



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**INCIDÊNCIA, TRANSMITÂNCIA, REFLETÂNCIA, E FRAÇÃO
ABSORVIDA DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA EM UMA
FLORESTA DE TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNICA**

JONAS SPOLADOR
Mestrando

Dr^a LUCIANA SANCHES
Orientadora

Cuiabá. MT, abril de 2005



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**INCIDÊNCIA, TRANSMITÂNCIA, REFLETÂNCIA, E FRAÇÃO
ABSORVIDA DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA EM UMA
FLORESTA DE TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNICA**

JONAS SPOLADOR

Mestrando

*Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Física e Meio
Ambiente da Universidade Federal de
Mato Grosso, como parte dos requisitos
para obtenção de título de Mestre em
Física e Meio Ambiente.*

Dr^a LUCIANA SANCHES

Orientadora

Cuiabá. MT, abril de 2005

Spolador, Jonas

S763i Incidência, Transmitância, Refletância e Fração absorvida da radiação fotossinteticamente ativa em uma Floresta de Transição Cerrado-Amazônica/Jonas Spolador – Cuiabá: UFMT, 2005. 47p.

Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado (Dissertação) – Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente da UFMT.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Luciana Sanches.

1. FLORESTA AMAZÔNICA – Vegetação e Solo. 2. RADIAÇÃO – Solo – Floresta Amazônica. I. Título

CDD 504

CDU 53 : 630*237

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente

FOLHA DE APROVAÇÃO

INCIDÊNCIA, TRANSMITÂNCIA, REFLETÂNCIA, E FRAÇÃO
ABSORVIDA DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA EM UMA
FLORESTA DE TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNICA

JONAS SPOLADOR

Mestrando

Dissertação defendida e aprovada em _____ de _____ de 2005, pela
comissão julgadora:

Dr^a Luciana Sanches
Orientadora

Dr. José de Holanda Campelo Júnior
Examinador Interno
(UFMT)

Dr. Marcos Heil Costa
Examinador Externo
(UFV)

DEDICATÓRIA

- A Deus, manter viva a chama do amor pela vida e pelo sucesso;
- A minha esposa, ALINÉIA AUGUSTA DA SILVA SPOLADOR, pela compreensão, paciência e incentivo, durante essa jornada,
- Á LUCIANA SANCHES, orientadora, que me ajudou nos momentos em que fiquei sozinho e me acolheu.
- Á minha filha GIULIA HELENA AUGUSTO SPOLADOR.
- Á MARIA CÂNDIDA SPOLADOR, minha mãe que nunca deixou de acreditar e mim.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná), pela força, orientação e principalmente pelo incentivo, apoio pela amizade e carinho que tem pelos seus alunos.
- Ao Prof. Dr. Ademir José Conte, diretor Geral do CEFET-Cuiabá, que oportunizou o tempo necessário para a realização desse trabalho.
- Ao Prof. Willian de Paula, companheiro de trabalho e um grande amigo.
- Aos meus irmãos Jarbas, Joacir, Jair, José e Jairme, que sempre acreditaram e continuam acreditando em mim.
- À minha sogra, Maria Raimunda que muito orou por mim, para manter viva força de continuar lutando.
- A todos os meus colegas de trabalho no CEFET Cuiabá.
- Ao Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo, pela disposição e presteza em sempre esclarecer nossas dúvidas qualquer momento.
- Pela Prof^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, por nos acompanhar em toda trajetória de nosso curso e sempre disposta a nos ajudar.
- Ao Prof. Dr. José de Holanda Campelo Júnior, uma fonte de sabedoria sempre aberta para nos abastecer com seus conhecimentos.
- Ao Prof. Dr. Nicolau Priante Filho, pelo incentivo, ajuda e por sempre acreditar em nosso potencial e disponibilizar todos os seus conhecimentos para nosso crescimento intelectual.
- À Márcia Elisabete Klein, grande amiga de todas as horas, sempre enchendo de alegria nossa sala de estudos.
- À Márcia Martim Pereira Gallon, uma simpatia de amiga.
- À Gissele Baldissera, uma grande companheira de estudos, sempre disposta e alegre.
- Marina Meira Coelho, sempre divertida, alegre. Simplesmente inesquecível.
- Ao Marcelo Biudes, Júnior e Vinicius Scipriano, sempre passando seus conhecimentos para crescermos juntos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SÍMBOLO	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 - FLORESTA AMAZÔNICA	3
2.2 – RADIAÇÃO	6
2.2.1 – Grandezas Radiométricas	7
2.2.2 – PAR	8
2.2.3 – f_{APAR}	10
3 - MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	12
3.2.1 - Vegetação e Solo	12
3.2.2 – Clima	14
3.3 – INSTRUMENTOS E MÉTODOS UTILIZADOS	15
3.3.1 – Descrição dos Instrumentos e Métodos	15
3.3.2 – Processamento dos Dados	17
3.3.3 – Estimativa da f_{APAR}	18
3.3.4 – Estimativa do Ângulo Zenital (Z)	18
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 – PAR INCIDENTE	20
4.2 – TRANSMITÂNCIA	28
4.3 – REFLETÂNCIA	32
4.4 – ABSORTÂNCIA	34
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região compreendida como Amazônia Legal.....	4
Figura 2 - Cobertura vegetal da Amazônia Legal e do bioma Amazônia, 2001	13
Figura 3 - Aspecto da região de estudos em 23/08/2003. As árvores floridas são da espécie <i>Qualea paraensis</i>	14
Figura 4 - Torre micrometeorológica situada no sítio.....	16
Figura 5 - Posição dos sensores instalados na torre micrometeorológica.....	17
Figura 6 - Médias mensais da Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente no dossel, durante os três anos de estudo	20
Figura 7 - Médias horárias da Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente no dossel nas estações Úmida; Úmida-Seca; Seca e Seca Úmida	22
Figura 8 - Médias horárias da Radiação Fotossinteticamente Ativa refletida pelo dossel nas estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida	23
Figura 9 - Médias horárias da incidência da Radiação Fotossinteticamente Ativa a 20 metros de altura do solo, dentro do dossel, durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida	24
Figura 11 - Produção de liteira durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida.....	26
Figura 12 - Médias horárias da incidência da Radiação Fotossinteticamente Ativa no solo do dossel, durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida.	
Figura 13 - Médias horárias da Radiação Global Solar (RSd) e Fotossinteticamente Ativa incidente (PAR _i) durante as estações Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida e Úmida.....	27
Figura 14 - Relação entre Radiação Global Solar e Fotossinteticamente Ativa incidente nas estações Úmida-Seca, Seca, Seca-Úmida e Úmida.....	28
Figura 15 - Médias horárias da transmitância do topo do dossel até a altura de 20 metros, durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida.	30
Figura 16 - Médias mensais da transmitância do topo do dossel até o solo durante os três anos de estudo	30

Figura 17 - Médias horárias da transmitância do topo do dossel até o solo nas estações Úmida-Seca, Seca, Seca-Úmida e Úmida.....	31
Figura 18 - Médias horárias da refletância na superfície do dossel durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida	34
Figura 19 - refletância e transmitância do topo ao solo do dossel em função do ângulo zenital	37
Figura 20 - Precipitação mensal, transmitância do topo ao solo do dossel e refletância da radiação fotossinteticamente ativa.....	38
Figura 21 - Precipitação mensal e fração absorvida da radiação fotossinteticamente ativa.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características da estrutura do dossel	13
Tabela 2: Valores médios das PAR_i , PAR_{20} , PAR_o , PAR_r ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (média \pm SD) nas estações.....	21
Tabela 3: Valores médios da Radiação Global Solar ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (média \pm SD) nas estações	27
Tabela 4: Médias por estação de $t_{\text{topo-20}}$ e $t_{\text{topo-0}}$ (média \pm SD) nos anos de 2001 a 2003.....	29
Tabela 5: Médias por estação da r (média \pm SD) nos anos de 2001 a 2003.....	33
Tabela 6: Valores de f_{APAR} (média \pm SD) por estação.	35

LISTA DE SÍMBOLO

β	- Ângulo de elevação em relação ao horizonte
δ	- Declinação solar
ϕ	- Latitude Local
ρ_{AC}	- Refletância na parte superior do dossel
ρ_{BC}	- Refletância na parte inferior do dossel (solo)
AZ	- Ângulo azimutal
dap	- Diâmetro a altura do peito
f_{APAR}	- Fração Absorvida da Radiação Fotossinteticamente Ativa
f_{IPAR}	- Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa interceptada pelo dossel
H'	- Índice de Shannon-Wiener
J	- Dia juliano
J'	- Índice de Hurlbert
PAR_{ro}	- Radiação refletida parte inferior do dossel (solo)
PAR_{20}	- Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente a 20 metros de altura do dossel
PAR_i	- Radiação Fotossinteticamente ativa incidente na superfície superior do dossel
PAR_o	- Radiação Fotossinteticamente ativa incidente no solo
PAR_r	- Radiação Fotossinteticamente Ativa refletida pelo dossel
PAR_{rsolo}	- Radiação Fotossinteticamente Ativa refletida pelo solo do dossel
r	- Refletância da Radiação Fotossinteticamente Ativa na superfície do dossel.
Rad_i	- Fluxo de radiação solar incidente
Rad_o	- Fluxo de radiação solar transmitido para o interior do dossel
Rad_r	- Fluxo de radiação refletido
Rsd	- Radiação Global Salar
SD	- Desvio padrão
t	- Horário para o ângulo zenital
t_o	- Hora do Sol ao entardecer

$t_{\text{topo-20}}$	- Transmitância do topo a 20 de altura do solo
$t_{\text{topo-0}}$	- Transmitância da radiação PAR do topo do dossel ao solo
Z	- Ângulo zenital

RESUMO

SPOLADOR, J. **Radiação fotossinteticamente ativa, transmitância, refletância e f_{apar} em uma floresta de transição cerrado amazônica.** Cuiabá, 2005.62p. Dissertação (mestrado) – Física e Meio Ambiente. Universidade Federal de Mato Grosso.

A região da Amazônia é composta por vários ecossistemas com grande diversidade de vegetação. O estudo detalhado das variáveis micrometeorológicas é de suma importância porque permite melhores estimativas de índices de vegetação. O presente trabalho foi avaliar a variação sazonal da Radiação Fotossinteticamente Ativa, refletância, transmitância, absortância e variação da refletância e transmitância com o ângulo zenital no período de 2001 a 2003. O estudo foi realizado em uma Floresta Tropical de Transição Amazônica-Cerrado, situada a 50 Km da cidade de Sinop, norte estado de Mato Grosso, onde equipamentos de medidas micrometeorológicas estavam instalados em uma torre de 42 metros; pertencente ao Experimento de Grande Escala Biosfera Atmosfera na Amazônia (LBA). A variação sazonal da Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente, com maiores valores na estação Seca; 4,9% da radiação incidente no topo do dossel foi refletida e 2,1% atingiu o solo. A f_{APAR} apresentou um valor médio trienal de 0,932. A Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente na parte superior do dossel sofreu interferência da composição da atmosfera, a radiação incidente no interior do dossel estava relacionada com a estrutura do dossel e a refletância e transmitância, apresentaram variação com o ângulo zenital.

ABSTRACT

SPOLADOR, J. **Incidence, transmittance, reflectance and fraction absorbed of photosynthetically active radiation, cerrado-amazon transition forest.** Cuiabá, 2005, Dissertação (mestrado) – Física e Meio Ambiente. Universidade Federal de Mato Grosso.

The Amazon region consists of several ecosystems with great vegetation diversity. The study of the micrometeorological variable variations is of great importance that gives the best estimate of the vegetation rates. This work evaluated the incidence, reflectance, transmittance and absorbance of photosynthetically active radiation, reflectance and transmittance, and the transmittance and reflectance variation with a zenithal angle during the period from 2001 to 2003. The study was carried out in a Tropical Forest of the Amazon-Cerrado Transition, 50 Km from the city of Sinop, northern of Mato Grosso state, where the micrometeorological measuring equipments were installed on a 42 meter high tower; which belongs to the Large Atmosphere Biosphere Scale Experiment in the Amazon (LBA). There was a seasonal variation of the incident PAR, with higher values in the dry season. It was evidenced that 4.9% of the PAR incident in the canopy's top was reflected and 2.1% reached the soil. f_{APAR} presented a three year average value of 0.932. The incident Active Photosynthetical Radiation suffered the interference of the atmosphere composition and the canopy's structure.

1 - INTRODUÇÃO

A região da Amazônia consiste em uma área com uma alta diversidade de vegetação, que se estende por outros ecossistemas, pantanal, cerrado, floresta de transição (cerrado-floresta), floresta tropical úmida e que, devido às variações climáticas, desmatamento e ao uso da terra, proporcionando projetos de pesquisa que estão sendo conduzidos nesta área. Em uma floresta natural há uma variação no comportamento fisiologia das plantas devido às diferentes condições do micro-ambientes. Sabe-se que as condições de luminosidade sob o dossel são variáveis. Na floresta tropical de transição a luz condicionada sob o dossel muda também quando ocorre mudanças com a sazonalidade.

A disponibilidade de dados climáticos em diferentes escalas (diária, mensal e anual) é fundamental para se discutir a origem e a manutenção de diferentes ecossistemas florestais, para compreender aspectos de sua dinâmica e também para prever os efeitos de perturbações ou práticas de manejo. A radiação solar incidente é o fator primário que determina os processos físicos e biológicos num ecossistema; os níveis de radiação solar estão entre os principais fatores que determinam a distribuição espacial das espécies e a dinâmica das florestas. Dois fatores relacionados para definir a eficiência de uso da radiação por um ecossistema é a produção de matéria seca e a quantidade de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) absorvida ou interceptada pelo dossel, considerando-se que, em plantas sadias adequadamente supridas de água e nutrientes, a fotossíntese líquida é proporcional à quantidade de PAR absorvida pelo dossel.

Vários artigos investigam a fisiologia da vegetação que compõe as florestas tropicais úmidas, mas um número pequeno de trabalhos foi escrito sobre a Floresta de

Transição Amazônica-Cerrado, que ocupa o ecótono entre a floresta úmida da bacia central da Amazônia e a floresta tropical mais seca.

