

MARIA DAS GRAÇAS PIRES PEREIRA

**BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA EM UM ECOSISTEMA
DE FLORESTA TROPICAL NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2001

MARIA DAS GRAÇAS PIRES PEREIRA

**BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA EM UM ECOSISTEMA
DE FLORESTA TROPICAL NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 16 de março de 2001.

Prof. Aristides Ribeiro
(Conselheiro)

Prof. Yadvinder Malhi
(Conselheiro)

Prof. Antônio Carlos Lôla da Costa

Prof. Sérgio Zolnier

Prof. José Maria Nogueira da Costa
(Orientador)

“Inúmeras são as coisas que no colossal maquinismo do universo concorrem para ter influência na vida do ser humano; nada existe, porém, a que o ser humano mesmo não tenha inicialmente dado a causa.”

ABDRUSCHIN

“Na luz da Verdade”

(Destino)

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro.

Ao professor José Maria Nogueira da Costa, pela eficiente orientação e pelo apoio no decorrer deste trabalho.

Os dados foram coletados durante o Projeto ABRACOS, tendo sido fornecidos pela University of Edinburgh, Escócia, e pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil.

Ao Antonio Donato Nobre, pela amizade.

Ao meu amigo Yadvinder Malhi, pelas sugestões.

Aos professores do curso de Meteorologia Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos no decorrer do curso.

Aos meus queridos pais, irmãos e sobrinhos, pelo estímulo e apoio.

Aos meus colegas do curso, Ana Elisa, Alexandra, Marcos Santana, Tarcísio, Jairo e Adriana Confalone, pelo companheirismo, em especial ao meu amigo Joaquim Branco, pelo constante apoio e pela amizade.

A Deus, o maior de todos, pois sem ele eu não estaria aqui para agradecer.

BIOGRAFIA

MARIA DAS GRAÇAS PIRES PEREIRA, filha de Jaime Pimentel Pereira e Maria das Graças Pires Pereira, nasceu em 2 de janeiro de 1964, em Belém, Estado do Pará.

Em março de 1994, concluiu o curso de Bacharel em Meteorologia, pela Universidade Federal do Pará (UFPA).

De março de 1995 a fevereiro de 1997, trabalhou no INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) como bolsista RHAE.

Em março de 1997, iniciou o Programa de Pós-Graduação em nível de Mestrado em Meteorologia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

No dia 16 de março de 2001, submeteu-se à defesa de tese, requisito indispensável para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

ÍNDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Estudos sobre balanço de radiação e de energia em ecossistemas florestais	3
2.2. Determinação do albedo em florestas.....	4
2.3. Determinação da razão de Bowen em florestas.....	5
2.4. Técnicas de medições dos fluxos de energia	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1. Descrição da área experimental.....	10
3.2. Medições micrometeorológicas	11
3.2.1. Sistema de aquisição de dados	11
3.2.2. Instrumentos	13
3.2.3. Descrição dos instrumentos.....	13
3.2.3.1. Analisador de gás infravermelho (IRGA).....	13
3.2.3.2. Anemômetro sônico.....	14
3.2.3.3. <i>Software</i> EdiSol.....	16
3.2.4. Cálculo dos fluxos	16
3.2.4.1. Método de correlação de vórtices turbulentos	17

3.2.4.2. Equação do balanço de energia	18
3.2.4.3. Equação da partição de energia (β).....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. Características climáticas de Manaus-AM	20
4.2. Variação temporal dos componentes do balanço de radiação	22
4.2.1. Balanço de radiação em base horária	23
4.2.2. Balanço de radiação em base diária	30
4.3. Relação entre o saldo de radiação e a irradiância solar global.....	33
4.4. Albedo	35
4.5. Componentes do balanço de energia	37
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

RESUMO

PEREIRA, Maria das Graças Pires, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2001. **Balço de radiação e de energia em um ecossistema de floresta tropical na Amazônia Central**. Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Conselheiros: Aristides Ribeiro e Yadvinder Malhi.

Medições dos componentes do balanço de radiação e do balanço de energia foram realizadas acima da copa de árvores da floresta amazônica, na Reserva Biológica de Cueiras (2°35'22" S, 60°06'55" W e 90 m de altitude), em Manaus-AM, durante o período de setembro de 1995 a agosto de 1996. Esses dados foram utilizados nas análises das variações diárias e sazonais desses fluxos, além das análises sobre a partição de energia disponível em fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente durante o período experimental. A variação das magnitudes dos componentes do balanço da radiação e de energia, em bases diária e sazonal nas estações seca e chuvosa, foi bem caracterizada. A energia utilizada no processo de evapotranspiração foi, em média, mais do que o dobro da energia consumida sob a forma de calor sensível. Os coeficientes das equações de regressão linear entre o saldo de radiação e a irradiância solar global, em bases horária e diária, apresentaram valores bem característicos para os meses das estações seca e chuvosa. A razão de Bowen, baseada em valores médios horários das 9 às 15 horas, variou de 0,37 em outubro a 0,56 em novembro, com valor médio de 0,46 para todo o período experimental.

ABSTRACT

PEREIRA, Maria das Graças, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2001. **Radiation and energy balance in a tropical forest ecosystem at Central Amazônia.** Adviser: José Maria Nogueira da Costa. Committee members: Aristides Ribeiro and Yadvinder Malhi.

Measurements of radiation and energy balance components were made above forest trees in Amazônia, at Reserva Biológica de Cueiras (2°35'22" S; 60°06'55" W and 90 m above mean sea level), in Manaus-AM, during the period of September, 1995 to August, 1996. The data were used for the analysis of daily and seasonal variations of sensible and latent heat fluxes, and the analysis of the partition of available energy between these fluxes during the experimental period. The variation of the radiation and energy balance components, on a daily and seasonal basis, for the dry and wet seasons was well established. The energy used in the evapotranspiration process was in average, more than twice the energy used as sensible heat. The coefficients of the linear regression equations between net radiation and global solar radiation, on hourly and daily basis, showed typical values for dry and wet seasons. Bowen ratio, based on mean hourly values, from 9:00 to 15:00 h, ranged from 0.37, in October, to 0.56, in November, with a mean value of 0.46 for the whole experimental period.

1. INTRODUÇÃO

Medições dos componentes do balanço de radiação e dos fluxos de vapor d'água e de calor sensível em um ecossistema de floresta tropical, na Amazônia Central, são essenciais para se entender a influência desse ecossistema nos ciclos de água regional e global. Esses dados também são necessários aos estudos de modelagem sobre as respostas da floresta às variações das condições ambientais.

Apesar dos vários trabalhos experimentais já realizados na Amazônia, enfatizando o balanço de radiação em áreas de floresta e de pastagem, pouca informação encontra-se disponível sobre o balanço de energia nesse ecossistema. A quantificação do balanço de radiação e de energia é de grande interesse para agrônomos, meteorologistas, ecologistas, hidrólogos e engenheiros florestais, entre outros.

As possíveis conseqüências do desmatamento em relação aos balanços de água e energia foram ilustradas por SALATI e VOSE (1984), os quais mostraram, com base em uma quantidade limitada de dados, que aproximadamente 55% da precipitação na Bacia Amazônica retorna à atmosfera por evapotranspiração. Medições mais confiáveis dos fluxos de vapor d'água e de calor sensível acima da floresta são, portanto, necessárias para melhor caracterização das interações entre a floresta e a atmosfera.

O desenvolvimento de sensores de resposta rápida e sistema de aquisição de dados, desde o trabalho de SWINBANK (1951) com correlação de vórtices turbulentos, contribuiu para maior utilização dessa técnica em medições de fluxos de *momentum*, calor sensível, vapor d'água e CO₂ entre a floresta e a atmosfera (FAN et al., 1990; HOLLINGER et al., 1994; GRACE et al., 1995; MALHI et al., 1998).

A análise das variações diurnas e sazonais dos componentes do balanço de radiação e dos fluxos de calor sensível e de calor latente em diferentes condições ambientais poderá contribuir para ampliar o conhecimento da dinâmica da água na região Amazônica e, conseqüentemente, para melhor entendimento do funcionamento básico das florestas tropicais, auxiliando no seu manejo e na sua conservação.

1.1. Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram:

- Analisar as variações diárias e sazonais dos componentes do balanço de radiação e de energia em um sítio experimental da floresta amazônica.
- Estabelecer relações entre o saldo de radiação e a irradiância solar global, em bases horária e diária.
- Quantificar as variações da partição de energia solar na floresta em função da razão de Bowen.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Estudos sobre balanço de radiação e de energia em ecossistemas florestais

Durante o projeto ABRACOS (Estudo Anglo-Brasileiro de Observações do Clima da Amazônia) a radiação solar incidente refletida e o saldo de radiação foram medidos sobre áreas de pastagens e de florestas. De acordo com RESCHKE (1997), cerca de 73% do saldo de radiação sobre a floresta amazônica é gasto na evaporação e na transpiração das árvores e 27% são utilizados em outros processos, sendo cerca de 1% utilizado na fotossíntese e 26% no aquecimento do ar e do solo. Segundo o autor, essas proporções variam com a ocorrência de restrição hídrica, elevando a fração destinada ao aquecimento do ar e do solo. CULF et al. (1996) apresentaram resultados de médias mensais do saldo de radiação, radiação solar incidente, radiação solar refletida e balanço de radiação de ondas longas nos sítios experimentais de floresta e de pastagem em Manaus, Marabá e Ji-Paraná. Segundo esses autores, o saldo de radiação foi em média 11% menor nas áreas de pastagens, em relação às áreas de florestas. Os autores atribuíram essas diferenças às diferenças no albedo e no balanço de radiação de ondas longas. O saldo de radiação na floresta variou entre 9,7 e 13,3 MJ.m².d¹ e foi fortemente correlacionado com a radiação solar global. O saldo de radiação foi geralmente menor na pastagem do que na floresta,

alcançando valores de 7,4 a 11,3 MJ.m⁻².d⁻¹. A diferença na radiação solar global entre os sítios de pastagem e os de florestas foi em média desprezível, correspondendo, no máximo, a cerca de 3,3% dos valores medidos.

FEITOSA et al. (1997), com base em três anos de dados do projeto ABRACOS, estudaram o comportamento médio da radiação solar global em Rondônia, encontrando valores médios ao longo do dia de 18,3 MJ.m⁻².d⁻¹ para a estação seca e de 17,1 MJ.m⁻².d⁻¹ para a estação chuvosa. Ao analisarem as variações diárias do balanço de radiação solar sobre a floresta, ANDRE et al. (1988) verificaram que não ocorreram mudanças significativas nos componentes do balanço de radiação durante as estações seca e chuvosa. WRIGHT et al. (1992) destacam a importância da temperatura da superfície e da nebulosidade na variação média diária do balanço de radiação de onda longa.

Em experimento realizado numa área de cerrado na Reserva Ecológica de Águas Emendadas, Brasília-DF, a relação entre a radiação solar global e o saldo de radiação foi aproximadamente linear, sendo a inclinação ligeiramente superior na estação seca, em comparação com a estação úmida. Em termos gerais, a radiação solar global foi menor na estação seca em decorrência da fumaça proveniente das queimadas (MIRANDA et al., 1997).

2.2. Determinação do albedo em florestas

Durante o primeiro experimento micrometeorológico na região Amazônica, SHUTTLEWORTH et al. (1984) constataram que o valor médio do albedo da floresta em Manaus, na Reserva Ducke, foi de 0,12. BASTABLE et al. (1993), com base em dados do projeto ABRACOS, encontraram 0,13 para o mesmo local. RIBEIRO (1994), com base em dados obtidos em áreas de florestas e de pastagens em Marabá-PA, constatou um valor médio do albedo ao meio-dia de 0,18 na pastagem e de 0,14 na floresta durante a estação seca. Na estação chuvosa, o valor médio do albedo no mesmo horário foi de 0,174 na pastagem e de 0,134 na floresta. BASTABLE et al. (1993), utilizando dados obtidos em

áreas próximas a Manaus-AM, encontraram valores médios de 0,128 para o mesmo horário. De acordo com CULF et al. (1996), o albedo médio da Floresta Nacional da Companhia Vale do Rio Doce-PA foi de 0,134, enquanto o albedo médio na pastagem foi de 0,18. O albedo da floresta mostrou variação sazonal bem definida, correlacionada com as condições de umidade do solo. De qualquer modo, WRIGHT et al. (1996) observaram que o ciclo anual do albedo na Amazônia parece estar relacionado com a oscilação da umidade do solo em áreas de floresta e na variação na área foliar da pastagem. Contudo, o ângulo solar relacionado com a mudança diurna é a mais importante fonte de variação temporal no albedo da região.

OLIVEIRA et al. (2000) realizaram medições do albedo na Reserva Florestal de Caxiuanã-PA. Valores médios de 0,8 e 0,14 foram encontrados para o mês de abril (mais chuvoso) e outubro (menos chuvoso), respectivamente. Essa situação, segundo os autores, deve-se às constantes chuvas que ocorrem na região, as quais mantêm a superfície da copa das árvores parcialmente molhadas, favorecendo uma diminuição nos valores do albedo.

O Quadro 1 apresenta valores de albedo obtidos em vários sítios experimentais de pastagem e de floresta na região Amazônica. FISCH et al. (1994) mostraram que o albedo da pastagem tem seu valor alterado quando a pastagem é queimada. Antes do fogo, esses autores observaram que o albedo médio diário foi de 0,190. Em média, segundo CULF et al. (1995), a pastagem reflete 0,18 da radiação solar, enquanto a floresta reflete somente 0,13.

2.3. Determinação da razão de Bowen em florestas

A razão de Bowen é definida como o quociente entre o fluxo vertical de calor sensível e o fluxo vertical de calor latente. É o parâmetro comumente utilizado para caracterizar a maneira pela qual é feita a partição de energia disponível para o transporte turbulento entre cada um dos fluxos mencionados.

Quadro 1 - Valores do albedo obtidos em sítios experimentais de floresta e de pastagem, na região Amazônica

Autor	Valores	Ecossistema	Local
SHUTTLEWORTH (1984)	0,12	Floresta	Reserva Ducke
BASTABLE et al. (1993)	0,13	Floresta	Reserva Ducke
BASTABLE et al. (1993)	0,19	Pastagem	Vale do Rio Doce
MANZI (1993)	0,12	Floresta	Manaus
FISCH et al. (1994)	0,19	Pastagem	Oeste Pará
FISCH et al (1994)	0,08	Pastagem	Manaus
CULF et al. (1995)	0,134	Floresta	Manaus
CULF et al. (1995)	0,18	Pastagem	Ji-Paraná
CULF et al (1996)	0,134	Floresta	Vale do Rio Doce
RESCHKE (1997)	0,26	Floresta	Ji-Paraná
GIAMBELLUCA et al. (1997)	0,176	Floresta	Igarapé-Açu
OLIVEIRA et al. (2000)	0,14	Floresta	Caxiuanã-PA

O Quadro 2 ilustra os valores obtidos para a razão de Bowen em diferentes ecossistemas. De acordo com RESCHKE (1997), para o período diurno, a razão de Bowen em florestas e, ou, pastagens em Rondônia-RO variou de 0,26 a 0,21 entre as estações seca e chuvosa, respectivamente. Valores semelhantes, considerando também o período diurno, foram encontrados por SÁ et al. (1988) na Reserva Florestal Ducke, em Manaus-AM.

