



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-14615-TDI/1194**

**ESTUDOS DAS RADIAÇÕES SOLAR E TERRESTRE ACIMA E  
DENTRO DE UMA FLORESTA TROPICAL ÚMIDA**

Rildo Gonçalves de Moura

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo  
Dr. Antonio Ocimar Manzi, aprovada em 1º de outubro de 2001.

INPE  
São José dos Campos  
2007

Publicado por:

**esta página é responsabilidade do SID**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Gabinete do Diretor – (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 – CEP 12.245-970

São José dos Campos – SP – Brasil

Tel.: (012) 3945-6911

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

**Solicita-se intercâmbio  
We ask for exchange**

**Publicação Externa – É permitida sua reprodução para interessados.**



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-14615-TDI/1194**

**ESTUDOS DAS RADIAÇÕES SOLAR E TERRESTRE ACIMA E  
DENTRO DE UMA FLORESTA TROPICAL ÚMIDA**

Rildo Gonçalves de Moura

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo  
Dr. Antonio Ocimar Manzi, aprovada em 1º de outubro de 2001.

INPE  
São José dos Campos  
2007

551.521.1:634

Moura, Rildo Gonçalves de.

Estudos das radiações solar e terrestre acima e dentro de uma floresta tropical úmida / Rildo Gonçalves de Moura. – São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.

146 p.; (INPE-14615-TDI/1194)

1. Radiação solar. 2. Radiação terrestre. 3. Floresta tropical. 4. Micrometeorologia. 5. Reserva biológica de Jarau I. Título.

Aprovado pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de Mestre em Meteorologia.

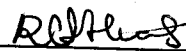
Dr. Leonardo Deane de Abreu Sá

  
Presidente/INPE/SJCampos-SP

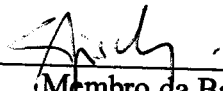
Dr. Antonio Ocimar Manzi

  
Orientador/INPE/SJCampos-SP

Drª Regina Célia dos Santos Alvalá

  
Membro da Banca/INPE/SJCampos-SP

Dr. Gilberto Fernando Fisch

  
Membro da Banca  
ACA-IAE/CTA/SJCampos-SP

Dr. Romísio Geraldo Bouhid André

  
Membro da Banca  
Convidado SIMERJ/Rio de Janeiro-RJ

Candidato: Rildo Gonçalves de Moura

São José dos Campos, 1º de outubro de 2001.



Ao meu Deus e a minha família,  
dedico.





## **AGRADECIMENTOS**

Ao Dr. Antônio Ocimar Manzi, pela segura e valiosa orientação, a qual possibilitou a conclusão deste almejado curso.

Aos Membros da Banca Examinadora, pelas críticas, sugestões, conselhos ofertados e principalmente pela confiança em mim depositada .

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em especial aos professores do curso e ao suporte da Divisão de Pós-Graduação em Meteorologia, pelo apoio e recursos oferecidos.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da Bolsa de Estudo.

Aos Coordenadores do Projeto LBA nº 97/09926-9, pelo apoio e incentivo durante o experimento de campo, realizado no Estado de Rondônia, para a coleta de dados.

Aos colegas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pela amizade e ajuda nas horas difíceis.

Aos colegas da pós-graduação pelo diálogo, amizade e apoio no decorrer do curso, especialmente aos amigos Francis Wagner Silva Correia, José Augusto Veiga, Raimundo de Oliveira Roque, Valner Nogueira da Silva, José Edson Paulino da Rocha e Júlio Tóta da Silva.

E, em especial, a meus pais, Valdir de Souza Moura e Cressilda Gonçalves de Moura (in memoriam), a meus irmãos e a minha esposa e filha, pelo apoio, incentivo e paciência em todos os momentos da minha vida acadêmica.



## RESUMO

Em um experimento micrometeorológico realizado durante a campanha WETAMC/LBA (de 26/01 a 10/03/1999) realizaram-se medidas de radiação solar e terrestre em ambiente de floresta tropical de terra firme na Reserva Biológica do Jaruro (10°05' S; 61°56' W). Coletaram-se dados de fluxo incidente e refletido de radiação de solar global usando piranômetros, incidente e refletido, de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) usando sensores quantum, e do balanço de radiação usando-se saldo-radiômetros, tanto no topo da torre micrometeorológica como em 5 níveis (35, 30, 25, 15 e 2,5 metros) no interior da floresta. Os mesmos fluxos foram obtidos utilizando-se um conjunto composto de doze piranômetros, doze piranômetros (sensores quantum) e oito saldo-radiômetros distribuídos ao redor da base da torre. Coletaram-se também, as quatro componentes do balanço de radiação utilizando-se um saldo-radiômetro (independente), apenas no topo da torre micrometeorológica. Adicionalmente foram coletadas informações que dizem respeito ao índice de área foliar (IAF), utilizando-se um imageador digital de dossel, marca/modelo CID-110 equipado com lente do tipo “olho de peixe” de 8mm. Aproximadamente 50% da radiação média diária extra-terrestre foi observada no topo da floresta, sendo esta composta de 46% de RFA e 54% de radiação na faixa do infra-vermelho próximo (IVP). Os valores dos coeficientes de refletividade foram 13,7%, 3,6% e 22,0%, respectivamente, para radiação solar ( $R_{\downarrow}$ ), RFA e IVP. A relação entre o saldo de Radiação  $R_n$  e  $R_{\downarrow}$  foi descrita adequadamente pela expressão  $R_n = 0,852 R_{\downarrow} - 22,6 \text{ Wm}^{-2}$ . O fluxo de radiação no chão da floresta representou apenas 3,5%, 1,9% e 2,8% dos respectivos fluxos no topo da floresta, para  $R_{\downarrow}$ ,  $R_n$  e  $P_{\downarrow}$ , respectivamente. A composição espectral da radiação solar no chão da floresta é constituída de 25% de RFA e 75% de IVP. O perfil de extinção de radiação no interior da vegetação pode ser descrito de maneira análoga à lei de Beer, sendo que a camada superior da copa, entre 30 e 35 m de altura, é a parte que mais absorve radiação solar e emite radiação de onda longa. Os dias que predomina a radiação difusa, a floresta pode ser considerada homogênea na distribuição de seus elementos e apresenta um Índice de Área Foliar médio de aproximadamente  $5,6 \text{ m}^2/\text{m}^2$ .



# SOLAR AND TERRESTRIAL RADIATION ABOVE AND INSIDE A TROPICAL RAIN FOREST

## ABSTRACT

In a micrometeorological experiment accomplished during the campaign WETAMC/LBA (from 26/01 to 10/03/1999) measurements of solar and terrestrial radiation were made on a tropical forest environment, at Biological Reservation of Jaruro (10° 05'S; 61° 56' W). Data of incident and reflected solar global radiation flux were collected using pyranometers, incident and reflected photosynthetically active radiation flux using quantum sensors and the radiation budget using net radiometers, on a micrometeorological tower of 60 meters, in six levels (58, 35, 30, 25, 15 and 2,5 meters). Near the forest ground was installed a set of radiometers composed of twelve pyranometers, twelve quantum sensors and eight net radiometers distributed around the base of the tower. Downward and upward long wave radiation were collected by two pyrgeometers (Kipp & Zonen), just placed on the top of the micrometeorological tower. Additionally, it was collected information of leaf area index (LAI), using a Digital photographic camera, model CID-110, equipped with lens of 8mm. Only 50% of extra-terrestrial radiation were observed at the level of forest top, which was spectrally composed by 46% of PAR and 54% of near infrared solar radiation (NIR). Calculated values for albedos of solar radiation ( $R_{\downarrow}$ ), PAR and NIR were 13,7%, 3,6% e 22,0%, respectively. The relationship between net radiation,  $R_n$ , and solar radiation,  $R_{\downarrow}$ , was adequately described by the expression  $R_n = 0.825 R_{\downarrow} - 22,6 \text{ Wm}^{-2}$ . Radiation flux near the forest floor were only 3,5%, 1,9% e 2,8% of the forest top radiation flux, respectively, for  $R_{\downarrow}$ ,  $R_n$  e  $P_{\downarrow}$ . The spectral composition of the solar radiation reaching the ground was 25% of PAR and 75% of NIR. The extinction profile of radiation inside the canopy could be described by an expression similar to the Beer's law. The upper layer of the canopy, between 30 and 35 m, is the more effective in absorbing solar radiation and emitting long wave radiation. In dominant diffuse radiation conditions the forest can be considered homogeneous for the distribution of its vegetation elements, with a mean Leaf Area Index (LAI) of approximately  $5,6 \text{ m}^2/\text{m}^2$ .



## SUMÁRIO

	pág.
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVIATURAS</b>	
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO 2 - ELEMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>33</b>
2.1 - Radiação .....	33
2.1.1 - Espectro de Radiação .....	33
2.1.2 - Propriedades Radiativas em Superfícies Naturais .....	34
2.1.3 - Principais Leis da Radiação.....	35
2.1.4 - Intensidade de Radiação .....	36
2.1.5 - Radiação de Ondas Curtas .....	37
2.1.5.1 - Radiação Solar Global .....	38
2.1.5.2 - Radiação Difusa.....	38
2.1.5.3 - Radiação Refletida.....	39
2.1.6 - Radiação de Ondas Longas .....	39
2.1.6.1 - Radiação Terrestre.....	41
2.1.6.2 - Radiação Atmosférica .....	41
2.1.7 - Balanço de Radiação .....	41
2.1.8 - Radiação Fotossinteticamente Ativa .....	42
2.1.9 - Radiação próximo ao chão da Floresta.....	42
2.1.10 - Albedo .....	43
2.1.11 - Índice de Área Foliar .....	44
2.1.12 - Penetração da Radiação Solar em Meio Vegetal.....	45
2.2- Resultados Experimentais obtidos na Região Amazônica .....	46
2.2.1 - Balanço de Radiação .....	46

2.2.2 -	Radiação de Onda Curta.....	47
2.2.3 -	Radiação de Onda Longa.....	48
2.2.4 -	Radiação próximo ao chão da Floresta.....	49
2.2.5 -	Albedo .....	49
2.2.6 -	Índice de Área Foliar (IAF).....	50
<b>CAPÍTULO 3 - OBSERVAÇÕES EXPERIMENTAIS.....</b>		<b>53</b>
3.1 -	Dados Coletados e Instrumentos Utilizados.....	57
3.2 -	Aquisição de Dados .....	64
3.3 -	Calibração dos Instrumentos .....	65
3.4 -	Climatologia da Região .....	66
<b>CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA .....</b>		<b>69</b>
4.1 -	Classificação dos Dados (Dias) do Experimento quanto a Nebulosidade .....	69
4.2 -	Radiação de Onda Curta .....	71
4.2.1-	Avaliação dos Fluxos de Radiação de Onda Curta e Fotossinteticamente Ativa (Rfa).....	71
4.2.2-	Estimativa dos Fluxos de Radiação Solar na Faixa do Infravermelho Próximo (Ivp) .....	71
4.2.3-	Determinação do Albedo para Radiação de Onda Curta, Rfa e Infravermelho Próximo (Ivp) .....	72
4.2.4-	Determinação da Quantidade de Radiação de Onda Curta e Rfa no Interior da Vegetação .....	72
4.2.5-	Avaliação da Radiação de Onda Curta e Rfa no Chão da Floresta .....	73
4.3 -	Radiação Atmosférica e Terrestre .....	73
4.3.1-	Avaliação do Fluxo de Radiação Atmosférica chegando à Superfície (Topo da Floresta) .....	73
4.3.2-	Comparação entre o Fluxo de Radiação Atmosférica Observado com o Estimado a partir de Fórmulas Clássicas.....	73
4.3.3-	Avaliação do Fluxo de Radiação Emitida pela Superfície .....	75
4.3.4-	Avaliação do Saldo de Radiação de Onda Longa na Superfície (Topo	



	da Floresta).....	75
4.4 -	Saldo de Radiação .....	76
4.4.1-	Determinação do Saldo de Radiação.....	76
4.4.2-	Avaliação do Saldo de Radiação no Interior da Vegetação .....	76
4.4.3-	Avaliação do Saldo de Radiação próximo do Chão da Floresta .....	76
4.5 -	Comparação entre os Valores obtidos via Modelagem e por meio de Observações da Penetração do Fluxo da Rfa no Interior da Vegetação e Estimativa do Índice de Área Foliar (Iaf).....	77
<b>CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>		<b>81</b>
5.1 -	Fluxo de Radiação de Onda Curta Incidente .....	90
5.2 -	Fluxo de Radiação de Onda Curta Refletido.....	93
5.3 -	Albedo da Radiação de Onda Curta .....	96
5.4 -	Fluxo de Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente .....	97
5.5 -	Fluxo de Radiação Fotossinteticamente Ativa Refletido .....	99
5.6 -	Albedo da Radiação Fotossinteticamente Ativa (Rfa) .....	100
5.7 -	Fluxo de Radiação Infravermelho Próximo .....	101
5.8 -	Fluxo de Radiação de Onda Longa Incidente .....	102
5.9 -	Comparação entre o Fluxo de Radiação de Onda Longa Incidente Observado com o obtido via Modelagem.....	103
5.10 -	Fluxo de Radiação De Onda Longa Emitido.....	106
5.11 -	Saldo de Radiação .....	107
5.12 -	Fluxo de Radiação de Onda Curta Incidente próximo ao Chão da Floresta .....	109
5.13 -	Fluxo de Rfa Incidente próximo do chão da Floresta.....	112
5.14 -	Saldo de Radiação Próximo ao chão da Floresta.....	113
5.15 -	Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF).....	123
5.16 -	Dia de Céu Claro .....	125
5.17 -	Dia de Céu Parcialmente Nublado .....	128
5.18 -	Dia de Céu Nublado .....	130
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES .....</b>		<b>133</b>



## LISTA DE FIGURAS

		pág.
2.1 -	Espectro de Emissão de um Corpo Negro normalizado para o Sol (600K) e Terra (255K) como função do Comprimento de Onda .....	34
2.2 -	Comportamento Espectral do Modelo do Albedo para um Tipo de Grama “ <b>Sudan Grass</b> ” .....	44
3.1 -	Localização do Sítio Experimental para Área de Floresta (REBIO-JARU) como parte do Projeto LBA .....	54
3.2 -	Esquema de posicionamento dos setores (N, L, S e O) utilizados no levantamento da vegetação em relação à torre meteorológica da Rebio-Jaru.....	55
3.3 -	Diagrama esquemático ilustrando a altura e o posicionamento dos radiômetros montados na torre micrometeorológica de 60 metros .....	59
3.4 -	Conjunto de Sensores de Radiação no Topo da Torre Micrometeorológica, apresentando um albedômetro (à esquerda) e um saldo-radiômetro (à direita), da foto .....	60
3.5 -	Esquema ilustrando a vista superior do posicionamento dos radiômetros instalados ao redor da base da Torre Micrometeorológica (chão da floresta) .....	63
3.6 -	Conjunto de Sensores de Radiação na base da Torre Micrometeorológica (chão), apresentando um piranômetro (à esquerda), um sensor quantum (ao centro) e um saldo-radiômetro (à direita), da foto .....	64
3.7 -	Ilustra o comportamento Climatológico da Precipitação .....	67
3.8 -	Ilustra o Comportamento Climatológico da Temperatura.....	67
5.1 -	Fluxos integrados diários de radiação solar incidente ( $R_{\downarrow}$ ), saldo de radiação ( $R_n$ ), radiação fotossinteticamente ativa ( $P_{\downarrow}$ ) e radiação de onda longa incidente ( $L_{\downarrow}$ ) e emitida ( $L_{\uparrow}$ ) ( <b>a</b> ); Valores médios diários de temperatura do ar ( $T_a$ ), pressão parcial de vapor (VP) e precipitação diária acumulada ( <b>b</b> ).....	

		86
5.2 -	Ciclos diurnos de radiação solar incidente ( $R_{\downarrow}$ ), saldo de radiação ( $R_n$ ), radiação fotossinteticamente ativa ( $P_{\downarrow}$ ) e radiação de onda longa incidente ( $L_{\downarrow}$ ) e emitida ( $L_{\uparrow}$ ).....	87
5.3 -	Variação média com desvio padrão e máxima diurna do fluxo de radiação de onda curta incidente no topo da torre, bem como o desvio padrão, obtidos pelo piranômetro CM11(a), albedômetro CM14 (b) e saldo-radiômetro CNR1 (c). ....	92
5.4 -	Comparação entre os sensores de onda curta incidente do piranômetro CM11 e do saldo radiômetro CNR1 (a), e entre os sensores de onda curta incidente do piranômetro e albedômetro CM14 (b), por intermédio de regressão linear.....	93
5.5 -	Variação média diurna dos fluxos de radiação de onda curta refletida no topo da torre, bem como o desvio padrão, obtidos pelo piranômetro (a), pelo albedômetro CM14 (b) e também pelo saldo-radiômetro CNR1 (c). ....	95
5.6 -	Padrão de evolução diurna médio do coeficiente de reflexão de radiação solar (albedo solar), com seu respectivo desvio-padrão (barras de erro). ....	96
5.7 -	Comportamento médio diurno do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente no topo da torre , bem como o desvio padrão.....	97
5.8 -	Padrão de evolução diurna da razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar incidente.....	98
5.9 -	Comportamento médio diurno do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) refletida no topo da torre , bem como o desvio padrão.....	99
5.10 -	Padrão de evolução diurna médio do coeficiente de reflexão de radiação fotossinteticamente ativa (albedo de RFA), com seu respectivo desvio-padrão (barras de erro). ....	100
5.11 -	Comportamento diurno estimado do fluxo de radiação infravermelho próximo (IVP) incidente no topo da torre, como também o respectivo	

	desvio padrão, obtidos a partir da diferença entre os valores médios de radiação de onda curta e radiação fotossinteticamente ativa.....	102
5.12 -	Varição média diária da radiação de onda longa incidente com o respectivo desvio padrão no topo da torre, obtido a partir do sensor de onda longa do saldo-radiômetro CNR1.....	103
5.13 -	Comportamento médio diário da radiação de onda longa incidente, para cinco modelos, calculados a partir de equações empíricas. Mostra-se também, nesta figura, o comportamento médio diário medido da radiação de onda longa incidente, obtido a partir do sensor de onda longa do saldo-radiômetro CNR1 .....	104
5.14 -	Comportamento médio diário da radiação de onda longa incidente, para cinco modelos, calculados a partir de equações empíricas. Mostra-se também, nesta figura, o comportamento médio diário medido da radiação de onda longa incidente, obtido a partir do sensor de onda longa do saldo-radiômetro CNR1. ....	105
5.15 -	Varição média diária da radiação de onda longa emitida com respectivo desvio padrão no topo da torre, obtido a partir do sensor de onda longa do saldo-radiômetro CNR1. ....	106
5.16 -	Varição média diária do saldo de radiação e desvio padrão no topo da torre micrometeorológica (58 m) obtidos a partir do saldo-radiômetro REBS (a) e também do resultado do balanço das componentes de radiação extraídas do saldo-radiômetro CNR1 (b).....	108
5.17 -	Comparação entre os resultados obtidos pelo saldo-radiômetro REBS e o saldo-radiômetro CNR1, por intermédio de uma regressão linear . . .	109
5.18 -	Comportamento diurno médio da radiação solar no topo da torre e próximo ao chão da floresta acompanhado de desvio padrão, para seis dias consecutivos ao final do experimento.....	110
5.18a -	Comportamento diurno médio percentual da radiação solar próximo ao chão da floresta.....	111
5.19 -	Comportamento diurno médio da RFA no topo e próximo ao chão da floresta acompanhado de desvio padrão, para seis dias consecutivos ao final do experimento .....	113

5.20 -	Comportamento diurno médio da RFA no topo e próximo ao chão da floresta acompanhado de desvio padrão, para seis dias consecutivos ao final do experimento.....	114
5.21a -	Perfis médios (29 dias) do percentual de radiação solar, fotossinteticamente ativa e saldo de radiação.....	116
5.21b -	Perfis médios (29 dias) do percentual do saldo de radiação: diário, diurno e noturno .....	117
5.22a -	Evolução diária do fluxo de radiação solar em vários níveis no interior da floresta, representativo para dia nublado .....	118
5.22b -	Evolução diária do fluxo de radiação solar em vários níveis no interior da floresta, representativo para dia de céu claro.....	119
5.23 -	Ciclo diário médio (29 dias) da temperatura do ar em diversos níveis (altura em metros) acima e no interior da floresta.....	120
5.24 -	Perfis de temperatura do ar (valores horários – média de 29 dias) .....	121
5.25a -	Extinção percentual da RFA↓ com a profundidade da vegetação (valor médio).....	122
5.25b -	Extinção percentual da radiação de onda curta (R↓) com a profundidade da vegetação (valor médio). .....	122
5.26	Perfil de densidade foliar no interior da floresta obtido a partir da utilização do modelo proposto por Marques Filho (1997). .....	124
5.27	Atenuação média das radiações de onda curta (a), RFA (b), IVP (c) e saldo de radiação (d), no interior da floresta em relação as respectivas radiações no topo da torre micrometeorológica para o dia 36 (juliano)...	127
5.28	Atenuação média da radiação de onda curta (a), RFA (b), IVP (c) e saldo de radiação (d), no interior da floresta em relação à respectiva radiação no topo da torre micrometeorológica para o dia 33 (juliano) ...	129
5.29	Atenuação média da radiação de onda curta (a), RFA (b), IVP (c) e saldo de radiação (d), no interior da floresta em relação à respectiva radiação no topo da torre micrometeorológica para o dia 38 (juliano) ...	131

## LISTA DE TABELAS

		<b>Pág.</b>
3.1 -	Distribuição da vegetação em cada parcela, sendo os arbustos, palmeira jovem e palmeira adulta indicados apenas pelo total de indivíduos, enquanto a arvoreta tem indicada seu número total de indivíduos (entre parênteses) e sua distribuição segundo suas alturas respectivas (conforme as classes estabelecidas), e as árvores, com seus correspondentes DAP, BC e TC.....	56
3.2 -	Mostra a aplicação, unidades de medida e modelo dos instrumentos de radiação utilizados neste estudo .....	58
3.3 -	Disposição dos piranômetros montados na Torre Micrometeorológica..	61
3.4 -	Disposição dos radiômetros (sensores quantum) montados na Torre Micrometeorológica .....	61
3.5 -	Disposição dos saldo-radiômetros montados na Torre Micrometeorológica .....	62
4.1 -	Equações propostas para a estimativa da radiação de onda longa incidente para dias de céu claro.....	74
5.1 -	Mostra os dias utilizados para análise dos dados de cada instrumento empregado neste estudo, onde (X) refere-se aos dias (dados) completos, (I) aos dias (dados) incompletos e os espaços em branco referem-se aos dias sem coleta de dados .....	82
5.2 -	Totais médios diários de “K” (incidente e refletida), fotossinteticamente ativa “P” (incidente e refletida), balanço de radiação “N”, onda longa “L” (incidente e emitida), em $Wm^{-2}$ , temperatura “T” em °C e a pressão de vapor “PV” em hPa .....	84
5.2a -	Totais médios diários de “K” (incidente e refletida), fotossinteticamente ativa “P” (incidente e refletida), balanço de radiação “N”, albedo de onda curta “ $K\uparrow/K\downarrow$ ”, albedo RFA “ $P\uparrow/P\downarrow$ ” e a razão “ $P\downarrow/K\downarrow$ ” .....	84
5.2b -	Totais médios diários de “K” (incidente e refletida), onda longa “L” incidente e emitida (e refletida), além de dois valores de saldo de	

	radiação, obtidos respectivamente, pelos saldo-radiômetros CNR1 e REBS .....	85
5.3 -	Radiação de onda curta média incidente diurna, integrada para 6 dias consecutivos entre 6 e 19 horas, obtidas no topo da torre ( <b>TOPO</b> ) e próximo ao chão da floresta por um conjunto de doze piranômetros (CM11), distribuídos ao redor da torre. A unidade dos parâmetros empregados nesta tabela é ( $Wm^{-2}$ ). .....	111
5.3a -	Valores percentuais do fluxo de radiação no chão da floresta para cada um dos doze piranômetros comparado com o fluxo incidente no topo da floresta. ....	112
5.4 -	Resumo da atenuação percentual das radiações de curta (O. C.), fotossinteticamente ativa (RFA), infravermelho próximo (IVP) e saldo de radiação (S. R.) para dias de céu claro, parcialmente nublado e nublado .....	132



## LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVIATURAS

ABLE	Amazonian Boundary Layer Experiment
ABRACOS	Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EUSTACH	European Studies on Trace Gases and Atmospheric Chemistry
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVP	Infravermelho próximo
LBA	The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia
MCG	Modelo de Circulação Global
NET	Saldo ou Balanço de Radiação
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa
RBLE	Rondônia Boundary Layer Experiment
REBIO-JARU	Reserva Biológica do Jaru
UV	Ultravioleta



## LISTA DE SÍMBOLOS

$\lambda$	Refletividade da superfície
$t_\lambda$	Transmissividade da superfície
IVP $\downarrow$	Radiação infravermelho próximo incidente
IVP $\uparrow$	Radiação infravermelho próximo refletida
$K_n$	Saldo de radiação de ondas curtas, $Wm^{-2}$
$K\downarrow$	Radiação solar global, $Wm^{-2}$
$K\uparrow$	Radiação solar refletida, $Wm^{-2}$
IAF	Índice de área foliar
$L_n$	Saldo de radiação de onda longa, $Wm^{-2}$
$L\downarrow$	Radiação de onda longa da atmosfera, $Wm^{-2}$
$L\uparrow$	Radiação de onda longa emitida pela superfície, $Wm^{-2}$
RFA $\downarrow$	Radiação fotossinteticamente ativa incidente, $Wm^{-2}$
RFA $\uparrow$	Radiação fotossinteticamente ativa refletida, $Wm^{-2}$
$R_n$	Saldo de radiação, $Wm^{-2}$
$R_{n\_res}$	Saldo de radiação residual, $Wm^{-2}$
$a$	Albedo global, adimensional
$a_C$	Albedo de ondas curtas, adimensional
$a_{RFA}$	Albedo RFA, adimensional
$a_{IVP}$	Albedo infravermelho próximo, adimensional
$S$	Emitância da superfície
$T_S$	Temperatura da superfície do corpo
$T$	Temperatura absoluta (Kelvin)
$\alpha_\lambda$	Absorção da superfície
$\epsilon_\lambda$	Emissividade da superfície
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$ )



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

No ambiente de floresta a radiação solar ocupa um papel relevante, sendo de fundamental importância nos processos de fotossíntese, aquecimento do ar e da superfície e evapotranspiração. Isto reforça o interesse mostrado nas últimas duas décadas por parte da comunidade científica em estudar a Região Amazônica por meio de projetos experimentais. Isto com o intuito de compreender melhor como ocorre a interação entre a floresta tropical e a atmosfera. As informações obtidas a partir destes estudos têm contribuído para avanços em várias áreas do conhecimento. Citam-se os projetos “Amazon Region Micrometeorological Experiment” (ARME) (1983-1985), (Shuttleworth *et al.*, 1989); “Amazon Boundary Layer Experiment” (ABLE) (1985-1987), (Viswanadham, *et al.* 1990); “Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observational Study” (ABRACOS) (1991-1994), (Gash *et al.*, 1996); “Rondonia Boundary Layer Experiment” (RBLE) (1992-1994), (Fisch, 1995).

O Programa de pesquisas na Amazônia “The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia” (LBA) deu prosseguimento a estudos ambientais na Amazônia. Como parte deles destaca-se o Experimento “Atmospheric Mesoscale Campaign” (WETAMC), realizado conjuntamente com o Experimento “Tropical Rainfall Measurements Mission” (TRMM), ambos no Estado de Rondônia, sudoeste da Amazônia brasileira. Nesta ocasião, realizou-se um estudo pioneiro que consistiu na montagem de uma torre micrometeorológica de 60 metros equipada com mais de 80 instrumentos. Uma das finalidades da implantação da mesma foi testar um arranjo de sensores na direção vertical, medindo várias componentes do balanço de radiação, para a realização de pesquisas sobre a interação entre a floresta natural e a atmosfera no período de janeiro a março de 1999 (Silva Dias *et al.*, 2002). As pesquisas envolveram medições das trocas de momentum, calor sensível e calor latente dentro e acima da copa utilizando-se de sensores de resposta rápida para a medida do vento, da temperatura e da umidade do ar (Bolzan *et al.*, 2002; von Randow *et al.*, 2002) e de sensores

convencionais para as medições dos perfis verticais de temperatura, umidade do ar e velocidade do vento. O mesmo sítio experimental também foi utilizado em inúmeras pesquisas de química da atmosfera durante as estações úmida e seca de 1999, como parte do projeto “European Studies on Trace Gases and Atmospheric Chemistry-EUSTACH”, (Andreae *et al.*, 2002). Neste, utilizou-se de uma torre de 45 metros de altura montada a aproximadamente 800 metros ao Sul da torre anteriormente mencionada.

Sendo as fontes e sumidouros de calor e gases altamente dependentes de como a energia solar incidente é absorvida pelos elementos da vegetação, principalmente pelas folhas e galhos, (Ni *et al.*, 1997) foram realizadas medições de radiação solar (global e fotossinteticamente ativa - RFA) e de saldo de radiação acima e dentro da copa. A distribuição vertical dos radiômetros dentro da vegetação procurou registrar em detalhe o rápido decaimento na intensidade de radiação solar com a altura. Isto se reveste de alguma complexidade provocada pela maior concentração de folhas e galhos na parte superior da floresta, que corresponde à região ocupada pelas copas das árvores mais altas. Por isso é a parte mais ativa do ponto de vista da interação da vegetação com a atmosfera. Medições de radiação de onda longa proveniente da atmosfera e emitida (e refletida) pela superfície foram realizadas somente acima da copa, próximo do topo da torre micrometeorológica. Também foram efetuadas medições de radiação solar (global e fotossinteticamente ativa - RFA) e de saldo de radiação à superfície, em doze posições situadas em torno da torre micrometeorológica, as quais foram obtidos apenas no período final do experimento.

Observações de radiação solar (onda curta) e terrestre (onda longa) acima da Floresta Amazônica vêm sendo realizadas há algumas décadas, principalmente com os objetivos de determinar a energia disponível para os processos de evapotranspiração (fluxo de calor latente) e de aquecimento direto da atmosfera pela superfície (fluxo de calor sensível). Além disso há preocupação em determinar o valor do coeficiente de refletividade solar (albedo) e as características da sua variação ao longo das estações do ano ( Shuttleworth *et al.*, 1984b; Viswanadham *et al.*, 1990; Leitão, 1994; Culf *et al.*,

1995; Galvão e Fisch, 2000). Os resultados dessas pesquisas têm aplicação direta em métodos de determinação de balanço de radiação de onda curta na superfície por sensoriamento remoto ( Calvet e Viswanadhan, 1993), além de servirem para estimativa da produção de biomassa. Nos modelos de previsão numérica de tempo e clima, serve tanto na calibração dos parâmetros dos seus esquemas de transferência solo-vegetação-atmosfera – SVAT, como também na validação dos fluxos calculados pelos modelos de previsão de tempo ou clima ( Manzi e Planton, 1996).

Já observações de atenuação da radiação de onda curta pela vegetação da Floresta Amazônica são menos freqüentes (Shuttleworth *et al.*, 1984b; Januário *et al.*, 1992; Leitão, 1994; Honzák *et al.*, 1996; Marques Filho, 1997; Wandelli e Marques Filho, 1999; Marques Filho e Dallarosa, 2000; Marques Filho e Dallarosa, 2001). Esses estudos estimaram a energia disponível para os processos de respiração do solo ou então o índice de área foliar (IAF) e sua distribuição espacial e vertical.

A maneira como os elementos da vegetação são horizontalmente e verticalmente distribuídos reflete a estrutura da vegetação, determina a densidade da cobertura vegetal. Constituem assim, os principais fatores no regime de radiação em meio vegetal (Ross, 1981). Porém, para o caso de vegetação de grande porte, como é o caso da Floresta Amazônica, a utilização de métodos diretos de caracterização da cobertura vegetal não são, em geral, aplicáveis, necessitando-se da utilização de métodos indiretos. Dentre os métodos indiretos destacam-se aqueles que se baseiam em medições de radiação no interior e acima da cobertura (Andrieu e Baret, 1993).

Marques Filho (1997) e Wandelli e Marques Filho (1999) desenvolveram modelos de inversão para a obtenção do índice de área foliar (IAF) e de sua distribuição vertical a partir de medidas diretas, respectivamente, de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e de radiação solar global no interior e acima da cobertura vegetal, tendo como base os trabalhos de revisão de Myneni *et al.* (1989) e Marques Filho (1992).

Este trabalho tem como primeiro objetivo analisar os dados de radiação solar e terrestre observados durante a campanha WETAMC/LBA. A radiação solar será avaliada acima e no interior da vegetação, e a radiação terrestre apenas acima da vegetação. O segundo objetivo é estimar o índice de área foliar (IAF) com a ajuda do modelo de inversão de Marques Filho (1997) e Wandelli e Marques Filho (1999).



## CAPÍTULO 2

### ELEMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Radiação

A energia radiativa recebida pela Terra na forma de ondas eletromagnéticas provenientes do Sol é denominada de radiação solar. Em meteorologia é mais comum usar o termo radiação de ondas curtas em lugar de radiação solar. 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.

##### 2.1.1 Espectro de Radiação

A distribuição espectral da radiação solar é o conjunto das radiações eletromagnéticas consideradas de acordo com seus comprimentos de onda ou de frequência. Aproximadamente 99% da energia concentra-se na faixa entre 0,15 a 4,0  $\mu\text{m}$ . Segundo Arya (1988), três faixas de comprimentos de onda curta definem, de maneira geral, o espectro de radiação solar. Estes são os comprimentos de onda menores que 0,3  $\mu\text{m}$ , denominados de radiação ultravioleta (UV); acima de 0,7  $\mu\text{m}$ , chamados de radiação infravermelha próximo (IVP) e, no intervalo entre estes dois limites, situa-se a região da radiação visível também conhecida como a radiação fotossinteticamente ativa. Por outro lado, o espectro de radiação de onda longa está confinado entre 3,0 e 100  $\mu\text{m}$ . Portanto, há uma pequena superposição entre os espectros de radiação de onda curta e longa, conforme mostra a Figura 2.1. Esta ilustra o espectro de emissão de radiação equivalente a um corpo negro, para o Sol (6000 K) e a Terra (288 K) em função do comprimento de onda.

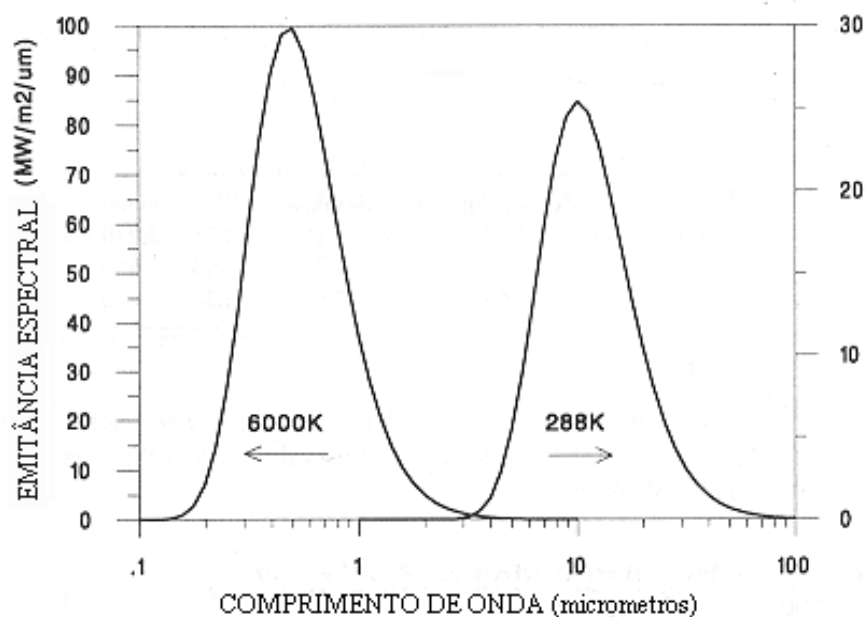


FIGURA 2.1 - Espectro de emissão de radiação equivalente a um corpo negro, para o Sol (6000 K) e para a Terra (288 K) em função do comprimento de onda. FONTE: Adaptada de Campbell e Norman (1998, p. 160).

### 2.1.2 Propriedades Radiativas em Superfícies Naturais

Na natureza não existe corpo negro perfeito, ou seja, um radiador perfeito é hipotético. O que na verdade existem são corpos cujas propriedades se aproximam daquelas de um corpo negro e são denominados corpos cinzas. Estes materiais interagem com a energia radiativa, sendo geralmente caracterizadas por diferentes propriedades físicas, tais como: emissividade, absorção, refletividade e transmissividade, definidas a seguir.

A emissividade ( $\epsilon_\lambda$ ) de um corpo é definida como a razão entre emitância monocromática deste corpo e a correspondente emitância monocromática de um corpo negro, à mesma temperatura do corpo considerado.

A absorção ( $\alpha_\lambda$ ) monocromática de uma superfície é definida como a razão entre a quantidade de energia radiante absorvida pela superfície e o total incidente, para um determinado comprimento de onda.

A refletividade ( $r_\lambda$ ) monocromática de uma superfície é definida como a razão entre a quantidade de energia radiante refletida pela superfície e a total incidente, para um determinado comprimento de onda.

A transmissividade ( $t_\lambda$ ) monocromática é definida como a razão entre a quantidade de energia radiante transmitida pela superfície e a total incidente, para um determinado comprimento de onda.