O monitoramento da superfície da terra, a detecção e a estimativa da quantidade da vegetação em tempo real são cruciais, pois fornecem informações importantes sobre a produtividade da vegetação. A seca e o impacto humano, tais como o desmatamento e a desertificação, têm efeitos severos no vigor dos dosséis, e podem conseqüentemente ser detectados como mudanças incomuns ou inesperadas (GOBRON, 2000). Devido à natureza do regime dos dosséis e da radiação, a Fração Absorvida da Radiação Fotossinteticamente Ativa (f_{APAR}) pode ser usada como uma quantidade mensurável, facilitando propor e projetar um índice da vegetação, que descreva o estado do sistema.

As técnicas desenvolvidas para parametrizar o campo radiativo e o sistema atmosférico estão relacionadas com a refletância do dossel e da terra para estudos climáticos, também para alimentar modelos de balanço energético global, para serem correlacionados com imagens de sensoriamento remoto e dados coletados.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a radiação fotossinteticamente ativa, refletância, transmitância, fração absorvida da radiação fotossinteticamente ativa e variação da refletância e transmitância com relação ao ângulo zenital.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - FLORESTA AMAZÔNICA

A bacia Amazônica contém aproximadamente 60% de toda a floresta tropical úmida global e tem um papel vital na biodiversidade mantendo a hidrologia, o clima regional e armazenamento terrestre do carbono (FEARNSIDE, 1999).

Cobrindo aproximadamente 5,5 milhões de Km², dos 7 milhões de Km² que compõem a bacia Amazônica, a floresta Amazônica distribui-se pela Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela. A floresta Amazônica engloba ainda 38% de florestas densas, 36% de florestas não densas; 14% de vegetação aberta, como cerrados e campos naturais e 12% coberta por vegetação secundária e atividades agrícolas. Possui temperaturas médias anuais entre 22 e 28°C, e o total de chuvas varia de 1400 a 3500 mm por ano, distribuídos de maneira a caracterizar duas épocas distintas: a seca e a chuvosa. Devido às precipitações e às temperaturas elevadas, os solos sofrem alterações em seu material de origem (minerais) e lixiviação em suas bases, tornando-se profundos e bem drenados, apresentando coloração vermelha ou amarela, pouco férteis e ácidos, caracterizando-se como:

- Oxissolo (latossolo) - excelente textura granular, baixíssima fertilidade natural, propriedade uniforme em sua profundidade, ocupando 45% da área.

- Ultissolo (pdzólico vermelho-amarelo) - horizonte de acumulação de argila, propriedade física menos favorável para agronomia e baixa fertilidade natural, ocupando 30% da Amazônia.

No Brasil, para fins de planejamento econômico, político e geográfico da região Amazônia, foi instituída, através Decreto Lei nº 1806 de 1953, a Amazônia Legal englobando os estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, Mato Grosso e do Maranhão e parte do Maranhão, a oeste do meridiano de 44° (Figura 1). A Figura 1 ilustra a região da Amazônia Legal.



Fonte: IBGE, 1997. IBGE, 2003

Figura 1 - Região compreendida como Amazônia Legal.

A região Amazônica é uma importante fonte de calor e vapor de água para a atmosfera global e tem um papel fundamental na circulação atmosférica global. Durante a estação chuvosa, a floresta Amazônica é uma importante fonte biogênica natural de gases traço, aerossóis e vapor de água para a atmosfera global (CRUTZEN & ANDREAE, 1990).

Nos últimos anos a Amazônia tem sido foco de atenção mundial em virtude dos possíveis efeitos que o desmatamento e queimadas em grande escala podem provocar no clima regional e global. MOLION (2002) observou que ao absorver carbono, a floresta está retirando esse gás da atmosfera contribuindo para minimizar o efeito estufa, e este seqüestro de carbono tem estreita ligação com as chuvas. MAYLE & BEERLING (2004) mencionam que na Floresta Tropical Úmida Amazônica, são estimadas para esclarecer aproximadamente 10% da produtividade preliminar do globo terrestre e 10% do carbono armazenado em ecossistemas terrestres. Entretanto, muitas questões necessitam da ampliação dos conhecimentos dos ecossistemas amazônicos, e partindo desta necessidade foi criado o Projeto “O Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA)”, que tem a participação de pesquisadores de vários países e tem como meta gerar novos conhecimentos para entender o funcionamento climatológico, ecológico, biogeoquímico e hidrológico da Amazônia, o impacto das mudanças no uso da terra nesses funcionamentos e as interações entre a Amazônia e o sistema biogeofísico global da terra (LBA, 2003).

Dos ecossistemas Amazônicos, as florestas de transição recebem especial atenção em função das trocas da massa e energia deste ecossistema serem em parte pouco conhecidos e quantificados. As florestas de transição ocupam uma faixa climática larga que separa a floresta de terra firme úmida da bacia central da Amazônia e da savana tropical mais seca (cerrado) (MURCA PIREZ, 1978). No noroeste do estado de Mato Grosso, se encontra uma região de transição entre o cerrado e Floresta Amazônica, denominada de Floresta de Transição ou Cerradão, com árvores perenes (28-30 m) e dossel fechado (VOURLITIS et al., 2001).

Considerando que o clima da região Amazônica é constituído pela combinação de vários fatores, sendo que o mais importante é a energia solar durante todo o ano. Estudos climáticos envolvendo radiação solar e terrestre são importantes, pelo fato de ser esta a principal fonte de energia para os processos físicos e biológicos na atmosfera (LEITÃO, 1994). Estudos em florestas de transição proporcionam melhor compreensão sobre sua influência e sua contribuição nas interações entre o clima e mudanças de cobertura vegetal.

2.2 – RADIAÇÃO

Praticamente toda a troca de energia entre a Terra e o resto do Universo ocorre por radiação, que é a única que pode atravessar o relativo vazio do espaço. O sistema Terra-atmosfera está constantemente absorvendo radiação solar e emitindo sua própria radiação para o espaço. Numa média de longo prazo, as taxas de absorção e emissão são aproximadamente iguais, de modo que o sistema está próximo ao equilíbrio radiativo.

A radiação solar recebida na superfície do solo, além de sua relevância a diversas atividades humanas diárias, desempenha um papel importante no crescimento e desenvolvimento de um ecossistema (ROSS & SULEV, 2000; PEREIRA et al., 2002) sendo a principal fonte de energia para processos físicos, biológicos e químicos, como, derretimento da neve, fotossíntese da planta, evaporação, crescimento da vegetação e é também uma variável necessária para que os modelos biofísicos que avaliam o risco de fogos da floresta, de modelos de simulação hidrológica e de modelos matemáticos de processos naturais (MEZA & VARAS, 2000).

Embora a atmosfera seja transparente à radiação solar incidente, somente em torno de 25% incide diretamente na superfície da Terra sem nenhuma interferência da atmosfera, constituindo a insolação direta. O restante é refletido de volta para o espaço ou absorvido ou espalhado em volta até atingir a superfície da Terra ou retornar ao espaço.

Quando a radiação solar se propaga na atmosfera terrestre, ela é atenuada pela dispersão (devido às moléculas e aerossóis) e pela absorção do ozônio, vapor d'água, oxigênio e dióxido do carbono. Particularmente a variabilidade no tempo e espaço é devida a parte do vapor d'água, nuvens sólidas assim como pelo conteúdo e propriedades das partículas ópticas dos aerossóis (MOTTUS et al., 2001).

O campo de radiação dentro de um dossel pode ser dividido em três componentes: (i) radiação solar direta que penetra através das aberturas na estrutura do dossel, (ii) radiação solar difusa que penetra através das aberturas na estrutura do dossel, (iii) a radiação complementar resultante da dispersão da radiação pela

folhagem e pelo solo. A magnitude destes componentes depende do tipo e características da floresta (PALVA et al., 1998). Medidas sistemáticas da qualidade de radiação solar em ecossistemas estão disponíveis desde 1950. A razão disto é que os padrões internacionais para medidas da radiação foram padronizadas.

A radiação solar pode ser calculada em qualquer ponto na atmosfera exterior da terra para cada dia do ano em função da latitude e da declinação solar. Entretanto, os gases e as nuvens introduzem mudanças na magnitude e na composição espectral da radiação solar. Os modelos empíricos para estimar a radiação solar global são uma ferramenta conveniente se os parâmetros puderem ser calibrados para posições diferentes. Estes modelos têm a vantagem de usar os dados meteorológicos que estão geralmente disponíveis (MEZA & VARAS, 2000).

2.2.1 – Grandezas Radiométricas

Quando se analisa a interação entre a radiação eletromagnética e a superfície terrestre se faz necessária a obtenção de medidas radiométricas. As medidas que descrevem o campo de radiação resultante da interação das diferentes superfícies em estudos é a refletância, transmitância e absortância.

- **Transmitância**

É a fração da energia radiante que, penetrando uma camada de faces paralelas de um meio, consegue atravessá-la. Também pode ser definida como a razão entre o fluxo de radiação solar incidida no interior de um dossel (Rad_o) e o fluxo de radiação incidente na parte superior do dossel (Rad_i), conforme equação 1.

$$t = \frac{Rad_o}{Rad_i} \quad (1)$$

A transmitância está relacionada com a fração de abertura do dossel, e é influenciada pelo ângulo zenital e quantidade de radiação difusa (GOWER et al., 1999).

- **Refletância**

Do latim **reflectu** + ância, é uma palavra da fotometria e trata-se da relação entre o fluxo luminoso refletido por uma superfície e o que incide sobre ela, ou seja, é a razão entre o fluxo de radiação refletido (Rad_r) por uma superfície pelo fluxo de radiação incidente (Rad_i), conforme equação 2.

$$r = \frac{Rad_r}{Rad_i} \quad (2)$$

A refletância indica a fração entre a radiação total refletida pela superfície e a radiação solar incidente. É um parâmetro importante no estudo da interação da radiação solar com a Terra. Mudanças antrópicas na cobertura da superfície e seu albedo afetam a fração de radiação solar refletida de volta ao espaço e portanto constituem uma importante variável radiativa do clima (KAUFMAN et al., 1998).

A refletância de uma superfície vegetada 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 do tipo de nuvens (AZEVEDO et al., 1990; LEITÃO, 2002). Para o caso de vegetação de floresta, como a folhagem é agrupada na copa, com picos e depressões organizados nas superfícies dos dosséis, uma quantidade de radiação solar incidente penetra antes de ser refletida (SHUTTLEWORTH et al., 1984).

2.2.2 – PAR

Há de se considerar que um dossel é constituído por vários elementos da própria vegetação, como folhas, galhos, frutos, flores e outros. Um fluxo de radiação incidente sobre qualquer um destes elementos estará sujeito aos processos de transmissão e absorção. As propriedades espectrais das folhas e de reflexões múltiplas entre elas fazem de dosséis vegetativos serem altamente absorventes de Radiação Fotossinteticamente Ativa ou Photosynthetically Active Radiation (PAR), no

intervalo do espectro visível (0,4 a 0,72 μm), e possui uma reflexão moderada na região próxima do infravermelho (0,72 a 4,0 μm). Quando a terra está sem cobertura vegetal, exibe geralmente um aumento gradual na reflexão da radiação entre 0,4 e 4,0 μm (SELLERS et al, 1997).

O regime da radiação, e mais especialmente a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), dentro dos dosséis de floresta tem um papel importante com relação às mudanças da arquitetura e as trocas de massa e energia da floresta com a atmosfera. Certamente, a PAR fornece a entrada da energia para os ciclos de carbono, do nitrogênio e da água das florestas: a disponibilidade do nitrogênio modera a capacidade fotossintética, a fotossíntese e a condutância estomática estão relacionadas, a condutância estomática que regula a partição da energia solar em fluxos sensível e latente, e outros. A PAR em um dado momento é dependente principalmente de dois fatores, posição do sol e a transmissividade da atmosfera. A posição do sol segue um alto padrão regular, que pode ser usado para estimativa do máximo potencial PAR de um dado momento e locação das condições de céu limpo (NÖJD & HARI, 2001).

A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), é a medição da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos. Essa medição representa o número de fótons incidente entre 400 e 700 nanômetros por metro quadrado por segundo. Esses fótons podem ser usados pelas plantas verdes para o processo de fotossíntese. A medição da PAR é realizada por meio de sensores que medem os fótons recebidos em todo o hemisfério (campo de visão de 180°).

Alguns modelos que descrevem a produção de biomassa usam dados instantâneos da PAR como uma importante variável da entrada. Esses modelos devem ser mais úteis ao testar as produções de biomassa por períodos longos. Entretanto, registros de medições da PAR instantâneas raramente estão disponíveis (NÖJD & HARI, 2001). Conseqüentemente, há uma necessidade para séries de tempo longas de medições da PAR.

2.2.3 – f_{APAR}

A evolução de ecossistemas terrestres é caracterizada por variáveis físicas, bioquímicas e fisiológicas, podendo, algumas delas, serem extraídas a partir de dados de sensoriamento remoto recolhidos no espaço com ótimo índice de aceitação, fazendo da Fração Absorvida da Radiação Ativa Fotossinteticamente (f_{APAR}) um ótimo indicador de status do dossel (GOBRON et al., 2000). Com isso a f_{APAR} é uma variável que pode ser usada para quantificar a presença da vegetação com uma ótima confiabilidade em uma escala global.

A Fração da Radiação Ativa Fotossinteticamente Absorvida (f_{APAR}) é a proporção da radiação solar fotossintética disponível que um dossel absorve, incidente na região espectral solar (aproximadamente 400 a 700 nm), definida pela razão $APAR/PAR_{in}$, onde PAR_{in} , em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou $\text{W m}^{-2} \text{d}^{-1}$, é a radiação incidente no topo do dossel e $APAR$, em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou $\text{W m}^{-2} \text{d}^{-1}$, é a radiação absorvida pelos tecidos fotossintetizantes do dossel (SENNA, 2004). Esta fração varia de 0,0 em terras sem cobertura vegetal próximo de 1,0 para vegetação em crescimento ativo. .

A radiação PAR absorvida pelas folhas verdes pode ser suficiente para se estimar a fixação do carbono do dossel (GALLO et al., 1993). Afortunadamente, os índices remotos de vegetação são mais bem relacionados com f_{APAR} (HALL et al., 1990).

