

SÉRGIO DE MATTOS FONSECA

**AVALIAÇÕES DIÁRIAS E SAZONAIS DAS CONCENTRAÇÕES DE
CO₂ EM UM ECOSISTEMA DE MANGUEZAL: DIMENSÕES
MICROMETEOROLÓGICAS E ECONÔMICAS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

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

T

F676a
2010

Fonseca, Sérgio de Mattos, 1954-

Avaliações diárias e sazonais das concentrações de CO₂
em um ecossistema de manguezal: dimensões micrometeo-
rológicas e econômicas / Sérgio de Mattos Fonseca.

– Viçosa, MG, 2010.

101f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: José Maria Nogueira da Costa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 98-101.

1. Micrometeorologia. 2. Dióxido de carbono. 3. Ecologia
dos manguezais. 4. Ecossistemas. 5. Mercado de emissão de
carbono. 6. Créditos de carbono. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 551.66

SÉRGIO DE MATTOS FONSECA

**AVALIAÇÕES DIÁRIAS E SAZONAIS DAS CONCENTRAÇÕES DE CO₂
EM UM ECOSISTEMA DE MANGUEZAL: DIMENSÕES
MICROMETEOROLÓGICAS E ECONÔMICAS**

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


APROVADA: 26 de fevereiro de 2010.



Antonio Carlos Lôla da Costa



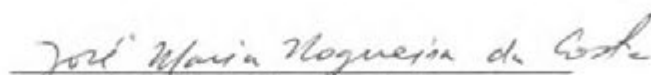
Hernani José Brazão Rodrigues



Marcelo Cid de Amorim



Vicente de Paula Lelis



José Maria Nogueira da Costa
(Orientador)

*À minha companheira, Solange M. S. N. Mattos,
pelo amor, pela compreensão, pelo apoio e pela
determinação em assumir tantas responsabilidades
durante minhas ausências.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade oferecida e a todos os professores do Departamento de Meteorologia Agrícola, pelos ensinamentos recebidos.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão das bolsas de estudo no Brasil e no exterior.

À ITTO – International Tropical Timber Organization - pela bolsa do programa Fellowship, possibilitando viagens internacionais ao Peru, Colombia, Equador, México, Cuba, e nacionais à Curitiba, Florianópolis, Pará e Salvador, de extrema importância para o conhecimento das experiências de projetos em manguezais e a seleção da experiência no Pará, Brasil, como o projeto eleito para o presente estudo.

Ao professor Dr. José Maria Nogueira da Costa, pela orientação amigável e competente.

Aos professores Dra. Maria de Lourdes Ruivo e Dr. Antonio Carlos Lôla da Costa, pelas informações disponibilizadas em 2004 em Belém e Bragança (PA).

Ao professor Dr. Pedro Pintassilgo, pelas sugestões, pelo apoio e pelo incentivo na condução do estudo econômico merecedor de meu reconhecimento para a árdua tarefa de entendimento do valor dos ecossistemas de manguezal.

Ao professor Dr. Hernani José Brazão Rodrigues, pelas conversas, pelas discussões, pelo apoio, pelo incentivo neste estudo e pela árdua tarefa de entendimento do ecossistema de manguezal.

Ao professor Dr. Vicente de Paula Lelis pelo apoio e participação na minha banca de tese.

A todos os colegas de pós-graduação que de alguma forma contribuíram para a realização desse estudo, em especial ao Leonardo J. G. Aguiar e ao Paulo Henrique Lopes Gonçalves, pelas discussões estimulantes, que ajudaram a expandir e enriqueceram o presente trabalho.

BIOGRAFIA

SÉRGIO DE MATTOS FONSECA, filho de Américo Pinto Fonseca e Glória de Mattos nasceu no município do Rio de Janeiro, estado de mesmo nome, em 29 de abril de 1954.

Em julho de 1982, graduou-se em Economia pela Universidade Federal Fluminense.

Em novembro de 1987, concluiu o curso de Especialização em Análise de Sistemas, pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM, atuando na área de Informática até 1993.

Em abril de 1992 idealizou, ajudou a fundar e desde 1994 atua como diretor presidente da APREC Ecossistemas Costeiros, uma ONG ecologista e educativa, sem fins lucrativos do Estado do Rio de Janeiro.

De 1993 a 1998, participou de diversos cursos em Oceanografia, Direito Ambiental, Gestão de Projetos Sociais, dentre muitos na área socioambiental.

Em 1999, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado em Ciência Ambiental da Universidade Federal Fluminense, defendendo a dissertação em outubro de 2001.

No período de 2002 a 2004, coordenou diversos projetos ambientais, dentre eles, projeto pioneiro aprovado pelo Fundo Nacional do Meio Ambiente, que realizou estudo de viabilidade para sequestro de carbono em ecossistemas manguezais, no âmbito das diretrizes do Protocolo de Kyoto, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Em agosto de 2005, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em Doutorado em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, na área de Micrometeorologia de Ecossistemas, submetendo-se à defesa de tese em 26 de fevereiro de 2010.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. A dimensão micrometeorológica	4
2.1.2. Métodos de estimativa de biomassa.....	5
2.1.3. Sistemas de estimativa de fluxo de massa e energia.....	5
2.1.4. O método de correlação de vórtices turbulentos.....	9
2.2. A dimensão econômica	14
2.2.1. Aquecimento global e o valor econômico dos manguezais	14
2.2.2. A base da discussão	16
2.2.3. O efeito carbono.....	18
2.2.4. Aquecimento ou resfriamento global.....	20
2.2.5. A convenção das nações unidas para mudanças climáticas.....	23
2.2.6. A convenção das Nações Unidas e o Protocolo de Kyoto	24
2.2.7. O mecanismo de desenvolvimento limpo	26
2.2.8. As atividades de LULUCF	28
2.2.9. Linhas de base, metodologias e monitoramento	29
2.2.10. O balanço de projetos e metodologias aprovadas	31
2.2.11. O valor econômico dos manguezais.....	34
2.2.12. O conceito de valor ambiental	35
2.2.13. Valor econômico e valor ambiental	36
2.2.14. Os serviços e o valor dos manguezais	38
2.2.15. Estudo de caso: créditos de carbono em manguezais	42

	Página
3. MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1. O projeto CARBO-PARÁ nos manguezais de Bragança (PA)	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1. Variação dos fluxos de CO ₂ acima da copa do manguezal, no período de janeiro a novembro	75
4.2. Relação de dependência entre as variações de concentração de CO ₂ e as variáveis analisadas no item 5.1	77
4.3. Variação sazonal da concentração de CO ₂	77
4.4. Estimativa dos créditos de carbono.....	92
5. CONCLUSÕES	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Os estoques de carbono, segundo o IPCC.....	8
2 Testemunho de Vostok.....	17
3 Concentrações do CO ₂ Atmosférico (2004 – 2009)	17
4 Aumentos globais da temperatura, do nível do mar e a redução na cobertura da neve do hemisfério norte.....	18
5 Principais Fontes de Emissões de CO ₂	19
6 Forçantes radiativas.....	20
7 Estrutura da convenção.....	25
8 Etapas de um projeto MDL.....	26
9 Metodologias aprovadas (projetos MDL).....	31
10 Códigos e registros por atividade de projeto MDL.....	33
11 O valor econômico e ambiental.....	37
12 O valor total econômico.....	38
13 Linha costeira do Pará, em destaque o município de Bragança.....	45
14 Reunião com pesquisadores do projeto CARBO-PARÁ (junho de 2004, foto do autor).....	45
15 Campus de Bragança – UFPA (junho de 2004, foto do autor).....	46
16 Rumo a Bragança, atravessando o Furo Grande-PA (junho de 2004, foto do autor).....	46
17 Acesso à torre micrometeorológica (junho de 2004, foto do autor)...	47
18 Na base da torre (junho de 2004, foto do autor).....	47
19 Acesso e equipamentos no alto da torre (junho de 2004, foto do autor).....	48
20 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de janeiro.....	50
21 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de fevereiro.....	51
22 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de março.....	52
23 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de abril.....	53
24 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de maio.....	54
25 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de junho.....	55
26 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RG, NDA, Ts e PRP no mês de julho.....	56
27 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RG, NDA, Ts e PRP no mês de agosto.....	57
28 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de setembro.....	58
29 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de outubro.....	59
30 Variação média horária das concentrações de CO ₂ , u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de novembro.....	60

	Página	
31	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de janeiro.....	64
32	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de fevereiro.....	65
33	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de março.....	66
34	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de abril.....	67
35	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de maio.....	68
36	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de junho.....	69
37	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de julho.....	70
38	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de agosto.....	71
39	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de setembro.....	72
40	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de outubro.....	73
41	Variação média horária da concentração CO ₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de novembro.....	74
42	Variação média horária dos fluxos de CO ₂ , acima da copa do manguezal, no período de janeiro a novembro.....	77
43	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de janeiro.....	78
44	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de fevereiro.....	79
45	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de março.....	80
46	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de abril.....	81
47	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de maio.....	82
48	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de junho.....	83
49	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de julho.....	84
50	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de agosto.....	85
51	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de setembro.....	86
52	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de outubro.....	87
53	Relações estatísticas entre concentração de CO ₂ e variáveis relevantes para o mês de novembro.....	88
54	Relação de variação sazonal entre a concentração de CO ₂ acima da copa do manguezal e variáveis pertinentes.....	90

		Página
55	Concentração de CO ₂ média anual em Mauna-Loa e no sítio de manguezal.....	91
56	Variação sazonal da concentração de CO ₂ em Mauna-Loa e no sítio de manguezal.....	91

LISTA DE TABELA

	Página	
1	Publicações sobre a área mundial de manguezais.....	3
2	Evolução das áreas de manguezais no Brasil, 1980-2005.....	3
3	Atividades de projeto para reflorestamento e florestamento (A/R).....	29
4	Códigos e quantidades de metodologias aprovadas (projetos MDL).....	32
5	Associação entre valor econômico e valor ambiental.....	36
6	Principais funções e usos do ecossistema de manguezais	39
7	As componentes de valor nos manguezais.....	40
8	O valor de existência da Laguna de Itaipu (USD/ano).....	40
9	Sumário dos benefícios líquidos (Koh Kapik, Cambodia).....	41
10	Resultados do valor total econômico do ecossistema manguezal na Laguna de Rekawa, Sri Lanka.....	42
11	Balanço de Fcc e quadro resumo das conversões.....	92
12	Comparação florestas produtivas <i>versus</i> manguezais.....	93
13	Estimativa de CERs gerados por manguezais (valores em reais)	94

LISTA DE SÍMBOLOS

[CO ₂]	Concentração de CO ₂
C	Carbono
c'	Taxa de mistura p _c /p _a
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CO ₂	Gás carbônico
F	Fluxo de massa
F _c	Fluxo CO ₂
F _{cc}	Fluxo de CO ₂ corrigido
g	Gramas
h	Altura
ha	Hectare
K	Difusividade turbulenta
MA	Massa atômica
Mc	Peso molecular do carbono
MM	Massa molecular
NDA	Nível da água
O	Oxigênio
PA	Pressão atmosférica
p _a	Densidade do ar
p _c	Densidade do CO ₂
PPM	Partes por milhão
PPM _v	Partes por milhão de volume
PRP	Precipitação pluviométrica
RS	Radiação solar
S _b	Força de absorção da fonte/sumidouro biológico
T	Temperatura
TS	Temperatura do solo
Tar	Temperatura
TC	Toneladas de carbono
TCO ₂	Toneladas de CO ₂
TCO _{2eq}	Toneladas de CO ₂ equivalente
UR	Umidade relativa do ar
U _{str}	Velocidade de fricção
u*	Velocidade de fricção
VV	Velocidade do vento
w	Velocidade vertical
W.m ⁻²	Watt por metro quadrado
Z	Rugosidade
δ	Delta

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AMERIFLUX	Rede Americana
APREC	Associação de Proteção a Ecossistemas Costeiros
CARBOEUROFLUX	Rede Europeia
CARBO-PARÁ	Projeto Carbono Pará
CDM	Clean Development Mechanism
CDS	Centro de Desenvolvimento Sustentável
CEPEA	Centro de Pesquisa em Economia Aplicada
CERN	European Organization for Nuclear Research
CER	Reduções Certificadas de Emissões
CLOUD	Cosmic Leaving Outdoor Droplets
COP	Conferência das Partes
DNA	Entidade Nacional Designada
DOE	Entidade Operacional designada
EB	Executive Board
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Food and Agriculture Organization
FBDS	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
FLUXNET	Rede Mundial
FNMA	Fundo Nacional do Meio Ambiente
GEE	Gases do Efeito Estufa
IPCC	International Panel of Climate Change
ITTO	International Tropical Timber Organization
LBA	The Large Scale Biosphere and Atmosphere Experiment
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MG	Minas Gerais, Brasil
ONG	Organização Não-Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Pará, Brasil
PDD	Project Design Document
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
REDD	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação
SAF	Sistema Agro-Florestal
UFPA	Universidade Federal do Pará
UnB	Universidade de Brasília
UNEP	United Nations Environment Program

UNFCCC	United Nations Framework Convention of Climate Change
USD	Dólares americanos
USP	Universidade de São paulo
WMO	World Meteorology Organization
WTA	Willingness to Accept
WTP	Willingness to Pay
WTW _v	Willingness to Work Volunteer

RESUMO

FONSECA, Sergio de Mattos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Avaliações diárias e sazonais das concentrações de CO₂ em um ecossistema de manguezal: dimensões micrometeorológicas e econômicas.** Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Co-orientadores: Flávio Barbosa Justino e Pedro Miguel Guerreiro Patolea Pintassilgo.

Este trabalho baseou-se em um projeto pioneiro que estudou os fluxos e concentrações de CO₂ em manguezais do Pará, Brasil. Desenvolvido no contexto do LBA – Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia, operou em um sítio experimental no município de Bragança, que hospedou o projeto CARBO-PARÁ – LBA. Em uma floresta cujo dossel atinge alturas de até 25 metros foram instalados equipamentos meteorológicos e um sistema de covariância de vórtices turbulentos para medições contínuas dos fluxos de CO₂. Dados provenientes do sítio experimental de Bragança (PA) em ecossistema de manguezal sugerem a necessidade da ampliação de estudos sobre as trocas dos fluxos de massa e de energia, e a correlação com o valor econômico desse ecossistema. A técnica, conhecida como método de covariância de vórtices turbulentos possibilita determinar se um ecossistema, em particular os manguezais, é uma fonte ou um sumidouro do CO₂ atmosférico. Dentre os resultados obtidos destacam-se as seguintes: a) As menores concentrações de CO₂ no período diurno no manguezal ocorreram em torno do meio-dia, com uma variação de 352,4 ppm em março a 392,4 ppm em outubro; b) As maiores concentrações de CO₂ ocorreram no período noturno, como era de se esperar, tendo variado de 380,3 ppm (novembro) a 459,9 ppm (maio); c) As variáveis mais fortemente correlacionadas com as variações na concentração de CO₂, em ordem decrescente de importância foram: a temperatura do ar, radiação solar, parâmetro de estabilidade atmosférica, velocidade de fricção e velocidade do vento; d) A influência da maré sobre a concentração horária de CO₂ não foi estatisticamente significativa, mas, deve salientar-se o efeito do nível de água no pico das marés sobre a magnitude da concentração de CO₂; e) As taxas de assimilação média de CO₂ no período diurno variaram de $-7,37 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em junho para $-10,75 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em setembro, resultando num valor médio durante o período experimental de $-9,25 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; f) As taxas médias de respiração do ecossistema durante o período noturno variaram de: $3,47 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em março para

6,31 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em junho, tendo apresentado um valor médio durante o período experimental de 4,47 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. No contexto do Protocolo de Kyoto as atividades de projeto para a criação ou reflorestamento de ecossistemas manguezais mostram-se bastante atrativas e economicamente viáveis para sua implementação, seja para projetos em áreas conforme demonstrado pela Tese, ou para projetos mais ambiciosos, envolvendo áreas maiores em atividades de projeto de florestamento ou reflorestamento. Em relação aos Fundos de Compensação por emissões evitadas, a exemplo do recém proposto REDD, caso venham a incluir nas contabilidades nacionais as remoções de natureza não-antropogênicas, como a evolução natural dos estoques de carbono em florestas, fica a proposta implícita na Tese: as absorções pelo sumidouro (ecossistemas de manguezal) devem ser remuneradas anualmente pelo balanço da NEE calculado e expresso pelo fluxo médio de captação do CO_2 anualmente e por unidade de área do ecossistema conservado. Os resultados corroboram a veracidade da hipótese deste estudo, que indica a viabilidade do florestamento ou reflorestamento de manguezais como atividades de projeto para inclusão na modalidade LULUCF do MDL ou de Fundos de Compensação (REDD et al.). O experimento realizado em Bragança (PA) aponta para um ganho líquido de 16,6 $\text{TC}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a possibilidade de geração em torno de 60 certificados de emissões reduzidas por cada hectare de manguezal recuperado ou plantado por ano.

ABSTRACT

FONSECA, Sérgio de Mattos, D.Sc., Federal University of Viçosa, February, 2010. **Assessing daily and seasonal CO₂ concentrations in a mangrove ecosystem: micrometeorological and economic dimensions.** Adviser: José Maria Nogueira da Costa. Co-advisers: Flávio Justino Barbosa and Pedro Miguel Guerreiro Patola Pintassilgo.

This study stands out a pioneering project assessing the concentrations and fluxes of carbon in mangrove forests canopy of Para, Brazil. Developed in the context of LBA - Experiment of Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia has operated on an experimental site in the city of Bragança, who hosted the project CARBO-PARA / LBA. In a forest whose canopy reaches heights up to 25 meters were installed meteorological equipment and a system of eddy covariance for continuous measurements of CO₂ fluxes. Data from the mangrove ecosystem experimental site of Bragança (PA) suggest the need for an extension of studies on trade flows of mass and energy, and correlation with the economic value of that ecosystem. The technique, known as method of eddy covariance allows to determine if an ecosystem, especially mangroves, is a source or a sink of atmospheric CO₂. The following results can be pointed out in this work: a) The lower CO₂ concentrations above the mangrove vegetation during the diurnal period occurred around noon, with a mean variation from 352 ppm in March to 392 ppm in October; b) The highest CO₂ concentrations over the mangrove on a daily basis, occurred at night, as expected, with a mean variation of 380 ppm (November) to 460 ppm (May); c) The best correlated variables with CO₂ concentration, in decreasing order of importance, were: air temperature, global solar radiation, atmospheric stability parameter, friction velocity and wind speed; d) The influence of the tidal on the hourly CO₂ concentration was not significant statistically, but, it should be pointed out the effect of the level of water at the peak of the tidsals on the magnitudes of CO₂ concentration; e) The mean assimilation rates of CO₂ during the diurnal period ranged from $-7.37 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (June) to $-10.75 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ in September, with an overall average during the experimental work of $-9.25 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; f) The mean ecosystem respiration rates during the nocturnal periods ranged from $3.47 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (March) to $6.31 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (June), with an overall average of $4.47 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, during the experimental work. In the

context of the Kyoto Protocol project activities for the establishment or reforestation of mangrove ecosystems appear to be quite attractive and economically viable for implementation, either for projects in areas as demonstrated by the thesis, or for more ambitious projects, involving larger areas in activities of afforestation or reforestation. In relation to the Compensation Fund for avoided emissions, such as the newly proposed REDD, if they are included in national accounts of non-anthropogenic removals, as the natural evolution of carbon stocks in forests, is implicit in the thesis proposal: the removals by sinks (mangrove ecosystems) must be paid annually by the balance of NEE calculated and expressed by the average flux of CO₂ captured annually per unit area of the ecosystem preserved. The results corroborate the veracity of the hypothesis of this study, which indicates the viability of the afforestation or reforestation of mangroves as project activities for inclusion in the form of CDM / LULUCF or Compensation Funds (REDD *et alii*), using the methodology described in this study to calculate avoided emissions, reductions and certifications. The experiment conducted in Bragança (PA) points to a net gain of 16.6 TC.ha⁻¹.ano⁻¹ and the possibility of generating up to 60 certificates for reduced emissions per hectare of mangrove forest preserved, restored or planted per year.

1. INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um fenômeno atmosférico natural, intensificado pela ação antrópica, em que a temperatura média do planeta é aquecida lenta e gradualmente, podendo causar no longo prazo alterações significativas na distribuição dos ecossistemas planetários. O fenômeno vem se manifestando também em decorrência da atividade econômica humana. Como consequência, é introduzida na atmosfera grande quantidade de gases, cujo comportamento assemelha-se ao de uma estufa, que ao mesmo tempo em que permite a entrada da radiação solar, dificulta a saída do espectro infravermelho da radiação, assim potencializando seu principal efeito: o aquecimento do ambiente. As preocupações com o fenômeno reportam a 1988 com a criação do IPCC no âmbito do PNUMA e da WMO. Cientistas do IPCC publicaram em 2001 uns dos mais importantes documentos sobre mudanças climáticas, com projeções e cenários futuros menos ou mais otimistas em função de maiores ou menores emissões dos gases de efeito estufa, dentre eles o gás carbônico (CO₂). Esses resultados foram corroborados em recente edição do relatório do IPCC em 2007.

Os manguezais são dos menos estudados e pouco compreendidos ecossistemas no planeta, um único projeto desenvolvido no Brasil até a presente data estudou os ecossistemas manguezais na laguna de Itaipu, Niterói, Rio de Janeiro, no contexto das restrições e de elegibilidade do MDL/Protocolo de Kyoto. O projeto “Reflorestamento de Manguezais e o Valor de Resgate do Seqüestro do Carbono Atmosférico” foi aprovado pelo Edital 09/2001 do Fundo Nacional do Meio Ambiente - FNMA, apoiado pela Embaixada dos Países Baixos e pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, desenvolvido por pesquisadores da Associação de Proteção a Ecossistemas Costeiros – APREC – em parceria com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Universidade de São Paulo – CEPEA/ESALQ/USP – e o Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília – CDS / UnB – cujo relatório final foi apresentado em julho de 2003 e em nota de pesquisa na revista Manguinhos/FIOCRUZ (MATTOS-FONSECA; DRUMMOND, 2003). Para este trabalho destaca-se outro projeto pioneiro que estudou os fluxos e concentrações de carbono em manguezais do Pará, Brasil. Desenvolvido no contexto do LBA – Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia, operou em um sítio

experimental no município de Bragança, que hospedou o projeto CARBO-PARÁ – LBA. Em uma floresta cujo dossel atinge alturas de até 25 m foram instalados equipamentos meteorológicos e um sistema de covariância de vórtices turbulentos para medições contínuas dos fluxos de CO₂. Dados provenientes do sítio experimental de Bragança (PA) em ecossistema de manguezal sugerem a necessidade da ampliação de estudos sobre as trocas dos fluxos de massa e de energia, e a correlação com o valor econômico desse ecossistema. A técnica, conhecida como método de covariância de vórtices turbulentos possibilita determinar se um ecossistema, em particular os manguezais, é uma fonte ou um sumidouro do CO₂ atmosférico. Estudos sobre a valoração econômica-ecológica em geral visam estimar além do valor de uso amplamente quantificado e expresso por aqueles bens relacionados direta ou indiretamente aos ecossistemas e seus preços, acrescido do valor de outros bens que não possuem preços ou mercado, avaliados por métodos de valoração direta ou indireta. Esta associação de dados micrometeorológicos e econômicos procura por um valor no incipiente mercado de carbono criado pelo Protocolo de Kyoto. Compondo um quadro e servindo de moldura ao mesmo tempo, ora justificando, ora impedindo o desenvolvimento da economia humana sobre as áreas costeiras, contribuindo para a tradução monetária dos benefícios e danos ambientais. Deriva daí a hipótese desta pesquisa: “Os fluxos de CO₂ em ecossistema de manguezal indicam absorção do carbono atmosférico. Portanto, podem ser utilizados como geração da moeda-certificado para fins de obtenção de créditos de redução de emissões dos gases do efeito estufa”.

O presente trabalho pretende investigar as dimensões micrometeorológicas e econômicas das florestas de mangue, em relação a geração de créditos de carbono sob o Protocolo de Kyoto, a partir de dados contínuos de concentração de CO₂ e de variáveis meteorológicas associadas, durante um período de 11 meses, obtidos no âmbito do projeto CARBO-PARÁ. Este é o esboço de um cenário complexo no qual se insere uma discussão a ser aprofundada, sinalizando para a importância do auxílio à resiliência dos ecossistemas manguezais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Estudo publicado pela FAO e com apoio da ITTO apresenta a situação dos ecossistemas de manguezal no período de 1980 a 2005 em 124 países e áreas onde ocorre esse ecossistema. Reúne as informações mais atualizadas sobre os manguezais, importante ferramenta para pesquisadores e formuladores de políticas ambientais, além daqueles que admiram sua beleza e importância no equilíbrio ecológico do nosso planeta. Estudos pretéritos sobre a extensão dos manguezais são resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Publicações sobre a área mundial de manguezais

Referência	Ano	Nº de Países	Área Total Estimada (ha)
FAO e UNEP (1981)	1980	51	15.642.673
Saenger <i>et al.</i> (1983)	1983	65	16.221.000
FAO (1994)	1980-1985	56	16.500.000
Groombridge (1992)	1992	87	19.847.861
Itto e Isme (1993)	1993	54	12.429.115
Fischer e Spalding (1993)	1993	91	19.881.800
Spalding <i>et al.</i> (1997)	1997	112	18.100.077
Aizpuru <i>et al.</i> (2000)	2000	112	17.075.600

1 ha = 0,01 km²; e 1 km² = 100 ha.

Fonte: adaptado de FAO (2007).

Atualmente, na América do Sul cerca de dois milhões de hectares são cobertos pelas florestas de mangue, mais da metade desta área está localizada em território brasileiro, assim contabilizadas pelo estudo da FAO (2007), conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Evolução das áreas de manguezais no Brasil, 1980-2005

Estimativa Confiável mais Recente		1980 (ha)	1990 (ha)	Perdas Anuais 1980-1990		2000 (ha)	Perdas Anuais 1990-2000		2005 (ha)	Perdas Anuais 2000-2005	
ha	Ano de Referência			ha	%		ha	%		ha	%
1.012.376	1991	1.050.000	1.015.000	-35.000	-3,3	1.000.000	-15.000	-1,5	1.000.000	0	0

Fonte: adaptado com correções de FAO (2007).¹

¹ Publicada pelo estudo The World's Mangroves 1980-2005, FAO Forestry paper 153, a tabela foi resumida com correções efetuadas por conter erros básicos de Aritmética, mantendo-se entretanto a duvidosa informação sobre ausência de perdas anuais no período entre os anos de 2000 a 2005.

As áreas das florestas de mangue (ecossistema de manguezal), no Brasil são distribuídas como retalhos ao longo dos mais de 6.800 km da costa brasileira. Ao norte essas áreas podem formar faixas contínuas de até 40 km continente adentro ao longo de estuários e rios, com árvores que alcançam os 40 m de altura e 1 m de diâmetro. Essas faixas são favorecidas pela grande amplitude de marés combinadas com altos índices pluviométricos, principalmente nos estados do Amapá, Pará e Maranhão. Com a diminuição da amplitude de marés e dos níveis de precipitação pluviométrica na direção do seu limite austral (28° 56', Santa Catarina), os manguezais tornam-se mais esparsos, ciliares ao interior de baías, estuários, lagunas costeiras e deltas de rios.

Diversos fatores abióticos são identificados na estruturação dos manguezais, como substratos aluvionais, costas de baixa energia de ondas, salinidade e aporte de água doce, assim como outros que são pouco estudados e que se relacionam com a razão entre precipitação e evapotranspiração potencial (P/ET) (SCHAEFFER-NOVELLI; CINTRÓN, 1995). A temperatura também é considerada um fator limitante para a extensão dos ecossistemas manguezais, que proliferam em regiões com médias superiores a 20 °C. Por isso os seus limites latitudinais são geralmente relacionados à intolerância da maioria das espécies a condições frias. Através do equilíbrio térmico, os ecossistemas mantêm as suas características, possibilitando o desenvolvimento da vida nas suas mais diversas formas.

2.1. A dimensão micrometeorológica

O balanço de energia e massa entre a atmosfera e a biosfera em nosso planeta ocorre através de diversos processos, tais como: respiração, fotossíntese e evapotranspiração. Os processos fundamentais dos vegetais (fotossíntese, metabolismo do carbono e balanço hídrico), e os processos ecossistêmicos (produtividade e reciclagem de nutrientes), são afetados diretamente pelo aumento da concentração do dióxido de carbono atmosférico, ou indiretamente pelas condições climáticas causadas por algumas atividades antropogênicas, como a mudança do uso do solo e a queima de combustíveis fósseis. É improvável que o papel dos ecossistemas no balanço global do carbono, permaneça constante no atual quadro de mudanças climáticas e de dominância humana sobre as paisagens globais.

A dinâmica do carbono em uma floresta compreende a assimilação do CO₂ através da fotossíntese bruta, a liberação do carbono através da respiração autotrófica, a transferência do carbono para o solo na forma de liteira, do surgimento de compostos orgânicos na rizosfera, e a eventual liberação deste carbono do solo de volta para a atmosfera pela respiração heterotrófica (MALHI; GRACE, 2000). Esses processos são principalmente controlados pelas condições ambientais locais, por exemplo, a radiação fotossinteticamente ativa incidente, a temperatura, a precipitação, a umidade relativa do ar, o vento e alguns fatores edáficos.

2.1.2. Métodos de estimativa de biomassa

Para entender como se relacionam modelos de fluxo de carbono com condições ambientais, faz-se necessário primeiramente avaliar como o balanço de carbono pode ser quantificado em florestas. É através da medida de produtividade líquida do ecossistema NEP, que compreende o balanço entre as taxas de CO₂ liberado (respiração), e capturado (fotossíntese), do ecossistema como um todo. A integração temporal dos valores da NEP resulta na estabilidade, diminuição ou crescimento da biomassa do ecossistema e, ou, seu conteúdo de carbono. Nestes estudos duas abordagens podem ser aplicadas: métodos baseados na biomassa e métodos baseados nos fluxos de massa e energia. A metodologia descrita a seguir revela a opção por este último.

2.1.3. Sistemas de estimativa de fluxo de massa e energia

Avaliações de fluxos de carbono em ecossistemas requerem medições horárias, diárias, sazonais e anuais em escalas espaciais da folha, das plantas individuais e dos conjuntos dessas. São condições ideais de aplicação:

- áreas planas;
- condições ambientais constantes; e
- Extensas áreas de vegetação subjacente e a sotavento.

Baldocchi (2003) em sua avaliação das técnicas *eddy covariance* passadas, presentes e futuras, relata as primeiras medidas de trocas de CO₂ que aplicavam o método do gradiente de fluxo (técnica indireta que avalia densidades de fluxo de CO₂ como produto da difusividade turbulenta (K) e o gradiente vertical da concentração de

CO₂, dc/dz), no lugar da técnica eddy covariance, devido a falta de anemômetros de resposta rápida e sensores de CO₂.

Somente no Pós II Guerra Mundial e com o desenvolvimento de sistemas de resposta rápida de anemômetros de fio quente, termometria e computadores digitais, os primeiros estudos focalizados em estrutura de turbulência na camada limite atmosférica, transferência de calor e *momentum*, estenderam os fundamentos teóricos e experimentais para trabalhos subsequentes a partir do final dos anos de 1950 e início dos anos de 1960. O que pode ser classificado como a próxima onda desses estudos veio a partir dos anos de 1980 com o desenvolvimento de:

- anemômetros sônicos;
- sensores de resposta rápida; e
- analisadores de gases de caminho aberto a infravermelho.

As primeiras medidas sobre culturas, dentre essas uma cultura de soja (ANDERSON *et al.*, 1984); sorgo (ANDERSON; VERMA, 1986); arroz (OHTAKI, 1989), foram precedidas e seguidas por experimentos em vegetação nativa, dentre esses uma floresta decídua; uma pradaria; uma floresta tropical (KIM; VERMA, 1990)

As primeiras medidas de trocas de CO₂ por *eddy covariance* ocorreram no início dos anos de 1970 (DESJARDINS; LEMON, 1974), sobre uma cultura de milho: usando um anemômetro de hélices; um analisador de gás a infravermelho de caminho fechado e um conjunto de sensores com tempo de resposta lento. A utilização de espectômetros a infravermelho, estáveis e de constantes de curto tempo de resposta, possibilitou medidas *eddy covariance* 24 h por dia, 7 dias por semana, 52 semanas por ano. Wofsy *et al.* (1993) realizaram o primeiro estudo de longo prazo e até os dias de hoje (BALDOCCHI, 2003). A partir de 1993 intensificam-se estudos de trocas de CO₂ e vapor d'água sobre florestas da América do Norte e a partir de 1997 redes regionais operam na Europa (CarboEuroflux) e na América do Norte (AmeriFlux). A partir do início deste segundo milênio existem mais de 180 sítios pelo mundo, incluindo parte do programa FLUXNET (EUA, Brasil, Austrália e África) (BALDOCCHI, 2003).

Estudos voltados para as estimativas das trocas de carbono entre florestas e a atmosfera não procuram identificar o destino do carbono absorvido pela floresta, por não ser este em geral o foco da pesquisa. Para os objetivos deste trabalho, é importante identificar que uma parte deste carbono extra é incorporada ao estoque de biomassa da floresta, como demonstram as medidas biométricas em variados sítios pela Amazônia. O carbono que não é acumulado como biomassa, normalmente retorna à atmosfera

como CO₂, CH₄ ou moléculas orgânicas maiores de compostos voláteis emitidos pelas plantas. O carbono pode ainda estar sendo acumulado como parte da matéria orgânica do solo, ou através dos processos erosivos, ou mesmo estar deixando o sistema nas águas de drenagem, no caso de manguezais em muito originárias das marés.