Então, pela conservação da energia, tem-se que:

$$\alpha_\lambda + r_\lambda + t_\lambda = 1 \quad (2.1)$$

### 2.1.3 Principais Leis da Radiação

#### Lei de Stefan-Boltzmann

A emitância radiante total de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência da temperatura absoluta deste corpo, e é dada por:

$$S = \sigma T_s^4 \quad (2.2)$$

Onde  $S$  é a emitância total do corpo,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ) e  $T_s$  é a temperatura absoluta da superfície do corpo em graus Kelvin (K).

#### Lei de Kirchhoff

Estabelece que, para um determinado comprimento de onda e uma dada temperatura, um sistema em equilíbrio termodinâmico local, a absorptância e a emissividade, seriam numericamente iguais, ou seja,  $\alpha_\lambda = \epsilon_\lambda$ . Nota-se que a emissividade de um corpo negro é igual à unidade. Para um corpo cinza ( $\epsilon_\lambda$  menor que 1), a emitância monocromática ( $E_\lambda$ ) é dada por:

$$E_\lambda = \epsilon_\lambda \cdot E_{b\lambda} \quad (2.3)$$

Onde,  $E_{b\lambda}$  é a emitância de um corpo negro.

Assim, considerando todo espectro, a emitância radiante total de um corpo cinza ( $E_c$ ) é dada por:

$$E_c = \varepsilon_\lambda \sigma T_s^4 \quad (2.4)$$

### **Lei de Beer-Bouguer-Lambert**

Um feixe monocromático de radiação, ao atravessar um meio homogêneo, sofrerá uma atenuação exponencial. Matematicamente pode-se escrever:

$$I_\lambda = I_{0\lambda} e^{-k \cdot x} \quad (2.5)$$

Onde,  $I_{0\lambda}$  é o fluxo monocromático incidente,  $I_\lambda$  é o fluxo monocromático transmitido,  $x$  é o caminho ótico percorrido e  $k$  é o coeficiente monocromático de extinção.

#### **2.1.4 Intensidade de Radiação**

De acordo com Nieuwolt (1977), a quantidade de energia que atinge a superfície terrestre depende da latitude do local, da declinação solar e ainda de outros fatores como a transparência do envoltório gasoso que circunda a Terra, chamado de atmosfera. A energia que chega ao topo da atmosfera em uma superfície hipotética perpendicular ao feixe de radiação solar a uma distância média Terra-Sol é da ordem de  $1367 \text{ Wm}^{-2}$  e é denominada constante solar. Teoricamente esta energia deveria ser constante. No entanto, sofre uma variação de mais ou menos 3,5% devido à órbita elíptica descrita pela Terra em torno do Sol. Outros fatores que também controlam a intensidade da radiação solar recebida na superfície terrestre são a ocorrência de manchas solares, o eixo de inclinação da Terra, a cobertura de nuvens, a presença de aerossóis e cristais de gelo, concentração de vapor d'água e de ozônio na atmosfera.

A intensidade da radiação incidente será tanto maior quanto maior for a elevação do Sol. Portanto, teoricamente ao meio dia (hora local), ocasião em que os raios solares incidem de maneira a se aproximarem ao máximo da direção perpendicular à superfície, os raios solares serão menos atenuados pela absorção, espalhamento e reflexão atmosférica (Nieuwolt, 1977).

Grande parte da luz que atinge nossos olhos, não provêm diretamente das fontes luminosas, e sim, indiretamente a partir de processos de espalhamento e reflexão. O espalhamento é um processo físico fundamental associado com a luz e a sua interação com a matéria, ou seja, é um processo pelo qual uma partícula na trajetória de uma onda eletromagnética continuamente desvia parte da energia da onda incidente e irradia esta energia em todas as direções.

O espalhamento é normalmente acompanhado de absorção. Tanto o espalhamento quanto a absorção atenuam a energia do feixe de luz que se propaga no meio. Esta atenuação (decaimento) na intensidade do feixe de luz é denominada de extinção.

### **2.1.5 Radiação de Ondas Curtas**

Como citado anteriormente, a radiação de onda curta tem seu comprimento de onda na faixa compreendida entre 0,15 a 4,0  $\mu$ m. A maior parte da radiação que chega na superfície terrestre é denominada de radiação direta, quando a atmosfera não oferece obstáculo à passagem da radiação. Outra parte que alcança a superfície terrestre após ser refletida por nuvens e sofrer o processo de espalhamento por partículas atmosféricas e aerossóis é definida como radiação difusa. Estes dois fluxos de radiação alcançam a superfície concomitantemente e representam o total de radiação solar que atinge a superfície, o que é denominado de radiação solar global.

O balanço de radiação de onda curta pode ser obtido com base na equação dada por:

$$K_n = K\downarrow - K\uparrow \quad (2.6)$$

Onde  $K_n$  é o saldo de radiação de onda curta ou solar;  $K\downarrow$  é a radiação de onda curta incidente e  $K\uparrow$  é a radiação de onda curta refletida pela superfície.

Na ausência de medidas de radiação de onda curta refletida e de posse do valor do albedo “a”, estima-se o balanço de radiação de ondas curta, utilizando-se a equação dada por:

$$K_n = (1 - a) K\downarrow \quad (2.7)$$

#### **2.1.5.1 Radiação Solar Global**

O fluxo de radiação solar no topo da atmosfera varia entre os valores de 1350 a 1400  $\text{Wm}^{-2}$ . O fluxo de radiação solar na superfície é menor quando comparado com o fluxo no topo da atmosfera. Isto acontece porque há uma atenuação da radiação ao passar pela atmosfera, principalmente na presença de nuvens Stratus do tipo baixo. Outro fator importante responsável pela diminuição da radiação solar é a turbidez atmosférica, a qual refere-se a algumas situações atmosféricas (excluindo a condição de presença de nebulosidade), que diminuem a transparência da atmosfera para a onda curta. A turbidez atmosférica para uma determinada área é o resultado da combinação natural das fontes de aerossóis, tal como erosão provocada pelo vento, fogo em floresta e erupções vulcânicas etc., e vários aerossóis de origem antropogênica (Arya, 1988).

#### **2.1.5.2 Radiação Difusa**

A radiação difusa é a porção da radiação solar que alcança a superfície da Terra após sofrer o espalhamento provocado pelas moléculas e partículas suspensas na atmosfera. Antes do nascimento e após o pôr do Sol, toda radiação de onda curta que alcança a superfície está na forma difusa. A razão entre a radiação difusa e a radiação incidente de onda curta varia diariamente e latitudinalmente. Então, em média, a atenuação da

radiação solar próximo do Equador e entre 40° e 60° de latitude deve ser grande, devido à constante nebulosidade encontrada nestas regiões, enquanto que nas regiões entre 20° e 30° de latitude e nas latitudes próximas aos pólos, a atenuação é pequena devido à pouca nebulosidade existente nestas regiões. Ou seja, quanto mais espessas são as nuvens, maior é a atenuação do feixe de radiação pelos processos de reflexão e absorção da radiação causados pelas gotículas de água existentes na atmosfera. A radiação difusa constitui uma fonte de calor da maior importância para a superfície da Terra, especialmente em altas latitudes, onde nos meses de inverno a radiação solar direta fica bastante reduzida. Além disso, uma parte da radiação difusa também é responsável pela realização da fotossíntese.

### **2.1.5.3 Radiação Refletida**

Do ponto de vista da obtenção de estimativas a partir de dados experimentais, as medidas de radiação solar refletida costumam apresentar problemas de representatividade da amostragem, pois são fortemente dependentes da localização e da distribuição dos sensores. Para tentar solucionar este tipo de problema são utilizadas alternativas como, por exemplo, obtenção de medidas de radiação refletida (da superfície de estudo) a partir de coletas realizadas por avião, ou utilizando-se um conjunto de instrumentos posicionados de modo a oferecerem estimativas representativas das grandezas meteorológicas na área de estudo. Por outro lado, este tipo de estudo torna-se ainda mais complicado, quando o local investigado trata-se do interior de uma floresta. De acordo com Marques Filho e Dallarosa (2001), uma das maneiras de obter tais medidas é a utilização da técnica que engloba um conjunto móvel de tubos solarímetros suspensos por cordas, o qual pode coletar dados de radiação em vários níveis dentro de ambiente de floresta.

### **2.1.6 Radiação de Ondas Longas**

Assim como a superfície terrestre absorve e reflete radiação solar, ela também emite radiação para a atmosfera, denominada de radiação de onda longa ou terrestre. Também

absorve parte da radiação emitida pela atmosfera e nuvens na faixa do infravermelho. Esta é denominada radiação atmosférica, e, como citado anteriormente, está confinada no intervalo de 3,0 a 100  $\mu\text{m}$ . A radiação de onda longa também é citada na literatura como radiação noturna, por ser dominante durante a noite, embora o processo de emissão de radiação de onda longa ocorra também durante o dia.

Quando os valores de onda longa incidente e emitido pela superfície são conhecidos, o saldo de radiação de onda longa pode ser obtido utilizando-se a diferença dada por:

$$L_n = L\downarrow - L\uparrow \quad (2.8)$$

Onde  $L_n$  é o saldo de radiação de onda longa;  $L\downarrow$  é a radiação de onda longa incidente e  $L\uparrow$  é a radiação de onda longa emitida pela superfície.

No entanto, entre as componentes do balanço de radiação, com certeza a radiação de onda longa incidente é a componente mais difícil de ser medida, sendo muitas vezes obtida de maneira indireta. Assim, trabalhos utilizando métodos simplificados para o cálculo da radiação de onda longa incidente de céu claro têm sido propostos como os de Brunt (1932); Swinbank (1963); Idso e Jackson (1969); Brutsaert (1975); Satterlund (1979), dentre outros.

Em meteorologia, quando apenas o valor da componente incidente do balanço de onda longa é conhecido, costuma-se estimar o saldo de radiação de onda longa utilizando-se a equação dada por:

$$L_n = \varepsilon(L\downarrow - \sigma T_s^4) \quad (2.9)$$

Onde,  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ) e  $T_s$  é a temperatura absoluta da superfície do corpo em graus Kelvin (K).



### **2.1.6.1 Radiação Terrestre**

A emissão de energia por um corpo depende da temperatura e da emissividade deste, que no caso de superfícies naturais, varia na faixa de 0,9 e 1,0. A energia emitida pela superfície terrestre, principalmente em dias nublados, ao passar pela atmosfera tem grande parte desta energia absorvida pelos gases atmosféricos (principalmente pelo vapor d'água e dióxido de carbono), ficando aprisionada entre a superfície e as nuvens, efeito este denominado de efeito estufa.

### **2.1.6.2 Radiação Atmosférica**

Assim como a radiação terrestre, a radiação atmosférica ou contra radiação também é influenciada pelos gases e aerossóis presentes na atmosfera. No entanto, ela ainda depende da distribuição vertical da concentração desses gases e da temperatura como função da altura. A estimativa da radiação atmosférica é complicada, mesmo quando a distribuição do vapor d'água, dióxido de carbono, nebulosidade e temperatura são medidos. É preferível a utilização de um radiômetro apropriado para medi-la diretamente.

### **2.1.7 Balanço de Radiação**

Cada uma das componentes do balanço de radiação exerce um papel importante nos processos que ocorrem na biosfera. O saldo de energia disponível à superfície tem como principal componente o balanço de radiação. Este, por sua vez, pode ser obtido a partir do saldo de radiação de onda curta ou solar dado pela equação (2.6) e/ou (2.7) somado ao saldo de radiação de onda longa ou terrestre utilizando-se as equações (2.8) e/ou (2.9). Com isso, o balanço de radiação à superfície pode ser obtido utilizando-se a equação dada por:

$$R_n = (K\downarrow - K\uparrow) + (L\downarrow - L\uparrow) = K_n + L_n \quad (2.9)$$

ou

$$R_n = (1 - a)K\downarrow + \varepsilon (L\downarrow - \sigma T_s^4) = K_n + L_n \quad (2.10)$$

Onde  $R_n$  representa o saldo de radiação à superfície.

### **2.1.8 Radiação Fotossinteticamente Ativa**

A radiação fotossinteticamente ativa - RFA (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) 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. De acordo com McCree (1972), o tempo de exposição solar diário disponibilizado à planta, ou seja, a duração do dia (brilho solar), serve como calendário (cronograma) para o desenvolvimento do vegetal, desde a germinação até sua fase adulta (colheita). O desenvolvimento da planta pode ser melhor avaliado quando utilizam-se dados de radiação na faixa de 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ . 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 radiação fotossinteticamente ativa próximo à superfície (chão) 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.

### **2.1.9 Radiação próximo ao chão da Floresta**

Em dossel muito denso, a quantidade de radiação que alcança a superfície próximo ao chão da floresta pode ser bastante reduzida. Com isto, a regeneração de alguns tipos de plantas fica comprometida. Por outro lado, em dossel extremamente aberto, a excessiva

penetração de radiação pode inibir o crescimento de algumas espécies vegetais. Apesar da importância na estimativa da quantidade de radiação que atinge o chão da floresta, esta tarefa não é fácil, pois existem problemas relacionados à obtenção de dados, uma vez que para se obter confiabilidade nas informações coletadas, faz-se necessário um intensivo trabalho de medidas.

Estudos mostram que na região Amazônica a fração da radiação incidente que alcança a superfície próxima ao chão da floresta é consideravelmente pequena, menor que 5%, quando comparada com radiação que incide no topo da floresta, (Shuttleworth *et al.*, 1984b e Januário *et al.*, 1992).

#### **2.1.10 Albedo**

O albedo é a razão entre as radiações refletida e a incidente para um determinado comprimento de onda. Ao atingir a superfície da Terra, uma considerável porção da radiação solar incidente nas faixas de comprimento de onda entre 0,15 a 4,0  $\mu\text{m}$ ; 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$  e 0,7 a 4,0  $\mu\text{m}$  é refletida de volta para o espaço. O albedo da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e infravermelho próximo (IVP) é ilustrado na Figura 2.2. Esta mostra o comportamento espectral do albedo para uma grama do tipo “sudangrass”.

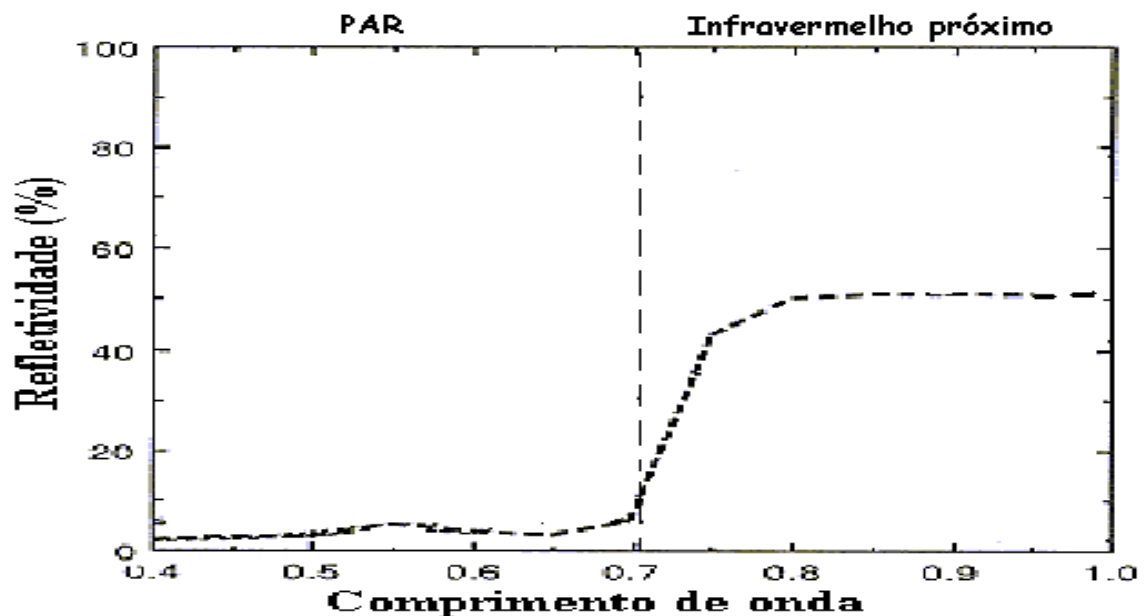


FIGURA 2.2 - Comportamento espectral do albedo para uma grama do tipo “sudan grass”.  
 FONTE: Adaptada de Hartmann (1994, p. 90).

O albedo é uma variável que, de um modo geral, depende das características da superfície de estudo como: rugosidade, cor, teor de umidade do solo da referida superfície, além da época do ano e do ângulo de elevação do Sol. Para uma superfície vegetada, o albedo depende ainda, do tipo e cor da vegetação, quantidade e tipo de nuvens, além da superfície de estudo. O albedo depende da inclinação dos raios de tal forma que, quanto menor o ângulo de incidência, entre a elevação do Sol e a superfície, maior ele será. Então, espera-se que no início da manhã e no final da tarde, quando a inclinação dos raios solares em relação à superfície é mínimo, o albedo seja máximo e, próximo ao meio dia, quando a elevação do Sol é máxima, e portanto, a inclinação em relação à superfície é grande, que o albedo seja mínimo (Eck e Deering, 1992).

### 2.1.11 Índice de Área Foliar (IAF)

O índice de área foliar tem uma estreita relação com a produtividade primária e com a biomassa da vegetação. A importância do conhecimento do IAF nos intercâmbios de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera justifica o desenvolvimento de

modelos que concorram para o maior entendimento da distribuição foliar. A estimativa do IAF, no que diz respeito a estudos de penetração de radiação em floresta, é importante pois este parâmetro é capaz de fornecer informações associada à distribuição da cobertura foliar ao longo de uma reserva vegetal. Entretanto, os métodos denominados diretos utilizados para estimativa do IAF normalmente são destrutivos e trabalhosos. Porém, existem hoje métodos indiretos para estimativa de IAF, de fácil interpretação, que têm como base medidas de penetração de radiação solar na vegetação. Uma análise comparativa utilizando três métodos indiretos distintos para obtenção de IAF, realizada por Honzák *et al.* (1996), mostra que existe uma grande dispersão entre os valores individuais de IAF, obtidos por cada um dos métodos, o que indica que mais pesquisa deve ser realizada a fim de aperfeiçoar as estimativas de IAF.

#### **2.1.12 Penetração da Radiação Solar em Meio Vegetal**

A literatura afirma que em regiões de floresta de mata densa a penetração da radiação é bastante difícil. Ross (1981) discute os aspectos gerais da distribuição e orientação espacial dos elementos vegetais relevantes à penetração de radiação em ambiente vegetal. Myneni *et al.*(1989) apresentam uma revisão suficientemente ampla sobre a radiação solar no meio vegetal, ressaltando aspectos numéricos apropriados para o desenvolvimento dos diferentes modelos e suas soluções. Andrieu e Baret (1993) apresentam uma revisão detalhada sobre métodos indiretos para estimar a estrutura da cobertura vegetal a partir de medidas de radiação em seu interior.

Processos seletivos semelhantes aos ocorridos na atmosfera também ocorrem quando a radiação penetra em uma cobertura vegetal. Conforme Leitão (1994), as quantidades de radiação absorvida, transmitida e refletida pela vegetação diferem para cada tipo de dossel. Isto é explicável, pois cada comunidade vegetal tem suas peculiaridades (como altura e distribuição de plantas dentro do dossel; inclinação; tamanho e coloração das folhas), além das condições de exposição e do tipo de solo.

De acordo com Leitão (1994), o regime de radiação dentro de dosséis vegetais exhibe considerável variabilidade espacial, temporal e, dependendo da densidade foliar do dossel, o fluxo de radiação solar diminui mais ou menos intensamente à medida que penetra na cobertura vegetal. A avaliação da extinção da radiação solar dentro da copa tem sido descrita por meio de modelos, como por exemplo o apresentado por Alados *et al.* (1996). O regime de radiação solar no interior de uma cobertura vegetal resulta de uma série de interações entre a radiação incidente e os elementos vegetais, especialmente as folhas (com suas características óticas: reflexão e transmissão), orientação e distribuição. Para a estimativa da radiação solar especificamente no interior de vegetação densa, a partir da inversão de modelos, é necessário o conhecimento prévio do índice área foliar (IAF) existente nos diversos níveis entre o solo e o topo da cobertura e de sua distribuição na vertical (unidimensional) para obtenção de perfis de radiação. A partir daí pode-se inferir a distribuição de energia de natureza radiativa nas diferentes camadas horizontais da vegetação (Marques Filho, 1997).

## **2.2 Resultados Experimentais obtidos na Região Amazônica**

Principalmente nas duas últimas décadas a preocupação com o meio ambiente, ou seja com a qualidade de vida do ser humano, tornou-se uma preocupação mundial fazendo com que surgissem pesquisas com intuito de conhecer como as mudanças, principalmente antropogênicas, afetariam o clima e o meio ambiente de uma determinada região (INPE, 1997). A Região Amazônica é uma dessas regiões estudadas. No entanto, com o crescente avanço da tecnologia, a cada dia criam-se novas ferramentas e metodologias que permitem medir e avaliar com maior segurança os efeitos causados pela ação do Homem alterando o ambiente.

### **2.2.1 Balanço de Radiação**

Para um experimento realizado na Região Central da Amazônia, ao norte da cidade de Manaus, durante a segunda metade do mês de outubro e a primeira quinzena do mês de dezembro de 1990, a diferença do balanço de radiação entre um sítio de pastagem e

outro de floresta foi acima de  $60 \text{ Wm}^{-2}$  próximo ao meio dia (Bastable *et al.*, 1993). Por outro lado, Culf *et al.* (1996), em experimento realizado na Reserva Biológica do Jaruro, durante os anos de 1992 e 1993, apresentaram um valor médio anual do saldo de radiação, acima da floresta, de aproximadamente  $135,3 \text{ Wm}^{-2}$ .

### **2.2.2 Radiação de Onda Curta**

Considerando informações oriundas de experimentos realizados durante o projeto “Anglo-Brazilian Amazonian Climate observation Study-ABRACOS”, nas áreas de floresta (Rebio-Jaru – Ji-Paraná) e de pastagem (Fazenda nossa Senhora - Ouro Preto D’Oeste), em Rondônia, Nobre *et al.* (1996) afirmaram que em média a radiação solar absorvida pela superfície desmatada foi de  $186 \text{ Wm}^{-2}$ , sendo menor que para a área de floresta, cujo valor foi de  $204 \text{ Wm}^{-2}$ . A diferença apresentada para a radiação entre estas superfícies pode estar relacionada ao albedo. Conforme Culf *et al.* (1996), em experimento realizado na Rebio Jaru durante os anos de 1992 e 1993, a média anual de radiação incidente acima da floresta foi da ordem de  $201,6 \text{ W m}^{-2}$ , enquanto que a média para a radiação refletida no mesmo período foi da ordem de  $27,3 \text{ W m}^{-2}$ .

Os trabalhos realizados na Amazônia Central (Manaus - AM) indicam que os maiores totais de radiação que chegam à superfície ocorrem nos meses de setembro e outubro, sendo que os menores ocorrem entre os meses de dezembro a fevereiro, influenciados principalmente pela cobertura de nuvens (Fisch *et al.* 1998).

Feitosa *et al.* (1998), considerando dados de radiação acima da Floresta Amazônica em Ji-Paraná, obtidos no período de (1992-1996), encontraram valores de radiação solar global diária da ordem de  $197,9 \text{ Wm}^{-2}$  no topo de uma cobertura vegetal, durante o período chuvoso, enquanto que para o período seco os valores médios diários encontrados foram da ordem de  $211,8 \text{ Wm}^{-2}$ .

### 2.2.3 Radiação de Onda Longa

O saldo de radiação de onda longa no topo da vegetação, em estudos realizados na Reserva Florestal da Ducke-AM, referentes à estação chuvosa, apresenta acentuada amplitude em comparação aos valores médios do balanço de radiação de onda longa (Viswanadham *et al.* 1987, André *et al.* 1988). Isto pode ser explicado com base na equação do balanço de radiação que possui um termo de radiação de onda longa emitida pela atmosfera, que é função tanto da temperatura como da quantidade de vapor d'água contida no ar.

De acordo com André *et al.* (1989), que relatam resultados de um experimento realizado na Reserva Florestal Ducke-AM, no início da estação seca, a radiação de onda longa emitida pela superfície aumenta mais rapidamente que a radiação de onda longa atmosférica, das 9:00 às 15:00 (hora local). Por outro lado, o saldo de radiação de onda longa, para este horário, é grande (da ordem de  $-130 \text{ Wm}^{-2}$ ) quando comparado com o saldo no início da manhã e ao anoitecer (geralmente não ultrapassando  $-40 \text{ Wm}^{-2}$ ).

Bastable *et al.* (1993), em experimento realizado acima da vegetação na Reserva Florestal Ducke-AM, utilizando dados obtidos no período de 01 a 10/12/90, correspondente à estação chuvosa e no período de 12 a 21/10/90, correspondente à estação seca, obtiveram valores de radiação de onda longa atmosférica, (a partir de resíduo do balanço de radiação), da ordem de  $418,2 \text{ Wm}^{-2}$  e  $411,1 \text{ Wm}^{-2}$ , respectivamente.

O saldo de radiação de onda longa médio anual (emitido pela superfície menos recebido da atmosfera), medido acima da floresta foi da ordem de  $40,3 \text{ Wm}^{-2}$ , em experimento realizado na Reserva Biológica do Jaru-RO durante os anos de 1992 e 1993 (Culf *et al.* 1996).

Conforme Galvão (1999), utilizando dados do experimento realizado em área de pastagem a sudeste da região amazônica (durante o período de 4 de abril a 26 de junho



de 1993, correspondente ao final da estação chuvosa e ao início da estação seca) mostrou que existe uma diferença significativa entre os valores médios diários de onda longa incidente, para dias de céu claro e nublado, que foram da ordem de  $405,8 \text{ Wm}^{-2}$  e  $423 \text{ Wm}^{-2}$ , respectivamente.

#### **2.2.4 Radiação próximo ao chão da Floresta**

Utilizando dados de radiação de onda curta em trabalho realizado na floresta densa de terra firme da Reserva Ducke em Manaus-AM, durante o período de 6 a 15 de setembro de 1983, Shuttleworth *et al.* (1984b), afirmaram que a radiação solar que alcança o chão da floresta apresenta valores extremamente pequenos quando comparados com aqueles observados acima da floresta, (da ordem de 1% do valor obtido no topo da vegetação). Entretanto, Januário *et al.* (1992), avaliando o comportamento da radiação em floresta tropical de mata densa da região de Tucuruí-PA, afirmaram que o valor que alcançou o solo (chão da floresta) foi de aproximadamente 5% da radiação solar no topo da vegetação, para uma área aberta adjacente, ou seja, próxima ao local de estudo.

#### **2.2.5 Albedo**

Estudos mostram que do total de radiação que chega a uma superfície vegetada, parte dela é imediatamente refletida, outra parte é transmitida e o restante absorvida pelas plantas (Idso *et al.*, 1966). Segundo Manzi *et al.* (1986), há um decréscimo do albedo global durante o dia em relação à elevação do sol, geralmente alcançando valores máximos próximos do nascer e pôr do sol, enquanto os valores mínimos são observados em torno do meio dia. Para superfícies vegetadas com dossel organizado, onde a folhagem é agrupada na copa, uma considerável parte da radiação solar incidente penetra no dossel antes de ser refletida (Shuttleworth, 1989). André *et al.* (1989), em experimento realizado na Reserva Florestal Ducke-AM, mostraram que os valores de albedo diário no dossel da vegetação variam entre os valores mínimo de 11,0% (meio-dia) e máximo de 33,0% (final de tarde). Esta variabilidade encontrada para o albedo mostra que há uma maior penetração de radiação na superfície ao meio do dia, o que

leva a um aumento da absorção e do espalhamento abaixo da copa neste horário (Eck e Deering, 1992).

Bastable *et al.* (1993), em experimento realizado no final da estação seca e início da estação chuvosa do ano de 1990, afirmaram que o valor médio diário do albedo na Região Central Amazônica foi da ordem de 16,3% para a área desmatada e 13,1% para área de floresta. Afirmaram ainda, que este valor encontrado para a floresta é ligeiramente maior, porém da mesma magnitude daquele obtido por Shuttleworth *et al.*, (1984b) em trabalho anterior referente ao mesmo sítio, que foi da ordem de 12,3%, em setembro de 1983.

Na cidade de Marabá-PA, em estudos realizados em área de floresta, o valor médio do albedo ao meio dia foi da ordem de 14,0%, para a estação seca, e de 13,4% para estação chuvosa (Ribeiro, 1994). Segundo o autor, a diminuição no valor do albedo observado na estação chuvosa, é atribuída ao fato das constantes chuvas características que ocorrem no início da manhã durante esta estação. Por outro lado, Culf *et al.* (1995), afirmaram que o decréscimo no valor do albedo para a época chuvosa, encontrado por Ribeiro (1994), está estreitamente relacionado com a quantidade de água contida no solo. Culf *et al.* (1995), afirmaram que o albedo médio diário encontrado para a Floresta Amazônica foi de 13,4%, enquanto a diferença entre o albedo médio da floresta e o de pastagem é aproximadamente 30% menor do que a diferença média geralmente utilizada em Modelo de Circulação Global-MCG para simulação de desmatamento.

### **2.2.6 Índice de Área Foliar (IAF)**

Leitão (1994) em estudo realizado na Reserva Florestal Ducke-AM, utilizando fotografias hemisféricas (câmera equipada com lente do tipo olho de peixe de 8mm), obteve como resultado um índice de área foliar acumulado para mata densa da ordem de 5,44 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. Roberts *et al.* (1996), em estudo realizado na Reserva Biológica do Jaru-RO, utilizando método direto, obtiveram como resultado de índice de área foliar acumulado para mata densa, valores da ordem de 4,4 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> com uma variação sazonal de 15%. Utilizando três métodos distintos para obtenção de IAF, Honzák *et al.* (1996),

em experimento realizado ao norte de Manaus-AM, obtiveram valores médios na faixa de 2,97 a 6,18 (usando o método de manchas solares), de 4,21 a 9,60 (usando medidas de radiação RFA) e de 3,45 a 4,79 (usando fotografias hemisféricas).



## CAPÍTULO 3

### OBSERVAÇÕES EXPERIMENTAIS

Para a realização do presente estudo utilizaram-se dados obtidos em experimento micrometeorológico realizado durante a campanha WETAMC/LBA, no período de 26 de janeiro a 11 de março de 1999, na Reserva Biológica do Jaru (Rebio-Jaru), em Rondônia. A Rebio-Jaru foi criada pelo decreto-lei nº 83.716, datado de 11/07/79 e pertence ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). A reserva situa-se entre os paralelos de 10°05' a 10°19' S e os meridianos de 61°35' a 61°57' W, a aproximadamente 78 km ao norte da cidade de Ji-Paraná-RO, na margem direita do Rio Machado, afluente do Rio Madeira. A Rebio-Jaru compreende uma área de 268.150 hectares e apresenta uma variação de 100 a 150 metros de altura acima do nível médio do mar. Neste local (latitude 10°05' S; longitude 61°56' O) foi instalada uma torre com 60 metros de altura, para a realização de medidas micrometeorológicas ilustrado na Figura 3.1. Esta mostra localização do sítio experimental para a área de floresta.

O local escolhido para instalação da torre micrometeorológico é representativo de Floresta Tropical Úmida, existente na Região da Bacia Amazônica. O relevo apresenta pequenas ondulações que modulam a superfície média do dossel que registra uma altura de 33m, com algumas árvores emergentes chegando a atingir mais de 40m. O tipo de solo característico é o Podsol, com um conteúdo particularmente alto de areia, principalmente no perfil próximo à superfície (McWilliam *et al.*, 1993).

A partir da torre micrometeorológica, (quadrado ao centro da Figura 3.2), delimitou-se uma área circular de diâmetro igual a 30m ao redor da mesma, onde dividiu-se essa área em quatro setores de igual área (N, L, S e O) conforme indicado na Figura 3.2. A vegetação, ao redor da torre, foi alvo de um breve levantamento realizado por Marques Filho e Dallarosa (2001). O que permitiu observar algumas das características da vegetação, a qual é constituída de espécies típicas de floresta natural não-perturbada.

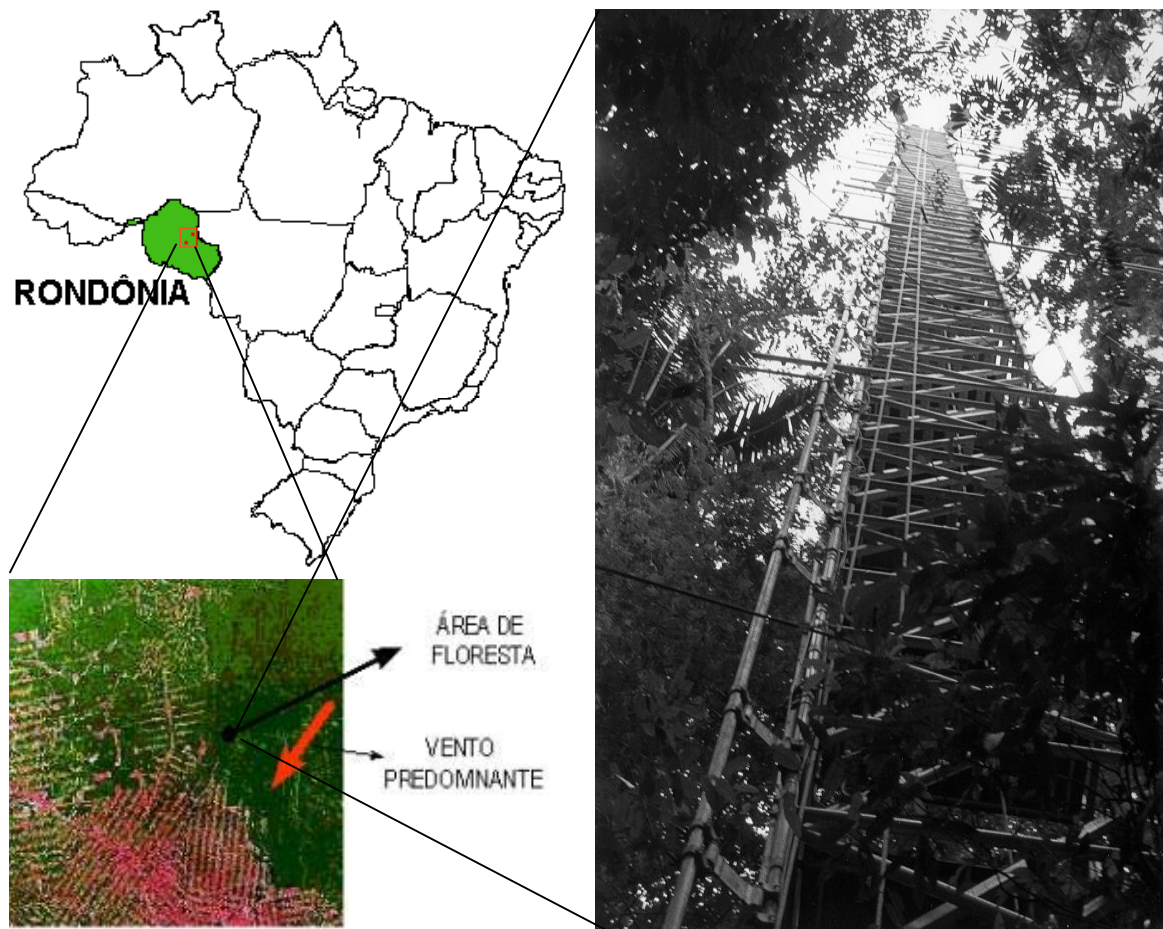


FIGURA 3.1 - Localização do sítio experimental para a área de floresta (Rebio-Jaru-RO), como parte do projeto LBA.  
FONTE: Adaptada de INPE (1997).

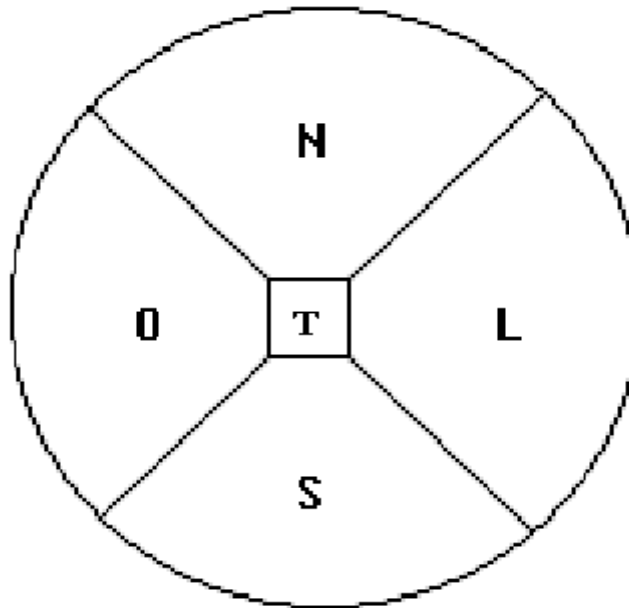


FIGURA 3.2 - Esquema de posicionamento dos setores (N, L, S e O) utilizados no levantamento da vegetação em relação à torre meteorológica (T) da Rebio-Jaru-RO.

FONTE: Marques Filho e Dallarosa (2001).

A distribuição, ou seja, a contagem da vegetação dentro de cada setor, é mostrada na Tabela 3.1. Sendo que a mesma é caracterizada pelo respectivo DAP (diâmetro à altura do peito) e classificada segundo sua altura, conforme segue:

DAP < 10 cm ⇒ arbusto (desde 1 m até 4 m)

⇒ arvoreta (acima de 4 m; medida: altura aproximada)

DAP ≥ 10 cm ⇒ árvores (medidas: DAP (diâmetro à altura do peito); BC (base da copa); TC (topo da copa)

⇒ palmeira jovem (abaixo de 4 m)

palmeira adulta (acima de 4 m)

TABELA 3.1 – Distribuição da vegetação em cada parcela, sendo os arbustos, palmeira jovem e palmeira adulta indicados apenas pelo total de indivíduos, enquanto a arvoreta tem indicada seu número total de indivíduos e sua distribuição segundo suas alturas respectivas (conforme as classes estabelecidas), e as árvores, com seus correspondentes **DAP, BC E TC**.