Os valores máximos da razão de Bowen encontrados por SÁ et al. (1986), em florestas na Reserva Ducke, em Manaus-AM, ocorreram antes do meio-dia e não ultrapassaram 1,0. MIRANDA et al. (1997), em estudos realizados em área de cerrado na Reserva Ecológica de Águas Emendadas, Brasília-DF, utilizando a técnica de correlação de vórtices turbulentos, verificaram diferenças na razão de Bowen entre as estações seca e chuvosa. Na estação chuvosa, os fluxos de calor sensível e calor latente foram

Quadro 2 - Valores obtidos para a razão de Bowen em sítios experimentais de floresta e de pastagem, na Região Amazônica

Autor	Valores	Ecossistema	Local
MOLION (1987)	0,3	Floresta	Manaus -AM
SÁ et al. (1988)	0,85	Floresta	Manaus -AM
MANZI e PLATON (1996)	0,17	Floresta	Manaus -AM
MANZI e PLATON (1996)	0,26	Pastagem	Manaus -AM
RESCHKE (1997)	0,26	Floresta	Rondônia -RO

aproximadamente iguais e variaram linearmente com a radiação solar, enquanto na estação seca o fluxo de calor latente foi linear com a radiação solar somente para a radiação solar global até 200W.m^{-2} .

Segundo MANZI e PLANTON (1966), a razão de Bowen apresentou valores de 0,17 para a floresta na Reserva Ducke e 0,26 para a pastagem na Fazenda Dimona, ambas em Manaus. Resultados semelhantes foram encontrados no projeto ABRACOS por DIAS e REGNIER (1996), utilizando dados horários e diários coletados no mês de julho de 1993. Esses autores mostraram que a razão de Bowen na floresta em Rondônia foi ligeiramente menor do que na pastagem.

De acordo com PEREIRA et al. (1997), o valor da razão de Bowen depende fundamentalmente das condições hídricas da superfície evaporante. Se a superfície estiver umedecida, maior parte do saldo de radiação será utilizada como calor latente, resultando em um pequeno valor para a razão de Bowen. Se a superfície estiver seca, a maior parte do saldo de radiação será utilizada no aquecimento do ar, resultando em valores maiores para a razão de Bowen.

2.4. Técnicas de medições dos fluxos de energia

O sistema de covariância de vórtices turbulentos descrito por MONCRIEFF et al. (1997) tem sido testado em vários trabalhos experimentais na Amazônia. Esse sistema foi desenvolvido em laboratórios europeus, com o propósito de fazer medições da covariância de fluxos e realizar medidas contínuas desses fluxos, com as seguintes características para um bom desempenho: *design* que minimiza os distúrbios dos fluxos; baixo consumo de energia, permitindo assim o uso de painéis solares, eliminando-se a necessidade de um gerador elétrico movido a combustível; capacidade de armazenar dados brutos para obter informações adicionais sobre os fluxos turbulentos; e, finalmente, padronização do processamento dos dados produzidos, que foi amplamente usada no projeto HAPEX-Sahel.

O sistema em questão consta de um analisador de gás infravermelho (IRGA), um anemômetro sônico tridimensional e o *software* EdiSol, permitindo dessa forma o cálculo em tempo real dos fluxos de *momentum*, calor sensível e calor latente. Os fluxos são obtidos a partir de covariâncias calculadas em período médio estabelecido. A Figura 1 ilustra os principais componentes de instrumentação.

Segundo MONCRIEFF et al. (1997), as técnicas micrometeorológicas de correlações de vórtices turbulentos, associadas à técnica da razão de Bowen, são utilizadas também para determinar os fluxos de calor sensível, calor latente e gás carbônico. Todavia, o método de correlação de vórtices turbulentos é uma técnica bem estabelecida, que tem como vantagem principal a medição de fluxos difusivos turbulentos diretamente sobre superfície plana. Os fluxos de calor sensível e latente são computados como covariâncias das flutuações da velocidade do vento vertical e das flutuações de temperatura e densidade de vapor num instante e no mesmo ponto.

O desenvolvimento da instrumentação usado na técnica de covariância dos vórtices turbulentos tem sido documentado em vários trabalhos, como os de



Figura 1 - Ilustração dos principais componentes do sistema de covariância de vórtices turbulentos - EdiSol.

SHUTTLEWORTH et al. (1982), SHUTTLEWORTH et al. (1988), MOORE (1983), MOORE (1986), LLOYD et al. (1984) e SHUTTLEWORTH (1988).

O princípio do método de correlação de vórtices turbulentos, de acordo com SEDIYAMA e GOMIDE (1998), é medir as contribuições de todos os movimentos turbulentos responsáveis pela transferência vertical de vapor d'água, calor sensível e *momentum*. Para possibilitar o cálculo das covariâncias médias, essa técnica requer alta frequência de amostragem dos sinais turbulentos.

Trabalhos desenvolvidos por MIRANDA et al. (1996) utilizaram a técnica de correlação de vórtices turbulentos para medidas dos fluxos de dióxido de carbono, calor sensível e latente. Segundo MONCRIEFF et al. (1996), o método de correlação transformou-se na técnica-padrão de medidas da evapotranspiração na escala do dossel das plantas, especialmente em trabalhos de pesquisa. Essa técnica proporciona medidas diretas de fluxos, consistindo em expressar a densidade de fluxo como a covariância entre flutuações na velocidade vertical e concentração de vapor, para um certo período de tempo. Ela requer sensores com um tempo de resposta da ordem de uma fração de segundos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área experimental

A área experimental utilizada neste trabalho está localizada na Reserva Biológica de Cuieiras (2°35'22"S, 60°06'55"W e altitude de 90 m). Essa reserva florestal pertence ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), fazendo parte de uma área muito extensa, de terra firme baixa, de floresta tropical densa. Nessa reserva florestal, a precipitação média anual é de 2.200 mm. A altura do dossel é de 30 m, e o índice de área foliar, de 5 a 6. O solo é constituído de um Latossolo de Barro Amarelo (classificação brasileira) e tem teor de argila de 80%, solo ácido com pH de 4,3 e porosidade de 50 a 80% (CHAUVEL et al., 1991). A maior parte da porosidade se concentra em macroporos e mesoporos, sugerindo que a capacidade de água disponível é baixa, cerca de aproximadamente 70 mm m⁻¹ no nível superior do perfil (CORREA, 1984). Esse tipo de solo pobre em nutrientes é muito típico de terras baixas na Amazônia (SANCHEZ, 1989).

O clima da Amazônia Central é caracterizado pela pequena variabilidade de temperatura do ar. A temperatura máxima diária de Manaus varia entre 31 e 33°C, e a temperatura mínima diária, entre 23 e 24°C. Verifica-se variação significativa da precipitação ao longo do ano, a qual pode ser atribuída a vários

fatores, que se correlacionam com o comportamento das chuvas na região, como a disponibilidade de energia solar, o movimento da Zona de Convergência Inter-Tropical, a Zona de Convergência do Atlântico Sul e a topografia. A precipitação média em agosto é de apenas 50 mm, enquanto em março ela alcança 330 mm (RIBEIRO et al., 1996). A estação tipicamente seca está compreendida entre a metade de junho e a metade de outubro, mas pode ser muito variável em duração e intensidade (HODNETT et al, 1996).

3.2. Medições micrometeorológicas

3.2.1. Sistema de aquisição de dados

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos durante a execução do projeto ABRACOS, tendo sido cedidos pela University of Edinburgh e pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Foram utilizados dados horários das seguintes variáveis meteorológicas coletadas em uma estação meteorológica automática (Didcot Instruments, Didcot, UK), instalada no topo da torre: irradiância solar global, saldo de radiação, temperatura do bulbo seco e úmido, precipitação, direção e velocidade do vento. As medições foram feitas durante o período de setembro de 1995 a agosto de 1996, compreendendo 365 dias, incluindo as estações secas, nos meses de setembro a dezembro de 1995 e janeiro, julho e agosto de 1996, e as estações chuvosas, nos meses de fevereiro a junho de 1996.

Na análise dos resultados de fluxos de calor sensível e calor latente foram utilizados os dados meteorológicos correspondentes ao mesmo período de disponibilidade dos dados de fluxos, enquanto na análise dos componentes do balanço de radiação foram usados todos os 365 dias de dados disponíveis.

O Quadro 3 ilustra as datas dos dados diários de fluxos analisados na área experimental, excetuando os meses de setembro e maio, que apresentaram

Quadro 3 - Dados diários analisados (*) de calor sensível (H) e vapor d'água (E) no período de outubro de 1995 a agosto de 1996

Dia	Out./95	Nov./95	Dez./95	Jan./96	Fev./96	Mar./96	Abr./96	Jun./96	Jul./96	Ago./96
01		*		*					*	*
02		*		*					*	*
03		*	*	*					*	
04		*	*	*				*	*	*
05		*	*	*				*	*	*
06		*	*	*				*	*	*
07		*	*	*				*	*	*
08			*	*				*	*	*
09		*	*	*				*	*	*
10		*		*	*	*		*	*	*
11		*	*	*	*			*	*	*
12			*	*	*			*	*	*
13		*	*	*	*			*	*	
14		*	*	*	*	*	*	*		*
15		*	*	*	*	*	*	*	*	
16		*	*	*	*				*	
17		*	*	*	*				*	
18		*	*		*				*	
19		*	*		*			*	*	
20	*	*	*	*	*			*	*	
21	*	*	*	*	*		*	*	*	
22	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
23	*	*	*		*			*	*	
24	*	*	*		*			*		
25	*		*		*			*	*	
26	*	*	*					*	*	
27	*	*	*					*	*	
28	*		*			*		*	*	
29			*					*		
30	*	*	*			*		*	*	
31			*	*					*	

muitas falhas nos dados de vapor d'água e calor sensível, em razão de problemas no sistema de aquisição de dados (devido a raios).

3.2.2. Instrumentos

O sistema EdiSol foi montado a 5 m sobre a torre (altura total de 46,5 m), a barlavento da torre, para minimizar o fluxo desta quando o vento sopra a leste. A torre fica situada numa superfície plana (90 m acima do nível médio do mar) e cortada por rios. A instrumentação monitora o fluxo de vapor d'água sobre uma determinada área de influência, onde o fluxo relativo à torre fica na direção entre 220° e 310°, embora os efeitos da extremidade desse fluxo possam estar ligeiramente fora dessa faixa. Segundo MALHI et al. (1998), em 11% do dia e 18% da noite os ventos vêm dessa direção da torre.

Esse sistema EdiSol, descrito por MONCRIEFF et al. (1997), consta de um analisador de gás infravermelho (IRGA) e de um anemômetro sônico tridimensional. O sistema é controlado por um *software* que calcula os fluxos de momento, calor sensível e calor latente, apresentando os resultados em tempo real. Os fluxos foram obtidos a partir do cálculo da covariância para períodos de 10 minutos. Foram realizadas coletas sistemáticas e contínuas dos dados de concentração de vapor d'água, temperatura do ar e componentes vetoriais da velocidade do vento.

3.2.3. Descrição dos instrumentos

3.2.3.1. Analisador de gás infravermelho (IRGA)

O analisador de gás infravermelho (IRGA) (Figura 2) usado foi o modelo LI-COR 6262 LI-COR, Lincoln, Nebraska, que mede as concentrações de CO₂ e H₂O do ar com um tempo de resposta de 0,1 s. As medidas do dióxido de



Figura 2 - Analisador de gás infravermelho - IRGA (LI-COR 6262).

carbono e vapor d'água são baseadas na atenuação da radiação infravermelha (IR) pela passagem do ar sobre células detectoras de radiação.

Os fluxos de *momentum*, calor sensível e calor latente foram calculados em tempo real, a partir de dados obtidos com o anemômetro sônico e o IRGA, além de outros instrumentos. Um programa computacional foi empregado para corrigir variações nas taxas dos fluxos entre calibração e variações atuais. No IRGA, foi observado que a calibração no sinal de CO₂ é alimentada a 5 Hz, mas para o vapor de água a calibração é a 3 Hz.

As calibrações de vapor d'água foram realizadas por meio de um gerador portátil de ponto de orvalho (modelo LI-610, LI-COR, Inc., Lincoln, NE). Esse equipamento é usado para gerar um fluxo de ar úmido com ponto de orvalho conhecido.

3.2.3.2. Anemômetro sônico

A medição instantânea das três componentes do vento foi feita com um anemômetro sônico (modelo A1012R, Gill Instruments, Iymington, UK). O sensor de referência para velocidade do vento é o anemômetro sônico (Figura 3). Esse sensor é constituído de um a três pares de transdutores acústicos, que medem o tempo de trânsito das pulsações acústicas em um intervalo de percurso. Sabendo-se a velocidade do som em um ambiente estacionário, o componente da velocidade do vento ao longo desse percurso é então calculado. O pequeno tamanho e a disposição de junções simétricas dos termopares minimizam a carga de radiação e, dessa forma, não há necessidade de proteção dos sensores contra a radiação solar. O instrumento é completamente impermeável, consome 700 mW/s de força e pode operar a uma velocidade do vento de até 60 ms^{-1} . As três principais funções eletrônicas de operação do ultra-sônico são: processamento e análise dos dados brutos, armazenagem e transmissão.

O anemômetro emite um pulso ultra-sônico a cada 1 m/s. O tempo de percurso desse pulso é medido para permitir o retardo do transdutor. O anemômetro primeiramente emite um pulso em cada direção no primeiro eixo. A passagem conta por cada direção que é armazenada individualmente em sua forma bruta. Adicionalmente, um rápido método de cálculo é usado para calcular a velocidade do vento ao longo dos eixos.

3.2.3.3. *Software* EdiSol

O *software* EdiSol é um programa de computador que calcula os fluxos em tempo real de calor sensível e calor latente e fluxos de CO_2 do. O EdiSol é programado para calcular em tempo real a covariância entre a velocidade do vento vertical instantânea e o sinal de atraso, com um alcance de mais ou menos 0,5 s.