Geralmente a f_{APAR} é medida com um método que utilize dados da $APAR$ medidos diretamente, a longo prazo. Entretanto, as medidas diretas de $APAR$ em locais experimentais podem ser desafiadores, especialmente em dosséis heterogêneos como as florestas (GOWER et al., 1999), onde as medidas instantâneas frequentemente podem sofrer interferências. A determinação da f_{APAR} depende da estrutura do dossel, quantidade de folhagem (LAI), ângulo zenital, proporção de radiação difusa e a refletância do solo (MARISCAL et al., 2000; NOUVELLON et al., 2000). Em florestas, adequadas amostragens espaciais são extremamente difíceis de obter. Algumas vezes o Índice de Área Foliar (LAI) é estimado e a f_{APAR} calculada, assumindo um modelo do dossel padrão é apropriado (GOWER et al., 1999).

A estimativa de f_{APAR} é definida como a fração da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) que é absorvida pelo dossel, utilizando a equação 3 (GOWER et al, 1999),

$$f_{APAR} = [(PAR_i - PAR_r) - (PAR_o - PAR_{ro})] / PAR_i \quad (3)$$

Onde, PAR_i é a radiação PAR incidente no topo do dossel, PAR_r é a radiação PAR refletida pelo dossel, PAR_o é radiação PAR incidente na parte inferior do dossel e PAR_{ro} é a radiação PAR refletida na parte inferior do dossel. Sendo ρ_{AC} a razão entre a radiação refletida e incidida pela superfície superior do dossel e ρ_{BC} a razão entre a radiação incidida na parte inferior e incidida na parte superior do dossel, equação 3 pode ser reescrita como:

$$f_{APAR} = [1 - \rho_{AC}] - [1 - \rho_{BC}](PAR_o / PAR_i) \quad (4)$$

O termo $PAR_o / PAR_i = 1 - f_{IPAR}$, onde f_{IPAR} é a fração de PAR interceptada no dossel. Estudos de interceptação de luz no dossel usam f_{IPAR} como f_{APAR} porque é mais facilmente calculada e aproximadamente os mesmos valores.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Este estudo foi desenvolvido no período de janeiro de 2001 à dezembro de 2003, sítio experimental a aproximadamente 50 km NE da cidade de Sinop, norte de Mato Grosso, Brasil, compreendido entre as coordenadas 55°30'0,0" e 55°0'0,0" O, e 10°45'0,0" e 11°15'0,0" S, pertencente à bacia do rio Teles Pires.

Na região em estudo está situada uma torre micrometeorológica (11°24.75'S: 55°19.50'O) pertencente ao projeto LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia). Esta torre metálica tem 42 metros de altura, e nela estão instalados equipamentos que monitoram constantemente o microclima deste local.

3.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.2.1 - Vegetação e Solo

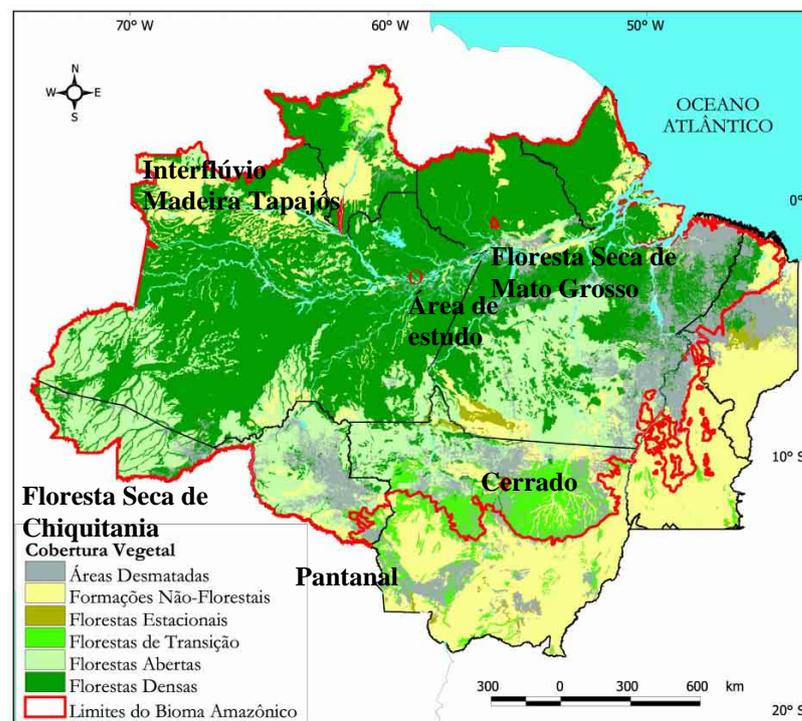
Esta área é constituída por uma floresta tropical de transição, que ocupa o ecótono entre a Floresta Amazônica e o cerrado. A Figura 2 apresenta as eco-regiões do estado de Mato Grosso. Na região em estudo, a vegetação consiste em espécies arbóreas, verde durante todo o ano, características da floresta de transição amazônica, como *Tovomita schomburgkii*, *Qualea paraensis* e *Brosimum lactescens*. Dois fatores determinantes para variações da fitofisionomia da vegetação são clima e solo, que tem variação de acordo com a geografia e de abundância das espécies dominantes. Nesta

região a diversidade é alta, embora menor do que a da floresta Amazônica situada em direção ao centro da Amazônia. As características da estrutura do dossel estão apresentadas na Tabela 1. Como indicativo da biodiversidade, pode-se apontar o índice de Hurlbert, calculado por reamostragem aleatória, $J' = 0,749 \pm 0,108$ (SULI et al., 2003). A Figura 3 ilustra o aspecto da vegetação nas proximidades da torre micrometeorológica.

Tabela 1: Características da estrutura do dossel.

Características do dossel	
Altura do dossel	28 m
Número de árvores (DAP > 0,1 m)	483 há ⁻¹
Área basal	22,45 m ² .há ⁻¹
Diâmetro médio (media das árvores estudadas)	21,00 cm
Rugosidade da superfície (zo)	2,35 m
Deslocamento do plano zero (d)	22,5 m

Fonte: Adaptado SANCHES et al. 2005, em preparação.



Fonte: Adaptado de IBGE, 1997; INPE, 2003; IBGE 2003.

Figura 2 - Cobertura vegetal da Amazônia Legal e do bioma Amazônia, 2001.



Fonte: SULI, 2004.

Figura 3 - Aspecto da região de estudos em 23/08/2003. As árvores floridas são da espécie *Qualea paraensis*.

O solo é classificado como um neossolo quartzarênico órtico típico A moderado álico, sendo um solo extremamente arenoso apresentando, na profundidade de 50 cm, textura com 83,6% de areia, 4,4% de silte e 2,2% de argila (PRIANTE FILHO et al., 2004). Estes solos são bastante arenosos, pobres em nutrientes, têm alta porosidade e drenam a saturação provocada por fortes chuvas rapidamente (num espaço de tempo compreendido entre 4 e 7 dias).

3.2.2 – Clima

A área de estudo é uma região de transição que apresenta uma sazonalidade característica. Nos últimos 30 anos, a temperatura média anual é de 24°C com pequena variação nas estações, e uma precipitação média de 2000 mm ano⁻¹. As características climatológicas da floresta de transição são similares à precipitação de floresta e cerrado, recebendo aproximadamente 200 mm a menos de precipitação anual que a floresta úmida e 500 mm a mais que o cerrado (VOURLITIS et al., 2002).

3.3 – INSTRUMENTOS E MÉTODOS UTILIZADOS

3.3.1 – Descrição dos Instrumentos e Métodos

Foram obtidas médias de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) por meio de quatro sensores (LI-190SB, LI-COR) instalados em diferentes alturas e posições. A Figura 4 ilustra a torre micrometeorológica com alguns sensores instalados. Três sensores foram dispostos com a face sensível apontada para cima, na altura de 42 m, denominada como PAR_i registrando os valores de PAR incidente total, Figura 5; outros dois sensores dispostos nas alturas de 20 e 1 m, denominados respectivamente como PAR_{20} e PAR_o , que registraram os valores de PAR incidente parciais, filtrados pela ação da dossel. O quarto sensor também a 42 m, estava disposto com sua face sensível apontada para baixo medindo a Radiação Fotossinteticamente Ativa Refletida (PAR_r).

A Radiação Solar Global (Rsd) foi medida por meio de um Piranômetro (LI-200SA Pyranometer Sensor) instalado à altura de 40 metros, ilustrado na Figura 5.

A temperatura foi medida por meio de um sensor (HMP-35, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland) instalado à altura de 40 metros.

Os dados diários de precipitação foram fornecidos pela estação meteorológica da Fazenda Continental localizada à aproximadamente 17 Km do local de estudo.

Os dados micrometeorológicos obtidos na torre foram armazenados por um sistema de aquisição de dados, em um Data Logger (CRX-10, Campbell Scientific, Inc, UT, USA), programado para fazer leituras das medidas a cada 30 segundos e depois armazenar uma média a cada 30 minutos. Em intervalos de 15 dias, esses dados armazenados em módulos de memória, foram coletados do Data Logger e transferidos para o disco rígido de um computador, para posteriormente, serem analisadas em planilhas do software Microsoft Excel®.



Fonte: VALENTINI, 2004.

Figura 4 - Torre micrometeorológica situada no sítio.

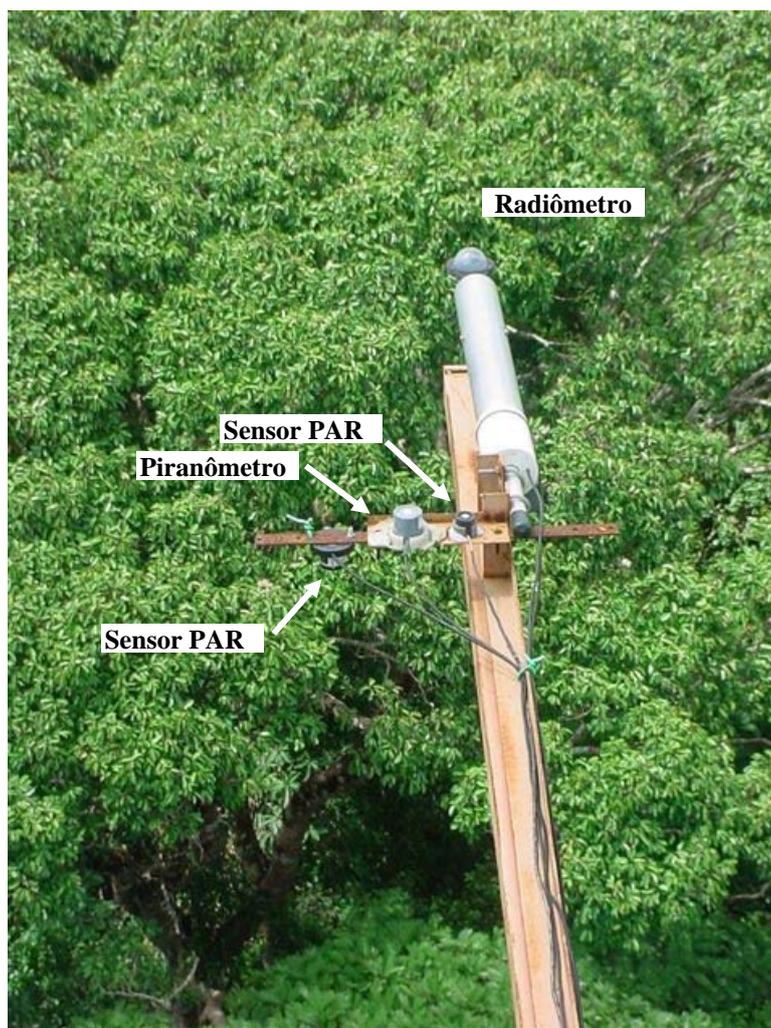


Figura 5 - Posição dos sensores instalados na torre micrometeorológica a 42 m.

3.3.2 – Processamento dos Dados

Os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos pelo Projeto do LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia). A instalação da torre micrometeorológica da região em estudo ocorreu no ano de 1999. Os sensores para medições de radiação fotossinteticamente ativa foram instalados em 2001. Os sensores foram nivelados e calibrados na instalação, e ao final de 2001 foi realizada uma nova calibração por comparação de valores com a instalação de outros sensores de radiação. Os dados das medições estão disponíveis no Programa de Pós Graduação em Física e Meio Ambiente, no Departamento de Física - UFMT.

Foram determinadas as variações médias diárias, mensais, estacionais e anuais das variáveis relativas ao objeto deste estudo (PAR_i , PAR_{20} , PAR_o , PAR_r e Rsd). Nos três anos de estudos, considerou-se que a região possui quatro estações durante o ano, Estação Úmida (dezembro, janeiro e fevereiro); Úmida-Seca (março, abril e maio); Seca (junho, julho e agosto) e Seca-Úmida (setembro, outubro e novembro). Considerou-se que a estação Úmida teve início no mês de dezembro e término em fevereiro do ano seguinte. Os dados do mês de dezembro de 2003 foram considerados apenas para obter as médias diárias e mensais, porque o referido mês pertence à estação Úmida com término em fevereiro de 2004; não incluídos neste estudo.

3.3.3 – Estimativa da f_{APAR}

A partir dos resultados das radiações fotossinteticamente ativas foram estimadas a refletância (r) e as transmitâncias entre as alturas 42 e 1 m; e 42 e 20 m, denominadas como t_{topo-0} e $t_{topo-20}$, respectivamente. A f_{APAR} foi estimada utilizando as equações 03 e 04 assumindo que a PAR refletida pela superfície do solo (PAR_{rsolo}) seja desprezível, conforme equação 5.

$$f_{APAR} = \frac{[(PAR_i - PAR_r) - (PAR_o - PAR_{rsolo})]}{PAR_i} \quad (05)$$

Podendo ser reescrita como a equação 6.

$$f_{APAR} = 1 - r - t_{topo-0} \quad (06)$$

3.3.4 – Estimativa do Ângulo Zenital (Z)

A localização do sol no céu é descrita em termos de sua altitude (β , ângulo de elevação em relação ao horizonte) ou ângulo zenital (Z , ângulo medido na vertical) e

seu ângulo azimutal (AZ, ângulo do norte verdadeiro ou sul medido no plano horizontal).