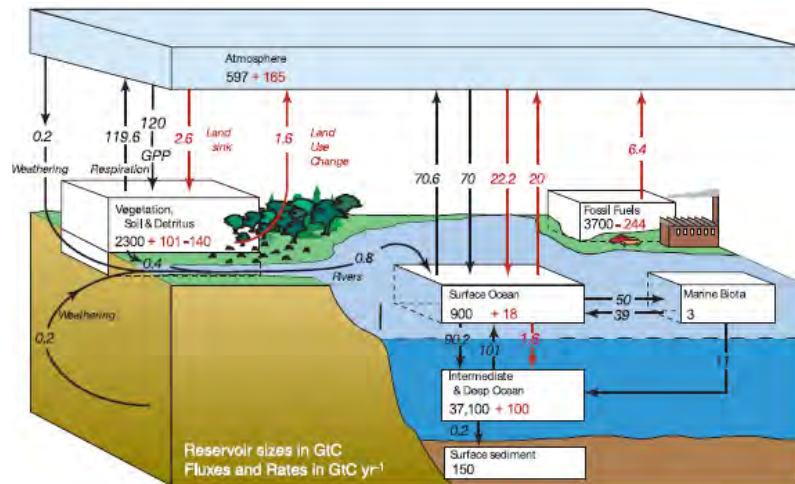
Assim, uma floresta que absorve carbono está crescendo sua biomassa e, ou, acumulando carbono no solo. É de amplo entendimento, além das leis da Ecologia, que em um espaço finito não ocorre crescimento indefinidamente. Para fixar carbono as plantas requerem disponibilidade de outros recursos, como água e nutrientes. Para florestas tropicais, o papel da água e dos nutrientes quanto a capacidade de sequestrar carbono ainda é pouco conhecido e bastante controverso, especialmente quando se consideram os efeitos potenciais de mudança do clima. Estudos evidenciam o aumento da produtividade vegetal em função do aumento da concentração do CO₂ atmosférico (KIMBALL; MITCHEL, 1979).

A preocupação de muitos cientistas está voltada para o perigo de um aquecimento global da atmosfera devido às altas concentrações de CO₂, através do agravamento de um fenômeno essencialmente natural: o efeito estufa. Estas preocupações têm razão de ser, haja vista, que o CO₂ é fator importante no aquecimento da atmosfera. Porém, relações de causa e efeito entre taxas de concentração de CO₂ na atmosfera e níveis de temperatura ainda são uma questão ainda sem resposta definitiva. Este crescente aumento de CO₂ na atmosfera tem deixado os cientistas apreensivos em relação às possíveis consequências climáticas (PACHECO; ALBUQUERQUE, 1990).

Por sua vez, os vegetais terrestres constroem seus tecidos a partir do CO₂ atmosférico captado a nível de folha. É a chamada fotossíntese terrestre que o retira anualmente da atmosfera em um processo natural. Sabe-se também que à noite estes mesmos vegetais liberam dióxido de carbono para a atmosfera em um processo chamado respiração e que conjuntamente com o solo devolvem CO₂ para a atmosfera.

O balanço cumulativo do compartimento na Figura 1, a exemplo da perda de 140 Gt dos estoques da vegetação, solo e detritos (com a absorção de 101 Gt), representa as emissões cumulativas líquidas da mudança no uso da terra (IPCC, 2007). O grau de atividade vegetal depende notadamente da luminosidade, da temperatura, umidade e outras variáveis; as estações do ano caracterizam bem esta situação: a primavera e o verão, com climas mais quentes, são mais favoráveis à produção vegetal, ou seja, maior absorção de CO₂; já no outono, com a morte dos vegetais e o ataque por bactérias, existe maior liberação de CO₂ em florestas temperada ou boreal. Em resumo,

a fotossíntese e a respiração tanto dos vegetais como dos solos é que são os dois processos principais pelos quais passam os fluxos de carbono entre atmosfera e a biosfera.



Fonte: IPCC AR4 (2007).

Figura 1 – Os estoques de carbono, segundo o IPCC.

Pesquisas vêm sendo feitas a nível laboratorial e tem-se constatado que plantas estimuladas por altas concentrações de CO₂ têm dado respostas positivas de aumento de produtividade vegetal. Alguns experimentos controlados constataram que, em média, ao se passar do valor da concentração de CO₂ atmosférico de 300 PPM para o valor de 600 PPM obtém-se um aumento de 30% na produtividade vegetal (IDSO; ANDERSON, 1989). Tendo como base os valores acima, considerando-se que nos últimos 200 anos a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou cerca de 100 PPM e supondo-se que é linear a relação entre aumento das concentrações de CO₂ e aumento de produtividade vegetal, pode-se dizer que pode ter havido um aumento de 10% no crescimento vegetal. Também a água exerce um papel fundamental em todos os processos fisiológicos das plantas, seja na transferência de nutrientes entre vários compartimentos, seja na regulação da abertura e fechamento de estômatos nas folhas, o que afeta diretamente as trocas gasosas com a atmosfera. A turbulência é em grande parte responsável pela eficiência da mistura e das trocas de massa, calor e momento através da camada limite atmosférica (ARYA, 2001), conseqüentemente influenciando a concentração e a capacidade de absorção do CO₂, como observado e discutido adiante na floresta amazônica de mangue.

Assim, quais são e quais serão as consequências do aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera sobre a biomassa terrestre ? Qual a ação do CO₂ na planta individualmente e na comunidade como um todo? Diversos experimentos vêm sendo realizados para responder a essas perguntas em diversos níveis, utilizando ambientes controlados, tais como casas de vegetação (estufas), ou utilizando uma ampla variedade de equipamentos para medição do aumento da concentração de CO₂ e seus efeitos sobre os diversos ecossistemas. O presente estudo analisa as variações diurnas e sazonais das concentrações de CO₂ em um ecossistema de manguezal em suas dimensões micrometeorológicas e econômicas, descritas a seguir.

2.1.4. O método de correlação de vórtices turbulentos

Predominam na atmosfera fluxos turbulentos ascendentes e descendentes movimentando gases traços como o CO₂. Segundo Baldocchi (2003) a técnica *eddy covariance* consiste em amostras que determinam a diferença líquida de matéria movendo-se pela interface dossel-atmosfera, complementadas por:

- Análises estatísticas instantâneas e verticais da densidade do fluxo de massa

$$F = \omega \cdot p_c, \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Regra da Média de Reynolds

O produto da operação $F = \overline{p_a} \cdot \overline{\omega'c'}$ expressa a densidade média do fluxo de CO₂, em um intervalo de tempo, como a covariância entre flutuações da velocidade vertical (ω) e a taxa de mistura de CO₂ ($c = p_c/p_a$, onde p_a é a densidade do ar, e p_c é a densidade de CO₂).

Obs: Os valores médios estão sob barras; as “linhas” indicam a flutuação da média (ex: $c' = c - \bar{c}$); e a covariância positiva indica um fluxo para a atmosfera.

A lei de conservação de massa provê o arcabouço teórico para a implementação da técnica *eddy covariance*. Conceitualmente é análogo ao caso de se manter um recipiente com água controlando-se o fluxo da entrada e saída deste, que ao manter-se estável o nível da água sabe-se que a taxa de entrada é igual a taxa de saída, assim basta apenas medir um dos fluxos que o outro será igual. Para o caso de se estimar o fluxo turbulento de CO₂ atmosférico usa-se a equação de conservação para deduzir as trocas de carbono para dentro e para fora do sistema solo-planta-atmosfera com base nas medidas de *eddy covariance* sobre a camada limite atmosférica alguns metros acima do dossel. Matematicamente tem-se:

$$\frac{d\bar{c}}{dt} = \underbrace{\frac{\partial \bar{c}}{\partial t}}_I + \underbrace{\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z}}_{II} = - \left(\underbrace{\frac{\partial F_z}{\partial z}}_{III} + \underbrace{\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y}}_{IV} + S_B(x, y, z) \right).$$

Para o caso do CO₂ a lei de conservação da matéria indica que a soma da taxa temporal de mudança na razão da mistura de CO₂ (c no termo I acima), e a advecção (termo II acima), é balanceada pela soma do fluxo divergente de CO₂ nas direções vertical (z), lateral (y) e longitudinal (x) (termo III acima), e a força de absorção da fonte/sumidouro biológico. (S_b) (termo IV acima).

O diagrama a seguir ilustra os termos de medições de fluxos *eddy*:

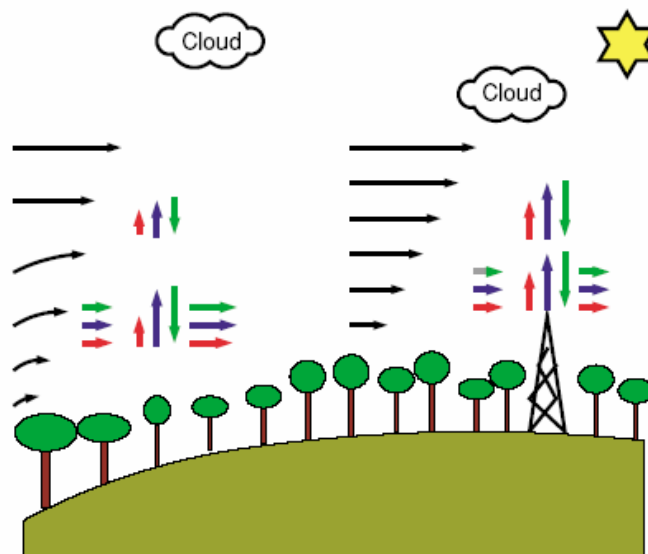


Figura n: Termos de medições de fluxos eddy.
Fonte: Adaptado de Baldocchi, (2003) .

A figura acima, adaptada de Baldocchi (2003), exibe condições de terreno que vão da menos apropriada à mais apropriada, onde está posicionada a torre para medições. São representadas as densidades de fluxos de água (setas azuis), calor (setas vermelhas) e CO₂ (setas verdes), são geralmente ortogonais as linhas de fluxo do vento (linha pretas). No lado inclinado da colina o vento ascendente é comprimido e acelerado pelo relevo inclinado, ocorrendo a advecção e produzindo divergências nos fluxos de

calor, vapor d'água e CO₂, ocasionando variações nas trocas verticais de acordo com a altura apontadas pelo comprimento das setas na figura. Sobre o trecho plano da paisagem observa-se uma camada de fluxo constante e um perfil logarítmico de vento estabilizado, fluxos de massa e energia constantes são denotados pelo mesmo comprimento das setas no exemplo em questão.

A figura anterior é um diagrama conceitual dos processos descritos na equação 1. Assim, u^- , v^- , e w^- são representados pela velocidade vertical do fluxo divergente de CO₂ em suas componentes x, y e z na equação I. Sob condições ideais a concentração escalar e a velocidade do vento atmosférico são constantes com o tempo (termo I = 0), e a superfície subjacente é horizontalmente homogênea e sobre solo plano (não há advecção, termo II), portanto as divergências nos fluxos horizontais no termo III é igual a zero. Baseados nesta premissa, a equação da conservação fica resumida ao balanço entre o fluxo vertical divergente de CO₂ e a força de absorção da fonte/sumidouro biológico. (S_b).

Interpretação das medidas em condições ideais...

$$\frac{\partial F_z}{\partial z} = -S_B(z)$$

A divergência do fluxo vertical de CO₂ é igual a força de absorção da fonte biológica.

Integrando em relação a altura...

$$F_z(h) = F_z(0) - \int_0^h S_B(z) dz$$

Deriva a igualdade entre a densidade média do fluxo vertical medida a uma altura sobre o dossel $F_z(h)$, e a densidade líquida do fluxo entrando e saindo do solo subjacente, $F_z(0)$, e da vegetação.

Requer as avaliações do fluxo *covariance* a amostragem do *cospectrum* dos movimentos turbulentos na atmosfera:

$$\overline{w'c'} = \int_0^{\infty} S_{wc}(\omega) d\omega,$$

...onde: S_{wc} = densidade cospectral entre ω (frequência angular \Leftrightarrow relacionado a frequência natural pelo fator 2π) e c (quantidade do fluxo associado a uma dada frequência)

A covariância ω - c é medida por um conjunto de instrumentos e é função da densidade cospectral verdadeira $S_{wc}(\omega)$ e uma função filtro $H(\omega)$, conforme abaixo:

$$\overline{w'c'}_{\text{measured}} = \int_0^{\infty} H(\omega) S_{wc}(\omega) d\omega.$$

Medidas em termos de densidade molar...

$$F = \overline{w\rho_c} = \underbrace{\overline{w'\rho'_c}}_I + \underbrace{\overline{w}\rho_c}_{II}.$$

...onde o novo termo a direita é o produto da velocidade média vertical ($\neq 0$ e cresce com as flutuações da densidade do ar), e a densidade do CO_2 .

Na prática ω é muito pequeno ($< 1 \text{ mm.s}^{-1}$), para ser detectado por anemometria, por isso é computado com base na temperatura (T) e pela flutuação da densidade da umidade (p_v), usando o algoritmo de Webb – Pearman - Leuning (1980):

$$F_c = \overline{w'\rho'_c} + \frac{m_a}{m_v} \frac{\bar{\rho}_c}{\bar{\rho}_a} \overline{w'\rho'_v} + \left(1 + \frac{\bar{\rho}_v m_a}{\bar{\rho}_a m_v}\right) \frac{\bar{\rho}_c}{\bar{T}} \overline{w'T'}.$$

Durante o dia: densidade do fluxo de CO_2 cruzando o plano horizontal não é igual ao fluxo líquido de densidade de carbono movendo-se para dentro e para fora do sistema solo-planta

- NOITE: estratificação térmica da atmosfera é CO_2 menos estável \Leftrightarrow o CO_2 que deixa a folha e o solo pode não alcançar o conjunto de instrumentos a uma altura

de referência (h), sobre o dossel, ocasionando subestimativa na respiração do ecossistema;

- NASCER DO SOL: dissipação da camada limite noturna com o retorno da convecção turbulenta ventila a camada de CO₂ armazenada ao longo da noite e causa superestimativa do fluxo de densidade neste momento. Nesta condição “não-ideal”:

$$\bar{\rho}_a \int_0^h (\partial c / \partial t) dt, \bar{c} \text{ is non-zero}$$

Esse armazenamento deve ser estimado e adicionado às medições.

Assim, avaliações das taxas de trocas biosfera-atmosfera devem levar em conta também:

- Terrenos inclinados \Leftrightarrow fluxos ortogonais
- Terrenos não-uniformes \Leftrightarrow fluxos advectivos

Segundo Sun *et alii.* (1998), fluxos de drenagem podem transportar CO₂ para a vizinhança da Torre de medidas, levando a erros de viés sistemáticos e subestimando a respiração do ecossistema

A influência de erros randômicos e de viés sistemático são mais comuns e relacionados a:

- Calibração dos analisadores de gás a infravermelho (2-3%)
- Velocidade e sensores escalares (2%)
- Medidas de covariância (dia = menor 7%; noite = menor 12%)
- Variabilidade natural da turbulência (10-20%)
- Medidas de longo prazo \Leftrightarrow reduzem erros a $\pm 5\%$

Além desses, erros persistentes estão relacionados a fechamento do balanço de energia e sub-estimativa do *efflux* noturno do ecossistema durante condições de ventos fracos.

Alguns limites de erros de fluxos de carbono em somas anuais são apontados por diversos autores *apud* Baldocchi (2003):

- Goulden *et alii* (1996^a): $\pm 30 \text{g.C.m}^{-2}.\text{Ano}^{-1}$ na floresta de Harvard
- Lee *et alii* (1999): $\pm 40 \text{g.C.m}^{-2}.\text{Ano}^{-1}$ em floresta temperada
- Yang *et alii* (1999): $\pm 30 \text{g.C.m}^{-2}.\text{Ano}^{-1}$ num sítio boreal de Aspen
- Lafleur *et alii* (2001): $\pm 30 \text{g.C.m}^{-2}.\text{Ano}^{-1}$ num pequeno pântano

Obs: condições não-ideais: $\pm 130 \text{g.C.m}^{-2}.\text{Ano}^{-1}$ (Baldocchi *et alii*, 2000); $\pm 130 \text{g.C.m}^{-2}.\text{Ano}^{-1}$ (Anthoni *et alii*, 1999)

A comunidade da Ecologia contrapõe resultados de NEP produzidos por métodos ecológicos, porém o desenvolvimento de novas pesquisas conjugando técnicas vem apontando a tendência emergente de convergência entre métodos *eddy covariance* e inventários de biomassa, com registros de longo prazo, visando entender e remediar os vieses entre métodos.

2.2. A dimensão econômica

No final da década de 80 por causa de um derrame de óleo no estreito de Prince William uma multinacional do setor petrolífero despendeu mais de US\$ 1 bilhão de dólares, entre indenizações, multas e custeio de projetos de recuperação dos ecossistemas. A exemplo do que foi usado no Alaska, onde a empresa arcou com as condenações calculadas com base em estimativas realizadas através de métodos capazes de captar a abrangência necessária à diversidade de valores atingidos, fez-se necessária a definição de metodologia própria para valoração econômica de bens e serviços ambientais.

2.2.1. Aquecimento global e o valor econômico dos manguezais

O aquecimento global atualmente discutido em fóruns científicos ou populares é associado à mudança gradual da temperatura devido à acumulação dos chamados gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera terrestre, que absorvem a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre. Um dos mais significativos dos GEE é o dióxido de carbono (CO_2). Embora o carbono ocorra naturalmente sob diversas formas no planeta e seja essencial para a vida, o aumento de emissões para a atmosfera, principalmente através da queima de combustíveis fósseis, atividades industriais, combustão e desmatamento, vem ocasionando um desbalanceamento de seus estoques naturais existentes no solo e na vegetação na direção da atmosfera terrestre. Importante fórum de discussão e formador de opinião mundial sobre o assunto, o International Panel on Climate Change (IPCC), reúne pesquisadores de todo o planeta divulgando através de pesquisas e modelos de simulação climática evidências que sugerem a influência das

atividades econômicas humanas no clima global, associadas ao aumento da concentração de GEE, principalmente o CO₂, no curto espaço de tempo pós-revolução industrial.

Os ecossistemas manguezais se encontram entre os sistemas mais produtivos do mundo, superando os níveis de produção primária de muitos sistemas agrícolas. Os mangues são alimentados pelo aporte contínuo de nutrientes, principalmente oriundos de correntes pluviais e distribuídos pelas marés. Estes nutrientes são fixados na matéria orgânica vegetal, cujas folhas ao cair são enriquecidas por populações de fungos e bactérias, formando um detrito que se converte em alimento, permitindo a manutenção das populações de peixes, moluscos e crustáceos de interesse para a economia humana. As bactérias e fungos são importantes agentes decompositores no ecossistema manguezal, alguns cumprindo a função básica de decompositores de madeira e responsáveis pela reciclagem do carbono removido da atmosfera durante o processo da fotossíntese pelos organismos autotróficos.

A partir da revolução industrial e do intenso desenvolvimento da economia humana, baseada em combustíveis fósseis até aos dias de hoje, as mudanças ambientais globais vêm impulsionando estudos para distinguir o valor dos ecossistemas manguezais e compreender a multiplicidade de funções neles embutidas. Uma dessas funções – a que mais se destaca por ser responsável pela base da teia alimentar marinha – é a produtividade primária e, conseqüentemente a fotossíntese como o seu agente primordial. Principal alternativa para minimizar o efeito da ação antrópica provocado em grande parte pela queima de combustíveis fósseis e outras atividades em menor escala, a fotossíntese atua minimizando o efeito estufa antrópico que já se observa através de alterações climáticas pelo planeta, por culpa do excesso de emissão dos chamados GEE. As formas e propostas para a absorção dos gases que provocam o efeito estufa variam desde a preservação integral das florestas, da recuperação natural de florestas, do replantio de florestas e de uma relação respeitosa entre a espécie humana e a diversidade da flora planetária. Até instrumentos econômicos e acordos internacionais mais sofisticados propostos por aqueles que se apropriam do meio ambiente para atender interesses difusos. A partir da reunião em Kyoto em 1997, o conjunto dos países envolvidos moveu-se na direção da consolidação de um mercado de comércio de certificados de redução das emissões de gases do efeito estufa (FBMC, 2002). Uma proposta brasileira apresentada nesse fórum procura estabelecer mecanismos para um desenvolvimento limpo (MDL). Dentre esses, destaca-se o apoio a atividades de

projetos sobre o uso do solo, sobre a mudança do uso do solo e florestamento (LULUCF). Esta proposta abre um leque de possibilidades para a recomposição de diversos biomas desflorestados em muito pelo crescimento da economia humana, que desconhece as leis e a importância da economia da natureza que a contém.

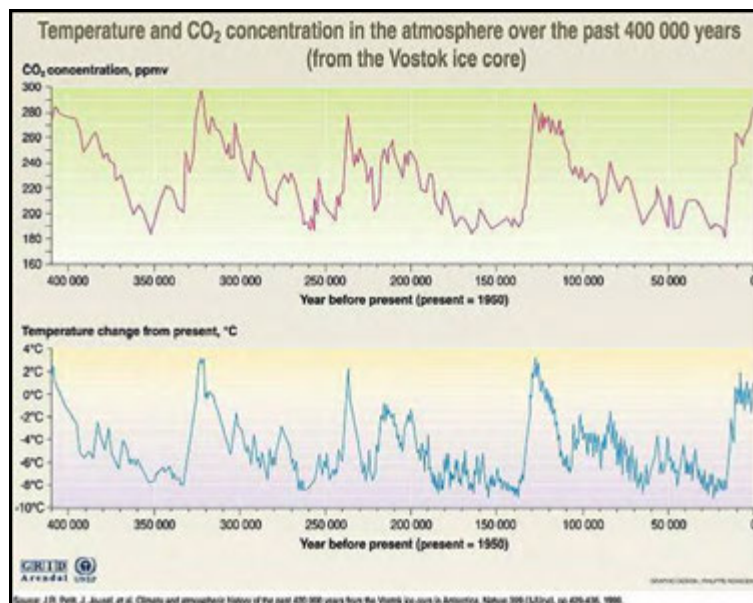
A eficiência para o armazenamento do carbono em florestas de mangue, assim como a valoração econômica – ecológica desses esforços, necessita de parametrização para modelagem de cenários futuros. Estudos sobre o ciclo de carbono florestal indicam que entre os sumidouros de carbono estariam as florestas em expansão e o acúmulo de matéria orgânica no solo (HOUGHTON *et al.*, 1983). Preliminarmente relata-se a importância do ecossistema manguezal assim resumida:

- como provedor e mantenedor da biodiversidade;
- como mantenedor das bacias flúvio-marinhas;
- como sustentador de inúmeras e importantes atividades econômicas humanas; e
- como sumidouro de carbono, contribuindo para amenizar o efeito estufa antrópico no planeta e para a geração de créditos de carbono como atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O presente capítulo pretende delinear as bases para a compreensão do valor econômico dos manguezais e sua importância no contexto das discussões sobre o aquecimento global.

2.2.2. A base da discussão

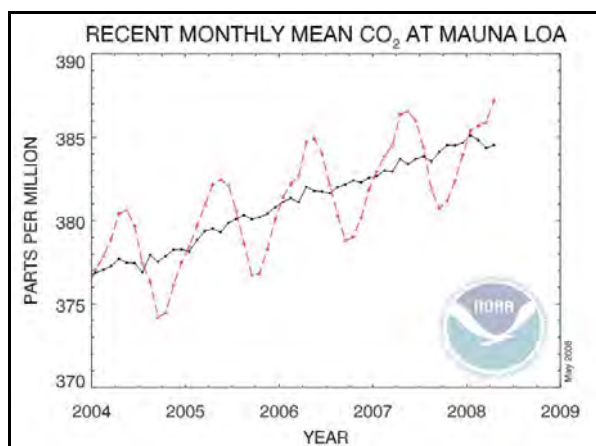
Pesquisas baseadas em testemunhos obtidos a partir da perfuração da camada de gelo armazenado nas calotas polares (testemunho de Vostok), estabelecem uma relação entre as variações da concentração do CO₂ e a temperatura planetária, conforme pode ser observado na Figura 2.



Fonte: adaptado de Petit *et al.* (1999).

Figura 2 – Testemunho de Vostok.

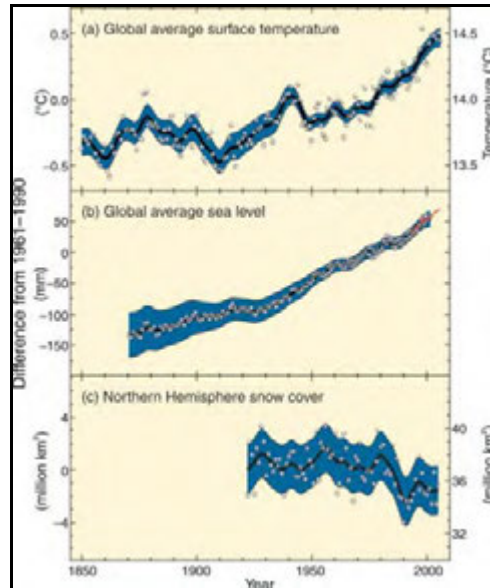
Dados recentemente computados pelo observatório de Mauna Loa registram a evolução das concentrações do CO₂ atmosférico nos últimos quatro anos destacando um aumento de 40% nos níveis desde a revolução industrial, os maiores em 650.000 anos, e atingindo 387 PPM, mostrados na Figura 3.



Fonte: The Guardian (2008). Disponível em: <<http://www.guardian.co.uk/environment/2008/may/13/carbonemissions>>. Acesso em: 21 Jul. 2009.

Figura 3 – Concentrações do CO₂ Atmosférico (2004 – 2009).

Estudos recentes divulgados pelo quarto relatório do IPCC apontam significativos aumentos globais da temperatura, bem como do nível do mar e a redução na cobertura da neve do hemisfério norte como consequência (Figura 4).



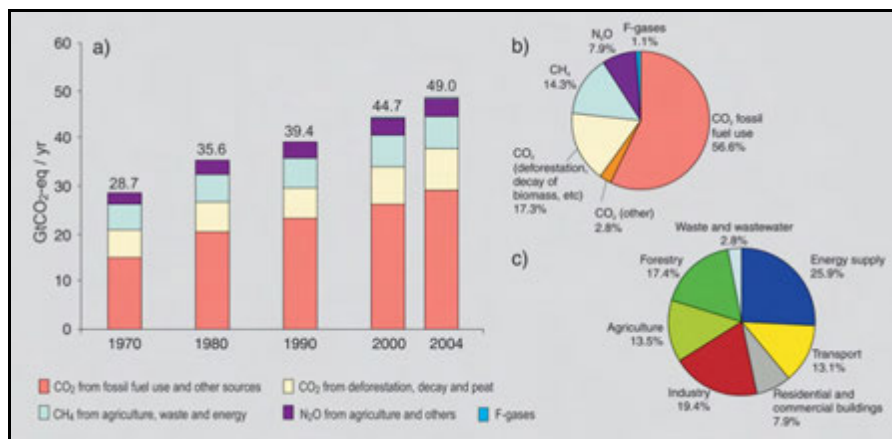
Fonte: IPCC AR4 (2007).

Figura 4 – Aumentos globais da temperatura, do nível do mar e a redução na cobertura da neve do hemisfério norte.

Essas evidências vêm movimentando a comunidade científica mundial e originando uma discussão cujas principais vertentes são delineadas a seguir.

2.2.3. O efeito carbono

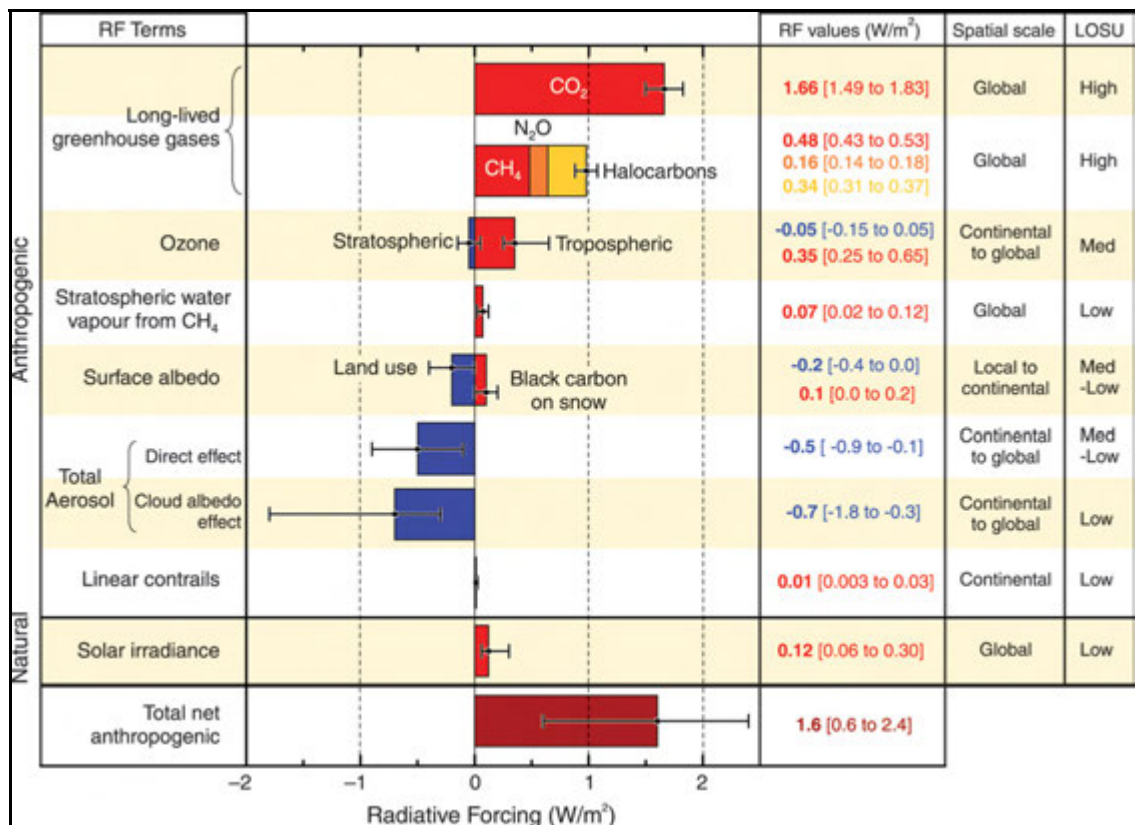
Em escalas do tempo geológico a interação entre o aumento das concentrações do Carbono (em especial o CO_2), e o aumento da temperatura no planeta Terra ilustrada pelo testemunho de Vostok (Figura 2), chama a atenção por um lado pela aparente relação direta entre o aumento e diminuição da concentração de CO_2 e a temperatura. Petit *et alii* (1999) constataram a variação em duas escalas, como uma variação no tempo geológico. A primeira entre 130, 240, 320 e 410 mil anos (diminuição da concentração do CO_2 e da temperatura). A segunda como uma amplitude de variação (aumento da concentração do CO_2 e da temperatura), em um “pequeno espaço de tempo” entre dez a quinze mil anos e o pico correspondente a pouco mais de um século antes do presente. Segundo o quarto relatório do IPCC, esta é “... uma dramática evidência da relação entre o ciclo do carbono e o sistema climático” (IPCC AR4, Chapter 7, 7.6 Concluding Remarks, 2007). As principais fontes de emissões de CO_2 do final do século passado ao início do século XXI são destacadas na Figura 5.



Fonte: IPCC AR4 (2007).

Figura 5 – Principais Fontes de Emissões de CO₂

O referido relatório destaca também que a dinâmica do sistema terrestre é responsável por esses resultados, através da combinação de um conjunto de forçantes externas (neste caso as mudanças de longo prazo nos parâmetros orbitais terrestres e a forçante solar), e o conjunto de vetores dos mecanismos de *feedback* do ambiente terrestre. Em pequena escala de tempo, as forçantes mostradas na Figura 6, originadas das atividades humanas (mudanças no uso do solo, emissões de GEE, degradação da qualidade do ar, diminuição da camada de ozônio, dentre outros), são responsáveis pela produção dos efeitos e numerosas perturbações nos mecanismos de *feedback* que caracterizam o sistema terrestre.



Fonte: IPCC AR4 (2007).

Figura 6 – Forçantes radiativas.

Existe um grande número de *feedbacks* que amplificam ou atenuam a reposta climática, porém os mais conhecidos e estudados são o vapor d'água, o albedo do gelo, assim como o *feedback* entre o ciclo do carbono e o sistema climático que pode produzir efeitos substanciais no clima. A redução dos diferentes estoques de carbono terrestres, produzindo um aumento significativo na concentração do CO₂ atmosférico, aumenta a forçante climática deste, conclui o relatório (IPCC, 2007).

2.2.4. Aquecimento ou resfriamento global

Como resultado de um grande esforço de pesquisas reunindo cientistas de vários países, as conclusões do IPCC vêm ganhando espaços cada vez maiores até seu último relatório de avaliação divulgado em 2007. Tamanho efeito na mídia acaba por abafar vozes ainda esparsas, porém não menos importantes, que chamam a atenção para outras

variáveis pouco compreendidas, muitas questionando as avaliações do quarto relatório de avaliação do IPCC.