		N			L			S			O		
DAP < 0,10m	Arbusto	93			89			74			74		
	p. jovem	22			30			46			24		
	p. adulta	00			01			00			00		
	Arvoreta	(43)			(19)			(24)			(37)		
		4 -7m	>7-10m	>10-13m	4 -7m	>7-10m	>10-13m	4 -7m	>7-10m	>10-13m	4 -7m	>7-10m	>10-13m
		28	12	3	11	7	1	18	6	0	21	8	8
DAP ≥ 0,10m	Árvore	DAP	BC	TC	DAP	BC	TC	DAP	BC	TC	DAP	BC	TC
	01	0,10	8,0	16,2	0,11	9,0	12,6	0,10	12,6	14,4	0,11	5,0	12,6
	02	0,10	9,0	12,6	0,11	14,4	18,0	0,11	9,0	12,6	0,12	2,0	9,0
	03	0,11	12,6	14,4	0,12	9,0	16,2	0,14	14,4	18,0	0,16	10,8	12,0
	04	0,13	3,0	16,2	0,13	14,4	18,0	0,17	19,8	21,6	0,17	9,0	18,0
	05	0,13	10,0	18,0	0,14	9,0	12,6	0,18	9,0	18,0	0,19	9,0	21,8
	06	0,14	9,0	16,2	0,14	9,0	16,2	0,18	10,8	16,2	0,20	14,4	23,4
	07	0,15	14,4	18,0	0,14	10,8	18,0	0,30	21,6	30,6	0,33	18,0	23,4
	08	0,18	12,6	19,8	0,16	14,4	16,2	0,49	27,0	37,8	0,43	23,2	32,4
	09	0,23	8,0	19,8	0,18	10,8	14,4				0,44	14,4	30,6
	10	0,42	21,6	28,8	0,30	14,4	23,4				0,49	21,8	32,4
	11	0,73	18,0	37,8	0,44	30,6	37,8						
	12	0,74	23,4	39,6	0,58	25,2	39,6						
	13				0,68	18,8	34,2						

FONTE: Marques Filho e Dallarosa (2001).



### 3.1 Dados Coletados e Instrumentos Utilizados

Na campanha WETAMC/LBA coletaram-se dados de radiação solar e terrestre, saldo de radiação, albedo, radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura e umidade do ar, pressão atmosférica, precipitação, temperatura do solo, índice de área foliar, velocidade e direção do vento, umidade e fluxo de calor no solo. Para tal, utilizaram-se os seguintes instrumentos: radiômetros (piranômetros, pirgeômetros, saldo-radiômetros, albedômetros e sensores quantum), termohigrômetros, barômetros, pluviômetros, termopares, imageador digital de dossel (equipado com lente do tipo olho de peixe de 8mm), anemômetros (sônicos tridimensionais e convencionais), reflectômetros de domínio de frequência (FDR) e fluxímetros (FCS). Além disso, foi usada uma estação meteorológica automática suplementar, equipada de pluviômetro, barômetro, anemômetro, aerovane (direção de vento), termohigrômetro e saldo-radiômetro (Sá *et al.*, 2000 apresentam descrição detalhada do experimento micrometeorológico).

Para o presente trabalho foi utilizado um conjunto de informações, que consiste de dados de saldo de radiação, de radiação solar incidente e refletida, de radiação de onda longa emitida pela superfície e recebida da atmosfera, e de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). A Tabela 3.2 relaciona os instrumentos, aplicação, unidades de medida e modelos dos mesmos, utilizados neste estudo. Estes instrumentos foram dispostos na torre em várias alturas de modo a proporcionar um perfil vertical da distribuição da radiação dentro da copa, em complemento das medidas acima dela. Utilizou-se também, um conjunto de dados obtidos no período final da campanha, conjunto este que consiste de dados de radiação solar incidente, radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e saldo de radiação medidos próximo à superfície (chão) da floresta a partir de instrumentos específicos para cada fim, os quais foram deslocados do perfil, e em seguida foram distribuídos ao redor da torre micrometeorológica. Além disso, utilizar-se-á um conjunto de dados, obtido por Caruzzo *et al.*, 2000, referente ao índice de área foliar (IAF) em diferentes alturas (níveis) no interior da floresta utilizando-se um imageador digital de dossel, marca/modelo CID-110 equipado com lente do tipo “olho de peixe” de 8 mm.

TABELA 3.2 - Mostra a aplicação, sensibilidade, unidade de medida e modelo dos instrumentos de radiação utilizados neste estudo.

<b>Instrumentos</b>	<b>Medições (parâmetro)</b>	<b>Sensibilidade</b>	<b>Unidades</b>	<b>Modelos</b>								
Piranômetro (↓)(↑)	radiação de onda curta incidente e refletida	$\pm 0,5\%$ em $20^\circ\text{C}$ e $500\text{ Wm}^{-2}$	$\text{Wm}^{-2}$	Solarímetro CM11 Kipp & Zonen (Delft, Holanda)								
Saldo-radiômetro	saldo de radiação	$< \pm 5\%$	$\text{Wm}^{-2}$	REBS (Seattle, USA)								
Sensor quantum (↓)(↑)	RFA (incidente e refletida)	$0.2\text{ KWm}^{-2}\text{ mV}^{-1}$ e erro máximo de $\pm 5\%$	$\text{Wm}^{-2}$ ou $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	Sensores quantum LI190SB - L150 Licor (Nebraska, USA)								
Piranômetro (↓)(↑) Pirgeômetro (↓)(↑)	saldo de radiação de onda curta saldo de radiação de onda longa	$\pm 10\%$ entre $(-40\text{ e }70^\circ\text{C})$	$\text{Wm}^{-2}$ $\text{Wm}^{-2}$	<table style="border: none; margin-left: 20px;"> <tr> <td style="border: none;">[</td> <td style="border: none;">(CM3)</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">}</td> <td style="border: none;"><b>CNR1</b></td> </tr> <tr> <td style="border: none;">]</td> <td style="border: none;">(CG3)</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">]</td> <td style="border: none;">Kipp&amp;Zonen (Delft, Holanda)</td> </tr> </table>	[	(CM3)	}	<b>CNR1</b>	]	(CG3)	]	Kipp&Zonen (Delft, Holanda)
[	(CM3)											
}	<b>CNR1</b>											
]	(CG3)											
]	Kipp&Zonen (Delft, Holanda)											
Albedômetro (↓)(↑)	Albedo de radiação solar	$< \pm 10\text{ Wm}^{-2}$ em $1000\text{ Wm}^{-2}$ e $\pm 1\%$ em $40^\circ\text{C}$	$\text{Wm}^{-2}$	<b>CM14</b> Kipp&Zonen (Delft, Holanda)								

Instalaram-se instrumentos em várias alturas na torre micrometeorológica, sendo que aqueles destinados a medir radiação foram posicionados ao longo da extensão da torre citada, conforme mostra a Figura 3.3. Esta traz o diagrama esquemático ilustrando a altura e o posicionamento dos radiômetros montados na torre micrometeorológica. Os instrumentos situados nos níveis de 58,35 m e 35,20 m são referentes às condições do topo da torre e da copa, respectivamente. Já no interior da copa, utilizou-se uma distribuição aproximadamente logarítmica a partir de 30 metros em direção à base da torre, com o intuito de obter uma boa representatividade do perfil da radiação na região superior da copa, que é radiativamente mais ativa.

Para determinar-se o balanço de radiação no topo da torre, instalaram-se um albedômetro e um saldo-radiômetro. Este último fornece dados independentes de radiação de onda curta incidente e refletida e onda longa atmosférica e terrestre. Instalaram-se, ambos os instrumentos, no nível de 58,4 metros, por meio de um tubo

metálico afastado da torre cerca de 4 metros, conforme ilustrado na Figura 3.4. Esta mostra a disposição do albedômetro e do saldo-radiômetro (CNR1).

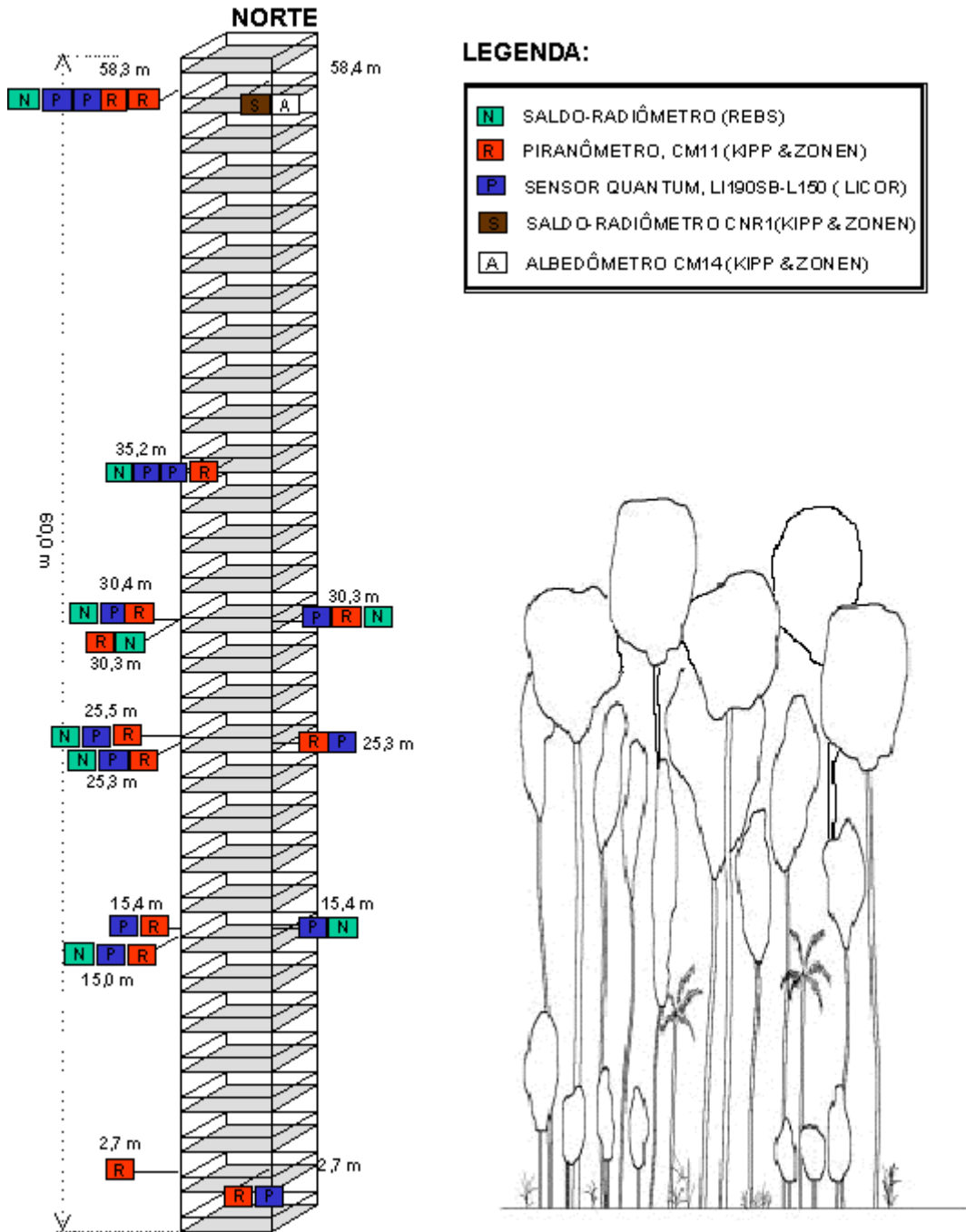


FIGURA 3.3 - Diagrama esquemático ilustrando a altura e o posicionamento dos radiômetros montados na torre micrometeorológica de 60 metros.

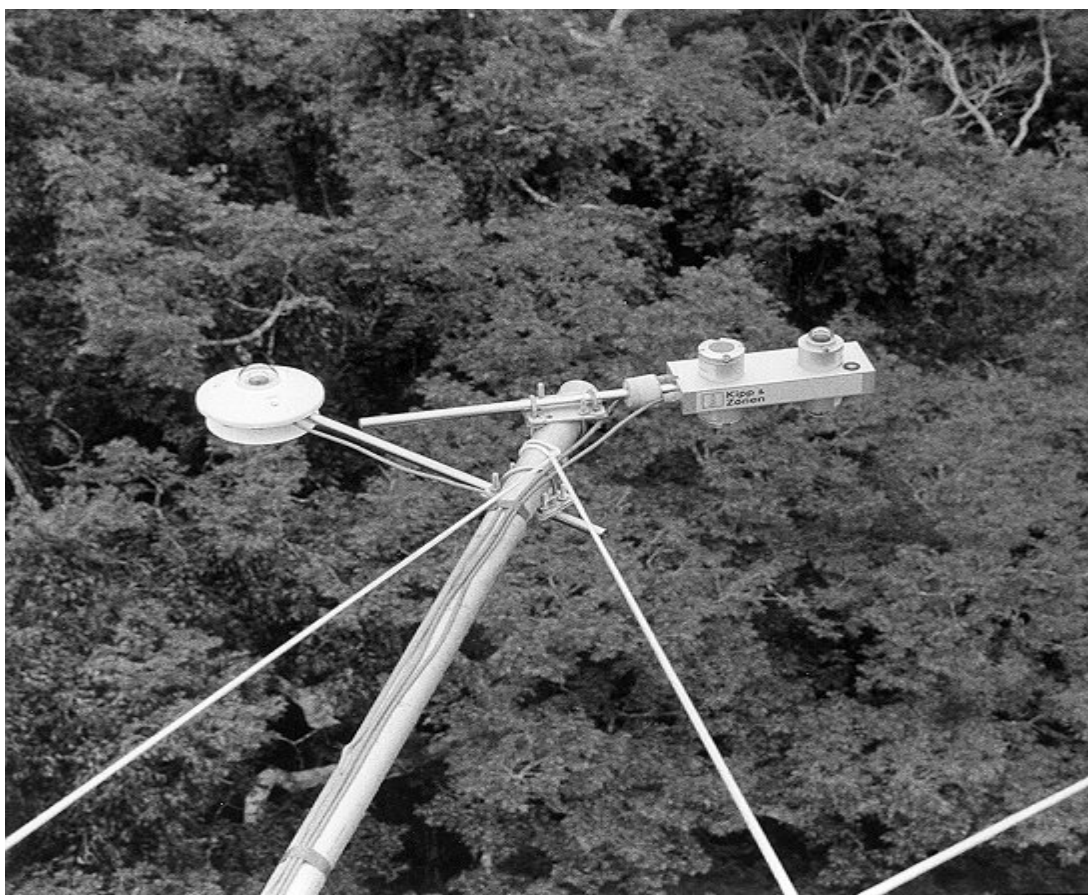


FIGURA 3.4 - Conjunto de sensores de radiação no topo da torre micrometeorológica, apresentando um albedômetro (à esquerda) e um saldo-radiômetro modelo CNR1 (à direita).

Para a determinação dos perfis de radiação acima e dentro da floresta instalaram-se, ao longo da torre, doze piranômetros, treze sensores quantum, e nove saldo-radiômetros. A disposição (altura e face) deles na torre e mostradas nas Tabelas 3.3, 3.4 e 3.5, respectivamente. Em cada nível adaptou-se, sobre um tubo metálico de 4m de comprimento, um grupo de sensores, afastados 2m da lateral da torre. A exceção foi para o nível localizado no topo da torre, afastado de 4m da mesma. Todos os tubos metálicos estavam adaptados de modo que os instrumentos neles fixados permanecessem perpendiculares à torre (lembrando que nos níveis em que os instrumentos estavam montados em pares, um estava voltado para cima e outro para baixo), para medir radiação incidente e refletida, respectivamente (Figura 3.3).

TABELA 3.3 - Disposição dos piranômetros montados na torre micrometeorológica.

<b>Piranômetros (<math>Wm^{-2}</math>)</b>	<b>Altura (m) e Face</b>	<b>Incidente (I) e Refletido (R)</b>
<b>R1</b>	<b>58,35 S</b>	<b>I</b>
<b>R2</b>	<b>58,35 S</b>	<b>R</b>
<b>R3</b>	<b>35,20 S</b>	<b>I</b>
<b>R4</b>	<b>35,20 S / 2,70 O</b>	<b>R / I</b>
<b>R5</b>	<b>30,30 S</b>	<b>I</b>
<b>R6</b>	<b>30,40 O</b>	<b>I</b>
<b>R7</b>	<b>30,25 L</b>	<b>I</b>
<b>R8</b>	<b>25,25 S</b>	<b>I</b>
<b>R9</b>	<b>25,45 O</b>	<b>I</b>
<b>R10</b>	<b>15,00 S</b>	<b>I</b>
<b>R11</b>	<b>15,40 L</b>	<b>I</b>
<b>R12</b>	<b>2,70 S</b>	<b>I</b>

TABELA 3.4 - Disposição dos radiômetros rfa (sensores quantum) montados na torre micrometeorológica.

<b>Sensor quantum (<math>Wm^{-2}</math>)</b>	<b>Altura (m) e Face</b>	<b>Incidente (I) e Refletido (R)</b>
<b>P1</b>	<b>58,35 S</b>	<b>I</b>
<b>P2</b>	<b>35,20 S</b>	<b>I</b>
<b>P3</b>	<b>30,30 S</b>	<b>I</b>
<b>P4</b>	<b>30,40 O</b>	<b>I</b>
<b>P5</b>	<b>30,25 L</b>	<b>I</b>
<b>P6</b>	<b>25,25 S</b>	<b>I</b>
<b>P7</b>	<b>25,45 O</b>	<b>I</b>
<b>P8</b>	<b>25,30 L</b>	<b>I</b>
<b>P9</b>	<b>15,00 S</b>	<b>I</b>
<b>P10</b>	<b>15,40 L</b>	<b>I</b>
<b>P11</b>	<b>15,40 O</b>	<b>I</b>
<b>P12</b>	<b>2,70 S</b>	<b>I</b>
<b>P13</b>	<b>58,35 S</b>	<b>R</b>

TABELA 3.5 - Disposição dos saldo-radiômetros montados na torre micrometeorológica.

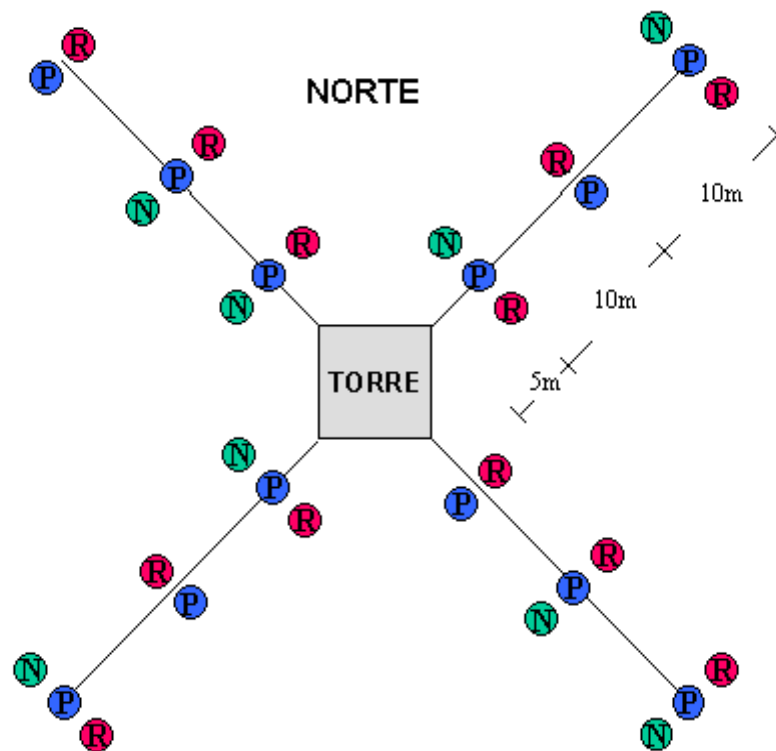
Saldo-radiômetros ( $Wm^{-2}$ )	Altura (m) e Face
<b>N1</b>	<b>58,35 S</b>
<b>N2</b>	<b>35,20 S</b>
<b>N3</b>	<b>30,30 S</b>
<b>N4</b>	<b>30,40 O</b>
<b>N5</b>	<b>30,25 L</b>
<b>N6</b>	<b>25,25 S</b>
<b>N7</b>	<b>25,45 O</b>
<b>N8</b>	<b>15,00 S</b>
<b>N9</b>	<b>15,40 L</b>

Observações:

- piranômetro **R4**, que estava inicialmente em 35,20 m de altura (refletido), a partir do dia 48 (juliano) foi transferido para 2,70m (incidente).
- Os símbolos (**N**), (**S**), (**L**) e (**O**), referem-se às faces Norte, Sul, Leste e Oeste, respectivamente.
- radiômetro (sensor quantum) **P13**, foi instalado no dia 42 (juliano) no nível de 58,35 m de altura (refletido).

Para determinarem-se os dados de radiação na superfície (chão da floresta), utilizou-se um conjunto com oito saldo-radiômetros, doze piranômetros e doze sensores quantum em uma região ao redor da base torre, conforme a Figura 3.5. Esta ilustra a vista superior do posicionamento dos radiômetros, instalados ao redor da base da torre micrometeorológica (chão da floresta). Os instrumentos utilizados nesta parte do experimento foram também adaptados a tubos metálicos de aproximadamente um metro e meio de comprimento, os quais por sua vez, foram acoplados em forma de “T” a outro tubo de 1,2 metros de comprimento, previamente fixado verticalmente no solo. Isto de modo a que os instrumentos ficassem paralelos à superfície, (conforme ilustra a Figura 3.6, que mostra um conjunto de sensores de radiação, em forma de “T”, na base

da torre meteorológica à superfície). Esse experimento foi realizado nos últimos oito dias da campanha, de 04 a 11 de março. Isto após terem sido deslocados os radiômetros que compunham os perfis de radiação dentro da copa para esse experimento na superfície. Os instrumentos foram posicionados seguindo as direções nordeste, noroeste, sudoeste e sudeste. Em cada um das direções foram instalados três conjuntos de instrumentos, os quais, por sua vez, ficaram distantes de cinco, quinze e vinte e cinco metros da base da torre, conforme ilustrado na Figura 3.5.



**LEGENDA:**




	SALDO-RADIÔMETRO (REBS)
	PIRANÔMETRO, CM11 (KIPP & ZONEN)
	SENSOR QUANTUM, LI190SB-L150 (LICOR)

FIGURA 3.5 - Esquema ilustrando a vista superior do posicionamento dos radiômetros instalados ao redor da base da torre micrometeorológica (chão da floresta).

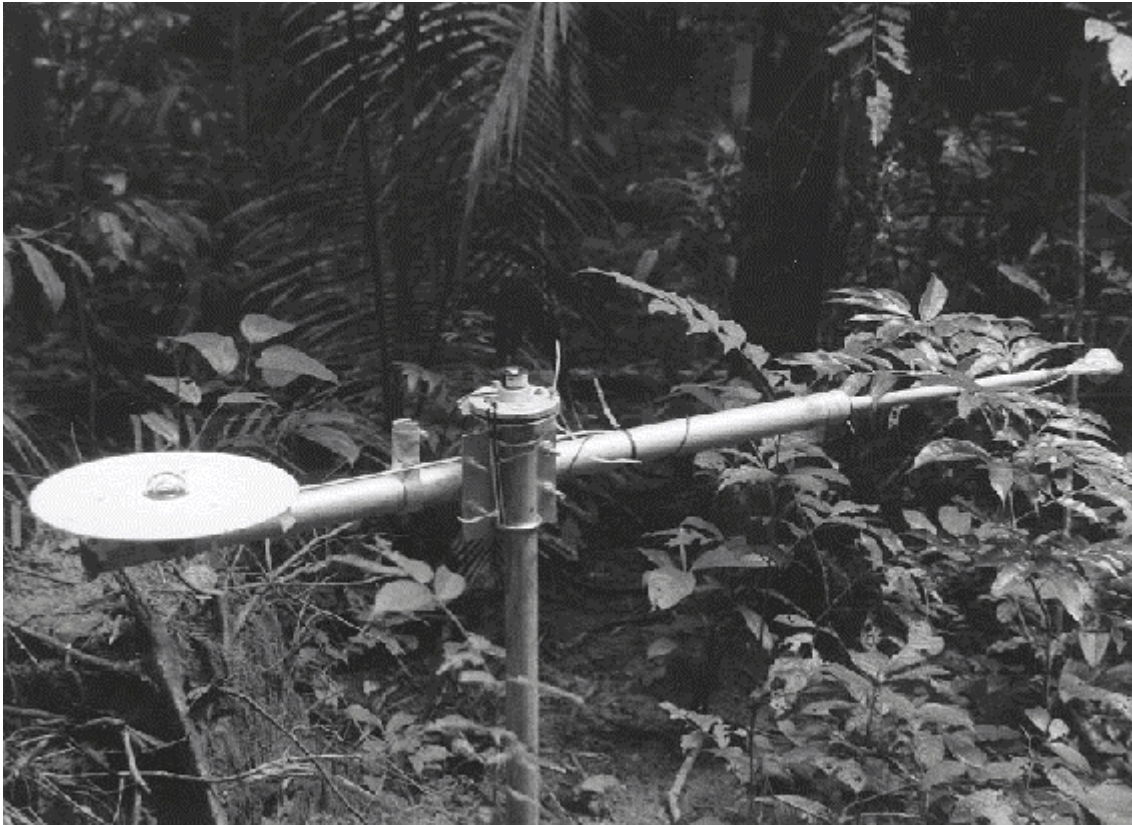


FIGURA 3.6 - Conjunto de sensores de radiação na base da torre micrometeorológica (chão), apresentando um piranômetro (à esquerda), um sensor quantum (ao centro) e um saldo-radiômetro (à direita).

### 3.2 Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados referentes à radiação no topo da torre, compreendia seis sensores de radiação acoplados a um coletor de dados (modelo CR10X - Campbell Instruments) e a um multiplexador. Por outro lado, o sistema de aquisição dos dados referentes aos perfis verticais de radiação era composto de 34 sensores de radiação acoplados a dois coletores de dados (modelos CR10X e 21X - Campbell Instruments) e a um multiplexador. O sistema de aquisição de dados foi programado para fazer uma varredura nos canais de entrada a cada dez segundos durante as 24 horas do dia e efetuar, de maneira contínua, leituras e registros instantâneos dos dados (parâmetros) de radiação a cada 10 segundos. Outrossim, a coleta de dados de radiação próximo à superfície (chão) da floresta compreendeu um sistema similar ao citado anteriormente, no qual utilizaram-se apenas 32 sensores de radiação. Os dados, depois de coletados,



eram diariamente transferidos (armazenados) para um microcomputador portátil “notebook” “in situ”.

### **3.3 Calibração dos Instrumentos**

A maioria dos instrumentos (radiômetros) foram recalibrados logo após a finalização dos trabalhos de campo. Os piranômetros CM11 foram calibrados tendo como referência (padrão) o piranômetro de radiação descendente do albedômetro CM14 (Kipp & Zonen), uma vez que este instrumento havia sido recém-calibrado pelo fabricante. Seguindo procedimentos similares aos da calibração dos piranômetros, foram utilizados instrumentos novos (com calibração recente de fábrica) como referência para a calibração dos sensores quantum da marca Licor e dos saldo-radiômetros da REBS.

A calibração do saldo-radiômetro CNR1 (Kipp&Zonen), o qual fornece medidas independentes dos fluxos de radiação de onda curta e de onda longa descendentes e ascendentes, foi feita utilizando-se como referência o albedômetro CM14 (Kipp&Zonen) para fluxos de radiação de onda curta e um pirgeômetro (Eppley de propriedade da Universidade de São Paulo), novo, recém-calibrado de fábrica, para os fluxos de radiação de onda longa.

As calibrações foram realizadas por meio de comparações dos valores integrados e da evolução temporal dos fluxos medidos pelos piranômetros, radiômetros sensores quantum e saldo-radiômetros localizados na mesma altura, tendo em vista que existem, em alguns níveis, instrumentos idênticos, em faces diferentes da torre meteorológica, medindo a mesma variável.

### 3.4 Climatologia da Região

Uma característica marcante da Bacia Amazônica é a sazonalidade existente na distribuição da precipitação, a qual origina as estações chuvosa, geralmente considerada de novembro a abril, apresentando totais mensais de precipitação acima de 200 mm e a estação menos chuvosa, considerada de junho a outubro, com um período de estiagem bem caracterizado entre os meses de junho a agosto (Ferreira da Costa *et al.*, 1998). Estas estações são também denominadas de estações úmida e seca, respectivamente. A temperatura do ar apresenta uma distribuição média anual pouco variável da ordem de 25,2 °C, sendo outubro o mês mais quente, com temperatura média de 25,6°C, enquanto que julho é o mês mais frio, com temperatura média em torno de 22,7°C. As temperaturas máximas e mínimas (valores médios mensais) para o período são 32,2°C e 17,6°C, respectivamente. Para caracterizar a climatologia da região de Ji-Paraná-RO, a qual é representativa do local onde desenvolveu-se o estudo em questão, são mostradas médias mensais de precipitação e temperatura, conforme as Figuras 3.7 e 3.8 que ilustram, respectivamente, o comportamento climatológico da precipitação e da temperatura (máxima, mínima e média) para a região. Mais informações sobre esta climatologia, (na qual utilizaram-se dados diários de uma estação convencional, obtidos no período de 1982 a 1996 em Ouro Preto D'Oeste, distante 50 km de Ji-Paraná-RO), podem ser encontradas em Ferreira da Costa *et al.*, (1998).

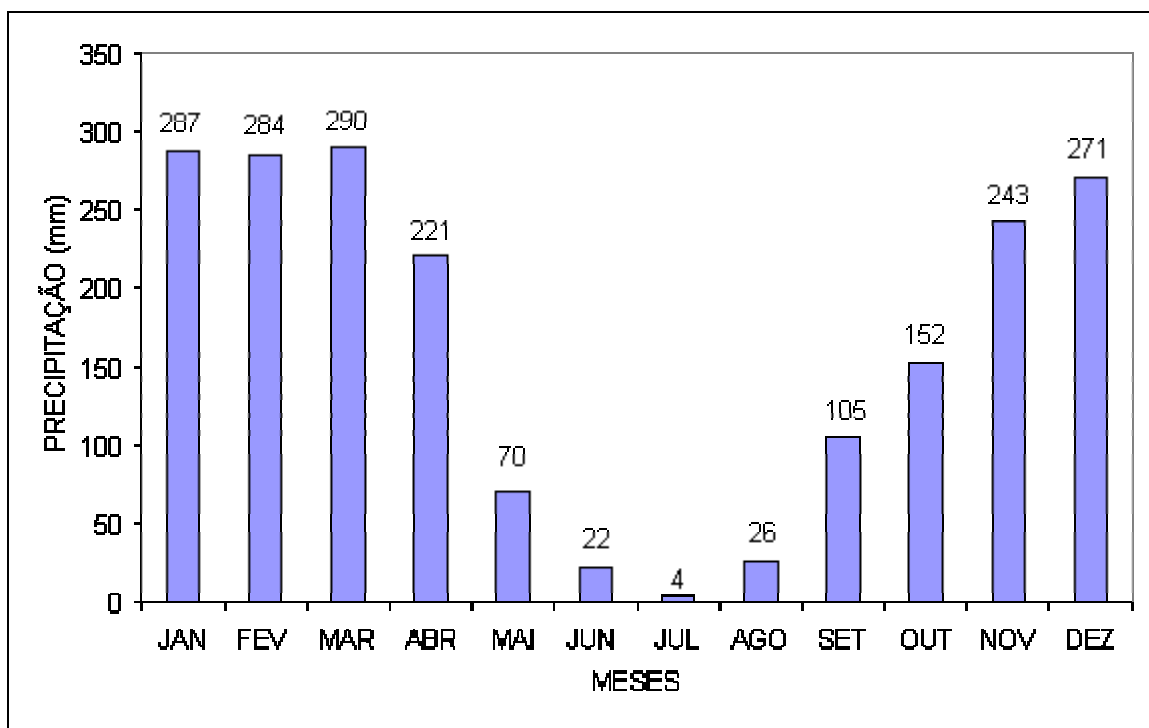


FIGURA 3.7 - Comportamento climatológico da precipitação para região (período de 1982 a 1996).

FONTE: Ferreira da Costa *et al.* (1998, p. 3).

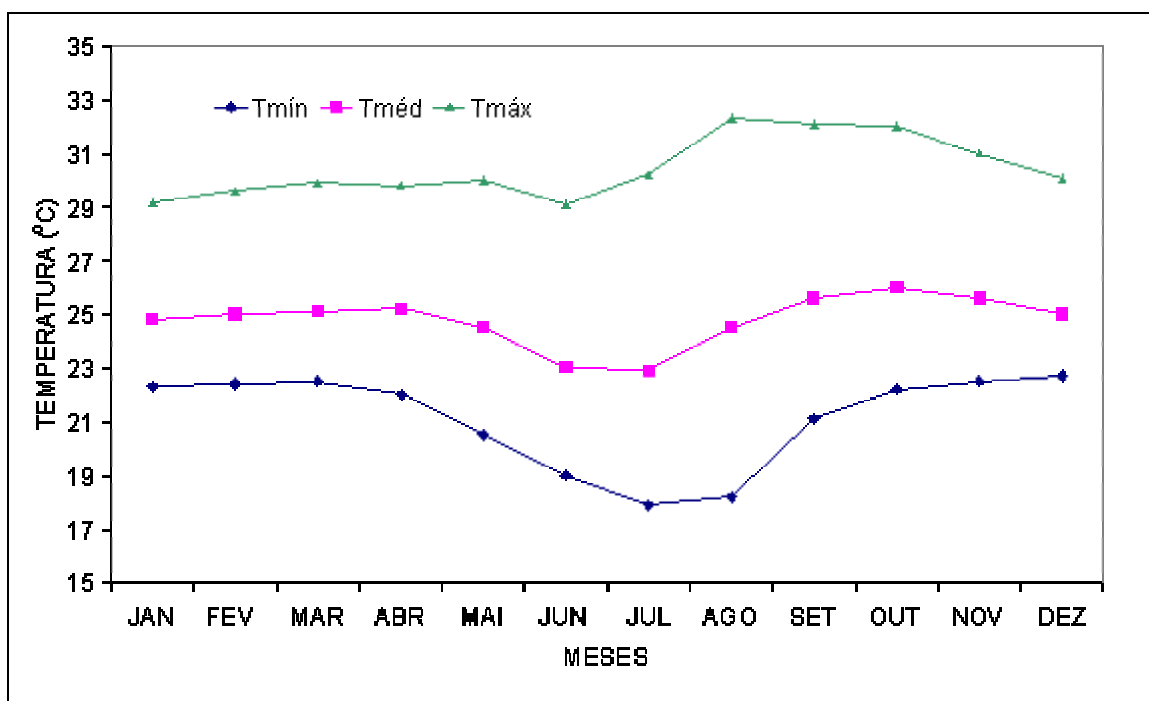


FIGURA 3.8 - Comportamento climatológico da temperatura para região (período de 1982 a 1996).

FONTE: Ferreira da Costa *et al.* (1998, p. 3).



## CAPÍTULO 4

### METODOLOGIA

Neste Capítulo apresentam-se os métodos pelos quais cada uma das grandezas medidas pelos instrumentos empregados neste estudo foi obtida. Isto compreende calibração do instrumento e comparação com outros instrumentos similares. Também envolve estimativa e/ou avaliação das grandezas. Utilizaram-se artifícios matemáticos (estatística) para os cálculos das médias, desvios padrões etc., no período examinado. Sendo assim, analisou-se o comportamento médio da radiação solar incidente e refletida (onda curta), da radiação termal proveniente da atmosfera e emitida pela superfície (onda longa), da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), da radiação infravermelho próximo (IVP) e do saldo de radiação acima, no interior e próximo ao chão da floresta.

#### 4.1 Classificação dos Dados (Dias) do Experimento quanto a Nebulosidade

Tendo em vista que as medidas foram realizadas durante a estação chuvosa da região, as condições de cobertura de nuvens apresentaram-se bastante variadas, (inclusive na escala de uma hora), com dias totalmente nublados, parcialmente nublados e alguns dias com características de céu claro (limpo), o que tornou bastante difícil a determinação de condições de dia característico. Assim sendo, os dados coletados foram classificados considerando-se a percentagem de cobertura de nuvens. Observações diretas de cobertura de nuvens foram realizadas na sede do IBAMA (distante cerca de 8 Km da torre experimental) até oito vezes por dia (a cada três horas). No entanto, será utilizado para esta classificação, um método similar ao proposto por Marques Filho (1997). Segundo este, para o período diurno, considera-se a curva horária de radiação máxima observada, obtida a partir dos valores máximos absolutos observados em cada hora durante todo o período do experimento, ou seja, de 26 de janeiro a 11 de março de 1999. Um método similar ao proposto por Marques Filho (1997), foi utilizado por Culf *et al.* (1998) para a classificação de dias quanto à nebulosidade.

A curva horária de radiação máxima observada torna-se assim, um referencial para separar e classificar os dias, tomando-se a razão entre a radiação observada no topo da cobertura vegetal e a radiação máxima estimada para cada instante.

Marques Filho (1997) utilizou esse método para estimar qualitativamente a contribuição da radiação solar direta e difusa no topo e interior da copa de floresta. A contribuição da radiação solar direta para os fluxos medidos no topo e no interior da vegetação diminui com o aumento da cobertura de nuvens. Este autor argumenta ainda, que em termos de modelagem (mesmo considerando a complexidade associada com a direcionalidade da radiação direta) o efeito dessa contribuição deve ser marginal para valores da ordem de 50% da radiação máxima. Para essas condições, os valores medidos no interior da vegetação são menos afetados pelas limitações de amostragem espacial inerentes às coberturas de grande porte: o campo de radiação é predominantemente isotrópico e um modelo de radiação difusa é suficiente para representá-lo.