O ângulo zenital Z é relatado por $\beta = 90 - Z$ (graus) que depende da hora do dia, da latitude local e do período do ano que no presente trabalho foi calculado por:

$$\cos Z = \sin \beta = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos[15(t - t_o)] \quad (07)$$

Em que ϕ é a latitude do local de estudo, δ é a declinação solar, t é a hora e t_o é hora do por do sol.

Como a declinação solar varia de $+23,45^\circ$ no inverno a $-23,45^\circ$ no verão (em relação à linha do equador) pode-se calcular a declinação solar por:

$$\sin \delta = 0,39785 \sin[278,97 + 0,9856J + 1,9165 \sin(356,6 + 0,9856J)] \quad (08)$$

sendo J , dia juliano.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – PAR INCIDENTE

As médias mensais da PAR_i variaram entre $711,50 \pm 526,69$ e $1088,49 \pm 576,94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $758,31 \pm 552,11$ e $1018,64 \pm 596,51 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $681,84 \pm 498,25$ e $916,05 \pm 485,06 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, nos anos de 2001, 2002 e 2003, respectivamente, conforme Figura 6. Os dados são concordantes com os apresentados por SENNA (2004) que em uma Floresta Amazônica, Santarém-PA verificou médias mensais de PAR_i variando de 640 a $850 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

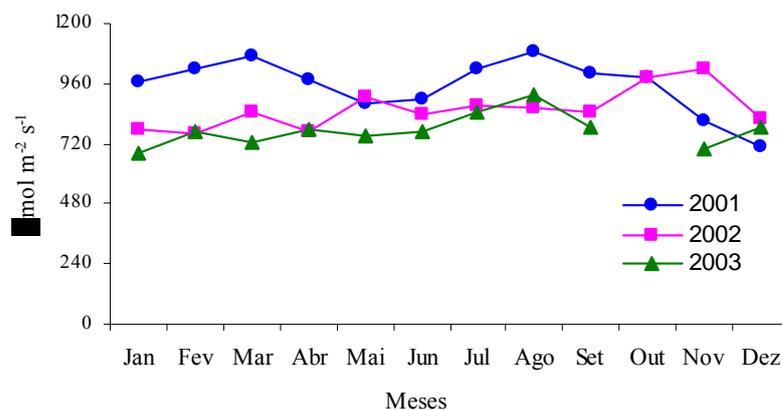


Figura 6 - Médias mensais da Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente no dossel, durante os três anos de estudo.

Os valores médios das PAR_i , PAR_{20} , PAR_0 e PAR_r nas estações dos anos de 2001, 2002 e 2003, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores médios das PAR_i, PAR₂₀, PAR_o, PAR_r ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (média \pm SD) nas estações. (A estação Úmida definida entre os meses Dez. Jan. e Fev; a Úmida-Seca, entre os meses Mar. Abr. e Mai; a estação Seca, entre os meses de Jun. Jul. e Ago. e a estação Seca-Úmida entre os meses Set. Out e Nov.)

Ano	Estação	PAR _i	PAR ₂₀	PAR _o	PAR _r
2001	Úmida	991,66 \pm 652,78		21,73 \pm 14,10	41,27 \pm 26,44
	Úmida-Seca	941,51 \pm 567,21		16,49 \pm 12,61	38,28 \pm 22,12
	Seca	1001,92 \pm 535,27		12,65 \pm 10,57	42,68 \pm 20,60
	Seca-Úmida	933,26 \pm 590,28		18,98 \pm 12,80	36,71 \pm 20,96
2002	Úmida	746,06 \pm 536,52		19,54 \pm 17,70	31,41 \pm 21,69
	Úmida-Seca	857,41 \pm 521,34		18,66 \pm 17,68	36,66 \pm 21,81
	Seca	858,65 \pm 462,41		13,20 \pm 15,65	39,34 \pm 18,89
	Seca-Úmida	939,86 \pm 569,51	148,84 \pm 196,16	17,23 \pm 14,92	48,62 \pm 23,51
2003	Úmida	773,86 \pm 533,55	109,12 \pm 145,18	11,58 \pm 10,25	39,01 \pm 23,43
	Úmida-Seca	760,45 \pm 495,08	149,86 \pm 208,47	17,06 \pm 16,37	37,88 \pm 19,74
	Seca	859,60 \pm 464,77	159,19 \pm 262,87	9,59 \pm 13,68	43,37 \pm 19,65
	Seca-Úmida	753,85 \pm 509,28	88,45 \pm 112,73	7,22 \pm 8,55	36,92 \pm 22,24

Observou-se que os valores médios de PAR_i e PAR_r foram maiores na estação Seca para os anos de 2001 e 2003, e maior na estação Seca-Úmida no ano de 2002. Os menores valores médios foram na estação Seca-Úmida nos anos de 2001 e 2003, e na estação Úmida para o ano de 2002. A ocorrência de maiores valores de PAR_i nas estações Seca e Seca-Úmida pode ser devido ao fato de haver uma menor nebulosidade nestas estações, apesar da região em estudo apresentar neste período um aumento de aerossóis e partículas que poderiam ter influência na PAR. Os maiores valores de PAR_i na estação Seca estão de acordo com os apresentados por AGUIAR (2005) em seu estudo na Floresta Amazônica, em Ji-Paraná-RO; e por SENNA (2004) em Floresta Amazônica, em Santarém-PA.

As florestas tropicais úmidas na bacia Amazônica apresentam uma sazonalidade na radiação fotossinteticamente ativa geralmente com os maiores valores na estação seca e menores na estação úmida (XIAO et al., 2005).

A Figura 7 apresenta as médias horárias nas estações nos anos de 2001-2003. Observou-se que a PAR_i teve um comportamento análogo para todas as estações, apresentando maiores médias horárias no intervalo de 11:00h as 13:00h. Verificou-se que nas estações Úmida e Seca em determinado horário, ocorreu uma pequena redução na incidência da PAR_i , próximo ao horário da 12:00h, nos anos de 2001, 2002 e 2003. Na estação Úmida possivelmente devido à nebulosidade, e na estação Seca devido à concentração de aerossóis. AGUIAR (2005) investigando os fluxos de energia no ciclo diurno em estações Seca e Úmida, em uma Floresta Amazônica, Ji-Paraná-RO, observou valores máximos de PAR_i de 1466 e 1277 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, nos horários de 12:00h e 13:00h, respectivamente. KING et al. (1999) em um estudo de aerossóis na troposfera por sensoriamento remoto, afirmou que a luz pode ser dispersa por uma única partícula de aerossol ou por uma série de eventos, e que a absorção por gases e por partículas de aerossóis depende do ângulo de incidência da luz.

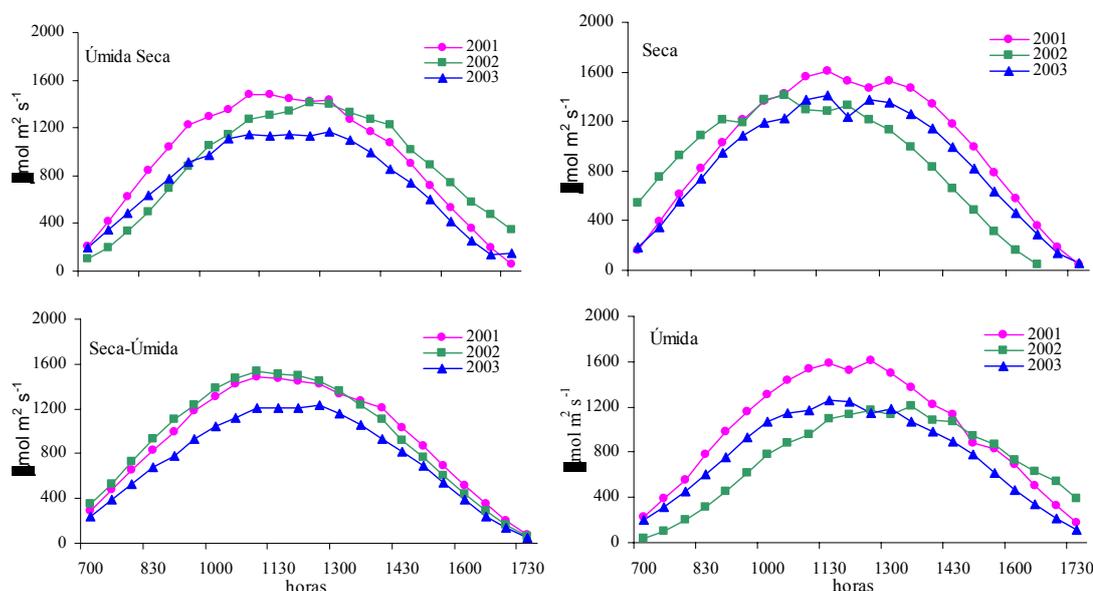


Figura 7 - Médias horárias da Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente no dossel nas estações Úmida; Úmida-Seca; Seca e Seca Úmida.

A Figura 8 apresenta as médias horárias da PAR_r nas estações nos anos de 2001-2003. Houve assimetria de uma para outro nas estações Úmida e Úmida-Seca, no ciclo diurno com oscilações podendo estar associadas a vários fatores como molhamento foliar, heterogeneidade da vegetação ou aumento da fração de radiação difusa, devido ao aumento da nebulosidade. A Figura 9 apresenta o comportamento da

PAR₂₀ no ciclo diurno nas estações nos anos 2002 e 2003. Os dados da PAR₂₀ foram coletados a partir de agosto de agosto de 2002. Verificou-se que nas quatro estações, ocorreu uma maior incidência da PAR₂₀, em dois momentos no decorrer do dia, possivelmente devido ao posicionamento do sensor PAR e a existência de pequenas clareiras.

Os valores médios da PAR₂₀ em 2003 apresentaram o maior valor de $159,19 \pm 262,87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na estação Seca e menor $88,45 \pm 112,73 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na estação Seca-Úmida (Tabela 2).

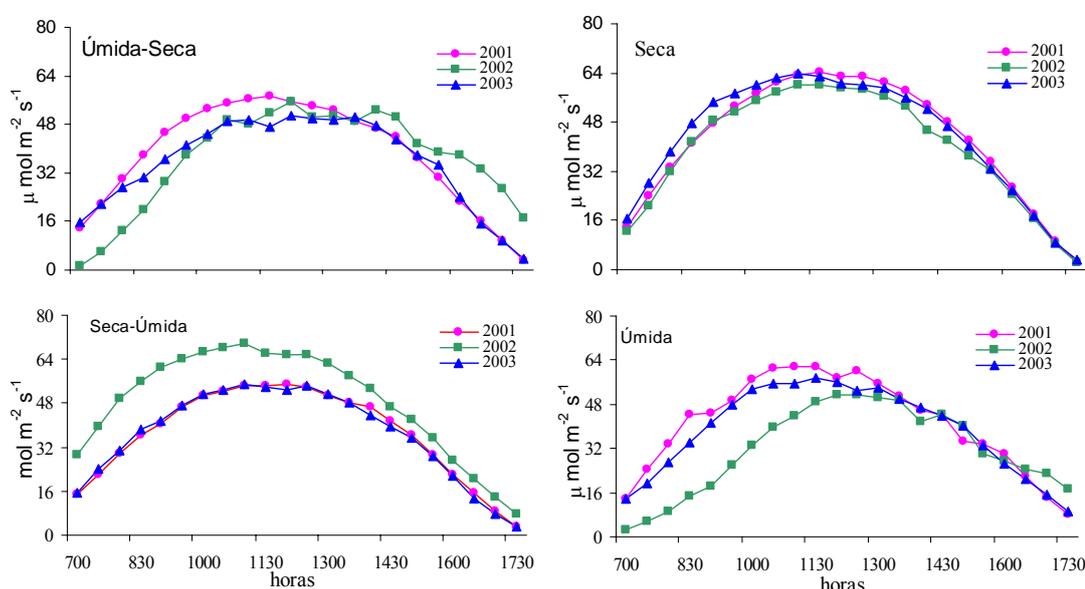


Figura 8 - Médias horárias da Radiação Fotossinteticamente Ativa refletida pelo dossel nas estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida.

No ciclo diurno com a mudança da inclinação solar a incidência da PAR pode atingir pequenas clareiras na estrutura superior do dossel, permitindo uma maior penetração da PAR em determinados pontos em diferentes horários. Na estação Seca-Úmida verificou-se uma diminuição dos valores médios nas estações da PAR₂₀ de 2002 a 2003 (Tabela 2). Pela Figura 9, durante a estação Úmida, notou-se que houve uma redução nos valores médios horários da PAR₂₀, podendo ser atribuído ao fato da redução da PAR_i no mesmo período e/ou a dinâmica da estrutura do dossel (heterogeneidade da vegetação, clareiras, crescimento vegetativo, por exemplo).

Os valores médios sazonais da PAR_o estão apresentados nas Tabela 2 e Figura 10. Os valores médios da PAR_o foram maiores na estação Úmida, diminuindo até a estação Seca; na estação Seca-Úmida houve um aumento, para os anos de 2001 e 2002.

SANCHES et al. (2005, em preparação), investigaram no mesmo local estudado a produção de liteira nos anos de 2001 a 2003, e verificaram uma maior produção nas estações Seca e Seca-Úmida, conforme Figura 11. A importância do regime da radiação é enfatizada pela sua relação a produção da matéria seca que é principalmente dependente da: (i) PAR que entra no dossel; (ii) da fração da PAR interceptada pelas folhas; (iii) a eficiência de seu uso para a produção da matéria seca (GASTELLU-ETCHEGORRY & TRICHON, 1998).

BARBOSA JUNIOR et al. (2004) verificaram na mesma região de estudo no ano de 2003 que o IAF apresenta uma variação sazonal não sendo proporcionalmente uniforme na estrutura do dossel, apresentando menores valores na estação Seca.

