

VANDA MARIA SALES DE ANDRADE

**FLUXOS DE CO₂, VAPOR D'ÁGUA E DE ENERGIA EM UM ECOSISTEMA
DE MANGUEZAL EM BRAGANÇA-PA**

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
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F435d
2005

Andrade, Vanda Maria Sales de, 1973-

Fluxos de CO₂, vapor d'água e de energia em um ecossistema de manguezal em Bragança-PA. / Vanda Maria Sales de Andrade. – Viçosa : UFV, 2005. xviii, 48f. : il. ; 29cm.

Orientador: José Maria Nogueira da Costa
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa

Referências bibliográficas: f. 44-48

1. Manguezal – Fluxos de CO₂ – Bragança (PA).
2. Manguezal – Vapor d'água. 3. Manguezal. Ecossistema. 4. Manguezal – Conservação. 5. Manguezal – Floresta Amazônica (Pará). I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 20.ed. 632.47

VANDA MARIA SALES DE ANDRADE

**FLUXOS DE CO₂, VAPOR D'ÁGUA E DE ENERGIA EM UM ECOSISTEMA
DE MANGUEZAL EM BRAGANÇA- PA**

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: 23 de fevereiro de 2005.

Prof. Antonio Carlos Lôla da Costa
(Conselheiro)

Prof. José Eduardo M. Pezzopane
(Conselheiro)

Prof. Sérgio Zolnier

Dr. Williams Pinto Marques Ferreira

Prof. José Maria Nogueira da Costa
(Orientador)

“Você que habita ao amparo do altíssimo, e vive à sombra do Onipotente, diga a Deus: Meu refúgio, minha fortaleza meu Deus, eu confio em ti!”

Salmo 91

“Não te queixes da luta. É a tua chance. Sem batalha não há vitória.”

Autor desconhecido

“Saiba que nenhuma caminhada é perdida. O Mínimo que podes ganhar com qualquer caminhada é a certeza de que vais encontrar o rumo certo de teu verdadeiro caminho.”

Autor desconhecido

Ao Sr. Meu Deus, pela luz e força.

Aos meus pais, José Guedes de Andrade e Maria do Carmo Sales de Andrade, por me darem a vida, a chance e a oportunidade de estar vivenciando mais essa conquista na minha vida.

Aos meus irmãos, Mauricio, Cristina e Mirian, por acreditarem em mim e sempre estarem comigo em todos os momentos dessa jornada.

A toda a minha família, que sempre torceram e acreditaram em mim.

Ao meu namorado, Marcelo Rodrigues, por me ajudar e acreditar em mim.

AGRADECIMENTO

A toda a minha família, aos meus pais, José Guedes e Maria do Carmo; aos meus irmãos, Mauricio, Cristina e Mirian; à minha cunhada, Lene; ao meu sobrinho, Daniel; à tia Fátima, ao tio Domingão, Juliana e Rafaela.

Ao meu namorado, Marcelo Rodrigues, e a toda sua família, nas pessoas de Deusdeth, Lúcia e Vanessa, pelo grande apoio, carinho e incentivo em todos os momentos.

À Universidade Federal de Viçosa e à Coordenadoria de Meteorologia Agrícola, pela oportunidade em ingressar no Programa de Pós-Graduação.

Ao Projeto LBA (Experimento em Grande Escala da Biosfera – Atmosfera na Amazônia), pela oportunidade de ter sido bolsista durante dois anos e poder utilizar os dados na dissertação.

Ao meu orientador, Dr. José Maria Nogueira da Costa, por acreditar em mim e me incentivar desde o início do projeto (ECOBIOOMA-LBA) até o resultado final, esse com sua orientação, dedicação e preciosos ensinamentos.

A todos os professores do Departamento de Meteorologia Agrícola, professor Sérgio Zolnier, Luiz Cláudio, Marcos Heil, Sedyama, Maria José, José Maria.

Ao meu conselheiro e amigo, professor Dr. Antonio Carlos Lôla da Costa, da Universidade Federal do Pará (UFPA), pelo voto de confiança em todos os anos de trabalho, pelos ensinamentos, pela orientação e grande amizade.

À Yadvinder Malhi, da University of Edinburgh, United Kingdom pela amizade, apoio e grande apreço e pelos grandes ensinamentos nos trabalhos de campo.

À Patrick Meir da University of Edinburgh, United Kingdom pelo apoio e pela amizade nas jornadas de campo.

Ao Amigo Rommel, por todos esses anos de trabalho em equipe ao longo dessa jornada de campo, com muito respeito, alegria descontração.

A amiga Natália Tia Maria Estrela e toda a sua família pelo grande carinho e apoio em todos os momentos dessa jornada.

À Dra. Júlia Clarinda Paiva Cohen, da Universidade Federal do Pará (UFPA), pela oportunidade concedida e pelo incentivo nessa jornada.

À Dra. Maria de Lourdes Ruivo, do MPEG, pela ajuda com os artigos e incentivo na minha caminhada.

Aos colegas Paulo e João, pela ajuda em campo e de poderem dar continuidade à coleta dos dados, que foi de fundamental importância para a realização desse trabalho.

À amiga Cléia Macedo, pela ajuda e amizade em todos os momentos difíceis.

Ao colega Vitor, pela grande ajuda no processamento dos dados, que foi de grande importância.

À conterrânea Sílvia Monteiro, pela grande ajuda e pelo incentivo.

Aos colegas do curso de pós-graduação em Meteorologia Agrícola, pela convivência e pelos momentos de descontração: José Luis, Rogério, Rosandro, Evaldo, Givanildo, Hemlley, Ranieri, Marcos Paulo, Christiane, Marcelo Amorim, Hernani, Mônica, Danilo, Ricardo, Leonardo, Raquel, Welliam, Danilo, Antônio, Edson, Anderson e Palarete.

Enfim, a todos que me ajudaram, direta ou indiretamente, neste trabalho.

BIOGRAFIA

VANDA MARIA SALES DE ANDRADE, filha de José Guedes de Andrade e Maria do Carmo Sales de Andrade, nasceu em 28 de agosto de 1973, em Belém, Pará.

Em outubro de 1999, graduou-se em Meteorologia, pela Universidade Federal do Pará (UFPA), em Belém, Pará.

Em julho de 2000, concluiu o Curso de Especialização em Sensoriamento Remoto, pela Universidade Federal do Pará (UFPA), em Belém, Pará.

De fevereiro de 2000 a fevereiro 2003, atuou como bolsista do Projeto LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera – Atmosfera na Amazônia, realizando atividades de pesquisa de campo.

Em março de 2003, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, na área de Micrometeorologia de Ecossistemas, submetendo-se à defesa de tese em 23 de fevereiro de 2005.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
LISTA DE UNIDADES.....	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Caracterização dos manguezais	3
2.2. Zonação das espécies de manguezais	7
2.3. O manguezal de Bragança.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Descrição do sítio experimental	15
3.2. Característica da vegetação.....	15
3.3. Solo	17
3.4. Torre micrometeorológica	17
3.5. O “Datalogger” CR10 x.....	19
3.6. Análise dos dados.....	23
3.7. Sistema de medições dos fluxos (covariância dos vórtices turbulentos) e Instrumentação	23
3.7.1. Anemômetro sônico de três eixos.....	24
3.7.2. Analisador de gás infravermelho (IRGA).....	25

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Caracterização da Precipitação.....	26
4.1.1. Variações diurnas dos fluxos.	27
4.1.1. Fluxos de CO ₂ e radiação fotossinteticamente ativa.....	27
4.1.3. Fluxos de calor latente, calor sensível e saldo de radiação.....	30
4.2. Variações sazonais dos fluxos durante o período diurno	33
4.2.1. Fluxos de CO ₂	33
4.2.2. Fluxos de calor latente	34
4.2.3. Fluxos de calor sensível.....	35
4.2.4. Partição do saldo de radiação em fluxos de calor latente e calor sensível	35
4.2.5. Razão de Bowen.....	37
4.3. Variação noturna dos fluxos de CO ₂	37
4.4. Relações de dependência entre os fluxos de CO ₂ , calor latente, calor sensível e as variáveis meteorológicas.....	39
5. CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Principais famílias, gêneros e número de espécies de manguezais	5
2 Taxas fotossintéticas encontradas por MEHLIG (2001), em condições naturais e com luz artificial	10
3 Mudança na área coberta por florestas nas regiões boreal, temperada e tropical em 1850 e 1980.....	12
4 Relação das variáveis meteorológicas coletadas na estação meteorológica automática com a identificação dos respectivos sensores	18

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Distribuição geográfica dos manguezais (HOGARTH, 1999).....	4
2 <i>Rizophora mangle</i> (Fonte: PROJETO ECOBIOMA-LBA (A); e RODRIGUES, 2005).....	6
3 <i>Avicennia shaveriana</i> (Fonte: Nagib Paulo de Souza)	6
4 <i>Laguncularia racemosa</i> (Fonte: Nagib Paulo de Souza)	6
5 Perfil da orla no Noroeste da Austrália, segundo TOMLINSON (1996).....	7
6 Foto aérea de parte da degradação do manguezal de Bragança-PA (Fonte: Folha do Mangue, 2002, Projeto MADAM).....	8
7 Concentração de carbono ao longo dos anos (Keeling e Whorf, 2001)	12
8 Localização geográfica do município de Bragança, e a torre micrometeorológica (LARA, 2003; e WESSEL e SMITH, 1996)	16
9 Torre micrometeorológica sobre a dossel do ecossistema de manguezal (COSTA, 2002)	18
10 <i>Datalogger</i> CR10X Campbell Scientific	19
11 Piranômetro modelo SP-LITE.....	19

	Página
12 Saldo de Radiação Q.7.1	20
13 Pluviógrafo modelo CS 700-L.....	20
15a Abrigo do sensor HMP45 c.....	21
!5 b Sensor HMP45C.....	21
16 Anemômetro modelo 03001-Wind Sentry, 03001 Anemometer and Vane, 03101 Anemometer.....	21
17 Detector fotovoltaico de silício.....	22
18 Sensor de pressão PDCR 1830	22
19 Sonda de temperatura.....	22
20 Edibox.....	24
21 Anemômetro Sônico.....	24
22 Visualização do programa Edire.....	24
23 Distribuição da precipitação para o período de estudo de novembro de 2002 a setembro de 2003.....	27
24 Variação diurna dos fluxos de CO ₂ e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR_30 m), no período de novembro de 2002 (a), dezembro 2002 (b), janeiro 2003 (c), fevereiro 2003(d), março 2003 (e) a abril 2003 (f).....	28
25 Variação diurna dos fluxos de CO ₂ e radiação fotossinteticamente ativa (PAR_ 30 m) nos meses de maio 2003 (g), junho 2003 (h), julho (i) e agosto de 2003 (j)	29
26 Variação média diurna dos fluxos de CO ₂ e da radiação fotossinteticamente ativa, de novembro de 2002 a agosto de 2003.....	29
27 Variação sazonal dos fluxos de CO ₂ e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR_30 m) para todo o período, de novembro de 2002 a agosto de 2003.....	30
28 Variação diurna dos fluxos de calor latente, calor sensível e saldo de radiação nos meses de novembro 2002 (a), dezembro 2002 (b), janeiro de 2003 (c), fevereiro de 2003 (d), março 2003 (e) e abril de 2003 (f).....	31

	Página
29	Varição diurna dos fluxos de calor latente, calor sensível e saldo de radiação nos meses de maio de 2003 (e), junho 2003 (f), julho 2003 (g) e agosto de 2003 (h) 32
30	Varição média diurna do Saldo de radiação (Rn), Calor latente (LE) e calor sensível para todo o período de novembro de 2002 a agosto de 2003..... 32
31	Varição sazonal dos fluxos de CO ₂ do dia juliano 305, correspondente a (novembro 2002) ao dia juliano 272 (setembro de 2003) 34
32	Varição sazonal dos fluxos de calor do dia juliano 305, correspondente a (novembro 2002) ao dia juliano 272 (setembro de 2003) 35
33	Varição sazonal dos fluxos de calor sensível do dia juliano 305, correspondente a (novembro 2002) ao dia juliano 272 (setembro de 2003) 36
34	Varição sazonal da partição do saldo de radiação em fluxos de calor latente e calor sensível 36
35	Varição média sazonal da razão de Bowen 38
36	Varição média noturna das taxas de respiração e a temperatura do ar para todo o período..... 38
37	Varição sazonal das taxas de respiração e a temperatura do ar para todo o período 39
38	Relação de dependência entre os fluxos de CO ₂ , o saldo de radiação, a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação solar global 40
39	Relação de dependência entre os fluxos de calor sensível, o saldo de radiação, a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação solar global..... 41
40	Relação de dependência entre os fluxos de calor latente, o saldo de radiação, a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação solar global..... 42

LISTA DE SÍMBOLOS

H	fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$).
LE	fluxo de calor latente ($W m^{-2}$).
R_n	saldo de radiação ($W m^{-2}$).
T	temperatura do ar ($^{\circ}C$).
F _c	fluxo de CO ₂
PAR _{30 m}	radiação Fotossinteticamente ativa a 30 m
CO ₂	dióxido de carbono
LBA	"The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia"
Ω	ohm (voltagem por Ampère)

LISTA DE UNIDADES

m	metro
s	segundo
W	wWatt
kPa	quilo Pascal
h	hora
m	metro
km	quilômetro
mm	milímetro
Hz	hertz
cm	centímetro
s	segundo
μmol	micromol
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
ppm	parte por milhão
W	watt

RESUMO

ANDRADE, Vanda Maria Sales de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2005. **Fluxos de CO₂, vapor d'água e de energia em um ecossistema de manguezal em Bragança-PA.** Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Conselheiros: Antonio Carlos Lôla da Costa e José Eduardo Macedo Pezzopane.

Medições dos fluxos de CO₂, calor latente e calor sensível foram feitas no ecossistema de manguezal, em Bragança-PA, durante o período de novembro de 2002 a agosto de 2003. Os objetivos do presente trabalho foram quantificar as magnitudes dos fluxos de CO₂, vapor d'água e energia em um ecossistema de manguezal e analisar as suas variações diárias e sazonais com base em variáveis meteorológicas pertinentes. As espécies de mangue predominantes são mangue-vermelho (*Rhizophora racemosa*) e mangue-preto (*Avicennia germinans*). Os fluxos de CO₂ e de energia foram medidos usando-se o sistema *Edisol*, de covariância dos vórtices turbulentos. Essas informações foram complementadas com medições do saldo de radiação, radiação solar global, radiação fotossinteticamente ativa, precipitação pluvial, temperatura do ar e do solo, umidade relativa e direção e velocidade do vento, obtidas por uma estação meteorológica automática. Os fluxos de CO₂, calor latente e calor sensível apresentaram variações diárias e sazonais bem caracterizadas. Esses fluxos apresentaram valores máximos diários em torno

do meio dia, acompanhando aproximadamente as variações do saldo de radiação. Sazonalmente os fluxos de CO₂ e de calor latente apresentaram valores máximos na estação chuvosa (junho) enquanto os fluxos de calor sensível foram maiores durante a estação menos chuvosa. Os valores médios dos fluxos de CO₂, calor latente e calor sensível no período estudado foram, respectivamente, - 11,51 μmol.m⁻².s⁻¹, 192 W.m⁻² e 177 W.m⁻². A partição do saldo de radiação em fluxo de calor latente apresentou um valor médio de 0,40, com os menores valores em novembro, com uma média de 0,32, enquanto os maiores valores dessa fração ocorreram em junho, com uma média de 0,46. A partição do saldo de radiação em fluxo de calor sensível apresentou um valor médio de 0,38, variando de 0,44 em novembro a 0,27 em maio. A partição dos componentes do balanço de energia, expressa pela razão de Bowen, variou de 0,72 às 9 h, aumentando até atingir um máximo de 1,03, às 13h30 e decrescendo até 0,82, às 16 h. A radiação solar global, o saldo de radiação e a radiação fotossinteticamente ativa foram as variáveis mais fortemente correlacionadas com esses fluxos. A taxa média de respiração do ecossistema de manguezal, durante à noite, no período estudado, foi de 4,78 μmol.m⁻².s⁻¹. As maiores taxas de respiração foram observadas durante o período de transição (junho) que é a época em que a temperatura do ar e do solo são mais elevadas, ilustrando a relação de dependência entre a respiração e a temperatura.

ABSTRACT

ANDRADE, Vanda Maria Sales de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2005. **CO₂, water vapor and energy fluxes at a mangrove ecosystem in Bragança-PA.** Adviser: José Maria Nogueira da Costa. Committee members: Antonio Carlos Lôla da Costa and José Eduardo Macedo Pezzopane.