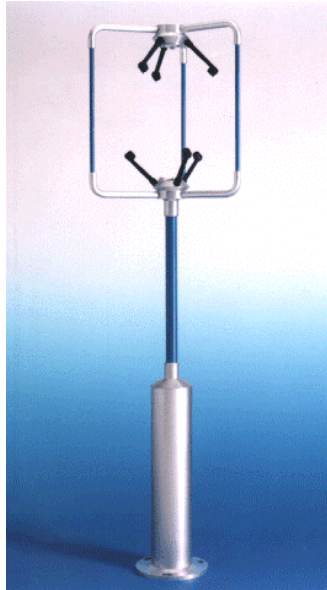


Figura 3 - Anemômetro sônico tridimensional.

Esse *software* tem uma rotação da coordenada para obter os valores reais dos componentes verticais do vento u , v e w . São realizadas correções, segundo WEBB et al. (1980), para os efeitos da densidade do ar causados pela transferência simultânea de calor e vapor d'água, embora para um sistema fechado assume-se que foram removidas flutuações da temperatura até que o ar chegue à célula de amostra dentro do IRGA. Em seguida, calculam-se as médias horárias dos fluxos em tempo real, os quais são armazenados em um computador *laptop* e, finalmente, processados.

Um abrigo impermeável foi construído para acomodar o IRGA, o PC portátil, as fontes de alimentação, os conversores de DC-para-DC e o controlador de fluxo de massa, que foram fixos firmemente e organizados de forma que tudo fique facilmente disponível. Podem ser presos em cabos principais de sinal, para impermeabilizar os conectores na base da caixa. A caixa pode ser equipada em laboratório, e toda a montagem pode ser realizada no campo.

3.2.4. Cálculo dos fluxos

Os fluxos de vapor d'água e calor sensível foram medidos usando-se o sistema EdiSol da University of Edinburgh, desenvolvido por MONCRIEFF et al. (1997). Detalhes adicionais sobre a instalação dos sensores foram apresentados por MALHI et al. (1998).

3.2.4.1. Método de correlação de vórtices turbulentos

A técnica de correlação de vórtices turbulentos, utilizada no cálculo dos fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE) na área experimental, consiste de medições instantâneas da componente vertical do vento, simultaneamente com a quantidade conservativa de interesse. É baseada na covariância da velocidade vertical do vento e da temperatura, para o fluxo de calor sensível, e velocidade vertical do vento e da umidade absoluta, para o fluxo de calor latente, para o período das médias de meia hora, conforme as equações 1 e 2, respectivamente.

$$H = \rho c_p \overline{w'T'} \quad \text{eq. 1}$$

$$LE = L_v \overline{w'q'} \quad \text{eq. 2}$$

em que

(') = desvio instantâneo em relação à média temporal;

(—) = média temporal;

H = fluxo de calor sensível [W.m⁻²];

ρ = densidade absoluta do ar [kg.m⁻³];

c_p = calor específico do ar à pressão constante [J.kg⁻¹.K⁻¹];

w' = componente vertical das flutuações de velocidade do vento [m.s⁻¹];

T' = desvio instantâneo a partir da média da temperatura do ar [° C];

q' = desvio instantâneo a partir da média da umidade específica [kg.kg⁻¹]; e

L_v = calor latente de vaporização da água [J.kg⁻¹].

O princípio do método de correlações turbulentas é medir as contribuições de todos os movimentos turbulentos responsáveis pela transferências verticais de vapor d'água, calor sensível e momento. Para isso, requer aquisição dos sinais turbulentos a uma alta frequência de amostragem, possibilitando o cálculo das covariâncias médias para o período de tempo desejado (MONCRIEFF et al., 1997).

3.2.4.2. Equação do balanço de energia

O balanço de energia representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície. Em condições atmosféricas normais, o suprimento principal de energia para a superfície é dado pela radiação solar. É um método em que são realizadas as medições automáticas do transporte turbulento.

A equação do balanço de energia, dada pela equação 3, mostra que o saldo de radiação R_n pode ser utilizado na evapotranspiração, para aquecer o ar e o solo.

$$R_n = G + H + LE + F + S \quad \text{eq. 3}$$

em que

R_n = saldo de radiação [W.m^{-2}];

G = fluxo de calor sensível do solo [W.m^{-2}];

H = fluxo de calor sensível do ar [W.m^{-2}];

L = calor latente de vaporização da água [J.kg^{-1}];

E = taxa de evapotranspiração [$\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$]; e

S = armazenagem de energia dentro do dossel [W.m^{-2}].

O fluxo de calor sensível H é o fluxo de calor necessário ao aquecimento do ar, e o fluxo de calor latente LE é o fluxo de energia consumida na mudança

de fase da água para vapor. Nessa equação, foram desprezadas a energia usada na fotossíntese e a energia armazenada no dossel.

3.2.4.3. Equação da partição de energia (β)

A partição de energia disponível na superfície foi avaliada usando-se a razão de Bowen, que consiste na relação entre os fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE). A variação diurna e sazonal da partição de energia disponível sobre a floresta será expressa pela razão de Bowen (β), conforme a equação 4.

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad \text{eq. 4}$$

em que

β = razão de Bowen;

H = fluxo de calor sensível do ar [W.m^{-2}];

E = taxa de evaporação [$\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$]; e

L = calor latente de vaporização da água [J.kg^{-1}].

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características climáticas de Manaus -AM

As características climáticas gerais de Manaus-AM, provenientes das normais climatológicas referentes ao período de 1961 a 1990, estão resumidas no Quadro 4.

Com base nas normais climatológicas de Manaus - AM, verificou-se que a variação sazonal da precipitação é bem estabelecida, com cerca de 80% da precipitação anual concentrada nos meses de novembro a maio (estação chuvosa). Março é o mês mais chuvoso, com precipitação média de 313,5 mm, enquanto agosto é o menos chuvoso, com precipitação média de apenas 57,9 mm.

A variação da precipitação durante o período experimental de setembro de 1995 a agosto de 1996 está ilustrada na Figura 4. O total da precipitação no período experimental foi cerca de 9% menor do que o valor da precipitação normal, tendo-se constatado variação espacial da precipitação entre Manaus e a Reserva de Cuieiras. O mês mais chuvoso durante o período experimental foi maio, com 429,9 mm, enquanto agosto foi o menos chuvoso, com apenas 18,9 mm. Os meses de janeiro e fevereiro, na Reserva de Cuieiras, apresentaram-se mais secos que o normal.

Quadro 4 - Normais climatológicas de Manaus-AM, segundo o INMET (1992)

Mês	Precipitação	Temp. Máx.	Temp. Min.	Temp. Média	UR	Nebulosidade	Duração de Brilho Solar
	--- (mm) ---	----- (°C) -----			--- (%) ---	-- (0-10) --	-- (h) --
Jan.	260,1	30,5	23,1	26,1	86	7,1	114,3
Fev.	288,3	30,4	23,1	26,0	87	7,1	87,7
Mar.	313,5	30,6	23,2	26,1	88	7,2	98,5
Abr.	300,1	30,7	23,3	26,3	87	7,1	111,9
Mai	256,3	30,8	23,3	26,3	87	6,6	148,6
Jun.	113,6	31,0	23,0	26,4	83	5,7	184,8
Jul.	87,5	31,3	22,7	26,5	80	5,1	214,2

Ago.	57,9	32,6	23,0	27,0	77	4,8	225,0
Set.	83,3	32,9	23,5	27,5	77	5,3	155,9
Out.	125,7	32,8	23,7	27,6	79	6,2	171,2
Nov.	183,0	32,1	23,7	27,3	81	6,6	140,9
Dez.	216,9	31,3	23,5	26,7	85	6,8	130,9
Ano	2.286,2	31,4	23,3	26,7	83	6,3	1.783,9

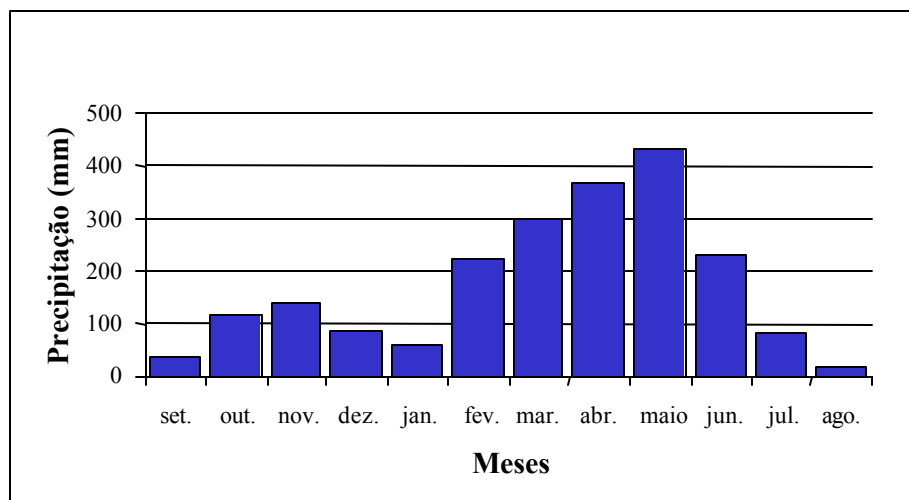


Figura 4 - Precipitação mensal na Reserva Biológica de Cueiras, durante o período de setembro de 1995 a agosto de 1996.

As maiores temperaturas máximas do ar foram observadas durante a estação menos chuvosa. A média dessas temperaturas variou de 30,4°C em fevereiro (estação chuvosa) a 32,9°C em setembro (estação menos chuvosa). A variação sazonal apresentada pela temperatura mínima do ar foi ainda menor que a observada com a temperatura máxima. A média das temperaturas mínimas variou de 22,7°C, em julho (estação menos chuvosa), a 23,7°C, em outubro e novembro (início da estação chuvosa). A temperatura média diária do ar durante o período experimental ficou abaixo dos valores normais em todos os meses do ano, variando de 1,5°C em outubro a 1,9°C em janeiro, mostrando assim que a floresta é mais fria que a cidade, pois sob a floresta o fluxo médio de calor é muito pequeno e sempre dirigido para a atmosfera, independentemente da estação.

As médias mensais de temperatura indicam, claramente, o efeito da ilha de calor, com a temperatura da área urbana persistentemente maior que a da floresta. As temperaturas mensais máxima, mínima e média da cidade foram maiores que as da floresta. O ciclo diurno das diferenças de temperatura entre cidade e floresta foi mais afetado durante a estação menos chuvosa.

A variação sazonal da umidade relativa do ar, da nebulosidade e da duração de brilho solar está relacionada com o regime de precipitação. A umidade relativa apresenta valores elevados em todos os meses do ano, variando de 77% em agosto e setembro (estação menos chuvosa) a 88% em março (mês mais chuvoso). A nebulosidade é máxima no mês de março, com o valor médio de 7,2, e atinge o mínimo de 4,8 em agosto. A maior duração de brilho solar ocorre no mês de agosto, com 225 horas desse brilho, enquanto a menor é observada no mês de março, com 98 horas.

4.2. Variação temporal dos componentes do balanço de radiação

As medições realizadas durante o período experimental possibilitaram uma caracterização do comportamento dos componentes do balanço de radiação, em bases horária e diária, sob diversas condições meteorológicas. A apresentação dos resultados em termos de médias horárias e diárias também permitiu uma caracterização da variação sazonal dos componentes do balanço de radiação. Para essa análise foram usados todos os 365 dias de dados disponíveis.

4.2.1. Balanço de radiação em base horária

A variação média horária dos vários componentes do balanço de radiação do período experimental está ilustrada nas Figuras 5 a 16.

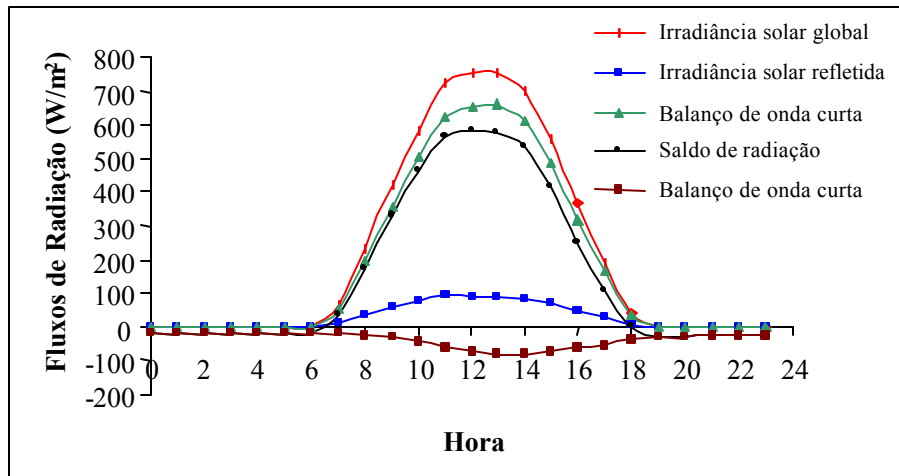


Figura 5 - Balanço de radiação médio horário em setembro, 1995.

Todos os componentes do balanço de radiação, com exceção do balanço de radiação de ondas longas, atingiram valores horários máximos durante o mês de setembro, que é representativo da estação menos chuvosa. Tomando-se como base os valores médios diurnos, entre 11 e 13 horas, a média da irradiância solar

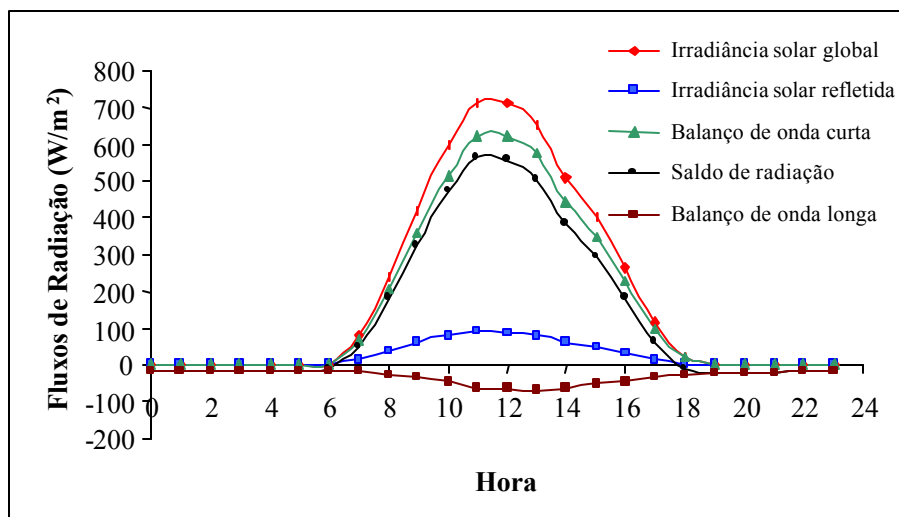


Figura 6 - Balanço de radiação médio horário em outubro de 1995.