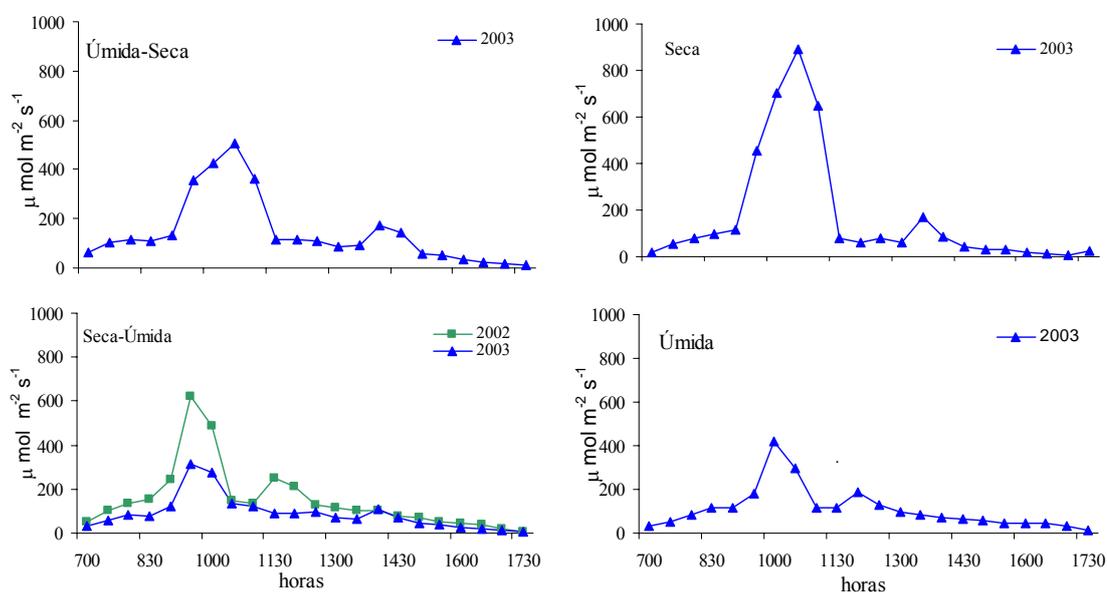


Figura 9 - Médias horárias da incidência da Radiação Fotossinteticamente Ativa a 20 metros de altura do solo, dentro do dossel, durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida.

Esperava-se que a PAR_o apresentasse as maiores incidências nas estações Seca e Seca-Úmida devido a maior abertura do dossel, entretanto, as médias da PAR_o nas estações Seca e Seca-Úmida apresentaram valores menores. Possivelmente a causa

tenha sido decorrente do maior ângulo zenital na estação Seca, onde a PAR_o ao atravessar o dossel chega ao solo com menor intensidade. No ano de 2003, os valores médios da PAR_o não apresentaram o mesmo comportamento que nos anos anteriores, apresentando valores maior e menor na estação Úmida-Seca e Seca-Úmida, respectivamente.

Um importante fato não considerado em estudos de estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida por meio da refletância espectral do dossel é o padrão de heterogeneidade horizontal da vegetação (ASNAR et al., 1992). Os resultados destes trabalhos que envolvem as características estruturais da vegetação e processos de funcionamento com a determinação de uma quantidade de absorção da PAR são frequentemente decepcionantes no sentido que as relações obtidas com uma área do estudo não podem ser válidas para uma outra área do estudo, ou uniformizam com o mesmo local sob condições diferentes de vegetação ou configurações diferentes de iluminação ou de visão. Muitos resultados foram obtidos com estudos empíricos, e a variabilidade destas relações são difíceis de serem explicados e preditos (GASTELLU-ETCHEGORRY & TRICHON, 1998).

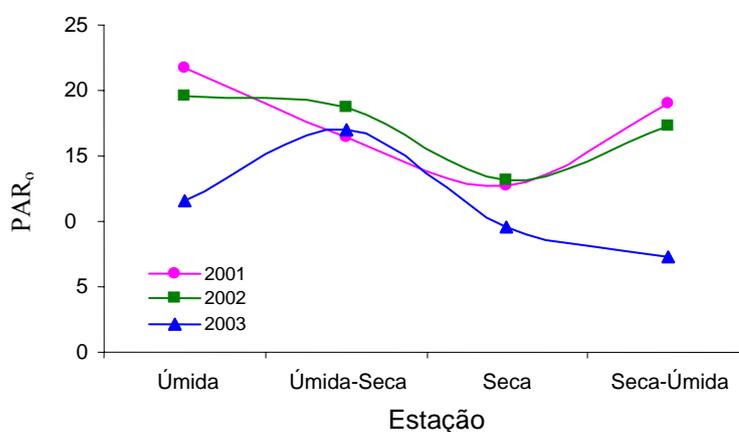
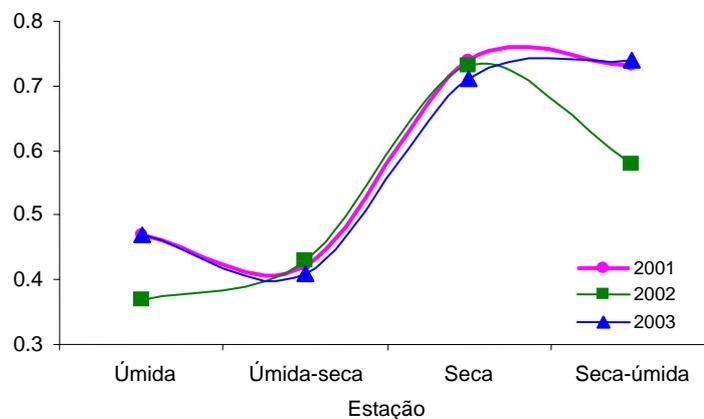


Figura 10 - Média sazonal da Radiação Fotossinteticamente Ativa incidida no interior do dossel.

A incidência da PAR no interior do dossel pode sofrer a influência de outros fatores como a dinâmica da estrutura do dossel. Essa influência pode ser novamente constatada na Figura 12 que mostra as médias horárias nas estações nos anos de 2001-

2003 onde a PAR_0 apresenta oscilações no ciclo diurno. Dos componentes da Radiações Fotossinteticamente Ativa a PAR_0 apresentou as maiores oscilações



Fonte: Adaptado de SANCHES et al, 2005 em preparação.

Figura 11 - Produção de liteira durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida.

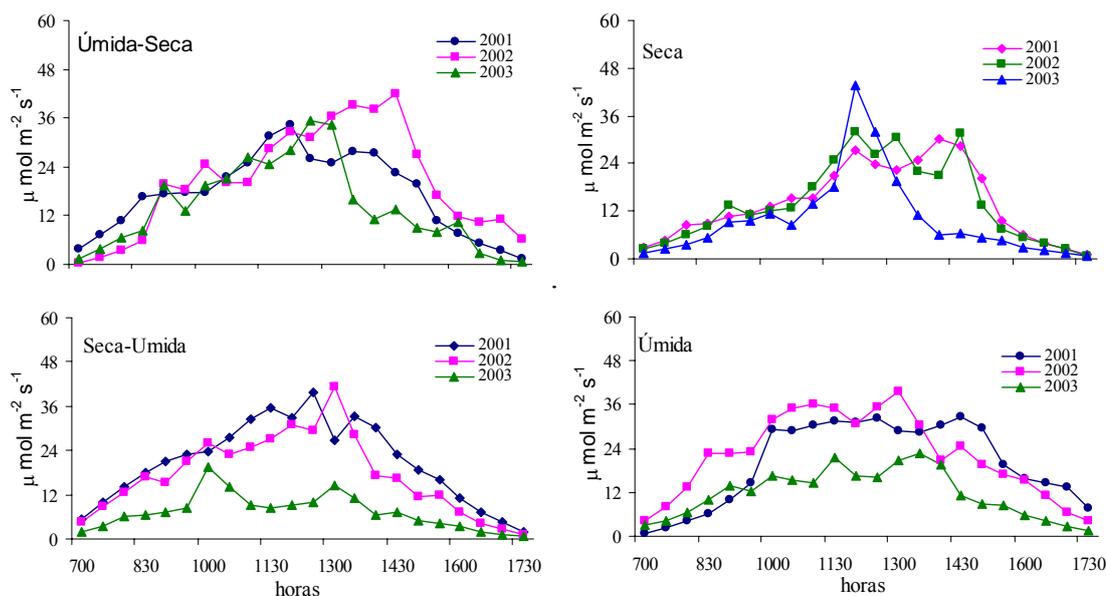


Figura 12 - Médias horárias da incidência da Radiação Fotossinteticamente Ativa no solo do dossel, durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida.

A Tabela 3 apresenta as médias da Radiação Global Solar por estações nos três anos, apresentando as maiores incidências na estação Úmida-Seca, $1548,95 \pm 944,29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o ano de 2001 e $1464,46 \pm 773,86 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante a estação seca em 2003. As menores incidências foram de $1457,50 \pm 931,19 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $1293,86 \pm 898,58 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na estação Úmida de 2001 e 2002 respectivamente. A Figura 13 apresenta as médias horárias da Radiação Global Solar

e Fotossinteticamente Ativa Incidida durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida.

Diferentes autores têm estimado a Radiação Fotossinteticamente Ativa por meio das medições da Radiação Global Solar com bons resultados (ALADOS et al., 2000) frequentemente como uma taxa constante (UDO & ARO, 1999).

Tabela 3: Valores médios da Radiação Global Solar ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (média \pm SD) nas estações.

Ano	Estação	Rsd
2001	Úmida-Seca	1548,95 \pm 944,29
	Seca	1527,36 \pm 839,89
	Seca-Úmida	1544,19 \pm 960,74
	Úmida	1457,50 \pm 931,19
2002	Úmida-Seca	
	Seca	
	Seca-Úmida	1555,51 \pm 923,89
	Úmida	1341,49 \pm 937,59
2003	Úmida-Seca	1303,23 \pm 803,98
	Seca	1464,46 \pm 773,86
	Seca-Úmida	1318,17 \pm 873,91
	Úmida	1293,86 \pm 898,58

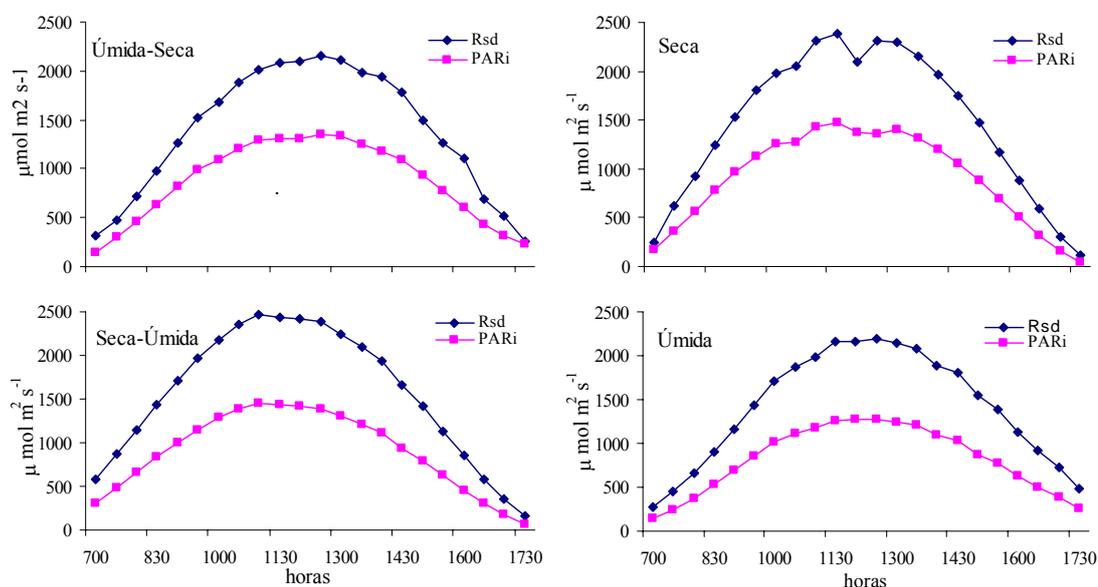


Figura 13 - Médias horárias da Radiação Global Solar (Rsd) e Fotossinteticamente Ativa incidente (PAR_i) durante as estações Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida e Úmida.

Foi determinada uma equação para expressar a relação entre a Radiação Global Solar e PAR em cada estação do ano com dados obtidos a cada trinta minutos. Foi utilizado um gráfico de dispersão de pontos mostrando uma regressão linear simples ($Y=bX$), forçando a interseção pela origem ($a=0$) (Figura 14). O coeficiente de inclinação da reta indica a taxa de disponibilidade de Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente para absorção das folhas (CAMPBELL & NORMAN, 1998) apresentam uma taxa de aproximadamente 0,5 de disponibilidade da PAR_i para absorção pela vegetação. Durante a estação Úmida obteve-se a menor taxa foi de 0,57 e durante a estação Seca a maior taxa, 0,67.

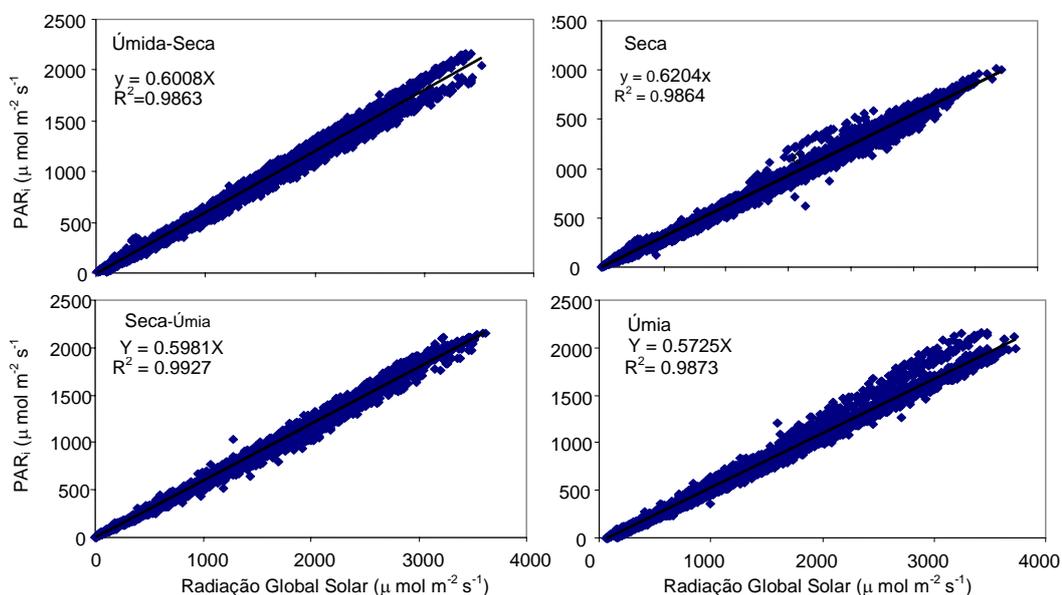


Figura 14 - Relação entre Radiação Global Solar e Fotossinteticamente Ativa incidente nas estações Úmida-Seca, Seca, Seca-Úmida e Úmida.