Measurements of carbon dioxide, latent heat and sensible heat fluxes were made at a mangrove ecosystem, in Bragança-PA, during the period of November 2002 to August 2003. The objectives of this work were to quantify the magnitudes of the fluxes of CO₂, latent heat and energy at a mangrove ecosystem, and to analyze the diurnal and seasonal variations based on pertinent meteorological variables. The predominant mangrove species are the the red mangrove (*Rhizophora racemosa*) and the purple mangrove (*Avicennia germinans*). The CO₂ and energy fluxes were measured using the eddy covariance EdiSol system. These informations were supported with measurements of net radiation, global solar radiation, photosynthetic active radiation, rainfall, air and soil temperature, relative humidity and wind speed and direction obtained by an automatic weather station. The fluxes of CO₂, latent heat and sensible heat showed diurnal and seasonal variations very well characterized. These fluxes showed maximum diurnal values around midday, following approximately the variations in net radiation. In regard to the seasonal variation, the carbon dioxide and latent heat fluxes showed peak values in the

rainy season (February to May) while the sensible heat fluxes were higher during the less rainy season. The mean values of CO₂, latent heat and sensible heat fluxes during the whole period were – 11.51 μmol.m⁻².s⁻¹, 192 W.m⁻² and 177 W.m⁻², respectively. The net radiation partition in latent heat flux averaged 0,4, with the lower values occurring in November averaged 0.32, while the higher values of that fraction occurred in June, averaged 0,46. The partition of net radiation in sensible heat flux averaged 0.38, ranging from 0.44 in November to 0.27 in May. The partition of the energy balance components based on the Bowen ratio, ranged from 0.72 at 9h, increasing until a maximum of 1.03 was reached at 13h30, and decreasing toward 0.82 at 16h. The variables more strongly correlated with these fluxes were the global solar radiation, net radiation and photosynthetic active radiation. The average ecosystem respiration rate, at night, during the studied period, was 4.98 μmol.m⁻².s⁻¹. The higher respiration rates were observed during the less rainy period, which is the time in which the air and soil temperature are greater, suggesting the dependence between respiration and the temperature.

1. INTRODUÇÃO

Os manguezais constituem um dos ecossistemas mais importantes e vulneráveis do Brasil. A dinâmica desse ecossistema mudou consideravelmente durante o século XX, devido às mudanças no uso da terra, que ainda deverão continuar no futuro, com a expansão de áreas cultivadas, pastagens, sistemas agro-florestais e corte de árvores. Tais mudanças influenciam o clima local alterando os fluxos superficiais de energia, carbono e gases-traço.

Medições recentes dos gases atmosféricos sugerem a importância dos ecossistemas na captura do carbono atmosférico, que consiste na absorção de CO₂ à medida que a vegetação cresce e aumenta sua biomassa. Torna-se, portanto, fundamental, a realização de estudos sobre os processos de troca de CO₂, vapor d'água e de energia entre a atmosfera e ecossistemas tropicais, como o manguezal, em uma ampla faixa de condições ambientais, para se compreender como as alterações do uso da terra afetam essas trocas, contribuindo para o estabelecimento de políticas que atendam as necessidades da crescente população e que minimizem os impactos sobre o clima local e regional.

Vários estudos têm sido publicados sobre os fluxos de CO₂, vapor d'água e energia em florestas tropicais nativas, porém poucas medições são disponíveis sobre esses fluxos para o ecossistema de manguezal. Medições de longo prazo desses fluxos poderão ser utilizadas na caracterização das

variações diurnas, sazonais e interanuais, além de serem essenciais para se testar e aperfeiçoar modelos ecofisiológicos para esse ecossistema. Atualmente um grande número de pesquisas sobre a quantificação dos fluxos de CO₂ e de energia entre a atmosfera e os ecossistemas terrestres estão sendo realizados, não só para avaliar a situação atual desses ecossistemas, mas também analisar as suas variações ao longo do tempo. Esses estudos estão tendo prioridade no âmbito do LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia).

Os resultados dessa pesquisa fazem parte do projeto ECOBIOMA (Medições, análises e simulações da Variabilidade diária sazonal, anual e interanual dos ciclos de energia, água carbono e nitrogênio em ecossistemas de manguezal, floresta e de agricultura na Região amazônica) que é um projeto do LBA, e que consiste de uma cooperação interinstitucional entre a Universidade Federal de Viçosa (Departamento de Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Pará (Departamento de Meteorologia), Museu Paraense Emílio Goeldi (Departamento de Ecologia), University of Edinburgh (Institute of Ecology and Resource Management) e Oxford University.

O presente trabalho teve como objetivos quantificar as magnitudes dos fluxos de CO₂, vapor d'água e energia em um ecossistema de manguezal e analisar as suas variações diárias e sazonais com base em variáveis meteorológicas pertinentes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização dos manguezais

Os manguezais constituem um dos ecossistemas mais importantes e vulneráveis do Brasil. São sistemas ecológicos, costeiros e tropicais, dominados por espécies vegetais típicas, adaptadas a um substrato periodicamente inundado, com grande variação de salinidade, onde a grande riqueza biológica desse ecossistema faz com que essas áreas sejam grandes berçários naturais. Por isso, são considerados um dos ecossistemas mais produtivos do Planeta (SCHAEFER-NOVELLI et al., 2000).

Segundo HOGARTH (1999), os mangues são exclusivamente tropicais. A Figura 1 ilustra a distribuição geográfica dos manguezais. O desenvolvimento dos manguezais, segundo HOGARTH (1999), depende de requisitos básicos como: a) altas temperaturas (média mensal mínima maior que 20°C, e uma amplitude anual inferior a 5°C); b) a costa litorânea livre da ação de ondas e marés violentas; c) aluvião fino, particulado, constituído por silte e argila fina, rica em matéria orgânica; e d) presença de água salgada. Essas condições são, geralmente, inadequadas para a maioria das plantas e espécies vegetais, mostrando as características de adaptação das espécies de manguezais para sobreviverem em tais condições.

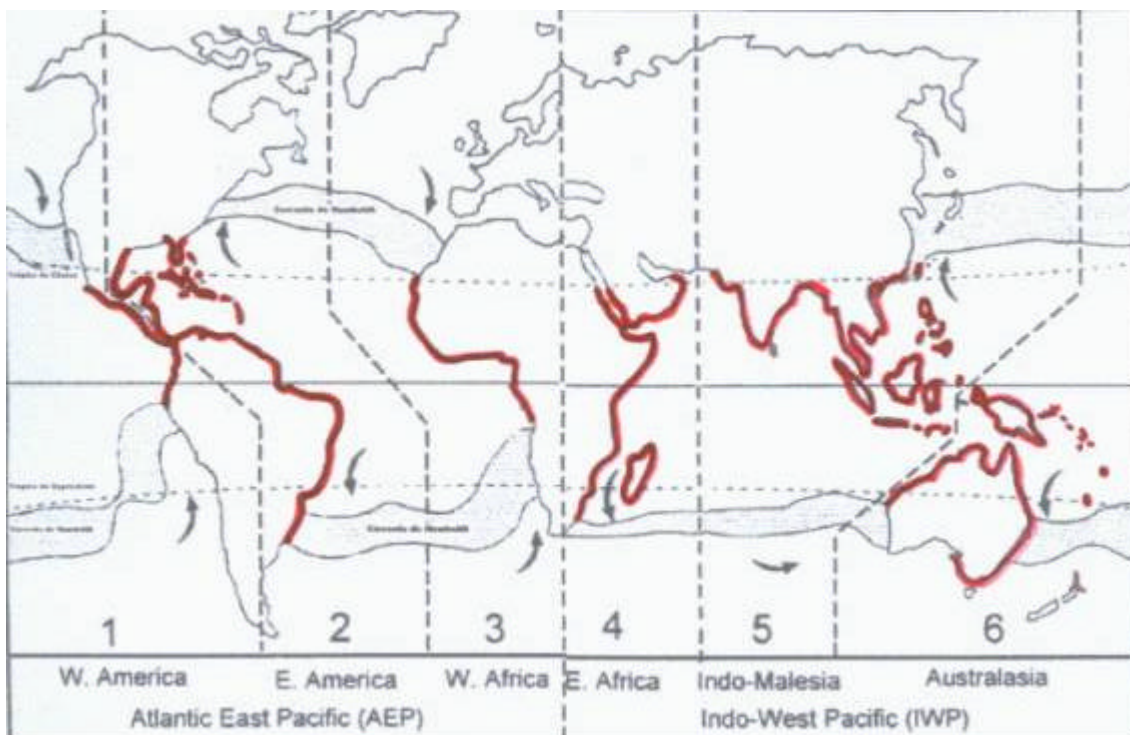


Figura 1 – Distribuição geográfica dos manguezais nas costa dos continentes marcadas em linhas vermelhas (HOGARTH, 1999).

As florestas de mangue prosperam em zonas subtropicais da África, da Ásia e das Américas. Elas cobrem cerca de 25% dos litorais tropicais. As florestas de mangue estão entre os sistemas biologicamente mais diversos e produtivos do mundo. Elas fornecem alimentos e abrigo a várias espécies e nutrientes ao meio ambiente marinho (QUART, 2002).

Segundo TOMLISON (1986), as 54 principais espécies de manguezais estão subdivididas em 20 gêneros e 16 famílias, conforme apresentado na Tabela 1. Porém, de 30 espécies que representam a maior componente da comunidade do manguezal, 25 delas correspondem somente a duas famílias: *Avicenniaceae* e *Rhizophoraceae*, que dominam as comunidades de todo o mundo.

No Brasil a área estimada dos manguezais é de 10.000 a 25.000 km² (GEO-BRASIL, 2002), e de acordo com SILVA (2002), as seis espécies mais comuns de manguezais no Brasil pertencem a três gêneros: *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*

Tabela 1 – Principais famílias, gêneros e número de espécies de manguezais

Família	Gênero	Número de espécies
Maiores Componentes:		
<i>Avicenniaceae</i>	<i>Avicennia</i>	8
<i>Combretaceae</i>	<i>Laguncularia</i>	1
	<i>Lumnitzera</i>	2
<i>Palmae</i>	<i>Nypa</i>	1
<i>Rhizophoraceae</i>	<i>Bruguiera</i>	6
	<i>Ceriops</i>	2
	<i>Kandelia</i>	1
	<i>Rhizophora</i>	8
<i>Sonneratiaceae</i>	<i>Sonneratia</i>	5
Menores Componentes:		
<i>Bombacaceae</i>	<i>Camptostemon</i>	2
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Excoecaria</i>	2
<i>Lythraceae</i>	<i>Pemphis</i>	1
<i>Meliaceae</i>	<i>Xylocarpus</i>	2
<i>Myrsinaceae</i>	<i>Aegiceras</i>	2
<i>Myrtaceae</i>	<i>Osbornia</i>	1
<i>Pellicieraceae</i>	<i>Pelliciera</i>	1
<i>Plumbaginaceae</i>	<i>Aegialitis</i>	2
<i>Pteridaceae</i>	<i>Acrostichum</i>	3
<i>Rubiaceae</i>	<i>Scyphiphora</i>	1
<i>Sterculiaceae</i>	<i>Aegialitis</i>	3

Fonte: TOMLINSON (1986).

Segundo AMADOR (1997), a ocorrência desses três principais gêneros varia de acordo com a característica relacionada com a sua localização. Assim, o gênero *Rhizophora* é encontrado em locais em que a água é mais profunda durante a maré alta, ocupando a zona mais próxima do mar em que as inundações são mais freqüentes (Figura 2). O gênero *Avicennia* tem sua ocorrência restrita às áreas mais afastadas do mar e, conseqüentemente, com menor freqüência de inundações (Figura 3). Finalmente, o gênero *Laguncularia* é encontrado em áreas mais afastadas do mar, como a *Avicennia*, sugerindo um período livre de perturbações das marés.

As marés constituem uma das subsidia de energia importante que incidem sobre as áreas dos manguezais. As regiões que apresentam maior desenvolvimento do sistema de manguezal geralmente possuem maré de grande amplitude. A caracterização do regime das marés também é importante na descrição das áreas ocupadas por bosques presentes nos manguezais, segundo SCHAEFER-NOVELLI (1995).

Os substratos dos manguezais possuem muita matéria orgânica, geralmente de cor cinza escura, rica em bactérias (Figura 4), (SCHAEFER-NOVELLI, 1995).



Figura 2 – *Rizophora mangle* (Fonte: PROJETO ECOBIOMA-LBA; e (ALMEIDA, M.R, 2004).



Figura 3 – *Avicennia shaveriana*.
(Fonte: SOUZA, N. P)



Figura 4 – *Laguncularia racemosa*.
(Fonte: <http://www.nhmi.org/mangroves>)

2.2. Zonação das espécies de manguezais

As diferentes espécies vegetais de mangue estão distribuídas no manguezal em zonas, de acordo com o nível d'água. Esse tipo de distribuição é chamado de zonação. Para DAVIS (1940), cada zona representa uma fase na sucessão, progredindo por meio da acumulação do solo, em direção a uma floresta terrestre. Para outros autores, como THOMAS (1967), LUGO SNEDAKER (1974) e FEEMA (1979), zonação do mangue são zonas em estado dinâmico, migrando em direção ao mar. Essa zonação seria então uma reação do ecossistema às interferências externas e não a uma seqüência temporal induzida pelas próprias plantas. Para FEEMMER (1979), a zonação do manguezal depende ainda da salinidade, das marés, do tipo de substrato e do grau de energia do local, ou seja, se o local é ou não protegido da ação das ondas, marés e rios.

As marés são o principal mecanismo de penetração de águas salinas. A ação delas varia ao longo das áreas de manguezal; algumas zonas são inundadas diariamente, enquanto outras são atingidas apenas algumas vezes, em determinadas épocas, pelas grandes preamares. A variação na freqüência de inundação do manguezal pelas marés pode acarretar diferenças nas concentrações de sal no sedimento, tanto em relação à distância ao mar, como em relação às de água doce (SCHAEFER-NOVELLI, 1995).

Segundo HOGARTH (1999), zonação pode ser o produto ecológico da interação entre espécies, em comunidades, e a seqüência dessas espécies em linhas, no espaço correspondente, a uma sucessão natural dessas espécies (Figura 5).

A salinidade é um parâmetro de grande importância, uma vez que pode interferir no desenvolvimento das plantas, na altura das árvores e no renascimento das folhas. A *Rhizophora mangle*, segundo SCHAEFER-NOVELLI (1995), é o gênero menos tolerante à presença do sal e coloniza lugares onde a água é mais profunda durante a maré alta. A *Avicennia* (mangue-preto) é o gênero mais tolerante à salinidade; tem sua ocorrência restrita às áreas do manguezal mais afastada do mar e, conseqüentemente, com menor freqüência de inundação.

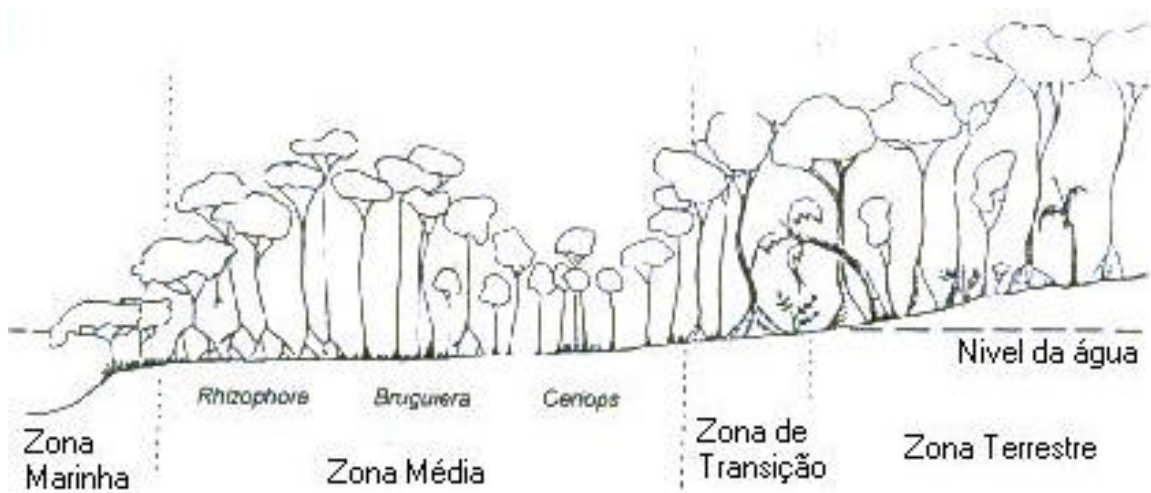


Figura 5 – Perfil da orla no Noroeste da Austrália, segundo TOMLISON (1996).

2.3. O manguezal de Bragança

O manguezal de Bragança-PA abrange uma área de aproximadamente 120 km². Ultimamente, essa área vem sofrendo grande ameaça de desmatamento, principalmente a partir de 1974, com a construção da estrada que liga a cidade de Bragança à praia de Ajuruteua (CABRAL, 1997; CARVALHO, 2000). Com a construção da estrada houve uma quebra, uma interrupção na água que abastecia todo esse mangue com a quebra pela passagem da estrada um dos lados do mangue ao longo da estrada foi sendo degradando gradualmente. O impacto já causado, associado à continua exploração desordenada, resultou em uma extensa área degradada, como pode ser visualizado na Figura 6.