Após a obtenção da curva diária de radiação de onda curta máxima observada no período, relacionou-se esta curva com a curva radiação incidente de onda curta integrada obtida para cada um dos 45 dias do experimento. Com isto, os dias que apresentaram valor maior que 70 % da integração da radiação no topo da torre, foram considerados dias de céu claro; com um valor menor que 40 % dias nublados; e no intervalo entre 40 a 70 %, dias parcialmente nublados.

Então, seguindo o critério adotado acima, ficaram assim distribuídos os dias (juliano) quanto a nebulosidade:

**Céu claro:** 29, 30, 32, 35, 36, 37, 40, 43, 44, 45, 46 e 63;

**Parcialmente nublado:** 33, 41, 42, 47, 48, 49, 50, 56, 60, 62, 64, 65 e 66;

**Nublado:** 26, 27, 28, 31, 34, 38, 39, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 61, 67, 68, 69 e 70.

## **4.2 Radiação de Onda Curta**

### **4.2.1 Avaliação do Fluxo de Radiação de Onda Curta e Fotossinteticamente Ativa (RFA)**

Utilizaram-se nesta campanha, instrumentos capazes de coletar dados de radiação em vários comprimentos de onda pré-determinados, como por exemplo o piranômetro e o sensor quantum. De posse destas informações, pode-se avaliar o comportamento dos fluxos de radiação de onda curta e RFA por meio de médias temporais horárias dos dados de radiação em questão.

### **4.2.2 Estimativa do Fluxo de Radiação de Onda Curta na faixa do Infravermelho Próximo (IVP)**

O espectro da radiação infravermelho próximo - IVP (varia entre 0,7 e 4,0  $\mu\text{m}$ ). Então, com a determinação das radiações nas faixas espectrais global (0,15 a 4,0  $\mu\text{m}$ ) e RFA (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ), torna-se possível estimar o comportamento dos fluxos de radiação solar na faixa do infravermelho, subtraindo-se os fluxos de RFA dos fluxos de radiação global.

Ressalta-se que, as informações obtidas na faixa do infravermelho próximo, via satélite, são importantes para o acompanhamento da evolução do estado da vegetação. O índice de vegetação tem como base o albedo diferencial da vegetação em comprimentos de onda da faixa do visível ou RFA (valores baixos) e aqueles na faixa do infravermelho próximo - IVP (valores elevados).

#### **4.2.3 Determinação do Albedo para Radiação de Onda Curta, Fotossinteticamente Ativa (RFA), e Infravermelho Próximo (IVP)**

A partir da determinação dos fluxos das radiações, incidente e refletida, nas faixas de onda curta (0,15 a 4,0  $\mu$  m) pelo piranômetro, fotossinteticamente ativa (RFA) (0,4 a 0,7  $\mu$  m) pelo sensor quantum e infravermelho próximo (0,7 a 4,0  $\mu$  m), foi possível determinar o albedo de cada uma das faixas de radiação, fazendo-se a razão entre a radiação refletida pela incidente para cada uma das faixas de radiação, respectivamente. Para estes cálculos utilizaram-se as seguintes equações:

$$a_c = \frac{K \uparrow}{K \downarrow}; \quad a_{RFA} = \frac{RFA \uparrow}{RFA \downarrow} \quad a_{IVP} = \frac{IVP \uparrow}{IVP \downarrow} \quad (4.1)$$

Onde  $a_c$ ,  $a_{RFA}$  e  $a_{IVP}$ , são os albedo de onda curta, RFA e infravermelho próximo, respectivamente. Os valores de albedo obtidos neste trabalho serão posteriormente comparados com os valores obtidos por outros autores, tanto para floresta tropical úmida quanto para florestas de latitudes médias e altas (Betts e Ball, 1997).

#### **4.2.4 Determinação da quantidade de Radiação de Onda Curta e Fotossinteticamente Ativa (RFA) no interior da Vegetação**

Considerando que em cada nível instalaram-se instrumentos voltados para faces diferentes, com a finalidade de medir a mesma variável, primeiramente, determinar-se-á uma quantidade média de radiação para cada nível. Em seguida, com um único valor médio de radiação de onda curta e de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) para cada nível, obter-se-á o perfil vertical da radiação no interior da copa da vegetação.

Os resultados de perfis de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) obtidos nesta análise serão também comparados com os encontrados por outros autores tanto em floresta tropical úmida (Marques Filho, 1997) quanto em florestas de latitudes mais



altas (Dang *et al.*, 1997). A intercomparação entre os perfis de radiação global, de RFA e do saldo de radiação também será objeto deste estudo.

#### **4.2.5 - Avaliação da Radiação de Onda Curta e RFA no chão da Floresta**

Com os dados coletados próximo ao chão da floresta pelo conjunto de radiômetros torna-se possível obter uma média temporal das variáveis de radiação de onda curta e RFA, a qual deverá ser suficiente para a determinação de um valor médio temporal representativo da radiação que atinge a superfície (chão). Os resultados da radiação solar medidos próximo à superfície (chão), normalizados pela radiação incidente no topo da floresta, serão comparados com resultados obtidos por outros autores, tanto em floresta tropical úmida, como para florestas de latitudes médias e altas.

### **4.3 Radiação Atmosférica e Terrestre**

#### **4.3.1 Avaliação do Fluxo de Radiação Atmosférica chegando a Superfície (Topo da Floresta)**

Será obtido através de médias temporais das medidas (dados) de radiação de onda longa emitida pela atmosfera, por meio de informações fornecidas por pirgeômetro (do saldo-radiômetro CNR1).

#### **4.3.2 Comparação do Fluxo de Radiação Atmosférica medido com aquele Estimado a partir de Fórmulas Clássicas**

Os métodos mais simples para o cálculo da radiação de onda longa da atmosfera, em dias de céu claro, requerem dados de umidade e temperatura do ar, os quais encontram-se disponíveis como parte do conjunto de dados coletados nesta campanha. Com isso torna-se possível a estimativa da radiação de onda longa atmosférica utilizando um modelo simples. Dentre os modelos mais conhecidos, estão aqueles que utilizam as

parametrizações mostradas na Tabela 4.1, a qual apresenta as equações e os respectivos autores (ano), propostas para a estimativa da radiação de onda longa para céu claro.

TABELA 4.1 - Equações propostas para a estimativa da radiação de onda longa incidente para dias de céu claro.

$L\downarrow = (0,52 + 0,065\sqrt{e})\sigma T_a^4$	Brunt (1932)
$L\downarrow = 0,90 \times 10^{-5} \sigma T_a^6$	Swinbank (1963)
	Idso e Jackson (1969)
$L\downarrow = (1 - 0,26 \exp[-7,77 \times 10^{-4}(273 - T_a)^2])\sigma T_a^4$ $L\downarrow = 1,24\sigma T_a^4 (e/T_a)^{1/7}$	Brutsaert (1975)
$L\downarrow = (\sigma T_a^4) 1,08 \left[ 1 - \exp\left(-e \frac{T_a}{2016}\right) \right]$	Satterlund (1979)

Como condições de céu claro foram mais exceções do que regra durante a campanha utilizaram-se duas equações propostas por Monteith (1973) para estimar os valores diários de radiação de onda longa, as quais levam em consideração a porcentagem de cobertura de nuvens, a saber:

$$L\downarrow = (1 - c) \varepsilon_a \sigma T_s^4 + c (\sigma T_a^4 - 9) \quad (4.2)$$

E, para nuvens baixas,

$$L\downarrow = \varepsilon_a (1 + 0,2 c^2) \sigma T_a^4 \quad (4.3)$$

Sendo “c” a fração de cobertura de nuvens e “T<sub>a</sub>” a temperatura do ar. Ele sugeriu também duas equações para estimar a emissividade aparente de céu claro  $\varepsilon_a$ , a saber:

(4.4)

$$\varepsilon_a = 0,65 + 0,007 (T_a - 273)$$

e

$$\varepsilon_a = 0,53 + 0,06 \sqrt{PV} \quad (4.5)$$

com “PV” sendo a pressão parcial de vapor média (mb).

### **4.3.3 Avaliação do Fluxo de Radiação emitida pela Superfície**

Obter-se-á este fluxo utilizando-se médias temporais das medidas (dados) de radiação atmosférica emitida pela superfície da floresta, por meio de informações fornecidas também pelo elemento sensor adequado do saldo-radiômetro CNR1. Valores diários serão avaliados comparando-se os valores observados com os estimados a partir da temperatura média do ar, próxima da copa. Neste caso considera-se que a temperatura média do ar, em 35 metros, pode ser aproximada pela temperatura média da superfície efetiva de emissão da floresta (essencialmente a parte superior da copa) e que se pode aproximar a emissividade dessa superfície da unidade.

### **4.3.4 Avaliação do Saldo de Radiação de Onda Longa na Superfície (Topo da Floresta)**

O saldo de radiação de onda longa próximo à superfície será obtido fazendo-se a diferença entre o fluxo médio de radiação de onda longa recebida da atmosfera e o emitido pela superfície, conforme a equação (2.8).

Para esta situação, obter-se-á o balanço entre as médias temporais das medidas (dados) dos fluxos de radiação de onda longa por intermédio de informações adquiridas a partir do saldo-radiômetro (CNR1). O Saldo de radiação de onda longa também pode ser obtido da equação (2.9) do balanço de radiação como resíduo. Os resultados das medidas diretas (pirgeômetros) serão comparados com os valores obtidos como resíduo da equação 2.9

## **4.4 Saldo de Radiação**

### **4.4.1 Determinação do Saldo de Radiação**

O fluxo de saldo de radiação é resultado da somatória dos fluxos de radiação de onda curta e longa, conforme a equação dada por (2.9) e (2.10).

Torna-se possível a determinação do fluxo de saldo de radiação, citado anteriormente, tanto através dos dados coletados com os saldo-radiômetros REBS e também pelo saldo-radiômetro CNR1.

### **4.4.2 Avaliação do Saldo de Radiação no interior da Vegetação**

Uma análise do perfil vertical de saldo de radiação será efetuada com os dados dos saldo-radiômetros instalados no interior da floresta, de maneira análoga à análise dos perfis de radiação de onda curta e RFA.

### **4.4.3 Avaliação do Saldo de Radiação próximo ao chão da Floresta**

O saldo de radiação próximo ao chão da floresta será determinado a partir de valores médios de saldo de radiação medidos com os oito saldo-radiômetros instalados ao redor da torre micrometeorológica, próximo ao chão da floresta a aproximadamente 1,2 metros de altura, obtidos durante 8 dias.

#### **4.5 Comparação entre os valores obtidos por meio de Modelagem de Penetração do Fluxo de Radiação de Onda Curta e RFA no interior da Vegetação e Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF)**

A energia solar incidente desencadeia uma série complexa de processos biofisiológicos, químicos e físicos no interior de uma floresta. O fenômeno básico responsável por esses processos é a interação entre os fitoelementos e a energia radiante nestes, especialmente as folhas. Nessa interação, são relevantes as características óticas (reflexão e transmissão), orientação e distribuição espacial das folhas (Marques Filho, 1997). Portanto, para se interpretar quantitativamente e corretamente o funcionamento das florestas é necessário que se compreendam essencialmente os processos de interação da radiação eletromagnética com os fitoelementos (Knyazikhin *et al.*, 1997).

Existem alguns modelos unidimensionais de interação radiação-vegetação, sendo que a maioria deles baseia-se na suposição de que a vegetação da floresta pode ser idealizada como um meio horizontalmente homogêneo. Esses modelos geralmente têm como base a suposição de que a distribuição da folhagem obedece a leis estatísticas já conhecidas na organização da vegetação (Marques Filho, 1997).

A inversão de um modelo de interação vegetação de floresta – radiação foi aplicada por Marques Filho (1997) para obtenção da distribuição vertical de área foliar de uma floresta tropical de terra firme na Amazônia Central, utilizando para este fim, perfis observados de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Para tanto ele utilizou uma série de suposições, pois uma modelagem completa da radiação em meio vegetal requer uma descrição sistemática e correta dos elementos vegetais, o que é de difícil obtenção na prática.

O modelo tem como base as componentes dos campos primário e complementar da radiação direta e difusa, descritas pelas seguintes equações:

Radiação direta primária:

$$F_s(z) = F_s(h) e^{-K(\theta)A(z)} \quad (4.6)$$

Radiação difusa primária:

$$F_d(z) = F_d(h) \int e^{-K(\theta)A(z)} \cos\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta \quad (4.7)$$

Radiação complementar simplificada (direta e difusa)

a) Fluxo descendente:

$$F_1(A) = F_{p1}(A) - e^{-rA} F_{p1}(0) - e^{-r(Ao-A)} \cdot \{1 - e^{-2rA}\} F_{p2}(Ao) / \mu \quad (4.8)$$

b) Fluxo ascendente:

$$F_2(A) = F_{p2}(A) - e^{-rA} F_{p1}(0) \cdot \{1 - e^{-2r(Ao-A)}\} / \mu - e^{-r(Ao-A)} F_{p2}(Ao) \quad (4.9)$$

Onde:

$F(z)$  = fluxo de radiação (direta, difusa ou complementar) no nível  $z$ , no interior da vegetação ( $Wm^{-2}$ ).

$F(h)$  = fluxo de radiação (direta ou difusa) no topo da vegetação ( $Wm^{-2}$ ).

$A(z)$  = área foliar acumulada ( $m^2/m^2$ , adimensional).

$A_o$  = área foliar acumulada total (IAF da vegetação).

$R, \mu$  = parâmetros dependentes dos coeficientes de reflexão e de transmissão dos elementos vegetais ( $R$  e  $T$ ).

$K(\theta)$  = coeficiente de atenuação ( $=1/2\cos\theta$ ) para orientação aleatória dos elementos vegetais e  $\theta$ , o ângulo de inclinação das folhas.

Obs: Os índices “s” e “d”, subscritos, são referentes à radiação direta primária e difusa primária, respectivamente.

As principais hipóteses implícitas no desenvolvimento dessas equações são as seguintes:

- distribuição espacial aleatória dos elementos vegetais,

- orientação aleatória dos elementos vegetais,
- isotropia do campo de radiação difusa (primária e complementar),
- espalhamento reduzido da radiação fotossinteticamente ativa ( $R+T = 0,15$ ),
- albedo do solo desprezível para vegetação densa,
- aplicável para situação de céu bastante encoberto (radiação direta desprezível).

Marques Filho (1997) utilizou com sucesso, o modelo acima citado para inferir a distribuição de área foliar no interior da floresta. Condições semelhantes às estudadas por Marques Filho se apresentam no caso deste trabalho e a mesma metodologia será aplicada. Valores de IAF da floresta da Rebio-Jaru, medidos de maneira independente, deverão ser utilizados na avaliação dos resultados do modelo.

Pretende-se ainda avaliar os perfis verticais de RFA medidos no interior da floresta com outros modelos simplificados de extinção de radiação, como por exemplo, o descrito pela lei de Beer (Campbell e Norman, 1998):

$$\Phi = \Phi_0 e^{-kx} \quad (4.10)$$

onde  $\Phi_0$  é a densidade de fluxo incidente,  $\Phi$  é a densidade de fluxo atenuado, “k” é o coeficiente de extinção a uma dada cobertura vegetal e “x” é a distância percorrida pelo feixe de radiação a partir do topo do dossel (Campbell e Norman, 1998).





## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados fornecidos pelas análises foram todos originados dos dados de radiação obtidos a cada dez minutos nos dias apresentados na Tabela 5.1. Nesta são mostrados os dias disponíveis para análise dos dados de cada um dos instrumentos empregados neste estudo.

Em primeira análise apresentados os valores médios diários de radiação de onda curta “K” (incidente e refletida), fotossinteticamente ativa “P” (incidente e refletida), balanço de radiação “R<sub>n</sub>”, onda longa “L” (incidente e emitida), em  $Wm^{-2}$ , temperatura “T” em graus Celsius e a pressão parcial de vapor “PV” em hPa, para o período total do experimento e dias completos (Tabela 5.2), obtidos no topo da torre micrometeorológica. Note-se que os valores médios (e desvios padrões) no final da tabela não correspondem necessariamente ao mesmo número de dias para cada variável e, portanto, não podem ser comparados diretamente. Para a realização de análises comparativas são apresentadas as Tabelas 5.2a e 5.2b, subconjuntos da Tabela 5.2, onde todas as variáveis correspondem aos mesmos dias de observação.



TABELA 5.2 - Totais médios diários de radiação de onda curta “K” e fotossinteticamente ativa “P” (incidente e refletida), balanço de radiação “R<sub>n</sub>”, onda longa “L” (incidente e emitida), em Wm<sup>-2</sup>, temperatura “T” em °C e a pressão de vapor “PV” em hPa.

DIAS	K↓	K↑	P↓	P↑	R <sub>n</sub>	T	PV	L↓	L↑
29	242,5		118,0		189,0				
30	236,2		114,9		176,2	27,9	29,0		
31	137,9		66,0		94,2	25,2	29,3		
32	238,5	31,0	114,8		181,8	25,8	29,0		
33	205,1	26,6	97,6		154,4	25,8	29,1		
34	149,7	19,4	71,2		102,6	25,7	28,6		
35	235,9	30,6	109,8		166,2	25,3	27,8		
36	282,6	36,7	136,5		212,6	26,5	27,7		
37	233,5	30,3	112,5		174,6	26,8	29,7		
38	112,7	14,6	53,4		82,0	25,3	30,6		
39	163,0	21,2	75,3		112,7	25,8	29,5		
40	232,8	30,2	106,2		175,3	26,1	29,5		
41	187,2	26,4	88,2		130,6	26,5	29,9		
42	187,3	26,0	88,2	3,8	135,5	26,6	30,9	426,7	456,1
43	282,1	39,0	133,2	4,3	216,6	27,8	29,3		
44	265,1	36,2	124,0	3,9	197,1	27,3	29,7	423,1	460,4
45	243,7	32,9	161,5	5,1	184,6	26,6	29,5	425,6	460,2
46	236,2	31,9	117,9	3,8	176,7	26,3	29,4	429,8	456,1
47	200,7	27,3	92,5	3,1	145,6	26,2	30,0		
48	212,8	28,8	99,8	3,3	156,4	26,6	30,7	433,9	460,8
49	214,0	29,3	99,3	3,3	158,0	25,6	28,7	431,4	454,9
50	194,0	25,7	89,8	3,1	139,8	25,6	29,4	427,3	452,9
51	150,8	20,8	70,0	2,8	111,2	25,2	29,8		
52	74,1	9,5	43,9	1,9	50,2	24,2	28,5		
55	105,5	13,5	47,0	1,8	71,2	24,4	29,3	437,1	447,3
56	212,7	28,4	97,1	3,4	163,5	25,1	29,4	436,6	453,4
57	163,9	22,2	74,2	2,9	118,2	25,2	28,9	432,2	450,6
58	147,7	19,5	67,8	2,5	105,2	24,9	29,9	432,6	450,0
59	128,2	17,0	58,0	2,2	99,1	25,0	30,1	443,7	450,2
60	199,7	26,9	92,0	3,3	149,6	26,2	29,1		
61	146,6	20,3	79,1	3,0	104,3	25,1	29,0		
62	197,2	27,5	49,2	1,5	146,6	25,9	28,9	422,5	455,6
63	232,9	32,7	111,1	3,9	168,6	26,5	29,1	430,7	459,7
64	180,9	26,2	84,1	3,1	134,3	25,9	29,2	434,6	455,6
65	192,7	26,6	91,7	3,2	151,5	25,1	29,0	428,0	450,4
66	184,5	25,7	85,2	3,3	140,2	25,9	29,3	437,1	454,7
67	126,8	17,8	58,7	2,3	88,8	25,3	29,7	430,0	450,9
68	119,2	16,9	55,9	2,3	80,9	26,0	29,9	433,7	455,7

(continua).

69	75,4	10,3	34,1	1,4	46,2	24,8	30,0	428,2	446,9
----	------	------	------	-----	------	------	------	-------	-------

<b>MÉDIA</b>	188,0	25,2	89,0	3,0	138,3	25,8	29,4	431,2	454,1
<b>DP</b>	53,4	7,2	28,4	0,9	42,8	0,8	0,7	5,2	4,2

Conclusão.

TABELA 5.2a - Totais médios diários de radiação de onda curta “K” e fotossinteticamente ativa “P” (incidente e refletida), balanço de radiação “R<sub>n</sub>”, albedo de onda curta “K↑/ K↓”, albedo de RFA “P↑/ P↓”, e a razão “P↓/ K↓”, (para dias em que se dispôs de dados para todas as variáveis).

DIAS	K↓	K↑	P↓	P↑	R <sub>n</sub>	K↑/ K↓	P↑/ P↓	P↓/ K↓
43	282,1	39,0	133,2	4,3	216,6	13,8	3,2	0,47
44	265,1	36,2	124,0	3,9	197,1	13,6	3,1	0,47
46	236,2	31,9	110,5	3,8	176,7	13,5	3,5	0,47
47	200,7	27,3	92,5	3,1	145,6	13,6	3,3	0,46
48	212,8	28,8	99,8	3,3	156,4	13,5	3,3	0,47
49	214,0	29,3	99,3	3,3	158,0	13,7	3,4	0,46
50	194,0	25,7	89,8	3,1	139,8	13,3	3,5	0,46
51	150,8	20,8	70,0	2,8	111,2	13,8	4,0	0,46
56	212,7	28,4	97,1	3,4	163,5	13,4	3,5	0,46
57	163,9	22,2	74,2	2,9	118,2	13,6	3,9	0,45
58	147,7	19,5	67,8	2,5	105,2	13,2	3,7	0,46
59	128,2	17,0	58,0	2,2	99,1	13,2	3,8	0,45
60	199,7	26,9	92,0	3,3	149,6	13,5	3,6	0,46
63	232,9	32,7	111,1	3,9	168,6	14,0	3,5	0,48
64	180,9	26,2	84,1	3,1	134,3	14,5	3,6	0,47
65	192,7	26,6	91,7	3,2	151,5	13,8	3,5	0,48
66	184,5	25,7	85,2	3,3	140,2	14,0	3,8	0,46
67	126,8	17,8	58,7	2,3	88,8	14,0	3,9	0,46
68	119,2	16,9	55,9	2,3	80,9	14,2	4,1	0,47
69	75,4	10,3	34,1	1,4	46,2	13,7	4,1	0,45

<b>MÉDIA</b>	186,0	25,5	86,8	3,1	137,4	13,7	3,6	0,46
<b>DP</b>	51,1	7,0	24,9	0,7	40,8	0,3	0,3	0,01

TABELA 5.2b - Totais médios diários de radiação de onda curta “K” (incidente e refletida), onda longa “L” incidente e emitida (e refletida), valores de saldo de radiação, obtidos respectivamente, pelo resíduo das quatro componentes ( $R_{n\_res} = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow$ ) e diretamente pelo saldo-radiômetro da REBS ( $R_n$ ), além da temperatura “T” em °C e a pressão parcial de vapor “PV” em hPa, (para dias em que se dispôs de dados para todas as variáveis).

DIAS	K↓	K↑	L↓	L↑	R <sub>n_res</sub>	R <sub>n</sub>	T	PV
42	187,3	26,0	426,7	456,1	131,9	135,5	26,6	30,9
44	265,1	36,2	423,1	460,4	191,7	197,1	27,3	29,7
45	243,7	32,9	425,6	460,2	176,1	184,6	26,6	29,5
46	236,2	31,9	429,8	456,1	177,8	176,7	26,3	29,4
48	212,8	28,8	433,9	460,8	163,1	156,4	26,6	30,7
49	214,0	29,3	431,4	454,9	161,2	158,0	25,6	28,7
50	194,0	25,7	427,3	452,9	142,7	139,8	25,6	29,4
55	105,5	13,5	437,1	447,3	81,9	71,2	24,4	29,3
56	212,7	28,4	436,6	453,4	167,5	163,5	25,1	29,4
57	163,9	22,2	432,2	450,6	123,3	118,2	25,2	28,9
58	147,7	19,5	432,6	450,0	110,9	105,2	24,9	29,9
59	128,2	17,0	443,7	450,2	104,8	99,1	25,0	30,1
62	197,2	27,5	422,5	455,6	136,6	146,6	25,9	28,9
63	232,9	32,7	430,7	459,7	171,2	168,6	26,5	29,1
64	180,9	26,2	434,6	455,6	133,6	134,3	25,9	29,2
65	192,7	26,6	428,0	450,4	143,7	151,5	25,1	29,0
66	184,5	25,7	437,1	454,7	141,1	140,2	25,9	29,3
67	126,8	17,8	430,0	450,9	88,2	88,8	25,3	29,7
68	119,2	16,9	433,7	455,7	80,3	80,9	26,0	29,9
69	75,4	10,3	428,2	446,9	46,5	46,2	24,8	30,0
<b>MÉDIA</b>	181,0	24,8	431,2	454,1	133,7	133,1	25,7	29,6
<b>DP</b>	50,4	7,0	5,2	4,2	38,5	40,3	0,7	0,6

Ainda, para melhor visualização da energia radiativa disponível e caracterização das condições meteorológicas ao longo do experimento, apresentam-se as Figuras 5.1a, com valores diários de radiação solar incidente, saldo de radiação, radiação fotossinteticamente ativa incidente, radiação de onda longa descendente e radiação de onda longa proveniente da superfície, e Figura 5.1b, com valores médios diários da temperatura do ar e da pressão parcial de vapor d’água e da precipitação diária.

A variação observada nos valores de radiação solar incidente, saldo de radiação e radiação fotossinteticamente ativa está associada com a variabilidade diária da cobertura de nuvens. Tipicamente, dias com maior incidência de radiação solar implicam em maiores temperaturas do ar e saldo de radiação. Como esperado, a diferença entre o fluxo de radiação de onda longa ascendente e descendente também aumenta nesses dias. Isto é devido, principalmente, à existência de uma atmosfera mais transparente para a radiação de onda longa, e possivelmente ao aumento mais rápido da temperatura da superfície em comparação com a da atmosfera acima nos dias mencionados.

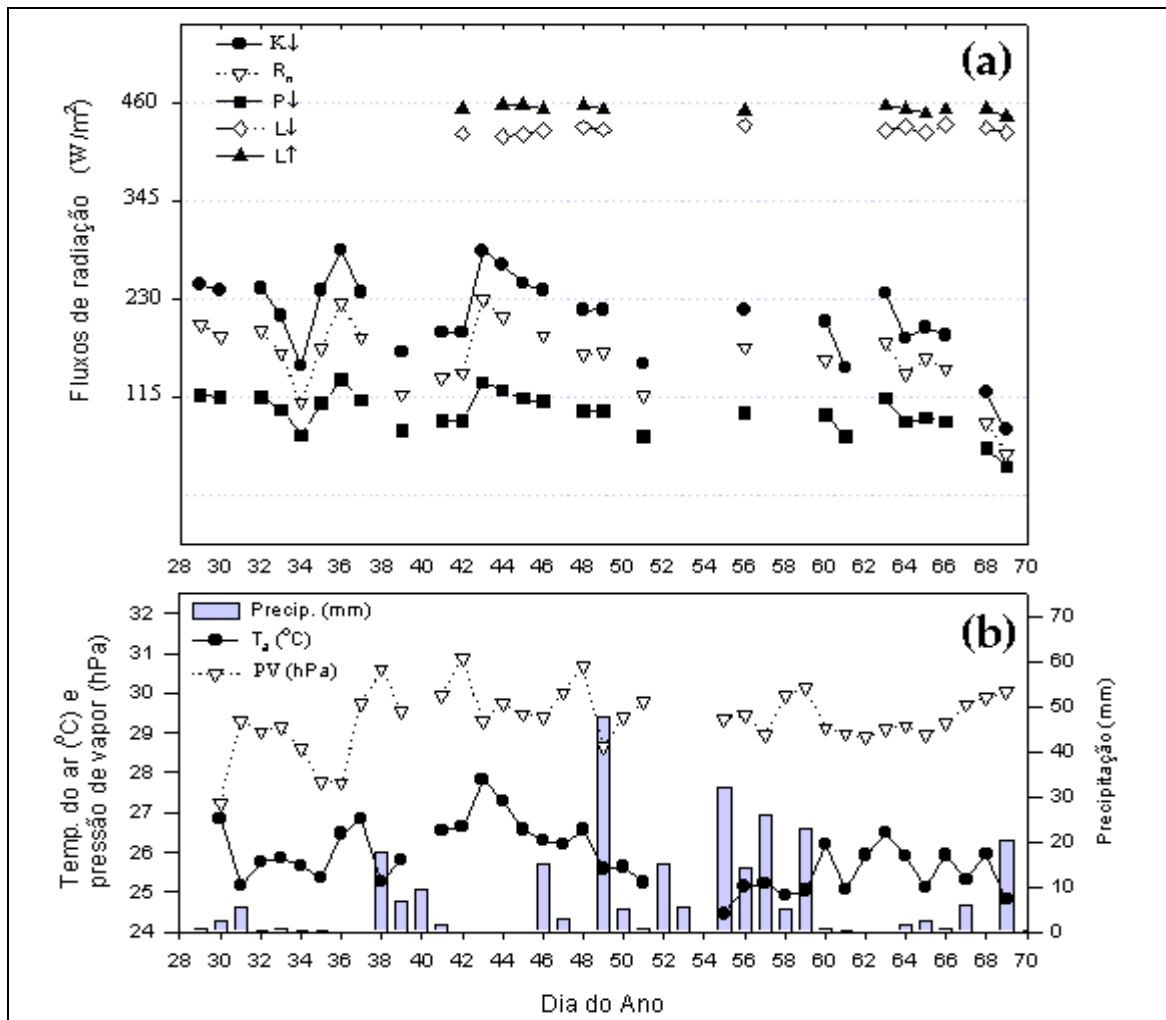


FIGURA.5.1 - Fluxos diários integrados, em  $Wm^{-2}$ , de radiação solar incidente ( $K\downarrow$ ), saldo de radiação ( $R_n$ ), radiação fotossinteticamente ativa ( $P\downarrow$ ) e radiação de onda longa incidente ( $L\downarrow$ ) e emitida ( $L\uparrow$ ) (a); Valores médios diários de temperatura do ar ( $T_a$ ), pressão parcial de vapor (PV) e precipitação diária acumulada ( $T_a$ ) (b).

Valores médios do ciclo diário das variáveis da Tabela 5.2 são mostrados na Figura 5.2. Nesta é notória a pequena diferença entre os fluxos de radiação de onda longa ascendente e descendente, especialmente no período final da madrugada. Esse resultado é consequência da alta umidade do ar, nebulosidade e formação de neblina já a partir do início da noite verificado no sítio experimental.

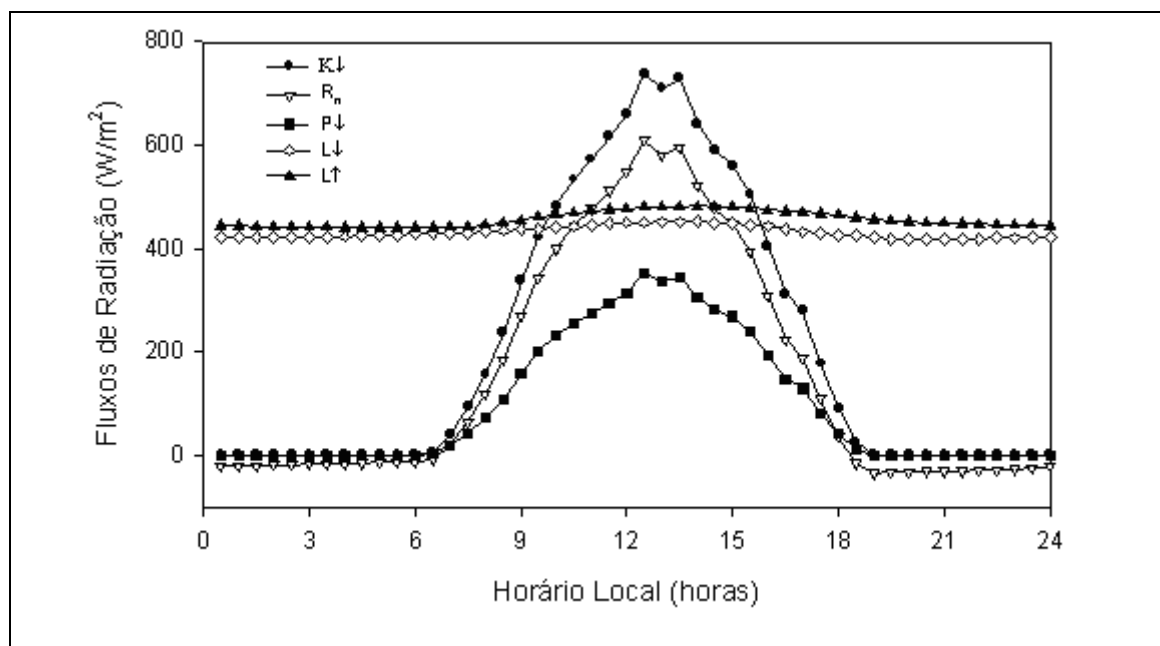


FIGURA.5.2 - Ciclos diurnos médios de radiação solar incidente ( $K_{\downarrow}$ ), saldo de radiação ( $R_n$ ), radiação fotossinteticamente ativa ( $P_{\downarrow}$ ) e radiação de onda longa incidente ( $L_{\downarrow}$ ) e emitida ( $L_{\uparrow}$ ).

Da comparação entre os fluxos (incidentes) de radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar obtém-se a razão ( $P_{\downarrow}/K_{\downarrow}$ ). Esta apresentou o valor médio de  $0,46 \pm 0,01$ , ou seja, quase invariável para os valores diários ao longo do período da campanha (Tabela 5.2a). Esse valor é compatível com a atmosfera rica em vapor d'água do sítio experimental da Rebio Jaru na estação chuvosa. Porém é importante salientar que a medição da radiação fotossinteticamente ativa foi realizada com sensor quantum, que mede o fluxo de fótons e que tem unidade de  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . A conversão para  $\text{Wm}^{-2}$  foi feita dividindo-se o fluxo de fótons por um coeficiente constante igual a  $4,6 \mu\text{mol/J}$  apropriado para uma atmosfera padrão e sem a presença de nuvens, ou seja, considerando que as características espectrais da radiação solar que atinge a superfície

não variam no tempo. Entretanto, isso não é verdadeiro pois a interação da radiação com a atmosfera, especialmente com as nuvens, modifica o espectro da radiação solar que atinge a superfície.

A Tabela 5.2b apresenta valores médios de saldo de radiação medido com o saldo-radiômetro REBS, radiação solar incidente e refletida, radiação de onda longa descendente, radiação de onda longa ascendente e saldo de radiação obtido do balanço das quatro componentes medidas independentemente para 20 dias de dados. A concordância entre o saldo de radiação medido com o saldo-radiômetro REBS ( $=133,1 \text{ Wm}^{-2}$  – Tabela 5.2b) e aquele obtido do balanço das componentes medidas independentemente ( $=133,7 \text{ Wm}^{-2}$  – Tabela 5.2b) é notável. Isso implica que o saldo de radiação de onda longa  $L_n$  obtido dos pirgeômetros do Kipp&Zonen CNR1 também apresentaram boa concordância com o obtido a partir das medições independentes de saldo de radiação (saldo-radiômetro REBS) e das componentes incidente e refletida da radiação solar.

Uma avaliação da qualidade das medições do fluxo de radiação de onda longa ascendente, em valores diários, pode ser realizada utilizando-se apenas o valor médio da temperatura do ar. Este pode ser utilizado como uma boa aproximação da temperatura média da superfície radiante, admitindo-se que a emissividade efetiva da superfície pode ser tomada como muito próxima da unidade. Essa aproximação é razoável pelo fato dos fluxos de radiação de onda longa ascendente e descendente serem muito próximos (diferem de apenas  $23 \text{ Wm}^{-2}$  na média de 20 dias - Tabela 5.2b) e pelo fato do fluxo de radiação de onda longa ascendente medido pelo pirgeômetro ser composto, em parte, pela radiação emitida pela superfície (lei de Stefan-Boltzmann) e, em parte, pela fração de radiação de onda longa descendente refletida pela superfície (lei de Kirchhoff), ou seja,

$$L \uparrow = (1 - \varepsilon)L \downarrow + \varepsilon \sigma T_s^4) \cong \sigma T_a^4$$



Para o valor médio da temperatura do ar (dado na Tabela 5.2b) de 25,7°C ou 298,85 K obtém-se  $L\uparrow = 452,6 \text{ Wm}^{-2}$ , que é muito próximo do valor médio obtido das medições diretas do pirgeômetro de 454,1  $\text{Wm}^{-2}$  (Tabela 5.2b). Das análises acima conclui-se que, pelo menos para o valor médio no período, o fluxo de radiação de onda longa descendente da atmosfera é de boa qualidade.

A Tabela 5.2a apresenta ainda valores diários e médios para o albedo solar e para a radiação fotossinteticamente ativa, respectivamente  $13,7\% \pm 0,3\%$  e  $3,6\% \pm 0,3\%$ . Esses valores são um pouco maiores do que albedos observados em outros experimentos de campo em florestas tropicais. Por exemplo, para radiação solar, Culf *et al.* (1995) obtiveram 12,2% na mesma Reserva Jarú, porém a aproximadamente 800m de distância da torre onde as medidas deste trabalho foram efetuadas, Shuttleworth *et al.* (1984b) obtiveram 12,25% na Reserva Ducke próximo a Manaus, Oguntoyimbo (1970) obteve 13% para uma floresta tropical na Nigéria e Pinker *et al.* (1980) obtiveram 12,5% para uma floresta tropical no sudeste da Ásia. Por outro lado, em experimento realizado na Reserva Ducke, Km 23 da rodovia Manaus-Itacoatiara, Leitão (1994), obteve albedo para radiação fotossinteticamente ativa, da ordem de 2%.