Um dos trabalhos financiado através da European Organization for Nuclear Research (CERN), reúne um grupo de cientistas interdisciplinares de 18 instituições de nove países em torno do programa Cosmics Leaving Outdoor Droplets (CLOUD), que estuda as relações entre os raios cósmicos e a formação de nuvens. Resumidamente, os raios cósmicos são partículas que bombardeiam a atmosfera terrestre vindos do espaço exterior. Os estudos preliminares em um reator PS (*Proton Synchrotron*) sugerem a influência destes raios na extensão da cobertura de nuvens, simulando no PS a geração artificial de uma fonte de raios cósmicos e a formação de aerossóis. Complementadas com medidas de satélites se estabelecem as possíveis relações entre a intensidade dos raios cósmicos e a extensão da cobertura de nuvens baixas. Sabe-se que essas nuvens exercem forte influência no balanço de energia terrestre e pequenas mudanças percentuais na cobertura, certamente têm um importante efeito no clima.

Em recente comunicação por e-mail ao autor desta tese, o prof. Yuri Stozhkov informa que o programa CLOUD ainda está em fase de construção. Em sua recente viagem ao Brasil o prof. Yuri destacou a importância do trabalho de pesquisadores brasileiros encaminhado às autoridades governamentais (carta de 14/02/2008 ao Ministro da Ciência e Tecnologia), cujas conclusões também destacadas por trabalho recente do Prof. Luiz Carlos Baldicero Molion do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, chamam a atenção para um possível resfriamento do clima nos próximos 20 anos, ao contrário da opinião dominante formada pelo IPCC. Molion (2008) interpreta diferentemente do IPCC as conclusões extraídas do artigo de Jean Robert Petit e colaboradores, publicado em 1999 (Figura 2), destacando a evolução temporal da temperatura e da concentração de CO₂, obtida com os cilindro de gelo da estação russa de Vostok na Antártida e difundida pelo documentário “Uma Verdade Inconveniente”, protagonizado por Al Gore (ex-vice presidente dos EUA). Conforme mostrado anteriormente, a concentração de CO₂ variou entre 180 e 300 ppmv, e os desvios de temperatura do ar, variou entre - 8 e + 6 °C. Uma análise criteriosa revela que a curva de temperatura apresentou 4 picos, superiores à linha de zero (tracejada), que representam os interglaciais passados – períodos mais quentes, com duração de 10 mil a 12 mil anos que separam as eras glaciais, que por sua vez duram cerca de 100 mil anos cada uma – a cerca de 130, 240, 320 e 410 mil anos antes do presente. As temperaturas dos interglaciais passados parecem ter sido superiores às do presente

interglacial, enquanto as concentrações de CO₂ correspondentes foram inferiores a 300 ppmv. Lembrando que a concentração atual atingiu cerca de 380 ppmv. Molion (2008) conclui na contramão da opinião dominante, que as concentrações de CO₂ parecem não terem sido responsáveis pelas temperaturas altas dos interglaciais passados.

Questiona também a integridade das bolhas de ar apreendidas no gelo, como um registro confiável do clima passado. Efeitos da difusão dos gases, pressão, e intervalo de tempo necessário para o aprisionamento dessas bolhas de ar, comprometem a qualidade desses registros, bem como as interpretações advindas. Além de contrapor sua opinião a um dos principais sustentáculos da argumentação *mainstream* sobre o aquecimento global, os testemunhos de Vostok, chama a atenção para a relevância da forçante constituída pelas nuvens, albedo e aerossóis e o importante papel desempenhado pelo sistema oceano – atmosfera. Como a atmosfera é aquecida por debaixo, os oceanos constituem a condição de contorno inferior mais importante para a atmosfera e para o clima global. Sabendo-se que o aumento da temperatura nos oceanos diminui sua capacidade de armazenamento de CO₂, esses atuam também como principal regulador dos estoques deste gás na biosfera.

Ademais, a hipótese estudada pelo Programa CLOUD de que raios cósmicos galácticos intensificam a formação e aumento da concentração de núcleos de condensação – partículas higroscópicas necessárias para a produção de gotas d'água de nuvens e de chuva - ao entrarem na atmosfera terrestre. Relaciona o aumento da concentração dos núcleos de condensação com o aumento da cobertura de nuvens baixas, contribuindo para o aumento do albedo do planeta e levando ao *feedback* negativo de resfriamento do Planeta. Outro ponto importante na contramão da opinião *mainstream*, segundo Molion (2008), a variação da constante solar (maior ou menor aporte de energia do sol que atinge nosso planeta), pode chegar a 4 Wm⁻² entre um máximo e um mínimo solar. Considerando o albedo planetário de 30%, 70% dessas variações (1,9 a 2,8 Wm⁻²) chegariam à superfície, o que é superior ao efeito de aquecimento climático (“forçamento radiativo”, na linguagem do IPCC) de todos os gases antropogênicos liberados no período pós – revolução industrial. O pequeno conhecimento atual, porém, não permite uma conclusão definitiva sobre a influência da variação da produção de energia pelo Sol no clima, embora o IPCC afirme que ela não seja significativa (+0,12 W m⁻² . Recentemente (fevereiro de 2010), os Estados Unidos enviou para o espaço um satélite para estudar e conhecer melhor o Sol e suas influências em nosso Planeta.

Assim, atravessando discussões maniqueístas e na direção da expansão do conhecimento humano, destacam-se essas duas vertentes procurando o entendimento dos processos e fenômenos que regulam o atual ciclo do carbono e as mudanças globais.

2.2.5. A convenção das nações unidas para mudanças climáticas

No início da década de 1990, as vésperas de mais um novo milênio, uma convenção de países chamou a atenção mundial para o quadro preocupante de poluição atmosférica, ocasionada principalmente pelas atividades oriundas do processo econômico humano, que potencializa uma importante função da atmosfera do planeta: o efeito estufa. Fenômeno naturalmente desenvolvido por uma conjunção de fatores, o efeito estufa vem sendo potencializado pelas atividades econômicas que provocam emissões adicionais significativas dos chamados gases do efeito estufa na atmosfera - GEE – principalmente: gás carbônico, metano, óxido nitroso, gás sulfídrico e os clorofluorcarbono derivados.

Da convenção entre as partes interessadas, e de seus desdobramentos em reuniões subsequentes, resultou o compromisso de redução de 5% dos níveis da poluição com base nos cálculos das emissões dos GEE em 1990, expresso em Protocolo na reunião realizada em 1997 na cidade de Kyoto (Japão), agrupando os países mais desenvolvidos e responsáveis pelo maior volume dessas emissões em um anexo ao documento. A fim de que todos os países interessados pudessem ter tempo para oficializar esse acordo, através de suas representações legais (Assembléias, Parlamentos, Congressos), foi estipulado na ocasião um período futuro, do ano de 2008 ao ano de 2012, para que fosse atingida a meta estipulada, valendo como tratado internacional, após a validação desses por 55% dos países responsáveis por 55% das emissões antrópicas dos gases potencializadores do efeito estufa.

Destacando a importância da sustentabilidade dos processos vitais das espécies em nosso planeta, procuram assim os países signatários do tratado assumir a responsabilidade na melhoria do clima e do ar que respiramos. Subentende a substituição gradual do nosso atual modelo energético poluidor por outro sustentável, através de atividades de projetos que subtraíam da atmosfera pela fotossíntese da flora planetária, ou por reduções de emissões, o excesso do principal GEE causador do efeito estufa antrópico: o CO₂, ou gás carbônico. Esse esforço organizado pelas partes na convenção de Kyoto no Japão, em torno de um mecanismo de desenvolvimento limpo

(MDL), criou um Mercado mundial que possibilita aos países com metas de redução de emissões, valerem-se dos créditos gerados pelas atividades dos projetos que subtraem ou reduzem emissões de GEE. A proposta brasileira, na vanguarda das partes que não pertencem ao anexo A da Convenção - Quadro, possibilitou a participação dos países em desenvolvimento e sem metas de redução de emissões, como receptores de projetos para geração dos chamados créditos de carbono, correspondendo a toneladas de dióxido de carbono, ou equivalente, retirados ou não emitidos da/para a atmosfera.

Apesar da não adesão dos EUA, responsável pelo maior volume de emissões de GEE para a atmosfera, o Protocolo de Kyoto entrou em vigor em 18/02/2005, colocando em prática um mercado visando o desenvolvimento sustentável dos países. Este destaca a responsabilidade comum, porém diferenciada, para a reparação dos danos que vem sendo causados por um seleto grupo de países principais poluidores do planeta.

2.2.6. A convenção das Nações Unidas e o Protocolo de Kyoto

As preocupações dos países com mudanças climáticas e os esforços conjugados reportam a 1988 com a criação do IPCC (do inglês, Intergovernmental Panel on Climate Change no âmbito do PNUMA/UNEP (sigla em inglês, United Nations Environment Programme) e da Organização Mundial de Meteorologia (sigla em inglês, WMO). Um texto foi elaborado na sede da ONU em Nova York (EUA) em Convenção no dia 9 de maio de 1992 e aberto para assinaturas em junho de 1992 no Rio de Janeiro (Brasil) durante a Rio 92 e depois na sede da Organização das Nações Unidas - ONU. A Convenção recebeu 166 assinaturas até 21 de março de 1994, quando entrou em vigor, podendo ser ratificada a qualquer momento pelos países ainda não signatários².

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas reúne-se anualmente em eventos conhecidos como Conferências das Partes (COP) (Figura 7). O propósito dessas reuniões é avaliar o progresso do programa e rever as divergências que ainda caracterizam as difíceis negociações sobre o controle na emissão de gases causadores do efeito estufa e o consequente aumento na temperatura global.

² A lista completa de nações signatárias e a situação atual pode está disponível em: <<http://unfccc.int/>>.

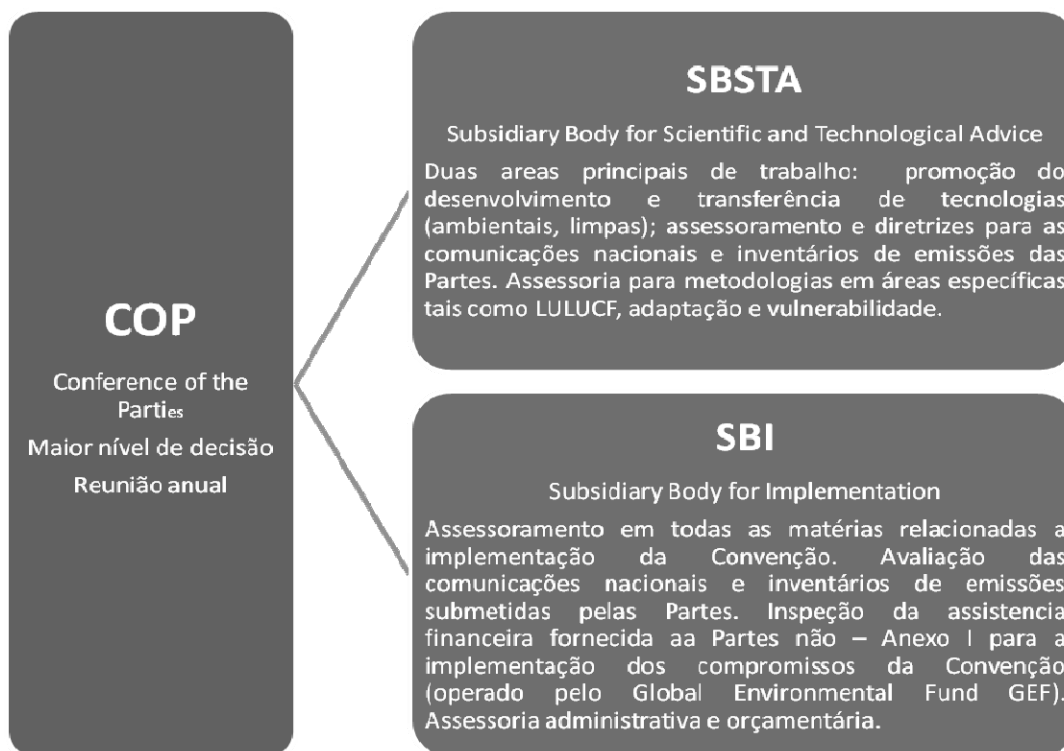


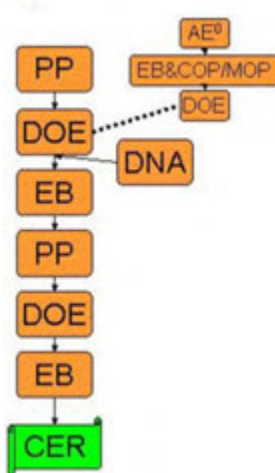
Figura 7 – Estrutura da convenção.

A Conferência das Partes (COP) realizada em Kyoto em 1997 destaca-se como uma das mais importantes, uma vez que durante sua realização foi estabelecido um acordo onde se encontram definidas metas de redução da emissão de GEE para os países do Anexo B (países desenvolvidos com compromissos de redução das emissões de GEE), além de critérios e diretrizes para a utilização dos mecanismos de mercado. Este acordo ficou conhecido como Protocolo de Kyoto e estabelece que os países desenvolvidos devem reduzir suas emissões em 5% abaixo dos níveis observados em 1990 entre 2008-2012 (primeiro período de compromisso).

O Protocolo de Kyoto estabeleceu o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A idéia do MDL consiste em que cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida, ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento, poderá ser negociada no mercado mundial através de Reduções Certificadas de Emissões (RCE).

2.2.7. O mecanismo de desenvolvimento limpo

A partir da reunião em Kyoto em 1997 o conjunto dos países envolvidos moveu-se na direção da consolidação de um mercado de comércio de certificados de redução das emissões de gases do efeito estufa. Dentre os mecanismos de implementação previstos, uma proposta brasileira estabelece mecanismos para um desenvolvimento limpo (MDL). Um diagrama sobre as diferentes etapas que um projeto deverá seguir para receber os RCE dentro do MDL pode ser ilustrado na Figura 8.



Legenda:

PP = Participante do projeto; AE = entidade proponente; EB = comitê executivo do MDL; DOE = entidade operacional designada; DNA = autoridade nacional designada para o MDL; e CER = Reduções Certificadas de Emissões

Fonte: adaptado de <<http://unfccc.int/>>.

Figura 8 – Etapas de um projeto MDL.

As atividades de projeto elegíveis são aquelas que resultam redução de emissões e, ou, remoção de GEE adicional, que demonstre benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo, adicionalidades ao que ocorreria na ausência da atividade de projeto do MDL. Em resumo:

- tecnologias mais eficientes;
- substituições de energia fóssil para renovável;
- racionalização do uso da energia; e
- florestamento e reflorestamento.

De acordo com as regras estabelecidas nas COPs, a participação em um projeto de MDL deve ser voluntária. As Partes interessadas em participar do MDL devem, em primeiro lugar, designar uma autoridade nacional (DNA) que será responsável pela aprovação ou não dos projetos de MDL no país hospedeiro. Na fase de configuração do projeto, é necessário estabelecer a adicionalidade e a linha de base (*baseline*) do projeto, além da metodologia de monitoramento que será utilizada para verificar o cumprimento das metas de redução de emissões e, ou, de sequestro de carbono. As atividades de um projeto de MDL são consideradas adicionais se as emissões antropogênicas de GEE forem menores que as que ocorreriam na ausência do projeto; e, ou, se o sequestro de carbono for maior aquele que ocorreria na ausência do projeto. A linha de base de um projeto de MDL é o cenário que representa as emissões antropogênicas de GEE que ocorreriam na ausência do projeto. Para auxiliar as Partes na apresentação de tais informações, o Comitê Executivo do MDL (EB) desenvolveu um documento base denominado “*project design document*” (PDD).

A entidade operacional designada (DOE) selecionada pelos participantes do projeto (PP) para validar o projeto deve revisar o PDD e outros documentos relevantes, tais como comentários das partes interessadas (*stakeholders*) e possíveis impactos ambientais do projeto. O Comitê Executivo irá dizer se aceita ou não a linha de base e a metodologia de monitoramento propostas. Uma vez aceita, o projeto pode ser registrado no Comitê Executivo. O registro é um pré-requisito para a verificação, certificação e emissão dos RCE.

Uma vez registrado o projeto passa para a fase de monitoramento, a ser feito de acordo com a metodologia previamente aprovada. Esse monitoramento irá acontecer seguindo um plano estabelecido pela metodologia e terá como resultados relatórios que serão submetidos para a entidade operacional para a verificação do projeto. A verificação é a revisão periódica e independente realizada pela entidade operacional e o monitoramento posterior às reduções de GEE e, ou, sequestro de carbono ocorrido durante o período de verificação. A certificação, por sua vez, é a garantia por escrito, dada pela entidade operacional, de que durante um determinado período o projeto alcançou as reduções de GEE e, ou, sequestro de carbono propostos. Com a certificação, é possível solicitar do Comitê Executivo a emissão dos RCE relativos à quantidade reduzida e, ou, sequestrada.

2.2.8. As atividades de LULUCF

Dentre as atividades de um projeto MDL, destaca-se aqui o apoio a atividades de projetos sobre o uso do solo, sobre a mudança do uso do solo e florestamento (do inglês, LULUCF). As atividades de Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Florestas, chamadas por muitos de sumidouros (*sinks*), sempre foram motivos para controvérsias dentro do processo de negociação das COPs. O fracasso da COP 6 pode ser explicado, em parte, pela divergência existente entre vários países quanto à utilização de tais atividades para atingir as metas de redução de emissões de GEE. A fim de solucionar os impasses criados dentro deste tema, na COP 7 as Partes acordaram que os projetos de sequestro de carbono relacionados à LULUCF devem ser elaborados de acordo com os seguintes princípios (UNFCCC, 2002):

a) as atividades de LULUCF devem ser baseadas em sólido conhecimento científico;

b) metodologias consistentes devem ser utilizadas ao longo do tempo para determinação das estimativas (de sequestro de carbono) e do monitoramento das atividades de LULUCF;

c) a meta estabelecida no Artigo 3.1 do Protocolo de Kyoto não deve ser alterada pela contabilização das atividades de LULUCF;

d) a simples presença de estoques de carbono deve ser excluída da contabilidade;

e) a implementação de atividades de LULUCF deve contribuir para a conservação da biodiversidade e para o uso sustentável dos recursos naturais;

f) a contabilização de atividades de LULUCF não implica na transferência de compromissos para períodos futuros;

g) a reversão das atividades de LULUCF deve ser contabilizada em um determinado período do tempo;

h) a contabilização exclui a remoção (sequestro) proveniente de: i) concentrações elevadas de CO₂ acima do seu nível pré-industrial; ii) deposição indireta de nitrogênio; e iii) dos efeitos dinâmicos resultantes do crescimento decorrente de atividades e práticas anteriores ao ano de referência.

A COP 7 também decidiu que para projetos de MDL, somente serão elegíveis as atividades de reflorestamento e florestamento e que, para o primeiro período de compromisso (2008-2012), o total de RCE resultante desses projetos utilizados por uma

Parte para contabilizar suas reduções não pode ser superior a 1% das emissões do ano-base multiplicado por cinco (UNFCCC, 2002).

2.2.9. Linhas de base, metodologias e monitoramento

Os procedimentos para elegibilidade de áreas para atividade de projetos LULUCF (A/R CDM) obedecem principalmente ao disposto nas decisões 11/CP.7 e 19/CP.9, com limites de cobertura vegetal, área e tamanho resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Atividades de projeto para reflorestamento e florestamento (A/R)

Características Básicas			
	Mínimo de Cobertura Vegetal entre 10 e 30 %	Mínimo de Área do Projeto entre 0,05 e 1 ha	Mínimo de Tamanho de Árvores entre 2 e 5 m
Brasil	30	1	5

Fonte: adaptado de <<http://unfccc.int/>>.

Importantes recomendações devem ser levadas em consideração na caracterização da área de referência para o estabelecimento da linha de base (do inglês, *baseline*), por exemplo não estar coberta por vegetação natural ou plantações em regeneração que possam atingir os patamares mínimos exigidos pelas Partes, sem o auxílio ou intervenção humana. Ainda, para atividades de reflorestamento a área de referência não deve possuir cobertura florestal em 31 de dezembro de 1989, ou para atividades de florestamento a área não deve possuir cobertura vegetal nos últimos 50 anos antes do início do projeto. Os requisitos especificados no Acordo de Marrakesh devem ser comprovados através de:

- fotografias aéreas ou imagens de satélites georeferenciadas, ou;
- informações documentais de uso da terra ou de cobertura da terra, obtidas de mapas, ou outros bancos de dados, ou;
- pesquisa baseadas em informações da área por permissionários, proprietários, testemunhos, cartórios, prefeituras e outros informantes.

Atendendo a esses critérios o estabelecimento da linha de base deve incluir um cenário onde futuras emissões de GEE por fontes antropogênicas cresçam acima das existentes e sejam evitadas emissões históricas ou atuais na área de referência.

A escolha de um período para os créditos das atividades de projeto propostas está restrita a uma das opções: o máximo de sete anos renováveis no máximo por duas vezes, desde que a cada período de renovação a Entidade Operacional Designada informe ao Comitê Executivo que a baseline original continua válida ou foi atualizada; o máximo de dez anos sem renovação. As reduções das emissões antropogênicas por fontes devem contabilizar a fuga (do inglês, *leakage*) de acordo com a metodologia de monitoramento e verificação, definida como as mudanças líquidas das emissões antropogênicas por fontes ocorridas fora dos limites, mensuráveis e atribuídas às atividades de projetos desenvolvidas na área de referência.

Uma metodologia de monitoramento deve descrever os procedimentos para os cálculos periódicos das reduções, prover uma coleção de dados relevantes e necessários para a verificação e medição das emissões antropogênicas de GEE por fontes, ocorridas nos limites ou fora dos limites (*leakage*) da área de referência do projeto durante o período de créditos. Deve incluir também a análise de impactos ambientais das atividades de projeto na área e além de seus limites de acordo com os procedimentos legais exigidos pela legislação da Parte que hospeda o projeto. O plano de monitoramento para atividades de projetos propostas deve estar baseado em uma metodologia já aprovada ou em uma nova metodologia a ser proposta (disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/>>), e descrito no documento de concepção de projeto (do inglês PDD).

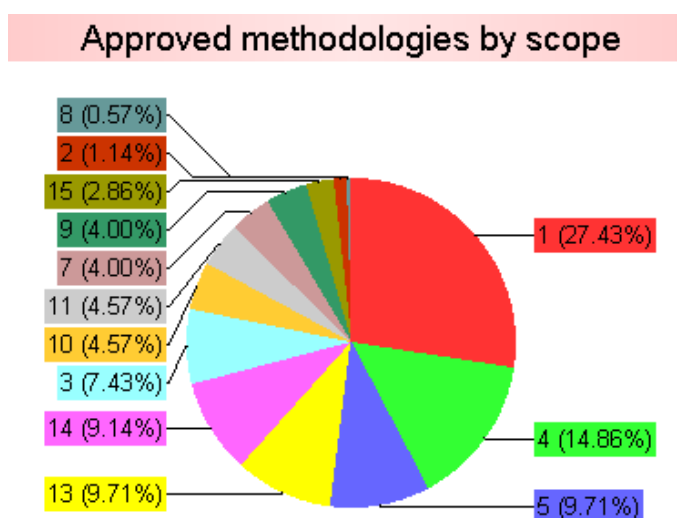
O PDD deve reunir todas as informações necessárias ao registro de um projeto no Comitê Executivo do Mecanismo Limpo, fornecendo as informações de acordo ³com a escala do projeto. A título de ilustração, o único projeto submetido para atividades A/R CDM em ecossistemas manguezais e registrado na Bolsa Mercantil e de Futuros do Brasil (disponível em: <<http://www2.bmf.com.br/>>), faz parte do projeto ora em qualificação e pretende ser enquadrado na modalidade de projeto de pequena escala para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Projetos de pequena escala em LULUCF são aqueles de atingem reduções de emissões por fonte de até 15.000 toneladas de gás carbônico equivalente por ano (cerca de 4.000 toneladas de carbono).

³ O formulário disponível em <<http://cdm.unfccc.int/>>.

2.2.10. O balanço de projetos e metodologias aprovadas

Projetos de reflorestamento de manguezais - importantes ecossistemas tropicais costeiros – com a finalidade de aferir o valor de resgate do sequestro de carbono atmosférico e de contribuir para a minimização do efeito estufa devem estabelecer parâmetros e metodologia necessários para o seu desenho, a sua execução e a sua avaliação. Além da contribuição para o sequestro do carbono atmosférico, porém, as iniciativas de reflorestamento devem considerar os valores agregados às atividades socioeconômicas desenvolvidas pelas comunidades humanas, que habitam o entorno das áreas dos projetos. Os parâmetros devem referir-se tanto a variáveis biofísicas (volume de carbono sequestrado na biomassa formada, uso de espécies apropriadas, biodiversidade vegetal e animal, taxas de sobrevivência e de crescimento dos espécimes plantados, salinidade, solos, etc.), quanto variáveis socioeconômicas (serviços ambientais, trabalho remunerado e voluntário, restauração de atividades produtivas, usos alternativos das terras afetadas, etc.).

Até a data de conclusão deste trabalho as estatísticas referentes à aprovação de metodologias apontavam para os seguintes números, apresentados na Figura 9.



Fonte: adaptado de <<http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>>.

Figura 9 – Metodologias aprovadas (projetos MDL).

A Tabela 4 identifica os códigos referentes às classes de metodologias no âmbito de cada atividade de projeto proposta.

Tabela 4 – Códigos e quantidades de metodologias aprovadas (projetos MDL)

Scope	Number Of Methodologies* (Large-scale (AM, AR-AM) , Small-scale (AMS, AR-AMS) , Consolidated (ACM))
Energy industries (renewable - / non-renewable sources) (1)	48
Energy distribution (2)	2
Energy demand (3)	13
Manufacturing industries (4)	26
Chemical industries (5)	17
Construction (6)	0
Transport (7)	7
Mining/mineral production (8)	1
Metal production (9)	7
Fugitive emissions from fuels (solid, oil and gas) (10)	8
Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride (11)	8
Solvent use (12)	0
Waste handling and disposal (13)	17
Afforestation and reforestation (14)	16
Agriculture (15)	5

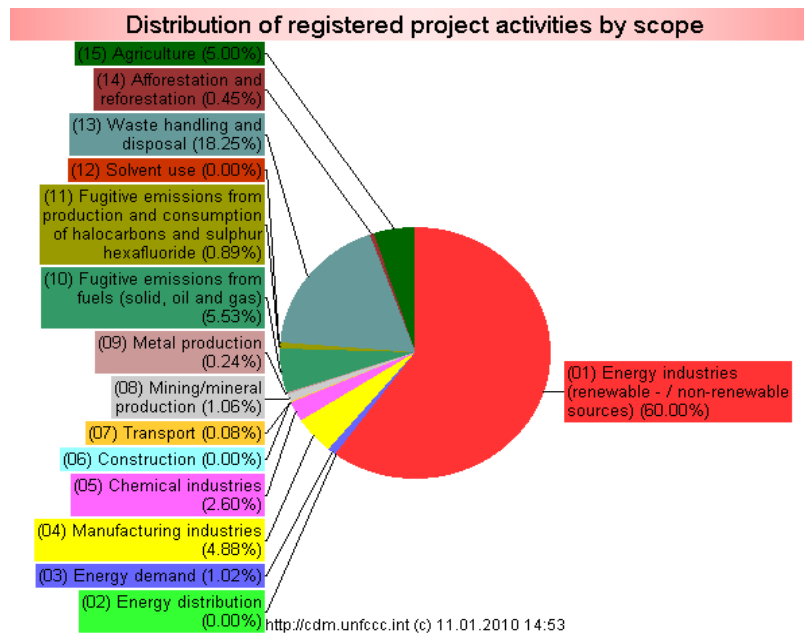
* A methodology can be linked to more than one scope .

Fonte: adaptado de <<http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>>.

Assim, o código 14 relativo a atividades de projetos de A/R CDM indicam o inexpressivo número de 9,14% de metodologias aprovadas com a finalidade de reflorestamento ou florestamento, atividades essas as únicas que na verdade significam alguma subtração do carbono atmosférico. Mesmo somadas a atividades agrícolas, provavelmente sistemas agroflorestais (SAFs), o total das metodologias aprovadas atinge apenas a 12%.

O presente trabalho chama a atenção para a importância da recuperação de manguezais através de atividades de projetos A/R CDM, servindo ao desenho e à execução de outros projetos voltados à geração de créditos de redução de emissões, através do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) em áreas de florestamento e reflorestamento com espécies nativas. Existem princípios que orientam objetivos e metas para esses projetos, que podem ser aplicados também a outros biomas (como por exemplo, o cerrado e mata atlântica). Esses princípios estão sendo aplicados no projeto Manguezais de Niterói, executado desde 1993 pela organização não-governamental

APREC Ecossistemas Costeiros, e pela Universidade Federal de Viçosa através do projeto CARBO-PARÁ em manguezais paraenses desde 2000, parte do Experimento de Larga Escala Biosfera – Atmosfera na Amazônia (sigla em inglês LBA). O cenário atual indica pouca representatividade de projetos LULUCF registrados no Comitê Executivo do MDL. De acordo com a Figura 10, apenas 0,45% de todos os projetos registrados.



Fonte: adaptado de <<http://cdm.unfccc.int/>>.

Figura 10 – Códigos e registros por atividade de projeto MDL.

Os dados acima comprovam que as restrições negociadas durante as COPs que sucederam a reunião de Kyoto até alcançar o Acordo de Marrakesh (FBMC, 2002a) na 7ª Reunião das Partes, foram determinantes para limitar o texto brasileiro que descreve o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, cuja regulamentação das modalidades e definições para inclusão de atividades de projetos para florestamento e reflorestamento deu-se na COP 9 em Milão, Itália. Primeiramente evitando a elegibilidade de emissões evitadas no primeiro período de compromisso. Em segundo lugar restringir para 5% do compromisso de redução de emissões dos países Anexo B, o total de créditos gerados por atividades de projeto desenvolvidas nos países elegíveis pelo MDL no Protocolo de Kyoto.

O presente estudo contribui para a base de conhecimento técnico-científico exigida para o desenho de projetos e metodologias para atividades LULUCF,

sinalizando que essas devem ser ampliadas permitindo ações de conservação florestal para o segundo período de compromisso, também chamado pós-Kyoto. Este, mal entrou em vigor, vem encontrando fortes resistências para o seu cumprimento, através de propostas complementares ou excludentes encaminhadas nas COPs 14 e 15, expressas por proposições de Fundos para a Conservação, Fundos para Adaptações, e outras que certamente levariam ao saudoso cronista e escritor carioca Sérgio Porto (Stanislaw Ponte Preta, 1923-1968) a reeditar o seu FEBEAPA Ambiental e que dissimulam intenções de esvaziamento do Protocolo em vigor.

Deve-se também ao reflexo das restrições em vigor, o pequeno número de projetos e metodologias aprovadas até a presente data pelo Comitê Executivo. Sinaliza ainda uma alternativa para recuperação e reflorestamento de manguezais, ecossistemas costeiros ou continentais degradados e aponta benefícios socioeconômicos a serem auferidos pelos atores envolvidos. Uma contribuição importante para que diversos atores brasileiros - governos, consórcios municipais, associações de produtores, ONGs, empresas, investidores – possam atuar neste mercado global emergente com um destaque proporcional à grande importância que o Brasil desfruta no panorama dos países com vocação para a produção de biomassa vegetal.

Contribui este estudo para o estabelecimento de metodologia para aferição do carbono atmosférico efetivamente a ser sequestrado em projetos LULUCF de ação climática de pequena ou grande escala capazes de gerar benefícios socioeconômicos mensuráveis para as populações vizinhas e, ou, envolvidas em áreas costeiras ou continentais e de mitigar problemas advindos do efeito estufa em nosso planeta, conforme descrito a seguir.

2.2.11. O valor econômico dos manguezais

Os principais autores clássicos da ciência econômica tratavam o meio ambiente como um fator de produção associado exclusivamente à terra e sua importância relativa no processo produtivo. Esta visão está presente desde a mão invisível (Smith, Adam – 1723 a 1790), aos retornos marginais decrescentes em função do crescimento populacional (Malthus, Thomas – 1766 a 1834), em contraponto com os limites do crescimento econômico no longo prazo devido a escassez de recursos naturais obrigando o uso de terras menos produtivas (Ricardo, David – 1772 a 1823). Stuart Mill, John (1806 a 1873) considerava que a corrida entre as inovações tecnológicas e os

retornos decrescentes seria ganha pelo progresso técnico, que proveria as satisfações materiais individualistas da Humanidade, deixando a sociedade livre para procurar outros objetivos educacionais, estéticos ou culturais. A dissonância viria tempos mais tarde e no século seguinte com os limites do crescimento do Clube de Roma (MEADOWS *et al.*, 1972).

Começa então uma associação das palavras economia e ecologia, base para a formulação de paradigmas para uma nova escola: a economia ecológica, transdisciplinar, procurando promover políticas orientadas à sustentação da “casa do homem” e da “casa da natureza”. A economia de escala começa a considerar a relação com o ecossistema, mostrando a necessidade de uma avaliação da capacidade de suporte e resiliência de um ambiente já não mais percebido como simples fator de produção. Como o exemplo da alocação do peso dentro de um barco que pode ser ótima, mas se o peso geral supera a capacidade de suporte do barco, este afunda otimamente. A necessidade de tornar explícitos os vínculos entre os processos econômicos e os processos ecossistêmicos começa a ficar evidente.