O manguezal de Bragança-PA é caracterizado por apresentar um número reduzido de espécies: *Rhizophora mangle*, conhecido como mangue-vermelho; *Avicennia germinans*, como mangue-preto ou no popular como sirúba a *Laguncularia racemosa* como mangue-branco. A altura média das árvores é de, aproximadamente, 20 m (RIBEIRO 2001).

Com relação à salinidade, VAQUERA et al. (1999), citam que a vegetação do manguezal bragantino exhibe padrões característicos de zoneamento que, basicamente, reflete a adaptação das várias espécies às diferentes condições de salinidade.



Figura 6 – Foto aérea de parte da degradação do manguezal de Bragança-PA (Fonte: Folha do Mangue, 2002, Projeto MADAM).

Segundo MEHLIG (1997), o aparecimento de folhas novas e a queda de folhas ocorrem durante o ano inteiro em todas as espécies, assim como a formação de flores e frutos, embora a intensidade seja variável. O mesmo autor afirma que a formação de folhas de *Rhizophora* aparece com maior intensidade do que nas espécies dos outros gêneros. A *Avicennia* e a *Laguncularia racemosa* deixam cair os frutos um pouco mais tarde, enquanto o aparecimento de folhas novas ocorre, principalmente, no fim da estação chuvosa.

A relação entre os processos do ciclo biológico e climático das flores e dos frutos, em todas as espécies, indica uma adaptação a condições diferentes nas épocas chuvosa e seca. Segundo MEHLIG (2001), na época chuvosa, durante o dia, a respiração pode superar a fotossíntese sobre o dossel, predominantemente nas *Rhizophora*. O ponto de compensação da luz em *Avicennia* e *Rhizophora* está entre 13 e 18 $\mu\text{mol.fotons. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, onde encontrou também as taxas fotossintéticas em condições naturais (MEHLIG, 2001) (Tabela 2)

A influência da topografia na variação da cobertura e nos aspectos pedológicos, em ecossistemas de manguezal, no Estado do Pará, foi descrita por PROST et al. (2001) e BERRÊDO (2004).

Trabalho desenvolvido por RUIVO et al (2004) caracterizou o solo de Bragança como sendo um solo consistente quanto à textura; foram encontrados solos caracterizados como muito argilosos e arenosos. Na

Tabela 2 – Taxas fotossintéticas encontradas por MEHLIG (2001), em condições naturais.

Espécie	Condições naturais
<i>Laguncularia racemosa</i> (Folhas e Arbustos)	> 16 $\mu\text{.mol.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$
<i>Rhizophora</i> (folhas da copa)	13,6 $\mu\text{.mol.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$
<i>Avicennia</i>	13,3 $\mu\text{.mol.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$
<i>Rhizophora</i> (com sombreamento)	8 $\mu\text{.mol.m}^{-2}\text{.s}^{-1}$

composição mineralógica foram encontradas caulinita e halita. A proporção orgânica do solo é constituída por restos de folhas, galhos e algas; o pH da água encontrado foi de característica ácido a moderadamente ácido.

A mudança no uso da terra, mudou a dinâmica do ecossistema de manguezal, mudança causada pelo homem deverá continuar no futuro, com a expansão de áreas cultivadas, pastagens, sistemas agro-florestais e corte de árvores. Essas mudanças influenciam o nos fluxos superficiais de energia, carbono e gases-traço.

Segundo HOUGHTON (1999), o desmatamento na década de 1980 pode ter contribuído com um quarto de todas as emissões antropogênicas de CO₂. Na região amazônica, a atividade agrícola de forma não-sustentável e a extração madeireira continuam sendo os maiores problemas, comprometendo uma das maiores diversidades biológicas do mundo.

2.4. Ciclo do carbono

O ciclo global do carbono é o ciclo biogeoquímico mais importante. Esse ciclo pode ser dividido em componentes geológico e biológico. Segundo HARRISON (2003), o componente biológico desempenha um importante papel no movimento do carbono entre a superfície da terra, os oceanos e a atmosfera, por meio dos processos de fotossíntese e respiração.

O aumento na concentração de CO₂ na atmosfera consiste em uma mudança crítica nas características da atmosfera. Segundo AUBINET et al (2001) o uso de combustíveis fósseis e o desmatamento é o que explica a maioria do aumento em longo prazo da concentração de CO₂ na atmosfera,

mas os processos que determinam a dinâmica do ciclo do carbono global permanecem em grande parte desconhecido. Segundo AGUILAR (2001) a nova condição da atmosfera pode alterar as condições existente entre as plantas e o meio ambiente.

Segundo AUBINET et al (2001), SCHIMEL (1995) e HOUGHTON et al. (1998), 20% do CO₂ antropogênico lançado é absorvido pela biosfera terrestre ou pelos oceanos, ou pelo solo, ou um pouco da combinação dos três.

Estudos feitos por PILEGAAR et al. (2001) indicaram que grande quantidade de CO₂ é absorvida pelos ecossistemas terrestres.

Os maiores tipos de uso da terra que afetam as trocas e o armazenamento do CO₂ são a degradação e a transformação de floresta em pastagem e áreas cultivadas; essa seqüência de recuperação mostra o efeito sobre o balanço de carbono (MALHI et al, 1999).

Registros contínuos da concentração de CO₂ atmosférico feitos no observatório de Mauna Loa (Hawaii) mostram que, atualmente, a concentração de CO₂ na atmosfera é de, aproximadamente, 370 partes por milhão (ppm), um aumento de mais de 30% desde 1750. Essa evolução é bem caracterizada por KEELING e WHORF (2001), que utilizaram dados desde 1959 até 2001, como pode ser observado a Figura 8.

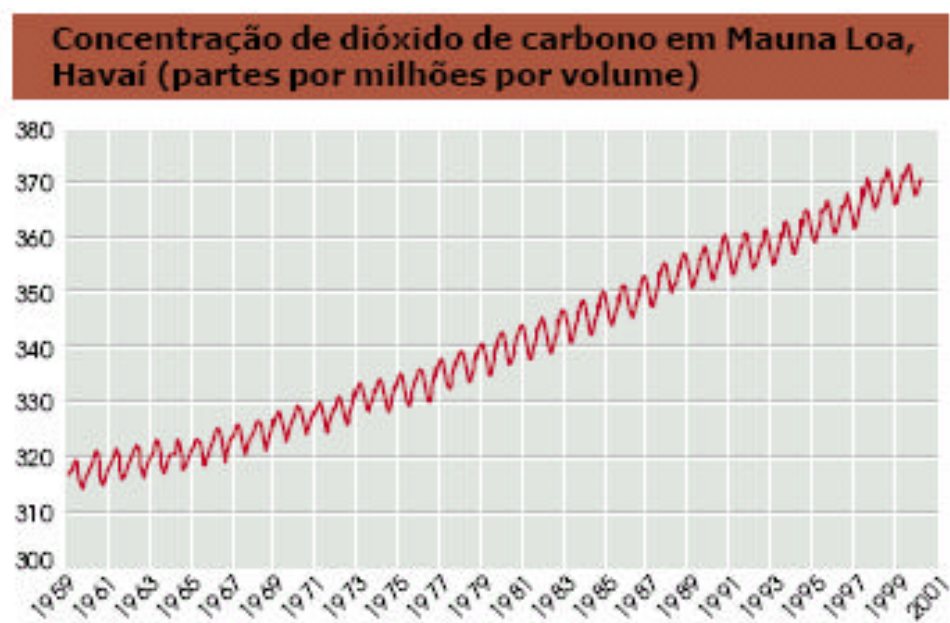


Figura 8 – Concentração de carbono ao longo dos anos (KEELING e WHORF 2001).

Estudos de COSTA (2000), em floresta tropical da Amazônia, mostraram uma concentração do carbono de 367 ppm.

A floresta tropical da Amazônia é um dos ecossistemas mais importantes na terra, com 45% de todas as florestas tropicais do mundo, e armazena 40 % do carbono residente na vegetação (MALHI e GRACE, 2000). Essa grande área vem sofrendo com as ações do homem, como o desflorestamento e a queima de biomassa os quais vêm causando mudanças significativas, todavia ainda localizadas, nos ciclos da água, da energia, do carbono e dos nutrientes, assim, como na composição atmosférica (NOBRE, 2002).

A importância da utilização da modelagem, ao lidar com as questões, citadas anteriormente é bastante conhecida pelos pesquisadores, por outro lado, a compreensão dos mecanismos envolvidos e da calibração dos respectivos modelos com as medições de campo dos fluxos de massa e de energia é de fundamental importância. Infelizmente, não existem longas séries de dados de fluxos de CO₂, vapor d'água e energia nos principais ecossistemas terrestres que permitam uma avaliação adequada das variáveis ambientais na magnitude desses fluxos.

Um programa de medições contínuas de fluxos de CO₂ e de energia no ecossistema de manguezal foi iniciado em 2000 pelo projeto ECOBIOMA, projeto o qual é parte integrante do projeto LBA, e consiste de uma cooperação interinstitucional entre a Universidade Federal de Viçosa (Departamento de Engenharia Agrícola), a Universidade Federal do Pará (Departamento de Meteorologia), o Museu Paraense Emílio Goeldi (Departamento de Ecologia) e a University of Edinburgh (Institute of Ecology and Resource Management), visando a caracterização de ecossistemas amazônicos associados com as medições de fluxos de CO₂, vapor d'água e de energia.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição do sítio experimental

A área de estudo está localizada no município de Bragança-PA, nordeste do Estado do Pará (01° 03' S, 46° 45' W e altitude média de 29 m). O sítio experimental está localizado no interior da floresta de manguezal, aproximadamente 30 km da sede do município de Bragança e a 9 km da Vila de Ajuruteua (litoral). Foi instalada uma torre micrometeorológica, aproximadamente 1 km em linha reta das margens da rodovia e a, aproximadamente, 300 metros das margens do rio Furo Grande (Figura 9).

3.2. Característica da vegetação

As espécies que caracterizam o manguezal desse sítio experimental, segundo RIBEIRO (2001), é do tipo exuberante, com árvores lenhosas e arbustos densos e altos, sendo que a altura média das árvores é de 20 m. Segundo levantamento de SILVA (1997), as espécies predominantes nesse sítio experimental são o mangue-vermelho (*Rhizophora mangle*), Siriúba (*Avicennia germinans*) e o mangue-branco (*Laguncularia racemosa*).

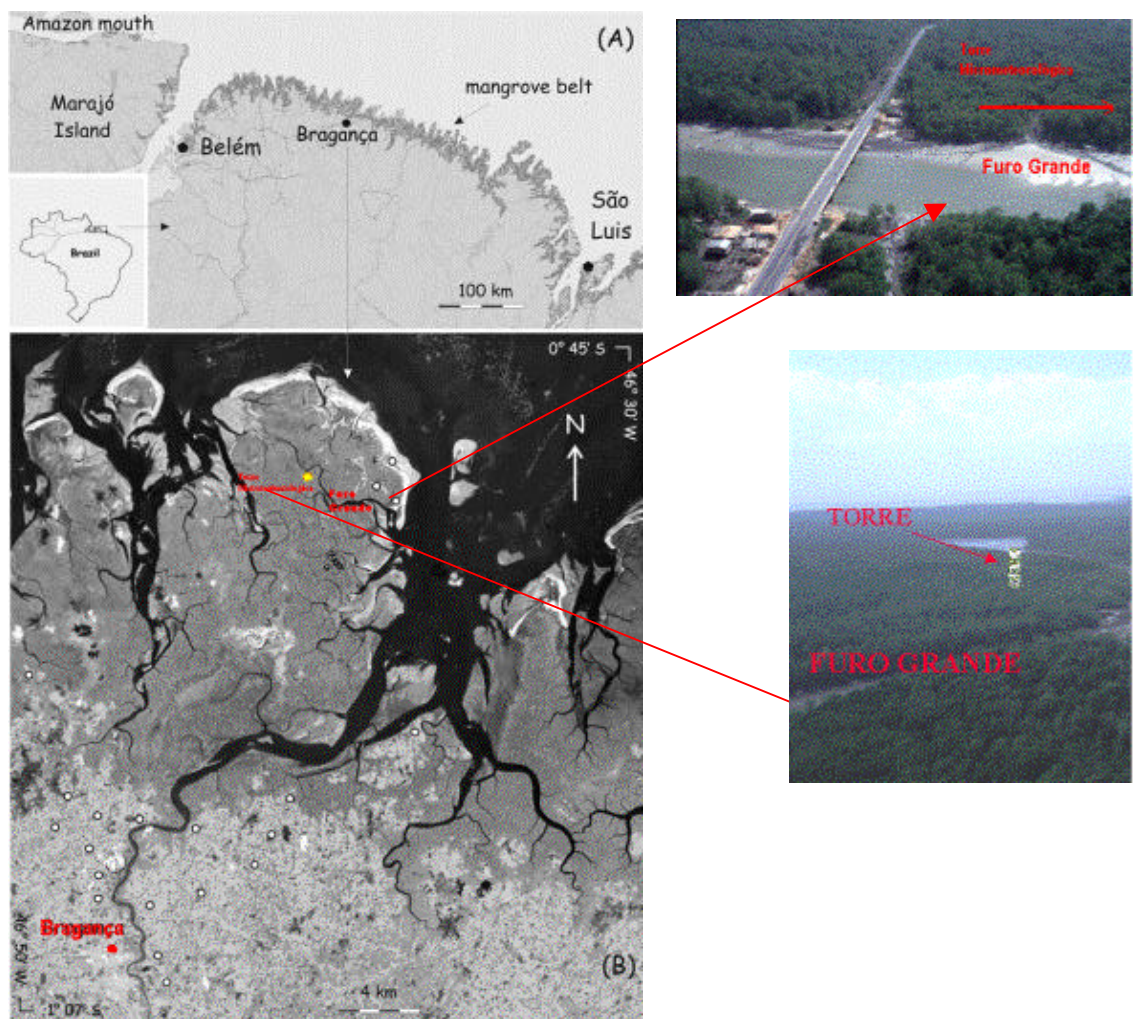


Figura 9 – Localização geográfica do município de Bragança, e a torre micrometeorológica (Fonte: WESSEL & SMITH, 1996; LARA, 2003).

Segundo PROST et al. (2001), há um padrão na vegetação tipo “escada”, com estrato mais ou menos denso, de bosque jovem de *Laguncularia* sp, misto de *Rhizophora* sp e *Avicennia* sp; em seguida, um bosque adulto sobre um substrato mais lamoso, topografia mais elevada, mais compactado e oxidado, características essas que desempenham um papel geomorfológico importante na fixação de sedimentos finos e no estabelecimento de zonas de propagação costeira.

Um estudo preliminar de PROST et al (2001) sobre a produtividade das áreas de manguezais no Nordeste do Estado do Pará caracterizou a espécie *Rhizophora* como a de maior taxa de decomposição, sendo, portanto, a menor responsável pela formação de húmus, fator importante na liberação de nutrientes, e a *Avicennia* como a de menor produtividade com alta taxa de decomposição.

3.3. Solo

Trabalho desenvolvido por RUIVO et al (2004) caracterizou o solo de Bragança como Gleissolo, onde o hidromorfismo é marcante, com um processo específico de formação de solo, sujeito à submersão contínua ou na maior parte do tempo. Quanto à textura, foram encontrados solos muito argilosos, assim como arenosos. As diferenças encontradas das camadas (horizontes do solo) refletem, principalmente, as diferenças na topografia e maturidade do solo.

Na composição mineralógica foram encontradas caulinita e halita. A proporção orgânica do solo é constituída por restos de folhas, galhos e algas; o pH da água encontrado foi de característica ácido a moderadamente ácido.

O ecossistema possui intensa atividade biológica com fragmentos vegetais e de microalgas, predominância de poros muito pequenos e arredondados, os quais , provavelmente, tem muita influência sobre o fluxo gasoso do solo para a atmosfera (RUIVO et al., 2004).

PROST et al. (2001) e RUIVO et al. (2004) destacaram sais no solo; uma indicação direta da salinidade do solo através da condutividade elétrica, onde a posição da cunha salina é, provavelmente, o principal agente controlador do funcionamento do ecossistema.

Segundo RUIVO et al. (2004), as propriedades ligadas à adição de matéria orgânica no sistema: carbono (C) e fósforo (P) apresentam teores mais elevados à superfície, decaindo com o aumento da profundidade, essa variação pode esta relacionada à frequência ou menor permanência das marés nestes locais.