Para aplicações práticas, o saldo de radiação pode ser descrito empiricamente pela equação de regressão

$$R_n = aK\downarrow + b$$

onde o coeficiente “b” assume um valor muito próximo do valor médio do saldo de radiação de onda longa noturno ( $L_n$ ) e o coeficiente “a” incorpora tanto o efeito da refletividade da superfície à radiação solar (albedo) quanto aquele associado à diferença entre os valores médios diurno e noturno do saldo de radiação de onda longa. A regressão linear aplicada aos dados desse experimento produziu os coeficientes  $a=0,852$  e  $b=-22,6$ , com um coeficiente de correlação maior que 0,99, o que indica excelente ajuste. Leitão (1994), em experimento realizado na Reserva Ducke, Km 23 da rodovia Manaus-Itacoatiara, referente ao primeiro trimestre do ano, obteve valores dos

coeficientes de  $a=0,727$  e  $b=-3,9$ . Este último difere consideravelmente do valor obtido neste trabalho e isto pode ser atribuído a uma má calibração dos radiômetros em Leitão (1994). Por outro lado, Correia (2000), em experimento realizado na Reserva florestal Ducke, no período de 27/07/1999 a 19/08/1999, obteve coeficientes similares aos encontrados na Rebio-Jaru, da ordem de  $a=0,7$  e  $b=-23,8$  para a equação do balanço de radiação, o que parece confirmar a proposição anteriormente formulada quanto à deficiência de calibração dos radiômetros de Leitão (1994). Segundo Correia (2000), utilizando estes coeficientes a correlação obtida para o balanço de radiação foi de aproximadamente de 0,98.

**Uma análise mais detalhada das observações de radiação solar e terrestre realizadas durante a campanha micrometeorológica é apresentada nas seções posteriores.**

### **5.1 Fluxo de Radiação de Onda Curta Incidente**

A Figura 5.3 mostra a variação média dos fluxos de radiação de onda curta incidente no topo da torre e o respectivo desvio padrão, obtidos pelo piranômetro CM11 (a), pelo sensor de onda curta incidente do albedômetro CM14 (b) e também pelo sensor de onda curta incidente do saldo-radiômetro CNR1 (c).

Analisando as curvas de radiação de onda curta incidente, obtidas a partir do piranômetro CM11, observou-se que a média diurna foi da ordem de  $390,8 \text{ Wm}^{-2}$  com desvio padrão de  $197,2 \text{ Wm}^{-2}$ , chegando a atingir valores máximos nos dias de céu claro entre 12 e 13 horas (hora local) com magnitude acima de  $1000 \text{ Wm}^{-2}$ . Analisando a curva média diurna de radiação de onda curta incidente obtida pelo albedômetro CM14, observou-se que os valores médios foram da ordem de  $329,2 \text{ Wm}^{-2}$  com desvio padrão em torno de  $188,0 \text{ Wm}^{-2}$ . Analisando a curva média diurna de radiação de onda curta incidente obtida pelo saldo-radiômetro CNR1, observou-se que os valores médios foram da ordem de  $377,1 \text{ Wm}^{-2}$  com desvio padrão em torno de  $192,7 \text{ Wm}^{-2}$ . As diferenças nos valores apresentados acima são possivelmente relacionadas a erros instrumentais. Isto

fica claro quando se efetua a comparação entre os valores obtidos para dias comuns aos três instrumentos utilizando regressão linear. Esta mostra que as diferenças encontradas nas medidas podem ser consideradas pequenas, uma vez que existe uma concordância muito boa entre estes instrumentos, conforme mostra a Figura 5.4. Esta apresenta a comparação entre o piranômetro CM11 o sensor de onda curta incidente do saldo-radiômetro CNR1 (a) e entre o piranômetro CM11 e o sensor de onda curta incidente do albedômetro CM14 (b), por intermédio de regressão linear (para 20 dias de dados disponíveis).

Os dados de radiação solar incidente coletados a cada 10 segundos mostraram que foi comum, durante a campanha, a verificação de valores muito altos de radiação solar incidente, as vezes maiores que o valor da radiação solar incidente no topo da atmosfera. Isso pode ocorrer devido à existência de uma cobertura descontínua de nuvens (condição comum durante a realização da campanha), quando o sensor, além de receber o fluxo direto de radiação de céu claro (o feixe de radiação passando entre as nuvens), recebe ainda a contribuição extra de radiação difusa devido ao espalhamento e/ou reflexão de radiação pelas nuvens. Esse tema não será tratado nesse trabalho, mas foi abordado por Gu *et al.* (2001), que analisaram dados de radiação solar incidente coletados a aproximadamente 100 km de distância da torre da Rebio Jaru nos meses de janeiro e fevereiro de 1999.

Um aspecto interessante de ser ressaltado é a atenuação da radiação a partir do topo da atmosfera. Para condições de céu claro espera-se uma atenuação de aproximadamente 30% entre o topo da atmosfera e a superfície, segundo modelo adaptado por Gu *et al.* (2001). Porém, as observações mostraram atenuação diária média de aproximadamente 50%, mas bastante variável ao longo da campanha, com os valores mínimos de aproximadamente 36,5% nos dias 36 e 43 (céu claro) e valor máximo de 82,5% no dia 69 (céu encoberto).

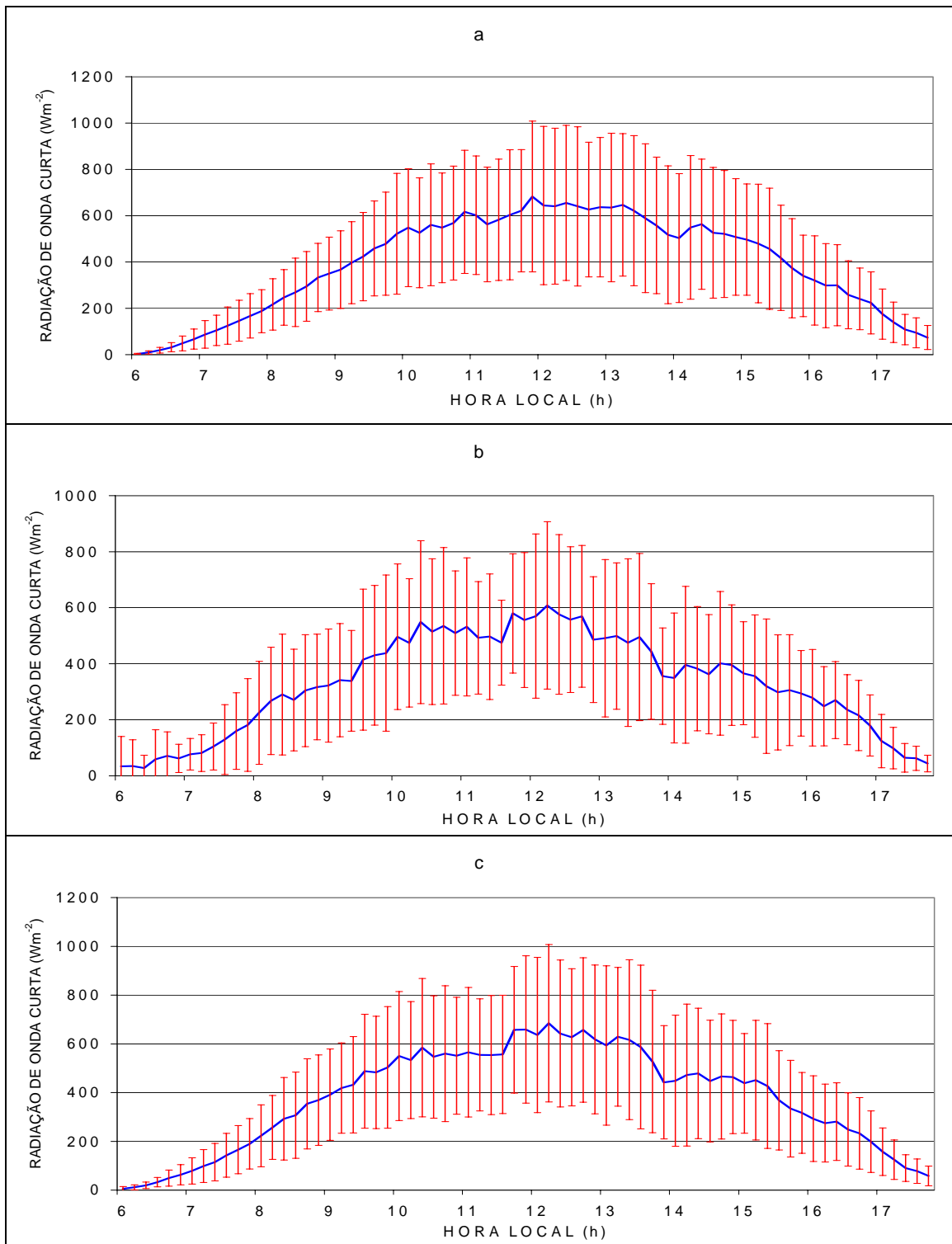


FIGURA 5.3 - Variação média diurna dos fluxos de radiação de onda curta incidente no topo da torre e o respectivo desvio padrão, obtidos pelo piranômetro CM11(a), pelo albedômetro CM14 (b) e também pelo saldo-radiômetro CNR1 (c), para um total de 20 dias de dados.

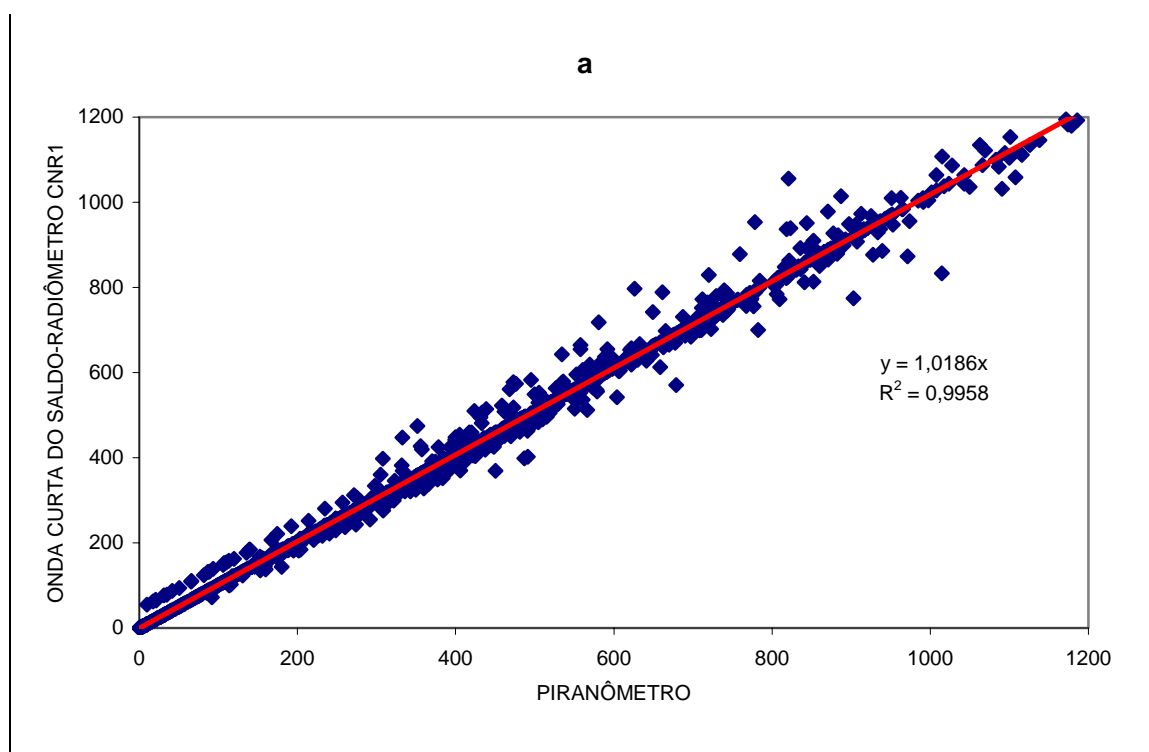


FIGURA 5.4 - Comparação entre o piranômetro CM11 o sensor de onda curta incidente do saldo-radiômetro CNR1: (a) e entre o piranômetro CM11 e o sensor de onda curta incidente do albedômetro CM14; (b), por intermédio de regressão linear, para 20 dias de dados disponíveis.

## 5.2 Fluxo de Radiação de Onda Curta Refletido

De maneira similar à apresentada na seção anterior, a Figura 5.5 mostra a variação média diurna dos fluxos de radiação de onda curta refletida no topo da torre e o respectivo desvio padrão, obtidos pelo piranômetro CM11 virado para a superfície (a), pelo sensor de onda curta refletida do albedômetro CM14 (b) e também pelo sensor de onda curta refletida do saldo-radiômetro CNR1.

Analisando as curvas de radiação de onda curta refletida, obtidas a partir do piranômetro CM11, observou-se que a média diurna foi da ordem de  $43,2 \text{ Wm}^{-2}$  com desvio padrão de aproximadamente  $23,4 \text{ Wm}^{-2}$ , enquanto que o valor médio obtido pelo albedômetro CM14, foi da ordem de  $45,6 \text{ Wm}^{-2}$  com desvio padrão de aproximadamente  $25,2 \text{ Wm}^{-2}$ . Por outro lado, o valor médio diurno de radiação de onda curta refletida obtida pelo

saldo-radiômetro CNR1 foi maior, da ordem de aproximadamente 9% e 4% que aqueles obtidos pelo CM11 e CM14, respectivamente. Os valores dos desvios padrões mostrados nas Figuras 5.5a, 5.5b e 5.5c apresentam grande dispersão, para cada um dos instrumentos, principalmente nos horários próximo ao meio-dia. Sendo que as diferenças nas dispersões do gráfico 5.5a são bem maiores que as apresentadas em 5.5b e 5.5c. Isso se deve possivelmente a localização deste instrumento e/ou às condições de grande variabilidade da cobertura de nuvens neste horário durante a realização da campanha.

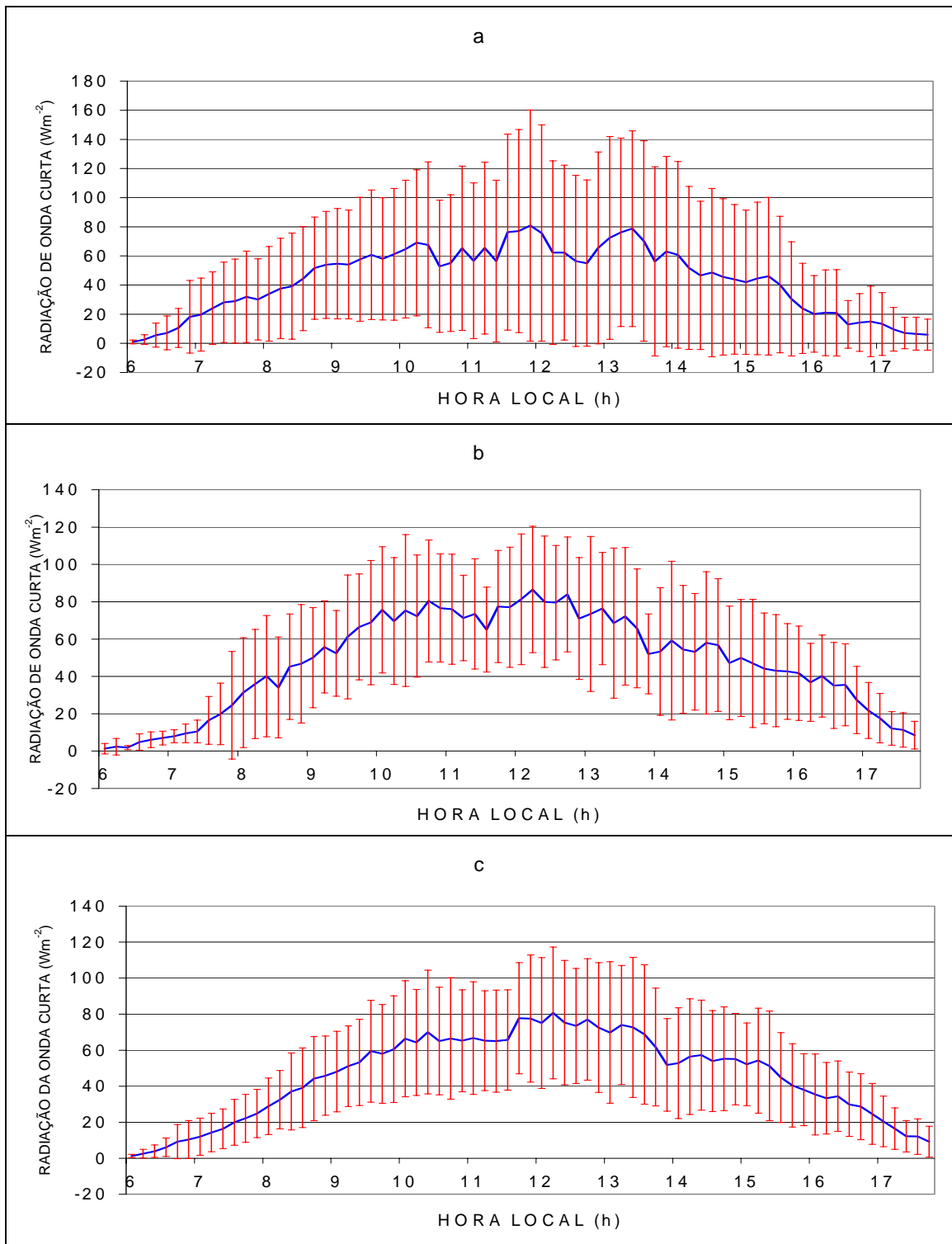


FIGURA 5.5 - Variação média diurna dos fluxos de radiação de onda curta refletida no topo da torre e o respectivo desvio padrão, obtidos: (a) pelo piranômetro CM11; (b) pelo albedômetro CM14; (c) pelo saldo-radiômetro CNR1, para um total de 20 dias de dados

### 5.3 Albedo da Radiação de Onda Curta

Valores médios do ciclo diurno do albedo solar são mostrados na Figura 5.6. Uma análise do comportamento diurno do albedo, utilizando 18 dias de observação (em que foram excluídos os dias chuvosos) mostrou que durante a maior parte do dia o valor médio foi de  $13,6\% \pm 0,6\%$ , porém com um valor mínimo de  $13,0\% \pm 0,6\%$  por volta de meio dia. A assimetria existente entre os desvios padrões do albedo observados no início e no final do dia pode estar correlacionada a grande rugosidade do dossel, que por sua vez, causa espalhamento múltiplo e aprisionamento da radiação solar global em todos os ângulos zenitais. Por outro lado, Leitão (1994), associa esta assimetria ao fato de que, para pequenos ângulos de elevação do Sol, as superfícies vegetadas comportam-se como superfícies planas, absorvendo muito pouca radiação.

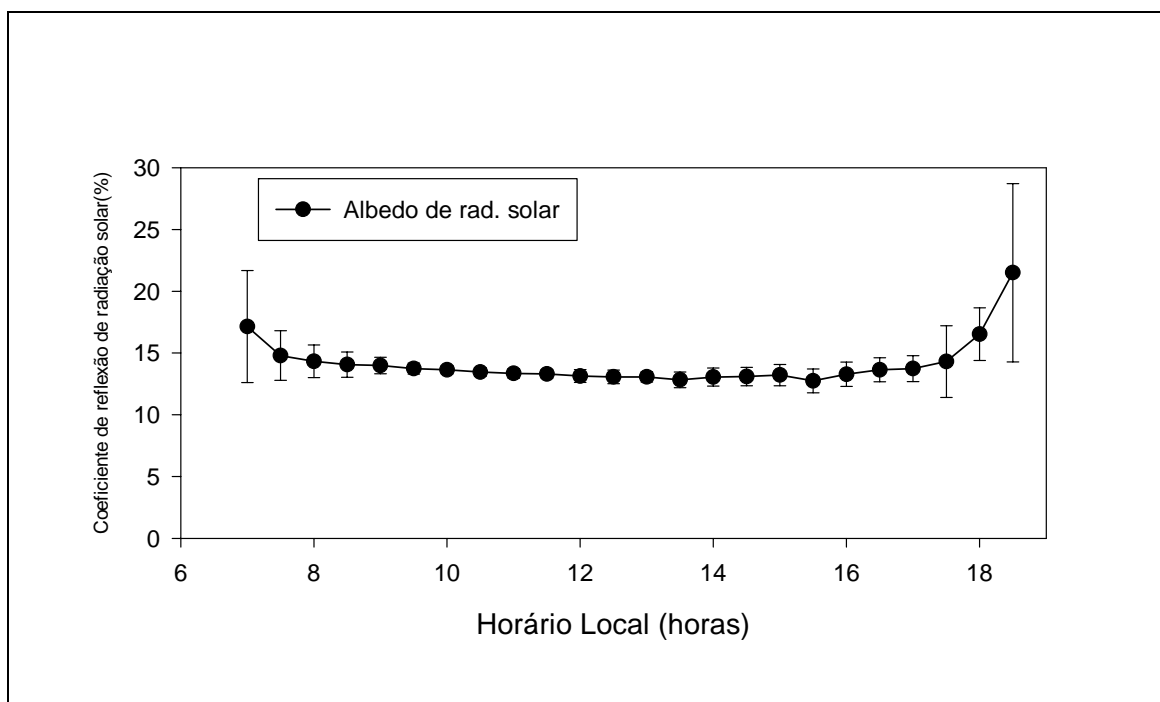


FIGURA 5.6 - Padrão de Evolução diurna médio do coeficiente de reflexão de radiação solar (albedo solar), com seu respectivo desvio-padrão (barras de erro).



#### 5.4 Fluxo de Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente

A Figura 5.7 apresenta o comportamento médio diurno do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente no topo da torre e o respectivo desvio padrão, obtidos a partir de dados do sensor quantum. Analisando a curva média de radiação fotossinteticamente ativa incidente observou-se que o valor médio diurno de radiação fotossinteticamente ativa para o período foi de aproximadamente  $197,8 \text{ Wm}^{-2}$ , com desvio padrão da ordem de  $102,5 \text{ Wm}^{-2}$ .

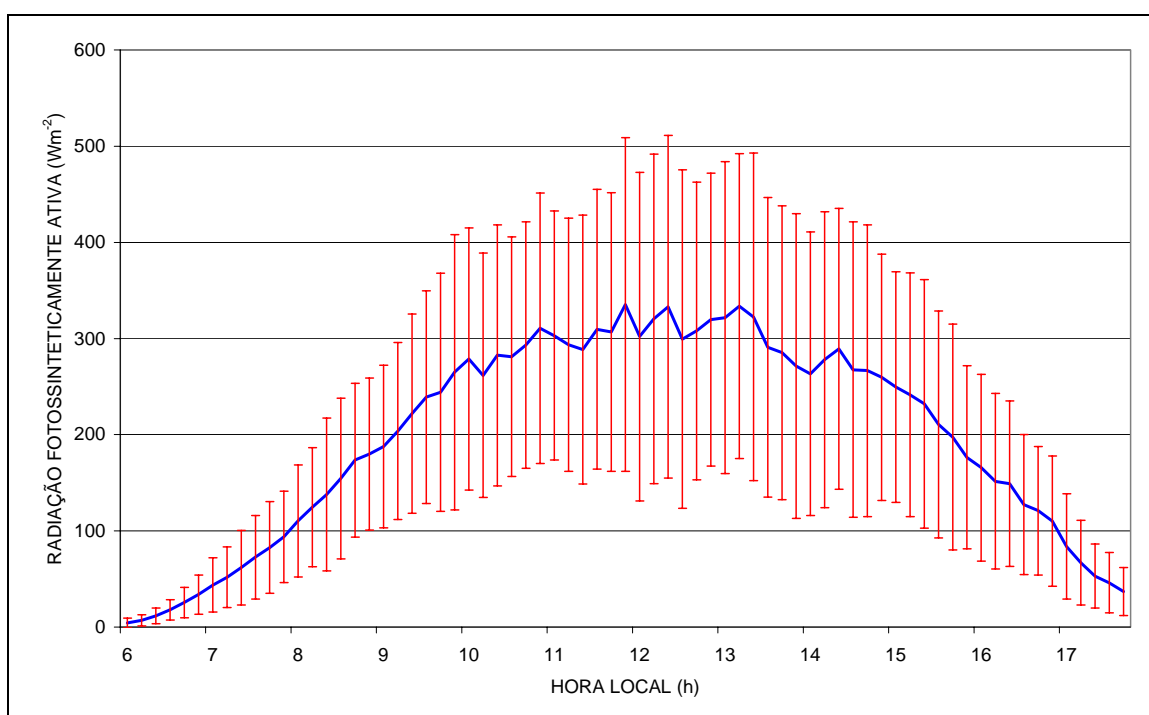


FIGURA 5.7 - Comportamento médio diurno do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente no topo da torre, bem como o desvio padrão.

Analisando Figura 5.8, a qual apresenta o ciclo diurno médio de  $(P\downarrow / K\downarrow)$  para os dados da Tabela 5.2a, observou-se que a RFA média corresponde aproximadamente a 46% da radiação de onda curta média incidente no topo da torre micrometeorológica. Por outro lado, em experimento realizado na Reserva Ducke, Km 23 da rodovia Manaus-Itacoatiara, Leitão (1994), apresentou para esta relação, um valor médio aproximadamente 10% maior. Esta considerável diferença também pode estar

relacionada a má calibração, citada anteriormente, dos instrumentos (radiômetros) utilizados por Leitão, naquela ocasião.

Outro resultado importante é que essa razão não se manteve constante ao longo do dia conforme é mostrado em seguida.

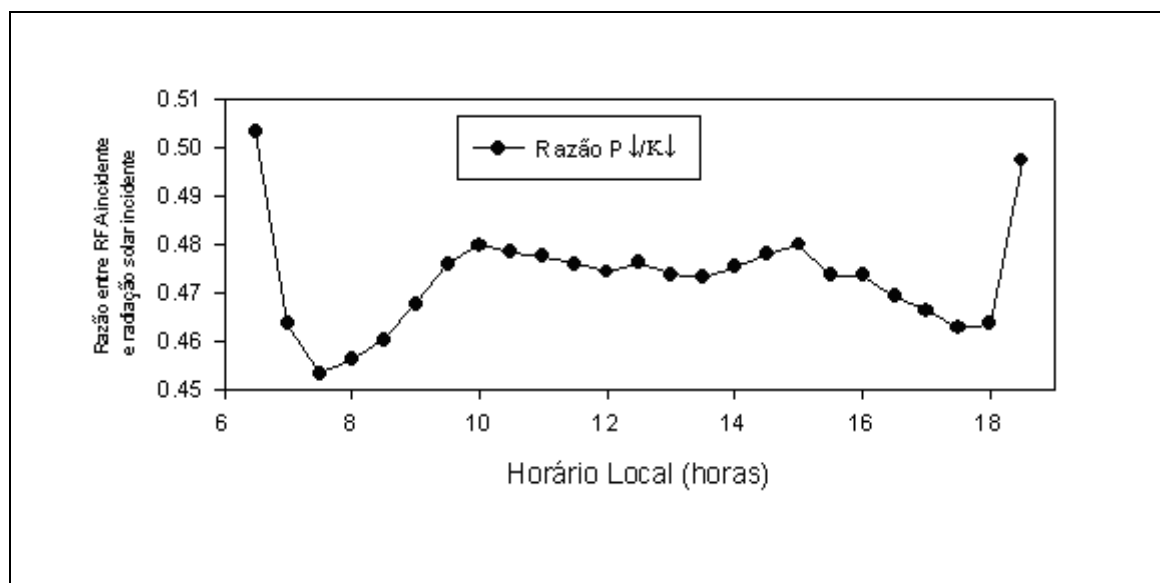


FIGURA 5.8 - Padrão de evolução diurna da razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar incidente.

Os valores mais altos no início e final do dia correspondem a valores muito baixos de radiação incidente e podem estar associados à sensibilidade maior do sensor quantum em comparação com a do piranômetro de termo-pilha da Kipp&Zonen. Entretanto, a variação observada ao longo do dia parece estar associada com o aumento da nebulosidade. As nuvens absorvem mais na faixa espectral do infra-vermelho próximo do que no visível, o que implica no aumento da proporção de radiação fotossinteticamente ativa (visível) em comparação com a radiação solar global, conforme é verificado na Figura 5.8.

## 5.5 Fluxo de Radiação Fotossinteticamente Ativa Refletido

A Figura 5.9 apresenta o comportamento médio diurno do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa refletida e o respectivo desvio padrão, obtidos a partir de dados do sensor quantum. Analisando as curvas de radiação fotossinteticamente ativa refletida, observou-se que o valor médio de radiação fotossinteticamente ativa para o período diurno foi de  $6,1 \text{ Wm}^{-2}$ , com desvio padrão de  $2,9 \text{ Wm}^{-2}$ , enquanto que o valor máximo foi de  $10,2 \pm 3,9 \text{ Wm}^{-2}$ . Outrossim, ressalta-se que Correia (2000), em experimento realizado no Campus do Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia-CPPA, EMBRAPA, situado a 30 Km ao norte de Manaus, no período de 27/07/1999 a 19/08/1999, obteve para uma área de policultivo valores médios diários da RFA refletida da ordem de  $6,3 \text{ Wm}^{-2}$ . A diferença observada entre os valores de radiação fotossinteticamente, ativa aqui apresentada, é explicável pela diferença de cobertura vegetal, ou seja, rugosidade

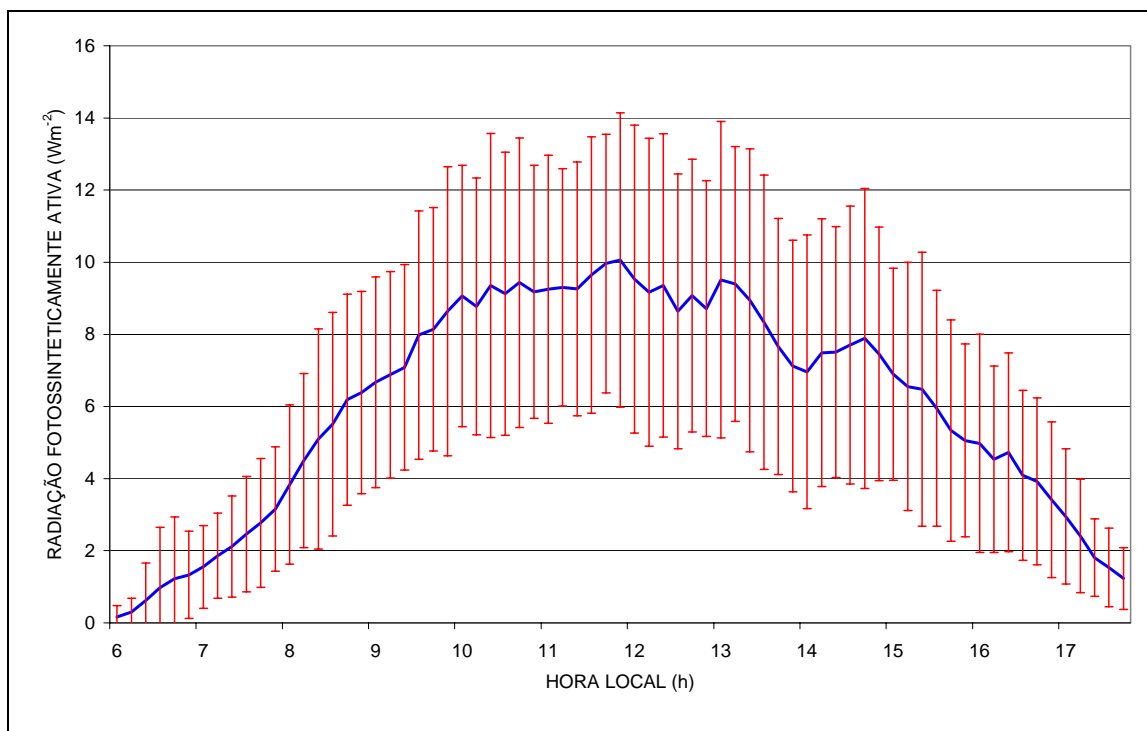


FIGURA 5.9 - Comportamento médio diurno do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa refletida no topo da torre e o respectivo desvio padrão.

## 5.6 Albedo da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA)

A Figura 5.10 apresenta a variação diurna do albedo médio da RFA e o desvio padrão, calculados a partir da razão entre os valores médios de meia hora da RFA refletida e incidente, obtidos por um par de sensores quantum situados no topo da torre micrometeorológica. O albedo médio da RFA foi de  $3,6\% \pm 0,3\%$  e variou ao longo dos dias com um padrão similar ao albedo solar. Verificou-se também que não existe uma simetria entre os valores de albedo observados no início e no final do dia, pois ocorre um pequeno aumento do albedo nas primeiras horas de brilho solar enquanto que praticamente para o restante do dia o albedo permanece constante. Isto pode ser explicável possivelmente, segundo Correia (2000), pela maior rugosidade do dossel, que por sua vez, causa múltiplo espalhamento aprisionando a radiação em todos os ângulos zenitais.

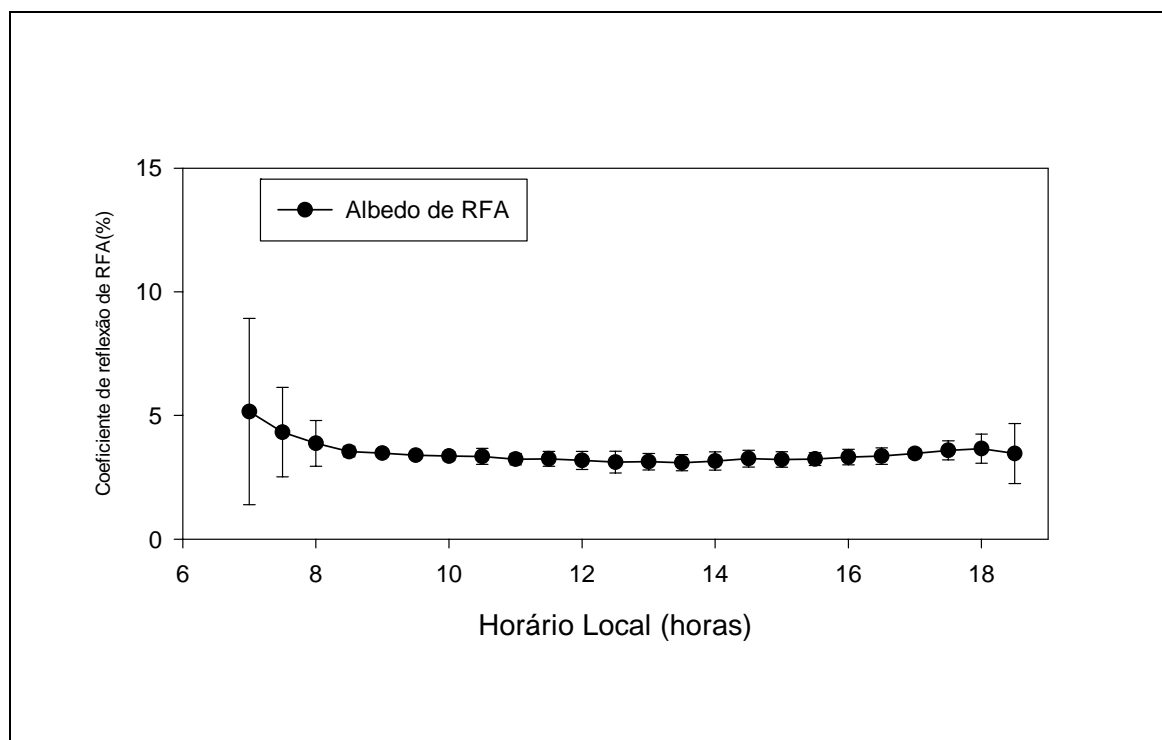


FIGURA 5.10 - Padrão de evolução diurna médio do coeficiente de reflexão de radiação fotossinteticamente ativa (albedo de RFA), com seu respectivo desvio-padrão (barras de erro).

## 5.7 Fluxo de Radiação Infravermelho Próximo

A Figura 5.11 apresenta o comportamento diurno estimado dos fluxos de radiação no infravermelho próximo (IVP) incidente no topo da torre micrometeorológica (58 m) e o respectivo desvio padrão. O fluxo de radiação na faixa do infravermelho próximo foi estimado pela diferença entre o fluxo de radiação de onda curta, obtido com a utilização dos dados do piranômetro, e o de radiação fotossinteticamente ativa, fornecido pelo sensor quantum. Uma análise quantitativa mostra que a radiação média estimada no infravermelho próximo foi da ordem de  $192,0 \text{ Wm}^{-2}$ , com desvio padrão de  $96,9 \text{ Wm}^{-2}$ . Nota-se que a média estimada da radiação no infravermelho próximo corresponde à aproximadamente 53,3 % da radiação de onda curta média incidente no topo da torre. Partindo-se das informações da composição espectral da radiação solar incidente (de aproximadamente 46,7% de RFA e 53,3% de IVP) e dos coeficientes de refletividade para RFA (de 3,7% em média) e para radiação solar global (aproximadamente 13,7% em média) determina-se o valor do coeficiente de refletividade (albedo) para a faixa espectral do infravermelho próximo de 22% para a floresta da Rebio Jaru.