2.2.12. O conceito de valor ambiental

Dos compêndios da teoria do valor – trabalho (Marx, Karl – 1818 a 1883) entende-se que:

O salário de um trabalhador é entendido como o preço do trabalho expresso por uma quantidade de dinheiro pago por um tanto de determinado trabalho, socialmente aceito como o valor do trabalho. Da mesma forma o valor de uma mercadoria é a forma objetiva do trabalho social despendido em sua produção, sendo medido o seu valor mediante a grandeza do trabalho nela contido, além de outros custos que completam a expressão final daquele valor. Deixando de lado a tautologia marxista, um trabalhador ao trocar a sua jornada de trabalho por equivalentes iguais ao preço de seu produto, deixaria de gerar lucro para o comprador do seu trabalho, não havendo a formação de capital e desaparecendo a base da produção capitalista, o que não corresponde à realidade do atual sistema.” (MATTOS; FONSECA, 2001)

Por analogia pode-se associar a geração do capital natural e seu valor de uso existente ao valor agregado pelo “trabalho da Natureza” ao longo de milhares, milhões de anos, que hoje usufruímos ou utilizamos como insumo no processo econômico humano.

Crítica ao capitalismo e enfatizando que a base viável para qualquer sociedade reside na capacidade de auto-reprodução (sustentabilidade) de seu sistema de produção, a teoria do valor-trabalho seria deixada de lado neste século pelo valor medido pela sua escassez, oferta *versus* demanda, análise marginal, relações entre mudanças incrementais, trocando necessidades por preferências e o melhoramento do bem estar da sociedade pelo “indivíduo racional e egoísta”. Sem qualquer preocupação com futuras gerações, maximizando sua satisfação (utilidade) através de preferências reveladas por suas escolhas – cuja eficiência e consistência refletem um comportamento racional e com um instrumental econômico neoclássico que não conferia valor a bens e serviços ambientais.

Seja pelo ponto de vista marxista ou utilitarista é fácil perceber a dimensão do valor de bens e serviços ambientais, difícil é traduzí-los para a expressão monetarista *mainstream*.

2.2.13. Valor econômico e valor ambiental

O entendimento destas duas medidas de valor é descrito por diversos autores da disciplina de economia ecológica (PEARCE & TURNER, 1990; KOLSTAD, 2000), sendo necessário o distanciamento da visão antropocêntrica, além de preferências e motivações por interesses individuais. Conceitualmente o valor econômico é associado ao valor ambiental através da disposição a pagar (WTP) ou à disposição a aceitar (WTA), pelo bem ou serviço ambiental (Tabela 5).

Tabela 5 – Associação entre valor econômico e valor ambiental

Melhoria Ambiental		Deterioração Ambiental	
WTP para assegurar o benefício	WTA para antecipar o benefício	WTP para prevenir uma perda	WTA para tolerar uma perda

De acordo com a teoria econômica essas duas medidas são aproximadamente idênticas, porém em grande parte de estudos empíricos apresentam-se com diferenças significativas. Uma perda ambiental imposta tende a ganhar uma magnitude maior de valor do que um ganho ambiental assegurado e de igual quantidade. Então, a sugestão da perda de algo já possuído é consideradamente mais importante do que o ganho de

algo ainda não possuído. O pesar pela perda de algo que ainda não possuímos é menor que o custo da perda do que já possuímos. Ocorre que “...é quase impossível separar medidas de valor, como se pudéssemos dividir o valor de um sorvete entre textura e sabor” (PEARCE; TURNER, 1990).

Neste contexto pode-se desmembrar as unidades fundamentais associadas ao valor econômico e ao valor ambiental, de acordo com a Figura 11.

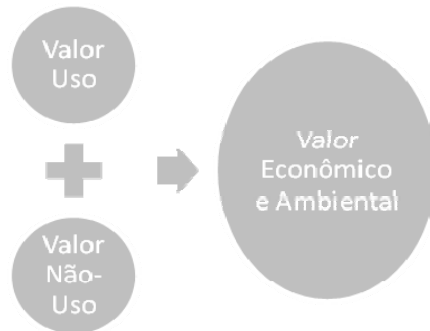


Figura 11 – O valor econômico e ambiental.

Ao valor de uso associa-se o consumo, o uso corrente (atual), o uso esperado e o uso possível (potencial). Ao valor de não-uso associa-se a existência, saber que existe (podendo ser associado ao uso possível), altruístico ou quando alguém ganha utilidade derivada do valor de outrem, herança (associado ao benefício de futuras gerações e similar ao altruísmo), um ganho de utilidade dos indivíduos sem que estes estejam utilizando atualmente o bem.

Assim, na direção de um valor total que venha a somar-se ao valor de uso mais facilmente compreendido, identifica-se o valor de opção como benefícios delegados pela satisfação de afiançar um valor de uso futuro para descendentes ou futuras gerações. A segunda componente, associada ao não – uso, relaciona-se ao valor de existência, de legado, diferindo da WTP para o benefício de futuras gerações pela dificuldade do conhecimento de suas preferências:

... é um valor filantrópico, voluntarioso, do simples conhecimento da existência do bem natural. Um exemplo é o da doação voluntária para o projeto Tamar (de proteção a tartarugas marinhas), mesmo que o doador jamais veja uma tartaruga na praia que frequenta (MATTOS-FONSECA, 2001).j

Chega-se assim à equação geral conhecida como o valor total econômico em suas componentes resumidas (Figura 12).

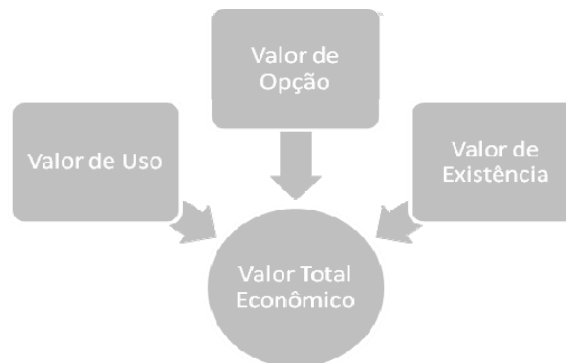


Figura 12 – O valor total econômico.

Resumidamente, o instrumental econômico abrange desta forma a valoração de bens e serviços ambientais.

2.2.14. Os serviços e o valor dos manguezais

Estudos sobre a valoração econômica-ecológica em geral visam estimar além do valor de uso, amplamente quantificado e expresso por aqueles bens relacionados direta ou indiretamente aos ecossistemas e seus preços, o valor de outros bens que não possuem preços ou mercado, avaliados por métodos de valoração indireta, contribuindo para a tradução monetária dos benefícios e danos ambientais.

Nos manguezais também não se encontram etiquetas ou códigos de barras em alguns bens e serviços desses ecossistemas tão especiais. A tabela 6 registra suas principais funções e usos.

Tabela 6 – Principais funções e usos do ecossistema de manguezais

Áreas	Categoria de Recursos	Tipos
Biogeoquímica	Funções e serviços	Retenção de sedimentos carregados pelos rios, estabilização e aumento da linha da costa pela propagação da área ocupada pela vegetação. Armazenamento de carbono e outros elementos. Filtragem de metais pesados.
	Uso Indireto	Responsável pela produção, reciclagem e exportação de nutrientes que são depositados no seu solo.
Ecológica	Funções e serviços	Habitat, reprodução e alimentação de espécies
	Uso indireto	Concentração de nutrientes; zona de berçário natural, para as espécies características desses ambientes, bem como para peixes anádromos e catádromos e outros animais que migram para as áreas costeiras durante, pelo menos, uma fase do ciclo biológico. Renovação do estoque pesqueiro de interesse econômico das áreas marinhas costeiras. Áreas de nidificação e alimentação para aves, locais de descanso e nutrição das espécies migratórias de outros países.
Antropocêntrica	Funções e serviços	Habitação. Áreas de conforto visual, recreação e lazer.
	Uso Direto	Extração de madeira, tanino, óleos, açúcares, álcool, plantas medicinais. Captura de peixes, crustáceos e moluscos (estoques de expressiva biomassa), constituindo excelentes fontes de proteína animal de alto valor nutricional e importantes fonte de divisas para o País.
	Uso indireto	Proteção da linha de costa : barreira mecânica à ação erosiva das ondas, marés e ventos. Regulação do microclima Sequestro de carbono.
	Não uso	Valor de existência

Fonte: adaptado de Mattos-Fonseca *et al.* (2000).

Evita-se assim o pensamento de que como os recursos naturais não são exibidos em uma prateleira de supermercado com uma etiqueta de preços, ou mais modernamente códigos de barras, podem não ser quantificáveis, mas servindo-se das metodologias apropriadas pode-se chegar a estimativa das funções do ecossistema (MATTOS-FONSECA, 2001). Valorando-se por decorrência bens e serviços pertinentes e obtendo-se uma tradução monetarista para o valor da economia da natureza. Resumidamente as componentes de valor também associadas aos manguezais são assim descritas, na Tabela 7.

Tabela 7 – As componentes de valor nos manguezais



Agregando um parâmetro ao método de avaliação contingente para obtenção do valor de existência, Mattos-Fonseca (2001) encontrou a disposição a pagar (WTP) e, indiretamente, a disposição a pagar através da disposição a trabalhar voluntariamente (WTWv) pela conservação da laguna de Itaipu, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. Obteve os seguintes valores de existência para uma área de cerca de 181 ha e seus manguezais (Tabela 8).

Tabela 8 – O valor de existência da Laguna de Itaipu (USD/ano)

Valor de Existência através da WTP	Valor de Existência através da WTWv
2,225,328.00	7,992,000.00

Fonte: adaptado de Mattos-Fonseca (2001).

Uma avaliação dos resultados acima leva à constatação de que a disposição a pagar situou-se em torno de 30% da disposição a trabalhar voluntariamente pela conservação, sinalizando que esta agrega indiretamente um maior valor aos ecossistemas. Carece porém de uma maior comprovação, implicando na necessidade de pesquisas futuras para a comprovação da proporcionalidade entre WTP e WTWv, ou da possível complementaridade entre ambas as disposições. As medidas de equivalentes usadas pelo método de valoração contingente, e expressas pela disposição a pagar e, indiretamente, pela disposição ao trabalho voluntário, são as quantias máximas que as pessoas se dispõem a pagar para a conservação ou para evitar a perda da qualidade ambiental, preservando os bens públicos, quantias essas igualmente utilizadas nas

estimativas do valor dos ecossistemas. Desta maneira, acrescenta o autor à literatura conceitual disponível sobre o assunto, um novo instrumento para a eliciação do valor de existência de bens públicos, na medida em que o bem – estar dos indivíduos seja representado também pela quantidade de horas disponibilizadas a trabalhar voluntariamente pela qualidade ambiental (MATTOS-FONSECA, 2001).

No Camboja, com uma área estimada em 85.100 hectares de manguezais, um estudo realizado na província de Koh Kong (onde se localizam as maiores áreas contínuas de 63.700 hectares), Bann *apud* Pearce *et alii*, 2002 estimou a partir de uma área de estudo de 12.000 hectares no sítio RAMSAR de Koh Kapik o seguinte valor de uso total dos manguezais (Tabela 9).

Tabela 9 – Sumário dos benefícios líquidos (Koh Kapik, Cambodja)

Recurso/Serviço	Valor de Uso Total (direto + indireto)/Ano (USD)
Combustível (madeira)	42,302
Pesca	1,005,956
Proteção Costeira	391,816
Total	1,440,074

Fonte: adaptado de Bann *apud* Pearce *et al*, 2002.

Estudo desenvolvido por Gunawardena e Rowan (2005) na laguna de Rekawa, localizada no distrito de Hambantota ao sul do Sri Lanka, relaciona benefícios a valor econômico total, conforme a Tabela 10.

Assim, a amostra de bens, serviços e valores elencados neste capítulo justifica a conjunção das dimensões micrometeorológicas e econômicas deste estudo na direção da geração de créditos de carbono através da recuperação ou conservação dos ecossistemas de manguezal.

Tabela 10 – Resultados do valor total econômico do ecossistema manguezal na Laguna de Rekawa, Sri Lanka

Benefícios do Manguezal	Valor (USD/ha/ano)
Benefícios florestais líquidos (ao nível de subsistência)	24
Pesca lagunar líquida (ao nível de subsistência)	268
Benefícios da pesca costeira	493
Controle de erosão e proteção contra tempestades	300
Valor de existência, legado e opção para a comunidade local	2.6
Valor Total	1,088

Fonte: adaptado de Gunawardena e Rowan (2005).

2.2.15. Estudo de caso: créditos de carbono em manguezais

Atualmente farta bibliografia discorre sobre as diversas experiências e comprovações da eficiência de projetos de reflorestamento em distintos ecossistemas, da floresta tropical ao cerrado. A relação crescimento e biomassa de espécies como *Tabebuia vellosi* e outras da floresta atlântica, comumente usadas em projetos de reflorestamento, é conhecida e associada à eficiência de sequestro de carbono em comparação a espécies exógenas como por exemplo o eucalipto. Os manguezais não têm sido lembrados nesses estudos pela comunidade científica, haja vista a inexistência de atividades de projetos submetidos ao Comitê Executivo da UNFCCC até a presente data.

A eficiência para o sequestro do carbono atmosférico das espécies de sua flora, entretanto, precisa ser comparada com aquela das espécies da mata atlântica ou das espécies de outras florestas, assim como a valoração econômica – ecológica desses esforços. Estudo de Stone *et alii* (2008), destaca a relação entre custo e benefício de projeto para reflorestamento de manguezais em Kumpta, Índia, a uma taxa benefício – custo de 3,48. Uma ONG vem desenvolvendo o florestamento de uma lagoa transformada em laguna pela intervenção antrópica em Itaipu, Niterói, RJ, Brasil (MATTOS-FONSECA *et al.*, 2000; COGLIATTI-CARVALHO; MATTOS-FONSECA, 2004); pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa (MG) e da Universidade Federal do Pará vêm desenvolvendo trabalho pioneiro de monitoramento micrometeorológico em manguezal de Bragança, PA, Brasil (ANDRADE, 2005; RODRIGUES, 2006), disponibilizando dados para sistematização e correlação da biometria com o sequestro do carbono atmosférico.

Análises de tendência efetuadas na publicação nº 153 da FAO (2007), indicam que a área mundial coberta por ecossistemas de manguezal, cerca de 18,8 milhões em 1980, diminuiu cerca de 20% desde então situando-se em torno de 15,2 milhões em 2005. O estudo também aponta que a perda de áreas deste importante ecossistema continua a taxas alarmantes, levando muitos países a adotar novas legislações protecionistas e medidas visando à proteção e manejo para o replantio ou recuperação natural dos manguezais.

O presente trabalho conjuga as dimensões micrometeorológica e econômica avaliando e discutindo no próximo capítulo os dados obtidos em Bragança (PA), sob a ótica dos requisitos de elegibilidade para inclusão dessas atividades de projeto na modalidade LULUCF do MDL, a contribuição para o sequestro do carbono atmosférico e a geração de Reduções Certificadas de Emissões (RCE), previstos no Protocolo de Kyoto em vigor desde o dia 16 de fevereiro de 2005.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados micrometeorológicos utilizados neste estudo foram obtidos pelo projeto CARBO-PARÁ em 2003, resultante de uma colaboração inter-institucional entre a Universidade Federal de Viçosa, Universidade Federal do Pará e University of Edinburgh. O sítio experimental de manguezal está localizado a 30 km do Município de Bragança (01° 03'S; 46° 45'W), onde foi montada uma torre micrometeorológica, com 25 m de altura.

3.1. O projeto CARBO-PARÁ nos manguezais de Bragança (PA)

Com estudos sobre o futuro do sumidouro de carbono da floresta amazônica e os condicionantes ao sequestro de carbono, o projeto CARBO-PARÁ realizou estudos sobre a variabilidade climática em escalas sazonais e interanuais. Resumidamente, o objetivo geral era compreender o funcionamento da bacia amazônica como uma entidade regional pelos estudos dos fluxos de energia, água e carbono em relação à ecologia.

As áreas úmidas e de manguezais formam uma península com cerca de 110 km², recortada por diversos canais de maré conectando o sistema de inundação da floresta com o estuário do rio Caeté e baía de Maiaú (LARA; DITTMAR, 1999). A linha costeira do Pará entre a baía de Marajó e a linha de fronteira com o estado do Maranhão caracteriza-se pela existência de numerosos estuários bordejados por uma extensiva vegetação de mangue (Figura 13).

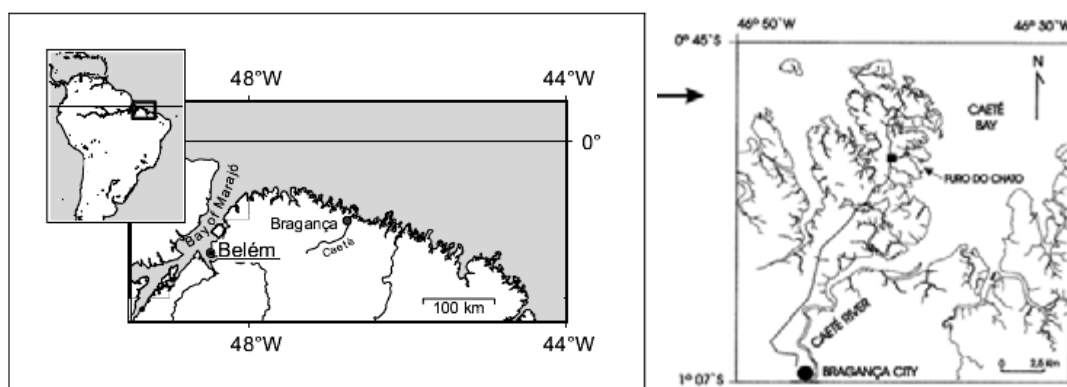


Figura 13 – Linha costeira do Pará, em destaque o município de Bragança.

Com apoio do Programa Fellowship da International Tropical Timber Organization – ITTO - em visita realizada em junho de 2004, foram realizadas reuniões com pesquisadores (Figura 14), que atuaram desde o início do projeto, inclusive na montagem da torre, instalação de equipamentos, calibração e medições.



Figura 14 – Reunião com pesquisadores do projeto CARBO-PARÁ (junho de 2004, foto do autor).

Em viagem a Bragança (PA) foi organizada uma visita ao campo em junho de 2004, em reuniões com a equipe local no Campus da Universidade Federal do Pará (Figura 15).



Figura 15 – Campus de Bragança – UFPA (junho de 2004, foto do autor).

Seguiu-se uma expedição até a área do projeto, atravessando a vasta região de Manguezais em Bragança, entrecortada por canais denominados localmente de furos (Figura 16).



Figura 16 – Rumo a Bragança, atravessando o Furo Grande-PA (junho de 2004, foto do autor).

O acesso à torre micrometeorológica era feito pelo vilarejo de Ajuruteua, navegando entre os canais, localmente denominados furos, até o Furo Grande. Daí através de passagem suspensa construída para o transporte de equipamentos e facilidade de locomoção dos pesquisadores sobre o mangue (Figura 17).



Figura 17 – Acesso à torre micrometeorológica (junho de 2004, foto do autor). Após alguns minutos de caminhada chega-se a base da torre (Figura 18).



Figura 18 – Na base da torre (junho de 2004, foto do autor).

Os equipamentos ficavam instalados no alto da torre, com seus 25 metros de altura, ancorada em área de difícil acesso no interior da grande floresta de manguezal com *fetch* de mais de um quilômetro em todas as direções.

Dentre os diversos equipamentos instalados na torre (Figura 19), para este estudo foram utilizados os dados coletados pelos equipamentos descritos a seguir.

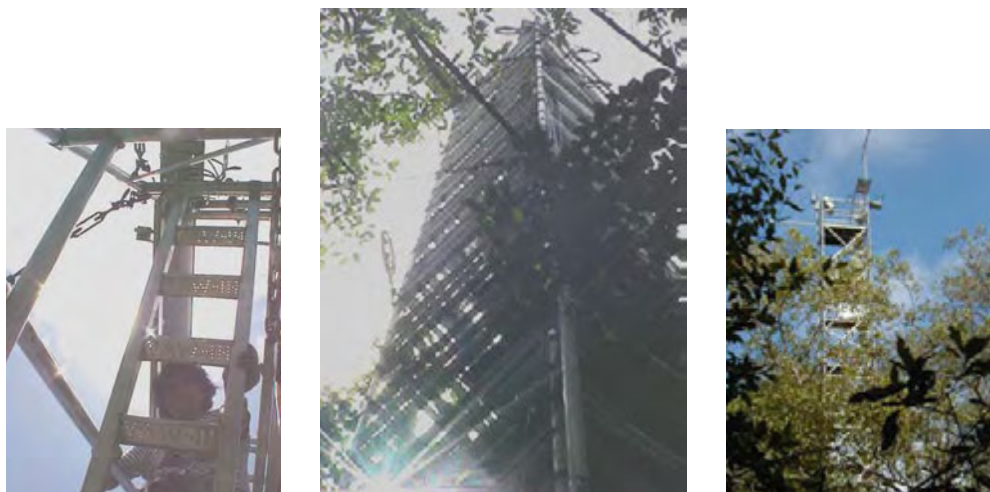


Figura 19 – Acesso e equipamentos no alto da torre (junho de 2004, foto do autor).

As medições de concentrações de CO₂, vapor d'água e os fluxos de CO₂, calor sensível e calor latente foram feitas usando-se o sistema de covariância dos vórtices turbulentos, sistema EDISOL, desenvolvido por John Moncrieff da University of Edinburgh. O sistema *Edisol* descrito por Moncrieff et al., (1997), utiliza uma instrumentação comercialmente disponível, tais como: um anemômetro sônico de três eixos (Solent A 1012R3, Gill Instruments, Lymington, UK), para medições instantâneas dos componentes da velocidade do vento; um analisador de gás infravermelho (LI-COR 6262, Lincoln, NE, USA) para medir as concentrações de CO₂ e de vapor d'água, utilizados nos cálculos dos fluxos. O sistema *Edisol* é controlado por um software desenvolvido especificamente para este sistema calcular os fluxos de *momentum*, calor sensível, calor latente e CO₂ em tempo real. Os fluxos foram determinados a partir das covariâncias calculadas em um período médio de 30 min. 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, cujos dados foram armazenados em um sistema de aquisição de dados (21X, Campbell Scientific, Logan, UT, USA). Maiores detalhes sobre as características e funcionamento dos sensores estão apresentados na tese de doutorado do Prof. Hernani José Brazão Rodrigues (UFPA) com o trabalho: Balanço de radiação, energia e fluxo de CO₂ em ecossistema de manguezal na Amazônia (2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do conjunto de dados coletados na torre micrometeorológica de Bragança (PA), foram selecionados aqueles obtidos nos meses de janeiro a novembro de 2003 e sobre esses foram efetuadas análises exploratórias e de controle de qualidade até a obtenção de séries mensais confiáveis. Os dados originais são apresentados em séries mensais, diárias e de 30 em 30 minutos com um conjunto amplo de variáveis micrometeorológicas.

As Figuras 20 a 30 apresentam as variações médias horárias da concentração do CO₂ acima do dossel do manguezal, no período de janeiro a novembro de 2003, relacionadas com variáveis pertinentes, em todos os meses. As menores concentrações de CO₂ ocorreram em torno do meio-dia, com uma variação de 352,4 ppm em março a 392,4 ppm em outubro. Este resultado indica que a assimilação de CO₂ pelas plantas é fortemente controlada pela radiação solar, conforme tem sido constatado em vários estudos.

As concentrações de CO₂ no período noturno caracterizam-se por apresentar maiores valores em relação aos observados no período diurno, devido às contribuições do processo de respiração da vegetação e do solo além da cessação da fotossíntese. As concentrações médias de CO₂ à noite variaram de 380,3 ppm (novembro) a 459,9 ppm (maio). A maioria dos trabalhos sobre as variações diárias de CO₂ enfatizam principalmente as variações médias. Todavia constatou-se nesse trabalho a importância de se analisar a variação dos valores extremos da concentração de CO₂, que expressam o efeito de distintas condições ambientais entre os dias de cada mês, e que também afetarão as respectivas magnitudes dos fluxos de CO₂.

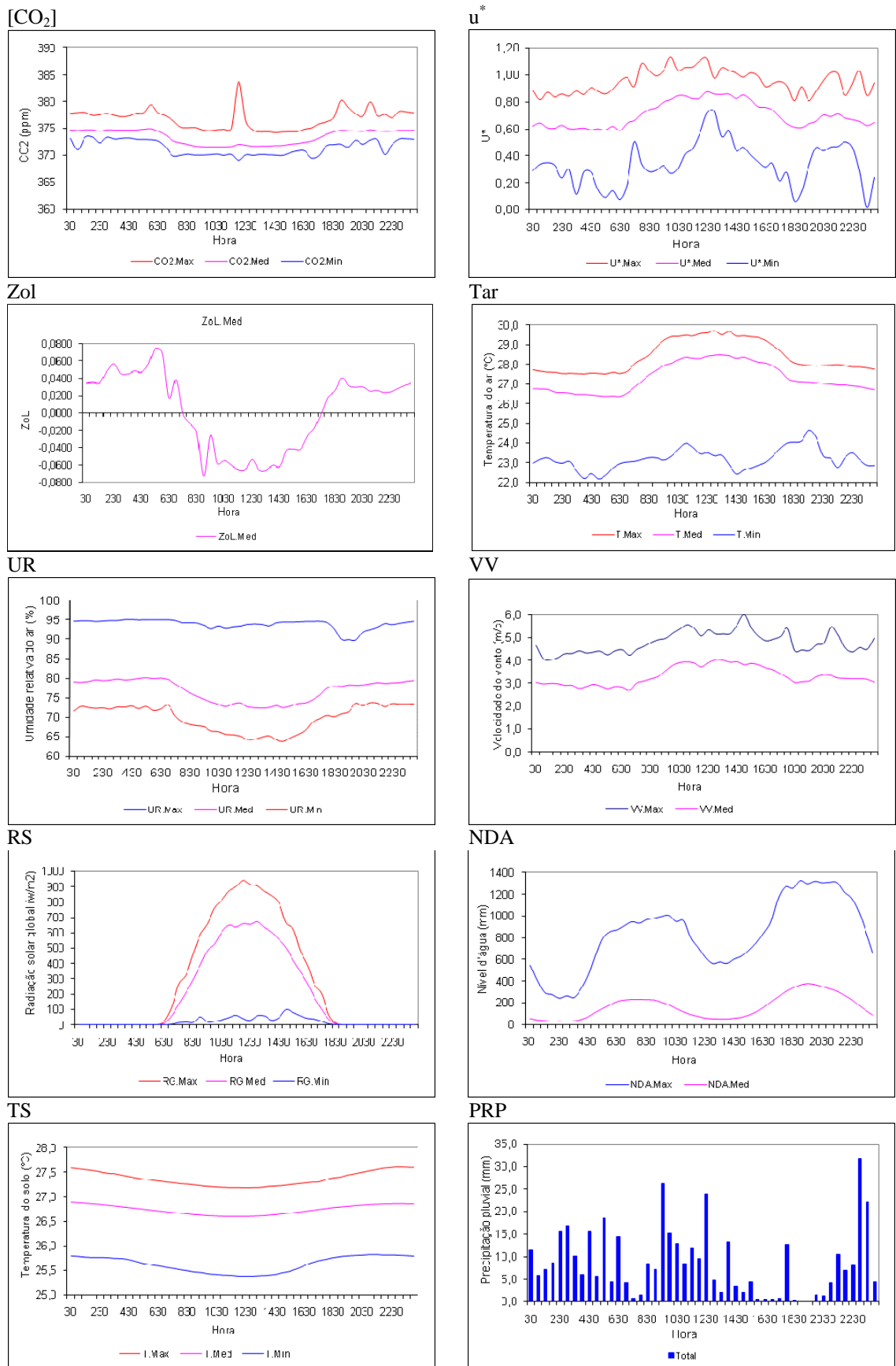


Figura 20 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de janeiro.

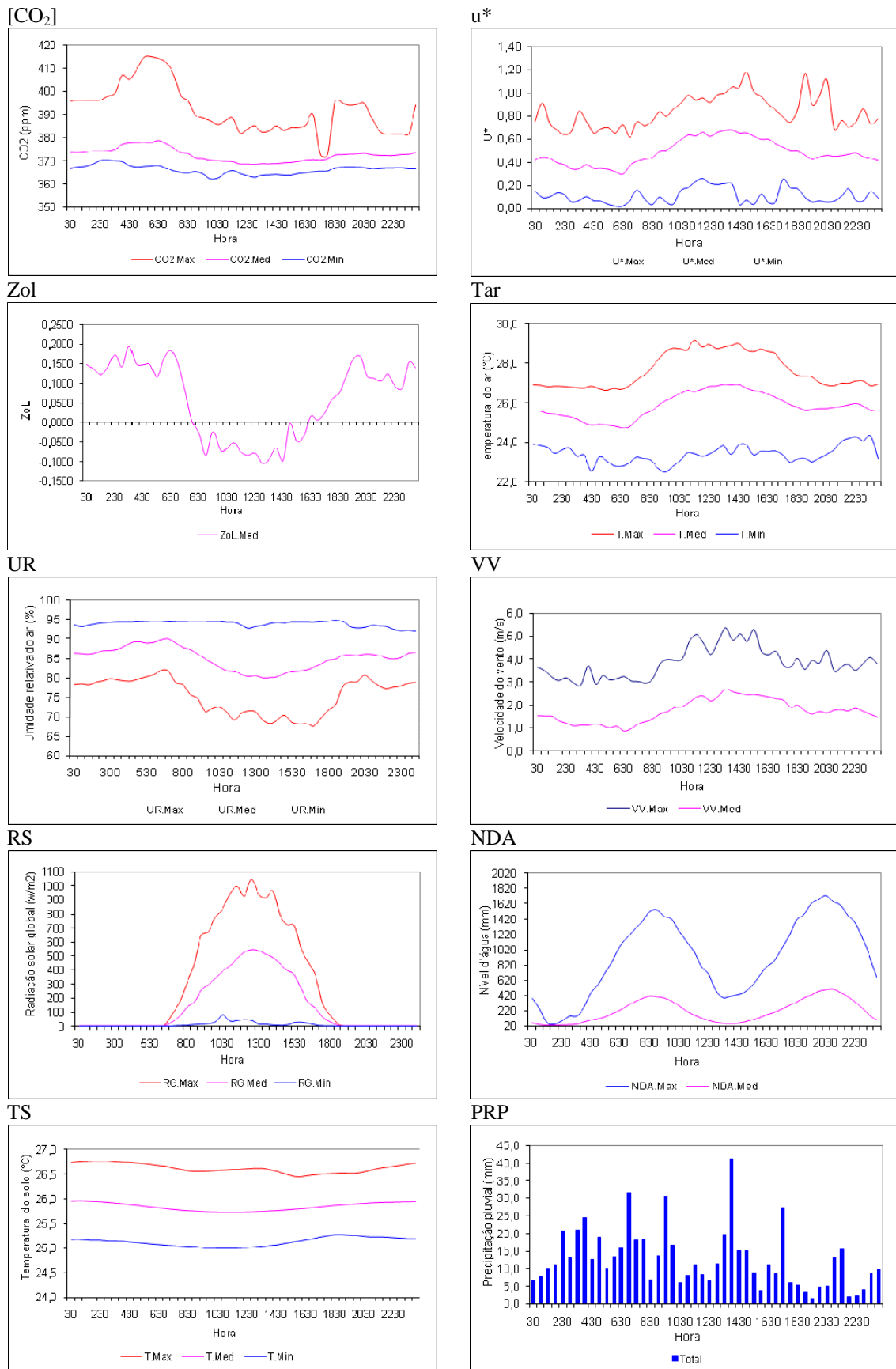


Figura 21 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de fevereiro.