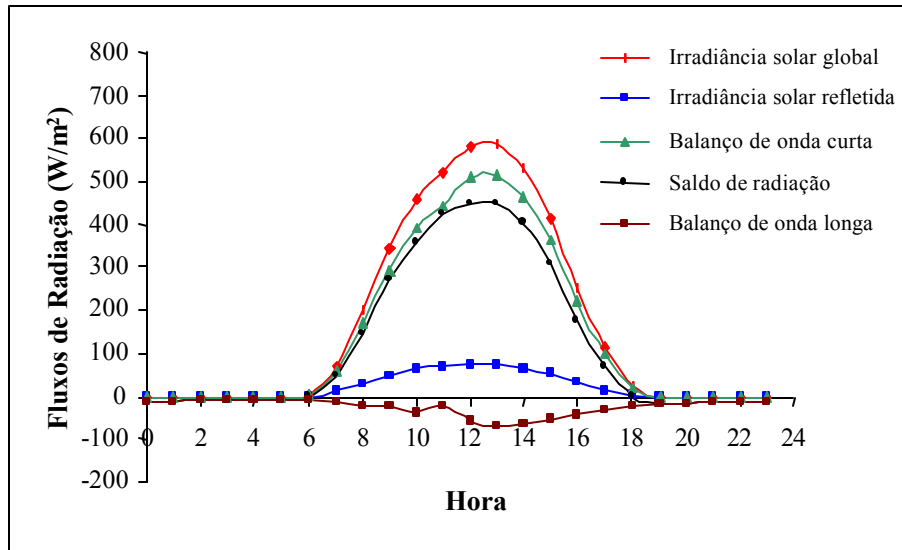


Figura 7 - Balanço de radiação médio horário em novembro de 1995.

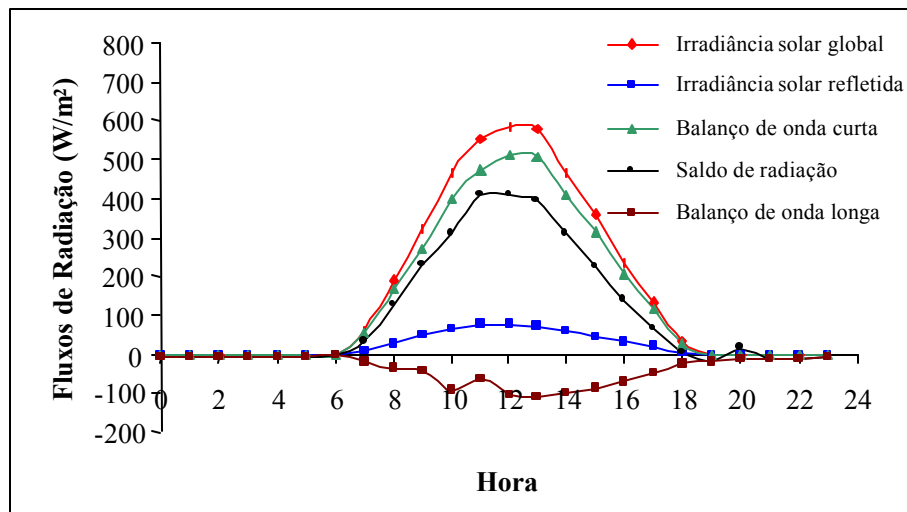


Figura 8 - Balanço de radiação médio horário em dezembro de 1995

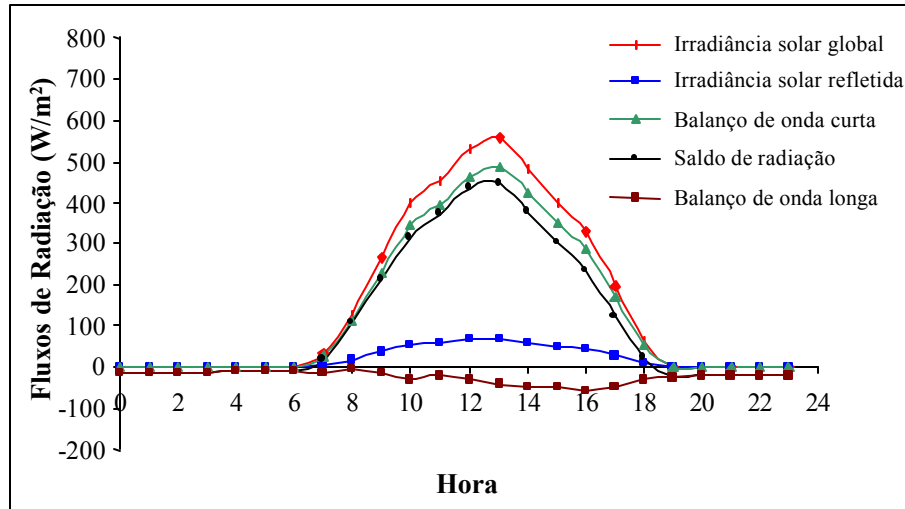


Figura 9 - Balanço de radiação médio horário em janeiro de 1996.

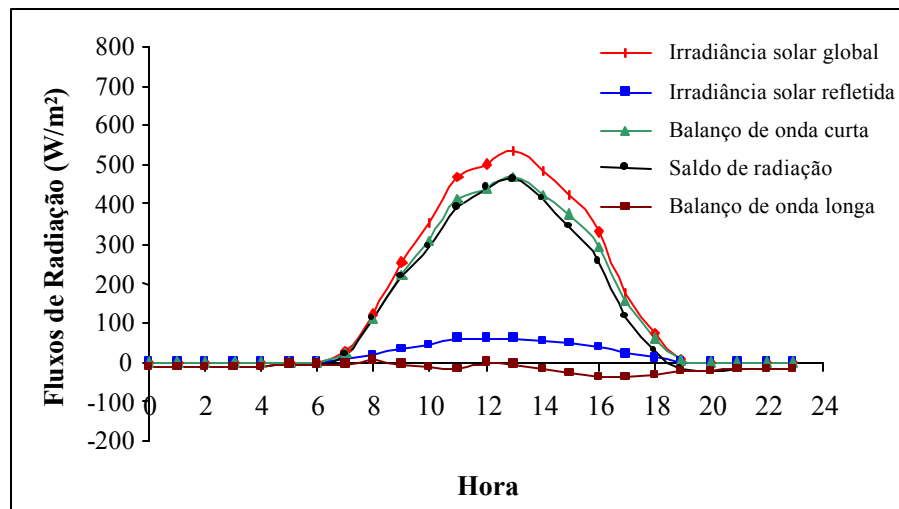


Figura 10 - Balanço de radiação médio horário em fevereiro de 1996.

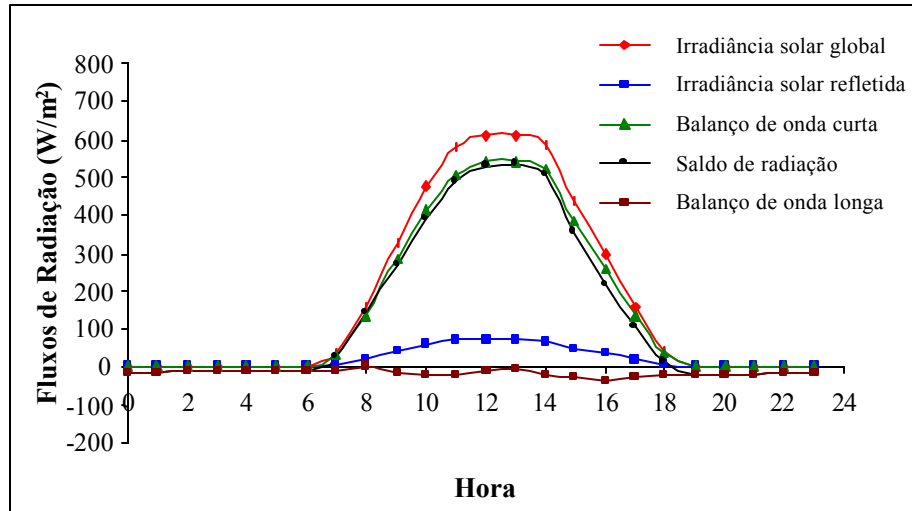


Figura 11 - Balanço de radiação médio horário em março de 1996.

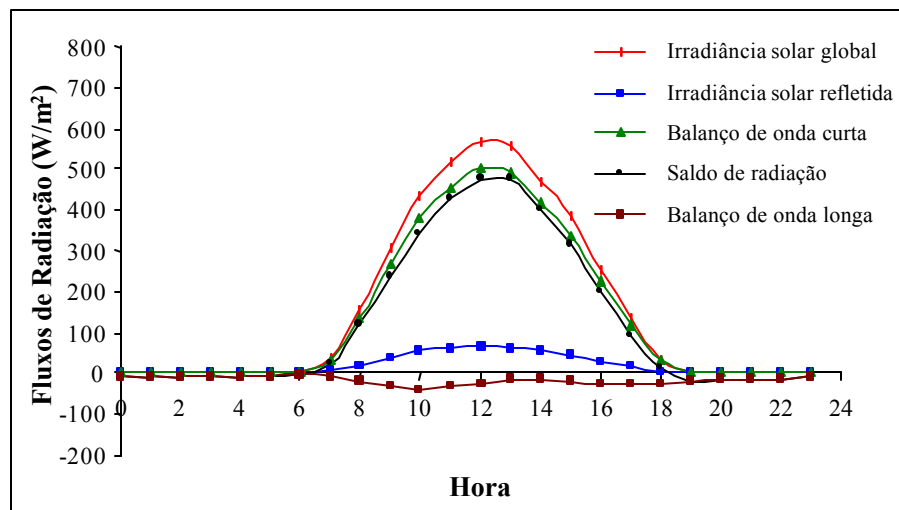


Figura 12 - Balanço de radiação médio horário em abril de 1996.

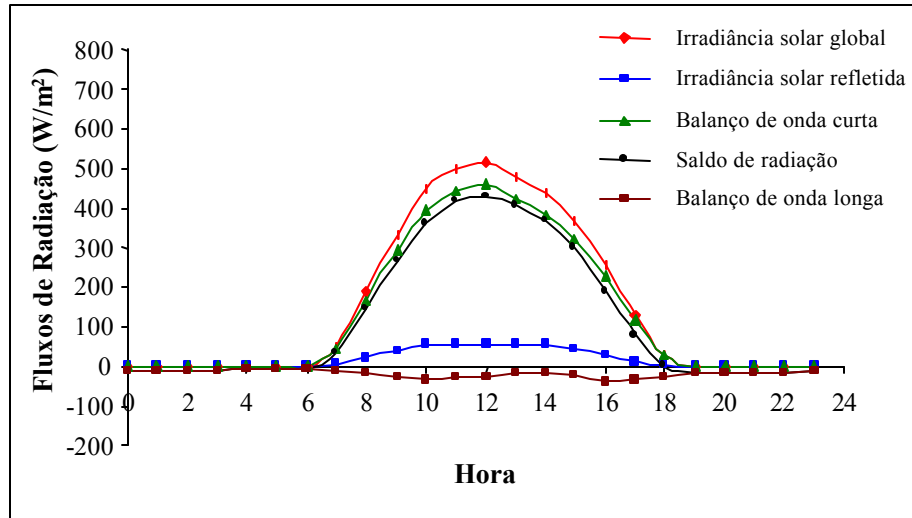


Figura 13 - Balanço de radiação médio horário em maio de 1996.

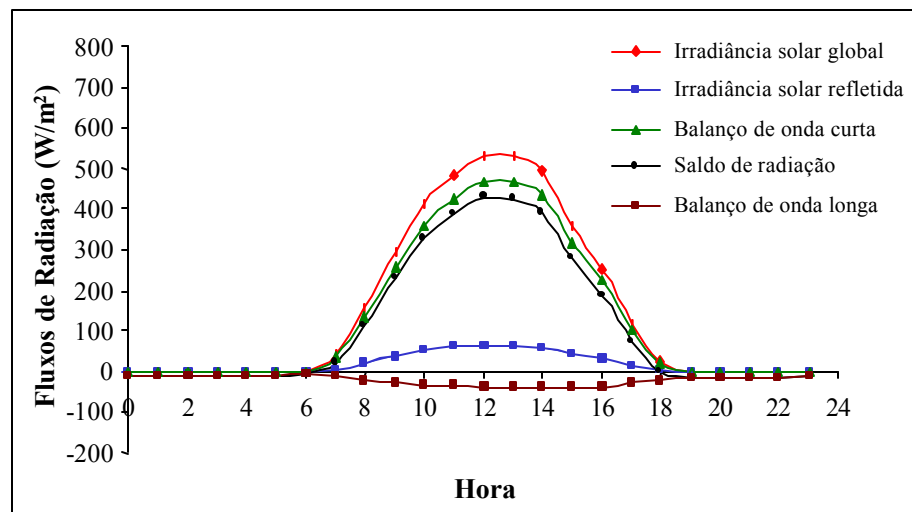


Figura 14 - Balanço de radiação médio horário em junho de 1996.

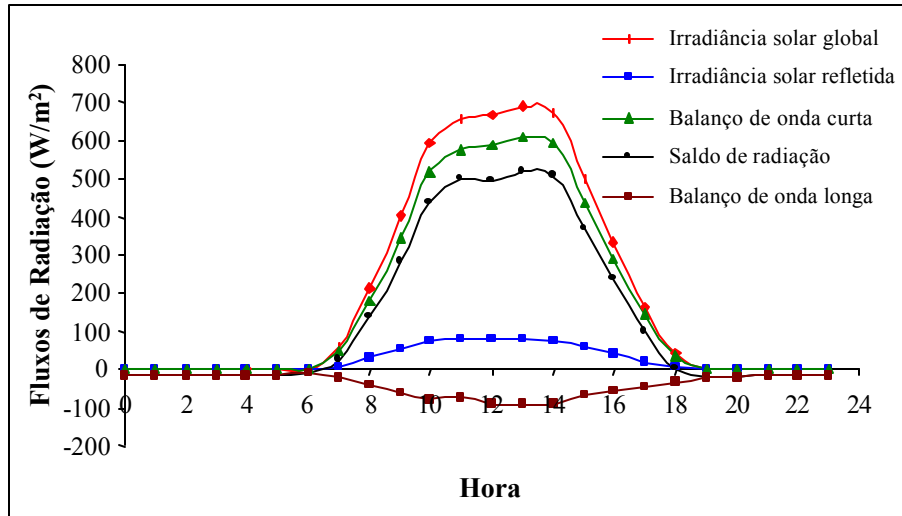


Figura 15 - Balanço de radiação médio horário em julho de 1996.

