R_{g_Ext} , R_{g_Copa} e R_{g_Spf}), o K_t obedece à sazonalidade. Os valores máximos coincidem com a época seca da região, pois é o período em que se observou menor nebulosidade, o que contribuiu para maiores incidências de radiação solar (Figura 6).

No período matutino, na maior parte do ano, observa-se K_t igual ou superior 60%, o que indica ótima transmitância atmosférica. Nesse mesmo período pode-se observar um aumento acentuado na R_{g_Ext} comprovando que, quanto maior o K_t , maior a incidência da radiação solar à superfície. Já no período vespertino notou-se um declínio do K_t ($\leq 50\%$), o que caracteriza uma atmosfera menos transparente, por conta da maior absorção, reflexão e espalhamento da radiação solar, acarretando uma redução nos registros da R_{g_Ext} (Figura 5). Segundo Querino (2006), essa redução na parte da tarde pode ser atribuída não só as maiores concentrações de aerossóis e nuvens, mas principalmente ao aumento do caminho ótico. Silva (2009) relatou que, especificamente no litoral alagoano, a predominância do vento é de Leste-Sudeste e os ventos mais intensos iniciam-se por volta das 10 HL. Com isso uma considerável quantidade de aerossóis marinhos chega à costa e converge intensificando a formação de nuvens no período vespertino.

Foi observado na época seca que os valores de K_t foram superiores a 60%, o que permitiu maior incidência de radiação solar à superfície e, conseqüentemente, maiores registros de R_{g_Ext} . De acordo com a climatologia local a cobertura de nuvens é menor nessa época, sendo assim o principal fator atenuante da radiação solar incidente é a variação do ângulo de elevação do Sol e não a cobertura de nuvens (Baldocchi et al., 1984).

Na época chuvosa, particularmente nos meses de abril e junho, foi verificado que K_t não ultrapassou 50%. Especificamente às 12 HL K_t ficou próximo a 40%, enquanto no período vespertino houve forte redução (abaixo dos 30%), o que indicou forte nebulosidade. Ressalta-se que nesse mesmo período observaram-se baixas incidências de R_{g_Ext} , certamente ocasionado pela maior cobertura de nuvens.

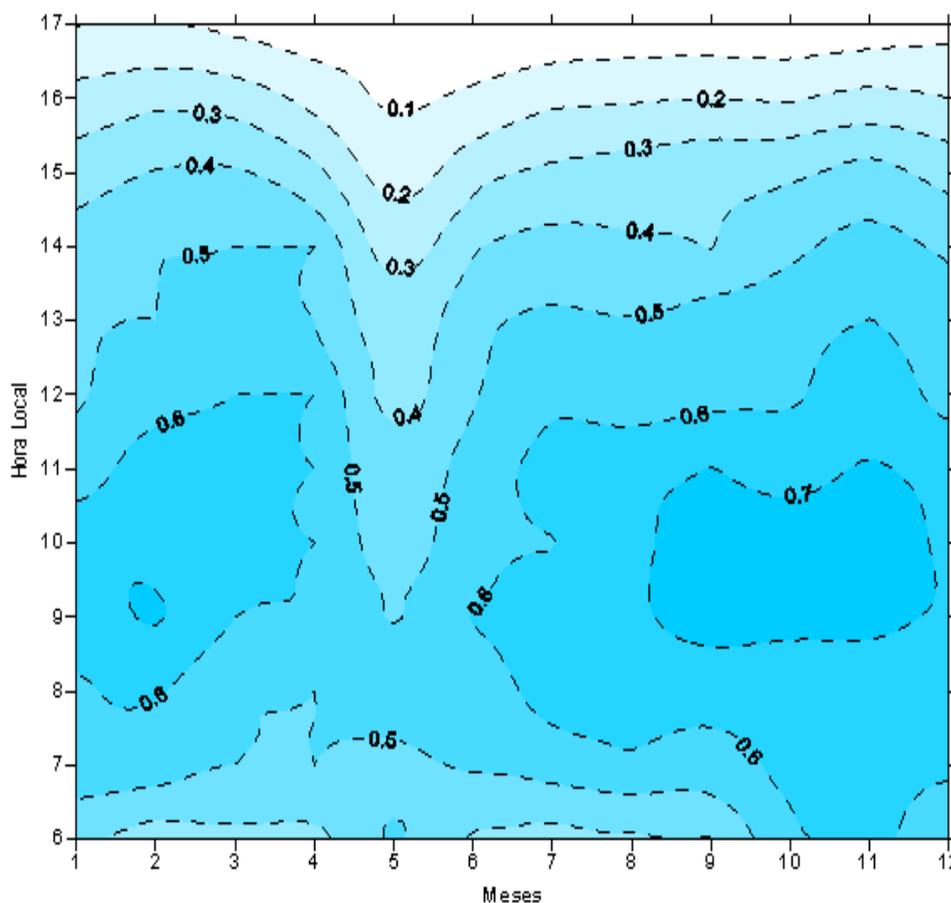


Figura 6. Variação temporal do Índice de Transmitância Atmosférica (Kt) no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.

O regime pluviométrico exerce grande influência na incidência de radiação solar à superfície. Para a região de estudo percebe-se que os maiores índices se concentraram nos meses de maio a julho (Figura 7), período em que foi observado redução na incidência média mensal de R_{g_Ext} . Sua incidência apresentou, em termos médios horários, aumento no período da manhã, certamente causado pela redução da turbidez atmosférica, que no amanhecer tenderia a estar mais transparente, devido a uma menor concentração de aerossóis, o que possibilita uma maior chegada de radiação solar à superfície. Foi visto também superioridade de R_{g_Ext} nos horários próximos ao meio-dia, certamente, causado pelo menor ângulo zenital, mesmo apresentando registros de precipitação e presença de nuvens. No período da tarde os registros de R_{g_Ext} apresentaram inferioridade, em decorrência do forte aquecimento e fluxos de umidades oriundas do oceano, o que facilita o desenvolvimento da nebulosidade que atinge a maturação em um tempo menor, fazendo com que haja precipitação nesse período, o que também justificaria a redução do Kt nesse mesmo período (Figura 5).

Notou-se que na época seca, no período diurno, os índices pluviométricos ficaram abaixo de 3 mm h^{-1} . É nessa época que a atmosfera se encontra mais limpa, ou seja, pouca cobertura de nuvens, como também onde se registra as maiores incidências de R_g . 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). Ressalta-se que nuvens e aerossóis atuam como elemento espalhador, principalmente da radiação solar.

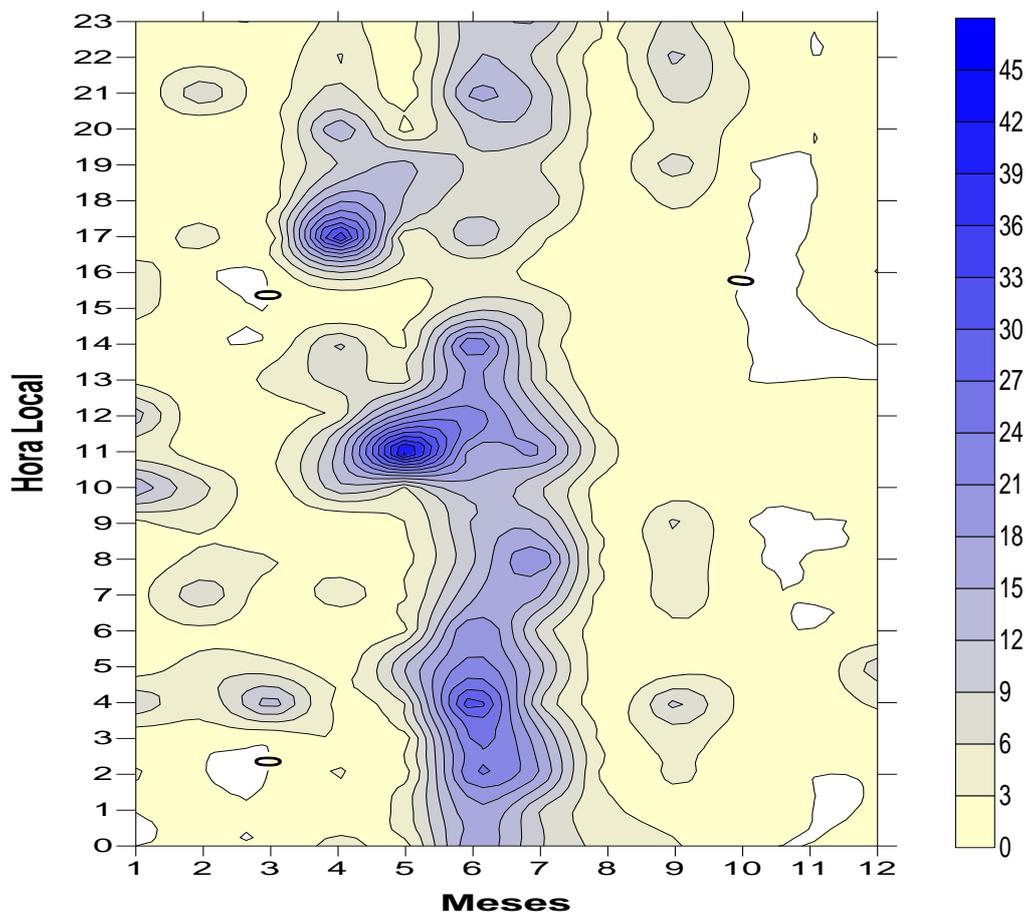


Figura 7. Variação temporal do total horário acumulado de precipitação (mm) na floresta no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.