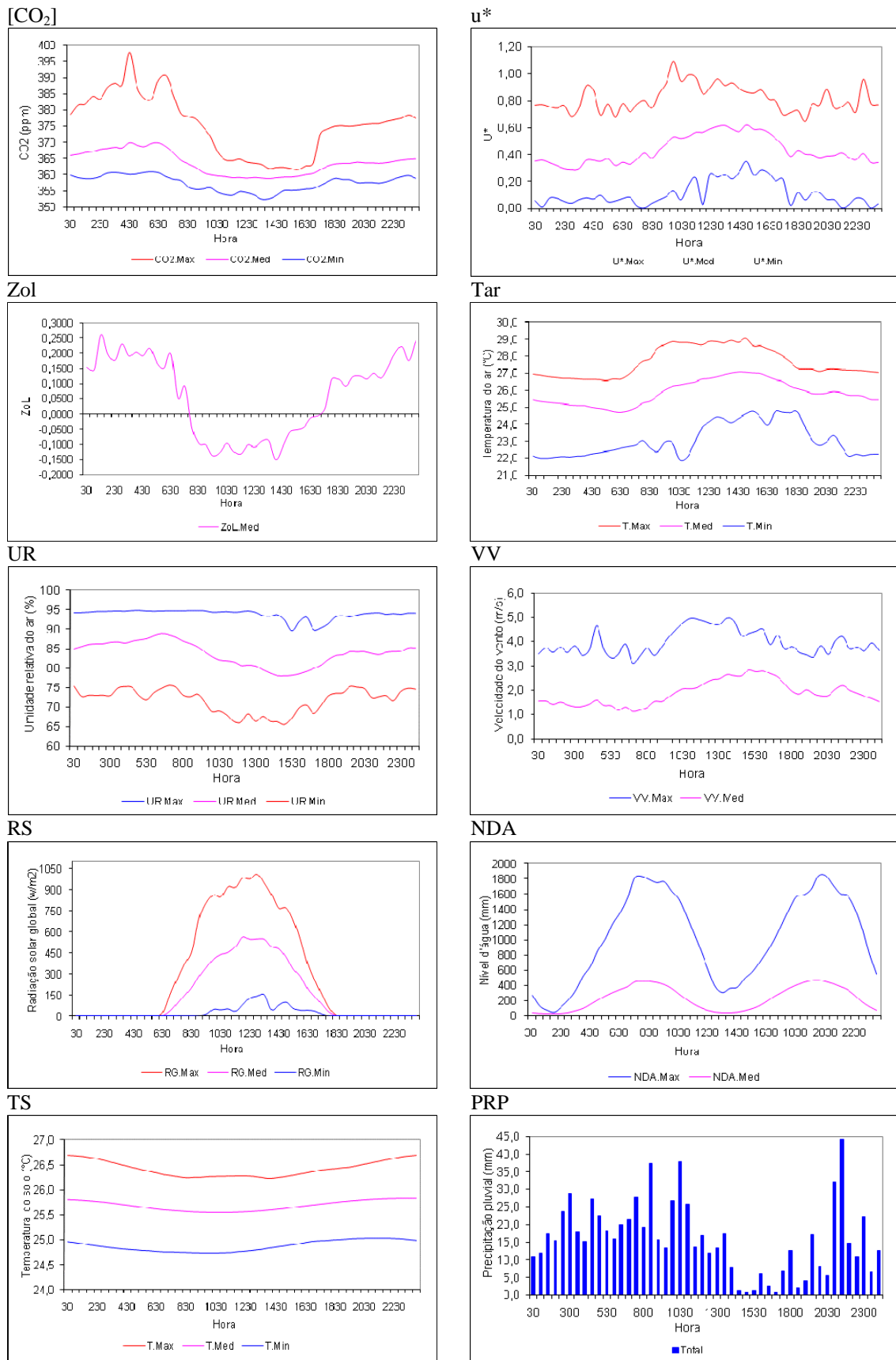


Figura 22 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de março.

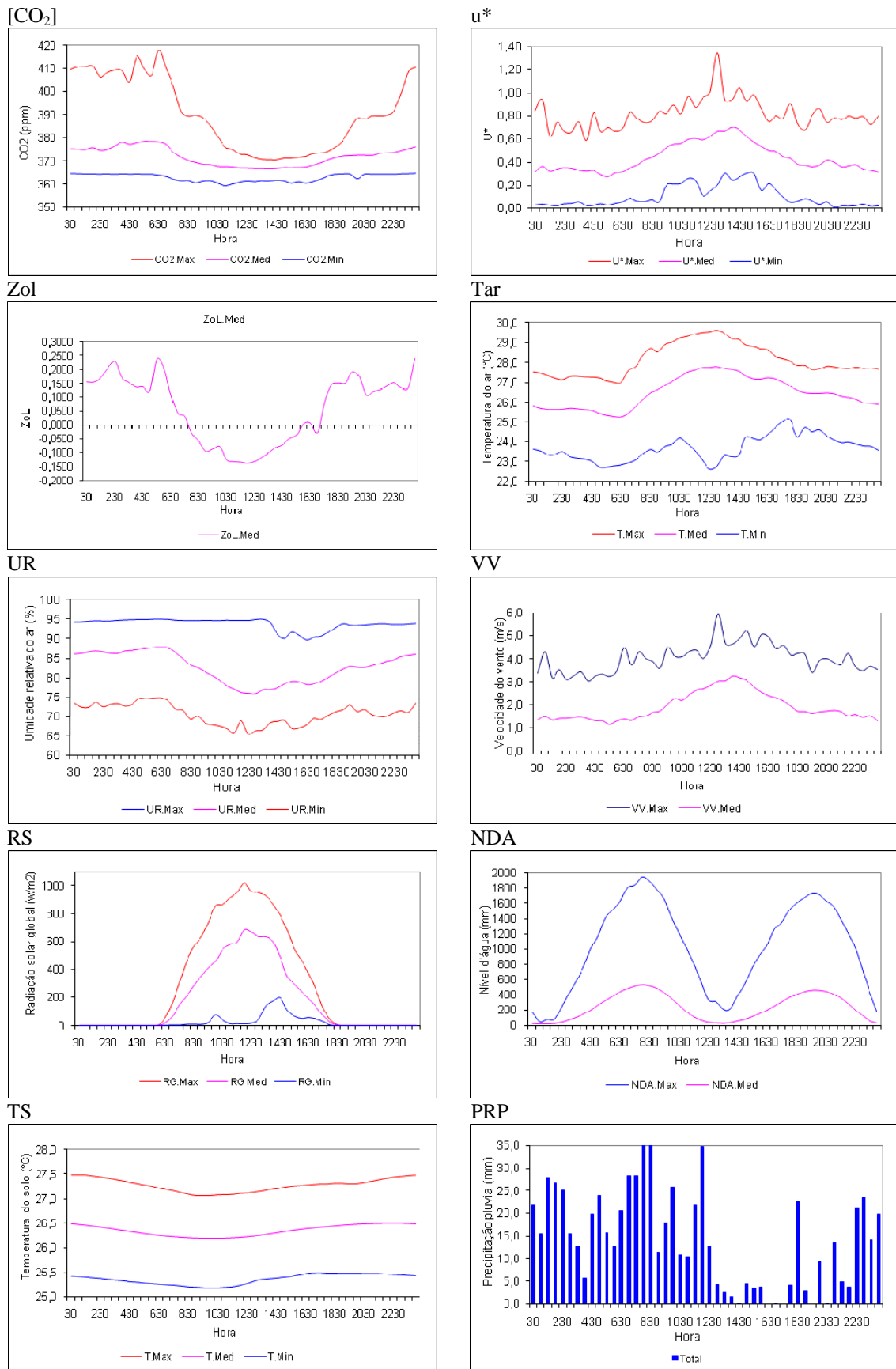


Figura 23 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de abril.

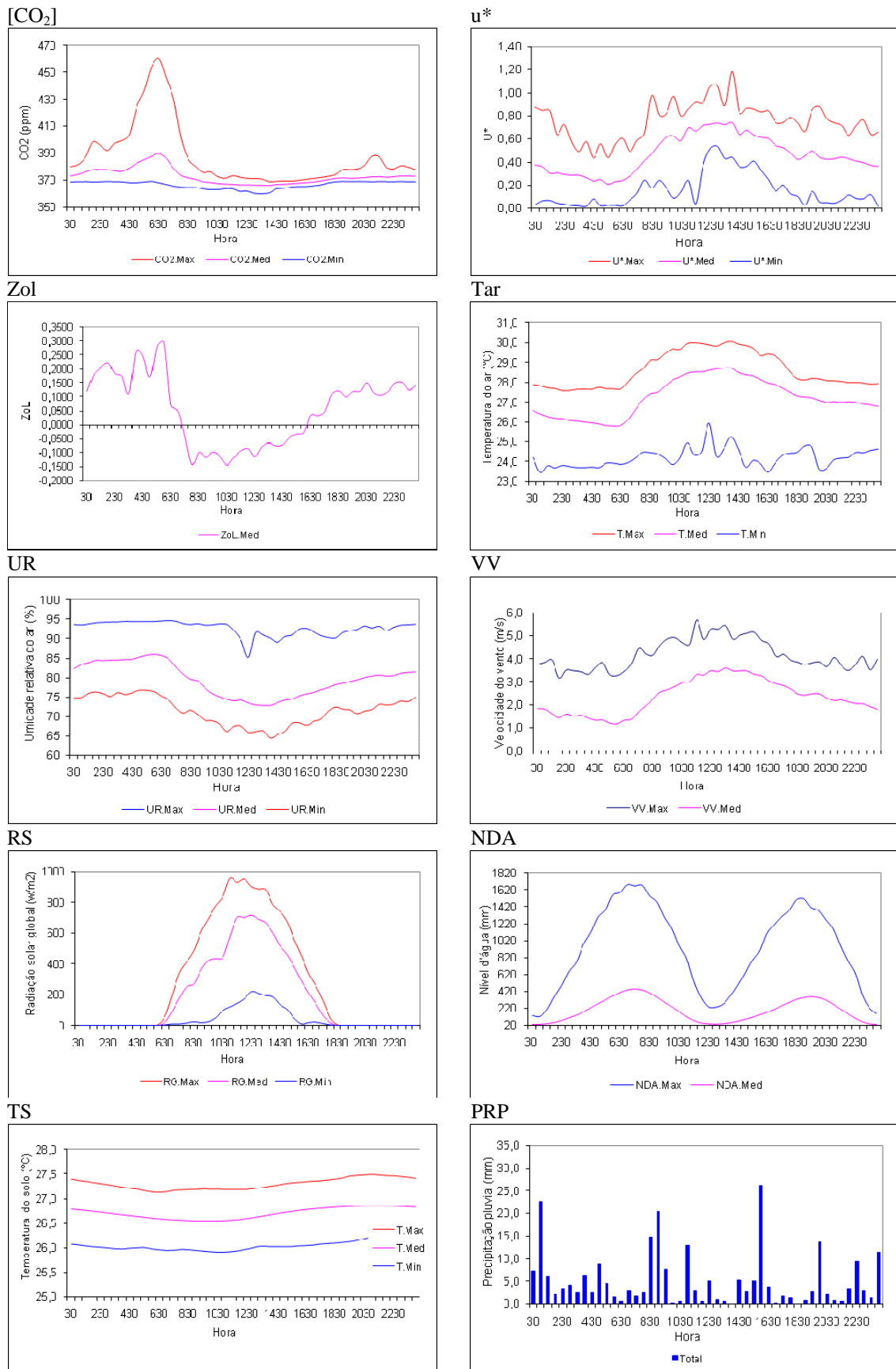


Figura 24 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de maio.

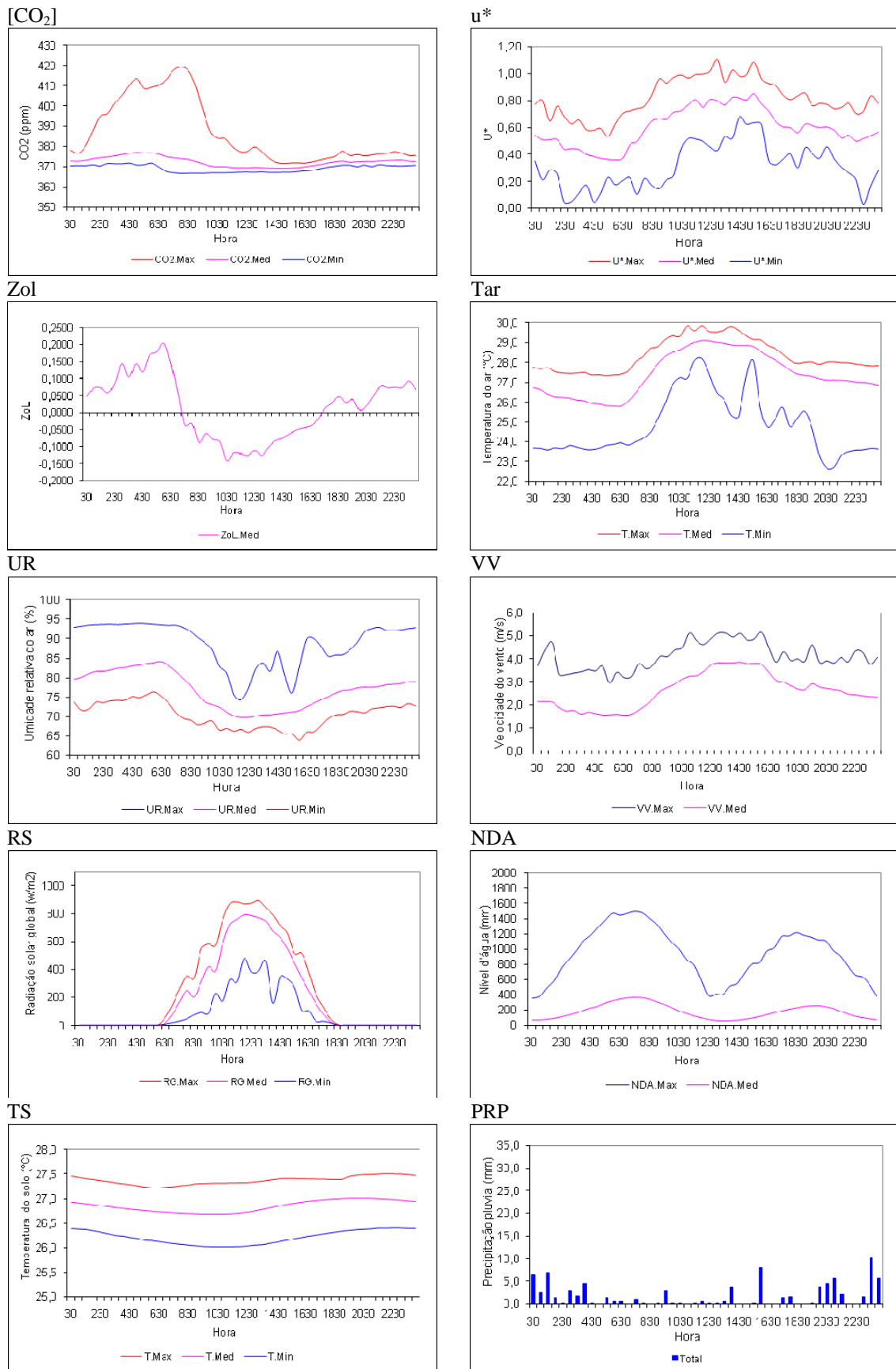


Figura 25 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de junho.

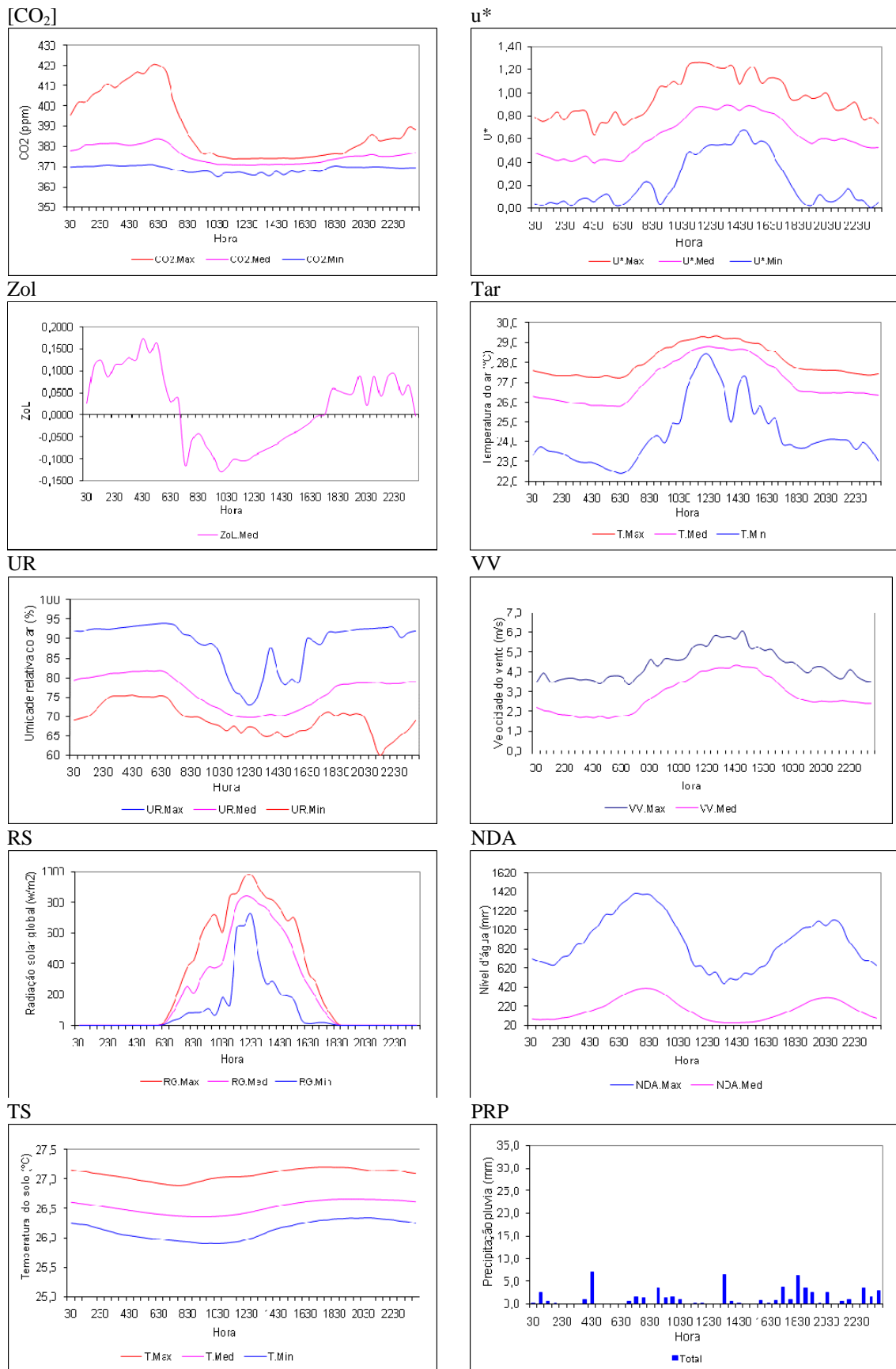


Figura 26 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de julho.

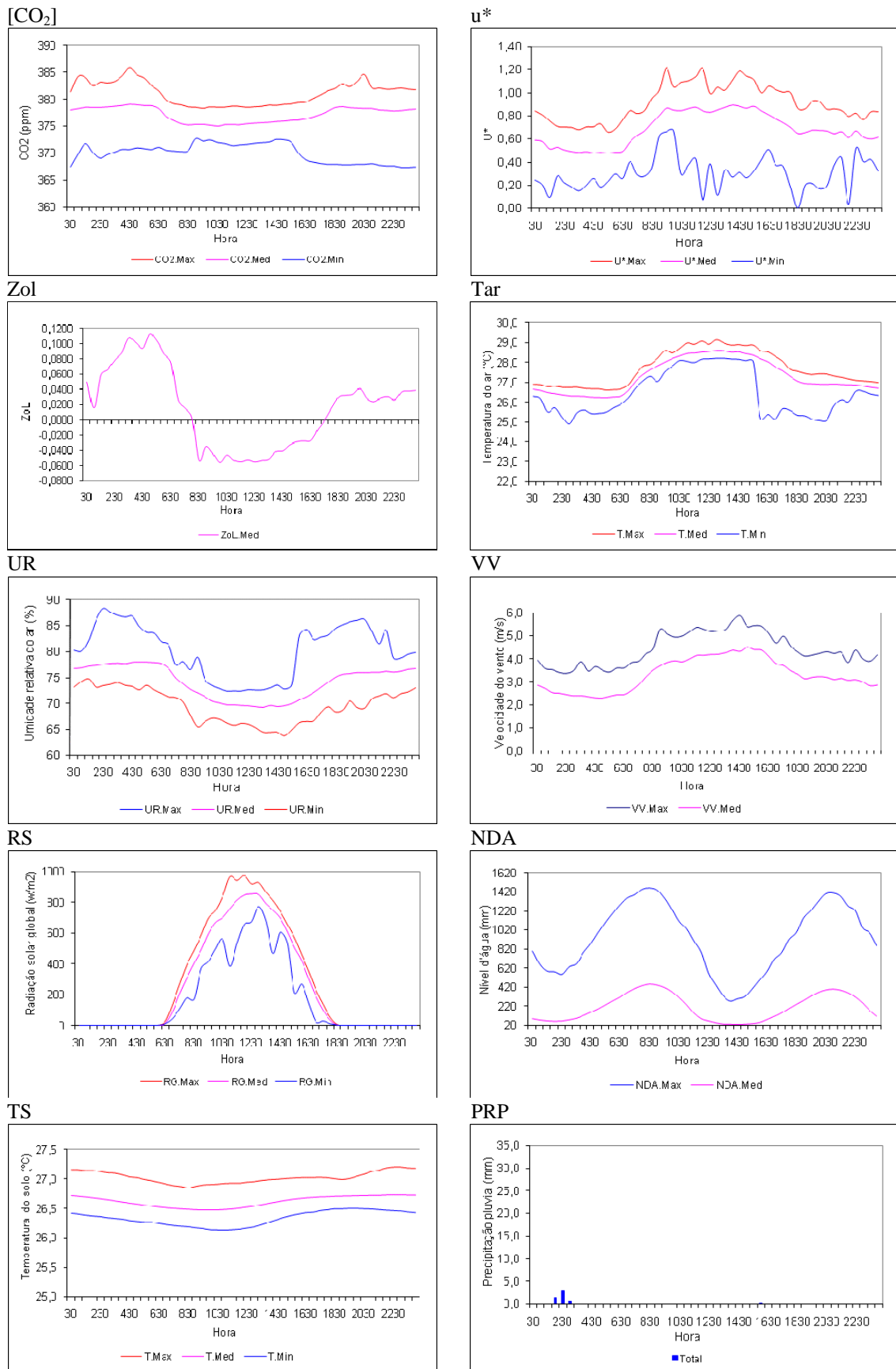


Figura 27 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de agosto.

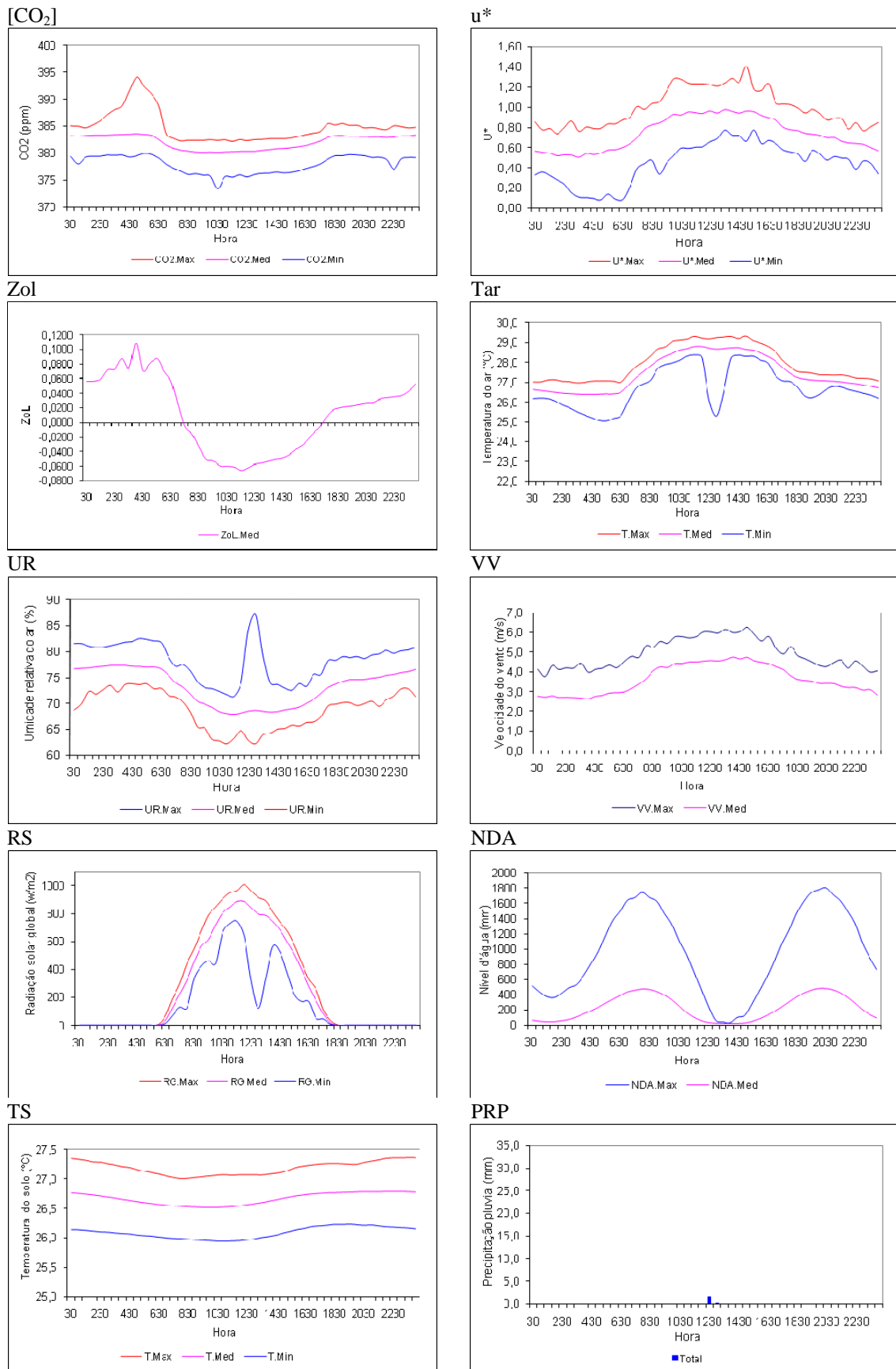


Figura 28 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de setembro.

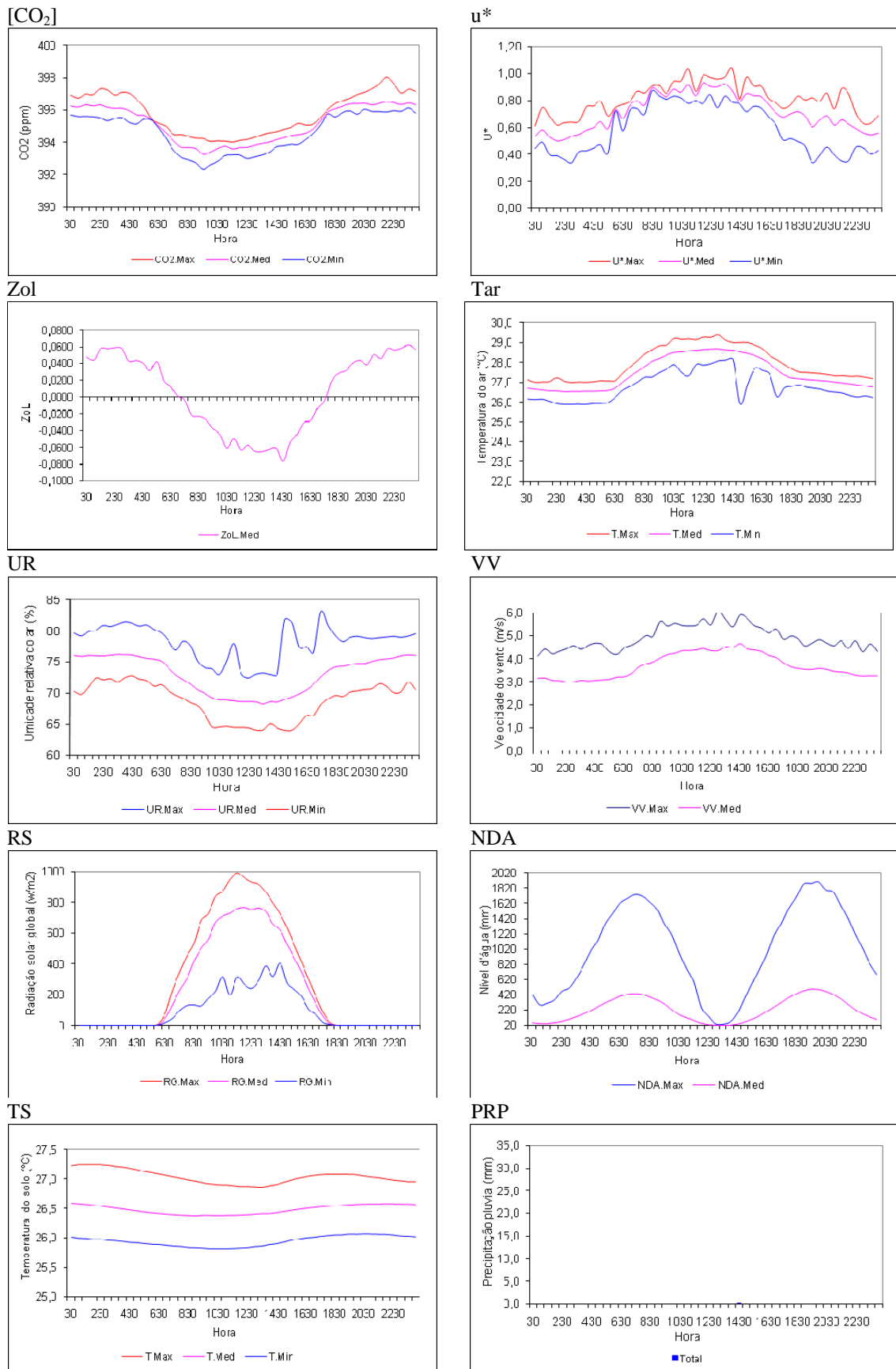


Figura 29 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de outubro.

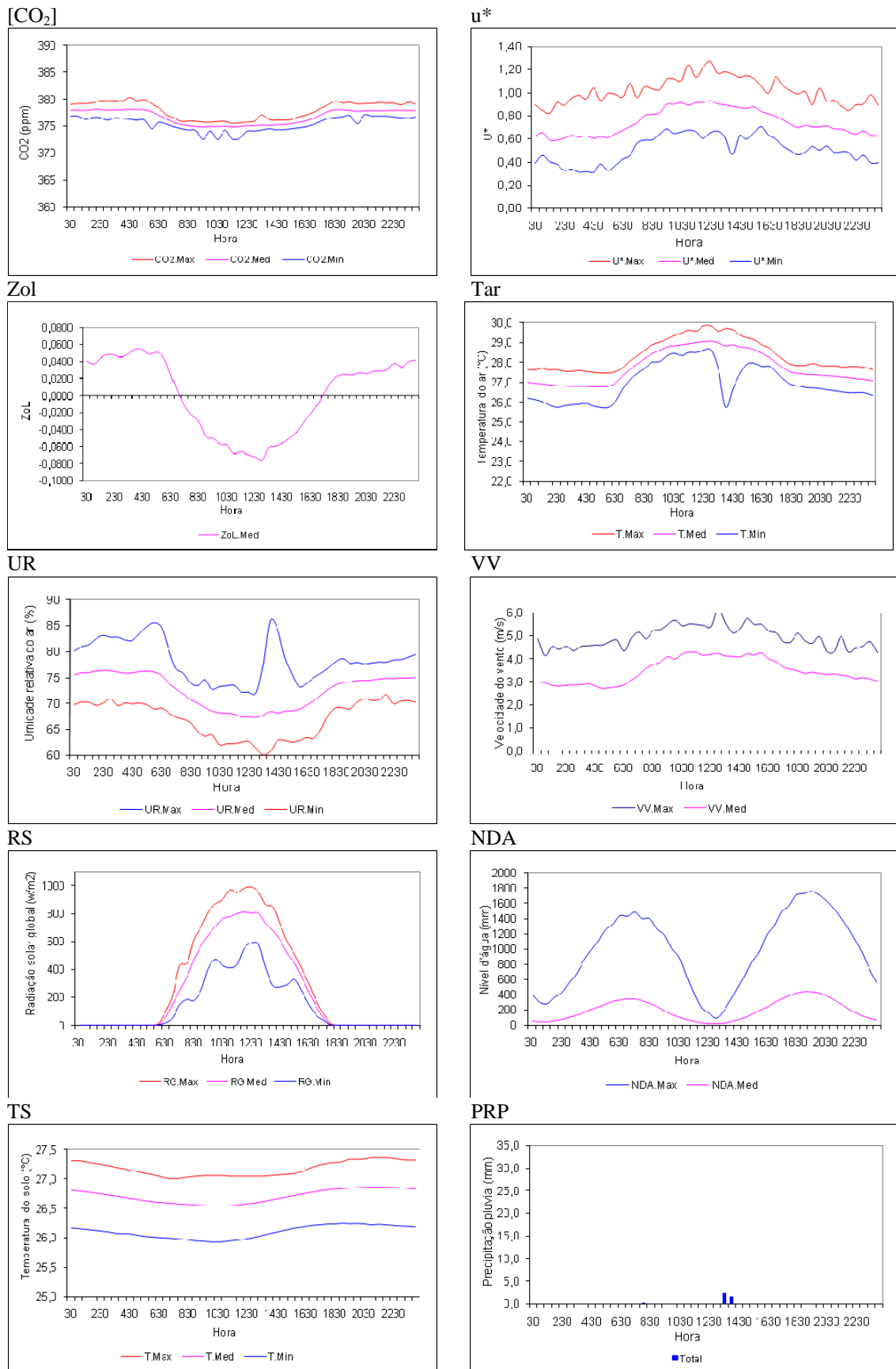


Figura 30 – Variação média horária das concentrações de CO₂, u*, Zol, Tar, UR, VV, RS, NDA, TS e PRP no mês de novembro.

A concentração média de CO₂ acima do manguezal variou de 364,1 ppm em março a 395,0 ppm em outubro. Examinando-se as curvas da variação da concentração média de CO₂ observam-se as mesmas características nas curvas anteriores, porém bem mais suavizadas. Nessas figuras sobre a variação média horária das concentrações de CO₂ fica evidente a queda abrupta das concentrações de CO₂ após o nascer do sol, com o início da fotossíntese, estabilizando-se em torno de 10 horas até às 16 horas, quando volta a crescer rapidamente após o pôr-do-sol, e estabilizando-se a partir das 19 horas. Embora a precipitação não tenha sido a variável mais fortemente correlacionada com a concentração de CO₂ em termos diários, ela é a mais relevante, em termos sazonais, conforme fica evidenciado na ocorrência da menor média em março (mês chuvoso), em contraste com a maior média de concentração de CO₂ observada em outubro (mês seco). Considerando-se a variação diurna nas concentrações de CO₂, foi constatado em todos os meses a forte correlação (> 0,8) de CO₂ e a temperatura do ar, umidade relativa, parâmetro de estabilidade atmosférica, velocidade do vento e radiação solar.