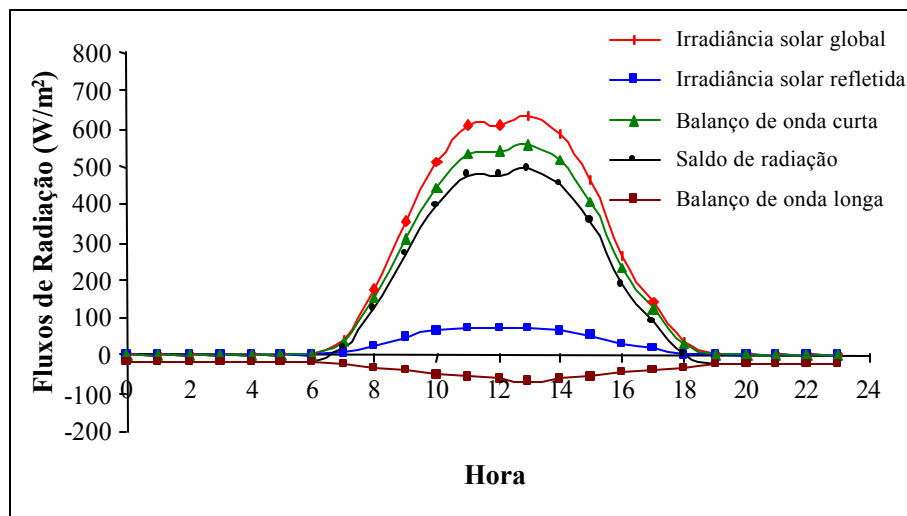


Figura 16 - Balanço de radiação médio horário em agosto de 1996.

global variou de 740 W m^{-2} em setembro a 498 W m^{-2} em maio, que é um mês típico da estação chuvosa. Essa diferença pode estar relacionada a um possível aumento da nebulosidade na estação chuvosa, a qual diminui a intensidade da radiação solar incidente na superfície.

Ao analisar as variações horárias do balanço de radiação sobre a floresta, verifica-se que não ocorreram mudanças significativas nos componentes do balanço de radiação durante as estações chuvosa e menos chuvosa, destacando-se a importância da temperatura da superfície e da nebulosidade na variação média horária na região.

O valor médio do balanço de radiação de ondas curtas variou de 648 W m^{-2} a 441 W m^{-2} nos referidos meses. A variação do balanço total de radiação foi de 576 W m^{-2} em setembro a 404 W m^{-2} em dezembro, um mês típico da estação chuvosa.

O balanço de radiação de ondas longas apresentou pequena variação durante o dia, porém a magnitude absoluta dos seus fluxos é maior em torno do meio-dia. A variação das magnitudes do balanço de radiação de ondas longas foi de -85 W m^{-2} em agosto (estação menos chuvosa) a -10 W m^{-2} em fevereiro (estação chuvosa). Verifica-se a dependência do balanço de radiação de onda longa em relação à irradiância solar global, sendo a emissão maior entre o meio da manhã e o meio da tarde, devido à influência da temperatura da superfície.

4.2.2. Balanço de radiação em base diária

A variação dos totais diários dos componentes do balanço de radiação durante o período experimental está ilustrada na Figura 17. O Quadro 5 apresenta um resumo estatístico da variação desses componentes durante o período de medições.

As magnitudes dos totais médios diários dos componentes do balanço de radiação na Reserva Biológica de Cuiciras são consistentes com os resultados obtidos por CULF et al. (1996), em que a média foi de $15,71 \text{ MJ m}^{-2}$, para a Reserva Ducke, em Manaus, com base em dados do projeto ABRACOS.

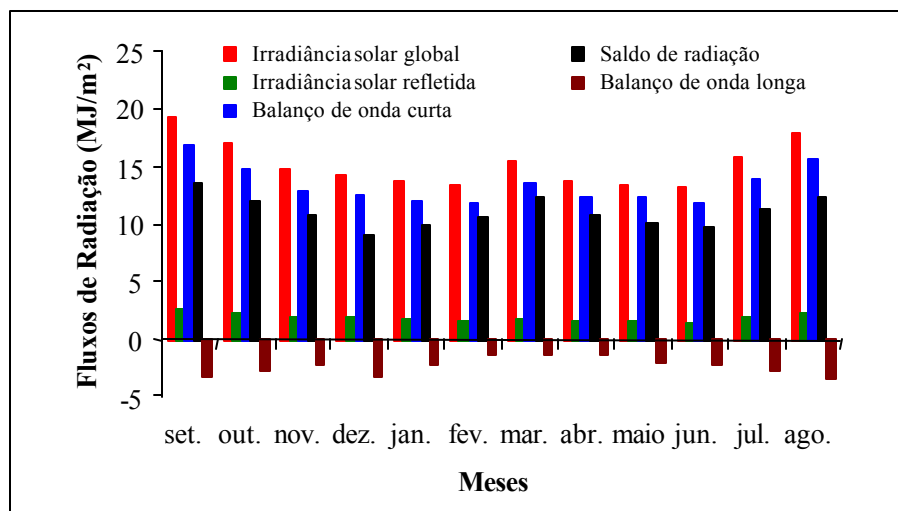


Figura 17 - Totais médios diários dos componentes do balanço de radiação em cada mês do período experimental.

Quadro 5 - Resumo estatístico dos componentes do balanço de radiação diário (MJ m⁻²) durante o período experimental

Totais Diários (MJ m ⁻²)				
Mês	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão
Janeiro				
Balanço de Radiação	13,80	23,81	3,68	5,63
Radiação Refletida	1,77	3,07	0,37	0,75
Balanço de Onda Curta	12,03	20,73	3,31	4,88
Saldo de Radiação	9,97	18,66	2,59	4,86
Balanço de Onda Longa	-2,06	-0,29	-10,67	2,43
Fevereiro				
Balanço de Radiação	13,44	22,58	3,98	5,52
Radiação Refletida	1,63	2,70	0,41	0,69
Balanço de Onda Curta	11,81	19,88	3,57	4,83
Saldo de Radiação	10,48	18,21	2,80	4,66
Balanço de Onda Longa	-1,33	-0,77	-2,72	0,42
Março				
Balanço de Radiação	15,52	24,19	3,56	5,74
Rad. Refletida	1,88	3,12	0,33	0,74
Balanço de Onda Curta	13,64	21,28	3,23	5,00
Saldo de Radiação	12,26	19,68	2,41	4,77
Balanço Onda Longa	-1,38	-0,56	-3,49	0,51
Abril				
Balanço de Radiação	13,86	23,16	2,42	5,19
Radiação Refletida	1,63	2,77	0,20	0,63
Balanço de Onda Curta	12,23	20,39	2,22	4,56

Saldo de Radiação	10,82	17,74	1,67	4,25
Balanço de Onda Longa	-1,41	-0,55	-2,65	0,43
Maio	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão
Balanço de Radiação	13,45	20,96	5,19	4,36
Radiação Refletida	1,58	2,52	0,88	0,50
Balanço de Onda Curta	12,22	20,04	5,19	4,08
Saldo de Radiação	10,26	15,93	3,34	3,42
Balanço de Onda Longa	-1,96	-0,73	-4,85	0,99
Junho	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão
Balanço de Radiação	13,31	20,87	4,41	4,53
Radiação Refletida	1,41	2,51	0,00	0,75
Balanço de Onda Curta	11,90	20,41	3,93	4,04
Saldo de Radiação	9,74	15,47	3,22	3,30
Balanço de Onda Longa	-2,16	-0,71	-4,94	0,87

Quadro 5, Cont.

Totais Diários (MJ m ⁻²)				
Julho	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão
Balanço de Radiação	15,93	21,75	6,24	4,49
Radiação Refletida	1,95	2,67	0,71	0,56
Balanço de Onda Curta	13,98	19,08	5,50	3,94
Saldo de Radiação	11,29	15,81	4,40	3,10
Balanço de Onda Longa	-2,69	-0,86	-4,28	0,91
Agosto	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão
Balanço de Radiação	17,95	22,92	7,21	3,73
Radiação Refletida	2,22	2,85	0,90	0,46
Balanço de Onda Curta	15,73	20,07	6,31	3,28
Saldo de Radiação	12,31	15,51	4,44	2,71
Balanço de Onda Longa	-3,42	-1,87	-5,56	0,91
Setembro	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão
Balanço de Radiação	19,36	23,80	8,71	4,13
Radiação Refletida	2,52	3,12	1,12	0,54
Balanço de Onda Curta	16,84	20,69	7,59	3,59
Saldo de Radiação	13,57	16,68	5,72	3,02
Balanço de Onda Longa	-3,28	-1,88	-4,29	0,68
Outubro	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão
Balanço de Radiação	16,99	24,35	4,48	5,24
Radiação Refletida	2,21	3,10	0,48	0,69
Balanço de Onda Curta	14,77	21,25	4,01	4,55
Saldo de Radiação	12,13	17,29	3,07	3,75
Balanço de Onda Longa	-2,64	-0,94	-4,20	0,88

Novembro	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão
Balço de Radiação	14,74	24,54	3,06	5,28
Radiação Refletida	1,94	3,30	0,34	0,73
Balço de Onda Curta	12,80	21,24	2,73	4,55
Saldo de Radiação	10,73	18,02	1,94	3,99
Balço de Onda Longa	-2,07	-0,76	-3,22	0,64
Dezembro	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão
Balço de Radiação	14,36	21,66	4,46	4,53
Radiação Refletida	1,94	3,05	0,55	0,64
Balço de Onda Curta	12,42	18,60	3,90	3,89
Saldo de Radiação	9,10	15,83	1,86	3,60
Balço de Onda Longa	-3,32	-0,92	-10,31	2,44

4.3. Relação entre o saldo de radiação e a irradiância solar global

Os resultados da análise de regressão linear entre os dados do saldo de radiação e da irradiância solar global, em bases horária e diária, estão apresentados nos Quadros 6 e 7, respectivamente.

Quadro 6 - Equações de regressão linear entre os valores horários de saldo de radiação (Rn) e a irradiância solar global (Rg)

Meses	Equações	R ²	N
Janeiro	$R_n = -18,71 \pm 5,62 + 0,83 \pm 0,01 R_g$	0,90	372
Fevereiro	$R_n = -15,55 \pm 1,92 + 0,87 \pm 0,01 R_g$	0,99	348
Março	$R_n = -13,40 \pm 2,91 + 0,88 \pm 0,01 R_g$	0,98	372
Abril	$R_n = -15,86 \pm 1,35 + 0,86 \pm 0,01 R_g$	0,99	360
Mai	$R_n = -15,01 \pm 1,12 + 0,84 \pm 0,01 R_g$	0,99	372
Junho	$R_n = -14,86 \pm 1,04 + 0,82 \pm 0,00 R_g$	0,99	360
Julho	$R_n = -17,81 \pm 1,21 + 0,80 \pm 0,00 R_g$	0,99	372
Agosto	$R_n = -23,59 \pm 2,32 + 0,78 \pm 0,01 R_g$	0,99	372
Setembro	$R_n = -26,45 \pm 1,46 + 0,81 \pm 0,01 R_g$	0,99	360
Outubro	$R_n = -17,32 \pm 1,16 + 0,80 \pm 0,00 R_g$	0,99	372

Novembro	$R_n = -12,94 \pm 1,37 + 0,79 \pm 0,00 R_g$	0,99	360
Dezembro	$R_n = -19,86 \pm 5,36 + 0,72 \pm 0,01 R_g$	0,92	372

Quadro 7 - Equações de regressão linear entre os totais diários de saldo de radiação (Rn) e a irradiância solar global (Rg)

Meses	Equações	R ²	N
Janeiro	$R_n = -0,46 \pm 1,15 + 0,75 \pm 0,07 R_g$	0,77	31
Fevereiro	$R_n = -0,83 \pm 0,18 + 0,84 \pm 0,01 R_g$	0,99	29
Março	$R_n = -0,57 \pm 0,28 + 0,82 \pm 0,01 R_g$	0,99	31
Abril	$R_n = -0,50 \pm 0,15 + 0,81 \pm 0,01 R_g$	0,99	30
Maiο	$R_n = -0,24 \pm 0,16 + 0,78 \pm 0,01 R_g$	0,99	31
Junho	$R_n = -0,09 \pm 0,16 + 0,72 \pm 0,01 R_g$	0,99	30
Julho	$R_n = 0,35 \pm 0,21 + 0,68 \pm 0,01 R_g$	0,99	31
Agosto	$R_n = -0,32 \pm 0,59 + 0,79 \pm 0,03 R_g$	0,94	31
Setembro	$R_n = -0,48 \pm 0,31 + 0,72 \pm 0,01 R_g$	0,99	30
Outubro	$R_n = 0,02 \pm 0,22 + 0,71 \pm 0,01 R_g$	0,99	31
Novembro	$R_n = -0,38 \pm 0,18 + 0,75 \pm 0,01 R_g$	0,99	30
Dezembro	$R_n = 0,07 \pm 1,35 + 0,62 \pm 0,09 R_g$	0,63	31

A obtenção de coeficientes distintos nas relações entre o saldo de radiação e a irradiância solar global, em bases horária e diária, sugere o uso de equações específicas para cada caso. Os valores dos coeficientes das equações utilizadas em base horária foram sistematicamente superiores aos respectivos coeficientes das equações em base diária. Nos dois tipos de equações utilizadas, observou-se que o coeficiente da equação de regressão linear tende a ser ligeiramente maior nos meses da estação chuvosa. Resultados apresentados por MOLION (1987), na Reserva Florestal Ducke, no primeiro experimento micrometeorológico realizado na floresta amazônica, obtiveram a seguinte equação, em base horária para o período de agosto a outubro: $R_n = (0,858 \pm 0,006) R_g - 35 \pm 1,9$. Segundo MOORE (1986), deve-se ter cautela no uso dessas equações para superfícies com características semelhantes, porém com diferentes condições meteorológicas.

4.4. Albedo

A variação média mensal do albedo relacionado com a precipitação durante o período de setembro de 1995 a agosto de 1996, incluindo as estações menos chuvosa e chuvosa, está apresentada na Figura 18. Observam-se variações sazonais com máximos valores de outubro a dezembro, devido à maior incidência da radiação solar e maior reflexão em consequência do solo mais seco, e valores mínimos nos demais meses do ano, em virtude da grande quantidade de umidade do solo. Verifica-se ainda tendência de diminuição nos valores do albedo com o aumento de dias chuvosos, como resultado da maior absorção da radiação solar pela superfície do dossel vegetativo, sendo este diretamente relacionado com o índice de área foliar. CULF et al. (1995), estudando a variação média mensal do albedo durante o projeto ABRACOS de outubro de 1990 a agosto de 1993, observaram que há variações sazonais bem definidas que não são devidas aos efeitos de mudanças no ângulo de elevação solar ou às variações de nebulosidade, mas estão fortemente correlacionados com a umidade do solo.