4.2 – TRANSMITÂNCIA

A Tabela 4 apresenta as médias por estação da transmitância da PAR do topo do dossel até 20 metros ($t_{\text{topo-20}}$) e da transmitância da PAR do dossel até 1 metro ($t_{\text{topo-0}}$).

A $t_{\text{topo-20}}$ teve uma média anual em 2003 de $0,141 \pm 0,146$, variando de $0,0113 \pm 0,075$ (estação Seca-Úmida) a $0,181 \pm 0,150$ (estação Úmida-Seca) (Tabela 4). A Figura 15 apresenta as médias horárias nas estações. Observou-se que nas quatro

estações no intervalo de 9:00h a 14:00h ocorreram em dois momentos um acréscimo nos valores da $t_{\text{topo-20}}$. Isso se deve ao comportamento da PAR_{20} mencionado anteriormente, onde a presença de clareiras na estrutura do dossel pode ter permitido uma maior passagem de radiação incidente em determinadas horas do dia.

A transmitância da radiação PAR do topo do dossel até o solo ($t_{\text{topo-o}}$) apresentou uma média anual de $0,020 \pm 0,010$ para o ano de 2001; $0,026 \pm 0,036$ e $0,015 \pm 0,021$ para os anos de 2002 e 2003, respectivamente.

Tabela 4: Médias por estação de $t_{\text{topo-20}}$ e $t_{\text{topo-o}}$ (média \pm SD) nos anos de 2001 a 2003.

Ano	Estação	$t_{\text{topo-20}}$	$t_{\text{topo-o}}$
2001	Úmida		$0,025 \pm 0,009$
	Úmida-Seca		$0,019 \pm 0,010$
	Seca		$0,015 \pm 0,009$
	Seca-Úmida		$0,024 \pm 0,008$
2002	Úmida		$0,032 \pm 0,022$
	Úmida-Seca		$0,039 \pm 0,061$
	Seca		$0,027 \pm 0,044$
	Seca-Úmida	$0,143 \pm 0,108$	$0,020 \pm 0,013$
2003	Úmida	$0,149 \pm 0,092$	$0,018 \pm 0,016$
	Úmida-Seca	$0,181 \pm 0,150$	$0,027 \pm 0,038$
	Seca	$0,158 \pm 0,206$	$0,013 \pm 0,020$
	Seca-Úmida	$0,113 \pm 0,075$	$0,011 \pm 0,009$
Média Total			$0,021 \pm 0,027$

As médias de $t_{\text{topo-o}}$ nas diferentes estações estão apresentadas na Tabela 4. A Figura 16 que apresenta as médias mensais, observou-se uma variação mensal de $0,014 \pm 0,008$ no mês de junho (estação Seca) a $0,029 \pm 0,007$ no mês de dezembro (estação Úmida) no ano de 2001. Em 2002, a variação foi de $0,020 \pm 0,013$ (estação Seca-Úmida) a $0,039 \pm 0,061$ (estação Úmida-Seca), e em 2003 a variação da média foi de $0,011 \pm 0,009$ (estação Seca-Úmida) a $0,027 \pm 0,038$ (estação Úmida-Seca).

HERNANDEZ et al. (2004) mencionam estudos na Amazônia, em floresta tropical úmida, com medições de transmissão de radiação realizadas ao nível do solo, onde foram verificadas variações de 1,2%, em Manaus, e mencionam outro estudo em Tucuruí com variações de 4,7%. PEREIRA (1997) analisando o regime radiativo desse tipo de floresta citou que menos de 10% da radiação solar que atinge o topo das florestas atinge a vegetação de sub-bosque

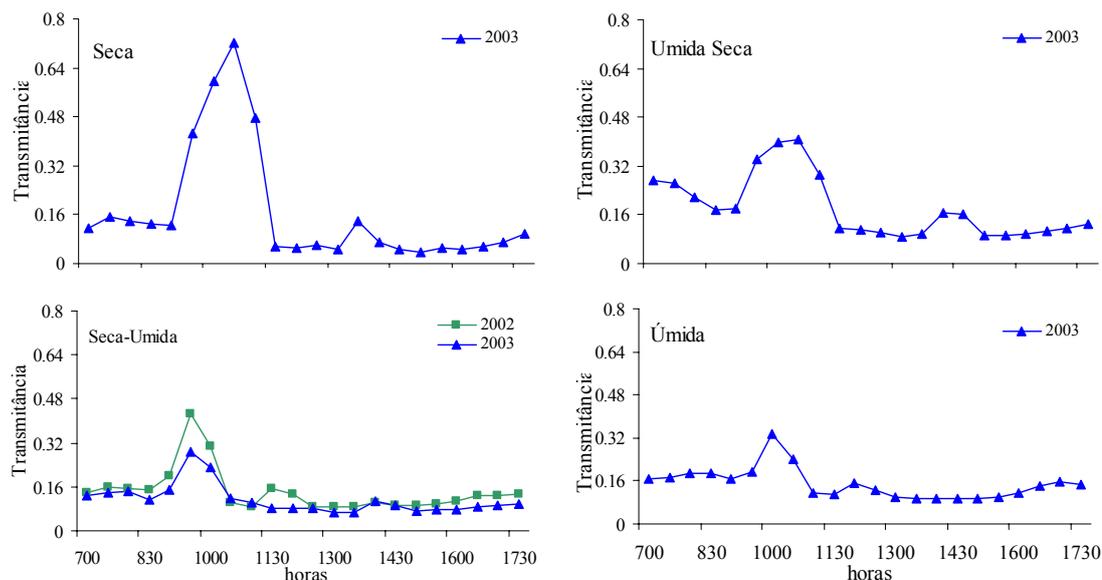


Figura 15 - Médias horárias da transmitância do topo do dossel até a altura de 20 metros, durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida.

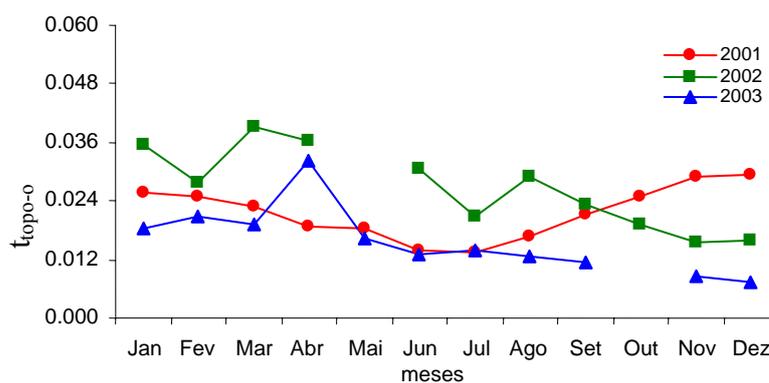


Figura 16 - Médias mensais da transmitância do topo do dossel até o solo durante os três anos de estudo.

Na estação Úmida, as médias horárias da $t_{\text{topo-o}}$ variaram para 2001, 2002 e 2003 entre $0,023 \pm 0,01$ a $0,034 \pm 0,06$; $0,023 \pm 0,09$ a $0,061 \pm 0,051$; $0,018 \pm 0,006$ a

0,042 \pm 0,049, atingindo seu maior valor as 14:00h; 15:00h e 11:30h, respectivamente. Em 2002 nota-se dois pequenos picos nos horários entre 10:00h e 14:30h. O mesmo ocorre no ano de 2003, próximo às 11:00h. Estes picos possivelmente indiquem uma maior penetração da radiação nesses horários devido às falhas na estrutura do dossel.

Na estação Úmida-Seca ocorreram dois instantes em que a $t_{\text{topo-o}}$ apresentou uma alteração nos valores. No ano de 2001, a $t_{\text{topo-o}}$, teve uma variação pequena tendo um leve acréscimo por volta das 12:00h e 14:30h, obtendo seu valor máximo de 0,027 \pm 0,009 às 14:00h. De acordo com a Figura 17, a $t_{\text{topo-o}}$, atingiu sua maior média horária de 0,188 \pm 0,138 às 14:00h no ano de 2002, em 2003 foi de 0,106 \pm 0,105 às 12:30h. Os resultados obtidos sugerem que a variação entre um ano ao outro seja devido a uma alteração brusca na estrutura superior do dossel, podendo ter sido a morte ou queda de uma árvore próxima da torre micrometeorológica, abrindo uma falha que possibilitaria uma maior penetração da radiação em determinados horários.

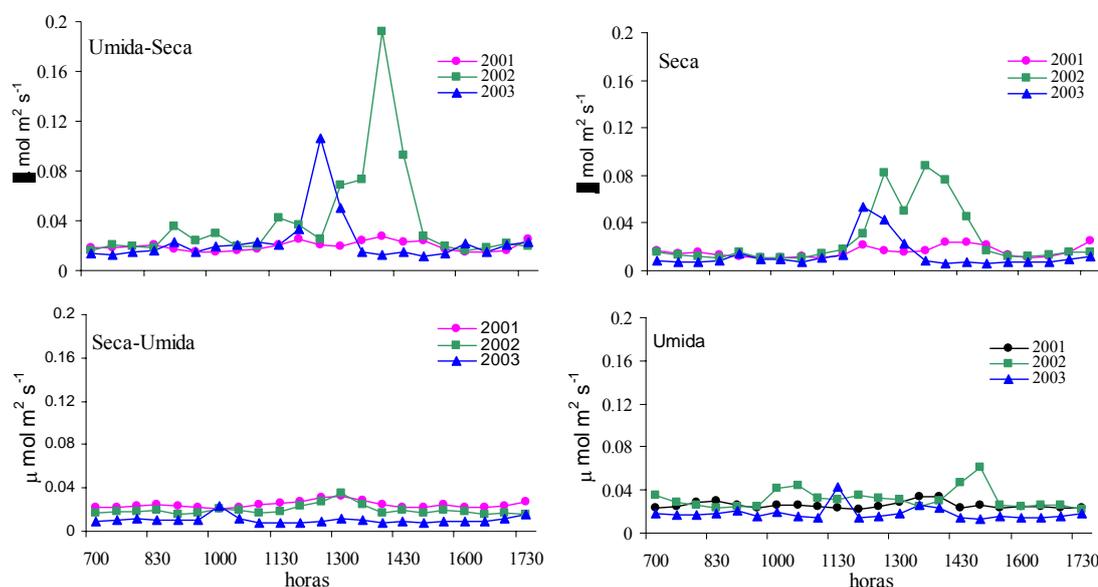


Figura 17 - Médias horárias da transmitância do topo do dossel até o solo nas estações Úmida-Seca, Seca, Seca-Úmida e Úmida.

Na estação Seca dos anos 2002 e 2003, os valores da $t_{\text{topo-o}}$, apresentaram uma maior média horária de 0,089 \pm 0,099 às 13:30h e 0,054 \pm 0,046 às 12:00h, respectivamente, quando comparadas com as médias horárias do ano de 2001 de

0,024 ± 0,011. Nessa estação, o ângulo de declinação solar está mais distante da latitude local fazendo com que a $t_{\text{topo-0}}$ seja menor.

Na estação Seca-Úmida não foi observado valores de $t_{\text{topo-0}}$ elevados em determinados horários, No início desta estação, ocorre a maior produção de literia, seguida do surgimento de folhas novas, que absorvem uma quantidade de PAR maior que as folhas velhas. Essa dinâmica da biomassa vegetal do dossel faz com que a $t_{\text{topo-0}}$ durante as estações apresente pequenas oscilações. Os maiores valores da média horária da $t_{\text{topo-0}}$ para o ano de 2001 foi de 0,032 ± 0,003 às 13:00h. Para os anos de 2002 e 2003, foi de 0,036 ± 0,022 às 13:00h e 0,024 ± 0,028 às 10:00h, respectivamente.

4.3 – REFLETÂNCIA

A média anual da refletância (r) foi de 0,044 ± 0,013 no ano 2001, 0,055 ± 0,025 e 0,053 ± 0,010 nos anos 2002 e 2003, respectivamente.

Mensalmente, as médias variaram de 0,040 ± 0,006 (outubro) a 0,050 ± 0,031 (julho); 0,043 ± 0,007 (janeiro) a 0,062 ± 0,030 (dezembro); 0,051 ± 0,008 (dezembro) a 0,057 ± 0,013 nos anos de 2001, 2002 e 2003, respectivamente. SENNA (2004) estimou valores de r variando mensalmente entre 0,027 (março) e 0,033 (dezembro), em um estudo realizado no período de julho de 2000 a julho de 2001.

Os maiores valores de médias por estação da r ocorreram durante nas estações Seca, Úmida-Seca e Úmida, em 2001, 2002 e 2003, respectivamente. (Tabela 5). Os valores estimados de r foram condizentes com os resultados apresentados e discutidos anteriormente de PAR_i e PAR_r .

Os valores de refletância são frequentemente pequenos e não variam significativamente entre dosséis florestais (GOWER et al., 1999).

A Figura 18 ilustra o comportamento do ciclo diurno da refletância (r) da floresta de transição nas estações nos de 2001, 2002 e 2003. Observou-se que as médias horárias apresentam maiores valores no início do ciclo diurno, tendendo a

uma diminuição até o meio-dia e aumentando suavemente até o entardecer. Na estação Úmida os valores variaram de $0,037 \pm 0,003$ a $0,052 \pm 0,015$ (2001); $0,039 \pm 0,007$ e $0,044 \pm 0,009$ (2002); $0,046 \pm 0,005$ e $0,095 \pm 0,063$ (2003).