4.2.2 Perfil vertical da Radiação Fotossinteticamente Ativa Externa (PAR_Ext), sob a copa (PAR_Copa) e à superfície (PAR_Spf)

Ao verificar o perfil vertical de Radiação Fotossinteticamente Ativa Externa (PAR_Ext), sob a copa (PAR_Copa) e à superfície (PAR_Spf), observou-se diferença no padrão da PAR ao penetrar na vegetação (Figura 8). No interior da vegetação observou-se que

os níveis de PAR são mais difusos, existindo pouca luz solar (direta e/ou difusa) dentro do dossel. De acordo com Pezzopane et al. (2000) esta atenuação acentuada ocorre porque o processo de interação entre a radiação solar e as folhas é seletivo, ocorrendo uma alta absorção na faixa espectral da radiação fotossinteticamente ativa e baixa absorção na faixa espectral do infravermelho próximo. Outra explicação é que o dossel serve de escudo para proteger da forte e intensa radiação solar, além de outros fatores meteorológicos. Assim sendo, o interior da floresta é uma medida menos volátil do que o ambiente externo. Mas, 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 intimamente relacionadas com a disposição espacial das folhas, ângulo de inserção foliar, índice de área foliar e propriedades óticas da vegetação.

A determinação da PAR disponível acima do dossel das plantas é essencial em diversas aplicações. A interação existente entre a radiação solar e o sistema florestal reveste-se de grande importância para a compreensão dos processos físicos e biológicos. Ela também é essencial para o processo de fotossíntese, pelo qual a planta captura a energia e o carbono necessário para os seus processos metabólicos. Além de ser de extrema importância para o desenvolvimento da vida na Terra, pois, em geral, os ecossistemas transformam a radiação proveniente do Sol em outra forma de energia para o seu desenvolvimento.

Examinando medidas de PAR sobre a copa das árvores (PAR_Ext) observou-se que as médias mensais variaram de $217,3 \text{ W m}^{-2}$ a $427,3 \text{ W m}^{-2}$ no período de estudo (Figura 8a). Valores de PAR encontrados por Senna et al. (2005), em uma floresta tropical úmida (Santarém – PA), variaram entre $137,6 \text{ W m}^{-2}$ e $182,8 \text{ W m}^{-2}$.

Notou-se que em novembro e fevereiro ocorreram os maiores PAR_Ext, porque nesses meses, climatologicamente considerado como período seco, não houve a influência significativa da cobertura de nuvens e precipitação, além de ser o período em que o Sol se encontra no zênite local. Já do final do mês de maio a meados de agosto se percebe redução de incidência da PAR_Ext com médias inferiores a 400 W m^{-2} ao longo dos dias e menores amplitudes diárias. Especificamente no início e final do dia, essas médias não ultrapassaram 300 W m^{-2} . Dessa maneira, entre as épocas seca e chuvosa, observou-se uma redução em torno de 43% de PAR_Ext. Isso foi ocasionado pela presença de nebulosidade e, conseqüente precipitação, conforme já explicitado anteriormente na Figura 7.

Verificou-se que o ciclo médio horário mensal de PAR_Ext apresenta homogeneidade nas primeiras horas da manhã e no final do período vespertino. Destaca-se

que a tendência média anual de PAR_Ext tende a acompanhar Rg_Ext. Com base nisso nota-se dois picos médios horários máximos ao redor do meio dia (10 às 13 HL), no período de setembro até o início de março, com médias superiores a 500 W m^{-2} . Isso ocorre devido à incidência da radiação solar para essa região ser mais perpendicular nesse período, o que provoca a chegada de mais energia (período em que o Sol encontra-se no Hemisfério Sul). Por conta do decréscimo (período matutino) e aumento (período vespertino) do caminho ótico, observou-se aumento/diminuição mais acentuada da PAR externa.

Estudos realizados por Moura (2001) mostraram que o comportamento 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, 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 mostra pequena diferença das médias diurnas de PAR incidente encontradas para os períodos de setembro de 1999 e de setembro a novembro de 2000. Os resultados encontrados para o ano de 1999 foram os seguintes: $241,82 \text{ W m}^{-2}$ para os dias claros; $107,25 \text{ W m}^{-2}$ para dias nublados e parcialmente nublados e $210,27 \text{ W m}^{-2}$ para o período total. Já para o ano de 2000 ela foi de $247,30 \text{ W m}^{-2}$ para os dias claros; $93,22 \text{ W m}^{-2}$ dias nublados e parcialmente nublados e $216,47 \text{ W m}^{-2}$ para o período total.

É muito difícil descrever o regime de luz presente no dossel ou no interior de uma floresta. Dentre os muitos fatores que afetam os regimes de luz no interior de uma floresta, pode-se listar: a posição geográfica (latitude, altitude, etc.), o relevo (topografia, declividade, face de exposição, etc.), o clima (precipitação, nebulosidade, etc.), a composição e estrutura da floresta (mosaico, formas de vida, altura do dossel, justaposição das copas, densidade da folhagem, etc.), a fenologia das espécies (deciduidade, etc.) entre outros.

O padrão da PAR_Copa (Figura 8b) mostrou-se similar as curvas apresentadas pela Rg_Copa (Figura 5b). Os picos médios máximos foram de 37 W m^{-2} (época seca) e de 27 W m^{-2} (fase de transição da estação seca-chuvosa), conforme já discutido. Foi observado também menores valores de PAR_Copa na época chuvosa. O mesmo apresentou maiores registros no período da manhã, próximo às 10 HL, e à tarde após às 15 HL as menores incidências. Nesses horários são notados médias máximas superiores a 20 W m^{-2} e após às 15 HL esses valores foram abaixo de $6,0 \text{ W m}^{-2}$. Marcado pela forte presença de nuvens, comum nesse período, proporcionando redução na quantidade que chega sobre a copa das árvores e dificultando a penetração da radiação solar no interior da floresta. Verificou-se também, próximo ao meio-dia, especificamente no mês de julho, um acréscimo súbito, alcançando 24 W m^{-2} , o que não

condiz com o normalmente esperado nessa época, onde os máximos não ultrapassam 10 W m^{-2} . Isto ocorreu devido às pequenas clareiras na estrutura no dossel que permitem a penetração da radiação solar até o sensor.

A variação média mensal da PAR no interior (PAR_Copa e PAR_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 PAR no interior da floresta.

Nos meses de novembro e dezembro os máximos médios foram de 38 W m^{-2} , tanto abaixo da copa quanto à superfície. Isso representa uma redução de 93% em relação ao PAR_Ext. Já nos meses de abril a julho, que compreende a estação chuvosa, notaram-se picos máximos próximo ao meio-dia, alcançando registros médios de 36 W m^{-2} , ou seja, do PAR_Ext apenas 7% atinge 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, etc).

Percebeu-se forte redução do PAR_Spf no período da manhã e ao entardecer, onde as médias não ultrapassaram 6 W m^{-2} , decorrente do menor ângulo de incidência (Z) da radiação solar, o que facilita a penetração por entre os galhos e folhas.

É importante mencionar a relação entre o regime da radiação e a produção da matéria seca que é principalmente dependente da: (i) PAR que penetra no dossel; (ii) fração da PAR interceptada pelas folhas; (iii) eficiência de seu uso para a produção da matéria seca (Gastellu-Etchegorry e Trichon, 1998).

Como era de se esperar a PAR_Spf acompanhou a evolução da R_g _Spf. Entretanto, os baixos valores de PAR_Spf se devem basicamente a pouca penetração de radiação solar. Então, entre novembro e dezembro, próximo às 12 HL, apresentaram valores similares (35 W m^{-2}), nos quais foram registradas suas maiores médias (Figura 8c), enquanto que na época chuvosa foram observadas as menores máximas (18 W m^{-2}). Essa diferença entre as citadas épocas pode alcançar aproximadamente 53%. Ressalta-se que no mesmo horário, para o mês de abril, obteve registro semelhante ao encontrado na época seca.

Do amanhecer até às 09 HL o comportamento do PAR_Spf se mostrou bastante difuso, principalmente na época chuvosa. Notou-se que período vespertino foram encontrados baixos valores de PAR_Spf e após às 15 HL esses registros não ultrapassaram $3,0 \text{ W m}^{-2}$, possivelmente associado as baixas incidências de radiação solar no interior da floresta. Foi notado também, que, ao entardecer, especificamente entre junho e julho, ocorreram

baixíssimos registros, isso pode estar ligado à ausência da incidência de radiação solar sobre o sensor, fazendo com que os valores obtidos pelos instrumentos fossem nulos, provocado, talvez, pelo sombreamento das folhas e/ou galhos sobre o mesmo.

Pode-se entender a redução da radiação solar que atravessa o dossel da floresta à medida que se aumenta a densidade desse dossel. Essa densidade do dossel pode ser expressa pelo Índice de Área Foliar (IAF). De acordo com Marques-Filho e Dallarosa (2001) obter o conhecimento do 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 conseqüente 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.