A temperatura do ar acima da copa do manguezal foi a variável que se apresentou mais fortemente correlacionada (inversamente) com as variações diurnas da concentração de CO₂ com coeficientes de correlação em torno de 0,95. Essa influência da temperatura do ar na variação das concentrações de CO₂ já era esperada pela sua influência nos processos de fotossíntese e, principalmente, do processo de respiração das plantas e do solo, conforme tem sido demonstrado em inúmeros trabalhos. Também deve ser levado em consideração que a variação da temperatura do ar é consequência do balanço de radiação sobre a vegetação. Os resultados apresentados neste trabalho evidenciam a influência da temperatura do ar nas concentrações de CO₂ e consequentemente sobre a sua influência nos processos de fotossíntese e respiração do ecossistema.

Nas discussões sobre mudanças climáticas associadas com as tendências crescentes de concentração de CO₂ na atmosfera, essa relação de experiência entre as concentrações de CO₂ e a temperatura do ar tornam-se altamente relevantes.

A influência da temperatura do solo nas concentrações de CO₂ acima da copa também é importante, porém, menor do que o efeito apresentado pela temperatura do ar. A temperatura do solo mostrou-se diretamente correlacionada com as variações de concentração de CO₂, porém com valores de coeficientes de correlação ligeiramente inferiores a 0,80. Este resultado expressa a influência da temperatura do solo e das raízes. Como no manguezal a contribuição da respiração da parte aérea é predominante

justifica-se a maior influência da temperatura do ar em relação à temperatura do solo sobre as concentrações de CO₂, do ecossistema de manguezal.

A umidade relativa do ar, devido a sua dependência com a temperatura do ar e pela sua influência na abertura dos estômatos, apresentou-se fortemente correlacionada com as variações diurnas da concentração de CO₂ medidas acima da copa da vegetação.

Um aspecto que tem não sido suficientemente explorado, é sobre a influência da estabilidade atmosférica nas variações diárias da concentração de CO₂. Apesar desse aspecto depender das condições de vento, turbulência, temperatura e das condições de radiação, a relação de dependência entre as variações de concentração de CO₂ e o termo de estabilidade atmosférica, expresso por Zol, ficou bem evidenciado em todos os meses analisados. A sua importância nas variações da concentração de CO₂ chegam a superar a própria velocidade do vento e a velocidade de fricção, que é um indicador da turbulência atmosférica. A sua influência nas concentrações de CO₂ foi expressa por coeficientes de correlação acima de 0,90. A variação típica da condição de estabilidade atmosférica apresenta condições de atmosfera predominantemente instáveis (Zol negativo) entre o nascer e o pôr-do-sol, enquanto no período noturno predominaram condições da atmosfera estável. Também ficou evidenciada nas Figuras 20 a 30, a transição da condição de estabilidade atmosférica no início da manhã e fim da tarde, associada a variações abruptas na concentração de CO₂.

A influência da velocidade do vento e a intensidade de turbulência, expressa pela velocidade de fricção, estão entre as variáveis mais importantes nas variações diurnas das concentrações de CO₂, especialmente devido a sua influência amplamente conhecida na fotossíntese. Para destacar essa importância, Monteith (1973), mostrou que se não fosse a contribuição do vento e da turbulência atmosférica, uma cultura em pleno estágio de desenvolvimento consumiria durante o período de fotossíntese todo o CO₂ existente em uma camada de ar 30 m acima da cultura. Entretanto, as medições de concentração de CO₂ acima de uma cultura apresentam flutuações de 15% ou até menos. Os coeficientes de correlação entre a velocidade de fricção com as variações da concentração de CO₂ foram ligeiramente superiores do que a correlação entre velocidade do vento e as respectivas variações de CO₂, porém, em ambos os casos, as condições ficaram em torno de 0,92.

A influência da radiação solar global nas flutuações da concentração de CO₂ é determinante pela sua influência na fotossíntese. Esse efeito foi expresso em nossos resultados com um coeficiente de correlação em torno de 0,85.

Um aspecto ainda pouco estudado nos manguezais está relacionado com a influência das marés nas flutuações diurnas da concentração de CO₂ e nos respectivos fluxos de CO₂. Embora estatisticamente os coeficientes de correlação tenham sido inferiores a 0,30, examinando-se as Figuras 21 a 30, observa-se que os horários de picos no nível de água estão geralmente associados a elevadas concentrações de CO₂. Essas relações de dependência entre as concentrações de CO₂ e as variáveis analisadas estão ilustradas graficamente, em cada mês, nas Figuras 31 a 41.

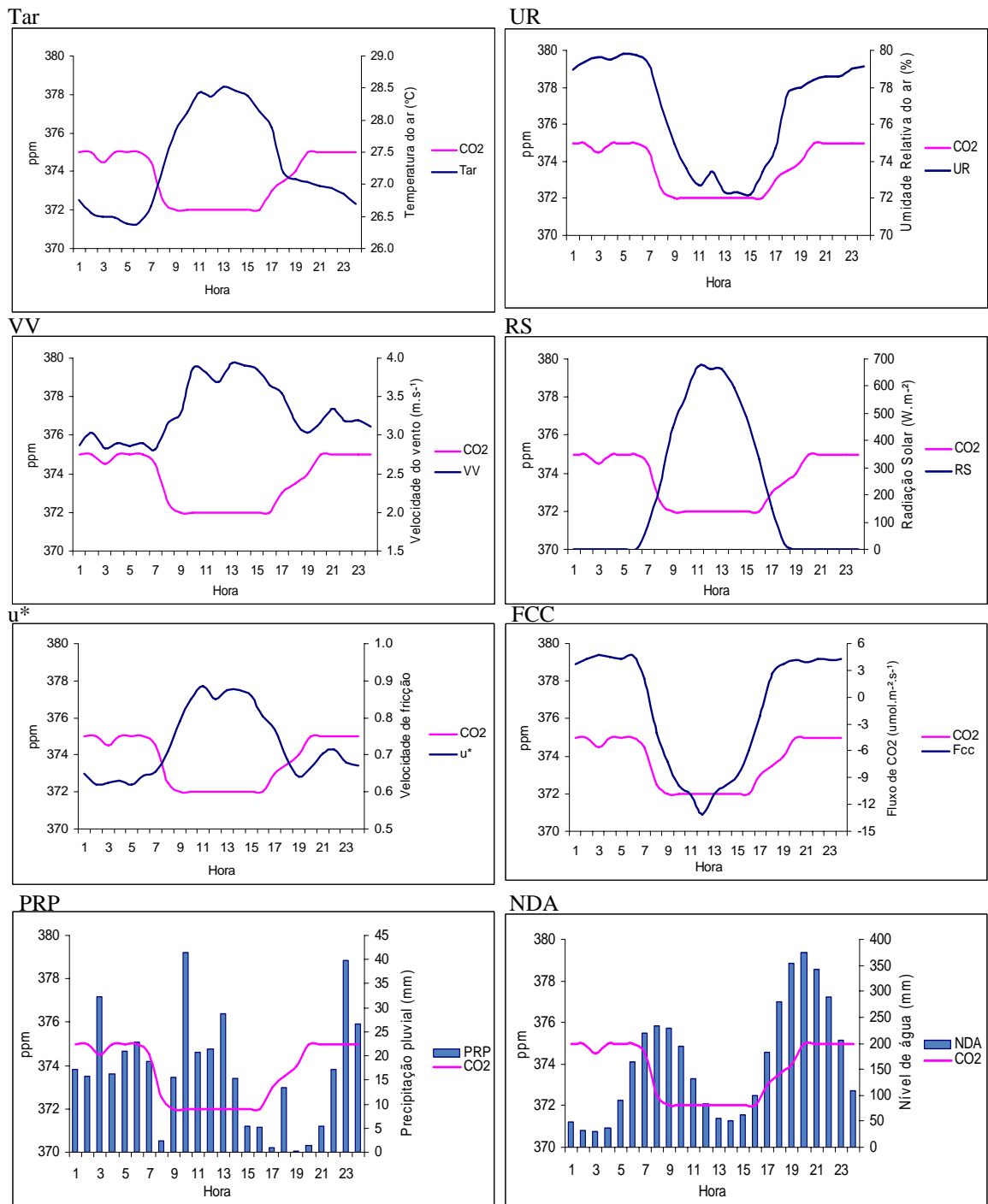


Figura 31 – Variação média horária da concentração CO₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de janeiro.

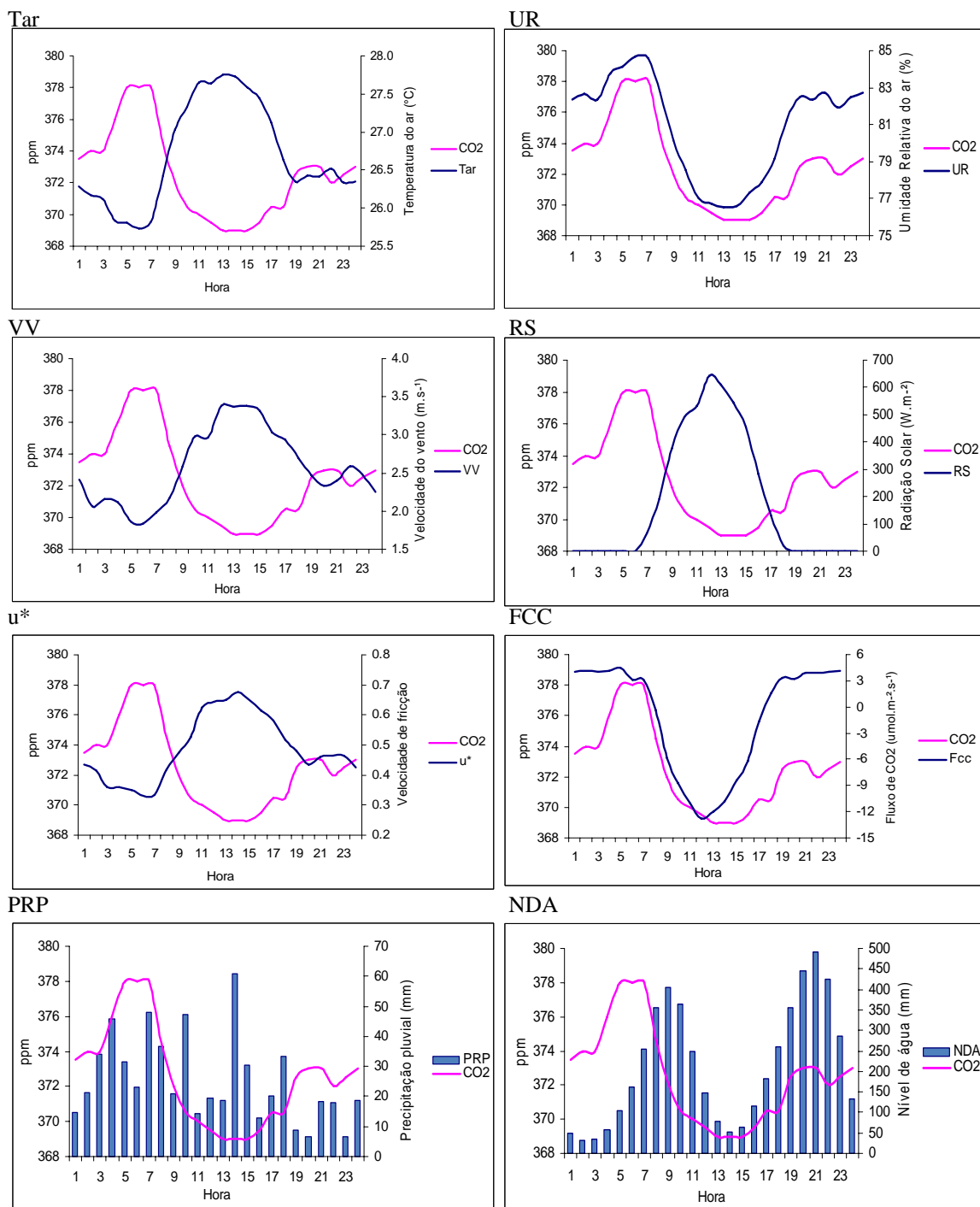


Figura 32 – Variação média horária da concentração CO₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de fevereiro.

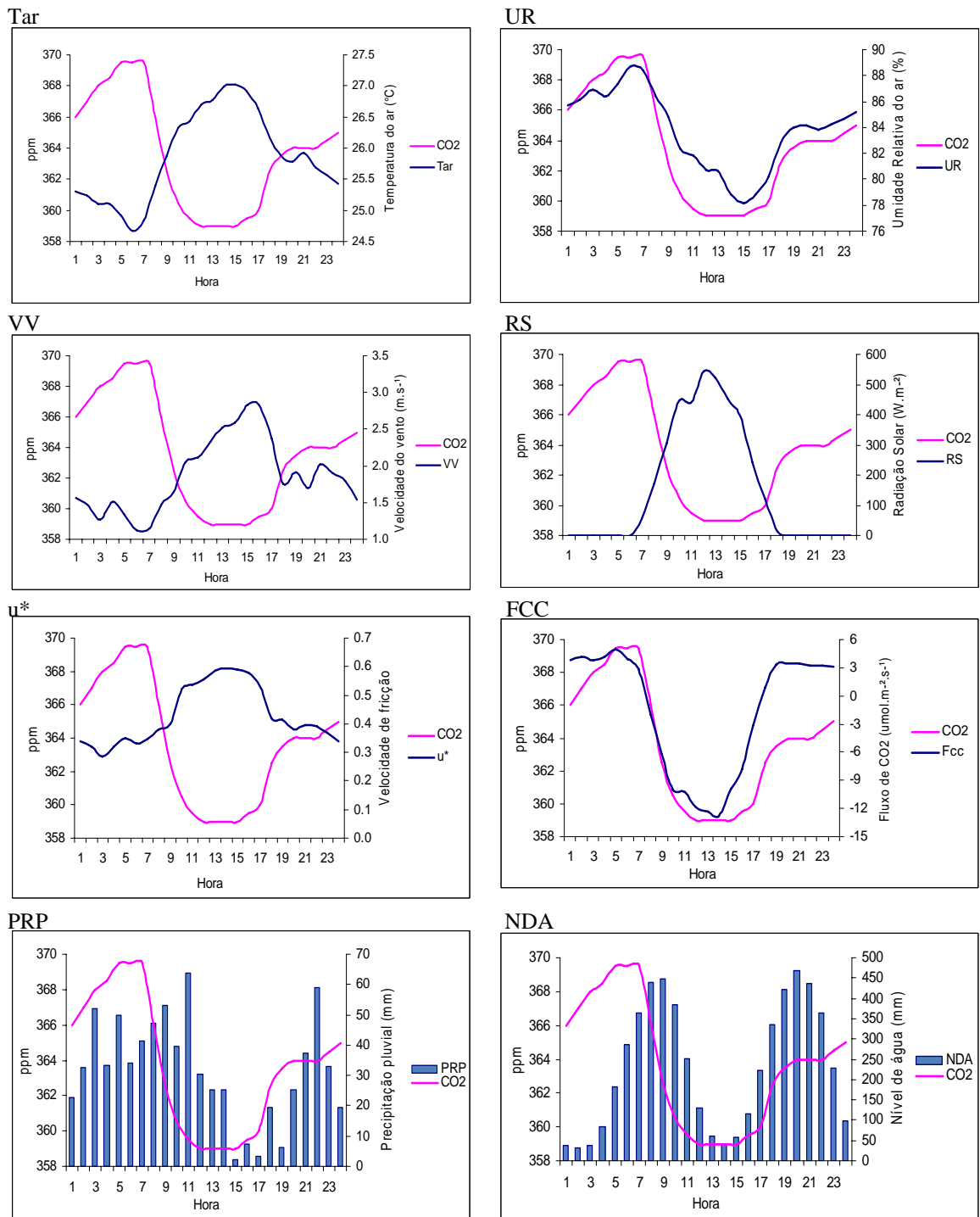


Figura 33 – Variação média horária da concentração CO_2 e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de março.

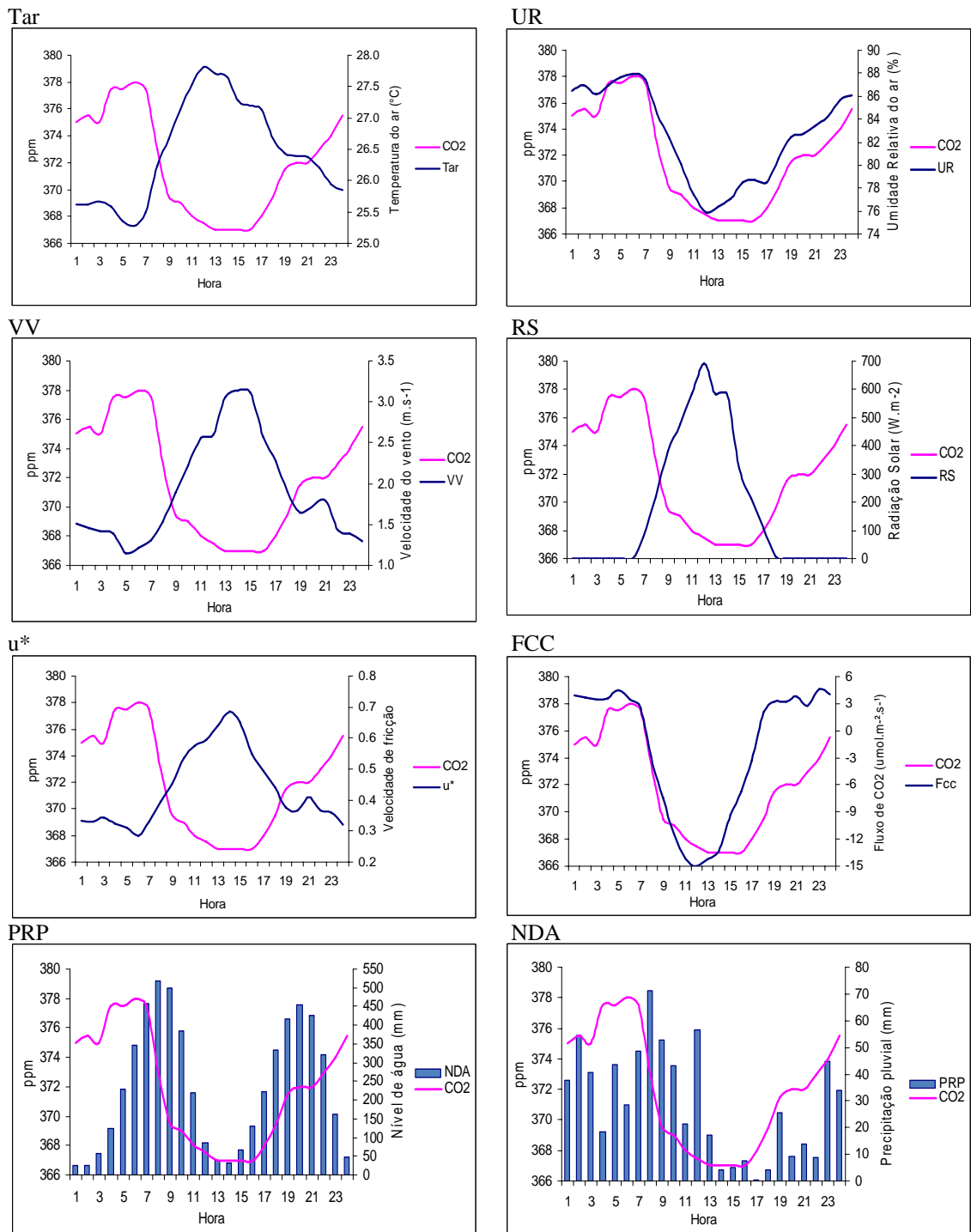


Figura 34 – Variação média horária da concentração CO_2 e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de abril.

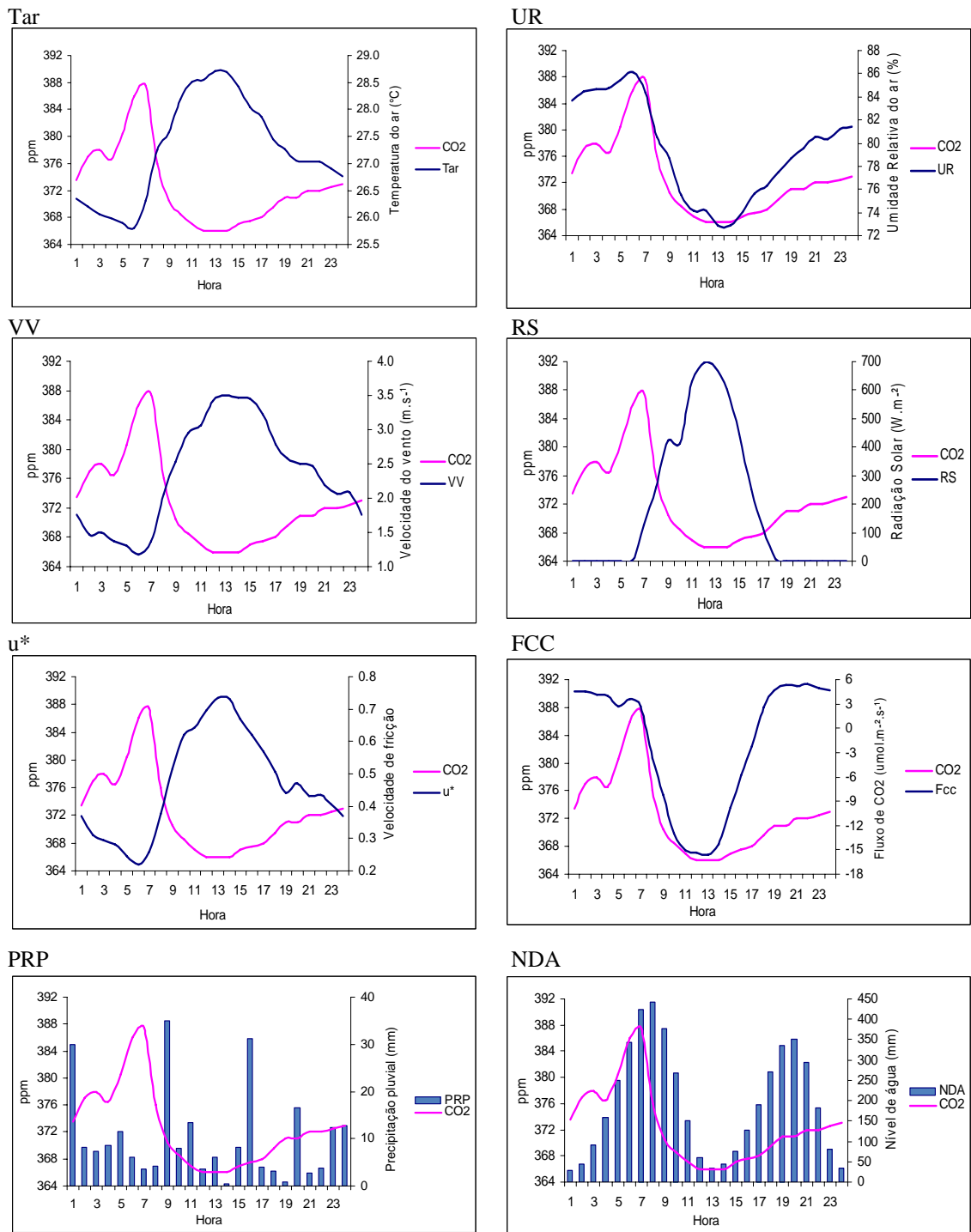


Figura 35 – Variação média horária da concentração CO_2 e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de maio.

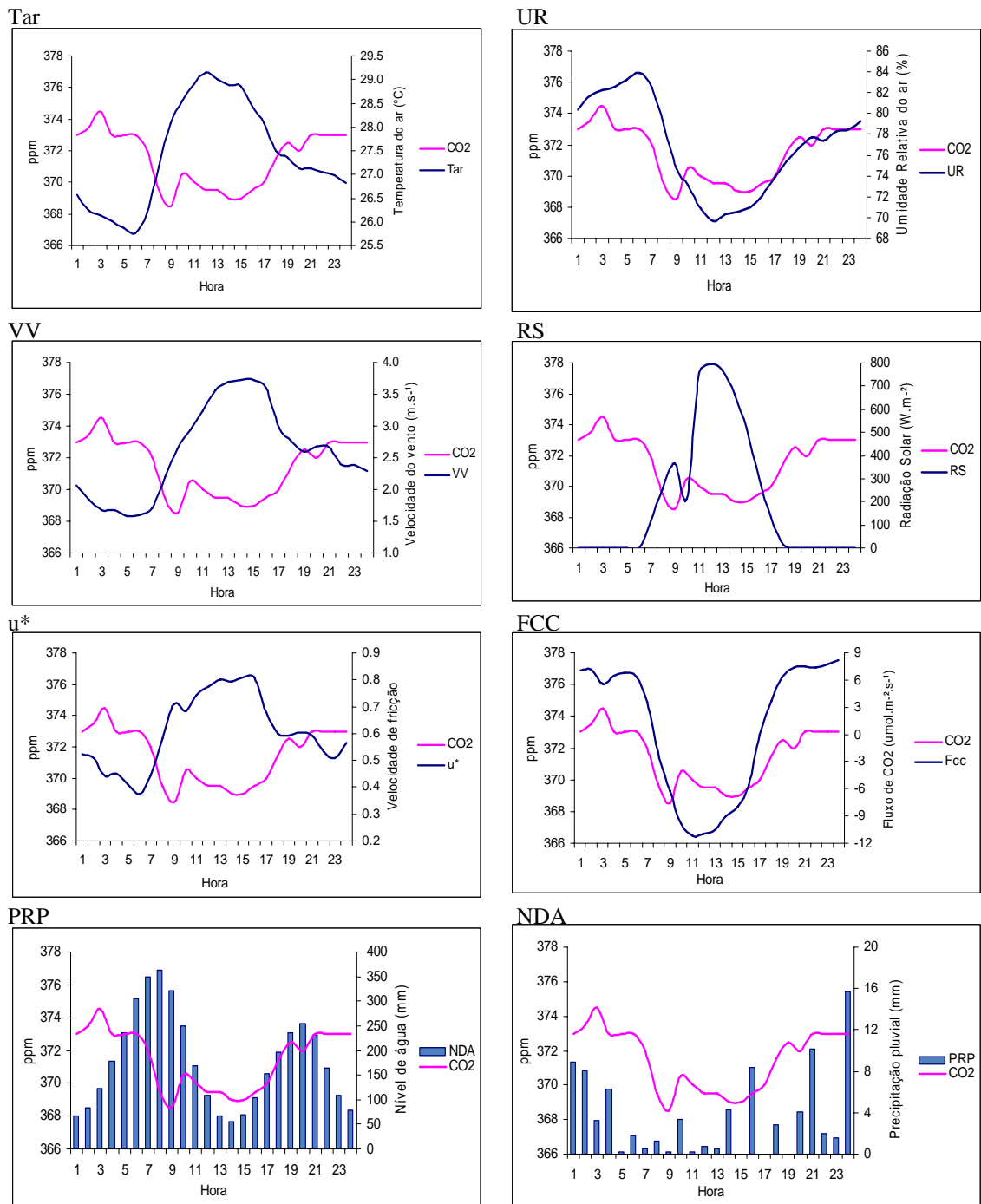


Figura 36 – Variação média horária da concentração CO_2 e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de junho.

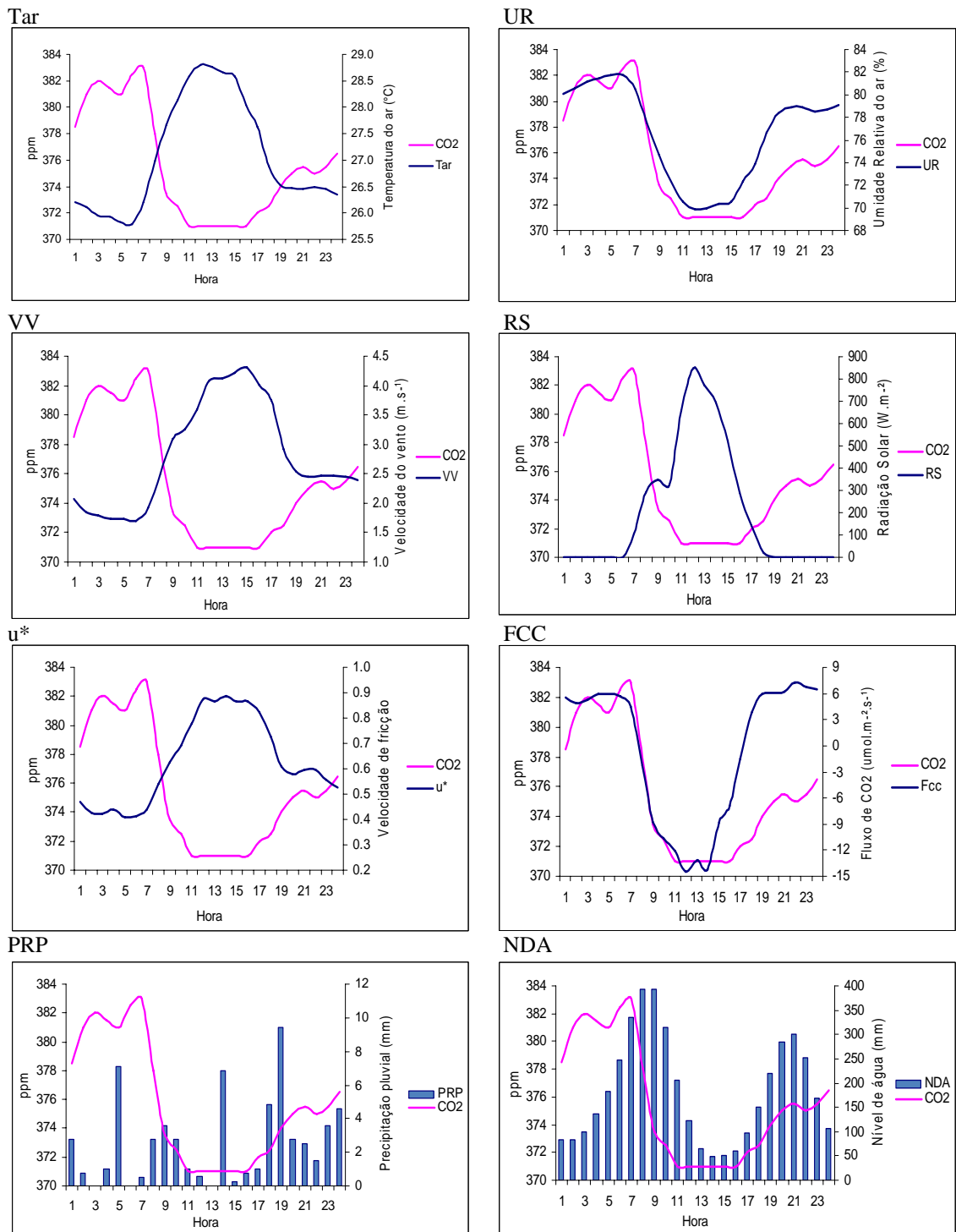


Figura 37 – Variação média horária da concentração CO₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de julho.