Tabela 5: Médias por estação da r (média \pm SD) nos anos de 2001 a 2003.

Ano	Estação	r
2001	Úmida	$0,042 \pm 0,006$
	Úmida-Seca	$0,045 \pm 0,008$
	Seca	$0,047 \pm 0,019$
	Seca-Úmida	$0,041 \pm 0,005$
2002	Úmida	$0,043 \pm 0,010$
	Úmida-Seca	$0,048 \pm 0,020$
	Seca	$0,050 \pm 0,008$
	Seca-Úmida	$0,058 \pm 0,027$
2003	Úmida	$0,056 \pm 0,022$
	Úmida-Seca	$0,052 \pm 0,008$
	Seca	$0,055 \pm 0,013$
	Seca-Úmida	$0,051 \pm 0,009$
Média total		$0,049 \pm 0,016$

Na estação Úmida-Seca as médias horárias apresentaram uma variação de $0,039 \pm 0,003$ a $0,065 \pm 0,017$ durante o ano de 2001, em 2002 e 2003, a variação foi de $0,040 \pm 0,007$ a $0,072 \pm 0,073$ e $0,047 \pm 0,004$ a $0,072 \pm 0,021$, respectivamente.

Na estação Seca, ano de 2001, os valores variaram entre $0,040 \pm 0,003$ a $0,065 \pm 0,037$, às 12:30h houve um pequeno aumento no valor da transmitância $0,047 \pm 0,028$. No ano de 2002 o valor máximo e mínimo foram de $0,072 \pm 0,006$ e $0,042 \pm 0,006$, respectivamente. No o ano de 2003 os valores de refletância estiveram entre $0,089 \pm 0,016$ e $0,044 \pm 0,002$. Observou-se nesta estação um pico nos valores ao meio-dia, em torno das 12:00h a 12:30h, em consequência dos resultados da PAR_i (Figura 14) que apresentou uma pequena redução dos valores no mesmo intervalo de tempo.

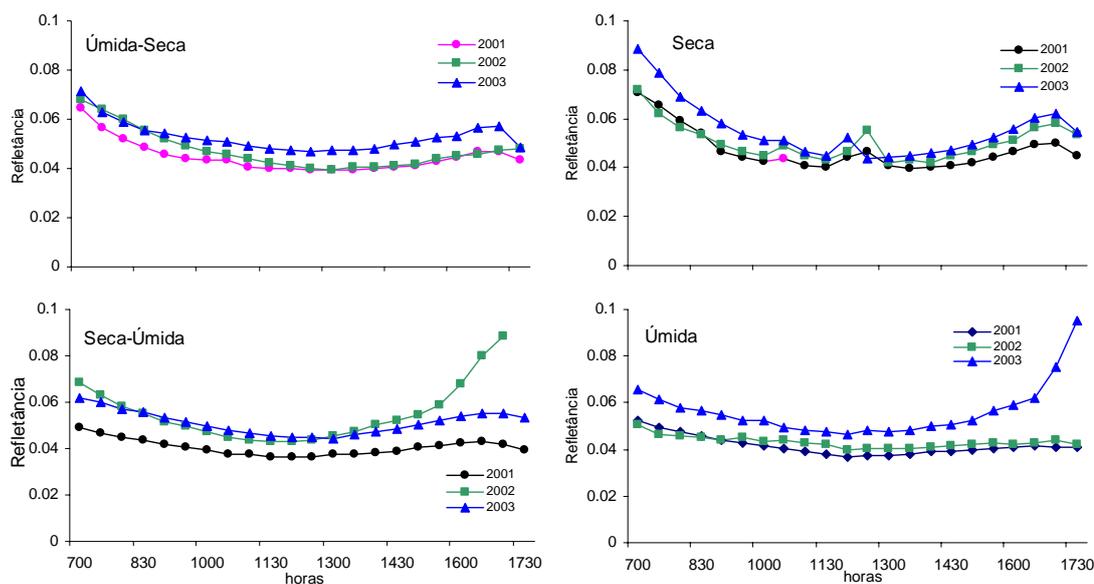


Figura 18 - Médias horárias da refletância na superfície do dossel durante as estações Úmida, Úmida-Seca, Seca e Seca-Úmida.

Na estação Seca-Úmida os valores variaram de $0,036 \pm 0,003$ a $0,047 \pm 0,006$ (ano 2001); $0,043 \pm 0,005$ e $0,130 \pm 0,056$ (ano 2002); $0,045 \pm 0,006$ e $0,062 \pm 0,013$ (ano 2003).

4.4 – ABSORTÂNCIA

As médias por estação da f_{APAR} estão apresentadas na Tabela 6. Os valores de f_{APAR} variaram pouco e se apresentaram menores nas estações Úmida em 2001 e 2003, e na estação Úmida-Seca em 2002, períodos em que a t_{topo-o} foi maior, devido as falhas na estrutura superior do dossel. As médias da f_{APAR} entre os anos de 2001 a 2003 foram de $0,035 \pm 0,016$, $0,921 \pm 0,038$ e $0,934 \pm 0,019$ respectivamente.

SENNÁ (2004) obteve valores médios mensais de f_{APAR} variando de 0,886 (agosto) a 0,935 (dezembro), com uma média de 0,914 para o período de julho de 2000 a julho de 2001. Observou-se que a f_{APAR} apresentou pequenas variações entre seus valores médios mensais obtidos na Floresta de Transição em estudo, com relação

a variação dos valores médios mensais apresentados por SENNA (2004) em Floresta Amazônica, Santarém. Considerou-se que os valores da f_{APAR} no presente estudo estão de acordo para Floresta Amazônica. A floresta Amazônica, em Santarém, possui um Índice de Shannon-Wiener (H') para espécies de 4,37 (VIERA, 2003) e a Floresta de Transição em estudo, apresenta H' para famílias e espécies de $2,79 \pm 0,33$ e $3,20 \pm 0,38$, respectivamente, indicando que a floresta de Transição possui menor diversidade que a floresta Amazônia em Santarém. Apesar da média anual da f_{APAR} nos dois sítios experimentais estejam de acordo com intervalo de fapar em Floresta Tropical Úmida. A maior variação mensal da f_{APAR} na Floresta Amazônica pode ser devido a maior diversidade de espécies que contribui para uma dinâmica mais acentuada do dossel, além de outros fatores ambientais, como a pluviometria que podem influenciar no balanço de radiação.

Tabela 6: Valores de f_{APAR} (média \pm SD) por estação.

Ano	Estação	f_{APAR}
2001	Úmida	0,933 \pm 0,011
	Úmida-Seca	0,936 \pm 0,011
	Seca	0,937 \pm 0,024
	Seca-Úmida	0,935 \pm 0,009
2002	Úmida	0,923 \pm 0,018
	Úmida-Seca	0,912 \pm 0,061
	Seca	0,929 \pm 0,029
	Seca-Úmida	0,924 \pm 0,028
2003	Úmida	0,926 \pm 0,026
	Úmida-Seca	0,927 \pm 0,024
	Seca	0,932 \pm 0,023
	Seca-Úmida	0,939 \pm 0,012
Média total		0,932 \pm 0,024

Para verificar a variação da r , t_{topo-o} e f_{APAR} foram estimados os valores dos ângulos zenitais utilizando a equação 7. A Figura 19 ilustra a variação da r e da t_{topo-o} correspondendo com o aumento do ângulo zenital.

Pode-se observar uma oscilação nos valores médios da $t_{\text{topo-o}}$ com ângulos zenitais. Isso ocorre devido à radiação, ao penetrar no dossel, sofre influência da arquitetura do dossel onde as falhas podem contribuir para uma incidência direta da radiação sobre o sensor. Essa oscilação entre os valores $t_{\text{topo-o}}$ num intervalo de ângulo zenital aumenta com o aumento do ângulo zenital. Os valores médios da $t_{\text{topo-o}}$ apresentaram uma tendência à diminuição quando o ângulo zenital aumenta. Quanto a r , observou-se que à medida que ocorre aumento no ângulo zenital, houve aumento em r apresentando um maior desvio padrão.

NOUVELLON et al. (2000) estudaram o efeito da nebulosidade na absorção da PAR para uma cobertura gramada no México, concluíram que para ângulos zenitais pequenos a f_{APAR} difusa foi maior que a direta e para ângulos zenitais grandes ocorreu o inverso. Entretanto, para altos valores do LAI a f_{APAR} de dias nublados pode ser levemente menor que para os dias claros.

A média da precipitação anual, para o sítio experimental nos anos de 2001 a 2003 foi aproximadamente 2170 mm. A Figura 20 mostra comportamento precipitação da r e $t_{\text{topo-o}}$ no decorrer dos três anos de estudos.

Pode-se observar que no ano de 2001, a $t_{\text{topo-o}}$ atingiu o menor valor médio na estação Seca e aumenta ao atingir a estação Úmida, a partir de 2002 os valores médios da $t_{\text{topo-o}}$ e r , sofrem irregularidades decorrentes das possíveis falhas na estrutura do dossel, já mencionadas anteriores. A partir de 2002 a $t_{\text{topo-o}}$ sofre redução em seus valores médios até atingir os menores valores médios na estação Seca-Úmida de 2003. A refletância tem um comportamento inverso ao da transmitância, pode-se observar que nos períodos de seca a tendência é de aumento nos valores médias da refletância tendo assim um comportamento inverso à transmitância.

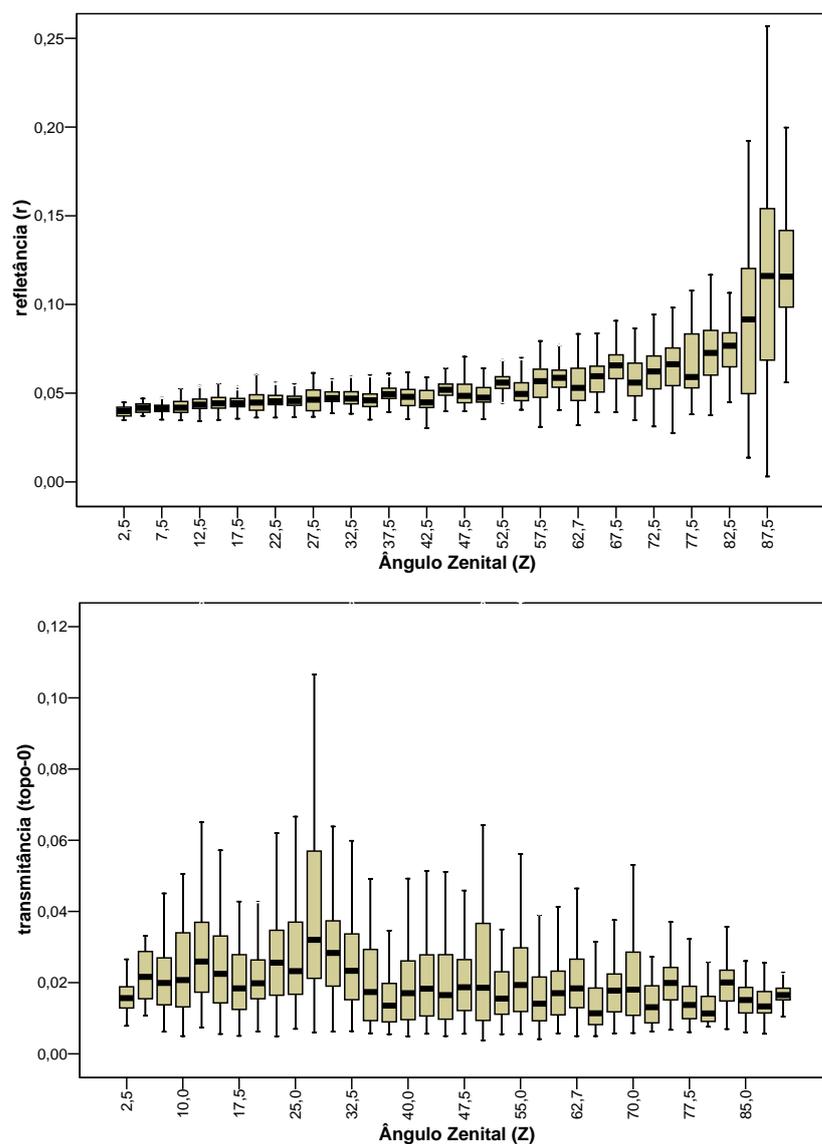


Figura 19 - refletância e transmitância do topo ao solo do dossel em função do ângulo zenital.

A Figura 21, ilustra a variação dos valores médios da f_{APAR} , comparados com a precipitação

A dependência entre a radiação e o intervalo de temperatura diária é específico para uma região ou uma região uniforme específica (MEZA & VARAS, 2000). Em uma análise de correlação de Pearson, obteve-se que as médias mensais das variáveis ambientais (temperatura do ar e precipitação) não apresentaram correlação significativa com as variáveis PAR, r , t_{topo-0} e f_{APAR} .

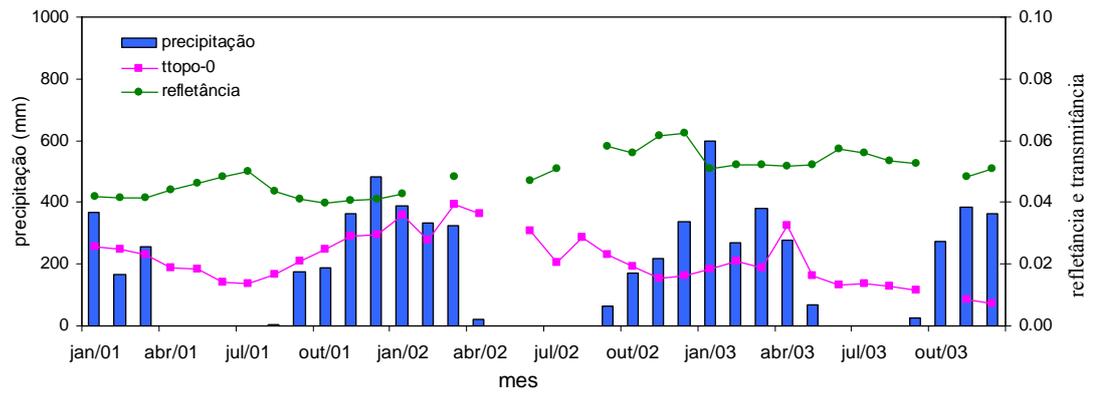


Figura 20 - Precipitação mensal, transmitância do topo ao solo do dossel e refletância da radiação fotossinteticamente ativa.