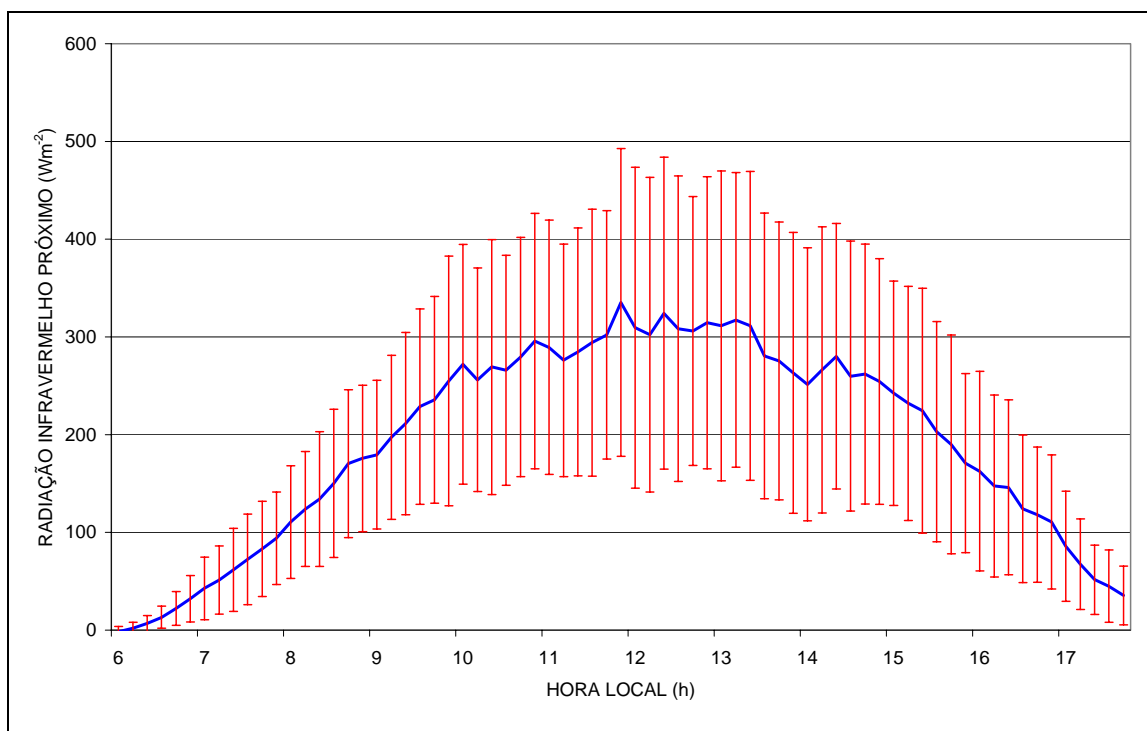


FIGURA 5.11 - Comportamento diurno estimado do fluxo de radiação infravermelho próximo (IVP) incidente no topo da torre, como também o respectivo desvio padrão, obtidos a partir da diferença entre os valores médios de radiação de onda curta e radiação fotossinteticamente ativa.

### 5.8 Fluxo de Radiação de Onda Longa Incidente

A Figura 5.12 apresenta a variação média diária da radiação de onda longa incidente e os respectivos desvios padrões no topo da torre micrometeorológica, obtidos no período de 08 de fevereiro (dia 39) a 11 de março (dia 70), a partir das medições do pirgeômetro do saldo-radiômetro CNR1. Uma análise quantitativa mostrou que o fluxo médio diário de radiação de onda longa foi da ordem de  $431,8 \text{ W m}^{-2}$ , com desvio padrão de aproximadamente  $11,1 \text{ W m}^{-2}$ . Analisando as curvas de radiação de onda longa incidente, observou-se que, em média, os valores máximos de  $L_{\downarrow}$  ocorreram em torno das treze horas alcançando  $452 \text{ W m}^{-2}$  e os mínimos ocorreram em torno das vinte horas sendo da ordem de  $417,0 \text{ W m}^{-2}$ . Já os valores máximo e mínimo absolutos para o período, foram da ordem de  $475,0 \text{ W m}^{-2}$  e  $393,0 \text{ W m}^{-2}$ , ocorridos em torno das quinze e vinte horas, respectivamente.

Nota-se um aumento no valor médio da radiação de onda longa incidente a partir das 20 – 21 horas, período em que há diminuição da temperatura da superfície e do ar próximo à superfície. Esse aumento provavelmente está associado à formação de neblina, que é muito comum no início da noite acima da Floresta Amazônica, principalmente na estação chuvosa.

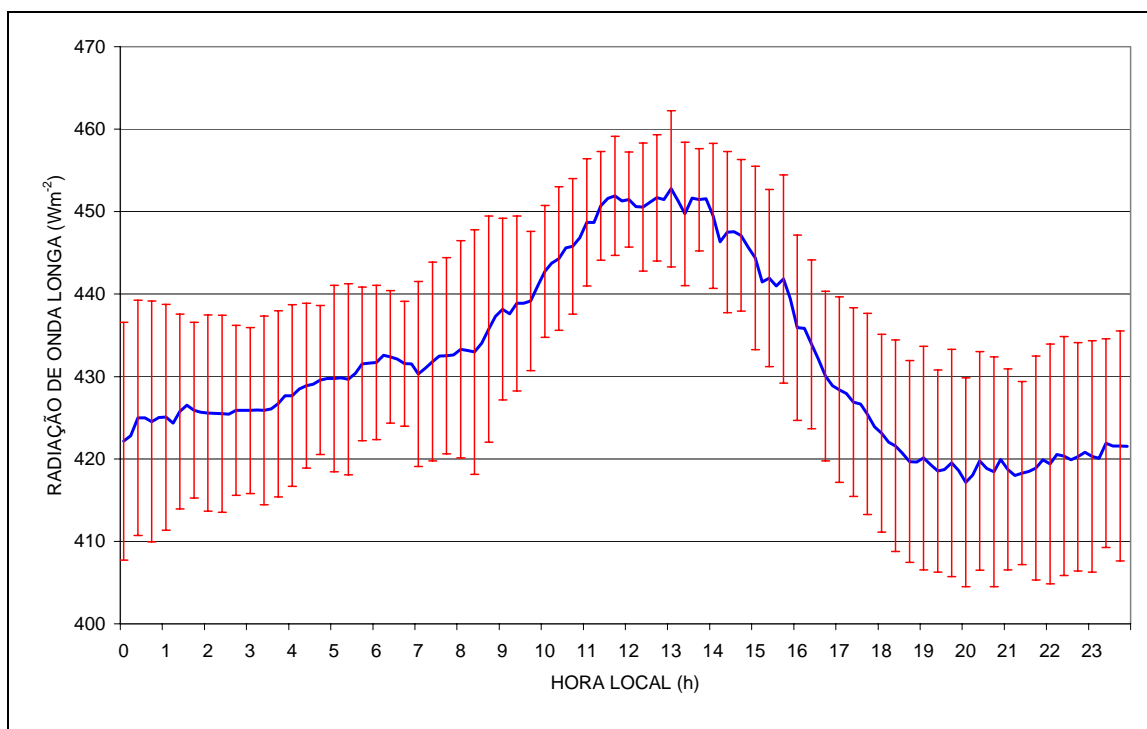


FIGURA 5.12 - Variação média diária da radiação de onda longa incidente com o respectivo desvio padrão no topo da torre, obtido a partir do sensor de onda longa do saldo-radiômetro CNR1.

### 5.9 Comparação do Fluxo de Radiação de Onda Longa Incidente observado com o obtido com Modelos Simples

A Figura 5.13 apresenta o comportamento diário da radiação de onda longa incidente, para os seguintes modelos: Brunt (1932); Swinbank (1963); Idso e Jackson (1969); Brustaert (1975) e Satterlund (1979) comparados ao comportamento diário medido ao longo de todo o período de estudo.

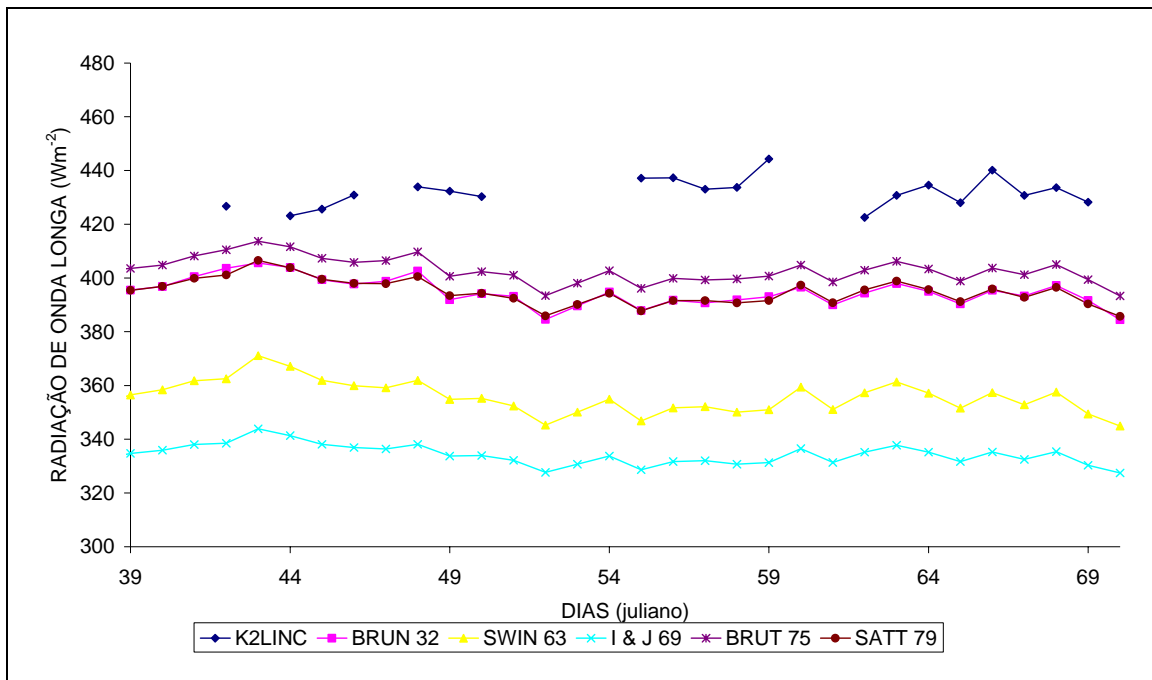


FIGURA 5.13 - Comportamento médio diário da radiação de onda longa incidente, para cinco modelos, calculados a partir de equações empíricas, comparados ao comportamento diário medido da radiação de onda longa incidente, obtido a partir do pirgeômetro do saldo-radiômetro CNR1.

A Figura 5.14 apresenta o ciclo diário médio da radiação de onda longa incidente para os mesmos modelos da Figura 5.13. Como pode ser observado dessas duas figuras, as parametrizações, além de subestimarem a radiação de onda longa incidente medida, não conseguem reproduzir o aumento no fluxo de radiação de onda longa após as 20 horas, e também não reproduzem a assimetria do gráfico com os valores medidos. A subestimativa mostrada na Figura 5.13, (modelos empíricos) está relacionada aos coeficientes utilizados nas equações de tais modelos, os quais foram determinados para condições muito diferentes das encontradas na Amazônia (Galvão, 1999; Correia, 2000). Por outro lado, o ciclo diurno (Figura 5.14) é determinado essencialmente pela evolução da temperatura do ar, a qual decresce a partir do meio da tarde até o final da madrugada. Nesta figura, notamos ainda que nas horas iniciais do dia, os valores observados se comportam de maneira contrária aos estimados, ou seja, sendo maiores, possivelmente por levar em consideração o efeito do acúmulo de orvalho, sobre a cúpula do instrumento, desde a madrugada.



Esses resultados são esperados porque os modelos utilizados foram determinados essencialmente para condições de céu claro. Como visto anteriormente, um modelo que considere a cobertura de nuvens pode ter muito mais sucesso em estimar o fluxo de radiação de onda longa descendente da atmosfera, como seria o caso das equações propostas por Monteith (1973).

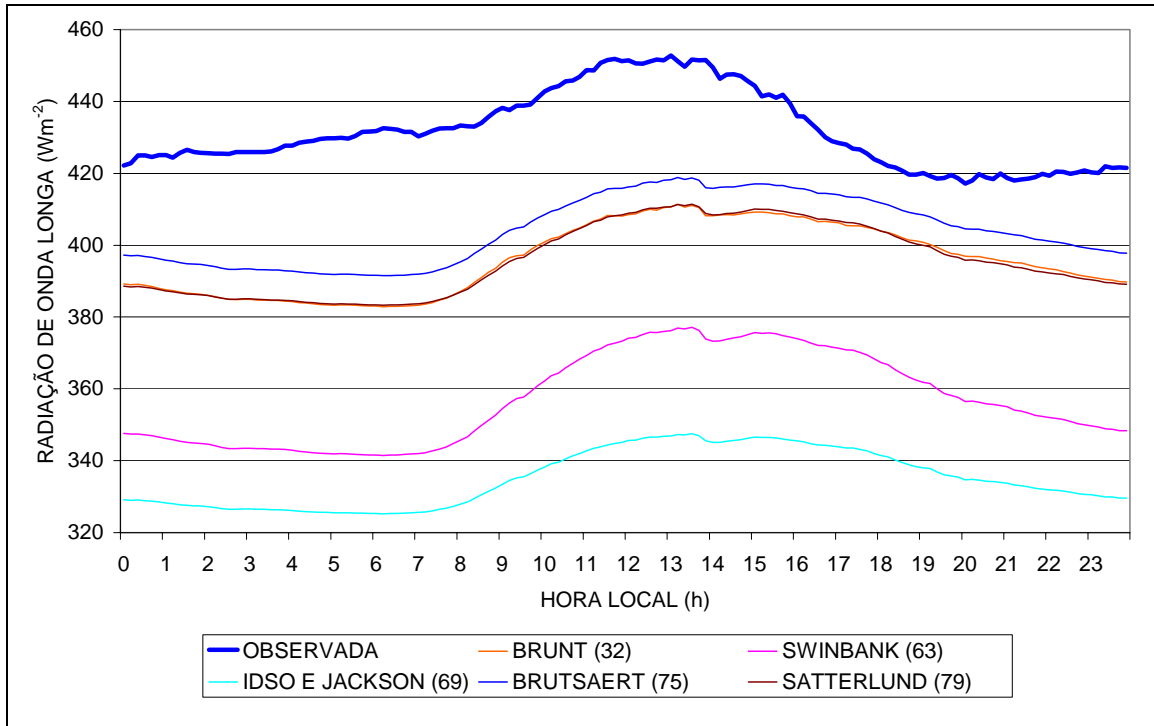


FIGURA 5.14 – Comportamento médio diário da radiação de onda longa incidente, para cinco modelos, calculados a partir de equações empíricas. Mostra-se também, nesta figura, o comportamento médio diário medido da radiação de onda longa incidente, obtido a partir do sensor de onda longa do saldo-radiômetro CNR1.

A média dos valores diários estimados com as equações 4.3 e 4.5 de  $431,0 \text{ Wm}^{-2}$  se aproximou bastante do valor médio das observações para os 20 dias de dados da Tabela 5.2b, de  $431,2 \text{ Wm}^{-2}$ . Em quatro dias, as diferenças foram superiores a 3%. Resultados muito similares foram obtidos com a utilização dos modelos de Swinbank (1963) modificado por Galvão (1999) e de Brunt(1932) modificado por Correia (2000).

## 5.10 Fluxo de Radiação de Onda Longa Emitido

A figura 5.15 apresenta a variação média diária da radiação de onda longa emitida e desvio padrão no topo da torre micrometeorológica obtidos a partir do sensor de onda longa do saldo-radiômetro CNR1. Uma análise quantitativa mostrou que o fluxo médio diário de radiação de onda longa foi da ordem de  $455,9 \text{ Wm}^{-2}$ , com desvio padrão de aproximadamente  $10,3 \text{ Wm}^{-2}$ . Observou-se, em média, que os valores máximos ocorreram em torno das treze horas sendo da ordem de  $481,8 \text{ Wm}^{-2}$  e os mínimos em torno das seis horas da ordem de  $439,6 \text{ Wm}^{-2}$ . Por outro lado, os valores máximo e mínimo absolutos foram da ordem de aproximadamente  $500,0 \text{ Wm}^{-2}$  (ocorrido em torno das treze horas) e de  $430,0 \text{ Wm}^{-2}$  (ocorrido em torno das dezoito horas e trinta minutos), respectivamente.

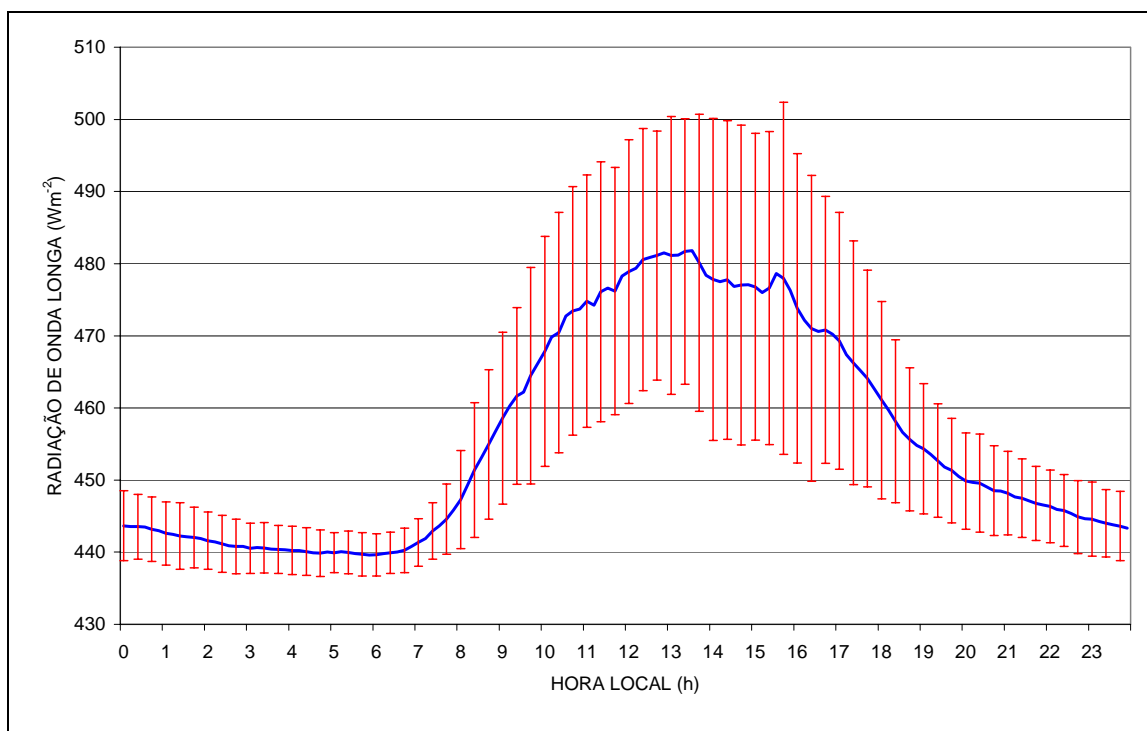


FIGURA 5.15 - Variação média diária da radiação de onda longa emitida com respectivo desvio padrão no topo da torre, obtido a partir do sensor de onda longa do saldo-radiômetro CNR1.

## 5.11 Saldo de Radiação

A Figura 5.16 apresenta a variação média diária do saldo de radiação e desvio padrão no topo da torre micrometeorológica obtidos a partir do saldo-radiômetro REBS (a) e também do resultado (resíduo) do balanço das componentes de radiação extraídas do saldo-radiômetro CNR1 (b).

Uma análise quantitativa mostra que o valor médio do saldo diário de radiação, encontrado pelo saldo-radiômetro, foi da ordem de  $134,1 \text{ Wm}^{-2}$ , com desvio padrão de  $80,7 \text{ Wm}^{-2}$ . Já o calculado a partir das componentes fornecidas pelo saldo-radiômetro CNR1, foi de aproximadamente de  $141,5 \text{ Wm}^{-2}$ , com desvio padrão da ordem de  $85,0 \text{ Wm}^{-2}$ . A diferença verificada nos resultados médios obtidos entre os instrumentos, pode ser possivelmente explicada pelo diferente número de dias utilizados em cada uma das médias. Uma comparação utilizando uma regressão linear entre os valores obtidos para dias comuns aos dois instrumentos, mostra que as diferenças encontradas podem ser consideradas pequenas, ou seja, estatisticamente insignificante, uma vez que existe uma razoável correlação entre estes instrumentos, conforme pode ser visto na Figura 5.17. Esta mostra a comparação entre os valores do saldo radiação obtidos pelo saldo-radiômetro REBS e o calculado a partir das componentes fornecidas pelo saldo-radiômetro CNR1, para um total de 20 dias de dados.

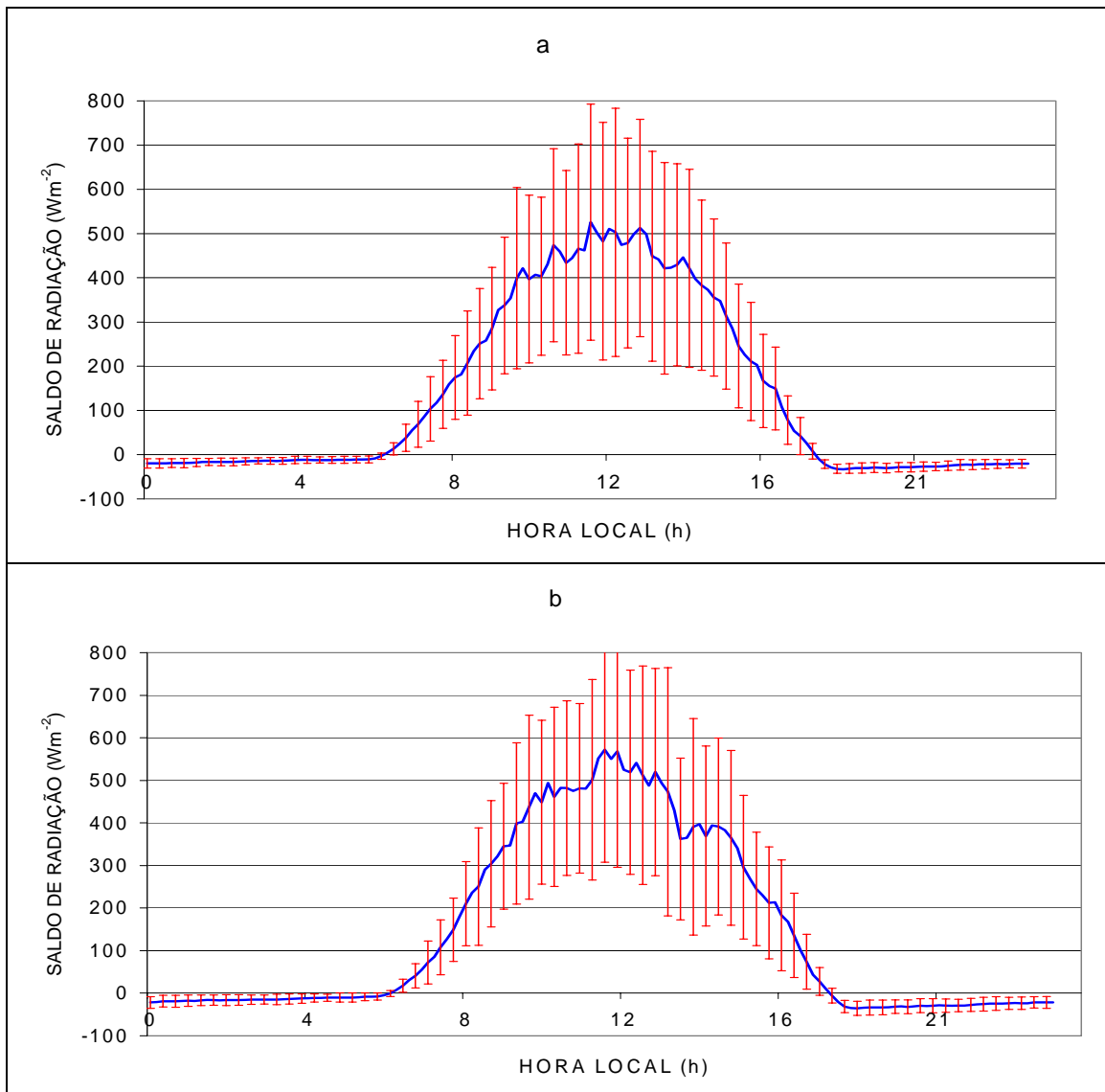


FIGURA 5.16 - Variação média diária do saldo de radiação e desvio padrão no topo da torre micrometeorológica (58 m) obtidos a partir: **(a)** do saldo-radiômetro REBS; **(b)** do resultado do balanço das componentes de radiação extraídas do saldo-radiômetro CNR1, para um total de 20 dias de dados.

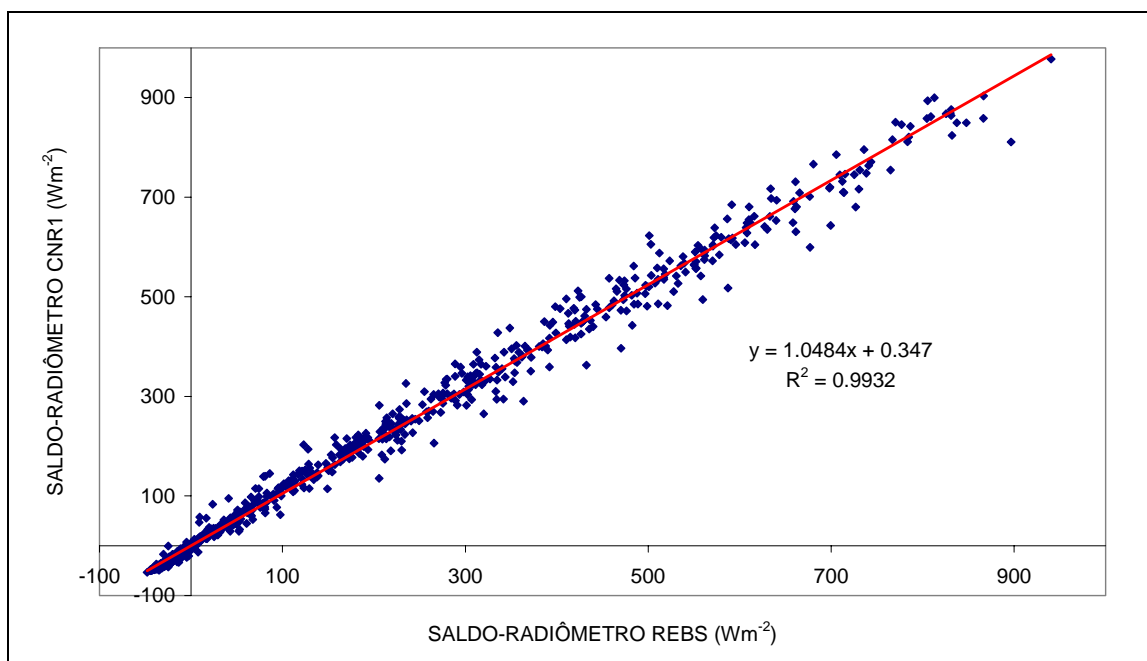


FIGURA 5.17 - Comparação entre os resultados horários obtidos pelo saldo-radiômetro REBS e CNR1, por intermédio de regressão linear, para um total de 20 dias de dados.

**Apresentação geral dos resultados das análises dos dados de radiação obtidos próximo ao chão da floresta (1,2m). Utilizaram-se seis dias de dados fornecidos por um conjunto de onze sensores quantum distribuídos ao redor da torre micrometeorológica abrangendo um raio de 25 metros (conforme mostrado na Figura 3.5).**

### 5.12 Fluxo de Radiação de Onda Curta Incidente próximo ao chão da Floresta

A Figura 5.18 apresenta o comportamento diurno médio da radiação de onda curta incidente próximo ao chão da floresta. Para isto, utilizaram-se seis dias de dados consecutivos, fornecidos por um conjunto de doze piranômetros distribuídos ao redor da torre micrometeorológica. A análise da curva de radiação diurna de onda curta próximo ao chão da floresta, mostrou que o valor médio do fluxo de radiação, (quando procedida a média dos doze piranômetros), foi de  $9,1 \text{ Wm}^{-2}$  com um desvio padrão de  $6,1 \text{ Wm}^{-2}$  (Tabelas 5.3 e 5.3a). Esse valor representa 3,5% do fluxo de radiação do topo da floresta para os seis dias, de  $260,3 \text{ Wm}^{-2}$ . Valores médios de 1% foram obtidos por Shuttleworth

*et al.* (1984a), de 5% por André (1989), e de 3,2% por Leitão (1994), todos estes experimentos realizaram-se na floresta da Reserva Florestal Ducke, em Manaus. Estes resultados mostram que dependendo do local onde o experimento é realizado, pode variar bastante dependendo região de amostragem. A da A Figura 5.18a mostra o ciclo diurno médio da percentagem do fluxo de radiação solar próximo ao chão da floresta. Nota-se que os piranômetros localizados na direção SE (R8 e R9) são os que mais contribuem para o acréscimo da radiação incidente no chão da floresta, fazendo com que a média da radiação de onda curta incidente no chão da floresta aumente consideravelmente. Esses valores maiores se devem à queda de uma grande árvore que abriu uma pequena clareira próximo da torre, justamente na direção em que se encontravam os referidos instrumentos.

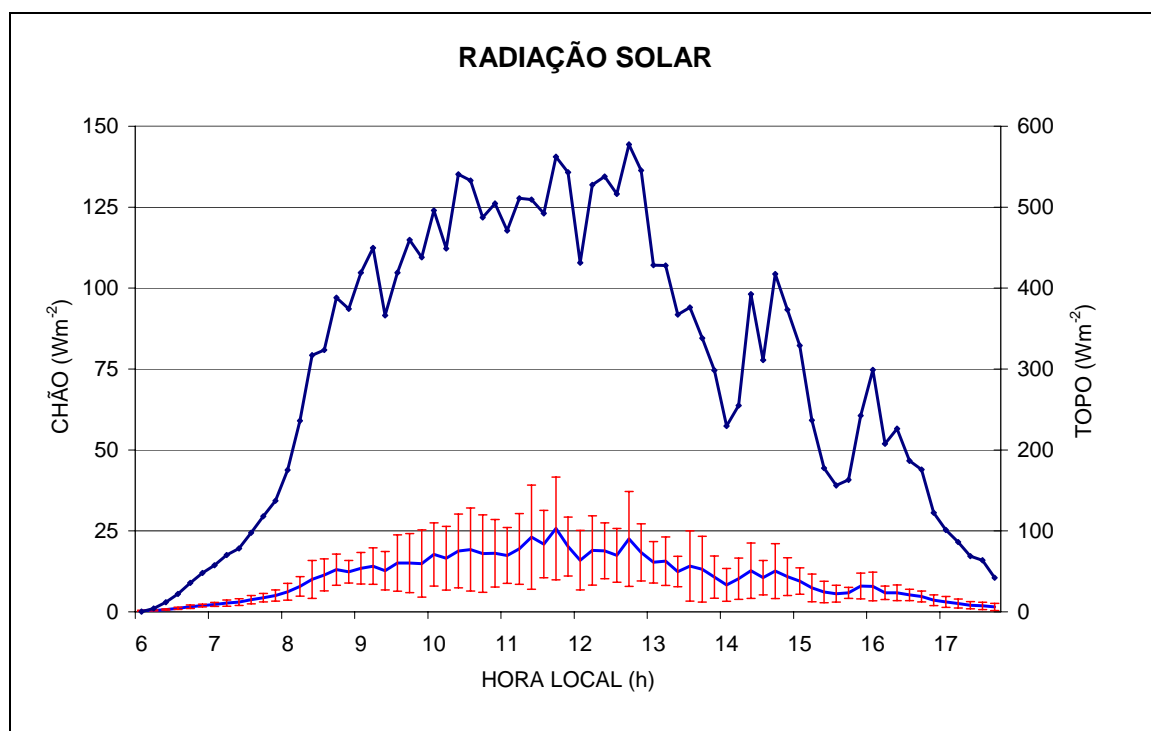


FIGURA 5.18 - Comportamento diurno médio da radiação solar no topo da torre e próximo ao chão da floresta acompanhado de desvio padrão, para seis dias consecutivos ao final do experimento.

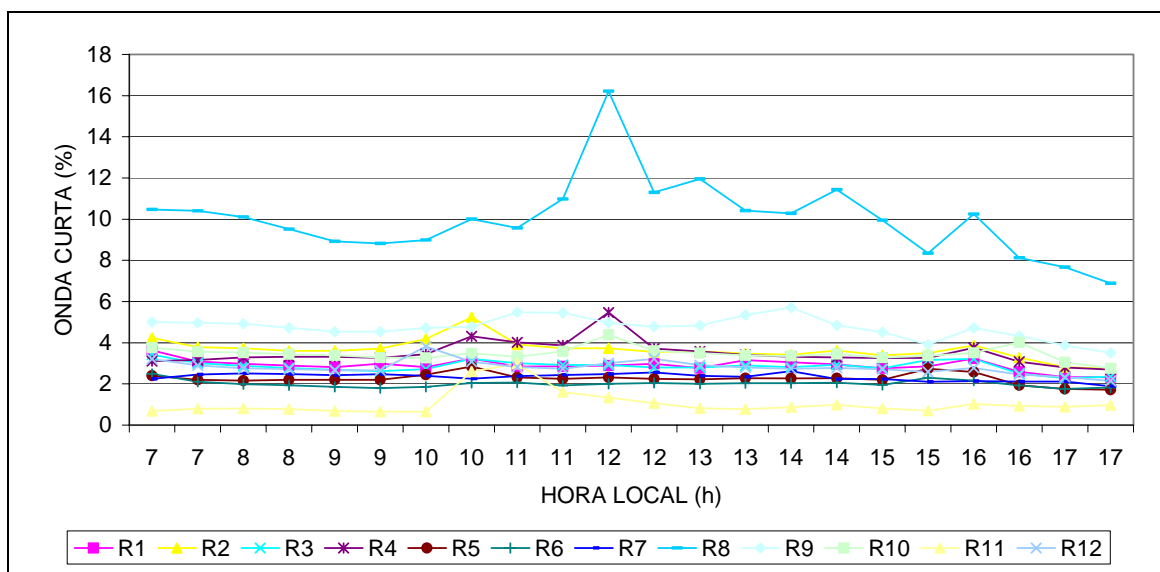


FIGURA 5.18a - Comportamento diurno médio percentual da radiação solar próximo ao chão da floresta.

TABELA 5.3 - Radiação de onda curta média incidente diurna, integrada para 6 dias consecutivos entre 6 e 19 horas, dados obtidos no topo da torre (**TOPO**) e próximo ao chão da floresta por um conjunto de doze piranômetros (CM11), distribuídos ao redor da torre. a unidade dos parâmetros empregados nesta tabela é ( $Wm^{-2}$ ).

DIAS	TOPO	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	RM	%
64	321,1	9,4	10,6	8,8	11,1	6,9	6,5	8,4	37,4	16,4	11,6	2,5	8,9	11,5	3,6
65	342,2	9,9	14,7	10,2	15,2	8,5	6,9	8,6	33,9	17,9	11,8	2,1	12,1	12,6	3,7
66	327,5	9,3	12,6	8,9	11,1	7,6	6,4	7,6	31,6	15,7	11,4	2,1	9,6	11,2	3,4
67	225,1	6,0	8,1	6,1	7,6	4,9	4,3	5,2	22,4	10,2	7,8	1,3	5,9	7,5	3,3
68	211,6	6,1	7,3	5,9	7,3	4,7	4,3	4,9	21,2	10,4	7,2	1,2	6,2	7,2	3,4
69	134,2	3,8	4,8	3,7	4,9	2,8	2,5	3,1	14,0	6,4	4,6	3,4	3,5	4,8	3,6

MÉDIA	260,3	7,4	9,7	7,3	9,6	5,9	5,1	6,3	26,7	12,8	9,1	2,1	7,7	9,1	3,5
-------	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

TABELA 5.3a - Valores percentuais (%) do fluxo de radiação no chão da floresta comparativamente àquela no topo da mesma, para cada um dos doze piranômetros.

DIAS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	RM %
64	2,9	3,3	2,8	3,5	2,2	2,0	2,6	11,6	5,1	3,6	0,8	2,8	3,6
65	2,9	4,3	3,0	4,5	2,5	2,0	2,5	9,9	5,2	3,4	0,6	3,5	3,7
66	2,9	3,9	2,7	3,4	2,3	2,0	2,3	9,7	4,8	3,5	0,7	2,9	3,4
67	2,7	3,6	2,7	3,4	2,2	1,9	2,3	9,9	4,6	3,4	0,6	2,6	3,3
68	2,9	3,5	2,8	3,4	2,2	2,0	2,3	10,0	4,9	3,4	0,6	2,9	3,4
69	2,8	3,5	2,7	3,6	2,1	1,9	2,3	10,4	4,7	3,4	2,5	2,6	3,6
MÉDIA	2,8	3,7	2,8	3,6	2,2	2,0	2,4	10,3	4,9	3,5	1,0	2,9	3,5

### 5.13 – Fluxo da RFA incidente próximo ao chão de floresta

A Figura 5.19 apresenta o comportamento diurno médio da RFA incidente próximo ao chão da floresta. A análise da curva da RFA diurna próximo ao chão da floresta, mostrou que a RFA média foi da ordem de  $2,3 \text{ Wm}^{-2}$  com um desvio padrão de  $2,6 \text{ Wm}^{-2}$ . Comparando a RFA média no topo da floresta para esses seis dias finais da campanha, que foi de  $122,8 \text{ Wm}^{-2}$ , com a RFA média no chão da floresta para o mesmo período, comprovou-se que a RFA no chão da floresta foi de  $1,9 \pm 2,1 \%$  da RFA média incidente no topo da torre micrometeorológica. Leitão (1994) obteve o valor de 3,2% em experimento similar realizado na floresta da Reserva Ducke, Km 23 da rodovia Manaus-Itacoatiara. Mesmo sabendo que existem problemas com os dados de radiação fotossinteticamente ativa, obtidos por Leitão em 1994, notou-se que o valor, por ele encontrado, é muito maior, praticamente o dobro do valor proposto por este trabalho.