A irradiância solar global apresentou sazonalidade bem definida, com tendência a decrescer a partir de setembro, atingindo um máximo em março e outro em agosto. Verifica-se que a irradiância solar global é o principal componente do balanço de radiação, determinando o comportamento das demais.

O balanço de ondas longas é dependente da irradiância solar global, sendo a emissão pela superfície maior quando a irradiância é maior, e vice-versa. A perda de radiação da superfície através da reflexão de ondas curtas foi sempre superior à perda líquida da radiação de ondas longas.

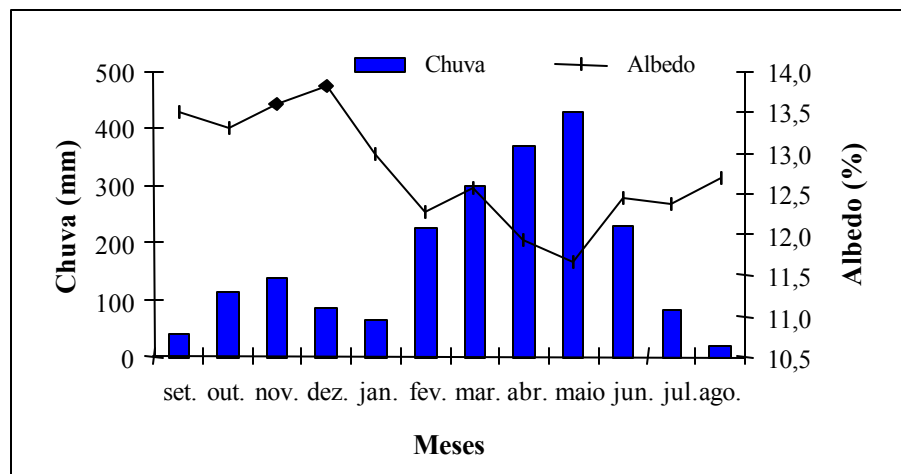


Figura 18 - Variação média mensal do albedo com a precipitação durante o período de setembro de 1995 a agosto de 1996.

Como esperado, o saldo de radiação acompanha a tendência da irradiância solar global, porém com algumas diferenças entre as estações. O saldo de radiação apresenta-se positivo e seu componente está diretamente relacionado com a radiação solar incidente na superfície, que corresponde ao componente de maior influência no balanço de radiação. O período menos chuvoso apresenta valores mais elevados da radiação solar incidente, enquanto no período chuvoso os valores são relativamente menores.

Os totais médios diários da irradiância solar global variaram de 19,36 MJ m⁻² em setembro (estação menos chuvosa) a 13,31 MJ m⁻² em junho (fim da estação chuvosa). Os totais diários da irradiância solar refletida representaram, em média, 12% da irradiância solar global durante o período experimental. Os totais médios diários do balanço de radiação variaram de 15,57 MJ m⁻² em setembro a 9,10 MJ m⁻² em dezembro. A razão entre o balanço de radiação e a irradiância solar global, em base diária, foi, em média, de 0,73, tendo variado de 0,63 em dezembro (início da estação chuvosa) a 0,79 em março (máximo da estação chuvosa).

Os totais médios diários do balanço de radiação de ondas curtas variaram de 16,84 MJ m⁻² em setembro (estação menos chuvosa) a 11,81 MJ m⁻² em fevereiro (estação chuvosa), enquanto os totais diários do balanço de radiação de ondas longas variaram de -3,42 MJ/m² em agosto a -1,33 MJ/m² em fevereiro.

Observa-se que a irradiância solar global durante a estação menos chuvosa foi de 113,12 MJ/m², enquanto na estação chuvosa foi de 69,48 MJ/m², o que representa uma diferença de 43,54 MJ/m². Analisando-se em termos percentuais, a irradiância solar global durante a estação menos chuvosa foi 11,2% maior que na estação chuvosa.

4.5. Componentes do balanço de energia

As variações médias horárias dos componentes do balanço de energia durante o período de outubro de 1995 a agosto de 1996, com exceção de maio, estão apresentadas nas Figuras 19 a 28. Embora o tipo de variação observada seja semelhante ao de outros trabalhos realizados na região Amazônica, particularmente com dados do projeto ABRACOS, constataram-se diferenças nas magnitudes desses componentes em consequência da variação espacial.

Os dados de saldo de radiação utilizados neste item dependeram da disponibilidade de calor sensível e de calor latente. Nos meses de março e abril, os dados de fluxos disponíveis foram de apenas seis e quatro dias, respectivamente.

Analisando as variações médias horárias desses componentes, entre 10 e 14 horas, verificou-se que o saldo de radiação atingiu um máximo de 565 W m² em março (estação chuvosa) e um mínimo de 253 W m² em outubro (estação menos chuvosa). Esse decréscimo a partir de março não é regular, tendo sido constatados aumentos secundários em agosto e novembro. Os fluxos de calor sensível e calor latente apresentaram a mesma tendência de variação do saldo de radiação. A fração do saldo de radiação utilizada sob a forma de calor latente variou de 0,42 em novembro a 0,67 em

dezembro. A relação entre fluxo de calor

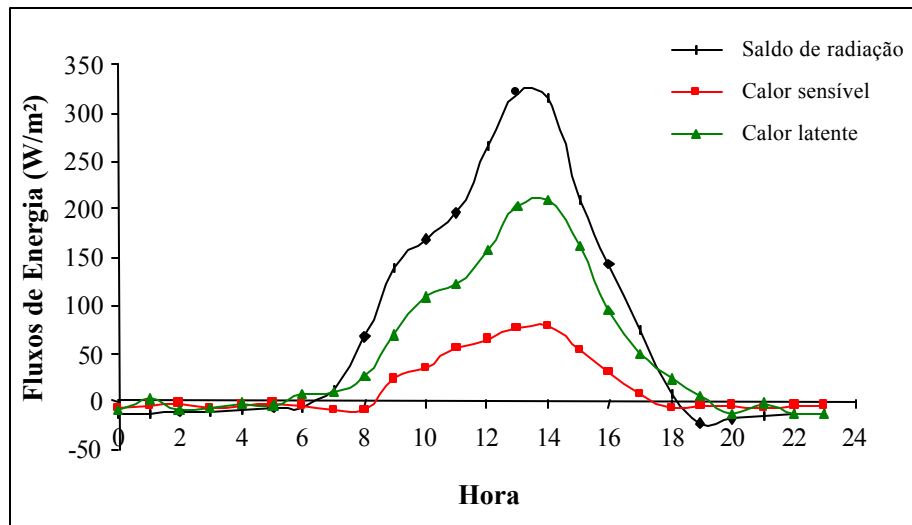


Figura 19 - Variação média horária do saldo de radiação (NET), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE) em outubro de 1995.

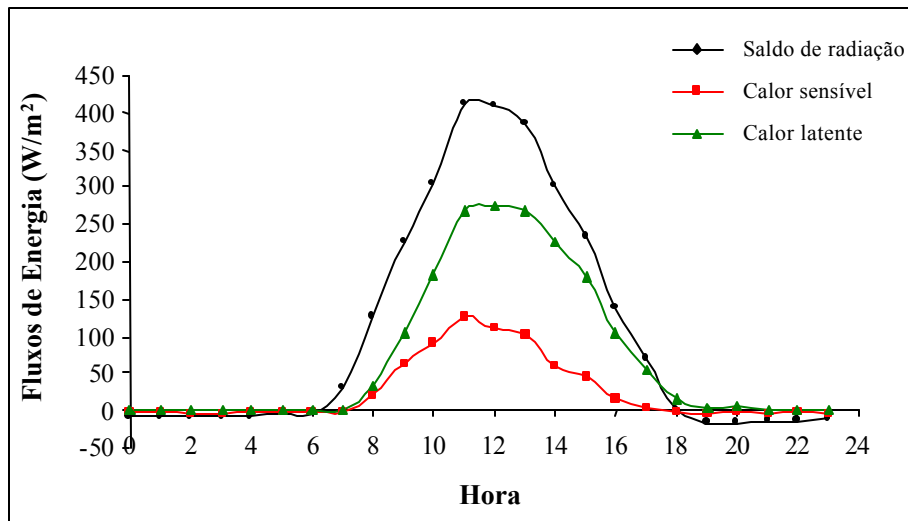


Figura 20 - Variação média horária do saldo de radiação (NET), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE) em novembro de 1995.

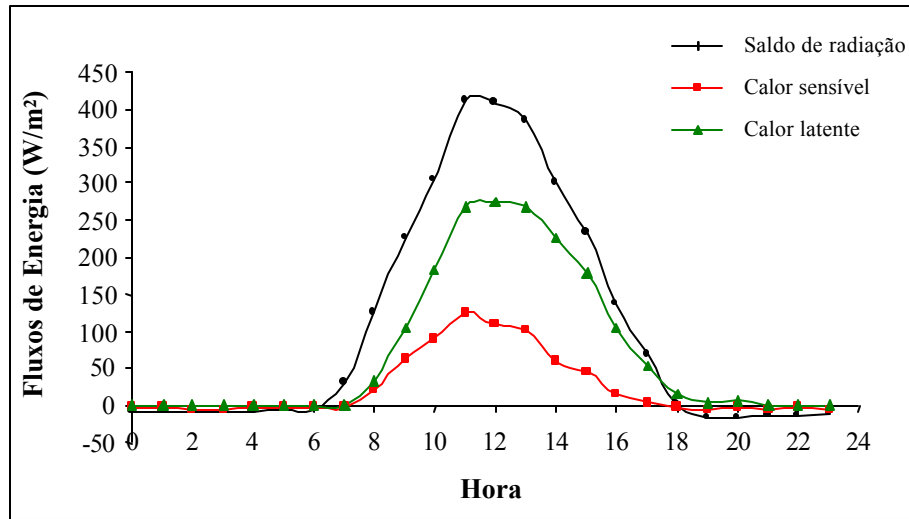


Figura 21 - Variação média horária do saldo de radiação (NET), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE) em dezembro de 1995.

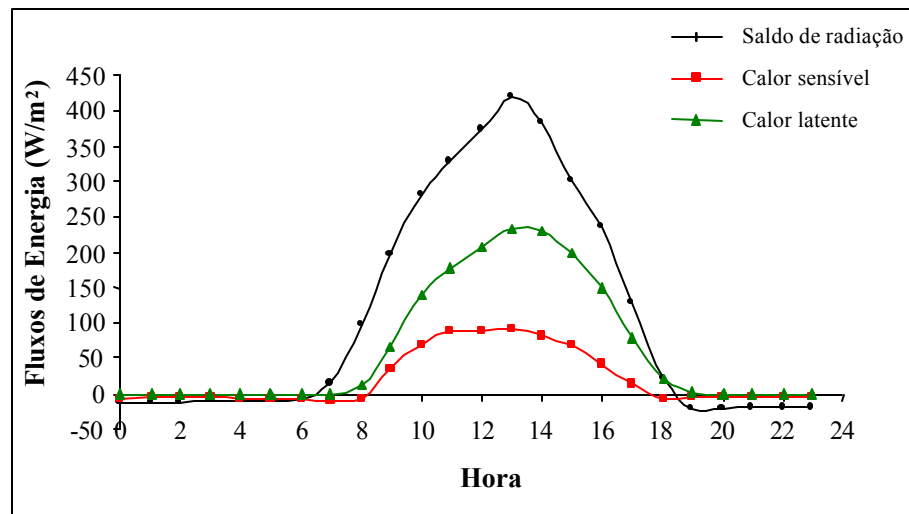


Figura 22 - Variação média horária do saldo de radiação (NET), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE) em janeiro de 1996.

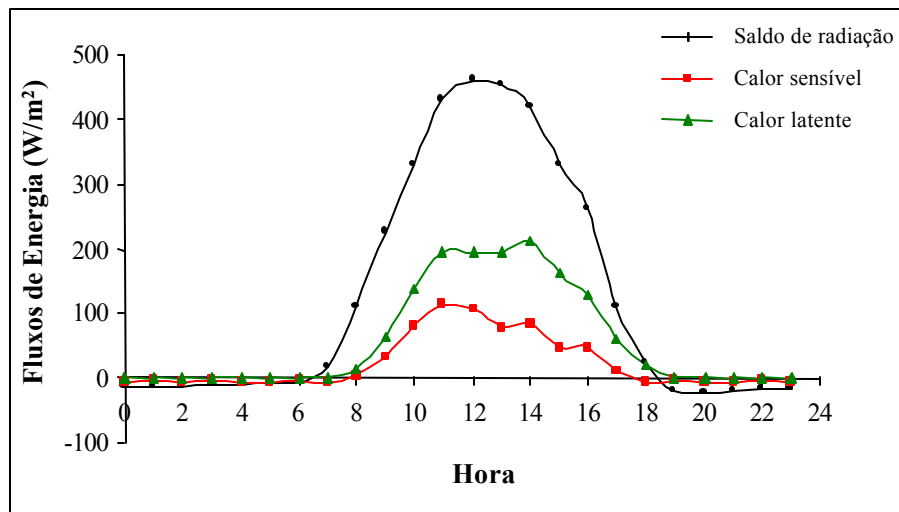


Figura 23 - Variação média horária do saldo de radiação (NET), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE) em fevereiro de 1996.

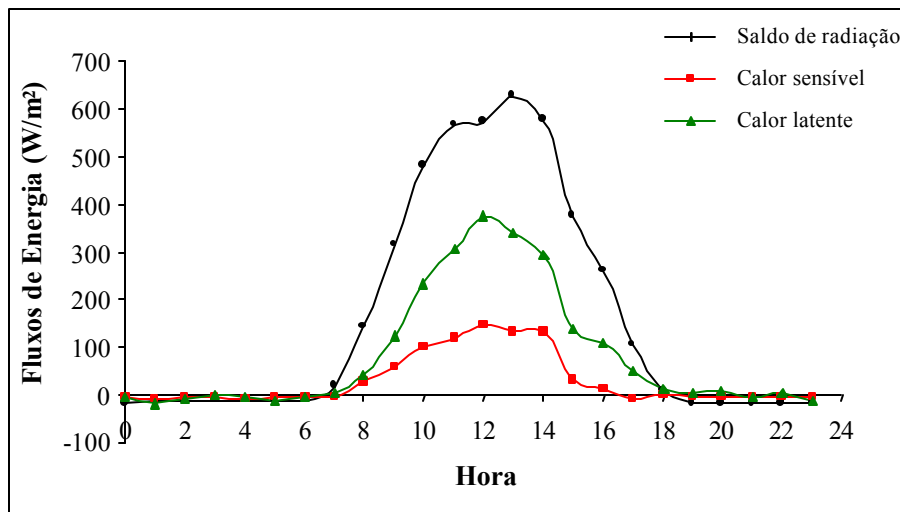


Figura 24 - Variação média horária do saldo de radiação (NET), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE) em março de 1996.