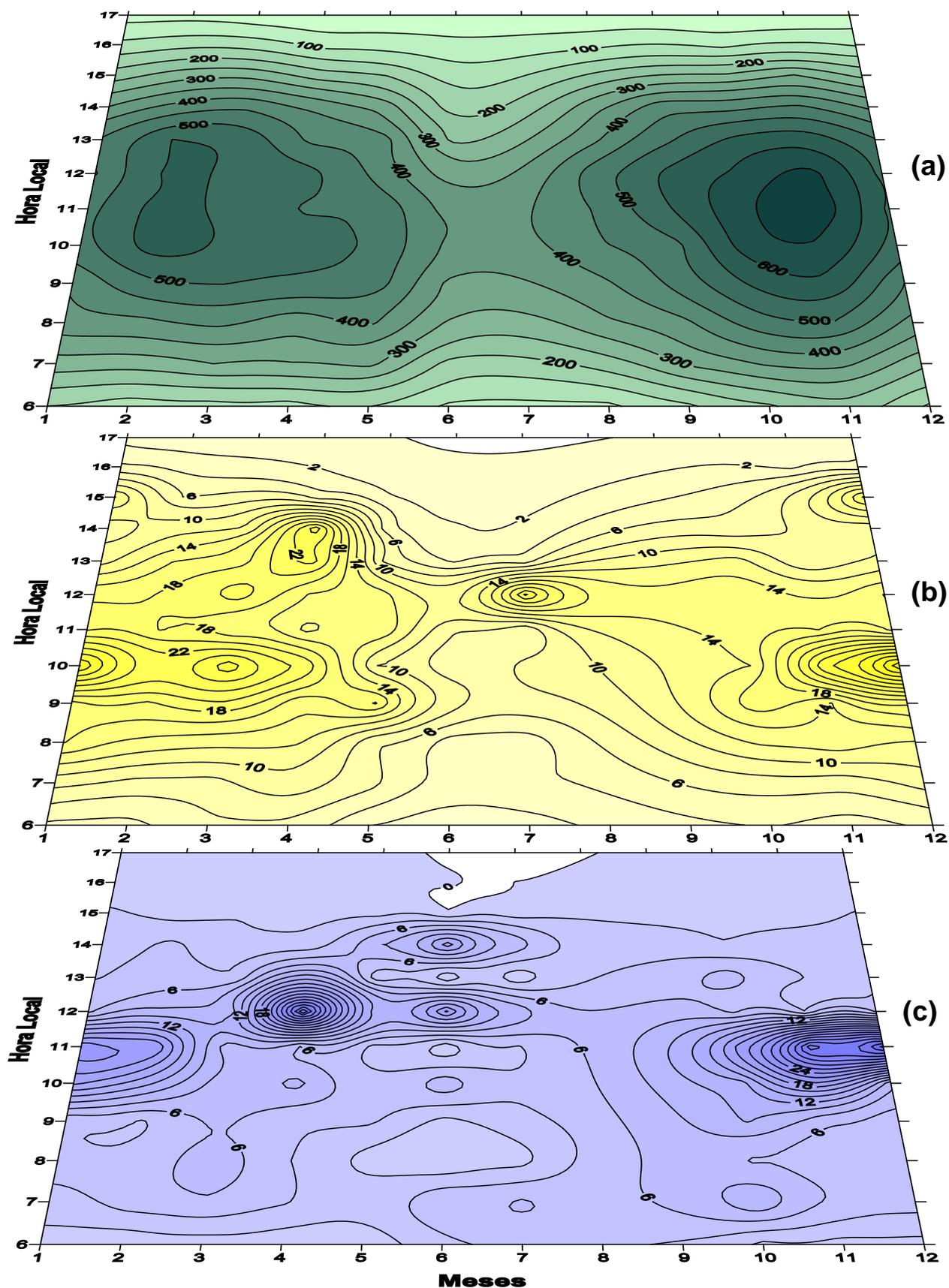


Figura 8. Variação temporal da Radiação Fotossinteticamente Ativa em três diferentes níveis: acima da floresta (PAR_Ext) (a); na copa das árvores (PAR_Copa) (b) e à superfície (PAR_Spf) (c) no período de outubro/2009 a setembro/2010.

4.2.3 Perfil vertical da Radiação Fotossinteticamente Ativa refletido na parte Externa (PAR↑_Ext) e à Superfície (PAR↑_Spf)

Analisando as curvas de Radiação Fotossinteticamente Ativa refletida na parte externa (PAR↑_Ext), notou-se que houve tendência sazonal característica, ou seja, com registros maiores ou menores em determinada estação (seca ou chuvosa) e intermediários nos períodos de transição (Figura 9a). Durante a época seca obteve-se médias superiores a 12 W m^{-2} . Leitão (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 época chuvosa ocorreu uma redução no PAR↑_Ext, inferior a $8,0 \text{ W m}^{-2}$, o que pode ser explicado pelo alto índice de umidade nas folhas, que as torna mais verde e aumenta não só o poder de absorção de radiação solar, como diminui a reflexão da mesma.

Nas primeiras e últimas horas do dia, ao longo do ano, constataram-se baixos registros de reflexão. Já o oposto foi visto nos horários próximos às 12 HL (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 refletido 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↑_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 já discutido no item a. 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↑_Spf, superiores a $1,0 \text{ W m}^{-2}$ (Figura 9b). Foi constatado anteriormente maior penetração da radiação solar incidente nesses mesmos horários. Diante desse fato e em conjunto com as características óticas (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 interior do dossel, como também a coloração mais escura das folhas secas, comum nessa época do ano.

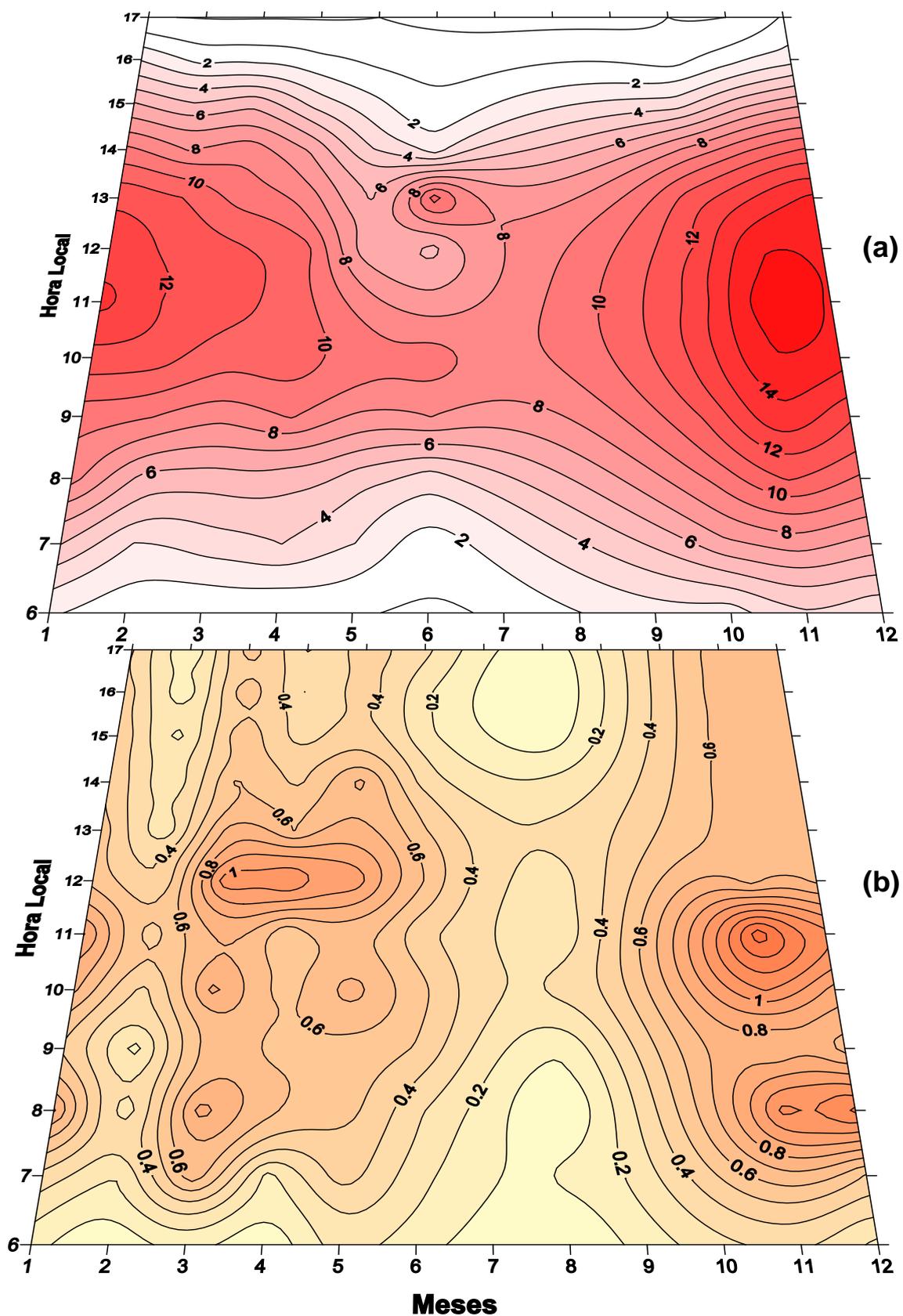


Figura 9. Variação temporal da Radiação Fotossinteticamente Ativa Refletida na parte Externa (PAR↑_Ext) (a) e no chão da floresta (PAR↑_Spf) (b) no período de outubro/2009 a setembro/2010.

4.3 Saldo de Radiação Fotossinteticamente Ativa Externo e próximo à superfície

A radiação solar é a mais importante fonte de energia para toda a biosfera. Na interação da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) que incide sobre uma superfície vegetada, parte dela é refletida de volta para a atmosfera, outra parte é absorvida pela vegetação. O saldo PAR à superfície é o resultado do balanço entre os fluxos radiativos incidentes e refletidos. O PAR é uma variável de entrada necessária nas aplicações que tratam da fisiologia das plantas, produção de biomassa e iluminação natural em estufas (Cássia-Silva, 2002). Para Pezzopane et al. (2000), no estudo envolvendo a interação entre radiação solar e a planta, é interessante analisar detalhadamente alguns componentes do balanço de PAR devido a sua influência sobre o processo de fixação de carbono pela planta. Para esta análise foram investigados dois períodos distintos, de acordo com o regime pluviométrico observado, um representando a época chuvosa (maio) e outro a época seca (novembro).