3.4. Torre micrometeorológica

Foi montada uma torre micrometeorológica metálica de 25 m de altura (Figura 10), subdividida em plataformas onde foram instalados os sensores, 'datalogger e o sistema de medição de fluxos de CO₂, vapor d'água, calor sensível e *momentum*. No topo da torre foi instalada uma estação CR10X sistemas de aquisição de dados meteorológica automática marca Campbell, modelo, cujas variáveis meteorológicas são apresentadas na Tabela 4.



Figura 10 – Torre micrometeorológica no interior do ecossistema de manguezal (Fonte: COSTA, 2002).

Tabela 4 – Relação das variáveis meteorológicas coletadas na estação meteorológica automática com a identificação dos respectivos sensores

Medidas	Instrumento Utilizado	Altura
Temperatura do ar (° C)	Temperature Probe HMP45C	27 m
Velocidade do vento (m/s)	Wind Sentry mod. 03001	27 m
Radiação Solar Global (W.m ⁻²)	Pyranometr (Kipp & Zonen)	27 m
Saldo de Radiação (W.m ⁻²)	Net Radiometer Q-7.1	27 m
Umidade relativa do ar (%)	Relative humidity probe HMP 45C	27 m
PAR (Rad.Fotossinteticamente (Ativa) (μmolm ⁻² .s ⁻¹))	LI-190SB quantum sensor	1 m ; 16 m ; 27 m
Direção do Vento	Wind Sentry mod. 03001	27 m
Precipitação	CSI Model CS700- L	27 m
Temperatura do solo	Temperature Probe model 108	5 cm ; 20 cm ; 50 cm Profundidade

3.5. O Datalogger CR10 X

O CR10 é compacto módulo um coletor de dados (Figura 11), totalmente programável e construído em um módulo metálico de alta rigidez mecânica e elétrica. O acesso à programação e ao controle da CR10 é feito por meio de um módulo de teclado/display (CR10KD) ou via comunicação serial (direta ou modem) com um microcomputador, no modo de telecomunicações. Contém entradas analógicas e digitais, o sistema é alimentado por uma fonte de corrente continua com tensão variável uma energia de entrada de 12 volts e possui saída de 5 volts e memória interna de 64 Kbytes.

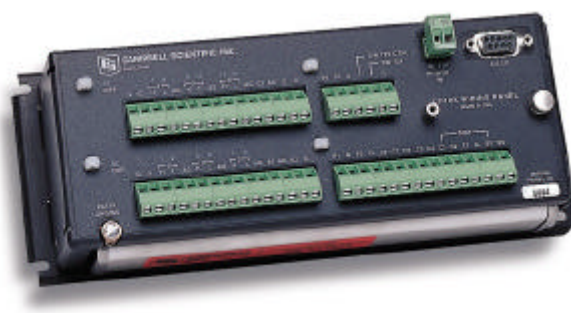


Figura 11 – Datalogger CR10X Campbell Scientific.

Caracterização dos sensores

- *Radiação Solar Global* ($W.m^{-2}$): as medições da radiação solar global foram feitas com um piranômetro modelo SP-LITE, fabricado pela Kipp & Zonen, com elemento sensor constituído de fotodiodo de silício, que responde à radiação na faixa de 0,3 a 4,0 μm (Figura 12).

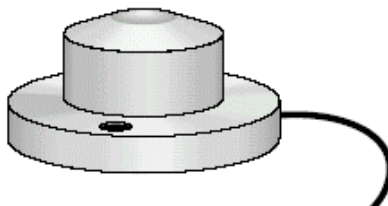


Figura 12 – Piranômetro modelo SP-LITE.

- *Saldo de Radiação Solar* ($W.m^{-2}$): Um sensor de termostato, com medidas da soma algébrica de todas as ondas de radiação, incidente e refletida, tendo como especificação de 60 junções de termostato com baixa resistência elétrica de 4 Ω , para reduzir a suscetibilidade de ruídos (Figura 13).

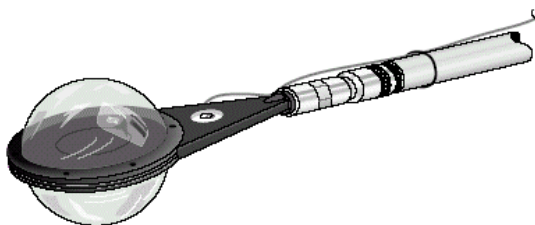


Figura 13. Saldo de Radiação Q-7.1

- *Precipitação Pluvial* (mm): os registros de precipitação foram feitos por um pluviógrafo modelo CS 700-L. Esse modelo é do tipo báscula, desenvolvido para serviços hidrológicos e modificado para uso de *dataloggers*, da Campbell. A captação da chuva é feita por meio do instrumento que tem formato de funil de 7,87" (200 mm). As medidas são feitas por meio de pulsos detectados pelo *dataloggers* e têm faixa de medição de 0 a 500 mm/h (Figura 14).



Figura 14 - Pluviógrafo modelo CS 700-L.

- *Temperatura do Ar (° C) e Umidade Relativa do Ar (%)*: medidos por meio de um higrômetro MODEL HMP45C. O sensor de temperatura e umidade relativa consiste de uma resistência de platina para o detector de temperatura (PRT) e umidade relativa HUMICAP 180 (Figura 15).

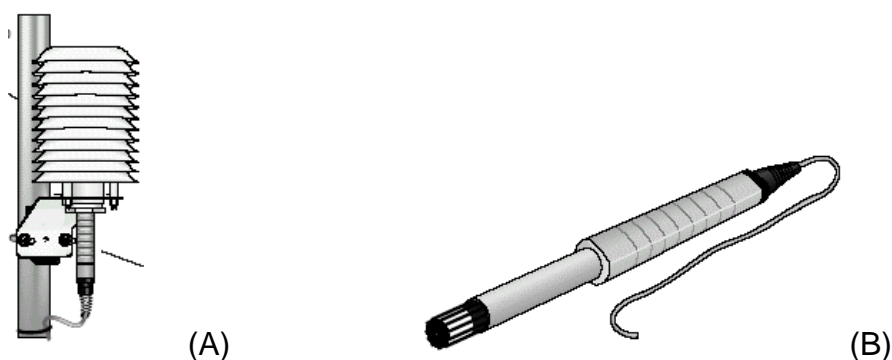


Figura 15 – Higrômetro, abrigo do sensor B (A), Sensor HMP45C (B).

O sensor de temperatura do ar possui uma capacidade de medida que varia de - 40° C a + 60° C.

O sensor de umidade relativa possui um alcance de medida que varia de 0 a 100 %. O sinal de saída de registro dos sensores de temperatura e de umidade relativa é de 0,008 para 1 VDC.

- *Direção e Velocidade do Vento (°) (m s⁻¹) e*: medidos por meio de um anemômetro modelo 03001-Wind Sentry, 03001 Anemometer and Vane, 03101 Anemometer. Esse anemômetro mede a velocidade do vento de 0 a 50 m.s⁻¹ e rajadas de até 60.m.s⁻¹; possui precisão de, aproximadamente, 0,5 m.s⁻¹. (Figura 16).

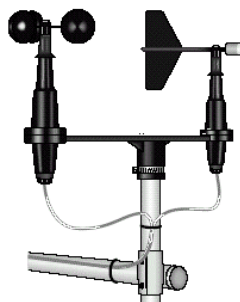


Figura 16 – Anemômetro modelo 03001-Wind Sentry, 03001 Anemometer and Vane, 03101 Anemometer.

- *PAR-Radiação Fotossinteticamente Ativa* ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$): mede a radiação fotossinteticamente ativa por meio de um detector fotovoltaico de silício, com tempo de resposta de 10 μs , assume uma temperatura para operação que varia de -40 a 65°C (Figura 17).

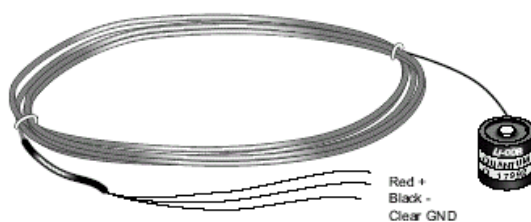


Figura 17 – Detector fotovoltaico de silício.

- *Nível d'água (cm)*: medido por meio de sensor de pressão PDCR 1830, que determina medidas de profundidade por diferença de pressão entre a atmosfera e a profundidade que se deseja encontrar. A faixa de temperatura aceita pelo sensor é de -20°C a 60°C (Figura 18).



Figura 18 – Sensor de pressão PDCR 1830.

- *Temperatura do solo ($^{\circ}$ C)*: a sonda de temperatura usa um termistor para medir temperatura do ar, solo e água. Para medida de temperatura há necessidade apenas de seu aterramento onde a faixa de temperatura varia de -35° C a $+ 50^{\circ}$ C (Figura 19).



Figura 19 – Sonda de temperatura.

3.6. Análise dos dados

Os dados utilizados neste trabalho foram processados e organizados em médias horárias, em base mensal, de novembro de 2002 a setembro de 2003.

O processamento inicial dos dados dos fluxos de massa e de energia foi feito utilizando-se o software do sistema Edisol chamado Edire. Esse *software* tem a flexibilidade de ler a maioria dos formatos de dados brutos de covariância dos vórtices turbulentos. O programa Edire tem recursos gráficos que simplificam o desenvolvimento do processamento das rotinas, facilitando a análise dos dados instantaneamente.

3.7. Sistema de medições dos fluxos e Instrumentação

A técnica de covariância dos vórtices turbulentos (*eddy covariance*) foi utilizada para medir as interações de CO_2 entre a atmosfera e a floresta de mangue. As Figuras 20, 21 e 22 representam esquematicamente todo o sistema, ilustrando os três principais componentes da instrumentação, onde é permitido determinar o fluxo vertical de CO_2 usando o cálculo da covariância entre as flutuações da velocidade vertical do vento (w') e das concentrações (CO_2).



Figura 20. Edibox



Figura 21. Sônico

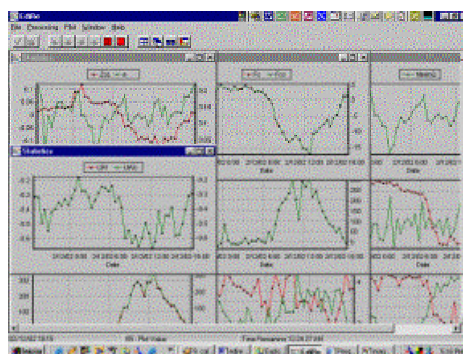


Figura 22. Programa Edire

A velocidade vertical do vento foi determinada pelo anemômetro sônico tridimensional Solent (Figura 21). As concentrações de CO_2 foram determinadas a partir de amostra de ar coletadas próxima ao anemômetro e conduzidas através de um tubo de teflon Dekabon, com 10 m de comprimento e 6 mm de diâmetro, a um fluxo de $6 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ para dentro do analisador infravermelho de gás de resposta rápida LI6262 (LICOR, Lincoln, Nebrask, EUA), onde sinais analógicos de saídas, emitidos pelo analisador de gás infravermelho (IRGA), são enviados ao anemômetro sônico onde é combinado com dados de vento. A saída combinada converte o sinal analógico em digital o qual é transmitido levado para um computador portátil a uma frequência de 21 Hz. Os fluxos são calculados em tempo real, com a utilização do programa EDISOL.

Foi utilizado o sistema *Edisol*, desenvolvido na University of Edinburgh, por JOHN MONCRIEFF et al(1997). O sistema *Edisol* é controlado por um software desenvolvido especificamente para este sistema calcular os fluxos de *momentum*, calor sensível e calor latente e CO_2 em tempo real, Edire (Figura 22). Os fluxos foram determinados a partir das covariâncias calculadas em um período médio de 30 min. Essas informações foram complementadas

com medições do balanço de radiação, precipitação pluvial, temperatura do ar, umidade do ar e direção e velocidade do vento, coletados na estação meteorológica automática.

3.7.1. Anemômetro sônico de três eixos

Para análise das componentes da velocidade do vento em três direções, zonal (u), meridional (v) e vertical (w), foi utilizado um anemômetro sônico de três eixos (Solent A1012R, Gill Instruments, Lymington, UK) (Figura 21). Esse sensor possui três pares de transdutores acústicos, que medem o tempo de trânsito das pulsações acústicas em um intervalo de percurso.

O anemômetro emite um pulso ultra-sônico a cada 1 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. Tendo como resultados de seu processamento as funções eletrônicas de operação como: processamento e análise dos dados brutos, armazenagem e transmissão.

3.7.2. Analisador de gás infravermelho (IRGA)

O analisador de gás infravermelho (IRGA) fornece as concentrações de CO₂ e vapor d'água com um tempo de resposta de 0,1 s. Estas concentrações são baseadas na atenuação da radiação infravermelha (IR), a partir da passagem do ar sobre células que a detectam.

Os fluxos de dióxido de carbono (CO₂) e vapor d'água são medidos com base na diferença da radiação infravermelha através da passagem de duas células de amostra de gás .

A capacidade máxima de escoamento no analisador é de 10 l/min., normalmente observa-se que o gás escoar pelo IRGA com razão de 6 l/min; no entanto, grupos de pesquisadores preferem trabalhar com o aparelho no escoamento máximo, para assegurar que o escoamento é totalmente turbulento naquela amostragem.

Pequenas alterações na pressão atmosférica afetam a calibração do IRGA, sendo necessárias aferições em média a cada 3 dias.

As calibrações do IRGA para a medida dos gases para o CO₂ e H₂O são realizadas com a utilização dos métodos químicos. Para calibrações nas concentrações de vapor d'água ainda pode-se utilizar o cálculo da temperatura do ponto de orvalho. As calibrações para ambos os gases foram efetuadas para a mesma razão de escoamento, no momento em que os fluxos estavam sendo coletados, assim, assegura-se que todas as diferenças de pressões são mantidas iguais durante a operação do instrumento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da Precipitação

Na região amazônica não há estações do ano bem definidas; o que há, entretanto, são períodos de seca bem caracterizados sendo assim possível diferenciar o período chuvoso e menos chuvoso da região. Em Bragança, na área de estudo, foi possível observar a característica dessa distribuição da precipitação ao longo do período em estudo de novembro de 2002 à setembro de 2003, onde de acordo com a (Figura 23) é possível verificar a diferença do período chuvoso considerado como sendo para os meses de (janeiro a maio). Há um período que é considerado de transição observado no mês de junho e seqüencialmente seguido do período considera menos chuvoso de (julho a setembro). A precipitação acumulada foi de 2.711 mm e 128 mm para os períodos aqui considerados como chuvoso e menos chuvoso, respectivamente.

A precipitação sendo um elemento de fundamental de importância para a classificação climática podendo assim classificar aqui o clima da região de estudo segundo THORNTHWAITE & MATHER (1955) como sendo um clima do tipo Awa "a", muito úmido, megatérmico com deficiência de água moderada no período de agosto a dezembro.

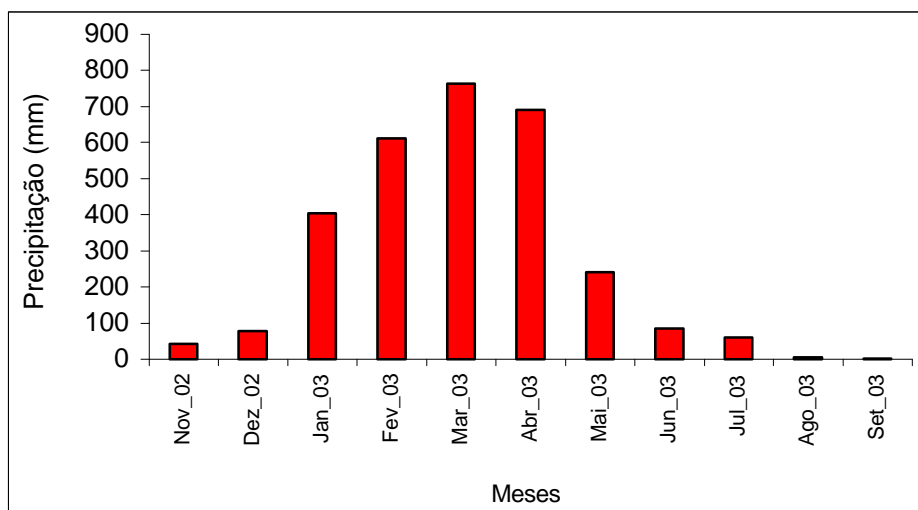


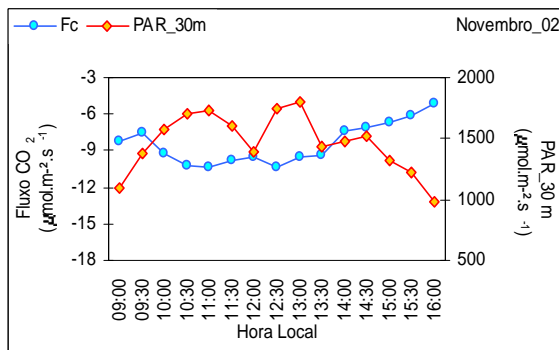
Figura 23 – Distribuição da precipitação para o período de estudo de novembro de 2002 a setembro de 2003.