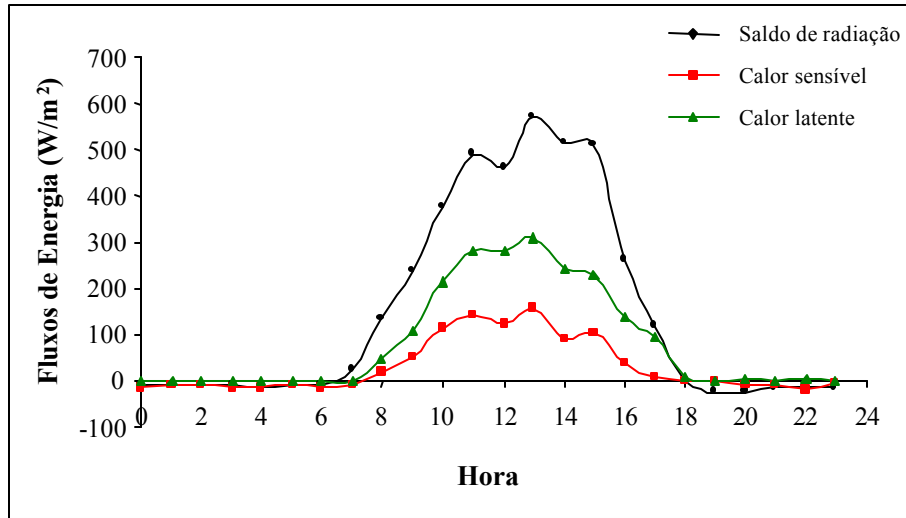


Figura 25 - Variação média horária do saldo de radiação (NET), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE) em abril de 1996.

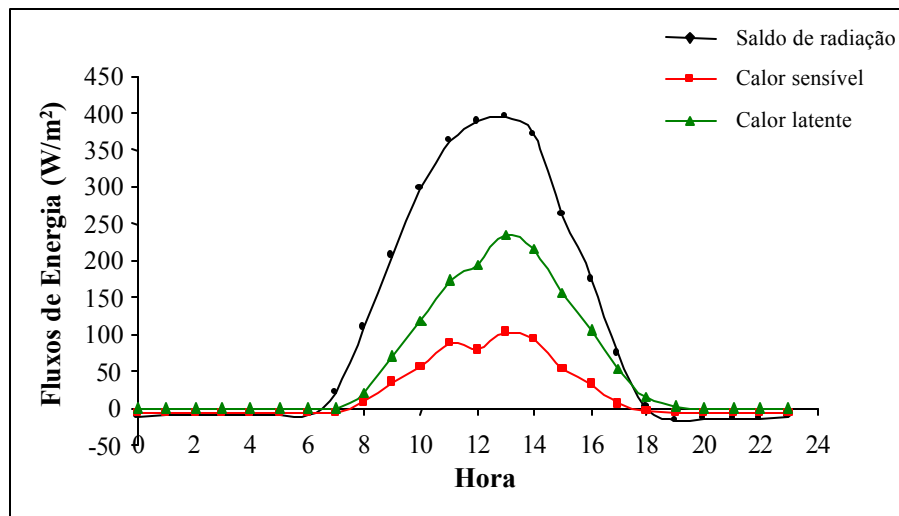


Figura 26 - Variação média horária do saldo de radiação (NET), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE) em junho de 1996.

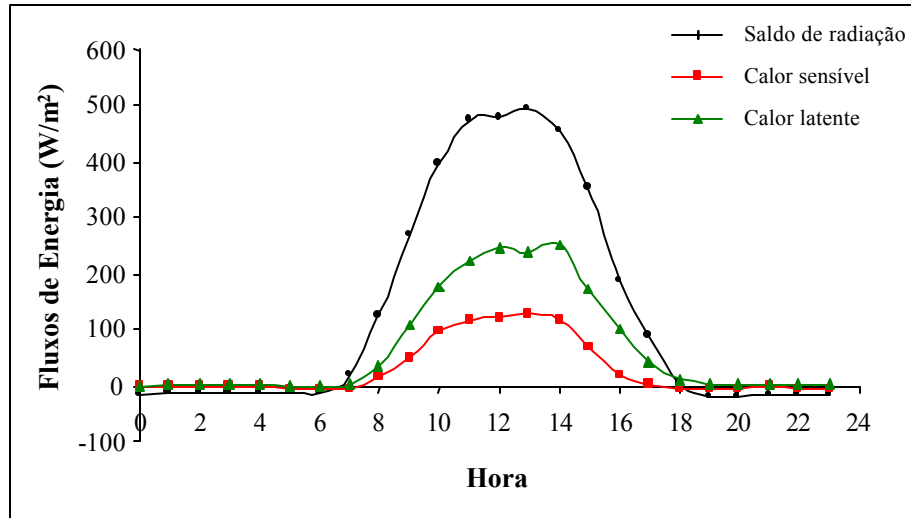


Figura 27 - Variação média horária do saldo de radiação (NET), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE) em julho de 1996.

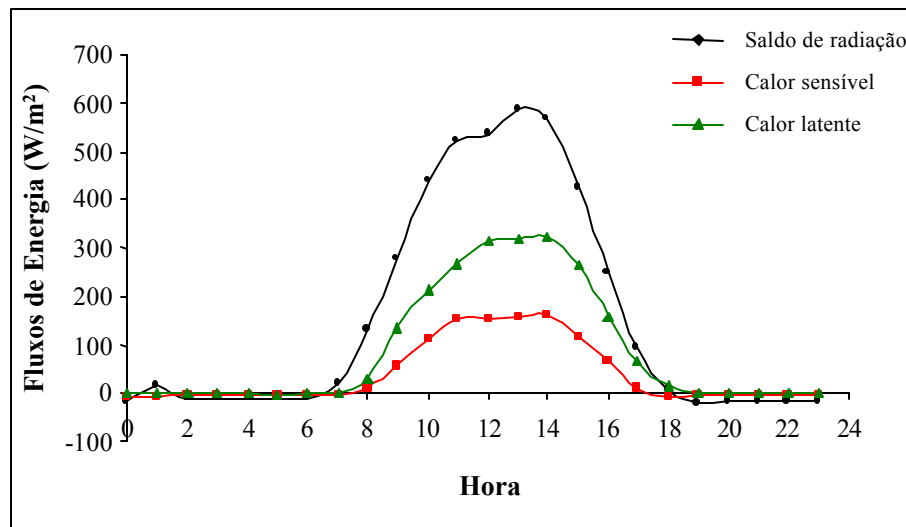


Figura 28 - Variação média horária do saldo de radiação (NET), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE) em agosto de 1996.

sensível e saldo de radiação no período estudado variou de 0,22 em fevereiro a 0,28 em agosto. O fluxo de calor latente foi, em média, mais de duas vezes maior do que os fluxos de calor sensível durante o período estudado.

Para ambos os períodos, a participação do fluxo de calor latente é mais acentuada, enquanto a distribuição do fluxo de calor sensível é mais uniforme, com pequenas variações. Durante o dia, portanto, a atmosfera vai acumulando energia nas formas de calor sensível e calor latente, e à noite, na ausência da fonte de energia, a atmosfera, ao continuar perdendo energia para a atmosfera, resfria-se.

Os fluxos de calor sensível, em torno do meio-dia, apresentaram valores máximos de 148 W m^{-2} em agosto e valores mínimos de 62 W m^{-2} em outubro, ambos os meses da estação menos chuvosa. Os fluxos de calor latente, em torno do meio-dia, apresentaram valores máximos de 310 W m^{-2} em março e valores mínimos de 160 W m^{-2} em outubro. Durante o período noturno até o início da manhã, predominaram valores negativos para o saldo de radiação e o fluxo de calor sensível. Os fluxos de calor latente chegaram a apresentar alguns valores negativos, porém praticamente desprezíveis, enquanto os valores do saldo de radiação chegaram a atingir -20 W m^{-2} . Na maior parte do período noturno, os fluxos de calor sensível atingiram valores absolutos abaixo de 10 W m^{-2} .

Nota-se que os máximos valores dos fluxos ocorrem às 12 horas; após esse horário ocorre defasagem no deslocamento dos fluxos nos meses de outubro, janeiro, março, abril, junho, julho e agosto. Essa defasagem no horário médio de ocorrência de máxima intensidade de radiação solar pode estar associada a uma maior quantidade de nebulosidade no período da manhã na floresta. No período da tarde aumenta a nebulosidade, ocasionando queda brusca na radiação solar incidente entre 11 e 14 horas, elevando-se novamente até as 15 horas, para em seguida cair no final da tarde. Essa variação brusca ocorre a partir das 14 horas na floresta, devido também à presença de nebulosidade e ocorrência de precipitação.

A variação sazonal dos valores médios diários do saldo de radiação, fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente, considerando-se o período de outubro de 1995 a agosto de 1996, com exceção do mês de maio, está ilustrada na Figura 29. O saldo de radiação apresentou tendência crescente a partir de outubro, atingindo valor máximo diário de $13,92 \text{ MJm}^{-2}$. As magnitudes dos fluxos médios diários de calor sensível e de calor latente acompanharam aproximadamente essa tendência. De outubro a agosto, os fluxos diários de calor sensível variaram em média de 1,26 a $3,39 \text{ MJm}^{-2}$, com valor

médio de 2,21 MJm⁻² durante o período experimental. Similarmente, os fluxos diários de calor latente variaram de 4,25 a 7,60 MJm⁻², com valor médio de 5,83 MJm⁻² para o período considerado. A magnitude dos fluxos diários de calor latente foi em média 2,6 vezes superior à dos fluxos diários de calor sensível.

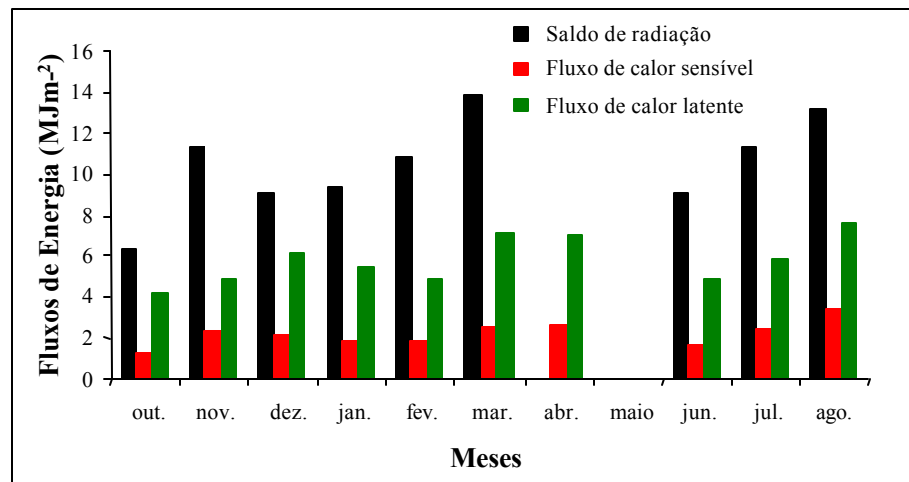


Figura 29 - Variação sazonal dos valores médios diários dos componentes do balanço de energia.

Dessa maneira, verifica-se que, em ecossistemas de floresta amazônica, quando o solo dispõe de umidade suficientemente, a maior quantidade da radiação solar global é utilizada pela floresta na evapotranspiração, na forma de calor latente, e que a floresta emite menos calor sensível, mostrando que essa diferença se deve ao controle que a floresta exerce em relação às trocas de energia com a atmosfera, exercendo papel de destaque no equilíbrio térmico da atmosfera.

Comparando as Figuras 17 e 29, pode-se observar que os componentes do balanço de energia apresentam tendência de variação semelhante, com máximos valores na estação menos chuvosa, enquanto os menores valores diários ocorrem na estação

chuvosa; portanto, com a maior parcela da energia sendo utilizada na forma de calor latente.

A variação sazonal da partição dos componentes do balanço de energia, expressa pela razão de Bowen e pela fração do saldo de radiação consumida em calor latente e calor sensível, está apresentada na Figura 30. Esses resultados representam valores médios diários durante o período diurno das 9 às 15 horas. A razão de Bowen variou de 0,37 em outubro a 0,56 em novembro, com valor médio de 0,45. A fração do saldo de radiação utilizado como calor latente variou de 0,41 em novembro a 0,66 em dezembro (início da estação chuvosa), com valor médio de 0,52 durante o período estudado. A participação do fluxo de calor sensível no saldo diário de radiação variou de 0,20 nos meses de fevereiro e março (estação chuvosa) ao valor máximo de 0,27 em agosto (estação seca) e dezembro, tendo apresentado valor médio de 0,23 em todo o período experimental.

Verifica-se, portanto, que a maior parcela da energia foi utilizada na forma de calor latente, com irradiância solar global elevada e água suficientemente disponível na floresta.

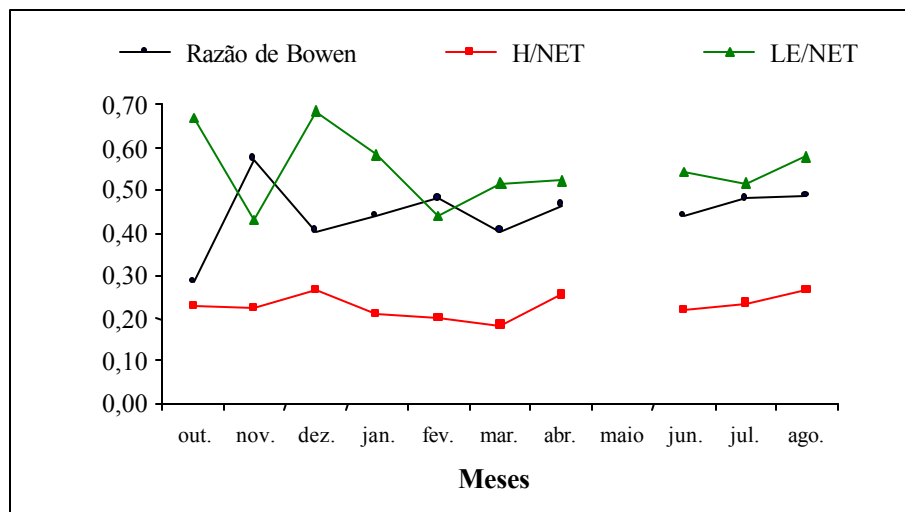


Figura 30 - Variação sazonal da partição dos componentes do balanço de energia.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Dados coletados no estudo micrometeorológico na Reserva Biológica de Cueiras (2°35'22" S, 60°06'55" W e 90 m de altitude), em Manaus-AM, durante o período de setembro de 1995 a agosto de 1996, foram utilizados na caracterização das variações diárias e sazonais dos componentes do balanço de radiação e de energia. A técnica de correlação dos vórtices turbulentos foi utilizada na medição dos fluxos de calor sensível e calor latente, enquanto as medições dos componentes do balanço foram obtidas de uma estação meteorológica automática instalada em uma torre, acima da copa das árvores.