É interessante notar que o coeficiente ( $P\downarrow/K\downarrow$ ) no chão da floresta é de aproximadamente 25%, quase a metade de seu valor no topo da floresta. Esse resultado é esperado devido à maior absorção da radiação fotossinteticamente ativa pela vegetação quando comparada com àquela na faixa do infra-vermelho do espectro solar e implica que o espectro da radiação solar que atinge o chão da floresta é muito mais rico



na faixa do infra-vermelho próximo, que contribui com aproximadamente 75% da energia radiante total.

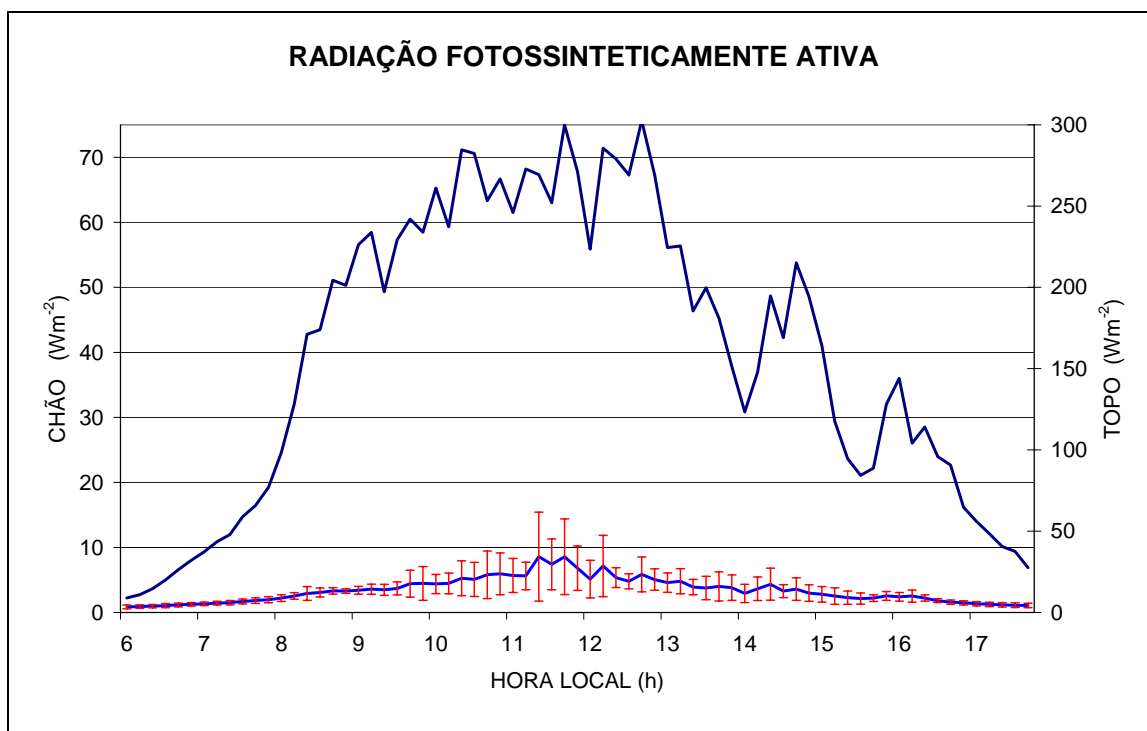


FIGURA 5.19 - Comportamento diurno médio da RFA no topo e próximo ao chão da floresta acompanhado de desvio padrão, para seis dias consecutivos ao final do experimento.

#### 5.14 – Saldo da radiação próximo ao chão de floresta

A Figura 5.20 apresenta a variação diária do saldo de radiação de onda curta no chão de floresta. Utilizou-se o mesmo período de seis dias de dados fornecidos por um conjunto contendo oito saldo-radiômetros distribuídos ao redor da torre micrometeorológica. Uma análise quantitativa mostra que o saldo de radiação diurno no chão da floresta foi em média de  $7,2 \text{ Wm}^{-2}$  com desvio padrão de  $4,2 \text{ Wm}^{-2}$ . Comparando o saldo de radiação médio no topo da floresta para os 6 dias finais da campanha, que foi de  $192,5 \text{ Wm}^{-2}$ , com o saldo médio de radiação no chão da floresta para o mesmo período, conclui-se que o saldo de radiação no chão da floresta corresponde a  $3,7 \pm 2,2\%$  do saldo médio no topo da torre micrometeorológica. Quando se consideram as 24 horas do dia, o valor médio do saldo de radiação próximo ao chão da floresta é de  $2,8 \text{ Wm}^{-2}$ , que

corresponde a 2,8% do saldo de radiação médio do topo da torre, de  $100,3 \text{ Wm}^{-2}$ . Considerando somente o período noturno o valor médio do saldo de radiação próximo ao chão da floresta é de  $-2,4 \text{ Wm}^{-2}$ , que corresponde a 16,1% do saldo de radiação médio do topo da torre, de  $-17,6 \text{ Wm}^{-2}$ .

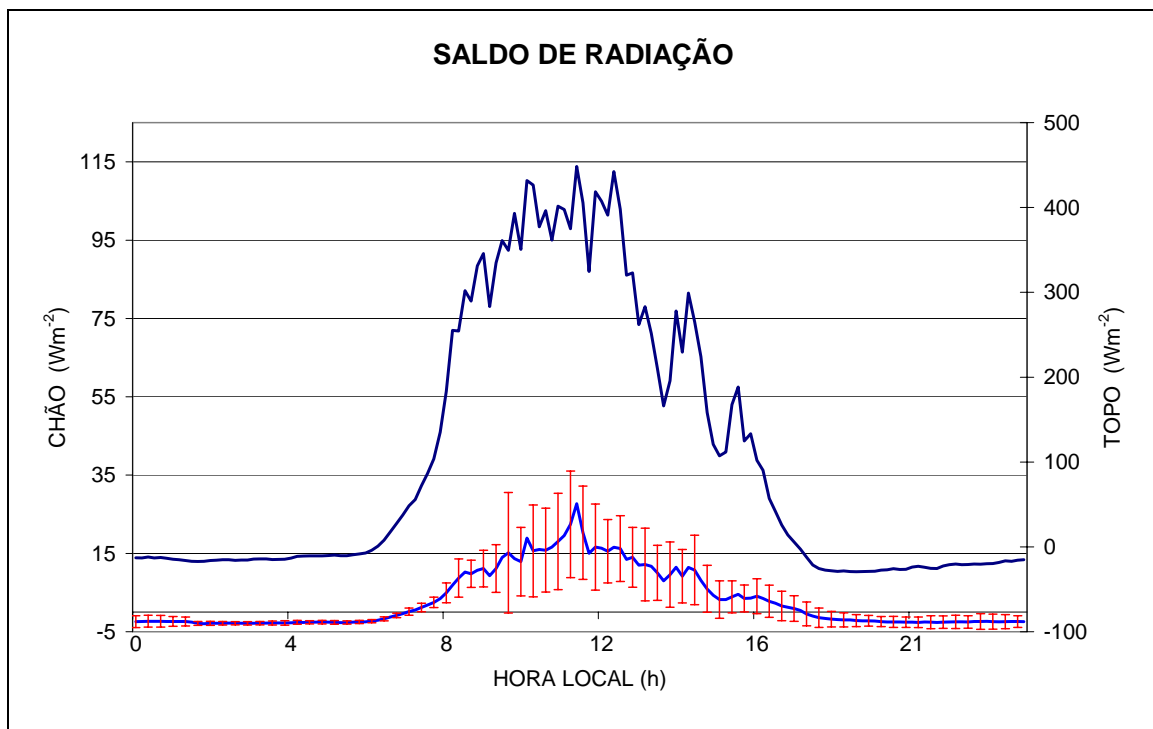


FIGURA 5.20 - Comportamento diário médio do balanço de radiação no topo e próximo ao chão da floresta acompanhado de desvio padrão, para seis dias consecutivos ao final do experimento.

### **Apresentação dos resultados das análises dos dados de radiação obtidos do perfil (5 níveis) no interior da floresta.**

Em adição às medições do topo da torre foram realizadas medições dos perfis de  $K\downarrow$ ,  $P\downarrow$  e  $R_n$  em cinco níveis no interior da floresta (35m – topo da floresta, 30m, 25m, 15m e 2,5m) no período de 20 de janeiro a 1º de março. Os sensores foram montados em três lados da torre (leste, sul e oeste) como indicado na Figura 3.5 e Tabelas 3.3, 3.4 e 3.5. A Figura 5.21a mostra a percentagem dos fluxos radiativos de  $K\downarrow$ ,  $P\downarrow$  e  $R_n$  medidos no topo da torre que atingem cada nível no interior da floresta durante o período diurno, e a figura 5.21b mostra o mesmo tipo de perfil para o saldo de radiação  $R_n$ , comparando valores diurno e noturno. Na Figura 5.21a são apresentados valores médios para o período das 7:00 as 17:00 horas de 29 dias de medições, enquanto que a Figura 5.21b apresenta valores médios de três períodos do dia: diário, das 7:00 as 17:00 horas e das 19:00 horas de um dia até as 6:00 horas do dia seguinte, isso no mesmo período de 29 dias de medições. As médias foram realizadas para os três lados da torre que tinham sensores instalados (Figura 3.5 e Tabelas 3.3, 3.4 e 3.5).

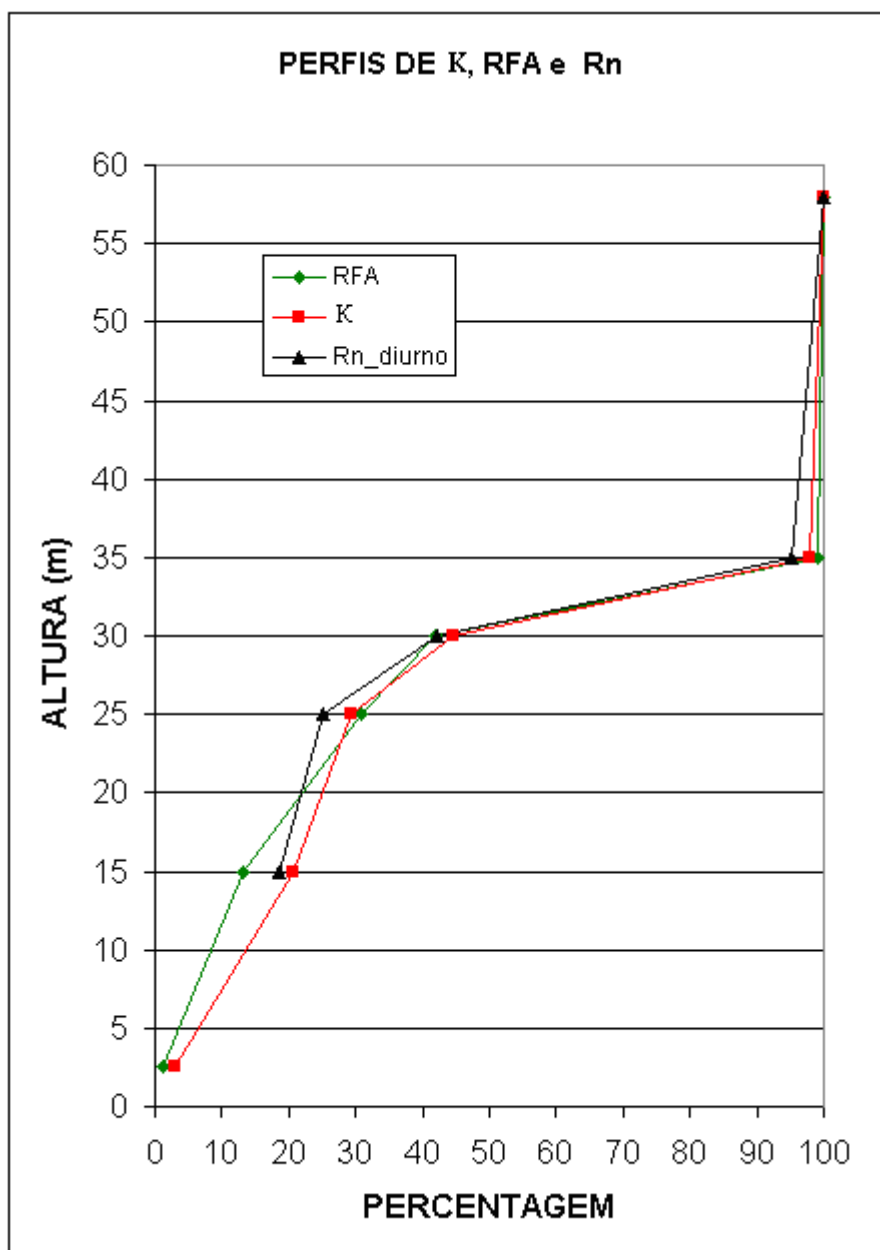


FIGURA 5.21a - Perfis médios (29 dias) do percentual de radiação solar, fotossinteticamente ativa e saldo de radiação que, após incidir no topo da copa, chega a níveis específicos dentro da floresta.

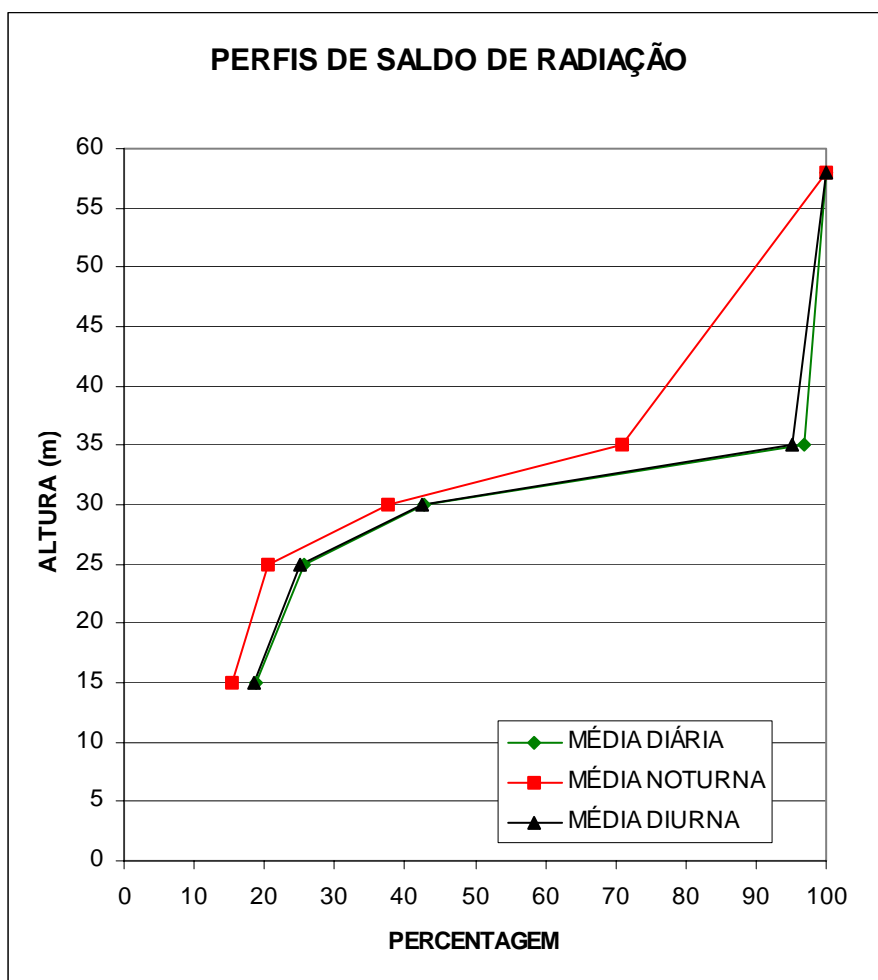


FIGURA 5.21b - Perfis médios (29 dias) do percentual do saldo de radiação: diário, diurno e noturno que, após incidir no topo da floresta, chega a níveis específicos dentro da mesma.

Nota-se um decréscimo rápido e similar na intensidade dos fluxos de  $K_{\downarrow}$ ,  $P_{\downarrow}$  e  $R_n$  no período diurno, indicando o papel que a parte superior da copa da floresta exerce na interceptação, reflexão e absorção de energia solar. A atenuação média na altura de 30 m (aproximadamente 5 metros abaixo do topo da floresta) foi maior que 55%. No nível de 25 m, apenas em torno de 30% dos fluxos de radiação solar, RFA e saldo de radiação estiveram disponíveis e menos de 20% da energia disponível no topo da floresta chegou ao nível de 15m. Entretanto, ressalta-se que a atenuação da radiação foi diferente em cada lado da torre e variável no tempo (não mostrado) porque a distribuição de vegetação não é uniforme ao redor da torre. Na verdade, apenas para dias em que há predomínio de radiação solar difusa pode-se esperar pequena variação (no tempo) da

atenuação de cada nível de observação. As Figuras 5.22a e 5.22b ilustram o comportamento da atenuação da radiação solar para um dia nublado (com predomínio de radiação difusa) e para um dia com predomínio de radiação solar direta. A persistência de valores quase constantes da fração de atenuação da radiação em cada nível dentro da vegetação é um indicativo de que a floresta age como uma cobertura vegetal homogênea em situações de predominância de radiação difusa (Figura 5.22a). Por outro lado, em situação de predominância de radiação direta há uma grande desigualdade entre os padrões e intensidade da radiação ao longo do dia, em cada nível de medição no interior da vegetação, em comparação com o padrão e a intensidade da radiação que chega no topo da floresta (Figura 5.22b). Embora haja uma certa simetria, nesse caso a vegetação não pode ser considerada homogênea e a atenuação é dependente da posição (horizontal e vertical) em seu interior.

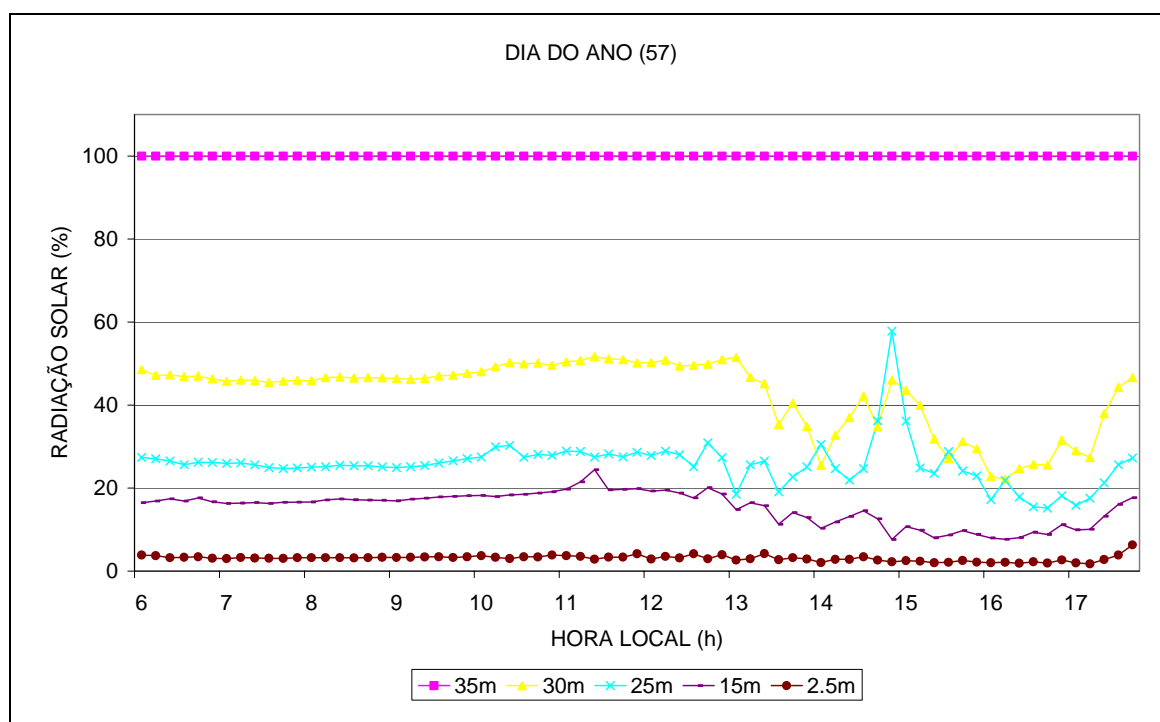


FIGURA 5.22a - Evolução diária do fluxo de radiação solar em vários níveis no interior da floresta, representativo para dia nublado.

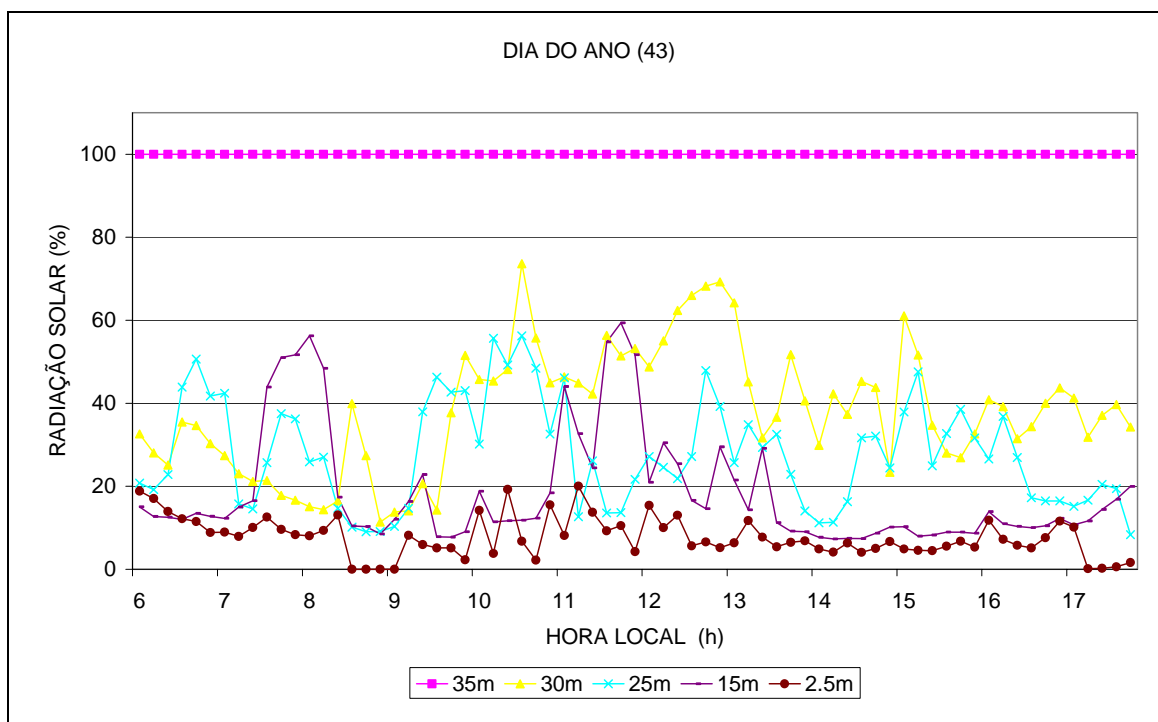


FIGURA 5.22b - Evolução diária do fluxo de radiação solar em vários níveis no interior da floresta, representativo para dia de céu claro.

Os perfis de saldo de radiação apresentaram um comportamento similar durante o período noturno e diurno (Figura 5.21b), embora as frações sejam menores durante a noite. As principais diferenças entre os dois perfis foram observadas no topo da vegetação, no nível de 35 m. O saldo de radiação é dominado, durante o dia, pelo fluxo de radiação solar incidente, o que implica em pequena diferença em  $R_n$  entre os níveis de 58m e 35m. Não se esperam grandes diferenças entre  $K\downarrow$  e  $L\downarrow$  atingindo os dois níveis. Alguns dias de observação de radiação solar refletida no nível de 35 m, no início da campanha, mostraram um albedo solar de 12% neste nível. O coeficiente de refletividade menor tenderia a aumentar o valor de  $R_n$ , mas não é isso que se observa. De fato o saldo radiômetro montado nesse nível poderia estar “amostrando” uma superfície mais quente do que aquela montado no topo da torre. A emissão maior de radiação de onda longa nesse nível (ou nesse local) compensaria o efeito do albedo menor. Entretanto, não se podem desconsiderar possíveis efeitos de influência da torre nos fluxos incidentes de radiação, principalmente para a radiação difusa. A camada entre 30m e 35m é a mais ativa na absorção de radiação solar e na emissão de radiação

de onda longa, como indicado pelo ciclo diário médio da temperatura do ar mostrado na Figura 5.23.

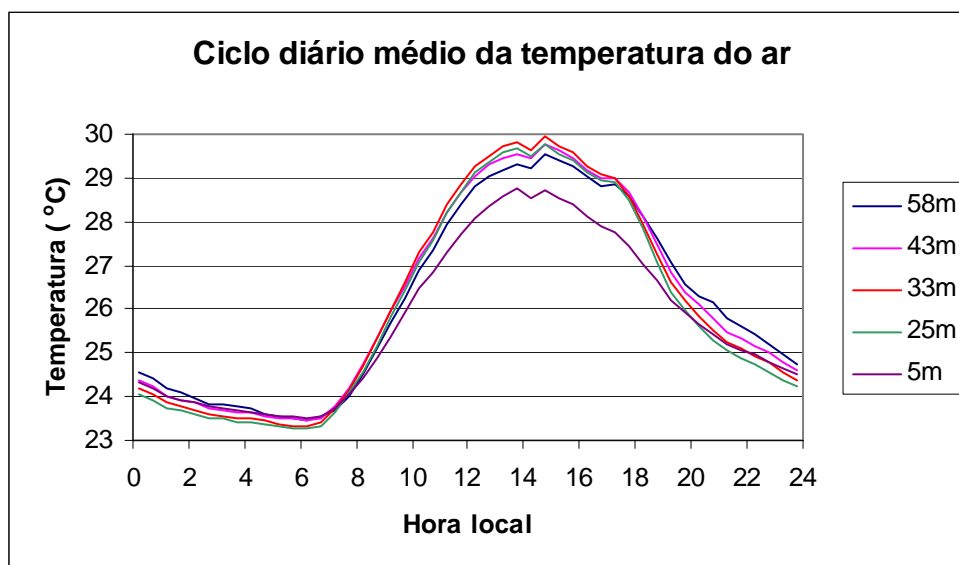


FIGURA 5.23 - Ciclo diário médio (29 dias) da temperatura do ar em diversos níveis (alturas em metros) acima e no interior da floresta

Durante a noite, quando  $R_n$  é negativo, o saldo de radiação no nível de 35m foi cerca de 30% (aproximadamente  $6 \text{ Wm}^{-2}$ ) menor do que aquele no topo da torre. Uma possível explicação é a de que o sensor inferior pode estar “vendo” uma superfície mais fria (abaixo dele) do que aquele montado no topo da torre. Não se devem descartar influências da própria torre e de alguma contribuição de divergência de fluxo entre esses dois níveis. Porém, esses aspectos estão fora dos objetivos deste trabalho.

No interior da vegetação, a perda de radiação de onda longa decresce com a profundidade por causa de sua interação com as camadas de vegetação acima e abaixo. Assim, a diminuição da temperatura durante a noite no interior da vegetação é menor do que a observada na parte superior da copa. Isto pode criar instabilidade (gradientes negativos de temperatura potencial virtual – Figura 5.24) e gerar turbulência dentro da vegetação, especialmente abaixo da altura de 25m.



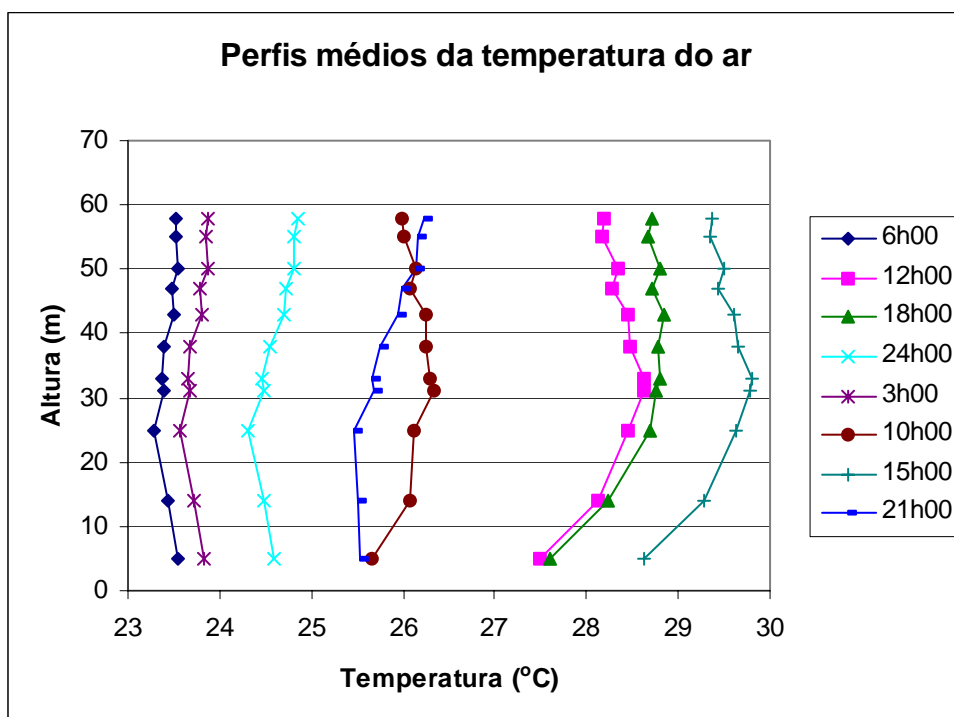


FIGURA 5.24 - Perfis de temperatura do ar (valores horários – média de 29 dias)

Uma outra maneira para confirmar o decaimento da radiação fotossinteticamente apresentado neste trabalho, foi mostrada em Manzi *et al.* (2000), o qual seguiu o que foi proposto por Dang *et al.* (1997). Este, afirma que a atenuação de RFA com a profundidade da vegetação, sob condições de radiação difusa, pode ser aproximada pela lei de Beer:

$$\ln(I_z/I_o) = -k_D D$$

Onde  $I_z$  e  $I_o$  são os fluxos de RFA acima e no interior da vegetação, respectivamente;  $k_D$  é o coeficiente de extinção com a profundidade da vegetação; e  $D$  é a profundidade contada a partir do topo. Uma versão ligeiramente modificada dessa expressão foi empregada para expressar  $I_z/I_o$  como uma porcentagem.

$$\ln(\%RFA) = \ln(100) - k_D D$$

A transformação logarítmica de %RFA melhora o ajuste e foi utilizada para calcular o coeficiente de extinção para o dia 57 (Figura 5.25a). O mesmo procedimento foi utilizado no cálculo do coeficiente de extinção do fluxo de radiação solar, cujo ajuste é mostrado na figura 5.25b. O valor maior do coeficiente de extinção para o fluxo de

radiação fotossinteticamente ativa quando comparado com o do fluxo de radiação solar é consistente com a menor reflectância e transmitância da folhagem à radiação fotossinteticamente ativa.

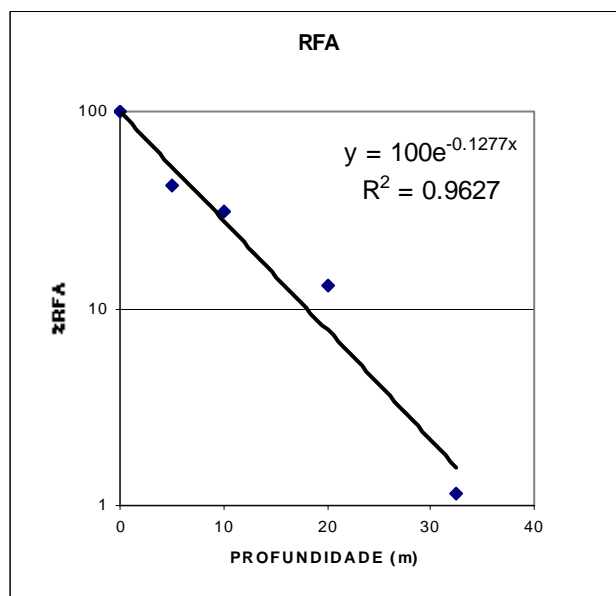


FIGURA 5.25a - Extinção percentual da RFA $\downarrow$  com a profundidade da vegetação (valor médio).

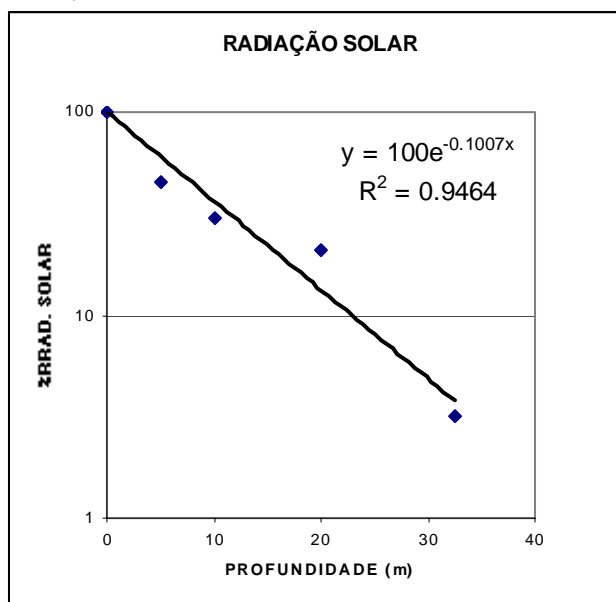


FIGURA 5.25b - Extinção percentual da radiação de onda curta (R $\downarrow$ ) com a profundidade da vegetação (valor médio).

### 5.15 - Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF)

As observações dos perfis de radiação no interior da vegetação, assim como os dados do experimento realizado para determinar os fluxos de radiação que atingem o chão da floresta, foram utilizados para estimar o Índice de Área Foliar (IAF) da floresta da Rebio Jaru em torno da torre micrometeorológica.

A estimativa foi feita com a utilização do modelo proposto por Marques Filho (1997) e descrito sucintamente no capítulo 4. Os cálculos foram realizados pelo próprio Dr. Marques Filho, no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, em Manaus. Ele aplicou seu modelo de inversão aos dados de radiação solar (e de radiação fotossinteticamente ativa) incidente no topo e próximo do chão da floresta, para valores médios de 20 minutos durante o período final da campanha, dos dias 63 a 70. Com esses dados o modelo produziu um IAF médio de  $6,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ , variando de  $4,2$  a  $7,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ , (Marques Filho, 2001).

A Figura 5.26 apresenta o perfil de densidade foliar no interior da floresta estimado pelo modelo de Marques Filho (1997), para o perfil de radiação solar medido no dia 57 (nublado). A integração do perfil da figura 5.21 produz um IAF acumulado entre o topo e o chão da floresta de  $5,6 \text{ m}^2/\text{m}^2$ .

Com a utilização de um imageador digital, no mesmo período da campanha, foram obtidas estimativas independentes de IAF que variaram, em torno da torre, entre  $4,1$  e  $5,9 \text{ m}^2/\text{m}^2$ . O valor médio obtido foi  $4,9 \text{ m}^2/\text{m}^2$  (Caruzzo, 2000).

Os valores estimados a partir do imageador digital e a partir do modelo de inversão diferem entre si em mais de 20%. Entretanto, são consistentes pois se aproximam dos valores obtidos por outros autores como, Roberts *et al.* (1996), Honzák *et al.* (1996) entre outros. Indicando que o IAF em uma Floresta Tropical varia bastante. Para efeitos de aplicação prática sugere-se um valor de  $5,6 \text{ m}^2/\text{m}^2$  para o sítio experimental da Rebio Jaru.

O perfil médio resultante do modelo de Marques Filho apresenta três níveis (alturas) onde o acúmulo de área foliar é bastante evidente. No entanto, as observações visuais efetuadas a partir da torre mostram a existência deste acúmulo de vegetação nos níveis próximos aos 6 e 30 metros de altura, e menos pronunciado no nível próximo aos 12 metros.

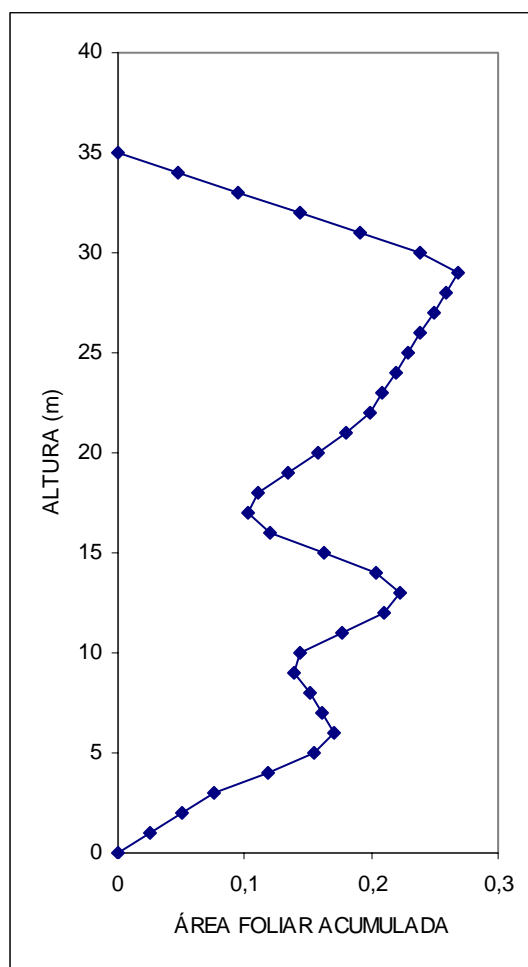


FIGURA 5.26 - Perfil de densidade foliar no interior da floresta obtido a partir da utilização do modelo proposto por Marques Filho (1997).