4.1.1. Variações diurnas dos fluxos

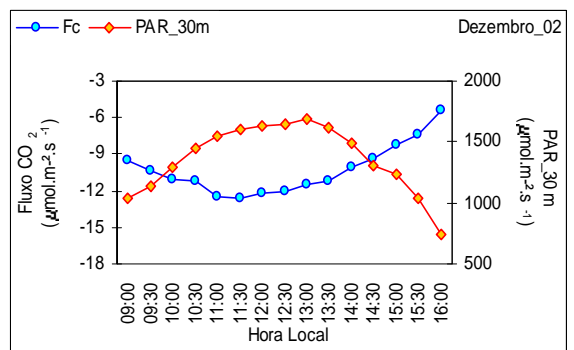
4.1.2. Fluxos de CO₂ e radiação fotossinteticamente ativa

Podem ser visualizadas nas Figuras 24 e 25 variações médias horárias dos fluxos de CO₂ e da radiação fotossinteticamente ativa. A escolha para usar somente medidas de PAR a 30 m de altura se deve ao fato desse sensor estar acima da copa das árvores onde melhor poderia caracterizar essa interação com o fluxo de CO₂ instantaneamente. Essas medidas ocorreram durante o período diurno de 9 às 16 h, para o período de novembro de 2002 a agosto de 2003. Em todos os meses, os fluxos de CO₂ apresentaram uma variação diurna bem caracterizada, acompanhando, aproximadamente as variações da radiação fotossinteticamente ativa. Os picos dos fluxos de CO₂ e da radiação fotossinteticamente ativa ocorreram em torno do meio-dia, sendo que os maiores fluxos de CO₂ ocorreram no mês de maio (mês típico da estação chuvosa), com o valor de $-17,50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ às 12h30.

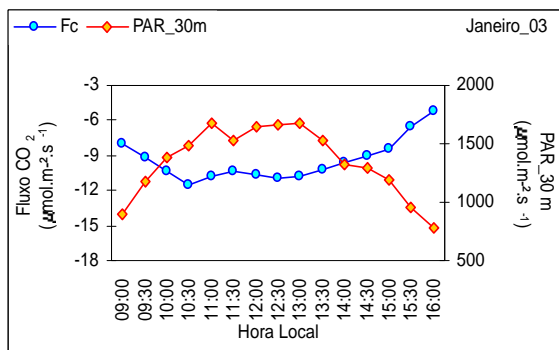
A variação média horária dos fluxos de CO₂ e da radiação fotossinteticamente ativa, durante o período diurno, de novembro de 2002 a agosto de 2003, está apresentada na Figura 26. Os fluxos médios de CO₂ foram de $(-11,5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ enquanto a radiação fotossinteticamente ativa apresentou



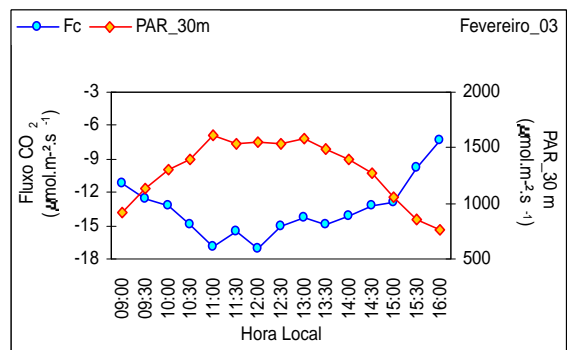
(a)



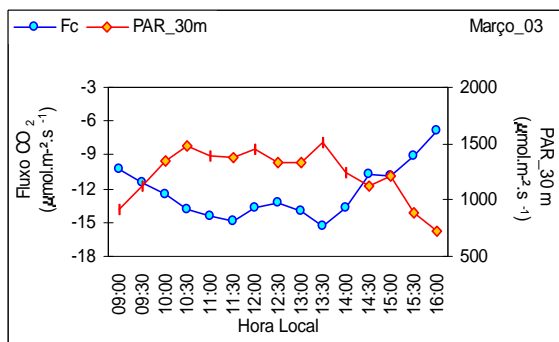
(b)



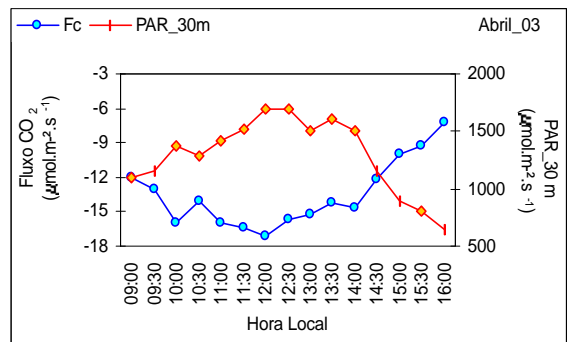
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 24 – Variação diurna dos fluxos de CO₂ e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR_30 m), no período de novembro de 2002 (a), dezembro 2002 (b), janeiro 2003 (c), fevereiro 2003(d), março 2003 (e) a abril 2003 (f).

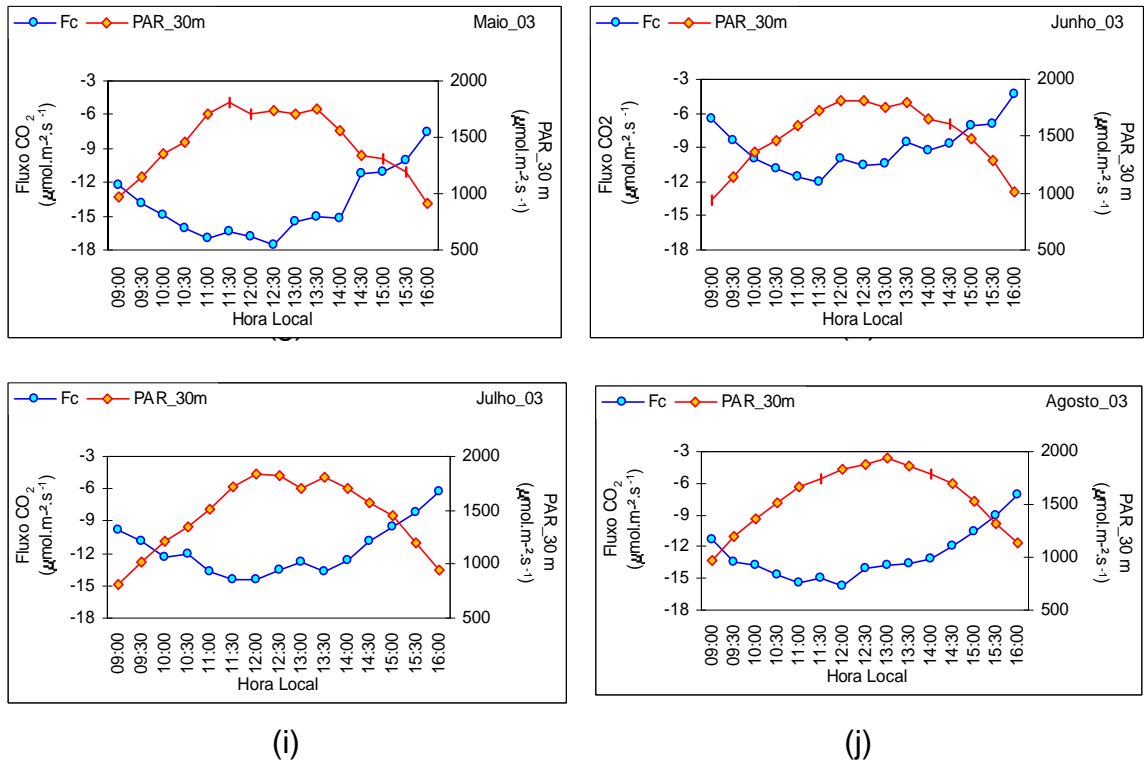


Figura 25 – Variação diurna dos fluxos de CO₂ e radiação fotossinteticamente ativa (PAR_30 m) nos meses de maio 2003 (g), junho 2003 (h), julho (i) e agosto de 2003 (j).

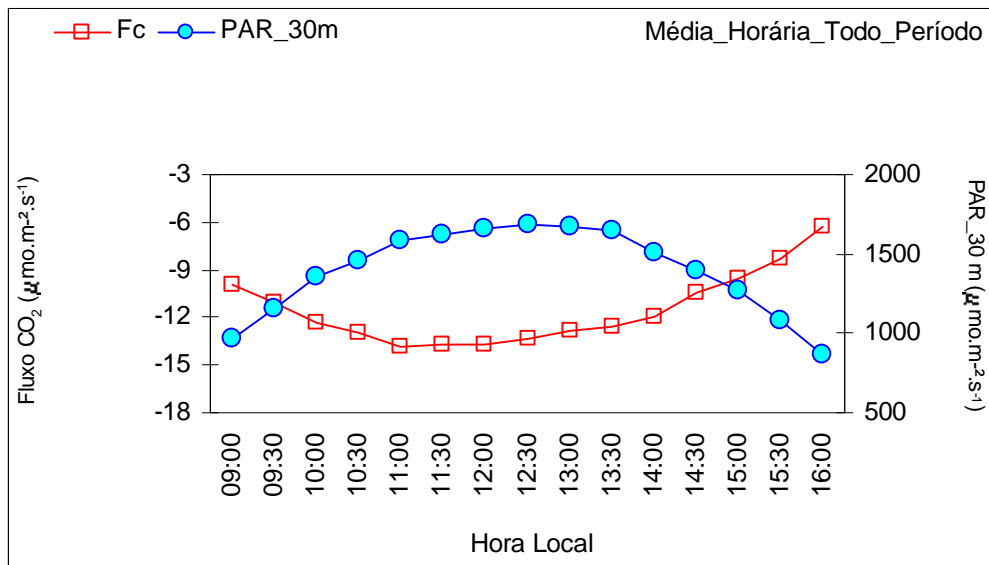


Figura 26 – Variação média diurna dos fluxos de CO₂ e da radiação fotossinteticamente ativa, de novembro de 2002 a agosto de 2003.

um valor médio de $1.394 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, Na Figura 27. Esta sendo mostrado a variação sazonal fluxos de CO_2 e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR_30 m) o maior fluxo apresentou valor de $(-14,03 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ para o mês de maio que é o correspondente ao mês chuvoso, essa maior assimilação do CO_2 no mês de maio acompanhou o aumento da absorção da radiação fotossinteticamente ativa para o mesmo mês, onde apresentou um valor de $1.443,73 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

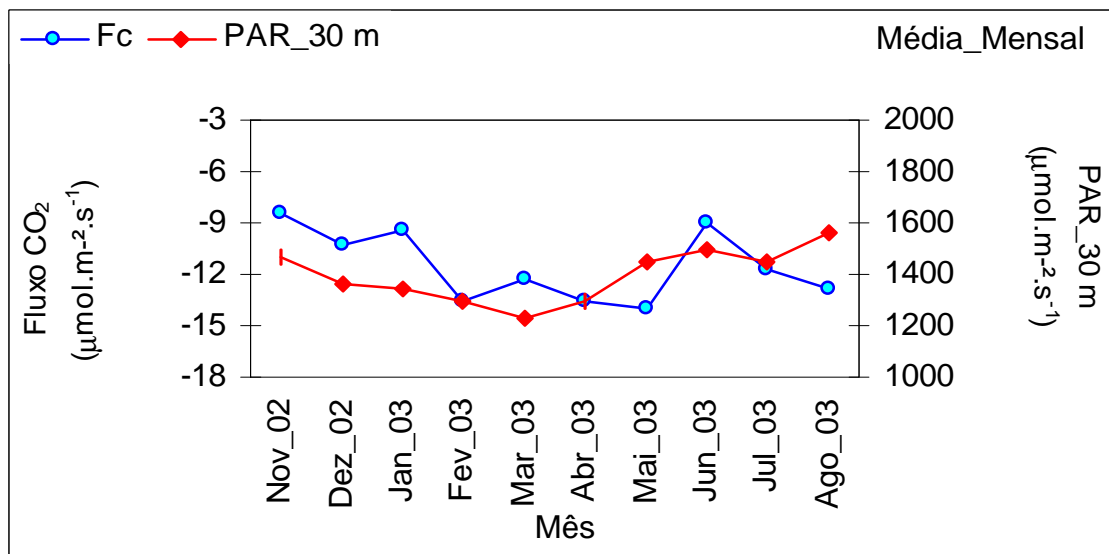
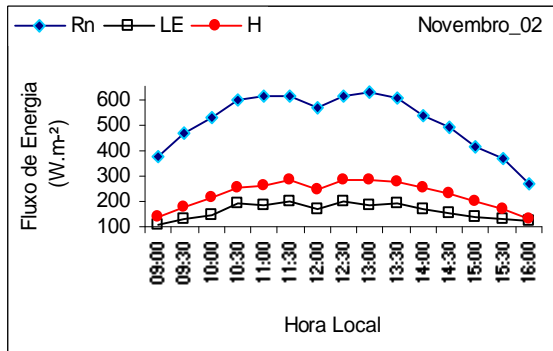


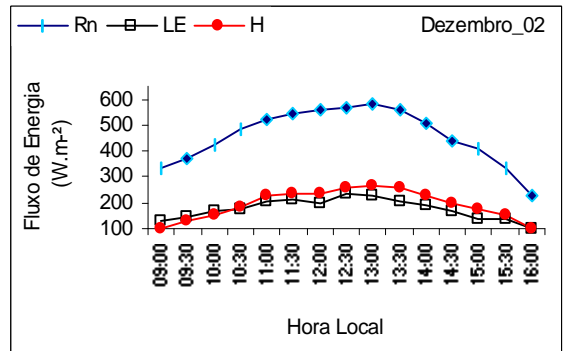
Figura 27 – Variação sazonal dos fluxos de CO_2 e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR_30 m) para todo o período, de novembro de 2002 a agosto de 2003.

4.1.3. Fluxos de calor latente, calor sensível e saldo de radiação

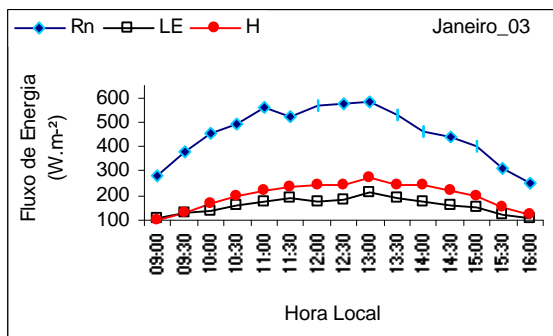
As médias horárias dos fluxos de calor latente, calor sensível e saldo de radiação no período diurno de 9 às 16 h, de novembro de 2002 a agosto de 2003 estão ilustradas nas Figuras 28 a 30. Como era de se esperar, os picos dos fluxos de energia ocorreram em torno do meio-dia. Os valores médios do saldo de radiação no período diurno variaram de $429 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ em março (mês típico da estação chuvosa) a $527 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ em agosto (mês típico da estação menos chuvosa). Os menores valores do saldo de radiação ocorreram durante



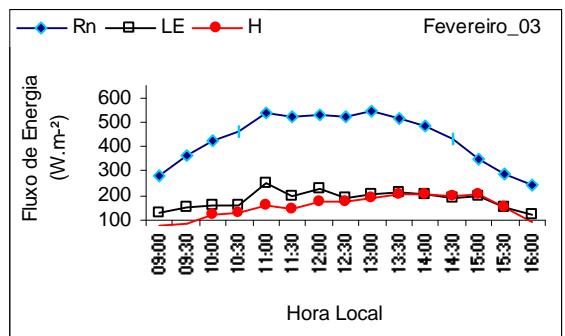
(a)



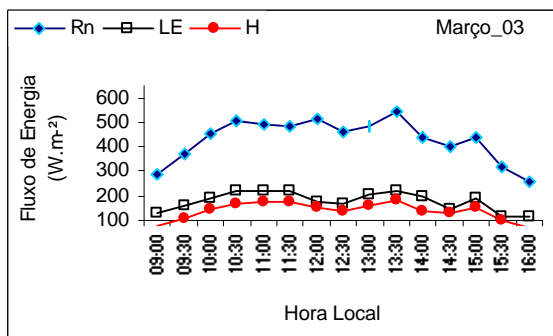
(b)



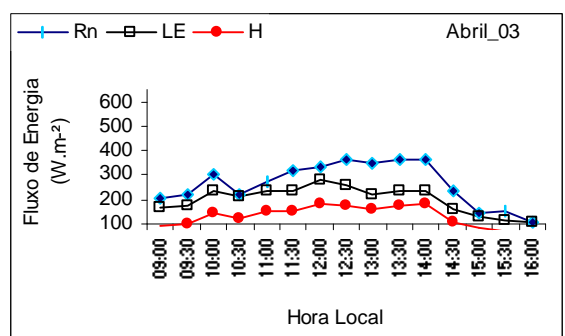
(c)



(d)

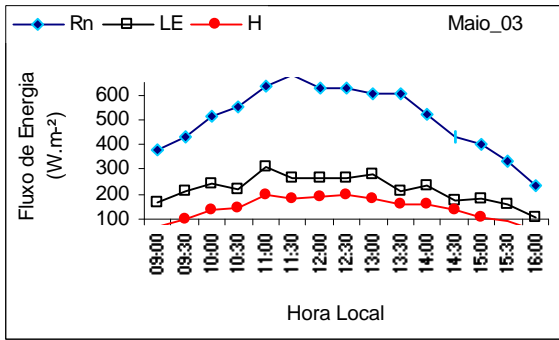


(e)

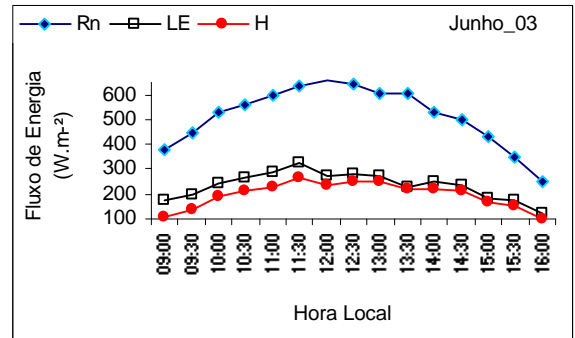


(f)

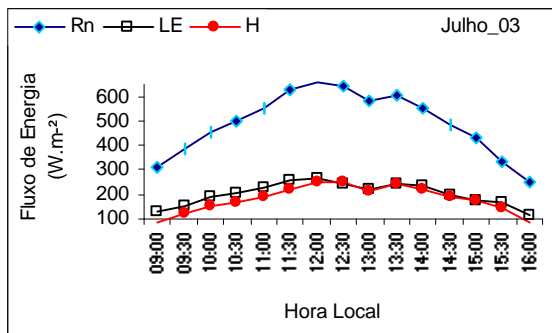
Figura 28 – Média horária da variação diurna dos fluxos de calor latente, calor sensível e saldo de radiação nos meses de novembro 2002 (a), dezembro 2002 (b), janeiro de 2003 (c), fevereiro de 2003 (d), março 2003 (e) e abril de 2003 (f).