O saldo PAR_Ext tem um comportamento melhor definido do que o saldo PAR_Spf, apresentando melhor simetria ao longo do dia (Figuras 10a e b). Analisando o comportamento do Saldo da Radiação Fotossinteticamente Ativa (saldo PAR_Ext) notou-se que o mês de novembro foi superior a maio, alcançando registros médios de $666,26 \text{ W m}^{-2}$ às 11 HL (Figura 10a). No mês de maio o registro médio máximo foi de $480,34 \text{ W m}^{-2}$ às 10 HL. Esta diferença entre estes meses pode ser explicado em função da maior incidência de radiação solar na época seca. Ressalta-se que no mês de maio constatou-se uma redução de 28% em comparação a novembro, o que certamente foi acarretado pela presença das nuvens e chuvas.

O sistema florestal mais denso apresenta-se normalmente como um sistema fechado e com tendência a ter um balanço energético nulo. Verificou-se que o saldo PAR_Spf, em alguns momentos, obteve registros próximo a zero (Figura 10b), onde as médias horárias não ultrapassaram 10 W m^{-2} . Foi observado também que os picos máximos de saldo PAR_Spf ocorreram em horários distintos, tendo ocorrido às 11 HL (33 W m^{-2}) no mês de novembro e às 12 HL (10 W m^{-2}) no mês de maio. No período da tarde do mês de novembro o saldo PAR_Spf sofre forte redução, certamente porque a penetração da radiação solar no dossel de florestas é fortemente dependente da incidência direta na copa das árvores. Já no mês de maio foi observado algumas oscilações no saldo PAR_Spf, como já discutido na Figura 10a.

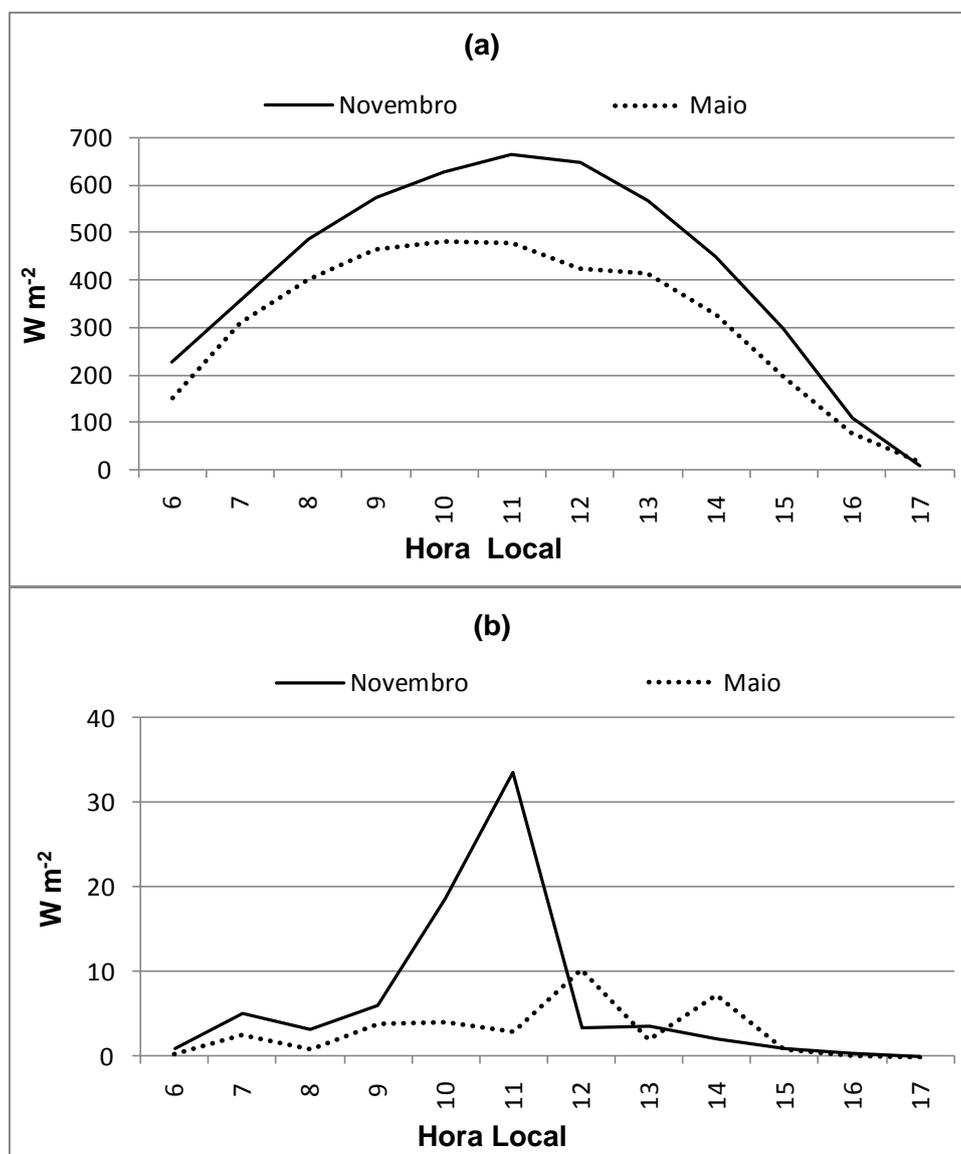


Figura 10. Ciclo do saldo da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) na parte externa (a) e na superfície (b) da floresta nos meses de novembro/2009 e maio/2010.

Para examinar detalhadamente o padrão do saldo PAR em situações extremas foram escolhidos dois dias de distintas épocas, seco e chuvoso. O primeiro dia (17/11) apresentou um dia claro, comprovado pelo K_t maior que 0,7 e, segundo o padrão da R_g , foi constatado pouquíssimos indícios de nuvens. Isso indica um curso normal do PAR_Ext durante o dia, onde seu pico máximo atingiu 738 W m^{-2} às 10:40 HL (Figura 11a), enquanto o saldo PAR encontrado para esse dia foi de $452,17 \text{ W m}^{-2}$. Isso é possível de acontecer, pois é nesse período que a disponibilidade energética é maior.

De acordo com as oscilações do R_g percebeu-se que o segundo dia analisado (03/06) mostrou-se bastante nublado (Figura 11b), o que favoreceu a baixa transmitância atmosférica com K_t em torno de 0,16 (indicando dia nublado). Ressalta-se que nesse dia houve precipitação com um total de 72,5 mm. Devido a isso notou-se muitas oscilações nos registros de PAR_{Ext} , alcançando picos máximos de 249 W m^{-2} entre 10 e 11 HL. Por conta dessas oscilações o saldo PAR teve uma queda de 89% com valor final de $79,42 \text{ W m}^{-2}$.

Notou-se que a quantidade de $PAR_{\uparrow Ext}$ para o dia 17/11 não ultrapassou a 20 W m^{-2} . Destaca-se que para o dia 03/06 esses valores foram nulos, implicando que quase toda a radiação incidente foi absorvida pelo dossel, como já discutido na Figura 9. Os valores do dia 17/11 foram próximos aos encontrados por Cássia-Silva (2002) em estudo realizado no sul do Pantanal – Mato Grosso do Sul, que apresentaram valores médios diurnos de PAR incidente (PAR refletido) para os dias claros de $241,82 \text{ W m}^{-2}$ ($18,43 \text{ W m}^{-2}$) e $247,30 \text{ W m}^{-2}$ ($15,64 \text{ W m}^{-2}$), para os respectivos anos de 1999 e 2000. E para o saldo PAR encontrado no ano de 1999, foram os seguintes: $223,39 \text{ W m}^{-2}$ para os dias claros; para dias nublados e parcialmente nublados $98,69 \text{ W m}^{-2}$ e para o período total $194,11 \text{ W m}^{-2}$. Para o ano de 2000 os resultados foram: dias claros $231,66 \text{ W m}^{-2}$; dias nublados e parcialmente nublados $87,16 \text{ W m}^{-2}$ e para o período total $202,83 \text{ W m}^{-2}$.

Ressalte-se ainda que a variação observada nos valores médios do saldo PAR, nos dois dias em questão pode ser explicada pela diferença de cobertura de nuvens entre os respectivos dias.