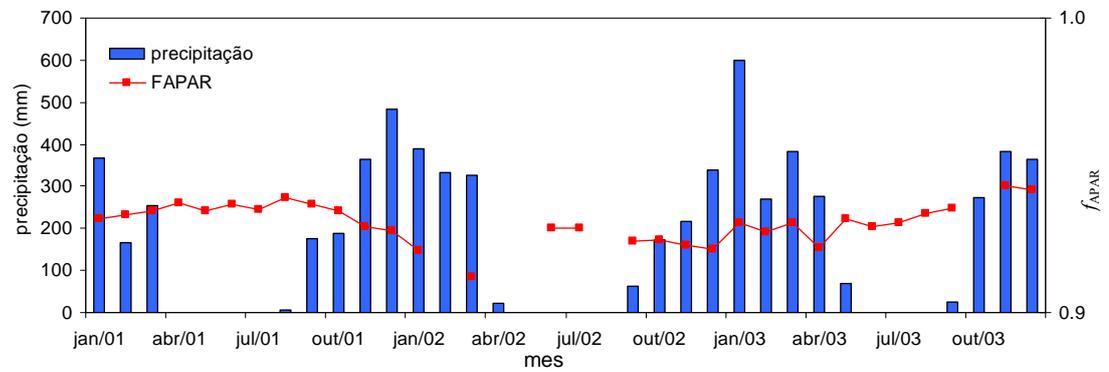


Figura 21 - Precipitação mensal e fração absorvida da radiação fotossinteticamente ativa.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A incidência da radiação fotossinteticamente ativa num dossel de Floresta de Transição é menor no período de seca ou praticamente não varia ao longo do ano.

Da Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente no topo do dossel, aproximadamente 4,9% é refletida pelo dossel, 13,4% consegue atingir 20 metros de altura do dossel, 2,1% atingi o solo da floresta. E 93,2% são absorvida.

A estrutura do dossel e o ângulo zenital influenciaram na penetração e na reflexão da radiação para o interior do dossel.

A precipitação, não apresentou correlação significativa com a Radiação fotossinteticamente Ativa incidente no dossel, a 20 metros no solo e também com a refletida.

Estudos das características e composição atmosféricas, em particular estudos dos aerossóis que podem influenciar na radiação incidente e refletida merecem uma atenção mais detalhada., juntamente com a comparação da estimativa de f_{APAR} por modelagem e por sensoriamento remoto com o presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. G.. **Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia**. 2005. 56 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2004.

ALADOS, I. OLMO, F. J., FOYO-MORENO, I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. **Estimation of photosynthetically active radiation under cloudy conditions**. *Agricultural Forest Meteorology*. 2000. v. 102, p. 39–50. doi:10.1016/S0168-1923(00)00091-5.

ASNAR, G., MYNENI, R. B., CHOUDHURY, B. J. **Spatial heterogeneity in vegetation canopies and remote sensing of absorbed photosynthetically active radiation: A modeling study**. *Remote Sensing of Environment*. 41, p. 85-103, 1992. doi: 10.1016/0034-4257(92)90070-Z.

AZEVEDO, P. V., LEITÃO, M. M. V. B. R., SOUZA, I. F., MACIEL, G. F. **Balço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil**. *Revista de Meteorologia*. Rio de Janeiro. v5, n.1, p.403-410. 1990.

BARBOSA JUNIOR, J. A. F., LOBO, F. A., CAPISTRANO, V. B., REZENDE, S. D. P., MIRANDA, E. J., BIUDES, M. S. **Varição Sazonal da Área foliar em Três Extratos da Floresta Amazônica na Região de Sinop**. Resumo 34.9-P. III Conferência Internacional do LBA. Brasília – 2004.

CAMPBELL, G. S. & NORMAN, J. M. **A introduction to environmental Biophysics**. Springer-Verlag New York. second edition. p 153. 1998. SPIN 1051668.

CRUTZEN, P. J., ANDREAE, M. O. **Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles**. Science. 250, p. 1669-1678. 1990.

FEARNSIDE, P. M. **Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: risks, value and conservation**. Environmental Conservation. n. 26, p.305–321. 1999.

GALLO, K. P., DAUGHTRY, C. S. T., WIEGAND, C. L. **Errors in measuring absorbed radiation and computing canopy crop radiation use efficiency**. Agronomical J. v.85, p.1222–1228. 1993.

GASTELLU-ETCHEGORRY, J. P., TRICHON, V. A **Modeling approach of PAR environment in a tropical rain forest in Sumatra: application to remote sensing**. Ecological Modelling. 108, p. 237-264. 1998. doi:10.1016/S0304-3800(98)00032-5.

GOBRON, N., PINTY, B., VERSTRAETE, M. M., WIDLowski, JEAN-LUC. - **Advanced Vegetation Indices Optimized for Up-Coming Sensors: Design, Performance, and Applications**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. v.38, n.06, 2000.

GOWER, S. T., KUCHARIK, C. J., NORMAN, J. M. **Direct and Indirect Stimulation of Leaf Area Index, Fapar, and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems**. Remote Sens. Environ. v 70, p.29–51. 1999.

HALL, F. G., HUENNRICH, F., GOWARD, S. N. **Use of narrow-band spectra to estimate the fraction of absorbed photosynthetic active radiation**. Remote Sens. Environ. v.32, p.47–54. 1990.

HERNANDEZ, J. L., PEDRO JÚNIOR, M. J., BARDIN, L. **Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no Interior de floresta semidecídua.**

Sociedade de Investigações Florestais. v.28, n.2, p.167-172. 2004.

IBGE, in LENTINI, M., VERÍSSIMO, A., SOBRAL, L. **Fatos Florestais da Amazônia 2003.** Belém. Imazon. 110p. 2003.

IBGE. **Diagnostico Ambiental da Amazônia Legal** IBGE/DGC/Dema-Degeo-Decar. Rio de Janeiro. 1997.

INPE. 2003a **Mapa de Desflorestamento da Amazônia Legal (2001).** Projeto Prodes Digital 2000, 2001 e 2002 - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. www.obt.inpe.br/prodes. Download de dados em março de 2003.

KAUFMAN, Y. J., HOBBS, P. V., KIRCHHOFF, V. W. J. H., ARTAXO, P., REMER, L. A., HOLBEN, B. N., KING, M. D., WARD, D. E., PRINS, E. M., LONGO, K. M., MATTOS, L. F., NOBRE, C. A., SPINHIRNE, J. D., J. I. Q., THOMPSON, A. M., GLEASON, J. F., CHRISTOPHER, S. A., ETSAY, S. C. **Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) experiment.** Journal of Geophysical Research, 103, D24, p. 31783-31808, 1998.

KING, M. D. KAUFMAN, Y. J. TANRÉ, D. NAKAJIMA, T. **Remote Sensing of Tropospheric Aerosols from Space: Past, Present, and Future.** Bulletin of the American Meteorological Society. v.80, n 11. Nov 1999.

LBA (2003) (<http://lba.cptec.inpe.br/lba/index.html> (acesso 2003)).

LEITÃO, M. M. V. B. Balanço de radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica: campina, campinarana e mata densa. São José dos Campos. 153p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1994.

MARISCAL, M. J., ORGAZA, F., VILLALOBOS, F. J. **Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies.** *Agricultural and Forest Meteorology*. v.100, p.183–197. 2000. doi:10.1016/S0168-1923(99)00137-9.

MAYLE, F. E., BEERLING, DAVID J. **Late Quaternary changes in Amazonian ecosystems and their implications for global carbon cycling.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. v.214, p.11– 25. 2004.

MEZA, F., VARAS, E. **Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature.** *Agricultural Forest Meteorology*. 100, p. 231–241. 2000. doi:10.1016/S0168-1923(99)00090-8.

MOLION, L. C., CAPAZOLI, U. **Floresta Ameniza o aquecimento da Terra.** *Scientific American Brasil*. Ano 1, n.6, p.32-35. 2002.

MÖTTUS, M., ROSS, J., SULEV, M. **Experimental study of ratio of PAR to direct integral solar radiation under cloudless conditions.** *Agricultural and Forest Meteorology*. v.109, p.161-170. 2001. doi:10.1016/S0168-1923(01)00269-6.

MURCA PIRES, J. **The forest ecosystems of the Brazilian Amazon: Description, functioning, and research needs.** UNESCO/UNEP/FAO, Rome1978.

NÖJD, P., HARI, P. **Instantaneous PAR estimated using long records of daily temperature and rainfall.** *Agricultural and Forest Meteorology*. v.109, p.47-59. 2001. doi:10.1016/S0168-1923(01)00258-1.

NOUVELLON, Y., BÉGUÉ, A., MORAN, M. S., SEEN, D. LO., RAMBA, S. L., LUQUET, D., UNI, H.C., INOUE, Y. **PAR extinction in shortgrass ecosystems: effects of clumping, sky conditions and soil albedo.** *Agricultural and Forest Meteorology*. v.105, p. 21-41. 2000.

PALVA, L., GARAM, E., MANOOCHEHRI, F., SEPPONEN, R., HARI, P., RAJALA, K., RUOTOISTENMÄKI, H. **A novel multipoint measuring system of photosynthetically active radiation.** *Agricultural and Forest Meteorology.* v.89, p.141-147. 1998.

PEREIRA, A. R., VRISMAN, A. L., GALVANI, E. **Estimativa da Radiação Solar Global Diária em Função do Potencial de Energia Solar na Superfície do Solo.** *Scientia Agrícola.* v.59, n.2, p.211-216. abr./jun. 2002.

PEREIRA, A. R. **Radiation regime of tropical rain forest.** *Revista Brasileira de Agrometeorologia.* Santa Maria. v.5, n.2, p.1-8. 1997.

PRIANTE FILHO, N., HAYASHI, M. S., NOGUEIRA, J. S., CAMPELO JR., J. H., NUNES, P. C., SOUZA, L. S., COUTO, E.G., HOEGER, W., RAITER, F., TRIENWEILER, J. L., MIRANDA, E. J., PRIANTE, P. C., PEREIRA, L. C., BIUDES, M. S., FRITZEN, C. L., LACERDA, M., SULI, G. S., SHIRAIWA, S., SILVEIRA, M., VOURLITIS, G. L. **Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern amazon basin during the wet-dry season transition.** *Global Change Biology.* v.10, p.863-876. 2004.

RADIN B., BERGAMASCHI, H., REISSER Jr, C., BARNI, N. A., MATZENAUER, R., DIDONÉ, I. A. **Eficiência de uso da radiação Fotossinteticamente Ativa pela Cultura do Tomateiro em Diferentes Ambientes.** *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.* Brasília. v.38, n.9, p.1017-1023. 2003.

ROSS, J., SULEV, M. **Sources of errors in measurements of PAR.** *Agricultural and Forest Meteorology.* v 100, p. 103-125. 2000. doi:10.1016/S0168-1923(99)00144-6.

SANCHES, L., SULI, G. S., VALENTINI, C. M. A., PRIANTE FILHO, N., NOGUEIRA, J. S., VOURLITIS, G. L. **Structure, litterfall and soil CO₂ efflux dynamics at an Amazonian Transitional Tropical Forest.** 2005, em preparação

SELLERS, P. J. , DICKINSON, R. E., RANDALL, D. A. , BETTS, A.K., HALL, F.G., BERRY, J. A., COLLATZ, G. J., DENNING, O.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. p. 502-509. 1997.

SENNA, M. C. A. **Fração da Radiação fotossinteticamente Ativa Absorvida pela Floresta Tropical Amazônica: Uma Comparação entre estimativas baseadas em Modelagem, Sensoriamento Remoto e Medições de Campo.** 2004, 54f. Dissertação de Mestrado. Prog. Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa-MG. 2004.

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.

SULI, G. S. **Comparações Empíricas entre Medições Multiespectrais de Sistemas Sensores e Índices de Área Foliar Verde em Floresta Amazônica de Transição.** 2004. Dissertação (Mestrado em Física e meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, Dez. 2004.

SULI, G. S., SILVEIRA, M., YOSHITAKE, N. M., PRIANTE FILHO, N., VOURLITIS, G. L., SANTOS, V. A., KREMER, E. J. **Proposta metodológica para avaliação estatística de biodiversidade arbórea de floresta de terra firme Amazônica, Centro-Norte de Mato Grosso.** Anais do VI Congresso de Ecologia do Brasil. Fortaleza, Ceará. 66-68. 2003.

UDO, S. O., AROB, T. O. **Global PAR related to global solar radiation for central Nigéria.** . Agricultural and Forest Meteorology. v. 97, p. 21-31. 1999. doi:10.1016/S0168-1923(99)00055-6.

VALENTINI, C. M. A. **Efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no noroeste de Mato Grosso.** 2004. 98 f, Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2004.

VIEIRA, S. A. **Mudanças Globais e Taxa de Crescimento Arbóreo na Amazônia.** Tese de Doutorado. CNEA. USP. Jun. 2003.

VOURLITIS G.L., PRIANTE FLILHO, N., HAYASHI, M. M., NOGUEIRA, J. S., CASEIRO, F., CAMPELO Jr., J. H. **Seasonal variations in the ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian transitional tropical Forest (cerradão).** Functional Ecology. v.15, p.388-395. 2001.

VOURLITIS, G. L., PRIANTE FILHO, N, HAYASHI, M. M., NOGUIERA, J. S., CASEIRO, F. CAMPELO Jr., J. H. **Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brasil.** Water Resources Research . v. 38, n. 6, p. 30-1 – 30-11. 2002.

XIAO, X., ZHANG, Q., SALESKA, S., HUTYRA, L., CAMARGO, P. DE, STEVEN WOFSY, 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, p. 105-122. 2005. doi:10.1016/j.rse.2004.08.015.