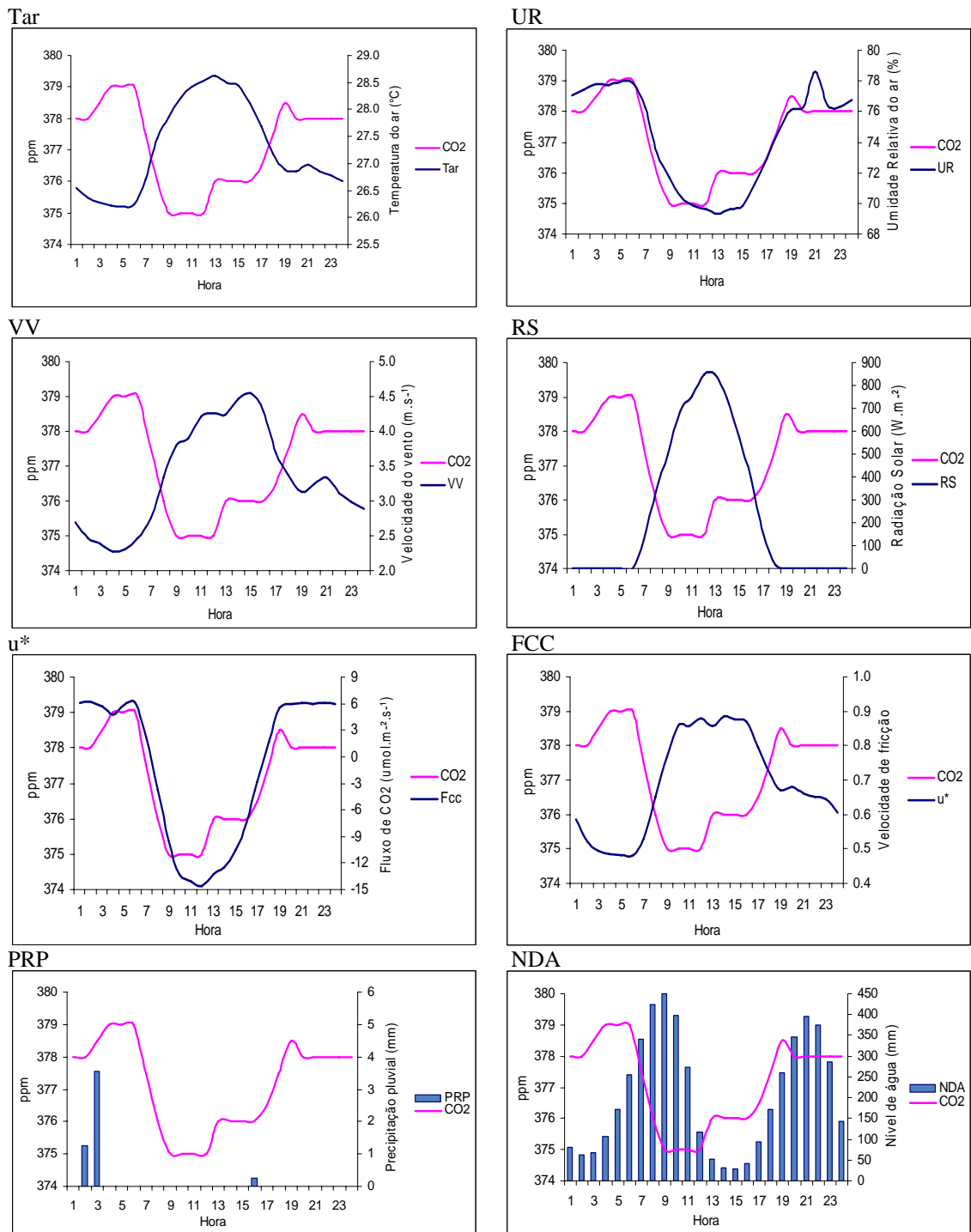


Figura 38 – Variação média horária da concentração CO₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de agosto.

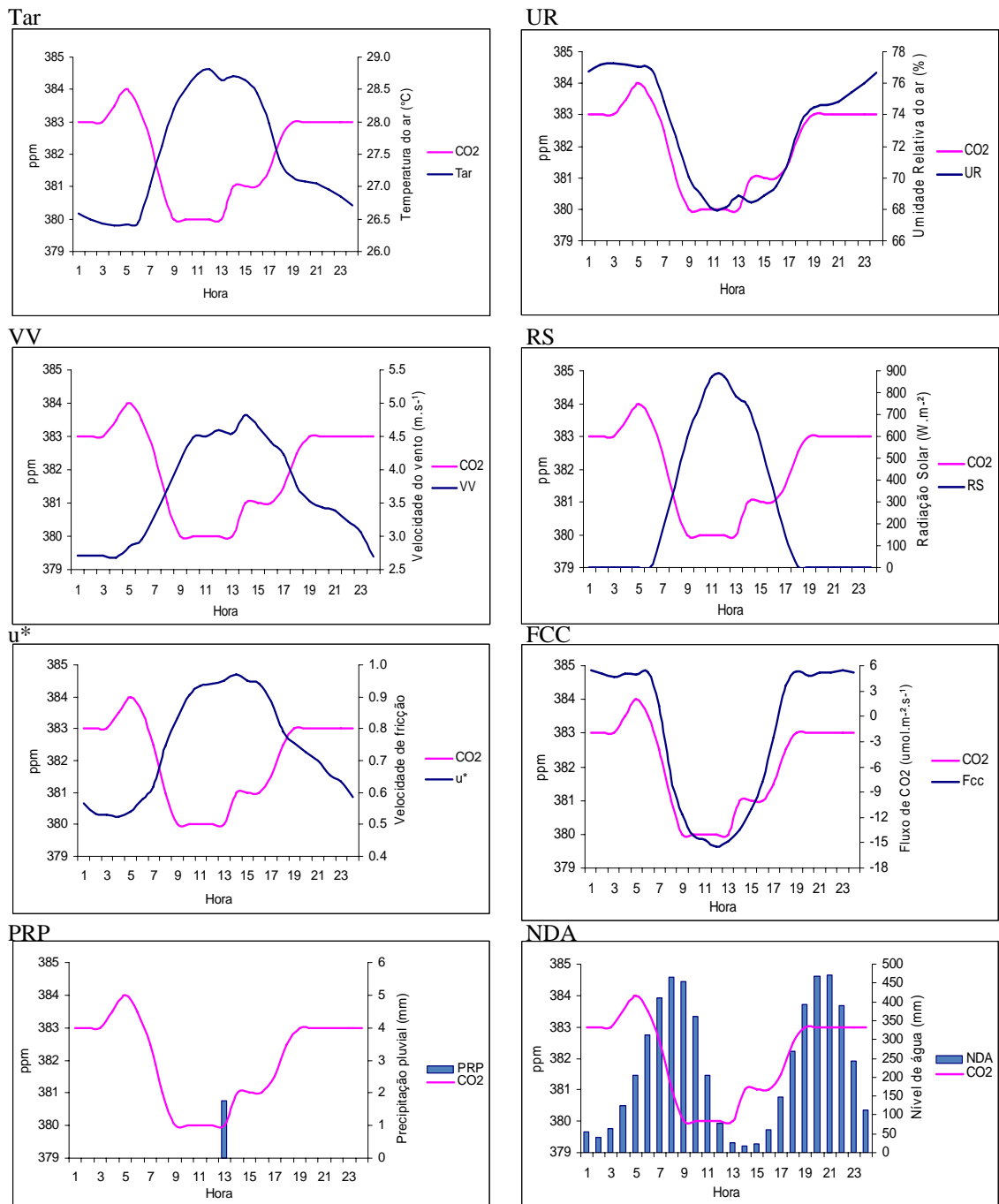


Figura 39 – Variação média horária da concentração CO_2 e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de setembro.

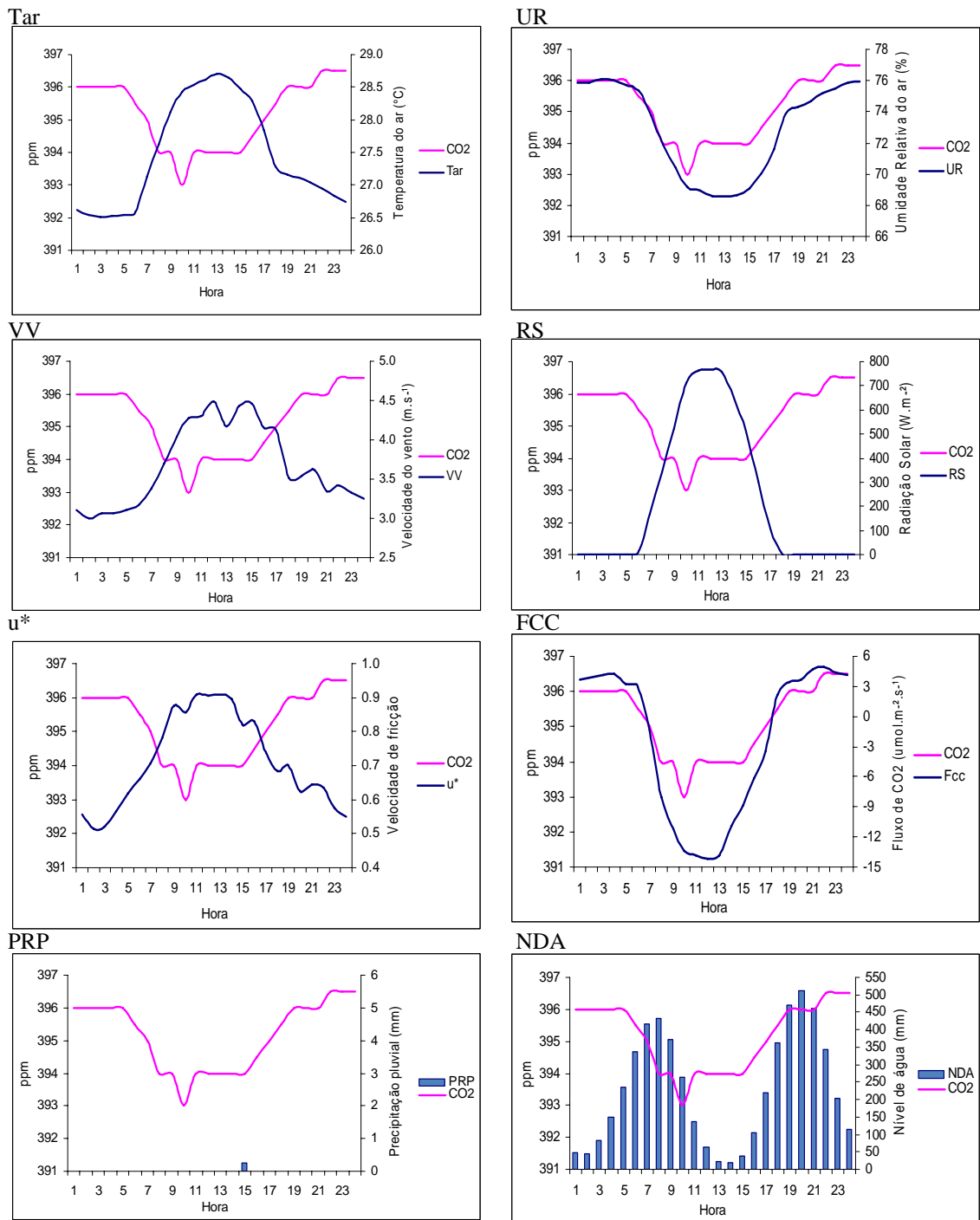


Figura 40 – Variação média horária da concentração CO₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de outubro.

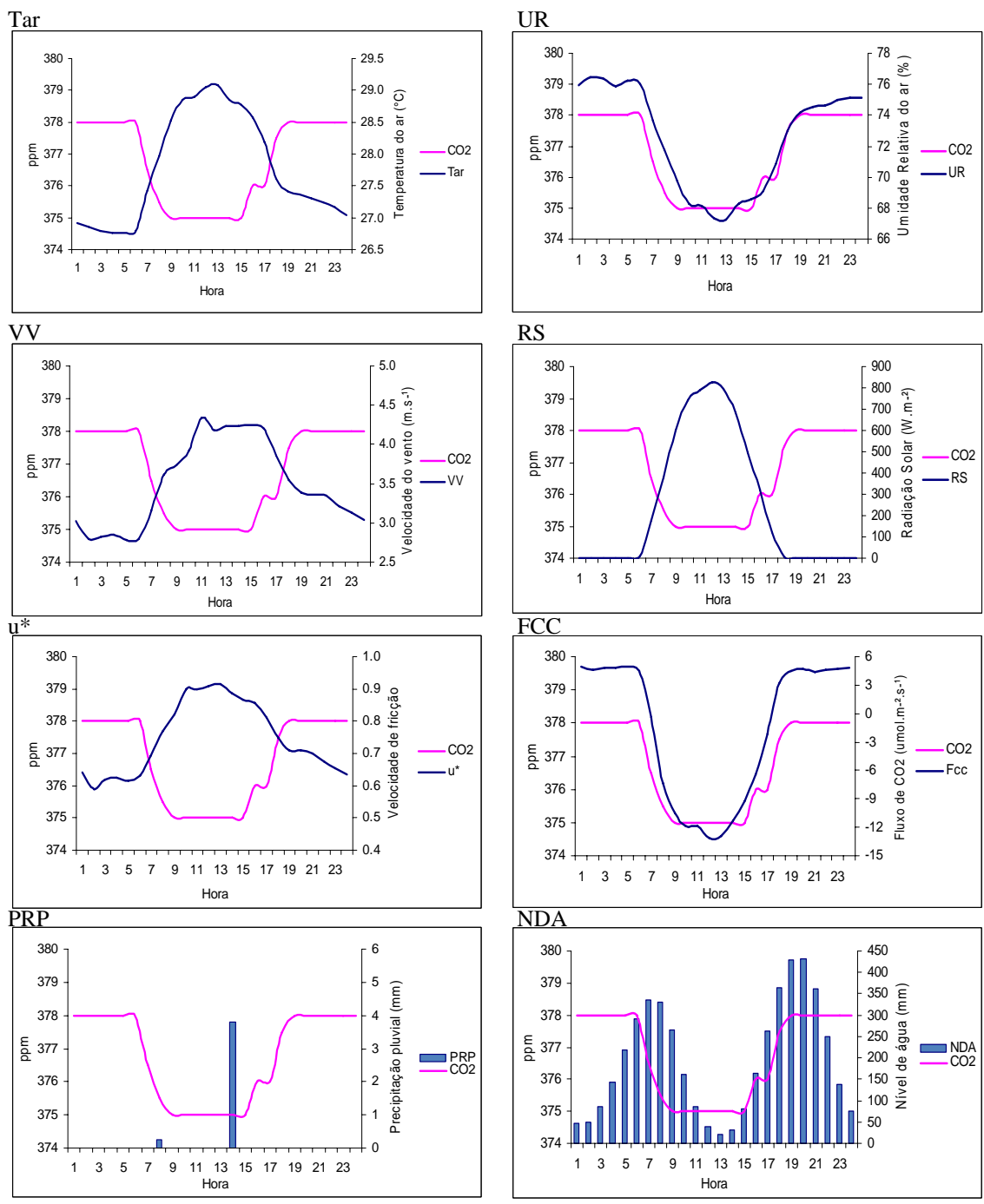


Figura 41 – Variação média horária da concentração CO₂ e outras variáveis dependentes, acima da copa do manguezal, no mês de novembro.

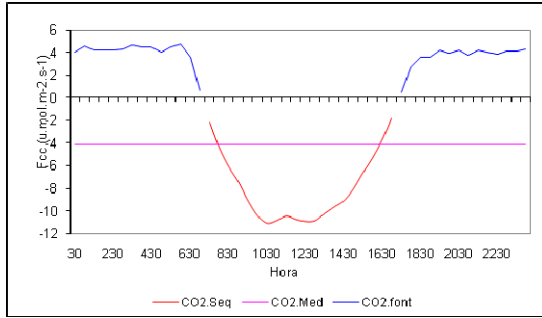
4.1. Variação dos fluxos de CO₂ acima da copa da vegetação de manguezal.

As análises feitas entre as variações da concentração de CO₂ acima da copa da vegetação de manguezal e as variáveis micrometeorológicas pertinentes, também podem ser utilizadas para as variações dos fluxos de CO₂, no período típico de assimilação de CO₂ pela vegetação, através do processo de fotossíntese, entre o nascer e o pôr-do-sol, e para o período noturno, em que só existe o processo de respiração do ecossistema (Figura 42).

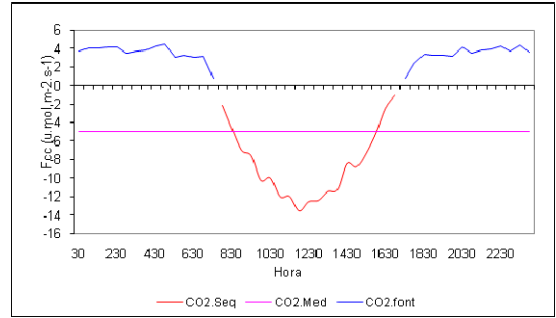
O balanço médio horário de CO₂ em cada mês resultante da diferença entre a assimilação de CO₂ e as perdas respiratórias do ecossistema variou de -1,07 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em junho (início do período seco) a - 6,39 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em abril (mês típico de estação chuvosa). O balanço médio horário de CO₂ no período experimental foi de -4,78 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Os resultados apresentados caracterizam o papel do ecossistema do manguezal no sequestro de carbono e as suas variações diárias e sazonais, em função da variação das variáveis ambientais sobre as variações das concentrações de CO₂ discutidas no item anterior e dos respectivos fluxos de CO₂ num ecossistema de manguezal, fica bem evidenciado quando se pretende avaliar a quantificação das fontes e dos sumidouros de CO₂ atmosférico, especialmente no contexto atual de aquecimento global, em que se torna altamente relevante avaliar as possíveis consequências da tendência de aumento na concentração CO₂ atmosférico em função das variáveis biofísicas que controlam esses fluxos.

Mahli e Grace (2000) enfatizam a necessidade de ampliação de sítios experimentais para monitoramento das concentrações e dos fluxos de CO₂, especialmente nas regiões tropicais e alerta para um questionamento sobre os procedimentos experimentais na quantificação desses fluxos, inclusive os métodos micrometeorológicos baseados na covariância dos vórtices turbulentos.

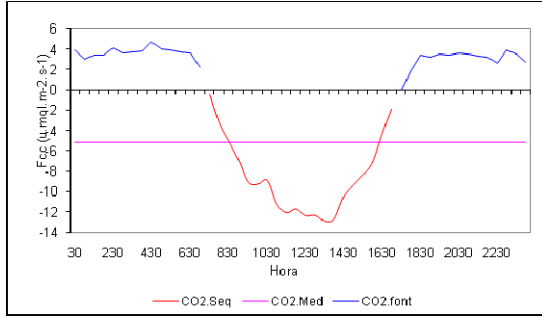
Jan



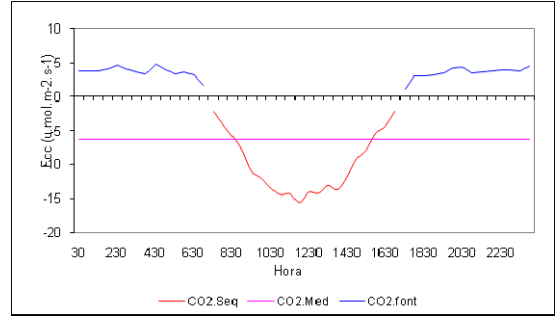
Fev



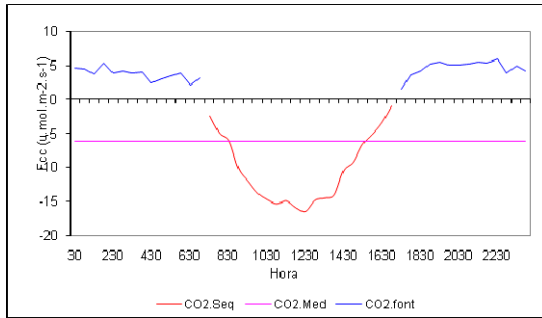
Mar



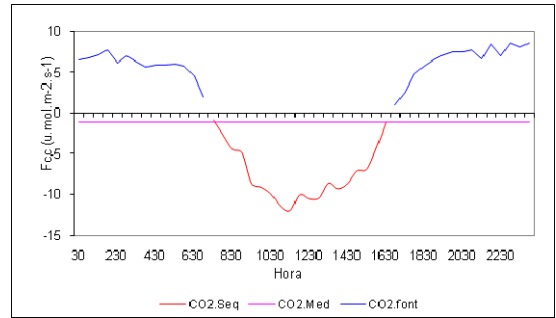
Abr



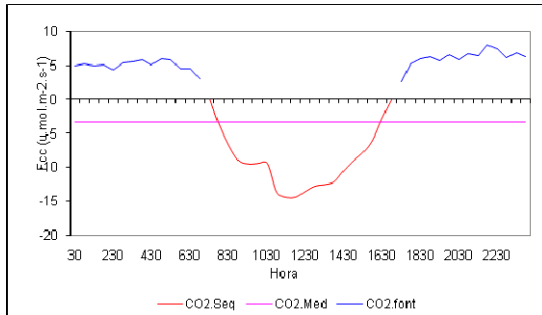
Mai



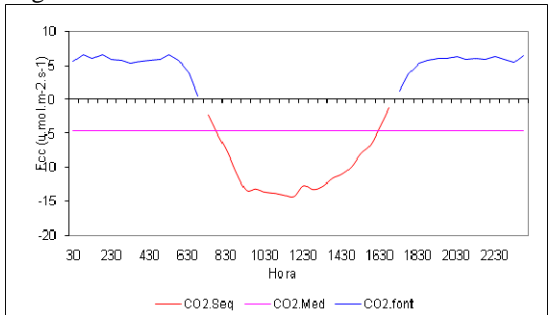
Jun



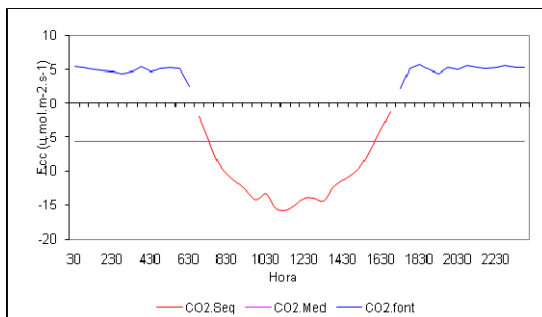
Jul



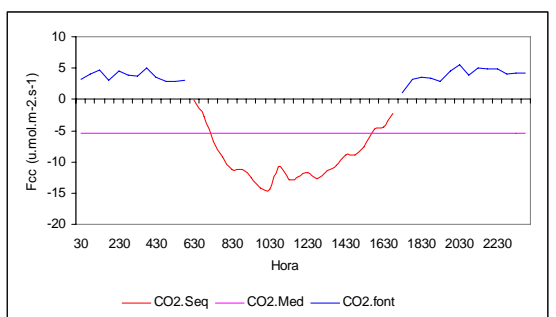
Ago



Set



Out



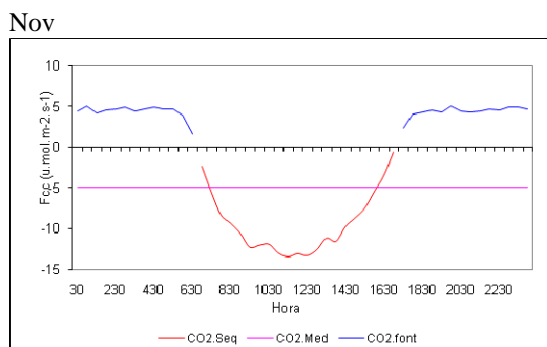


Figura 42 – Variação média horária dos fluxos de CO₂, acima da copa do manguezal, no período de janeiro a novembro.

4.2. Relação de dependência entre as variações de concentração de CO₂ e as variáveis micrometeorológicas pertinentes

Baseado em análises exploratórias dos dados experimentais, foram testados várias relações estatísticas entre as variações da concentração de CO₂ e as variáveis analisadas no item 4.1. Um resumo dessas relações envolvendo os melhores resultados obtidos está apresentado nas Figuras 43 a 53.

Nessas relações foram destacados os melhores resultados obtidos com base em relações lineares e polinomiais. Embora os coeficientes dessas tenham variado mês a mês, observou-se uma tendência de variação semelhante. A variação de inclinação das relações lineares e, ou, curvilíneas ao longo dos meses pode ser uma indicação de sazonalidade da relação ou limitação da própria relação em responder às variações de CO₂, que reconhecidamente não depende de uma variável apenas. Apesar da simplicidade das relações obtidas esses resultados alertam para alguns modelos que tentam simular essas variações nas concentrações de uma forma determinística. Por outro lado, esses resultados revelam a limitação dessas relações lineares ou polinomiais em expressar as variações nas concentrações e, ou, nos fluxos de CO₂ sob diferentes condições ambientais.

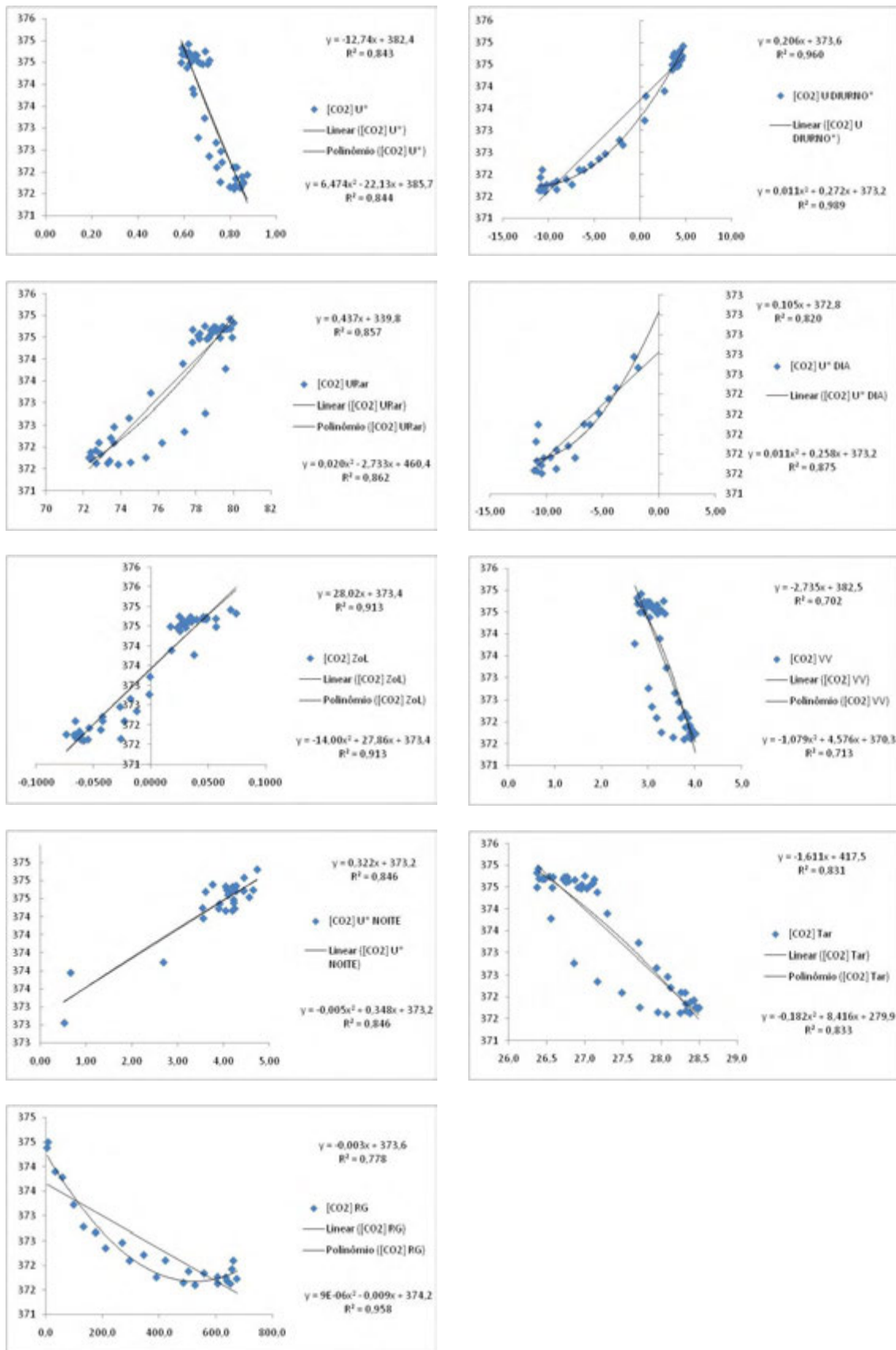


Figura 43 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de janeiro.

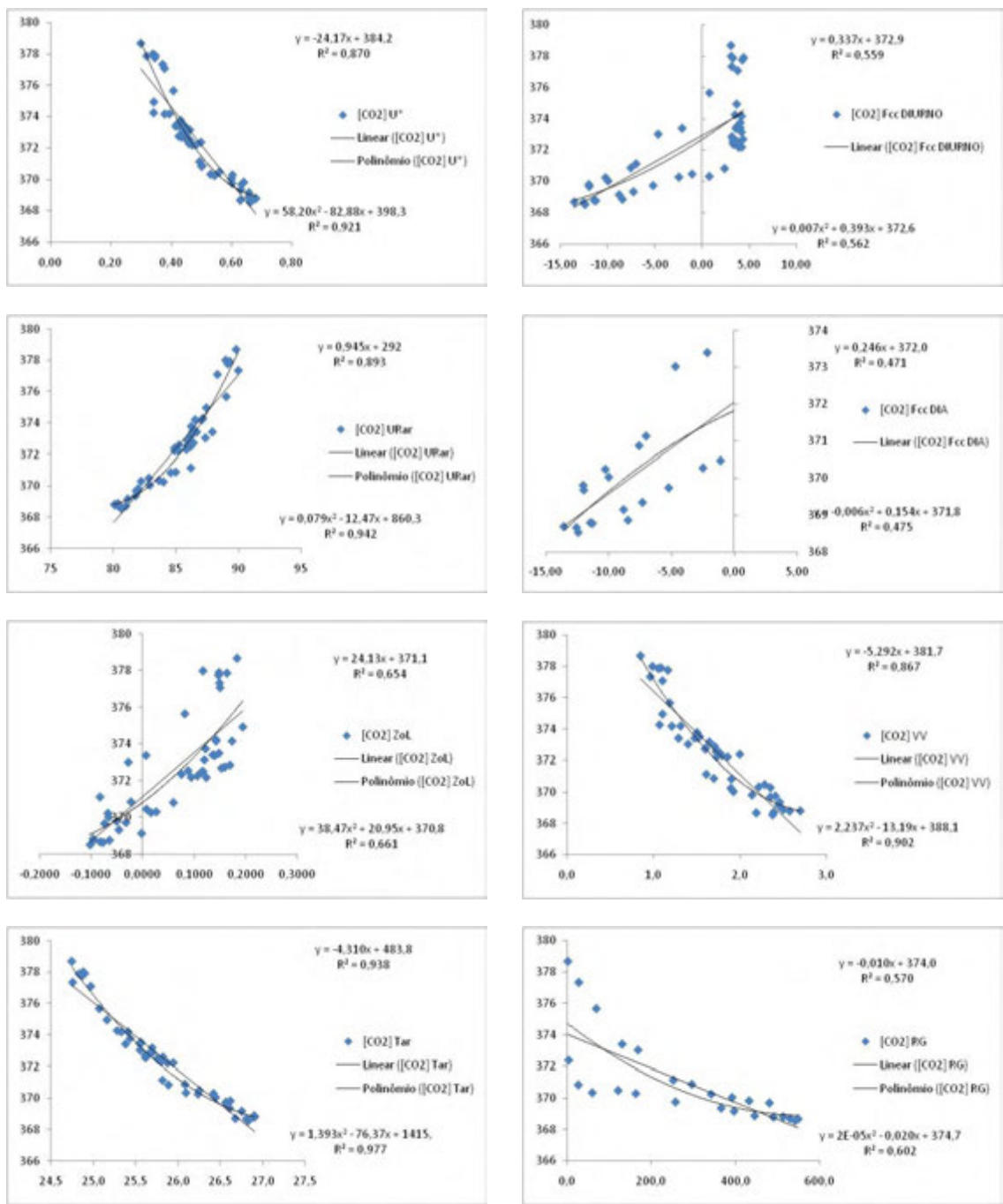


Figura 44 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de fevereiro.

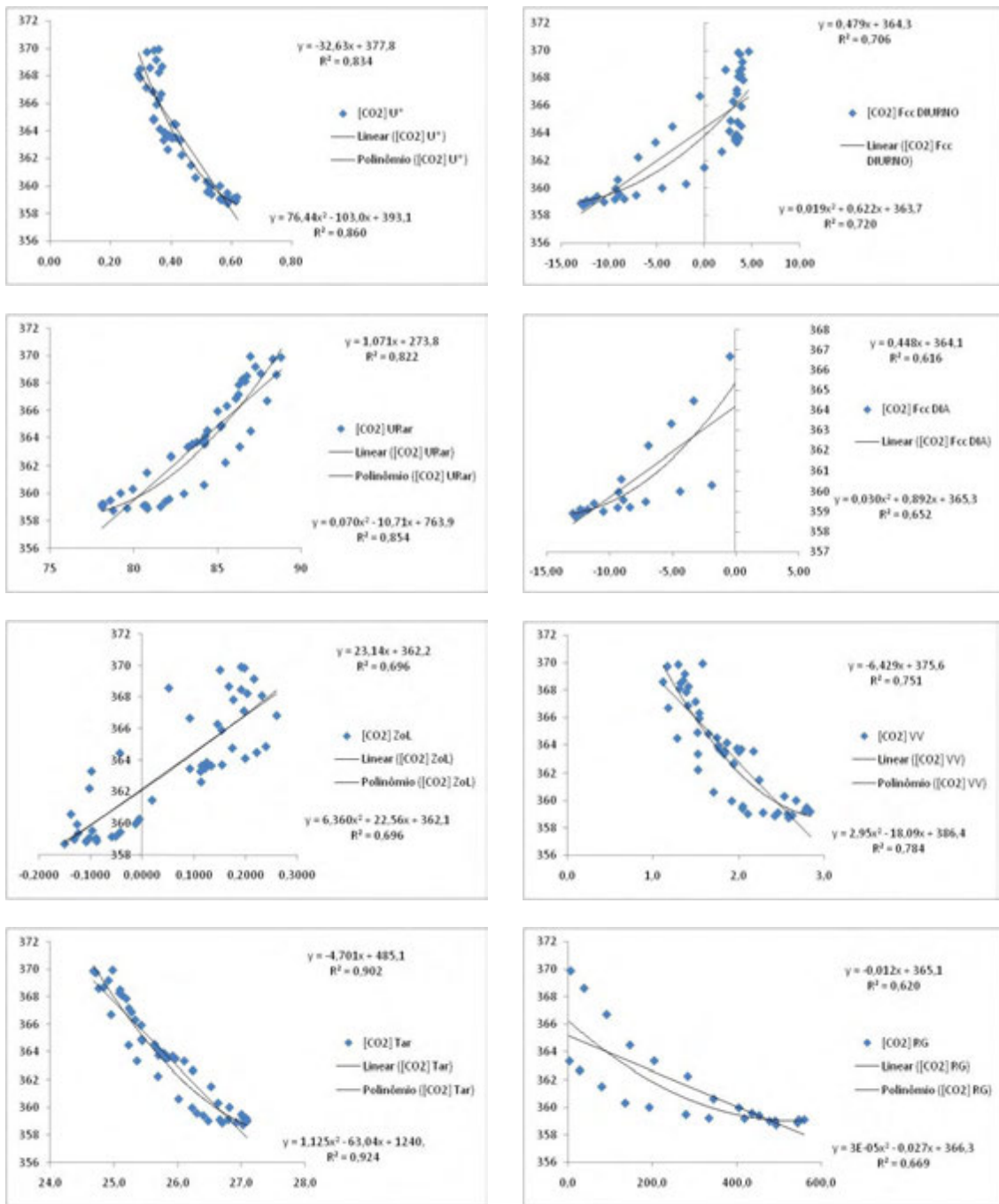


Figura 45 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de março.