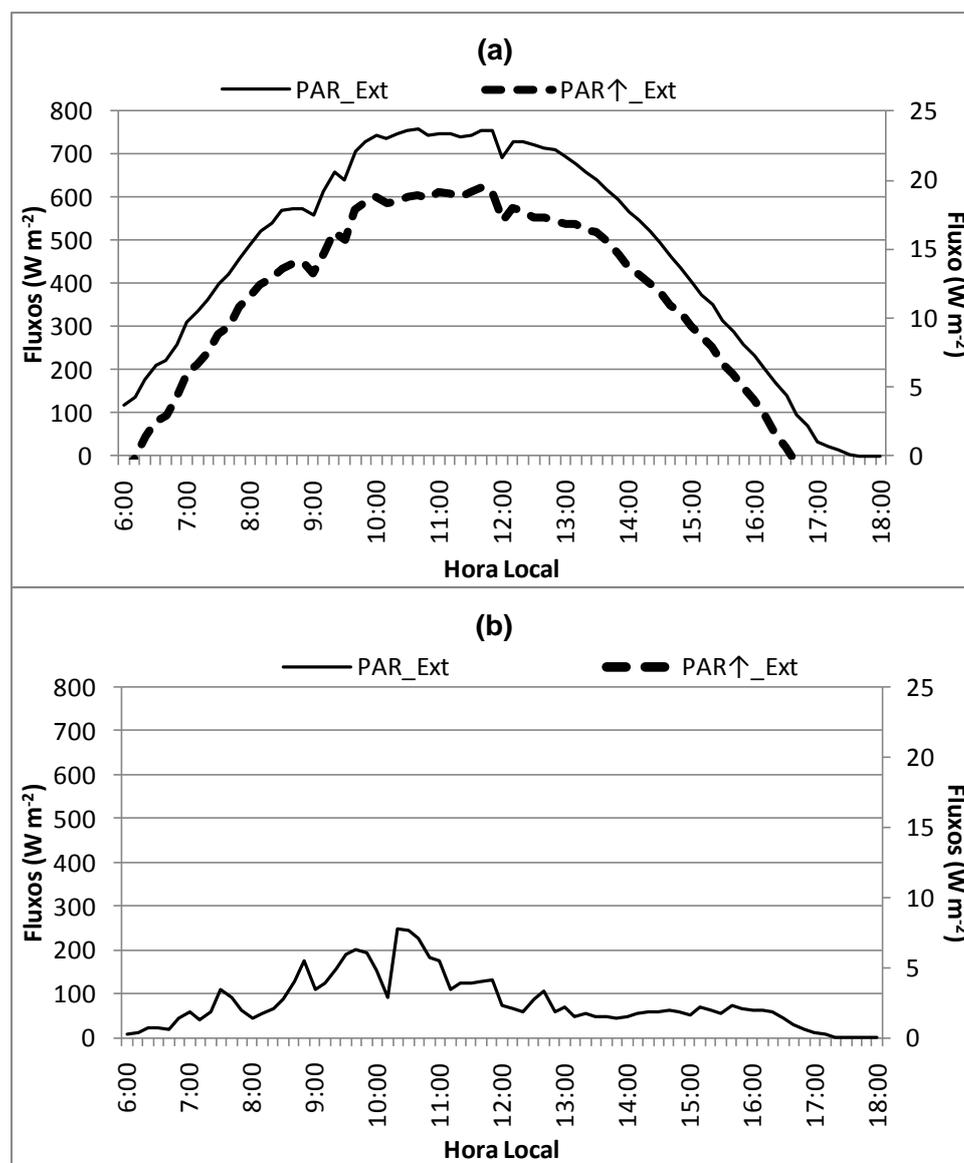


Figura 11. Comportamento da Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente e Refletida na parte externa da floresta nos dias de céu claro 17/11 (a) e nublado 03/06 (b)

4.4 Albedo da Radiação Fotossinteticamente Ativa (APAR)

De maneira geral, a média horária mensal do albedo da Radiação Fotossinteticamente Ativa Externa (APAR_Ext) se apresentou maior entre os meses de dezembro a março (Figura 12). Nas primeiras horas do dia observou-se aumento de APAR_Ext em torno de apenas 1,0%. Já ao longo do dia manteve-se praticamente constante.

Isso pode ser explicado pela maior rugosidade do dossel, que por sua vez causa múltiplo espalhamento da radiação em todos os ângulos zenitais (Correia, 2001).

Verifica-se que nos meses de dezembro e janeiro, entre 08 e 16 HL, o APAR_Ext obteve média acima dos demais meses estudados, permanecendo quase que constante, o que segundo Moura et al. (1999), ocorre porque a assimetria da curva do albedo para floresta não tem relação com o ângulo zenital, mas sim com a nebulosidade e a geometria da copa, bem como com o tipo de planta. Certificou-se também que nesse período foram observados picos máximos em torno de 2,8%. A partir de março notou-se redução no APAR_Ext, onde os maiores índices se encontram entre 10-12 HL, em torno de 2,0%, e apresentou leve redução, em torno de 0,2%, entre 13 e 15 HL. Ao entardecer, o APAR_Ext permaneceu praticamente constante, obtendo pouquíssima variação, além de apresentar menores índices.

Fazendo uma comparação sazonal, foi observada pequena variação do APAR_Ext. Os maiores índices de APAR_Ext foram observados na estação seca, com médias superiores a 2,0%, entre 10 e 13 HL, enquanto na época chuvosa foi de $\approx 1,5\%$, possivelmente devido a maior disponibilidade de água na vegetação, o que acarreta mais absorção. Moura (2001) encontrou médias de albedo PAR em torno de $3,6\% \pm 0,3\%$, na floresta Amazônica, enquanto Aguiar et al. (2006), para o mesmo local, encontraram valores médios de 5%.

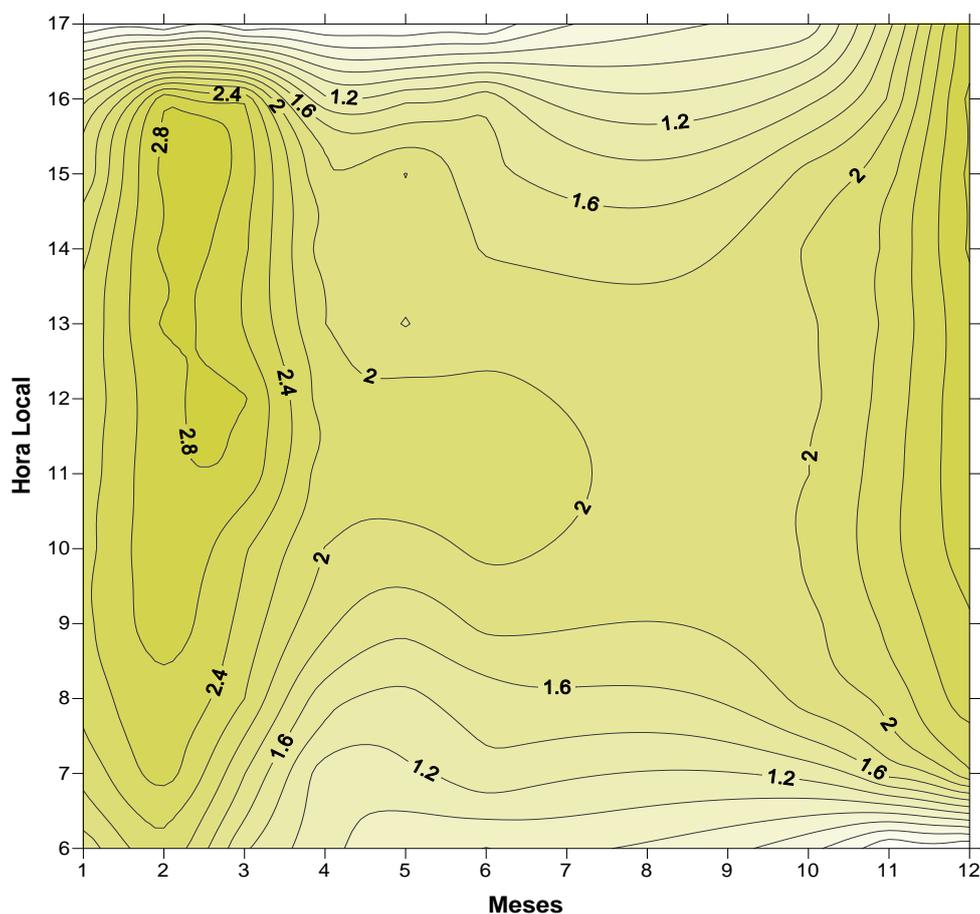


Figura 12. Variação temporal do albedo da Radiação Fotossinteticamente Ativa Externa (APAR_Ext) (%) no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.

4.5 Estimativas da Transmitância, Refletância e Fração PAR (f_{PAR})

De um modo geral, como esperado, a transmitância do dossel aumentou da época chuvosa para a seca. Para a transmitância de PAR entre o topo da torre a 2 metros (t_{topo-2}) observaram-se valores próximos a 1%, no início da época chuvosa, e de aproximadamente 2% na época seca (Tabela 2). Enquanto a $t_{topo-13}$ atingiu mínimos no início da época chuvosa, próximo a 2%, e máximos na época seca, superiores a 3%. Spolador et al. (2006), numa floresta de transição Cerrado-Amazônica, na época seca, encontraram médias de transmitância em torno de 1,5%, 2,7% e 1,3%, mas na época chuvosa essas médias foram de 2,5%, 3,2% e 1,8%, ambos nos respectivos anos de 2001, 2002 e 2003.

Entre novembro e janeiro (inseridos na época seca) a refletância (r) apresentou médias superiores a 2%, já nos meses de fevereiro a maio, as médias ficaram abaixo de 1,7%, as

quais foram inferiores àquelas encontrados por Vilani et al. (2007) numa floresta de transição (Amazônica-Cerrado), que apresentou máximos de 4,6% e 5,4% em junho de 2001 e 2003, respectivamente, mês da época seca, e máximo de 5,2% em dezembro de 2002, mês da época chuvosa. Senna et al. (2005), na floresta Amazônica (Santarém-PA), obtiveram refletâncias variando entre 2,7 a 3,3%. As maiores refletâncias obtidas na floresta de transição se devem, provavelmente ao fato da mesma ser menos densa que a investigada pelos autores.

A Fração PAR (f_{PAR_topo}) apresentou pouca variação ao longo do ano. No mês de dezembro foi 93,55% e em maio de 96,69%, com média anual de $\approx 95\%$. De acordo com Oliveira (2008) os maiores índices de f_{PAR} ocorrem no período de maio a junho coincidindo com a época chuvosa. Através de resultados obtidos por medições de campo numa floresta de transição Amazônica-Cerrado, Vilani et al. (2007) detectaram f_{PAR} de 92% (época de transição chuvosa-seca) e 94% (época seca). Já Senna et al. (2005) obtiveram 88,6% (época de transição seco-chuvoso) e 93,5% (época chuvosa), com média de 94,1% no período de junho/2000 a julho/2001. Contudo, no interior da floresta, a f_{PAR_Spf} apresentou algumas oscilações, com mínimo de 65,98% (maio) e máximo de 98,23% (outubro). Isso indicou que a f_{PAR_Spf} sofre forte influencia do ângulo solar zenital.