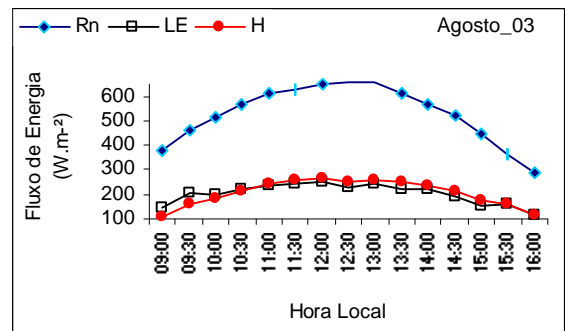
(g)



(h)



(i)



(j)

Figura 29 – Variação diurna dos fluxos de calor latente, calor sensível e saldo de radiação nos meses de maio de 2003 (g), junho 2003 (h), julho 2003 (i) e agosto de 2003 (j).

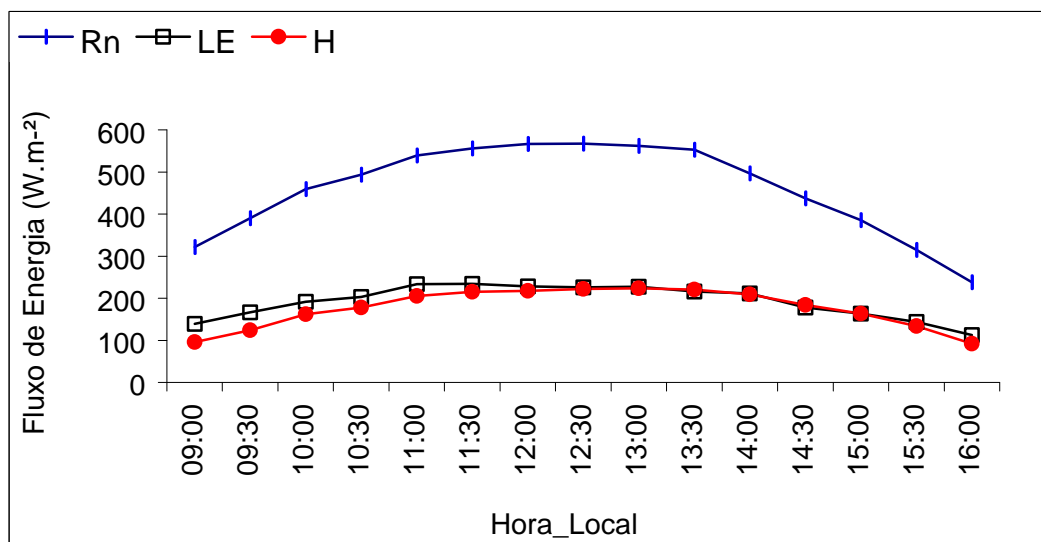


Figura 30 – Variação média diurna do Saldo de radiação (Rn), Calor latente (LE) e calor sensível (H) para todo o período de novembro de 2002 a agosto de 2003.

a estação chuvosa, devido à maior nebulosidade nesse período, reduzindo a radiação solar global, que é o principal componente do saldo de radiação.

Os fluxos de calor sensível e calor latente, durante todo o período diurno de novembro de 2002 a agosto de 2003, foram positivos, indicando a transferência de calor e vapor d'água transferência desses fluxos da vegetação para a atmosfera. Os picos dos fluxos de calor sensível variaram de 282 $W.m^{-2}$, em novembro a 179 $W.m^{-2}$ em março.

As médias dos fluxos de calor sensível variaram de 225 $W.m^{-2}$ em novembro de 2002 a 130 $W.m^{-2}$ em abril. As variações dos fluxos de calor latente, em contraste com os fluxos de calor sensível, apresentaram valores maiores nos meses da estação chuvosa. Os picos dos fluxos de calor latente, em torno do meio-dia, variaram de 328 $W.m^{-2}$ em junho (fim da estação chuvosa) a 200 $W.m^{-2}$ em novembro de 2002 (estação menos chuvosa). Os valores médios dos fluxos de calor latente variaram de 234 $W.m^{-2}$, em junho de 2003, a 160 $W.m^{-2}$, em novembro de 2002.

A partição do saldo de radiação, em relação ao fluxo de calor sensível, variou de 0,44 em novembro a 0,27 em maio, o que mostra maior utilização do saldo de radiação sob a forma de calor sensível nos meses da estação menos chuvosa, tendo sido obtido um valor médio para todo o período de 0,39. A partição do saldo de radiação em relação ao fluxo de calor latente variou de 0,46 em junho a 0,32 em novembro, indicando a superioridade da contribuição desse fluxo na estação chuvosa, tendo sido obtido um valor médio para todo o período de 0,40.

A partição dos componentes do balanço de energia, expressa pela razão de Bowen, variou de 0,72 às 9 h, aumentando até atingir um máximo de 1,03 às 13h30 e decrescendo até 0,82, às 16 h. Das 9 h até o meio-dia, houve um ligeiro predomínio do fluxo de calor latente em relação ao fluxo de calor sensível.

A partir de 12h30 a Razão de Bowen ficou igual ou ligeiramente maior de que 1 até 15 h, indicando um equilíbrio entre os dois fluxos, com ligeiro predomínio do fluxo de calor sensível. A partir das 15 h a razão de Bowen decresceu até o valor de 0,82 às 16 h, voltando ao ligeiro predomínio do fluxo de calor latente.

4.2. Variações sazonais dos fluxos durante o período diurno

4.2.1. Fluxos de CO₂

A Figura 31 ilustra a variação sazonal ao longo do período de estudo dos fluxos de CO₂. Por conversão de medidas foi adotado para o sentido dos fluxos de CO₂ o valor positivo ocorrendo no período noturno representado assim a respiração do ecossistema, assim como valores negativos durante o dia caracterizando a absorção do CO₂ pelas plantas nesse ecossistema. Observando a magnitude dos fluxos onde foi maior durante a estação chuvosa. Nos três primeiros meses que precedem a estação chuvosa (novembro, dezembro e janeiro) a média dos fluxos foi de $-9,39 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Nos meses típicos da estação chuvosa (fevereiro, março, abril e maio) a média dos fluxos de CO₂ foi de $-13,35 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Nos três últimos meses de transição entre a estação chuvosa e menos chuvosa (junho, julho e agosto), a média dos fluxos foi de $-11,18 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. O fluxo médio de CO₂ para todo o período de novembro de 2002 a agosto de 2003, foi de $-11,51 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

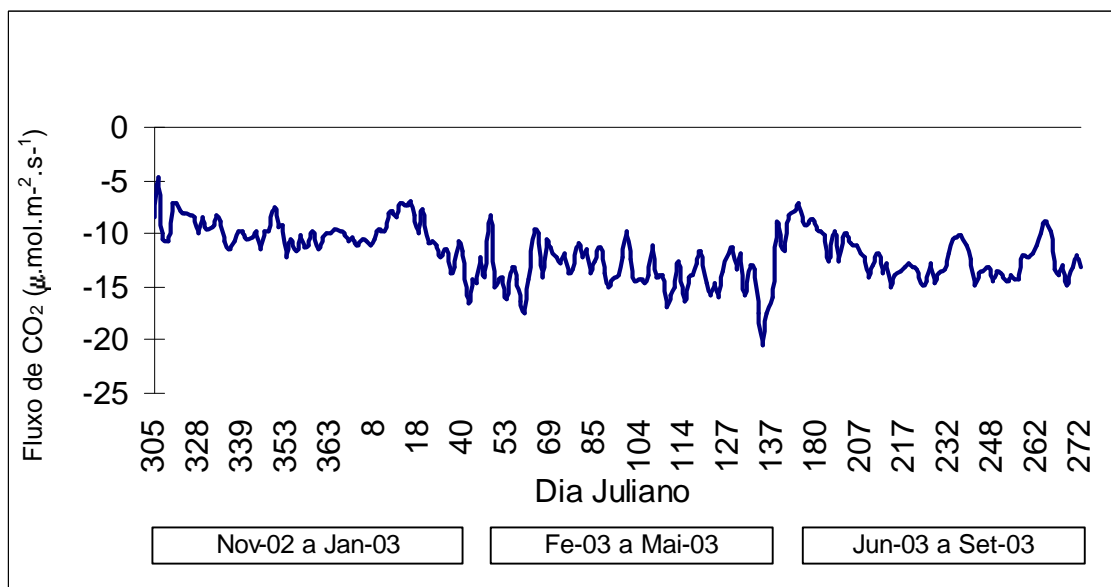


Figura 31 – Variação sazonal dos fluxos de CO₂ do dia juliano 305, correspondente a (novembro 2002) ao dia juliano 272 (setembro de 2003).

4.2.2. Fluxos de calor latente

A variação sazonal dos fluxos de calor latente está ilustrada na Figura 32. O fluxo médio de calor latente durante o período de novembro de 2002 a agosto de 2003, foi de 192 W.m^{-2} . Os menores fluxos de calor latente ocorreram no mês de novembro, com uma média de 161 W.m^{-2} . Os maiores fluxos de calor latente ocorreram em junho, com uma média de 234 W.m^{-2} . A temperatura média do ar em novembro e junho foi, respectivamente, $28,7 \text{ }^\circ\text{C}$ e $28,9 \text{ }^\circ\text{C}$, porém, o déficit de pressão em novembro apresentou os maiores valores durante todo o período estudado, com um valor médio de $1,23 \text{ kPa}$, enquanto a média do déficit de pressão de vapor em junho foi de apenas $0,70 \text{ kPa}$. Apesar da maior demanda evaporativa ter ocorrido em novembro, os valores dos fluxos de calor latente foram menores nesse mês, possivelmente devido ao fechamento parcial dos estômatos.

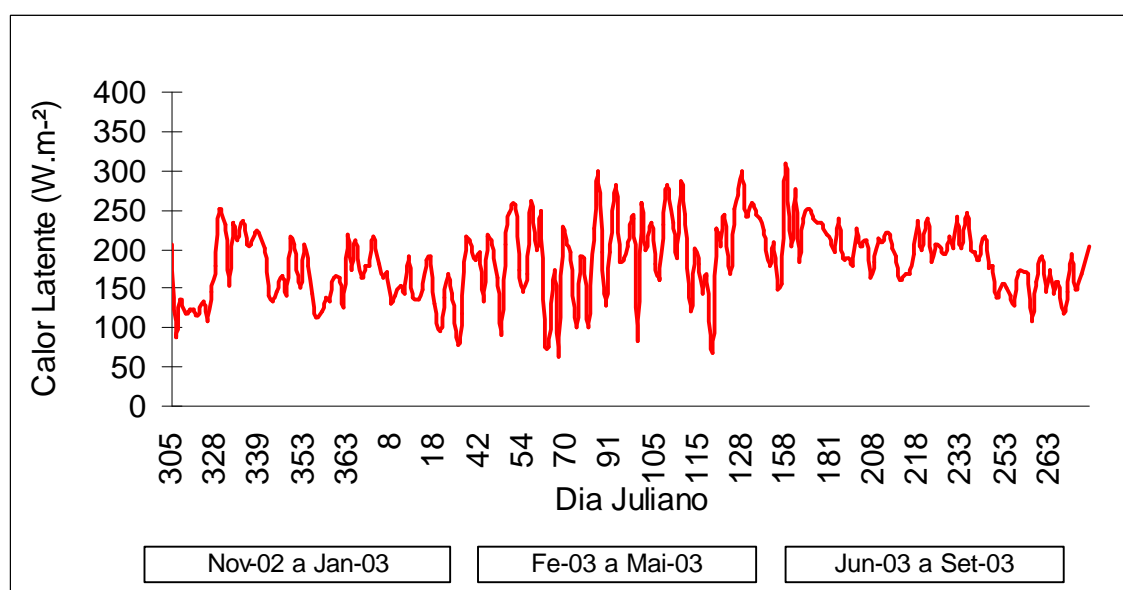


Figura 32 – Variação sazonal dos fluxos de calor latente do dia juliano 305, correspondente a (novembro 2002) ao dia juliano 272 (setembro de 2003).

4.2.3. Fluxos de calor sensível

Pode ser observado na Figura 33 a variação sazonal dos fluxos de calor sensível. Em contraste, com a variação dos fluxos de CO₂ e de calor latente, os fluxos de calor sensível foram maiores durante a estação menos chuvosa. A média dos fluxos de calor sensível durante o período estudado foi de 177 W.m⁻². Os maiores valores dos fluxos de calor sensível ocorreram em novembro, com uma média de 225 W.m⁻², enquanto os menores valores ocorreram em abril, com uma média de 130 W.m⁻².

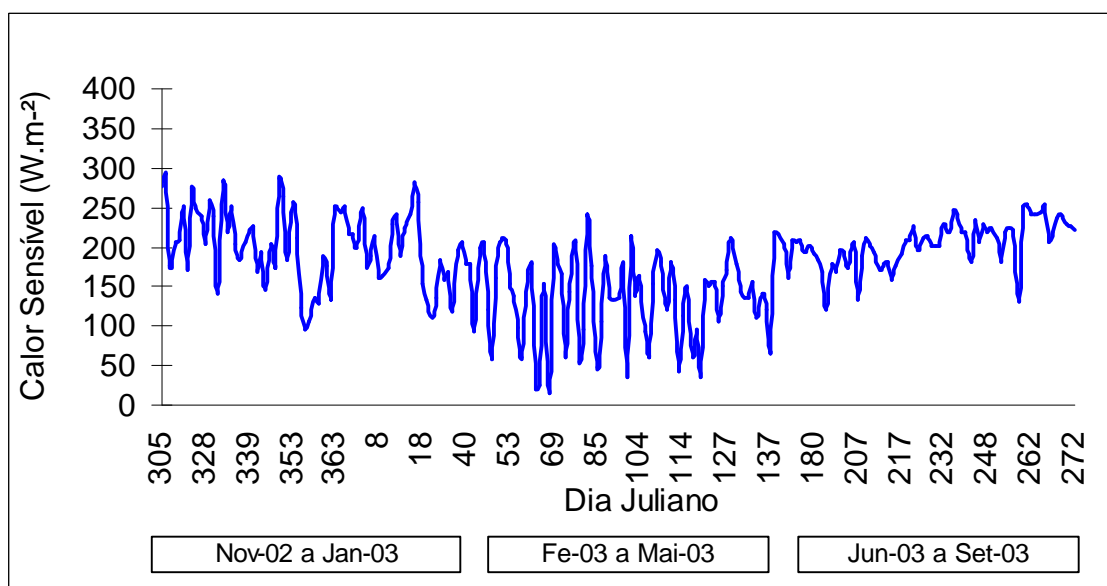


Figura 33 – Variação sazonal dos fluxos de calor sensível do dia juliano 305, correspondente a (novembro 2002) ao dia juliano 272 (setembro de 2003).