**Apresentação dos resultados das análises dos dados (dias) classificados segundo a nebulosidade.**

Entre os dias estudados selecionou-se, um que pudesse ser representativo de céu claro, um de parcialmente nublado e outro de nublado, para a análise da radiação no topo, no perfil e no chão da floresta. Os dias selecionados foram os seguintes:

**céu claro:** 36 (dia juliano)

**parcialmente nublado:** 33 (dia juliano)

**nublado:** 38 (dia juliano)

### **5.16 - Dia de Céu Claro**

A Figura 5.27a apresenta a atenuação média da radiação de onda curta no interior da floresta em relação àquela incidente no topo da torre micrometeorológica, para o dia 36 (juliano), o qual é representativo de céu claro. Uma análise quantitativa mostrou que, em média, aproximadamente 60 % da radiação incidente no topo da torre, foi atenuada no nível de 30m. Isto quer dizer que os primeiros metros, a partir do topo em direção ao chão da floresta, são os principais responsáveis pela atenuação da radiação de onda curta dentro do dossel da floresta. Para os níveis de 25m, 15m e 2,5m, o percentual de atenuação foi da ordem de 70,3 %, 77,2 % e 96,0 %, respectivamente.

A Figura 5.27b apresenta a atenuação média da RFA no interior da floresta em relação à RFA média incidente no topo da torre micrometeorológica para o dia 36 (juliano). Uma análise quantitativa mostrou que em média aproximadamente 60 % da radiação incidente no topo da torre, foi atenuada no nível de 30m. Logo, como acontece com a radiação de ondas curtas, os primeiros metros também são os principais responsáveis pela atenuação da RFA dentro do dossel da floresta. Para os níveis de 25m, 15m e 2,5m, o percentual de atenuação foi da ordem de 70,7 %, 86,7 % e 99,0 %, respectivamente.

A Figura 5.27c apresenta a atenuação média da radiação infravermelha próxima (IVP) no interior da floresta em relação à radiação IVP média incidente no topo da torre micrometeorológica para o dia 36 (juliano). Uma análise quantitativa mostrou que em média aproximadamente 75 % da radiação IVP incidente no topo da torre atingiu o nível 30m. Para os níveis de 25m, 15m e 2,5m o percentual de atenuação foi da ordem de 70,7 %, 86,7 % e 99,0 %, respectivamente.

A Figura 5.27d apresenta a distribuição média do saldo de radiação no interior da floresta em relação ao saldo de radiação médio no topo da torre micrometeorológica para o dia 36 (juliano). Uma análise quantitativa mostrou que aproximadamente 41,4 % do saldo de radiação no topo da torre foi observado no nível de 30m. Para os níveis de seguintes de 25m e 15m o percentual na distribuição do saldo de radiação foi da ordem de 24,3 % e 21,6 %, respectivamente.

## CÉU CLARO

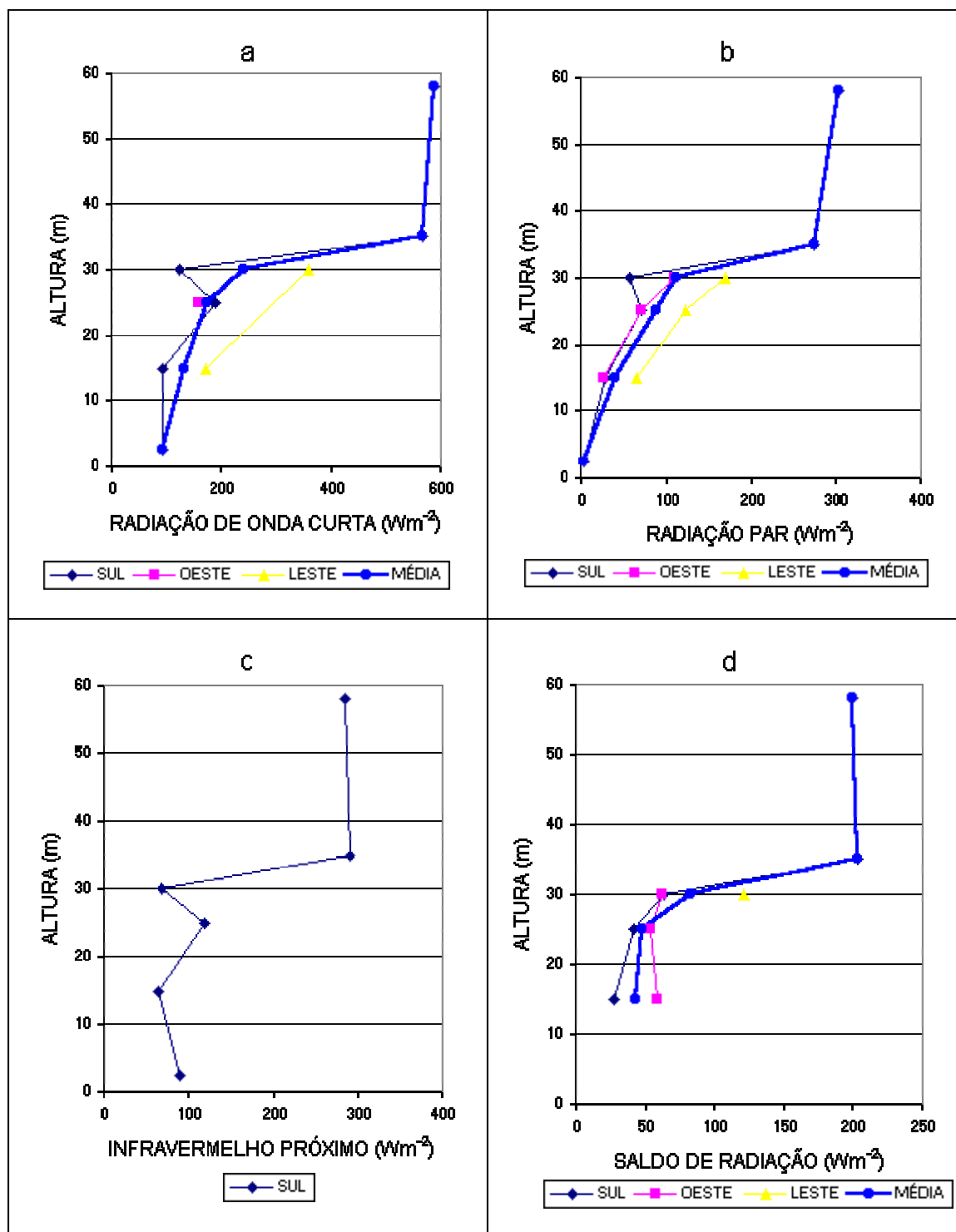


FIGURA 5.27 - Atenuação média das radiações: (a) de onda curta, (b) RFA, (c) IVP e (d) saldo de radiação no interior da floresta em relação às respectivas radiações no topo da torre micrometeorológica para o dia 36 (juliano).

### **5.17 - Dia de Céu Parcialmente Nublado**

A Figura 5.28a apresenta a atenuação média da radiação de onda curta no interior da floresta em relação à radiação de onda curta média incidente no topo da torre micrometeorológica para o dia 33 (juliano), o qual é representativo de céu parcialmente nublado. Uma análise quantitativa mostrou que, em média, aproximadamente 52,4 % da radiação incidente no topo da torre, foi atenuada no nível de 30m. Para os níveis de 25m, 15m e 2,5m o percentual de atenuação foi da ordem de 70,0 %, 78,7 % e 97,5 %, respectivamente.

A Figura 5.28b apresenta a atenuação média da RFA no interior da floresta em relação a RFA média incidente no topo da torre micrometeorológica para o dia 33 (juliano). Uma análise quantitativa mostrou que aproximadamente 57,3 % da radiação incidente no topo da torre alcançou o nível de 30m. Para os níveis de 25m, 15m e 2,5m, o percentual de atenuação foi da ordem de 68,7 %, 86,6 % e 98,8 %, respectivamente.

A Figura 5.28c apresenta a atenuação média da radiação infravermelha próxima IVP no interior da floresta em relação à radiação IVP média incidente no topo da torre micrometeorológica para o dia 33 (juliano). Uma análise quantitativa mostrou que em média, a atenuação para o nível 30m foi de aproximadamente 73,2 % daquela incidente no topo da torre. Para os níveis de 25m, 15m e 2,5m, o percentual de atenuação foi da ordem de 60,6 %, 78,0 % e 96,2 %, respectivamente.

A Figura 5.28d apresenta a distribuição média do saldo de radiação no interior da floresta em relação ao saldo de radiação médio no topo da torre micrometeorológica para o dia 33 (juliano). Uma análise quantitativa mostrou que em média, aproximadamente 51,0 % do saldo de radiação no topo da torre foi observado no nível de 30m. Nos níveis seguintes de 25m e 15m, o percentual na distribuição do saldo de radiação foi da ordem de 24,0 % e 19,3 %, respectivamente.



## CÉU PARCIALMENTE NUBLADO

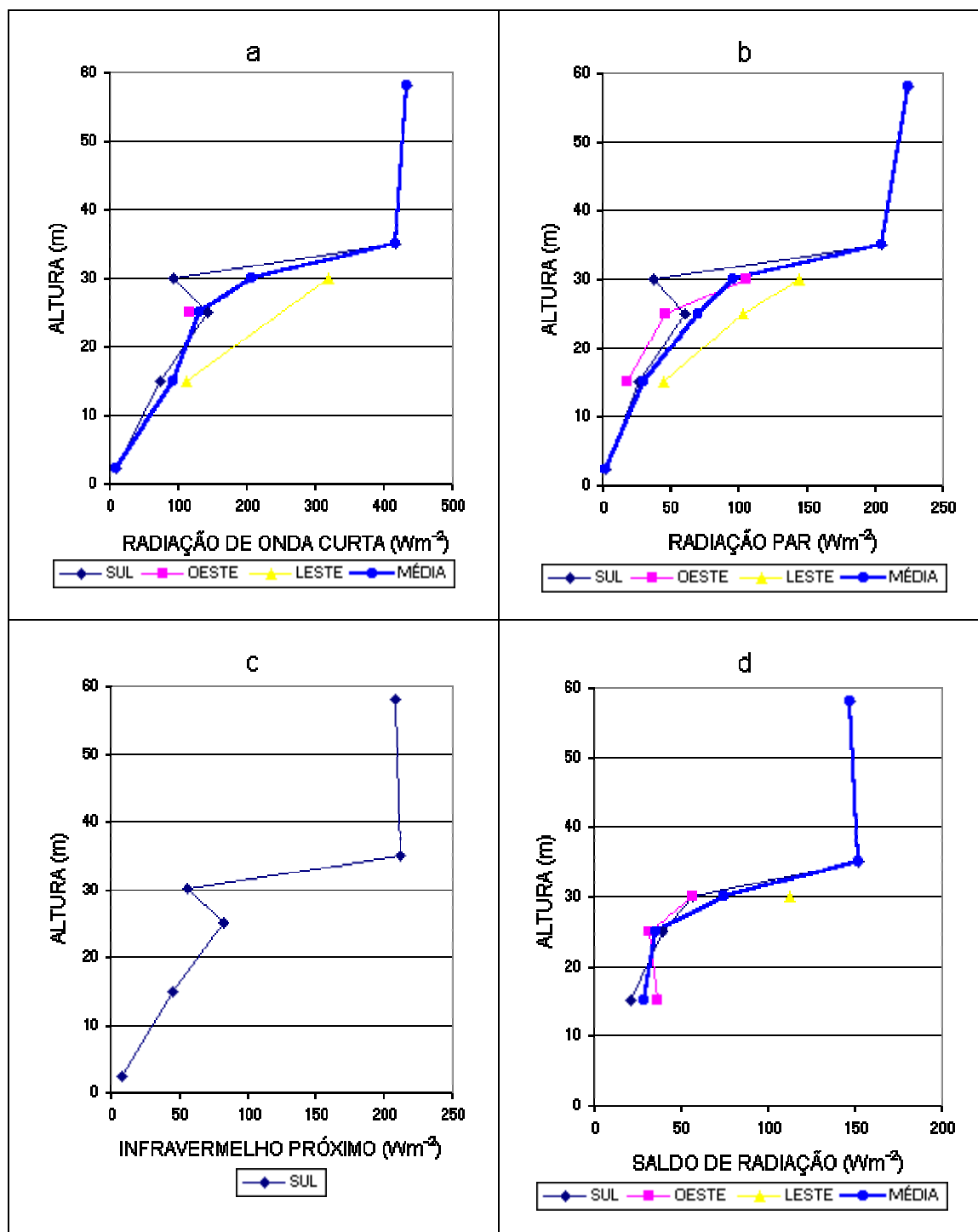


FIGURA 5.28 - Atenuação média das radiações: (a) de onda curta, (b) RFA, (c) IVP e (d) saldo de radiação no interior da floresta em relação às respectivas radiações no topo da torre micrometeorológica para o dia 33 (juliano).

## 5.18 - Dia de Céu Nublado

A Figura 5.29a apresenta a atenuação média da radiação de onda curta no interior da floresta em relação à radiação de onda curta média incidente no topo da torre micrometeorológica para o dia 38 (juliano), o qual é representativo de céu nublado. Uma análise quantitativa mostrou que, em média, aproximadamente 61,0 % da radiação incidente no topo da torre alcançou o nível de 30m. Para os níveis de 25m, 15m e 2,5m, o percentual de atenuação foi da ordem de 70,2 %, 83,0 % e 95,5 %, respectivamente.

A Figura 5.29b apresenta a atenuação média da RFA no interior da floresta em relação à RFA média incidente no topo da torre micrometeorológica para o dia 38 (juliano). Uma análise quantitativa mostrou que em média, aproximadamente 64,2 % da radiação incidente no topo da torre alcançou o nível de 30m. Para os níveis de 25m, 15m e 2,5m, o percentual de atenuação foi da ordem de 71,5 %, 90,3 % e 99,3 %, respectivamente.

A Figura 5.29c apresenta a atenuação média da radiação infravermelha próxima IVP no interior da floresta em relação à radiação IVP média incidente no topo da torre micrometeorológica para o dia 38 (juliano). Uma análise quantitativa mostrou que em média, aproximadamente 77,7 % da radiação incidente no topo da torre alcançou o nível de 30m. Para os níveis de 25m, 15m e 2,5m, o percentual de atenuação foi da ordem de 61,0 %, 82,4 % e 91,6 %, respectivamente.

A Figura 5.29d apresenta a distribuição média do saldo de radiação no interior da floresta em relação ao saldo de radiação médio no topo da torre micrometeorológica para o dia 33 (juliano). Uma análise quantitativa mostrou que em média, aproximadamente 31,3 % do saldo de radiação no topo da torre foi observado no nível de 30m. Para os níveis de seguintes de 25m e 15m o percentual na distribuição do saldo de radiação foi da ordem de 29,2 % e 19,4 %, respectivamente.

## CÉU NUBLADO

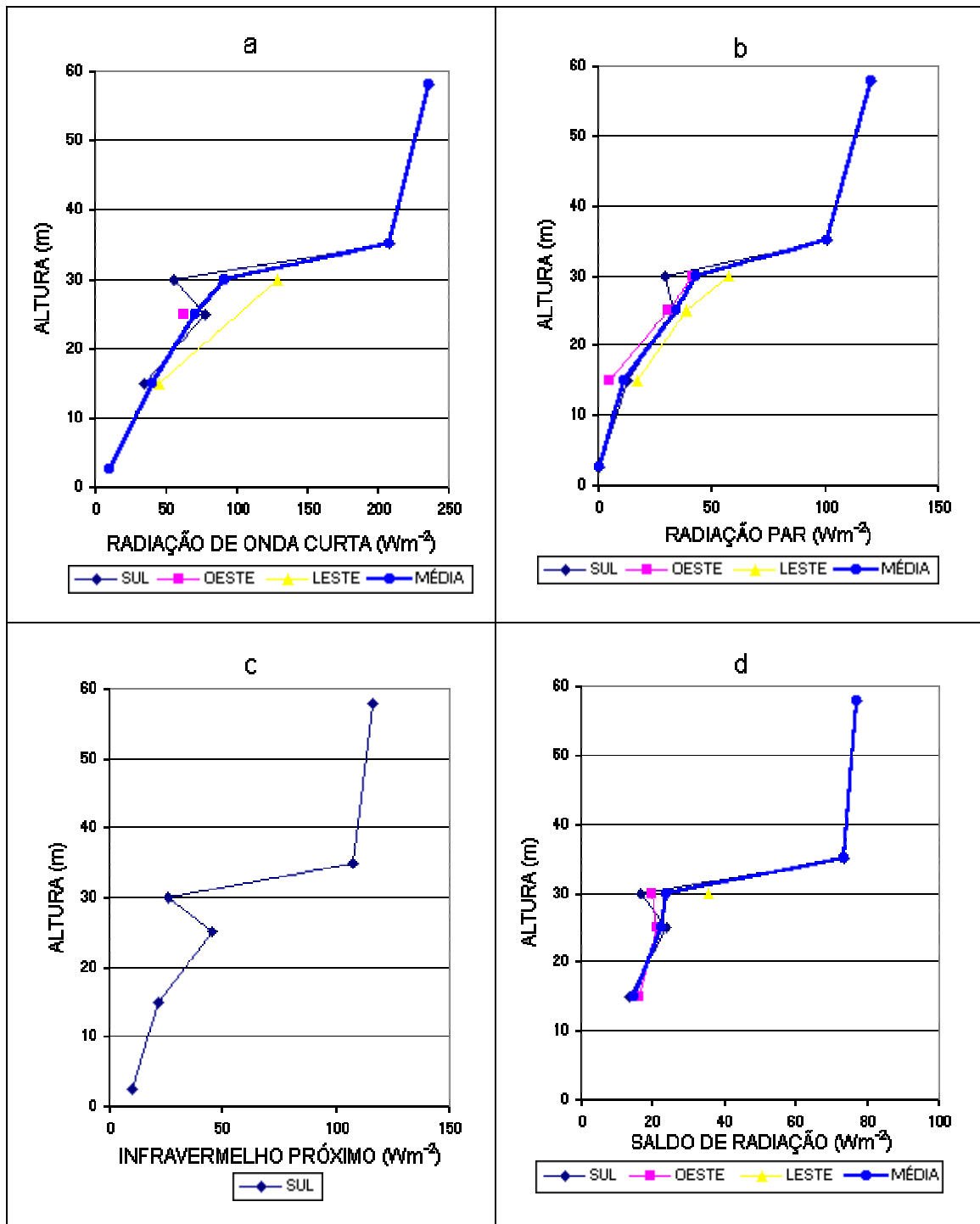


FIGURA 5.29 - Atenuação média das radiações: (a) de onda curta, (b) RFA, (c) IVP e (d) saldo de radiação no interior da floresta em relação às respectivas radiações no topo da torre micrometeorológica para o dia 38 (juliano).

Na Tabela 5.4. é mostrado um resumo da atenuação percentual das radiações de onda curta (O. C.), fotossinteticamente ativa (RFA), infravermelho próximo (IVP) e saldo de radiação (S. R.), para dias de céu claro, parcialmente nublado e nublado. Os resultados apresentados nesta tabela, mostraram que em média, praticamente não há diferenças significativas entre o percentual de atenuação de radiação dentro da floresta, para as diferentes coberturas de nuvens, sugerindo que não existe uma relação direta da atenuação da radiação com a nebulosidade no interior da vegetação. Isto com certeza, deve ser melhor investigado, uma vez que a maioria dos dias utilizados, neste experimento, foram caracterizados quanto à nebulosidade, apenas no período chuvoso.

TABELA 5.4. Resumo da atenuação percentual das radiações de onda curta (o. c.), fotossinteticamente ativa (rfa), infravermelho próximo (ivp) e saldo de radiação (s. r.), para dias de céu claro, parcialmente nublado e nublado.

	<b>CÉU CLARO</b>				<b>P. NUBLADO</b>				<b>NUBLADO</b>			
<b>Níveis</b>	30	25	15	2,5	30	25	15	2,5	30	25	15	2,5
<b>O. C.</b>	60,0	70,3	77,2	96,0	52,4	70,0	78,7	97,5	61,0	70,2	83,0	95,5
<b>RFA</b>	60,0	70,7	56,7	99,0	57,3	68,1	86,6	98,8	64,2	71,5	90,3	99,3
<b>IVP</b>	75,0	70,7	86,7	99,0	73,2	60,6	78,0	96,2	77,7	61,0	82,9	91,6
<b>S. R.</b>	58,6	75,7	78,4		51,0	76,0	80,7		58,7	70,8	80,6	

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O objetivo desse Trabalho foi analisar o comportamento da radiação solar e terrestre acima e no interior da vegetação de uma floresta de Terra Firme da Reserva Biológica do Jaru durante a realização da Campanha Atmosférica de Mesoescala (WETAMC). Esta teve lugar conjuntamente com a Missão de Medidas de Chuvas Tropicais (TRMM) no estado de Rondônia, sudoeste da Amazônia brasileira, no âmbito do Experimento da Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). A partir das análises realizadas neste trabalho, com dados coletados no período de 29 de janeiro a 10 de março de 1999, são enunciadas as seguintes conclusões:

Durante o período chuvoso o fluxo de radiação solar médio incidente na superfície foi de aproximadamente 50% do fluxo incidente no topo da atmosfera, sendo que deste total, em média, 46% é composto de radiação fotossinteticamente ativa e 54% de radiação na faixa espectral do infra-vermelho próximo. Por outro lado, em média, a radiação solar global próximo ao chão da floresta é composta de aproximadamente 25% de radiação fotossinteticamente ativa e 75% de radiação na faixa espectral do infra-vermelho próximo. Apenas  $3,5 \pm 2,3\%$  da radiação solar,  $1,9 \pm 2,1\%$  da radiação fotossinteticamente ativa e  $2,8 \pm 1,8\%$  do saldo de radiação medidos no topo atingem o chão da floresta.

De um modo geral, praticamente não existe variação em valores médios diários, no perfil de extinção de radiação no interior da vegetação para dias de céu claro, parcialmente nublado e nublado. Ou seja, em valores médios e principalmente para condições de predominância de radiação difusa, o comportamento da extinção da radiação no interior da vegetação pode ser descrito de maneira análoga à lei de Beer. Isto indica que a distribuição dos elementos da vegetação pode ser considerada homogênea. Por outro lado, para dias com forte predominância de radiação difusa, a percentagem de radiação em cada altura não varia com o tempo. No entanto, isso não

acontece em dias de céu claro quando há grande variabilidade, ao longo do dia, da percentagem de radiação que atinge cada nível no interior da vegetação.

A camada de vegetação compreendida entre 30 e 35 metros de altura é a mais efetiva na absorção de radiação solar e na emissão de radiação de onda longa, o que é comprovado pelo perfil vertical médio da temperatura do ar e pelo ciclo diário médio da temperatura em diversos níveis no interior e acima da vegetação. Mais de 55% da radiação solar incidente no topo da floresta é refletida ou absorvida antes de atingir o nível de 30 m. Aproximadamente 30%, 20% e 4% atingem os níveis de 25 m, 15 m e 2,5m, respectivamente.

O albedo médio da radiação global foi de 13,7%, da radiação fotossinteticamente ativa foi de 3,6% e da radiação na faixa do infra-vermelho próximo foi de 22,0%, apresentando pequena variação com a elevação solar.

Os modelos simplificados que têm como base a temperatura, a umidade do ar e o percentual da cobertura de nuvens, são capazes de estimar o fluxo médio diário de radiação atmosférica descendente, quando seus coeficientes são ajustados para as condições amazônicas.

O saldo de radiação ( $R_n$ ) pode ser descrito, a partir da radiação solar global  $R_{\downarrow}$ , de maneira adequada pela expressão  $R_n = 0,852 R_{\downarrow} - 22,6 \text{ Wm}^{-2}$ , com  $R^2$  aproximadamente igual a 0,99.

O Índice de Área Foliar (IAF) é bastante variável no entorno da torre, variando entre 4 e  $7 \text{ m}^2/\text{m}^2$ . Para efeito de aplicação prática, pode ser considerado um valor médio de  $5,6 \text{ m}^2/\text{m}^2$ .

Para dar continuação a este trabalho, sugerem-se:

Análises dos dados de radiação coletados na campanha da estação seca, com a finalidade de verificar as possíveis relações existentes com os resultados obtidos na estação chuvosa, para a floresta Rebio-Jaru..

Testes com outras distribuições verticais (e horizontais) de sensores de radiação no interior de ambientes de floresta. Isto porque, sendo praticamente inédita a configuração utilizada neste trabalho, tornam-se necessários outros experimentos para ratificação dos resultados apresentados.

Utilização das informações obtidas neste trabalho, visando implementar melhorias no campo de modelos de radiação e conseqüentemente na aferição de modelos de previsão de tempo.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alados, I.; Foyo-Moreno, I.; Alados-Arboledas, L. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.78, p.121-131, 1996.

Andreae, M.O.; Artaxo, P.; Brandão, C.; Carswell, F.E.; Ciccioli, P.; da Costa, A.L.; Culf, D.; Esteves, J.L.; Gash, J.C.; Grace, J.; Kabat, P.; Lelieveld, J.; Malhi, Y.; Manzi, A.O.; Meixner, F.X.; Nobre, A.D.; Nobre, C.; Ruivo, M.L.; Silva Dias, M.A.F.; Stefani, P.; Valentini, R.; von Jouanne, J.; Waterloo, M.J. Toward an understanding of the biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH. **Journal of Geophysical Research**, v.107, n.D20, art.n8066, 2002.

André, R.G.B.; Silva Filho, V.P.; Molion, L.C.B.; Nobre, C.A. Balanço de radiação sobre a Floresta Amazônica (estações seca e úmida). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.3, n.2, p.269-274, 1988.

André, R.G.B.; Viswanadham, Y.; Sá, L.D.A.; Manzi, A.O. **Characteristic parameters for the Amazonian Forest**. São José dos Campos: INPE, 1989. (INPE-4819-PRE/1454).

Andrieu, B.; Baret, F. Indirect methods of estimating crop structure from optical measurements. In: Varlet-Grancher, C.; Bonhomme, R.; Sinoquet, H. (eds). **Crop structure and light microclimate: characterization and applications**. Paris: Institut national de la agronomie, 1993. p.285-322.

Arya, S. P. **Introduction to micrometeorology**. London: Academic, 1988. 307p.

Baldocchi, D.D.; Hutchinson, B.A.; Matt, D.R.; McMillen, R.T. Seasonal variation in the radiation regime within an oak-hickory forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.36, n. 4, p.343-361, Apr. 1986.

Bastable, H.G.; Shuttleworth, W.J.; Dallarosa, R.L.G.; Fisch, G.; Nobre, C.A. Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian forest. **International Journal Climatology**, v.13, n.7, p. 783-796, Nov. 1993.

Betts, A.K. ; Ball, J.H. Albedo over forest. **Journal of Geophysical Research**. v.102, n. D24, p.901-908, Dec. 1997.

Bolzan, M.J.A.; Ramos, S.N.; Sá, L.D.A.; Rosa, R.R.; Rodrigues Neto, C. Analises of developed turbulence above and below amazonian forest canopy using TSALLI'S generalized thermostatisics. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v.107, n.D20, art.n8063, Sept./Oct., 2002.

Brunt, D. Notes on radiation in the atmosphere. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 58, n. 245, p.389-420, 1932.

Brutsaert, W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. **Water Resources Research**, v.11, n.10, p.742-744, 1975.

Calvet, J.C. ; Viswanadham, Y. Amazon Forest radiation budget from satellite data. **Journal of Applied Meteorology**, v. 32, n.5, p. 844-847, May 1993.

Campbell, G.S.; Norman, J.M. **Introduction to environmental biophysics**: New york: Library of Congress Cataloging in Publication Data, 1998. 286p.

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 AMC/LBA-1999. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, Rio de Janeiro, 2000. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000. p. 98.

Correia, F.W.S. **Estudo do balanço de radiação em área de policultivo na Amazônia**. 137p. (INPE-8176-TDI/758). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

Culf, A.D.; Esteves, J.L.; Marques Filho, A.O.; Rocha, H.R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (eds). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. Cap. 10, p. 175-191.

Culf, A.D.; Fisch, G.; Hodnett, M.G. The Albedo of Amazonian forest and ranch land. **Journal of Climate**, v.8, n. 6, p.1544-1554, 1995.

Dang, Q.L.; Margolis, H.A.; Sy, M.; Coyea, M.R.; Collatz, G.J.; Walthall, C.L. Profiles of photosynthetically active radiation, nitrogen and photosynthetically capacity in boreal forest: implications for scaling from leaf to canopy. **Journal of Geophysical Research**, v.102, n.D24, p.845-859, Dec. 1997.

Eck, T.F.; Deering, D.W. Canopy albedo and transmittance in spruce-hemlock forest in mid-september. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 59, n. 3/4, p.237-248, July 1992.

Feitosa, J.R.P. **Balanço de energia e evapotranspiração em áreas de pastagem e de floresta densa na Amazônia central**. 95p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1996.

Feitosa, J.R.P.; Costa, R.F.; Fisch, G.; Souza, S.S.; Nobre, C.A. Radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.6, n. 1, p. 1-7, 1998.

Ferreira da Costa, R.; Feitosa, J.R.P.; Fisch, G.; Souza, S.S.; Nobre, C.A. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e de pastagem na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 4, p.395-408, 1998.

Fisch, G. **Camada limite Amazônica**: aspectos observacionais e de modelagem. (INPE-6123-DDI/584). Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.

Fisch, G.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v.28, n.2, p.101-126, 1998.

Galvão, J.A.C. **Estudo observacional do balanço de energia em áreas de floresta e pastagem na Amazônia**. (INPE-7236-TDI/689). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

Galvão, J.A.C.; Fisch, G. Balanço de energia em áreas de floresta e de pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.15, n. 2, p.25-37, 2000.

Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. p. 1-14.

Gu, L.; Fuentes, J.D.; Garstang, M.; Tóta, J.; Heitz, R.; Sigler, J.; Shugart, H.H. Cloud modulation of surface solar irradiance at a pasture site in southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.106, n. 6, p.117-129, 2001.

Hartmann, D. L. **Global physical climatology**: London: Academic, 1994. 411p.

Honzák, M.; Lucas, R.M.; Amaral, I.; Curran, P.J.; Foody, G.M.; Amaral, S. Estimation of leaf area index and total biomass of tropical regenerating forest: comparison of methodologies. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (eds). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. Cap. 21, p. 365-381.

Idso, S.B.; Baker, D.G.; Gates, D.M. The energy environment of plants. **Advances in Agronomy**, v. 18, p. 171-218, 1966.

Idso, S.B.; Jackson, R.D. Thermal radiation from the atmosphere. **Journal of Geophysical Research**, v.74, n.23, p.5397-5403, Oct. 1969.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Serviço de previsão do tempo do CPTEC/INPE: experimento LBA (RBLE)**. Disponível em:  
<<http://cptec.inpe.br/lba/prelba/rble2.jpg>>. Acesso em: 21 mar. 1997.

Januário, M.; Viswanadham, Y.; Senna, R.C. Radiação solar total dentro e fora de floresta tropical úmida de terra firme (Tucuruí, Pará). **Acta Amazônica**, v.22, n.3, p. 335-340, jul./set. 1992.

Knyazikhin, Y.; Meeën, G.; Panfyorov, O.; Gravenhorst, G. Small-scale study of three-dimensional distribution of photosynthetically active radiation in a forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.88, n.1/4, p.215-239, Dec. 1997.

Leitão, M.M.V.B.R. **Balço de radiação em três ecossistemas da Floresta Amazônica: campina, campinarana e mata densa**. 135p. (INPE-5587-TDI/549). Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

Manzi, A.O.; Planton, S. A simulation of Amazonian deforestation using a GCM calibrated with ABRACOS and ARME data. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (eds). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. Cap. 29, p. 505-529.

Manzi, A.O.; Viswanadham, Y.; Sá, L. D. A.; André, R. G. B. **Um estudo sobre o balanço de radiação da Floresta Amazônica**. São José dos Campos: INPE, 1986. (INPE-3956-PRE/974).

Manzi, A.O.; Moura, R.G.; Sá, L.D.A.; Alvalá, R.C.S. Measurements of solar and terrestrial radiation above and inside the Rebio-Jaru Amazonian Forest during the LBA wet season campaign. In: Conference on Hydrology, 15, Califórnia, 2000. **Proceedings...** Califórnia: 2000. p. 369-372.

Marques Filho, A.O. Modèles des transferts radiatifs à l'intérieur des couverts végétaux – les solutions analytiques. **Acta Amazônica**, v. 224, n. 4, p. 541-565, 1992.

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.

Marques Filho, A.O.; Dallarosa, R. G. Interceptação de radiação solar e distribuição espacial de área foliar em floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 3, p. 453-470, 2000.

Marques Filho, A.O.; Dallarosa, R. G. Atenuação de radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta – Reserva Jaru-RO. **Acta Amazônica**, 2001. No prelo.

McCree, K.J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.10, n. 6, p.443-453, 1972.

McWilliam, A.L.; Roberts, J.M.; Cabral, O.M.R.; Leitão, M.V.B.R.; Costa, J.P.; Maitelle, G.T.; Zamparoni, C.A.G.P. Leaf area index and above ground biomass of terra firme rain forest and adjacent clearings in Amazonia. **Journal Functional Ecology**, p. 210-217, 1993.

Monteith, J.L. **Principles of environmental physics**. London: Edward Arnold, 1973. 291p.

Myneni, R.B.; Ross, J.; Asrar, G. A review on the theory of photon transport in leaf canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.45, n. 1-2, p.1-153, 1989.

Nieuwolt, S. **Tropical climatology**. Chichester: John Wiley, 1977. 207 p.

Ni, W.; Li, X.; Woodcock, C. E. Transmission of solar radiation in boreal conifer forests: Measurements and models. **Journal of Geophysical Research**. v.102, n.D24, p.555-566, Dec. 1997.

Nobre, C.A.; Gash, J.H.K.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. Conclusões do projeto ABRACOS. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (eds.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. p. 586-595.

Oguntoyinbo, J.S. Reflection coefficients of natural vegetation, crops and urban surface in Nigeria. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.96, n. 409, p.430-441,1970.

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, Oct. 1998.

Pinker, R.T; Thompson, O.E.; Eck, T.F. The albedo of a tropical evergreen forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.106, n.449, p.551-558, July 1980.

Ribeiro, J.B.M. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia**. 67p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

Roberts, J.M.; Cabral, O.M.R.; Costa, J.P.; McWilliam, A.L.C.; Sá T.D.A. An overview of the leaf area index and physiological measurements during ABRACOS. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (eds.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. Cap. 16, p. 287-306.

Ross, J. **Radiation regime and architecture of plant stands**. Boston: Kluwer, 1981. 391p.

Sá, L.D.A.; Alvalá, R.C.S.; Arai, E.; Arlino, P.R.A.; Barbosa, A.C.; Bolzan, M.J.A.; Bonfim Jr, A.; Castro Jr, W.E.; Silva Dias, M.F.A.; Prasad, G.S.S.D.; Gielow, R.; Lola da Costa, A.C.; Manzi, A.O.; Martins Nogueira, J.L.; Melo, J.; Moura, R.G.; Rosa, L.E.; Rossato, L.; von Randow, C. General aspects of the Rebio-Jaru Amazon Forest micrometeorological tower LBA Wet Season Campaign with some of its preliminary results. In: Conference on Hydrology, 15, 2000, Califórnia. **Anais...** Califórnia: 2000. p. 369-372.

Satterlund, D.R. An improved equation for estimating long-wave radiation from the atmosphere. **Water Resources Research**, v.15, n.6, p.1649-1650, 1979.

Schmetz, P.; Schmetz, J.; Raschke, E. Estimation of daytime downward longwave radiation at the surface from satellite and grid point data. **Theoretical and Applied Climatology**, v.37, n. 3, p.136-149, 1986.



Shuttleworth, W.J.; Gash, J.H.C.; Lloyd, C.R.; Moore, C.J.; Roberts, J.M.; 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**, v.110, n. 466, p.1163-1169, Oct. 1984b.

Shuttleworth, W.J. Micrometeorology of temperate and tropical forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London series B-Biological Sciences**, v. 324, n. 1223, p. 299-334, Aug. 1989.

Silva Dias, M.A.F.; Rutledge, S.; Kabat, P.; Silva Dias, P.L.; Nobre, C.; Fisch, G.; Dolman, A.J.; Zipser, E.; Garstang, M.; Manzi, A.O.; Fuentes, J.D.; Rocha, H.; Marengo, J.; Plana-Fattori, A.; Sá, L.D.A.; Alvalá, R.C.S.; Andreae, M.O.; Artaxo, P.; Gielow, R.; Gatti, L. Clouds and rain processes in a biosphere interaction context in the Amazon Region. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v.107, n.D20, art.n8072, Sept./Oct. 2002.

Swinbank, W.C. Longwave radiation from clear skies. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 466, n.89, p. 339-348, 1963.

Viswanadham, Y.; André, R.G.B.; Sá, L.D.A.; Manzi, A.O.; Silva Filho, V.P. Componentes do balanço de radiação acima da copa da Floresta Amazônica. In: Congresso Interamericano de Meteorologia, 2., Buenos Aires, 1987. **Anais...** Buenos Aires: 1987.

Viswanadham, Y.; Molion, L.C.B.; Manzi, A.O.; Sá, L.D.A.; Silva Filho, V.P.; André, R.G.B.; Nogueira, J.L.M.; Santos, R.C. Micrometeorological measurements in Amazon forest during GTE/ABLE 2A Mission. **Journal of Geophysical Research**, v.95, n.D9, p.13669-13682, Aug. 1990.

von Randow, C.; Sá, L.D.A.; Prasad, G.S.S.D.; Manzi, A.O.; Arlino, P.R.A.; Kruijt, B. Scale variability of the atmospheric surface layer fluxes of energy and carbon over a tropical rain forest in South-West Amazonia. I. Diurnal Conditions. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v.107, n.D20, art.n8062, Sept./Oct. 2002.

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

## **PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE**

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.