As principais conclusões deste trabalho foram:

- Os componentes do balanço de radiação e de energia apresentaram variação sazonal bem caracterizada, com magnitudes bem distintas entre as estações menos chuvosa e chuvosa. As maiores amplitudes horárias foram observadas durante a estação menos chuvosa. O máximo valor da irradiância solar global ocorreu em setembro, enquanto os menores valores médios diários da irradiância solar global ocorreram em junho. A radiação solar refletida e o saldo de radiação apresentaram tendência de variação semelhante. A maior parte do saldo de radiação foi utilizada sob a forma de calor latente, chegando a atingir percentual de 66% no mês de dezembro (início da estação chuvosa). Os valores

absolutos do balanço diário de radiação de ondas longas variaram de $-3,28 \text{ MJ m}^{-2}$ em setembro a $-1,33 \text{ MJ m}^{-2}$ em fevereiro.

- A relação entre os saldos de radiação solar global, em bases horária e diária, foi satisfatoriamente descrita para cada mês, por meio de equações de regressão linear.

- A razão de Bowen, baseada em valores médios horários das 9 às 15 horas, apresentou baixos valores e pouca oscilação, demonstrando que a maior parte da energia foi utilizada na forma de calor latente, expressando seu predomínio em relação ao calor sensível.

- Os valores médios do albedo foram menores na estação chuvosa, em comparação com a estação menos chuvosa.

Como na floresta os raios solares são absorvidos por reflexões múltiplas dentro do dossel, menos radiação térmica perde-se da superfície e através das copas das árvores.

Medições com técnicas de correlação de vórtices turbulentos “Eddy Correlation” mostram que os fluxos de calor podem ser medidos de maneira confiável e que medidas como estas são necessárias nos ecossistemas da Amazônia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉ, R.G.B., SILVA FILHO, V.P., MOLION, L.C.B., NOBRE, C.A. Balanço de radiação sobre a floresta amazônica (estação seca e úmida). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.3, p.269-74, 1988.
- BAAR, A.G., KING, K.M., GILLESPIE, T.J., DEN HARTOG, G., NEUMANN, H.H. A comparison of Bowen ratio and eddy correlation sensible and latent heat flux measurements above deciduous forest. **Boundary Layer Meteorology**, p.21-41, 1994.
- BASTABLE, H.G., SHUTTLEWORTH, W.J., DALLAROSA, R.G., FISCH, G., NOBRE, C.A. Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian forest. **Int. Journal Climatol.**, v.13, p.78-796, 1993.
- CHAUVEL, A., GRIMALDI, M., TESSIER, D. Changes in soil pore-space distribution following deforestation and revegetation: an example from the Central Amazon Basin, Brazil, **Forest Ecology and Management**, v.38, p.259-271, 1991.
- CORREA, J.C. Características físico-hídrico dos solos latossolo amarelo podzólico vermelho amarelo e podzólico hidromórfico do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, p.1317-1322, 1984.
- CULF, A.D., ESTEVEWS, J.L., MARQUES FILHO, O., ROCHA, H. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonian. In: GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J., VICTORIA, R.L. (Eds.) **Amazonian deforestation and climate**. John Wiley and Sons. p.175-192, 1996.

- CULF, A.D., FISCH, G., HODNETT, M.G. The albedo of Amazonian Forest and Ranch Land. **Journal of Climate**. v.8, p.1544-1554, 1995.
- DIAS, M.A.F., REGNIER, P. Simulation of mesoscale circulations in a deforested area of Rondônia in the dry season. In: GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J., VICTORIA, R.L. (Eds). **Amazonian Deforestation and Climate**. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. pp.531-547, 1996.
- FAN, S.M., WOFSY, S.C., BAKWIN, P.S., JACOB, D.J., FITSJARRALD, D.R. Atmosphere-biosphere exchange of CO₂ and O₃ in the Central Amazon Forest. **Journal Geophys. Res.**, v.95, p.16851-16864, 1990.
- FEITOSA, J.R.P., COSTA, R.F., FISCH, G., SOUZA, S.S., NOBRE, C.A. Radiação solar global em áreas de florestas e pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.1624-1637, 1998.
- FISCH, G., WRIGHT, I.R., BASTABLE, H.G. Albedo of tropical grass: A case study of pre-and post-burning. **Int. Journal Climatol.**, v.14, p.103-107, 1994.
- GRACE, J., LLOYD, J., MCINTYRE, J., MIRANDA, A.C., MEIR, P., MIRANDA, H.S., NOBRE, C.A., MONCRIEFF, J.M., MASSHEDER, J., WRIGHT, I.R., GASH, J. Fluxes of carbon dioxide and water vapor over an undisturbed tropical rain forest in south-west Amazonia. **Global Change Biology**, v.1, p.1-12, 1995.
- GUTIÉRREZ, M.V., MEINZER, F.C. Energy balance and latente heat flux partitioning in coffee hedgerows at different stages of canopy development. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.68, p.173-186, 1994.
- HOLLINGER, D.Y., KELLIHER, F.M., BYERS, J.N., HUNT, J.E., MCSEVENY, T.M., WEIR, P.L. Carbon dioxide exchange between an undisturbed old-growth temperate forest and the atmosphere. **Ecology**, v.75, p.137-150, 1994.
- HODNETT, M.G., TOMASELLA, J., MARQUES FILHO, A.O., OYAMA, M.D. Deep water uptake by forest and pasture in central Amazonia: predictions from long-term daily rainfall data using a simple water balance model. In: GASH, J.H.C., NOBRE, A.C., ROBERTS, J.M., VICTORIA, R.L. (Eds.) **Amazonian deforestation and climate**. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido, p.79-99. 1996.
- INMET. Normais Climatológicas. **Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária**, 84 p. 1992.

- JARVIS, P.G., MASSHEDER, J.M., HALE, S.E., MONCRIEFF, J.B. Seasonal variation of carbon dioxide, water vapor, and energy exchanges of a boreal black spruce forest. **Journal of Geophysical Research**, v.102, n.D24, p.28, 953-966, 1997.
- LEE, X., BLACK, T.A. Atmospheric turbulence within and above a douglas-fir stand. Part II: Eddy flux of sensible heat and water vapour. **Boundary-Layer Meteorology**, n.64, p.369-389, 1993.
- LLOYD, C.R., SHUTTLEWORTH, W.J., GASH, J.H.C., TURNER, M.A. microprocessor system for eddy-correlation. **Agricultural Forest Meteorology**, v.33, p.67-80, 1984.
- MALHI, Y., NOBRE, A.D., GRACE, J., KRUIJT, B., PEREIRA, M.G.P.P., CULF, A., SCOTTS, S. Carbon dioxide transfer over a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**, v.103, n.D24, p.31-593-31, 616, 1998.
- MANZI, A.O. **Introduction d'un schème des transferts sol-vegetation-atmosphère dans un modèle de circulation générale et application a la simulation de la deforestation Amazonienne**. Ph.D. Thesis, University Paul sabatier, Toulouse, France, 230pp, 1993
- MANZI, A.O., PLANTON, S. A simulation of amazonian deforestation using a GCM calibrated with ABRACOS and ARME data: **In "Amazonian Deforestation and Climate"** (J. H. C Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts & R.L. Victoria, Eds.), pp. 505-529. Wiley, Chichester, 1996.
- MIRANDA, A.C., MIRANDA, H.S., LLOYD, J., GRACE, J., FRANCEY, R., MCINTYRE, J.A., MEIR, P., RIGGAN, P., LOCKWOOD, R., BRASS, J. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant, Cell and Environment**, n.20, p.315-328, 1997.
- MIRANDA, A.C., MIRANDA, H.S., LLOYD, J., GRACE, J., MCINTYRE, J.A., MEIR, P., RIGGAN, P., LOCKWOOD, R., BRASS, J. Carbon dioxide fluxes over a cerrado *sensu stricto* in central Brazil. In: GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J., VICTORIA, R.L. (Eds.) **Amazonian Deforestation and Climate**. John Wiley and Sons, p.353-363, 1996.
- MOLION, L.C.B. Micrometeorology of an Amazonian Rain Forest. In: DICKINSON, R.E. (Ed.) **The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions** John Wiley and Sons, p.255-270, 1987.

- MONCRIEFF, J.B., MASSHEDER, J.M., DE BRUIN, H., ELBERS, J., FRIBORG, T., HEUSINKVELD, B., KABAT, P., SCOTT, S., SOEGAARD, D., VERHOEF, A. A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide. **Journal of Hydrology**, p.589-611, 1997.
- MONCRIEFF, J.B., MALHI, Y., LEUNING, R. The propagation in long-term measurements of land-atmosphere fluxes of carbon and water. **Global Change Biology**, v.2, p.231-240, 1996.
- MOORE, C.J. On the calibration and temperature behaviour of single-beam infrared hygrometers. **Boundary Layer Meteorology**, v.25, p.245-269, 1983.
- MOORE, C.J. Frequency response corrections for eddy correlation systems. **Boundary Layer Meteorology**, v.37, p.17-35, 1986.
- OLIVEIRA, M.C.F., COSTA, A.C.L., COSTA, J.P.R., PALHETA, M.C.P., PEREIRA, M.G.P. Comportamento médio horário e mensal dos elementos meteorológicos sobre floresta, em Caxiuanã, Melgaço-PA. In: **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Rio de Janeiro, CDROM, p.2442-2446, 2000.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, FEALQ. 1997. 183p.
- PINKER, R.T.O., THOMPSON, E., ECK, T.F. The albedo of a tropical evergreen forest. **Quarterly Journal Royal Meteorology Society**, v.106, p.551-558, 1980.
- PINKER, R.T. The diurnal asymmetry in the albedo of tropical forest vegetation. **Forest Science**, v.28, p.297-304, 1982.
- RESCHKE, G.A. **Influência do desmatamento no balanço de radiação e nos fluxos de calor sensível e calor latente em Ji-Paraná, Rondônia**. Viçosa, MG: UFV, 1997, 51p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- RIBEIRO, J.B.M. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagens na Amazônia**. Viçosa, MG: UFV, 1994, 67p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.

- RIBEIRO, A., VICTORIA, R.L., MARTINELLI, L.A., MOREIRA, M.Z., ROBERTS, J.M. The isotopic composition of atmospheric water vapour inside a canopy in amazonian forest: vertical and diurnal variation Amazonian deforestation and climate. In: GASH, J.H.C., NOBRE, A.C., ROBERTS, J.M., VICTORIA, R.L. (Eds.) **Amazonian deforestation and climate**. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. p.163-173. 1996.
- SÁ, DE ABREU, L.D., VISWANADHAM, Y., MANZI, A.O. Energy flux partitioning over the Amazon forest. **Tehor. Appl. Climatol**, n.39, p.1-16, 1988.
- SÁ, DE ABREU, MANZI, A.O., VISWANADHAM, Y. Partição de fluxos de calor sensível e de calor latente acima da floresta amazônica de terra firme (Método do Gradiente). In: **3ª Reunião Anual da S. B. P. C**, Curitiba, PR, 1986.
- SALATI, E., VOSE, P.B. Amazon Basin: a system in equilibrium. **Science**, v.225, n.4658, p.129-138, 1984.
- SANCHEZ, P.A. **Soils in tropical rain forest ecosystems: Biogeophysical and ecological studies**, Elsevier, Amsterdam: Lieth & Werger, 1989.
- SEDIYAMA, G.C., GOMIDE, R.L. Correlação de turbilhões, monitoramento para manejo da irrigação: Instrumentação, automação e métodos. In: **XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola** (Poços de Caldas). Manejo de Irrigação. FARIA, M.A., SILVA, E.L., VILELA, L.A., SILVA, A.M. (Eds.), 378p, 1998.
- SHUTTLEWORTH, W.J., MCNEIL, D.D., MOORE, C.J. A switched continuous-wave sonic anemometer for measuring surface heat fluxes. **Boundary Layer Meteorology**, v.23, p.425-448, 1982.
- SHUTTLEWORTH, W.J. et al. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quartely Journal Royal Meteorology Society**, v.110, p.1163-1169, 1984.
- SHUTTLEWORTH, W.J. Corrections for the effect of background concentrations change and sensor drift in real-time eddy correlations systems. **Boundary Layer Meteorology**, v.42, p.167-180, 1988.
- SHUTTLEWORTH, W.J., GASH, J.H.C., LLOYD, C.R., MCNEIL, D.D., MOORE, C., WALLACE, J.S. An integrated micrometeorological system for evaporation measurement. **Agricultural Forest Meteorology**, v.43, p.295-317, 1988.

- SWINBANK, W.C. The measurements of vertical transfer of heat and water vapour by eddies in the lower atmosphere. **Journal Meteorol.**, v.8, p.135-145, 1951.
- WEEB, E.K., PEARMAN, G.I., LEUNING, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. **Quartely Journal Royal Meteorology Society**, v.106, p.85-100, 1980.
- WILSON, M.F., HENDERSON-SELLERS, A. A global archive of land cover and soil datasets for use in general circulation climate models. **Journal of Climatological**, n.5, p.119-143, 1985.
- WRIGHT, I.R., GASH, J.H.C., ROCHA, H.R., SHUTTLEWORTH, W.J., NOBRE, C.A., MAITELLI, G.T., ZAMPARONI, C.A.G.P., CARVALHO, P.R.A. Dry season micrometeorology of central amazonian ranchland. **Quartely Journal Royal Meteorology Society**, v.118, n.508, p.1009-1083, 1992.
- WRIGHT, I.R., NOBRE, C.A., TOMASELLA, J., ROCHA, H.R., ROBERTS, J.M., VERTAMATTI, E., CULF, A.D., ALVALÁ, R.C.S., HODNETT, M.G., UBURANA, V.N. Towards a GCM surface parameterization for Amazonia. In: GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J.M., VICTORIA, R.L. (Eds.). **Amazonian Deforestation and Climate**, Wiley and Sons, p.474-504, 1996.