4.2.4. Partição do saldo de radiação

A variação sazonal da partição do saldo de radiação, em fluxos de calor latente e calor sensível está apresentada na Figura 34. A partição do saldo de radiação em fluxo de calor latente apresentou um valor médio de 0,40, com os menores valores em novembro, com uma média de 0,32, enquanto os maiores valores dessa fração ocorreram em junho, com uma média de 0,46. A partição do saldo de radiação em fluxo de calor sensível apresentou um valor médio de 0,38, variando de 0,44 em novembro a 0,27 em maio.

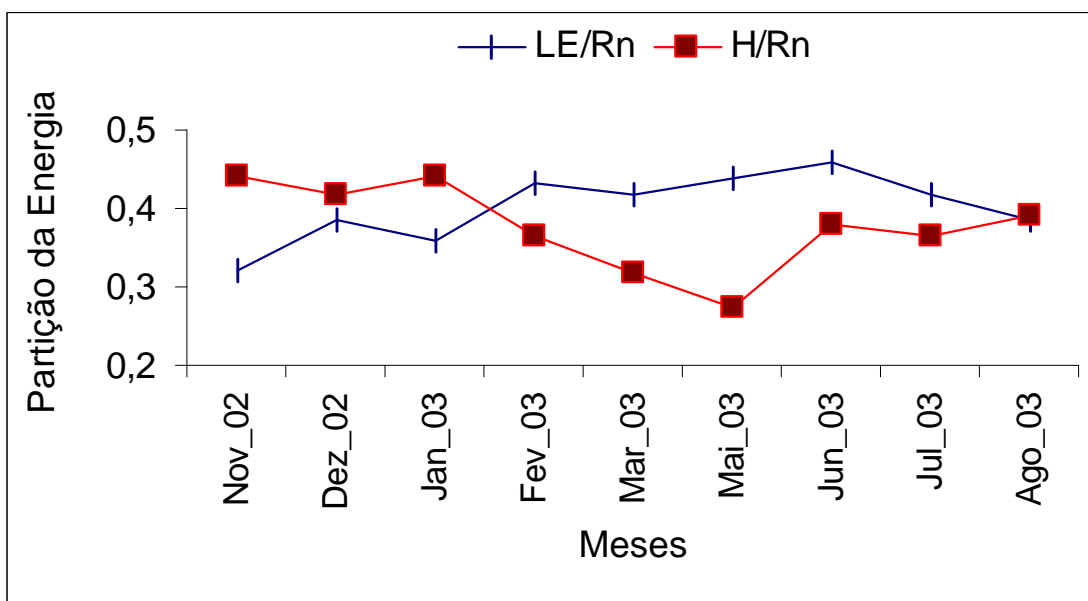


Figura 34 – Variação sazonal da partição do saldo de radiação em fluxos de calor latente e calor sensível.

A variação percentual da energia disponível, representada pela soma dos fluxos de calor latente e calor sensível, em relação ao saldo de radiação foi de 78 % para todo o período estudado. Resultados obtidos por BALDOCCHI *et al.* (2000) em florestas boreais mostraram variação da partição da energia disponível durante a estação de crescimento: na primeira metade da estação de crescimento a relação entre fluxo de calor sensível e o saldo de radiação (H/Rn) variou de 0,5 a 0,7, enquanto a relação entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação (LE/Rn) variou de 0,3 a 0,5; na segunda metade da estação de crescimento a partição foi de 0,6 para LE/Rn e 0,3 para H/Rn.

Segundo BURBA e VERMA (2001), o fluxo de calor latente foi o maior sumidouro do saldo de radiação para vegetação de pradaria, com uma contribuição de 20 a 60 % de Rn no início da estação de crescimento, 55 a 75% de Rn no pico da estação de crescimento, declinando até 40 % de Rn na senescência.

De acordo com PEREIRA (2000) a fração do saldo de radiação utilizada como calor latente na floresta amazônica, em Manaus, variou de 0,41 a 0,66, com um valor médio de 0,52. A fração do saldo de radiação utilizada como calor sensível variou de 0,20 a 0,27, com um valor médio de 0,23.

4.2.5. Razão de Bowen

A variação sazonal da partição de energia expressa pela Razão de Bowen, está ilustrada na Figura 35. A Razão de Bowen variou de 0,63 (abril e maio) a 1,39 (novembro), com um valor médio em todo o período de 0,93. Resultados obtidos por PEREIRA (2000) na floresta amazônica mostraram que a Razão de Bowen variou de 0,37 a 0,56, com um valor médio de 0,45.

4.3. Variação noturna dos fluxos de CO₂

Os fluxos noturnos médios horários de CO₂, que representam as taxas de respiração do ecossistema, estão apresentados na Figura 36. As taxas de respiração apresentaram uma tendência de redução gradual, a partir das 19 h até 5 h, acompanhando aproximadamente, a variação da temperatura do ar, que foi a variável mais fortemente correlacionada com a respiração do ecossistema. A taxa média de respiração noturna durante o período de novembro de 2002 a agosto de 2003 foi de 4,98 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Resultados apresentados por RANDOW et al. (2004) sobre medições noturnas de fluxos de CO₂ no sudoeste da floresta amazônica, em Rondônia, indicaram uma variação nas taxas de respiração de 7,1 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, na estação seca para 8,1 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, na estação chuvosa.

Está apresentado na Figura 37 apresenta a variação sazonal das taxas de respiração noturna do ecossistema de manguezal, associada com a variação da temperatura do ar. As menores taxas de respiração ocorreram durante a estação chuvosa, enquanto os maiores valores ocorreram em junho, na transição entre a estação chuvosa e menos chuvosa.

4.4. Relações de dependência entre os fluxos de CO₂, calor latente, calor sensível e as variáveis meteorológicas

Dentre todas as variáveis meteorológicas analisadas, as mais fortemente correlacionadas com os fluxos de CO₂, calor latente e calor sensível foram o saldo de radiação, a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação

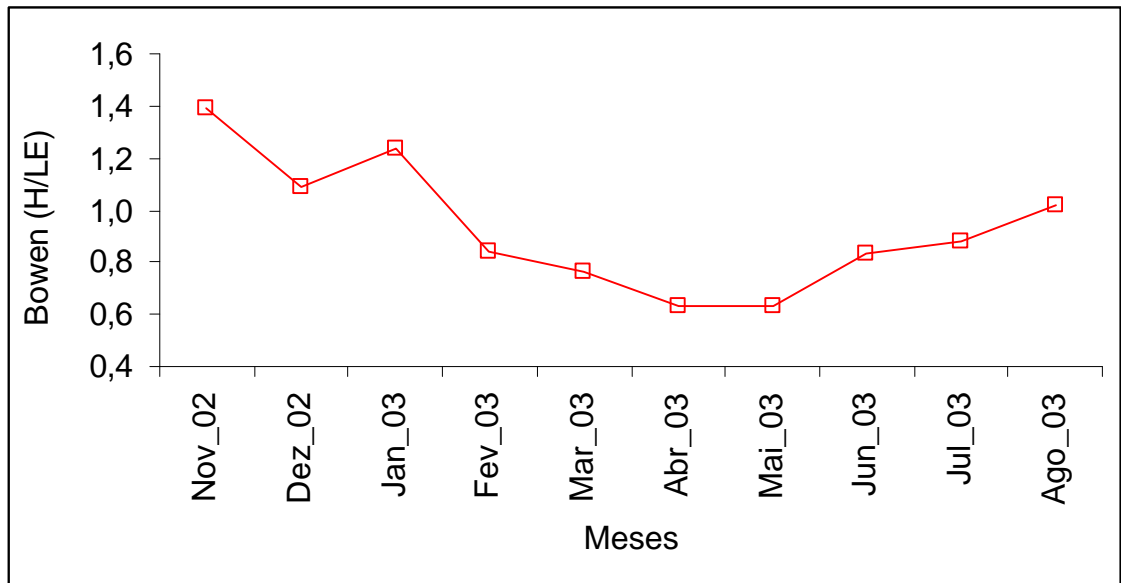


Figura 35 – Variação média sazonal da razão de Bowen.

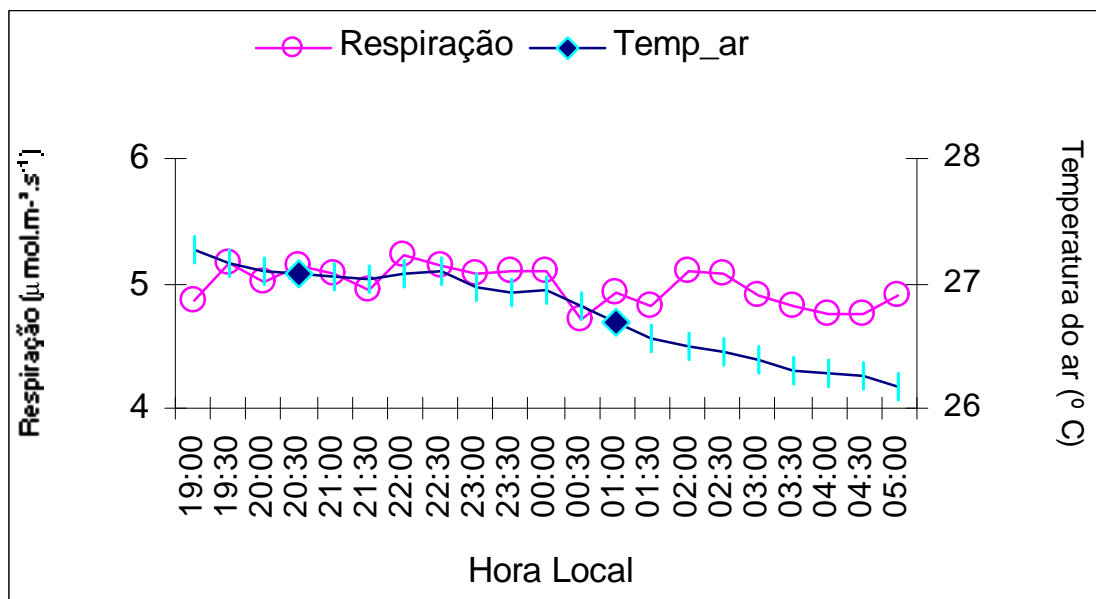


Figura 36 – Variação média noturna das taxas de respiração e a temperatura do ar para todo o período.

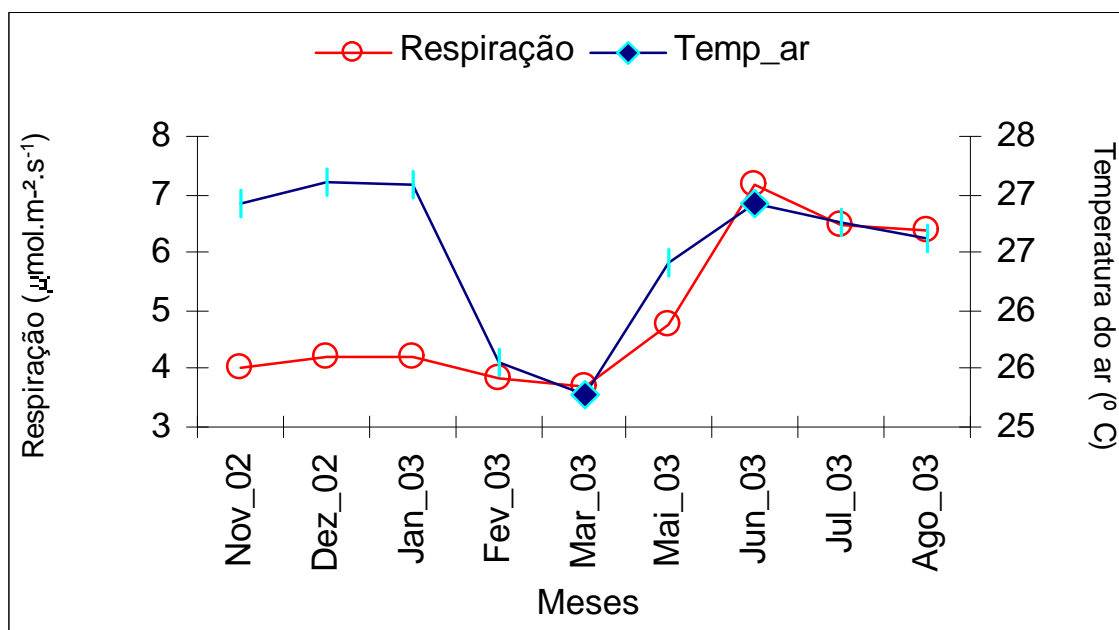


Figura 37 – Variação sazonal das taxas de respiração e a temperatura do ar para todo o período.

solar global. Estão apresentados na Figura 38 os resultados das regressões lineares entre os fluxos médios diurnos de CO₂ durante o período de novembro de 2002 a agosto de 2003. Os coeficientes de determinação foram superiores a 0,80, sendo que para a regressão linear entre os fluxos de CO₂ e o saldo de radiação o valor obtido foi de 0,90.

Os resultados das regressões lineares entre os fluxos de calor latente e calor sensível, com os mesmos componentes de radiação, foram ainda superiores, especialmente com o fluxo de calor latente, conforme está ilustrado nas Figuras 39 e 40.

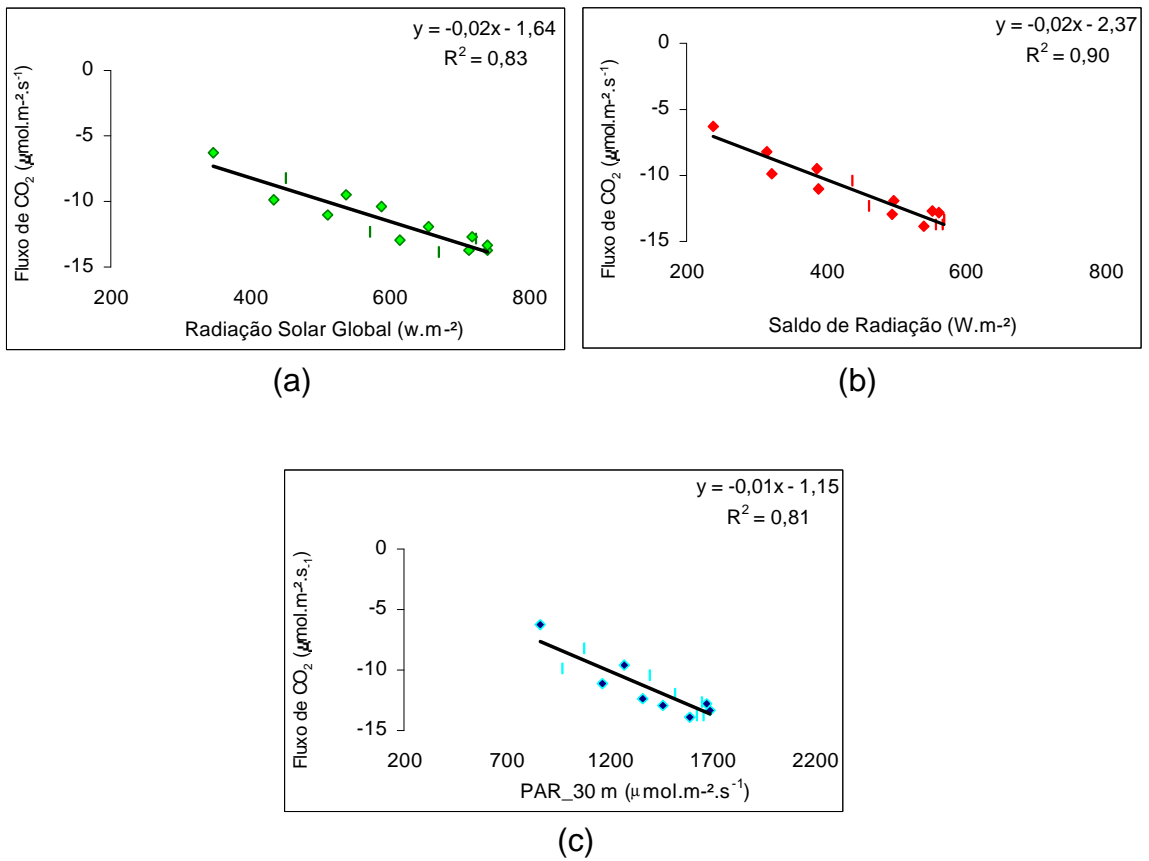


Figura 38 – Relação de dependência entre os fluxos de CO₂, o saldo de radiação, a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação solar global.