Tabela 2. Média mensal da transmitância (%) entre as alturas de 23m e 2m (t_{topo-2}), transmitância entre as alturas de 23m e 13m ($t_{topo-13}$); de refletância (r) na altura de 23m; e da Fração PAR de 23m (f_{PAR_topo}) e de 2m (f_{PAR_Spf}).

	Transm_med_mensal		Reflet_med_mensal	Fração PAR	
	t_{topo_2m} (%)	t_{topo_13m} (%)	r (%)	f_{PAR_topo} (%)	$f_{PAR_SUP.}$ (%)
Jan	1,57	4,00	2,39	93,61	77,70
Fev	1,26	3,05	1,69	95,26	88,83
Mar	1,32	3,36	1,66	94,99	73,27
Abr	1,77	3,66	1,69	94,65	75,84
Mai	1,03	2,01	1,30	96,69	65,98
Jun	-	-	-	-	-
Jul	-	-	-	-	-
Ago	-	-	1,52	-	91,23
Set	-	-	1,62	-	92,79
Out	2,03	2,82	1,73	95,45	98,27
Nov	1,88	2,33	2,08	95,59	74,61
Dez	1,84	3,77	2,68	93,55	84,99
Total	1,59	3,12	3,12	94,97	82,35

4.6 Fluxos em Função do Ângulo Zênital (Z)

4.6.1 Dias de menor Ângulo Zênital (Z) ao meio-dia

As elevações solares (conhecidas como ângulos zenitais) exercem fortes influências na intensidade de radiação solar. Nas primeiras e últimas horas do dia o ângulo incidente formado é máximo resultando em um maior caminho a ser percorrido pelos raios solares e, conseqüentemente, menor incidência de energia, ou seja, quanto mais próximo do meio dia, menor é o Z, possibilitando que uma maior quantidade de energia atinja a superfície.

Como o período de estudo abrange o ciclo de um ano, têm-se dessa forma duas passagens do Sol sobre o Zênite local. Essas passagens ocorrem nos meses de fevereiro e outubro, considerados meses de transição seco-chuvoso e início da época seca, respectivamente. O dia 10 de março foi escolhido de acordo com a classificação de nebulosidade (Kt) como dia claro, no intuito de examinarmos melhor a influencia do Z, principalmente ao meio-dia. A outra data escolhida foi o dia 23 de outubro, mês onde ocorre a segunda passagem do Sol sobre o zênite local e que marca o inicio da época seca. Nota-se na Figura 13a que o R_g_Ext e o PAR_Ext excederam 1.000 W m^{-2} e 700 W m^{-2} , respectivamente, fazendo com que o R_g_Ext atingisse valores próximos do encontrado para o máximo de radiação no topo da atmosfera (Figura 4). Certamente ocasionado pelo menor Z, o que possibilita incidência da radiação solar mais perpendicular e, conseqüentemente, menor caminho ótico.

Salienta-se que no segundo dia (23/10), segunda passagem do Sol pelo zênite local, o Kt foi superior a 70%, indicando céu claro (Figura 13c). Constatou-se que os padrões da R_g_Ext e PAR_Ext se mostraram semelhantes ao da Figura 13a. Foram registrados picos máximos de R_g_Ext em torno de 1110 W m^{-2} e de PAR_Ext próximos a 800 W m^{-2} . Notou-se ainda que entre 09:30 HL e 13 HL o R_g_Ext ficou acima ou igual a 1.000 W m^{-2} , enquanto que o PAR_Ext ultrapassou os 700 W m^{-2} . Em ambos os dias isso está associado ao fato de que durante a passagem do sol pelo zênite local um menor caminho ótico será percorrido pelos raios solares, proporcionando assim uma maior incidência de energia, como também por conta da condição da menor nebulosidade, pois segundo Cabús (2002) os meses de outubro e de novembro são os que apresentam menor nebulosidade durante o ano, além da maior contribuição da radiação espalhada pela atmosfera.

Foi investigado também o padrão do Rg e da PAR próximo ao chão da floresta para o dia 10/03 (Figura 13b). Observou-se que o R_g_Spf mostrou dois picos máximos, enquanto que a PAR_Spf apresentou varias oscilações, mas se mantendo praticamente estável após às

13 HL. Já no dia 23/10 (Figura 13d), verificou-se que o R_g_Spf e a PAR_Spf foram superiores no período da manhã, em relação ao dia 10/03, mas no decorrer do dia os registros não ultrapassaram 70 W m^{-2} . Notou-se várias oscilações de PAR_Spf e próximo ao meio-dia registrou-se o maior pico. Esses registros de PAR_Spf durante o dia equivalem a apenas 9% do PAR incidente no topo das árvores, o que indicou uma atenuação de 91% nesse dia e hora de máxima incidência. Isso evidencia a forte dependência que a radiação solar que chega ao chão da floresta tem em relação à dinâmica da estrutura do dossel e a posição do sol em relação à superfície.

Nos horários de maior Z, início da manhã e ao entardecer, verificou-se baixos valores de R_g e PAR. De acordo com Querino (2006), essa redução está relacionada com o caminho ótico externo, em consequência disso, uma maior camada de galhos e troncos a serem atravessada pelos raios solares, conforme já relatado.

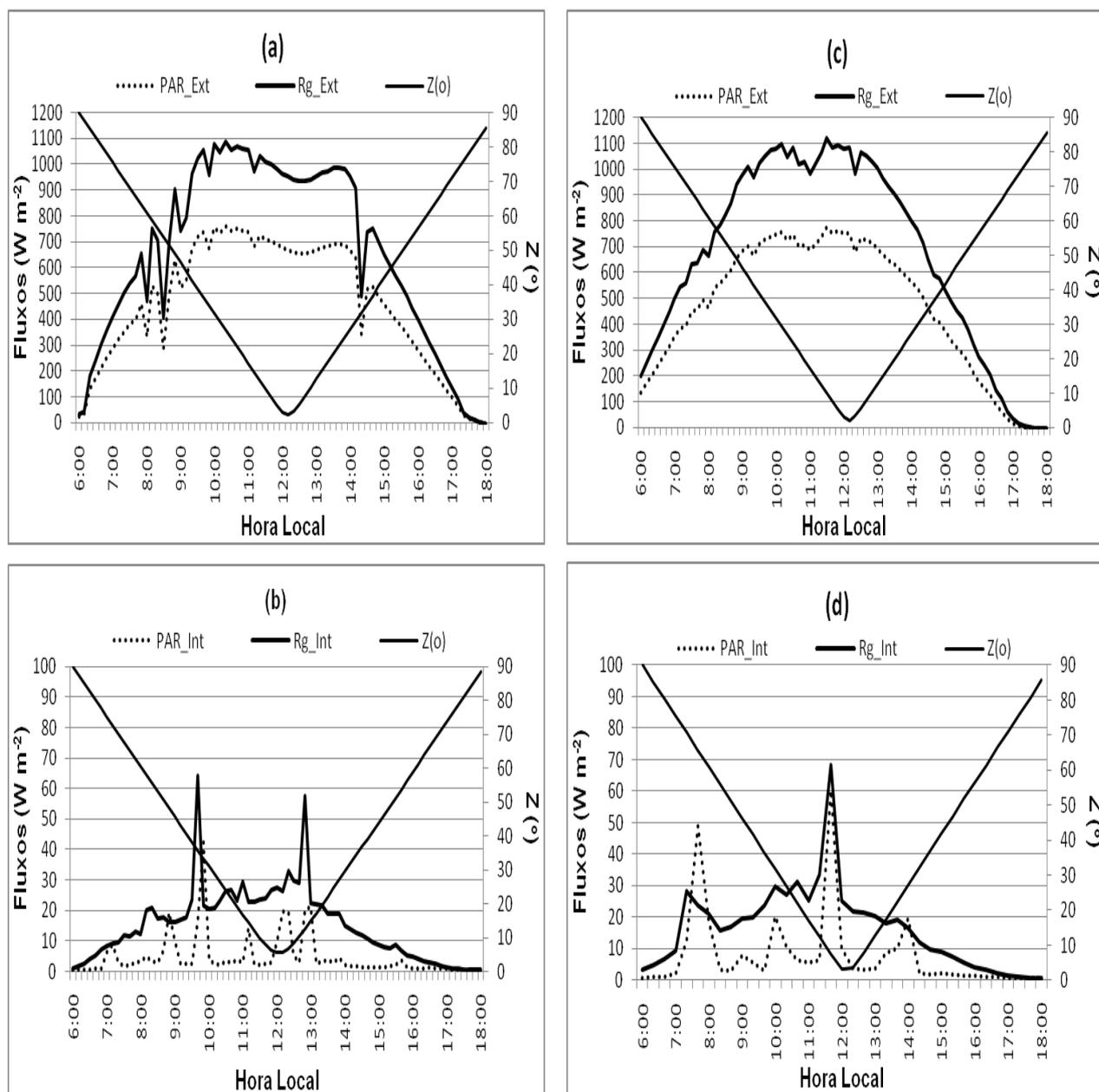


Figura 13. Comportamento da Radiação Solar Global Externa (Rg_{Ext}) e à superfície (Rg_{Spf}), e da Radiação Fotossinteticamente Ativa Externa (PAR_{Ext}) e à superfície (PAR_{Spf}) em função do Ângulo Zenital (Z), (a) e (b) dia 10/03, (c) e (d) dia 23/10.

4.6.2 Dias de maior Ângulo Zênital (Z) ao meio-dia

O dia 17 de junho foi escolhido para representar a época em que Z atinge o ângulo mínimo ao meio-dia. Salienta-se que nessa época do ano ocorre o solstício de inverno para o H.S. De acordo com a classificação de nebulosidade, este dia foi caracterizado como nublado a parcialmente nublado ($Kt = 0,33$), o que pode ser constatado pelas oscilações de Rg_{Ext}

(Figura 14a). Do início da manhã até aproximadamente 10 HL e após às 15 HL observou-se que os valores de Rg_Ext e de PAR_Ext ficaram abaixo de 300 W m^{-2} . Como já explicado, esses baixos registros estão associados à posição do Sol em relação à superfície e pela forte presença de nuvens, o que acarretou as oscilações dessas componentes. Já às 12 HL foram observados aumento das incidências de radiação solar. Esses aumentos se devem ao menor ângulo zenital e a maior transmitância atmosférica ($K_t = 0,57$), ocorrida nesse horário.

Verificando os máximos de Rg_Ext e Rg_Spf percebeu-se que houve redução de energia de 98% para o interior (Figura 14b). Notou-se também que o PAR_Spf apresentou valores muito baixos e em alguns momentos foram nulos. Essa forte redução foi ocasionada pela copa das árvores (galhos e folhas) que intercepta grande parte de radiação solar e/ou pelo maior teor de umidade nas plantas que aumenta o poder de absorção dessa radiação, como já discutido anteriormente.

As condições de incidência de luz no interior de uma floresta são muito diferentes das de um ambiente aberto. Sobretudo, podemos explicar alguns argumentos do que foi exposto. O primeiro seria os espaços na estrutura do dossel da floresta por onde passa a luz. O segundo seria o menor ângulo zenital solar que influenciam na penetração da radiação solar para o interior do dossel.

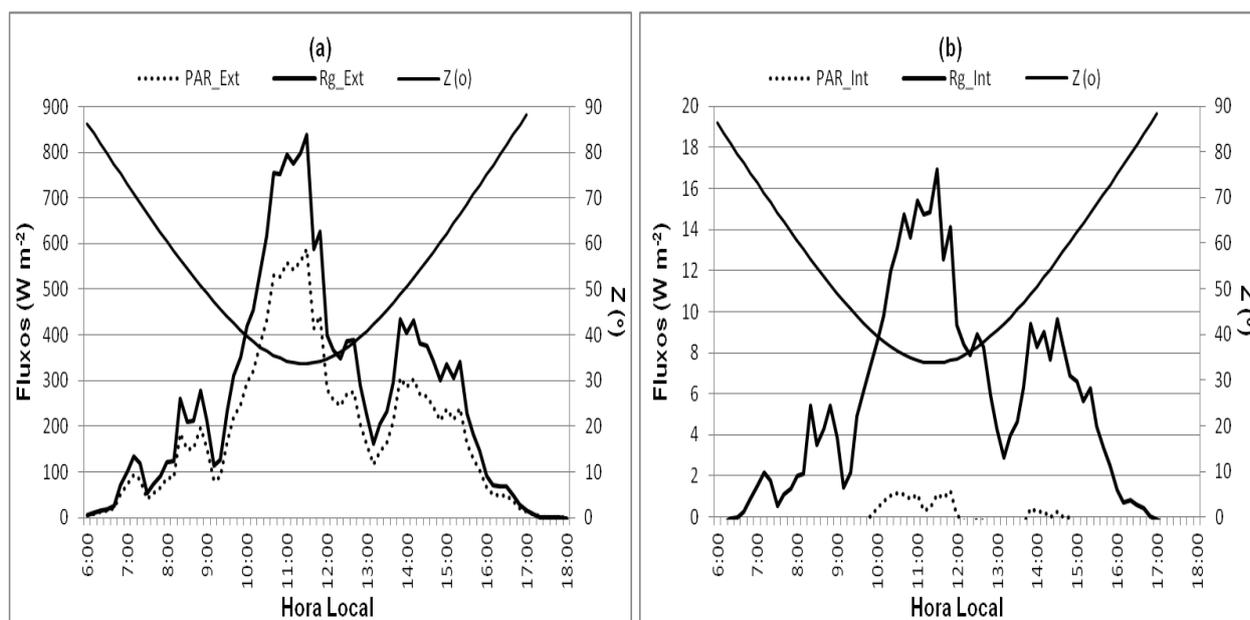


Figura 14. Comportamento da Radiação Solar Global Externa (Rg_Ext) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa Externa (PAR_Ext) (a), da Radiação Solar Global à superfície (Rg_Spf) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa à superfície (PAR_Spf) (b) ambas em função do Ângulo Zenital (Z), para o dia 17/06/2010.

5. CONCLUSÕES

Com base no que foi apresentado neste trabalho e das discussões realizadas, referentes às análises do comportamento da Radiação Solar Global (Rg) e na Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) em uma floresta de Mata Atlântica, pode-se concluir o seguinte:

- A Radiação Solar Global incidente (Rg e PAR) na parte externa apresenta crescimento mais acentuado no período matutino. Em épocas seca e chuvosa a PAR sofre redução de aproximadamente 33%, causado pela maior atenuação que as nuvens exercem sobre o mesmo, além de ser dependente do Z, sendo as maiores médias mensais no período de menor ângulo de incidência, ou seja, quanto maior o Z, menor é intensidade de radiação solar à superfície.
- A PAR no interior da floresta (tanto PAR_Copa como o PAR_Spf) apresenta maiores registros médios mensais na época seca. Contudo, na época chuvosa esses valores foram inferiores a 20 W m^{-2} . Essa redução ocorre por conta da maior absorção pelos galhos e folhas que apresentam maior teor de umidade, que tende deixar a vegetação com uma tonalidade mais escura e devido a um maior ângulo zenital (Z).
- Da quantidade total de energia (Rg e PAR) que incide sobre o dossel apenas 5% e 7%, respectivamente, atingem o chão da floresta, o que 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 refletâncias de PAR, tanto na parte externa como na interna, se mostraram maiores na época seca, como era de se esperar, com médias mensais superiores a 12 W m^{-2} , enquanto que na época 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 refletância de PAR interna, em relação à época 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 época chuvosa.
- O saldo PAR sofre grande influencia da nebulosidade, que dificulta a incidência de energia, como também da precipitação que interfere em sua refletividade, fazendo com que as folhas apresentem coloração de verde mais escuro aumentando sua absorção.

Em dias claros e nublados entre as épocas seca e chuvosa o saldo PAR apresentou diferença de aproximadamente 90%.

- Na época seca encontram-se os maiores índices de albedo PAR, enquanto que na época chuvosa observam-se os menores índices. O motivo seria porque o processo de reflexão da radiação solar é mais favorecido quanto maior for a inclinação dos raios solares em relação à superfície.
- A transmitância PAR se mostrou maior na época seca em comparação à época chuvosa, indicando uma relação direta com a nebulosidade. Os altos valores de refletância PAR são encontrados na época seca, período onde as superfícies foliares possuem tonalidade menos verde. Os valores médios da f_{PAR} obtidos foram superiores a 93%, enquanto que no interior da floresta apresentou grandes variações, entre 65% e 98%.
- Percebe-se também uma grande influência do Z na Rg_{Ext} e PAR_{Ext} , onde se verifica que quanto maior o Z, menor são os valores destas componentes, devido a um maior caminho ótico que os raios solares tem que percorrer para atingir à superfície.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para prosseguimento deste trabalho, sugere-se:

- Fazer análises de distribuição vertical de radiação solar no interior de ambientes de floresta. Isto porque, na Mata Atlântica, sendo praticamente inédita a configuração utilizada neste trabalho. Realizando medições durante a vigência mínima de um ano, para que possa fazer uma comparação entre a estação seca, com a finalidade de verificar as possíveis relações existentes com os resultados obtidos na estação chuvosa.
- Coleta de dados do balanço de radiação solar e do fluxo de calor no solo, necessários à estimativa da energia (fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente) disponível para a transferência de calor sensível e evaporação.
- Utilização das informações obtidas nesse trabalho e/ou nesse projeto, para quantificar a variabilidade sazonal e a contribuição das variáveis medidas, na possível impacto climático com a devastação desse bioma.

REFERÊNCIAS

- Ab´SABER, A. N. **Os domínios da natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 1ª Edição. São Paulo; Ateliê, 160p, 2003.
- ACKERLY, D. D.; BAZZAZ, F. A. Seedling crown orientation and interception of diffuse radiation in tropical forest gaps. **Ecology**, v. 76, n. 4, p. 1134–1146, 1995.
- AGÊNCIA FAPESP. Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo. Divulgando a cultura científica – Menor das Distâncias. Disponível em <http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro>. Acesso em: 24 out.2010.
- AGUIAR, L. J. G.; COSTA, J. M. N.; AGUIAR, R. G.; GOMES, V. Albedos em áreas de pastagem e de floresta no sudoeste da Amazônia. **Anais: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Florianópolis – SC. 2006.
- 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.
- APHALO, P. J.; BALLARÉ, C. L., On the importance of information acquiring systems in plant-plant interactions. **Functional Ecology**, v. 9, n. 1, p.5-14, 1995.
- BALDOCCHI, D.; JACOVIDES, C. P.; MCCREE, K. J. Seasonal variations in the radiation regime within an oak-hickory forest. **Agricultural For Meteorology**, Amsterdam, v.33, n.5, p.177-191, 1984.
- BALDOCCHI, D. D.; HUTCHISON, B. A.; MATT, D. R., McMILLEN, R. T. Seasonal variation in the radiation regime within an oak-hickory forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 33, n. 2-3, p. 177-191, 1984.
- BRUTSAERT, W. **Evaporation into the atmosphere**. Holland: Academic, 299p, 1982.
- CABÚS, R. C. **Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminances in North – East Brazil**. Tese (PhD em Arquitetura) – Universidade de Sheffield - School of Architectural Studies. Reino Unido. Cap.3, 14p, 2002.
- CANNELL, M. G. R; GRACE, J. Competition for light: detection measurement, and Quantification. **Canadian Journal Forest Research**, v. 23, p. 1969-1979, 1993.
- CARTER, R. E.; KLINKA, K. Variation in shade tolerance of Douglas fir, western hemlock, and western red cedar in coastal British Columbia. **Forest Ecology and Management**, v. 55, n. 1-4, p. 87-105, 1992.
- CARUZZO, A.; ROCHA, H. R. Estimativa do índice de área foliar (IAF) em regiões de pastagem e floresta com um método indireto (gap fraction) durante o experimento MC/LBA. **Anais**. In: do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Editora, Rio de Janeiro. p. 2478-2485, 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.