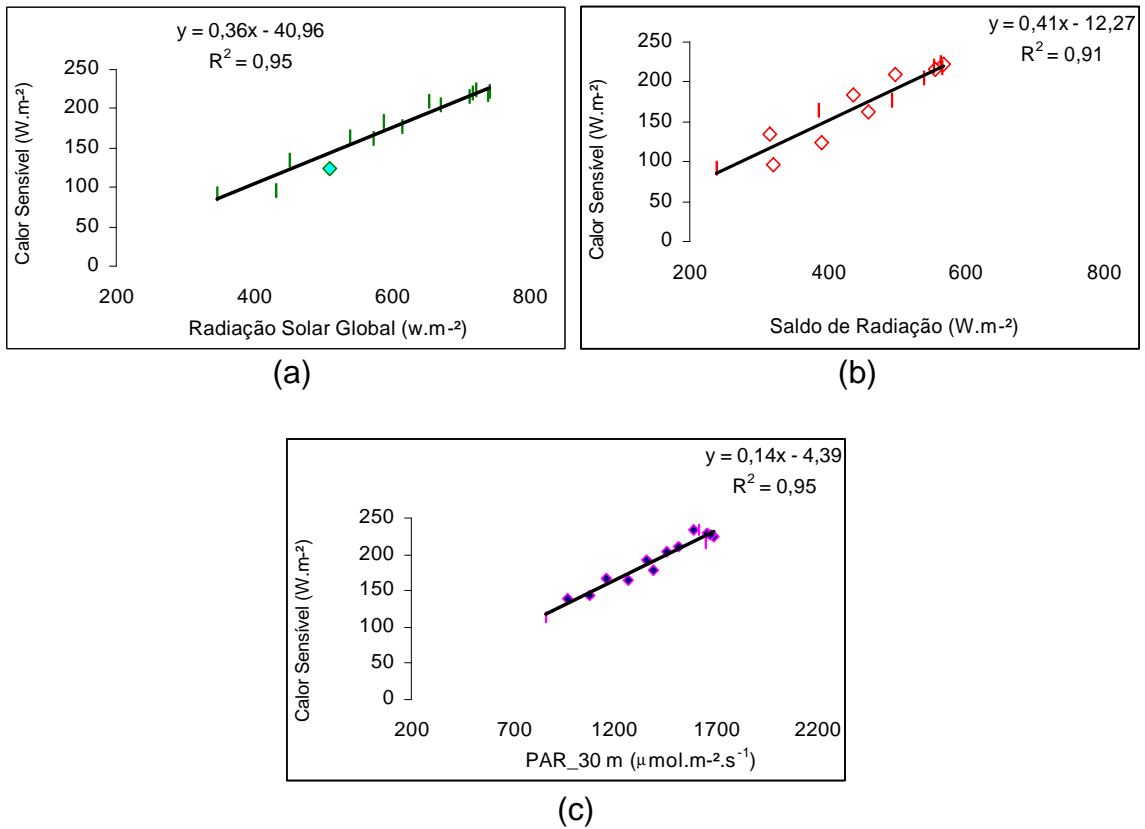


Figura 39 – Relação de dependência entre os fluxos de calor sensível, o saldo de radiação, a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação solar global.

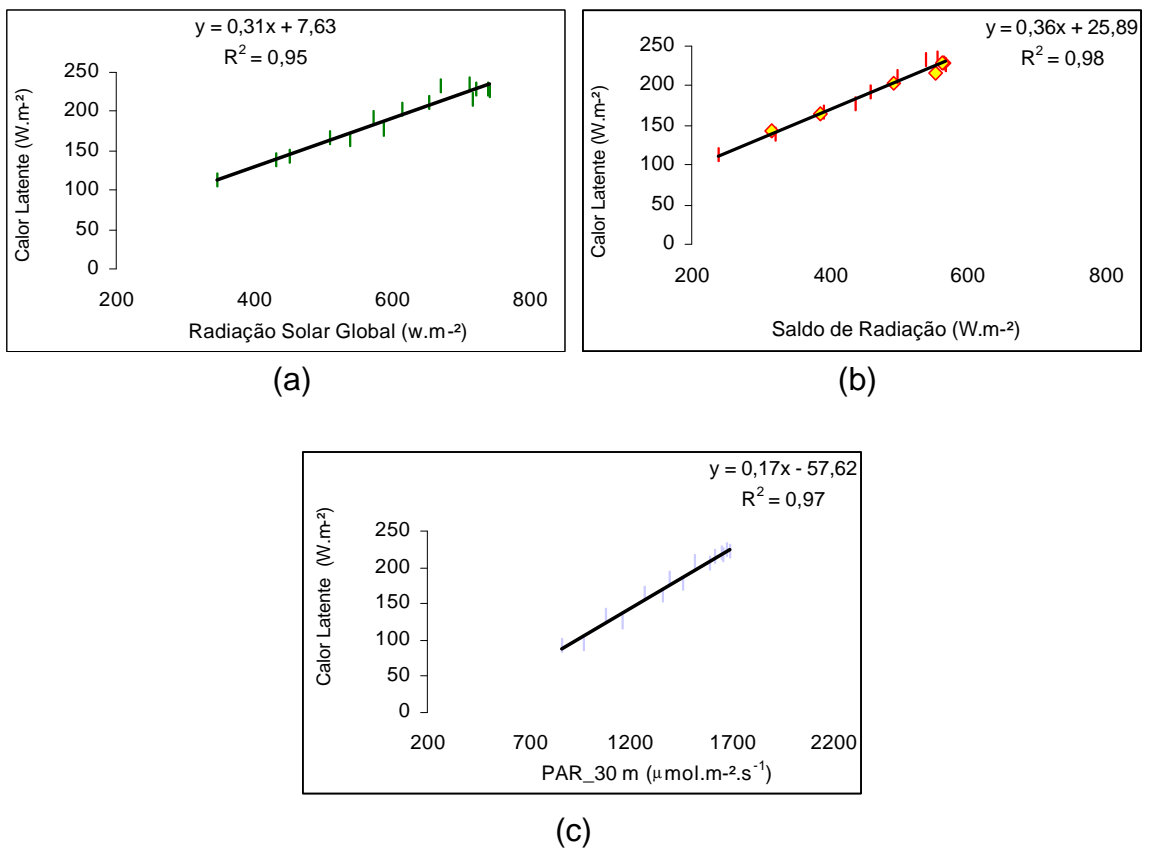


Figura 40 – Relação de dependência entre os fluxos de calor latente, o saldo de radiação, a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação solar global.

5. CONCLUSÕES

1. Os fluxos de CO₂, calor latente e calor sensível apresentaram variações diárias e sazonais bem caracterizadas.

2. Os valores máximos diários desses fluxos ocorreram, em torno do meio dia, acompanhando aproximadamente as variações do saldo de radiação.

3. Quanto à variação sazonal, os fluxos de CO₂ e de calor latente apresentaram valores máximos nos meses de dezembro a março, na estação chuvosa, enquanto os fluxos de calor sensível foram maiores durante os meses de setembro a novembro, a estação menos chuvosa.

4. Os valores médios dos fluxos de CO₂, calor latente e de calor sensível no período estudado foram, respectivamente, -11,51 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 192 W.m^{-2} e 177 W.m^{-2} .B

5. As maiores taxas de respiração foram observadas durante o período menos chuvoso, a época em que a temperatura do ar e do solo são mais elevadas, mostrando a relação de dependência entre a respiração e a temperatura.

6. A taxa média de respiração noturna do ecossistema de manguezal, no período estudado, foi de 4,98 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

7. Os resultados dos fluxos diurnos e noturnos de CO₂ indicam que o ecossistema de manguezal é um sumidouro de carbono.

8. A radiação solar global, o saldo de radiação e a radiação fotossinteticamente ativa foram as variáveis mais fortemente correlacionadas com os fluxos de CO₂, calor latente e calor sensível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGUILAR, B. R. *Perfil vertical de CO₂ e seu fluxo do solo em Mata Nativa, Floresta de Araucária, Seringal e Pastagem*. 2001. Dissertação Mestrado Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

AMADOR, E. S. *Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: homem e natureza*. Rio de Janeiro: Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997. p.148-156.

ALMEIDA, M.R. *Foto de seu acervo de fotos de ecossistemas costeiros*, 2004. Nova Viçosa, Bahia.

ARAÚJO, A. C. O. *Carbon dioxide concentration within a tropical canopy: spatial and temporal variability in a topographical gradient*. 2001. Dissertação (Mestrado University Amsterdam, The Netherlands).

AUBINET, M. et al. Estimates on the annual net carbon and water exchange of forest: The Euroflux methodology. **Adv. Ecol. Res.**, v. 30, p. 113-175, 2000

AUBINET, M.; CHERMANNE, VANDEHAUTE, M.; LONGDOZ, M.; YERMAUX; LAITAT. Long term carbon dioxide exchange above a mixed forest in the Belgian Ardennes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 108, p. 293-315, 2001.

BALDOCCHI, D.D.; KELLIHER, F.M.; BLACK, J.A.; JARVIS, P. Climate and vegetation controls on boreal zone energy exchange. *Global Change Biol.*, v. 6, p. 69-83, 2000.

BERREDO, J. F. *Geoquímica dos sedimentos de manguezais do nordeste do estado do Pará: o exemplo do estuário do rio Marapanim*. 2004. 90 f. Exame de Qualificação para Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.

BURBA, G.G.; VERMA, S.B. (2001). Prairie growth, PAR, albedo and seasonal distribution of energy fluxes. *Agric. And For. Meteorol.*, 107, 227-240.

CABRAL, N. W. *O turismo como agente de formação e transformação socioeconômico no nordeste do Pará: caso de Ajuruteua*. Trabalho de conclusão de curso graduação. Universidade Federal do Pará, 1997.

CARVALHO, E. A. *Impactos ambientais na zona costeira: o caso da estrada Bragança–Ajuruteua, Estado do Pará*. 2000. Dissertação Mestrado Universidade de São Paulo, Piracicaba.

COSTA, R. F. *Fluxos de dióxido de carbono em uma área de floresta na Amazônia*. 2000. 85 f. Dissertação Mestrado Universidade de São Paulo, Piracicaba.

COSTA, A. C.L. *Foto do acervo do conjunto de fotos do ecossistema de manguezal Bragantino-PA*. 2000

DAVIS, J. H. The ecology and geologic role of mangroves in Florida. *Carnegie Inst. Wash. Publ.*, v. 517, p. 303-412, 1940.

FEEMA, Os manguezais do recôncavo da Baía de Guanabara. *Cadernos Feema*, v. 10, n. 79, p.113, 1979 (série técnica).

FERNANDES, M. E. B. Análise da biodiversidade no ecossistema manguezal. In: *Mangrove. Connecting research and participative management of estuaries and mangroves*. Salvador. 2003. 82 p.

GALVÃO, A. *Estudo do balanço de radiação em áreas de floresta e pastagem na Amazônia*. 1999. 125 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP.

GEO-BRASIL-2002. *Perspectivas do meio ambiente no Brasil*. Publicado em parceria com Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente-PNUMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA e Universidade Livre da Mata Atlântica, 2002.

GRACE, J. et al. Carbon dioxide uptake by undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science*, v. 270, p. 777-780, 1995.

HARRISON, J. A. El ciclo carbónico. Siempre de Ida y Vuelta. *Visionlearning*, v. EAS-2, 2003.

HOGARTH, P. J. *The biology of mangroves*. New York: Oxford University Press, 1999. 218 p.

HOUGHTON R. A. Land-use change and carbon cycle global change. *Biology*, v. 1, p. 275-287, 1995.

HOUGHTON, R. A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use. 1850-1990. *Tellus*, v. 51 B, p. 298-313, 1999.

HOUGHTON, R. A., DAVIDSON, E. A., WOODWELL, G. M. Missing sinks, feedbacks, and understanding the role of terrestrial ecosystems in the global carbon balance. *Global Biogeochem. Cycles*, v. 12, p. 25-34, 1998.

INMET-Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais Climatológicas*. 1992

IPCC. Land use, land-use change, and forestry. In: WATSON, R. T.; NOBLE, I.; BOLIN, R. B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J.; DOKKEN, D. J. (Ed.) *A special report of the IPCC*. Published for IPCC by the World Meteorological Society at UNEP. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.

KEELING. C. D.; WHORF, T. P. *Atmospheric CO₂ records from sites in the sio air sampling network in trends: A compendium of data on global change*. Carbon dioxide information analysis center. Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy. Oak Ridge, Tenn; USA, 2001.

LARA, R. J. Amazonian mangroves – A multidisciplinary case study in Para State, North Brazil: Introduction. *Wetlands Ecology and Management*, v. 11, p. 217-221, 2003.

LUGO, A.; SNEDAKER, S. C. The ecology of mangrove. *Anm. R. Ecol. & Syst.*, v. 5, p. 39-64, 1974.

MALHI, Y.; GRACE, J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 15, p. 332-337, 2000.

MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D.; JARVIS, P. C. The carbon of tropical of temperate and boreal forests. *Plant. Cell and Environment*, v. 22, p. 715-740, 1999.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M.G.P.; CULF, A.; SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. *J. Geophys. Res.*, v. 103, n. D24, p. 31593-31616, 1998.

MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D.; JARVIS, P. C. The carbon of tropical of temperate and boreal forests. *Plant. Cell and Environment*, v. 22, p. 715-740, 1999.

MEHLIG, U. *Aspects of tree primary production in an equatorial mangrove forest in Brazil*. Ph. Thesis. Faculty of Biology and Chemistry of the University of Bremen during the time period 1996 to 2001. Bremen Germany, 2001

MEHLIG, U. Observações do fluxo de carbono nas árvores do mangue. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DO PROGRAMA. 3., MADAM, Belém-PA, 1997.

MONCRIEFF, J. B.; MASSHEDER, J. M.; DE BRUIN, H.; ELBERS, J.; FRIBORG, T.; HEUSINKVELD, B.; KABAT, P.; SCOTT, S.; SOEGAARD, H.; VERHOEF, A. A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide. *J. Hydrol.*, p. 589-611, 1997.

NOBRE, C. A Amazônia e o carbono atmosférico. *Scientific American Brazil*, n. 6, 2002. (Destaque da edição especial).

PILEGAAR, K.; HUMMELSHOJ, P; JENSEN, N. O.; CHEN, Z. Two years of continuous CO₂ eddy-flux measurements over a Danish beech forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 107, p. 29-41, 2001.

PROST, M. T. C.; MENDES, A. C.; FAURE, J. F.; BERREDO, J. F. Manguezais e estuários da costa paraense; exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: PROST, M. T. C.; MENDES, A. C. (Org). *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*, p. 75-88, 2001.

QUART, A. *The mangrove forest*. Background paper. Mangrove action project, The Ramsar Convention on Wetlands. Disponível em: <http://www.ramsar.org/about_mangroves_2.htm [Geo-2-392]>, 2002.

RANDOW, C. V.; MANZI, A. O.; KRUIJIT, B.; OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERS, J. A.; WATERLLO, M. J.; CARDOSO, F. L.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. *Theor. Appl. Climatol.*, v. 1, p. 22, 2004. DOI 10.1007/s00704-004-0041-z.

RIBEIRO, J. B. M. *Micrometeorologia do manguezal e o impacto do desmatamento*. 2001. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos-SP.

RUIVO, M. L. P.; SALES, E. C.; NOGUEIRA, E. L.; BATISTA, E. B. S.; OLIVEIRA, M. L. Caracterização química, biológica e micromorfológica do solo de manguezal. Sítio do LBA: Bragança, Nordeste do Pará. *Revista Gerenciamento Costeiro Integrado (GCI)*. Código GCI-ESP/001-04.2004.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Manguezal: Ecossistema entre a terra e o Mar. *Caribbean Ecological Research*, São Paulo-SP, 1995. 64 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; MOLERO, G. C.; SOARES, M. L. G.; ROSA, T. Brazilian mangroves. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, v. 561-570, 2000.

SCHIMMEL, S. D. Terrestrial ecosystems and the global carbon cycle. *Global Change Biol.*, v. 1, p. 77-91, 1995.

SILVA, A. B.; CARVALHO, E.A. *Manguezal – Conhecer para conservar*. Núcleo de Meio Ambiente/Universidade Federal do Pará-Pará, 1997.

SILVA, A. B.; CARVALHO, E.A. *Manguezal – Conhecer para conservar*. Núcleo de Meio Ambiente/Universidade Federal do Pará-Pará, 2002.

SOUZA, N P.; Disponível em: <[http://www. nhmi.org/mangroves](http://www.nhmi.org/mangroves)> Acesso em: 21 novembro. 2004.

THOMAS, D. *Nature's economy – The roots of ecology*. New York: Anchor Books, 1967.

TOMLISON, P. B. *The botany of mangrove*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.

VAQUERA, A.; COHEN, M. C. L.; LARA, R. J. Marcadores naturais e estudo geoquímico de ecossistemas de mangue. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DO PROGRAMA MADAM, 5., Belém-PA, 1999.

WESSEL, P.; SMITH, W. H. F. A global self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline database. *Journal of Geophysical Research*, v. 101, p. 8741-8743, 1996.