CHEN, J. M. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 80, n. 2-4, p 135-163, 1996.

CORREIA, F. W. S. **Estudo do balanço de radiação em área de policultivo na Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos. 137p, 2001.

DeLONG, S. C. The light interception index: a potential tool for assisting in vegetation management decisions. **Canadian Journal Forest Research**, v. 21, n. 7, p. 1037-1042, 1991.

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.

GENDRON, F.; CHRISTIAN, M.; COMEAU, P. G. Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 92, n. 1, p. 55-70, 1998.

GOWER, S. T.; KUCHARIK, C. J.; NORMAN, J. M.; Direct and Indirect Stimulation of Leaf Área Index, *Fapar*, and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, St. Paul, USA, v. 70, n. 1, p. 29-51, 1999.

GU, L.; FUENTES, J. D.; GARSTANG, M.; SILVA, J. T.; HEITZ, R.; SIGLER, J. Cloud modulation of surface solar irradiance at a pasture site in southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 106, n. 2, p. 117 – 129, 2001.

HEINISCH, H.; SÁLVIO, G. M. M.; HEINISCH, C. Corredores ecológicos e unidades de conservação como forma de minimizar os impactos da fragmentação da mata atlântica. **Anais: VIII Congresso de Ecologia do Brasil**. Caxambu – MG. 2007.

HERNANDES, J. L.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; BARDIN, L. Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no interior de floresta semidecídua. **Árvore**. v. 28, n. 2, p. 167–172, 2004.

HOYT, D. V.; SCHATTEN, K. H. **The role of the sun in climate change**. New York: Oxford University Press, 279p, 1997.

INÁCIO, T. **Potencial solar das radiações global, difusa e direta em Botucatu**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista – UNESP. 72p. 2009.

INPE – Instituto Nacional Pesquisas Espaciais. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**. Relatório parcial. São Paulo. 156p, 2009.

- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. New York: Academic Press, 390p, 1983.
- KNYAZIKHIN, Y.; MIEBEN, G.; PANFYOROV, O.; GRAVENHORST, G. Small-scale study of threedimensional distribution of photosynthetically active radiation in a forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 88, n. 1-4, p 215-239, 1997.
- KOLLING, E. M. **Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. 64p, 2001.
- KOUSKY, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, n. 9, p.1140-53, 1979.
- JANUÁRIO, M.; VISWAANA DHAM, Y.; SENNA, R. C. Radiação solar dentro e fora de floresta tropical úmida de terra firme (Tucuruí-Pará). **Acta Amazônica**. v. 22, n. 3, p. 335-340, 1992.
- LANG, A. R. G.; McMURTRIE, R. E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 58, n. 1-2, p.79-92, 1992.
- LEDRU, M. P.; ROUSSEAU, D. D., CRUZ JR., F.W.; RICCOMINI, C.; KARMANN, I.; MARTIN, L. Paleoclimate changes during the last 100,000 yr from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. **Quaternary Research**, v. 64, n. 3, p. 444–450, 2005.
- LEITÃO, M. M. V. B. R. **Balço de radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica: campina, campinarana e mata densa**. Tese (Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos. 153p, 1994.
- LIU, K. N. **An introduction to atmospheric radiation**. 2a edição. Academic Press-Los Angeles. 598p, 2002.
- LUTGENS, F. K.; TARBUCK E. J. **The atmosphere: an introduction to meteorology**, 6^a ed. New Jersey: Prentice Hall Inc., 462p, 1995.
- 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.; PACHÊCO, V. B. Radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta – Reserva Biológica do Cuieiras – ZF2, Manaus. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 4, p. 427-436, 2005.
- 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.

MARQUES-FILHO, A. O. Regime de radiação solar e características da vegetação – Modelos de inversão. **Acta Amazônica**, v. 27, n. 2, p. 119-134, 1997.

MARTENS, S. N.; USTIN, S. L.; ROUSSEAU, R. A. Estimation of tree canopy leaf area index by gap fraction analysis. **Forest Ecology and Management**, v. 61, n. 1-2, p. 91-108, 1993.

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.

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). **Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos**. Brasília: MMA/SBF, 40p, 2003.

MOLION, L. B. M.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; BENINCASA, 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, M. A. L. **Balanco de Radiação à superfície e fluxo de calor no solo em áreas de floresta nativa e pastagem no Oeste da Amazônia brasileira**. Botucatu, 2000. 118p. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP. 2000.

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.

MOURA, R. G.; MANZI, A. O.; NOGUEIRA, V. S.; MENDES, D. Comparação entre os perfis de radiação solar dentro de ambiente de floresta para dias com diferentes coberturas de nebulosidades. **Anais: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Rio de Janeiro – RJ. 2000.

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.

MYNENI, R. B.; HOFFMAN, S.; KNYAZIKHIN, Y.; PRIVETTE, J. L.; GLASSY, J.; TIAN, Y.; WANG, Y.; SONG, X.; ZHANG, Y.; SMITH, G. R.; LOTSCH, A.; FRIEDL, M.; MORISSETTE, J. T.; VOTAVA, P.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**. v. 83, n. 1-2, p. 214–231, 2002.

OLIVEIRA, L. M. T. **Estudo das regiões fitoecológicas brasileiras pela FAPAR/NDVI e relações com séries temporais de dados pluviométricos**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 208p. 2008.

PALVA, L.; GARAM, E.; SIIVOLA, E.; SEPPONEN, R.; HARY, P. Quantifying spatial variability of Photosynthetically active radiation within canopies using a multipoint measuring system. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.92, n. 3, p. 163-171, 1998.

PEIXOTO, J. P.; OORT, A. H. **Physics of climate**. New York: American Institute of Physics (AIP) Press, 520p, 1992.

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.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 478 p. 2002.

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.

PIERCE, L. L.; RUNNING; S. W. Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer. **Ecology**, v. 69, n. 6, p. 1762-1767, 1988.

PLANA-FATTORI, A.; CEBALLOS, J. C. **Glossário de termos técnicos em radiação atmosférica** versão2. 2009. Disponível em <<http://pituna.cptec.inpe.br:8080/radiacao/glossar/glossar.htm>> Acesso em 04 de maio de 2010.

PRADO-MOURA, F. B. **A Mata Atlântica em Alagoas**. Série conversando sobre ciências em Alagoas. EDUFAL. Maceió. 88p, 2006.

QUERINO, C. A. S. **Avaliação da radiação solar em ecossistemas de manguezal tropical em Alagoas, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. 97p, 2006.

RADIN, B. **Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo tomateiro cultivado em diferentes ambientes**. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre. 127p, 2002.

RICH, P. M.; CLARCK, D. B.; CLARK, D. A.; OBERBAUER, S. F. Long term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 65, n. 1-2, p. 107-127, 1993.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate the biological environment**. Ed. Wiley-Interscience, Estados Unidos, 495p, 1983.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia vegetal**. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 758p, 1994.

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.

SANTOS, C. B.; POLYDORO, L. A. Importância do estudo da radiação solar e nebulosidade na geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico. **Anais: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz do Iguaçu – PR. 2002.

SELLERS, P. J.; RANDALL, D. A.; BETTS, A. K.; HALL, F. G.; BERRY, J. A.; COLLATZ, G. J.; DENNING, A. S.; MOONEY, H. A.; NOBRE, C. A.; SATO, N.; FIELD, C. B.; HENDERSON-SELLERS, A. Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere. **Science**. v. 275, n. 5299, p. 502–509, 1997.

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.

SILVA, A. R. **Estudo observacional do regime de vento no Estado de Alagoas, nos períodos seco e de transição seco-chuvoso**. 2009. 64f. Monografia (Graduação em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, 2009.

SILVA-JÚNIOR, R. S.; MOURA, M. A. L.; MEIXNER, F. X.; KORMANN, R.; LYRA, R. F. F.; NASCIMENTO-FILHO, M. F. Estudo da concentração do CO₂ atmosférico em área de pastagem na região amazônica. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 22, n. 3, p. 605-611, 2005.

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.

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. **Anais: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Foz do Iguaçu – PR. 2002.

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.

TAVARES, P. S. **Observação e análise da radiação solar global e fotossinteticamente ativa na região de Maceió**. 2005, 42f. Monografia (Graduação em Meteorologia), Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió. 2005.

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.

WANDELLI, E. V.; MARQUES-FILHO, A. O. Medidas de radiação solar e índice de área foliar em coberturas vegetais. **Acta Amazônica**. v. 1, n 29, p.57-78, 1999.

WANG, Q.; ADIKU, S.; TENHUNEN, J.; GRANIER, A. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. **Remote Sensing of Environment**, v. 94, n. 2, p. 244-255, 2005.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v.11, n. 1, p.41-76. 1947.

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A. Índice de Área Foliar de Coberturas em uma Microbacia Hidrográfica Subtropical. **Scientia Agrícola**, v. 60, n. 3, p. 425-431, 2003.

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. doi:10.1016/j.rse.2004.08.015.