Figura 46 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de abril.

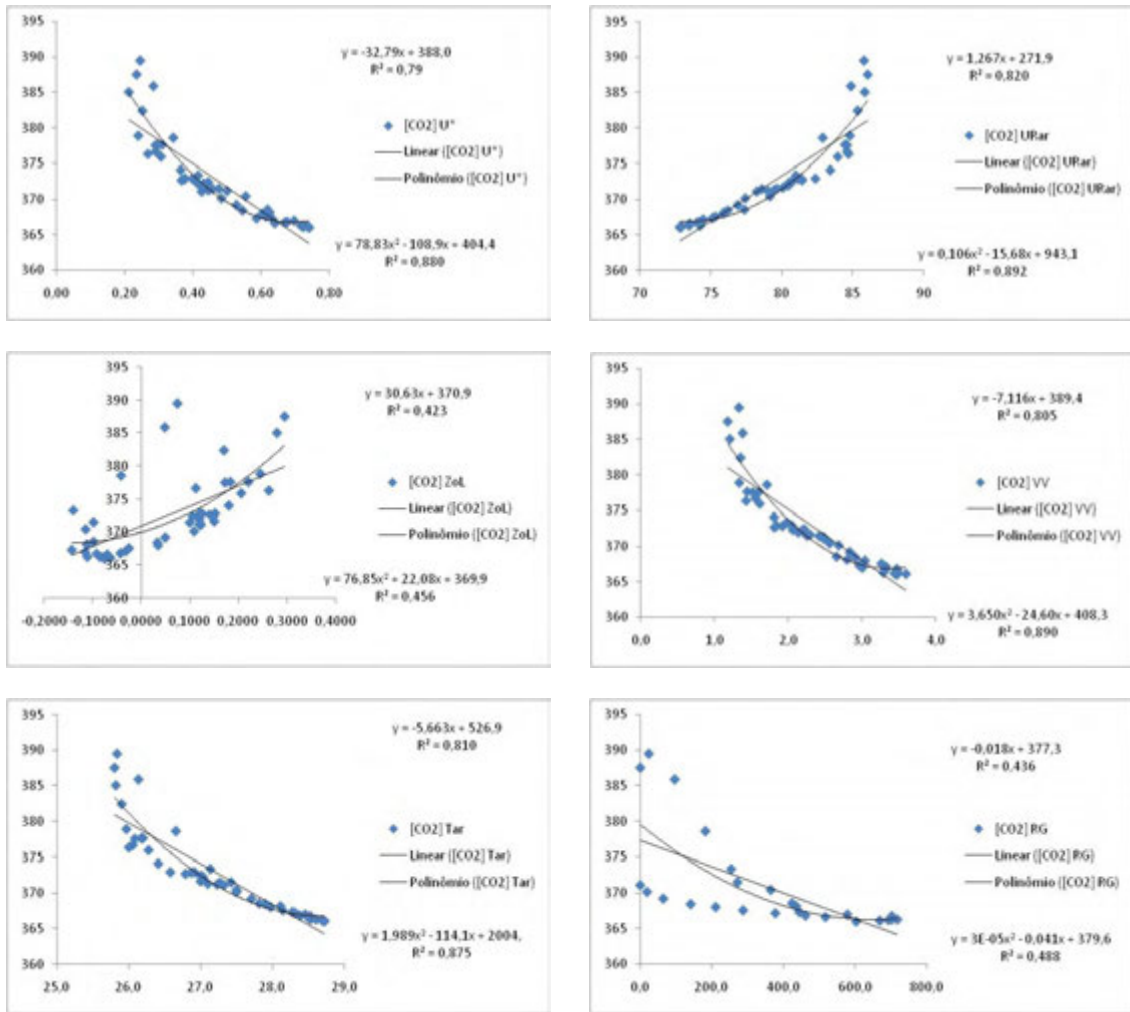


Figura 47 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de maio.

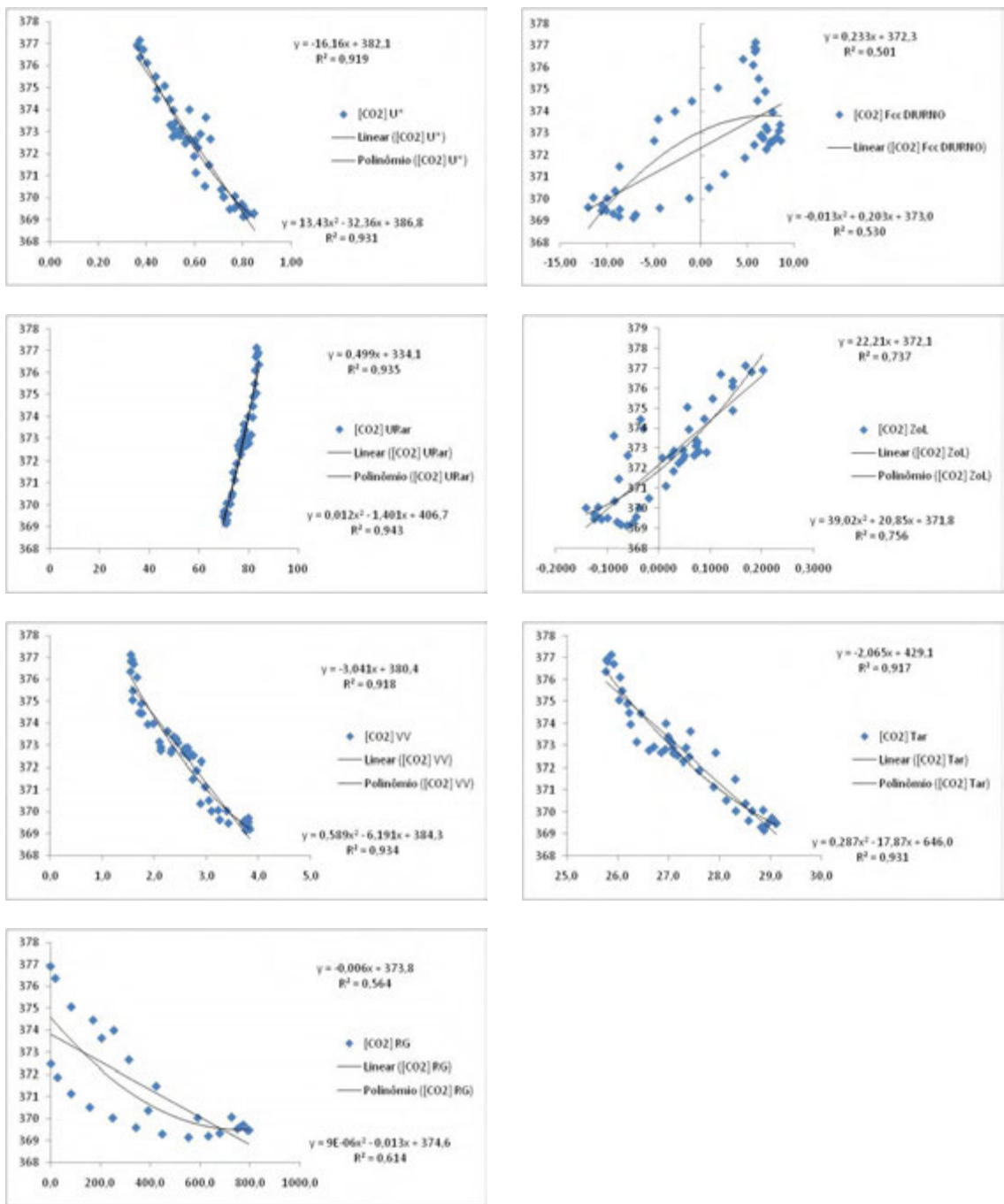


Figura 48 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de junho.

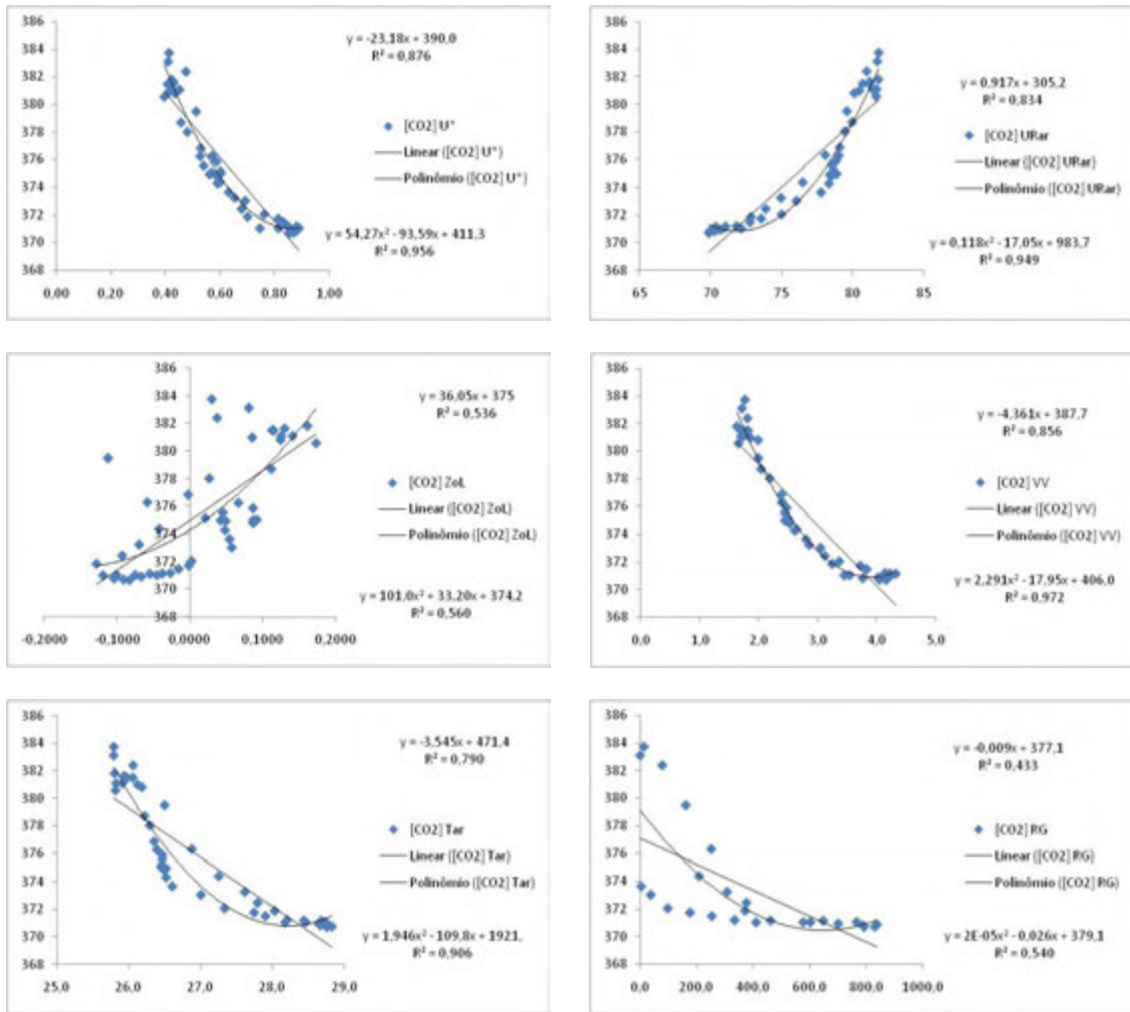


Figura 49 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de julho.

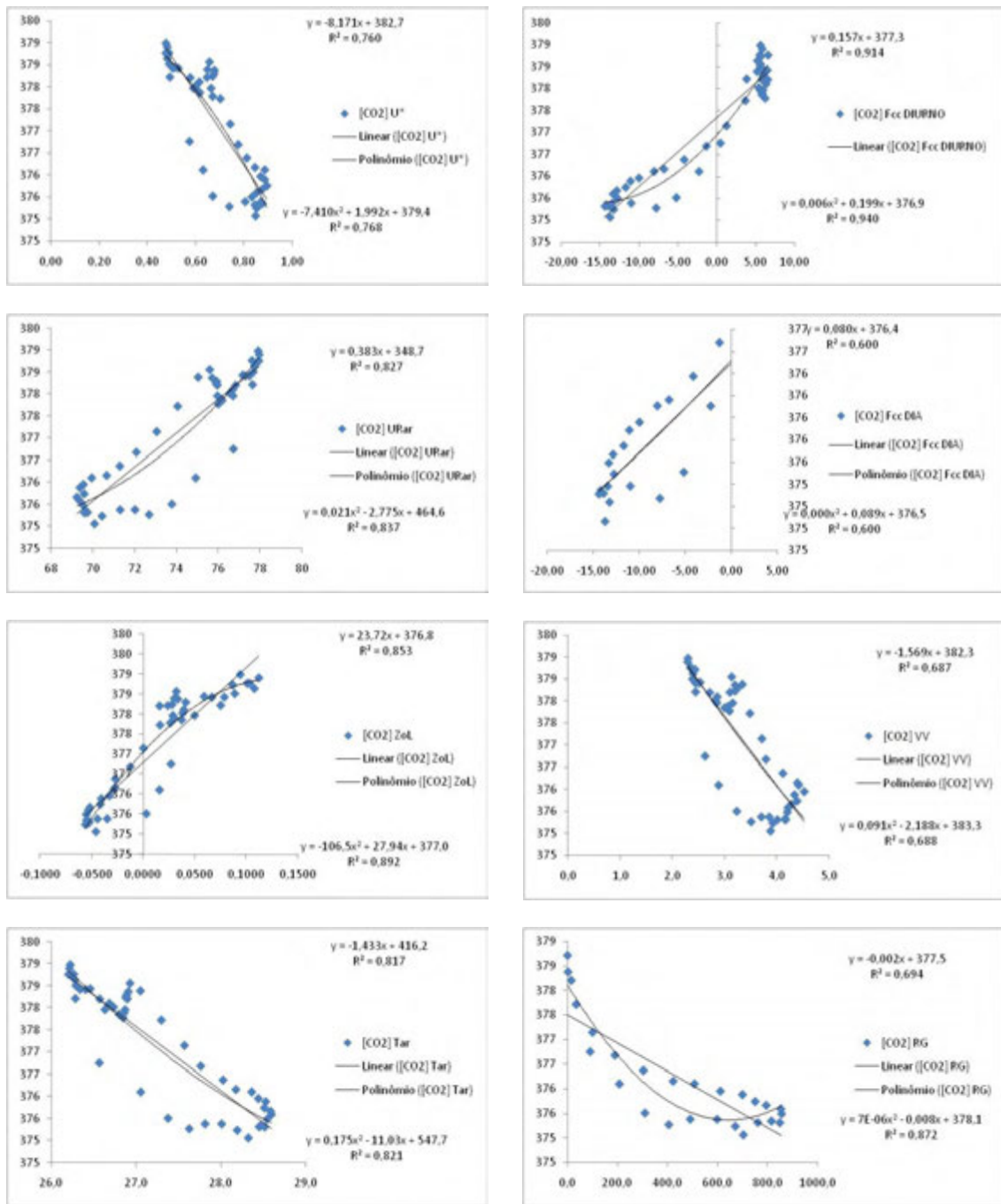


Figura 50 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de agosto.

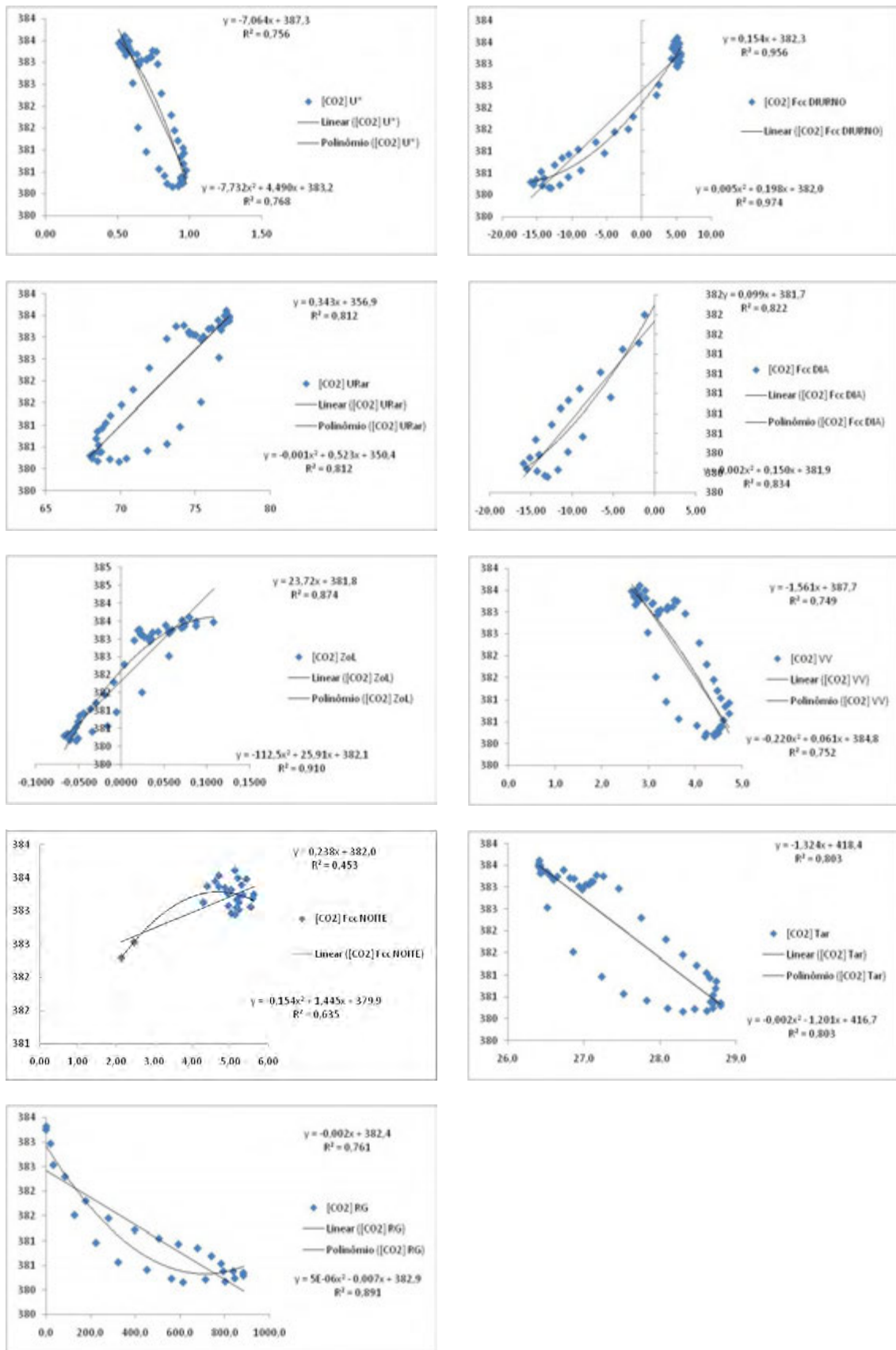


Figura 51 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de setembro.

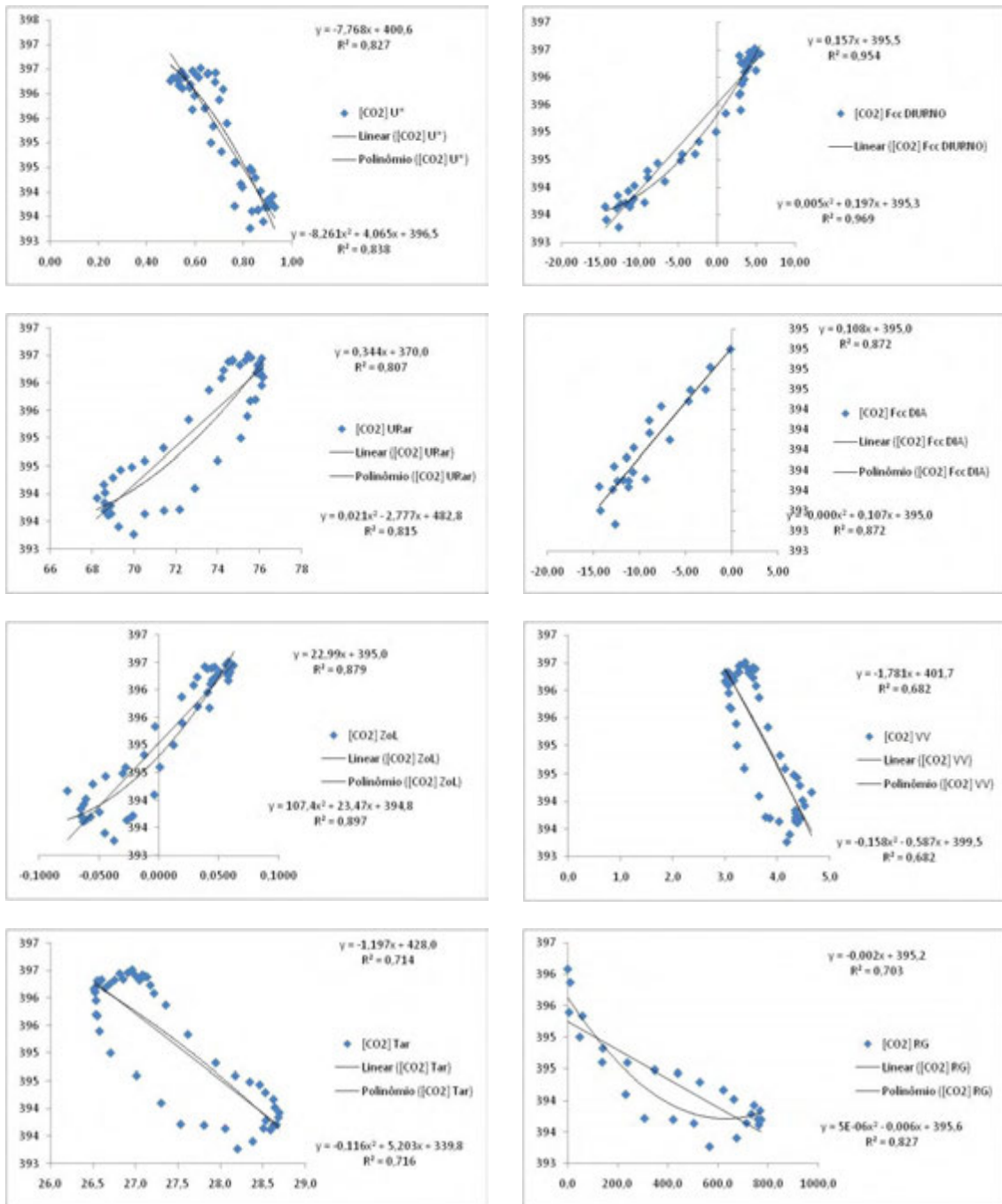


Figura 52 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de outubro.

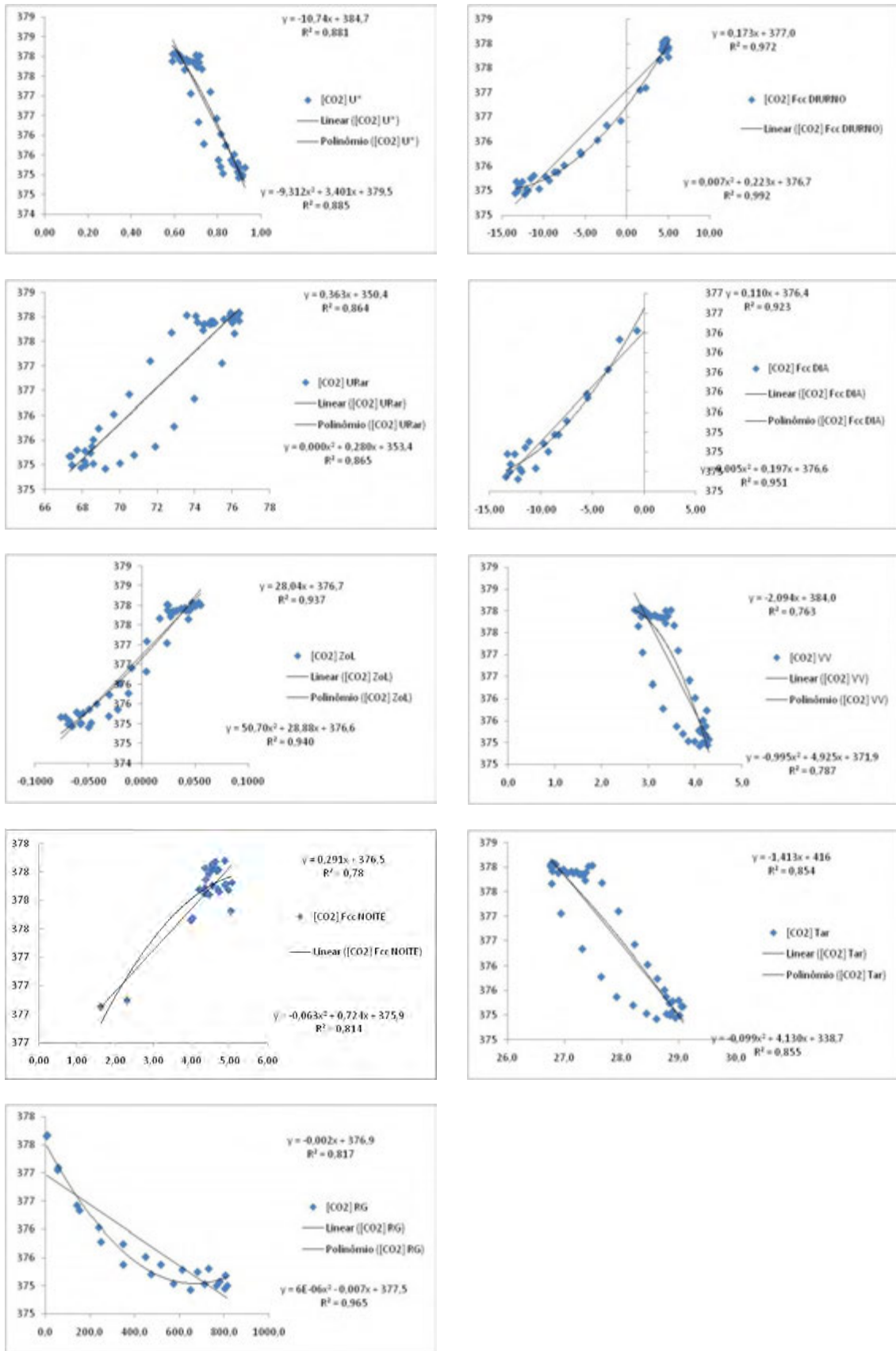


Figura 53 – Relações estatísticas entre concentração de CO₂ e variáveis relevantes para o mês de novembro.

4.3. Variação sazonal da concentração de CO₂

A Figura 54 ilustra a variação sazonal da concentração de CO₂ relacionada com algumas variáveis pertinentes. Dentre as variáveis analisadas, o regime de precipitação é o que melhor explica a variação sazonal da concentração de CO₂. Existe uma relação aproximadamente inversa entre as concentrações mensais de CO₂ e a precipitação pluvial. Os valores máximos de concentração de CO₂ foram observados no período seco, enquanto as menores concentrações mensais de CO₂ ocorreram nos meses mais chuvosos. Esse resultado fica mais evidente ao se examinar a relação entre concentração de CO₂ e o nível de água, no manguezal, resultante das chuvas e, ou, das marés. O pico do nível de água observado em março possivelmente devido à ocorrência de precipitação, principalmente, resultou nos níveis mais baixos, em nível mensal, da concentração de CO₂. Todavia, no outro pico de nível de água observado em outubro, devido possivelmente às marés, ocorreram os valores máximos observados na concentração de CO₂. A influência da temperatura do ar na variação sazonal da concentração de CO₂ também é evidente, especialmente quanto à época de ocorrência dos valores extremos. A umidade relativa do ar, devido a sua dependência inversa com a temperatura do ar, representa uma relação aproximadamente inversa, em termos sazonais com a concentração de CO₂. A variação sazonal da radiação solar está bem relacionada com a variação sazonal da concentração de CO₂, tanto com relação aos valores extremos como nos valores intermediários.

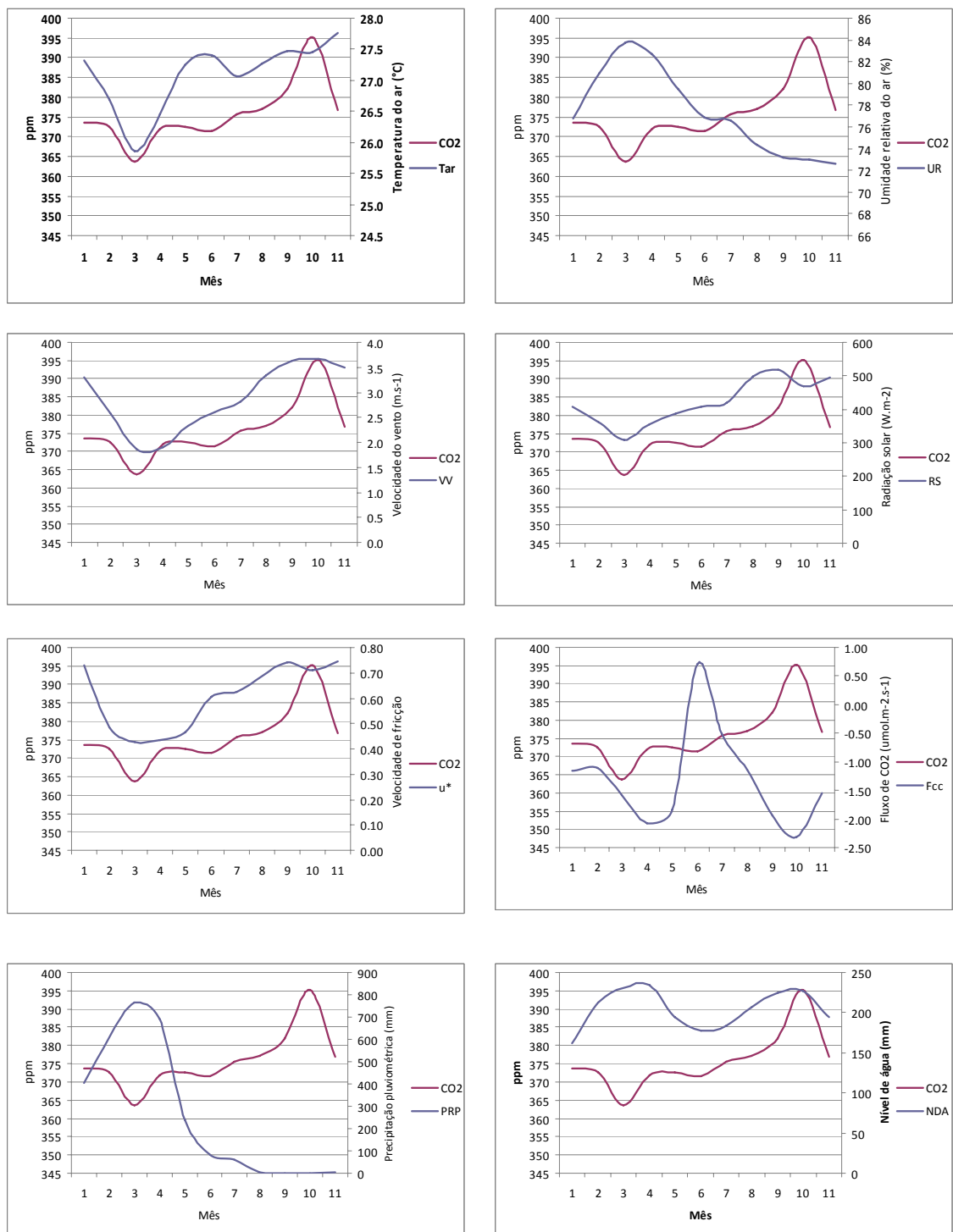


Figura 54 – Relação de variação sazonal entre a concentração de CO₂ acima da copa do manguezal e variáveis pertinentes.

Ao se comparar a média anual da concentração de CO₂ sobre o manguezal com o valor obtido em Mauna Loa (Figura 55 e 56), praticamente não houve diferença, todavia, quando se compara as concentrações médias mensais entre esses sítios observa-se uma diferença bem significativa. Esse resultado ressalta a importância do monitoramento das concentrações de CO₂ não apenas em locais remotos como o de Mauna Loa, mas, na maioria dos ecossistemas terrestres, a fim de que se tenha uma confiabilidade maior sobre as tendências de variação do CO₂ atmosférico sobre as possíveis consequências do aumento de concentração de CO₂ no planeta.

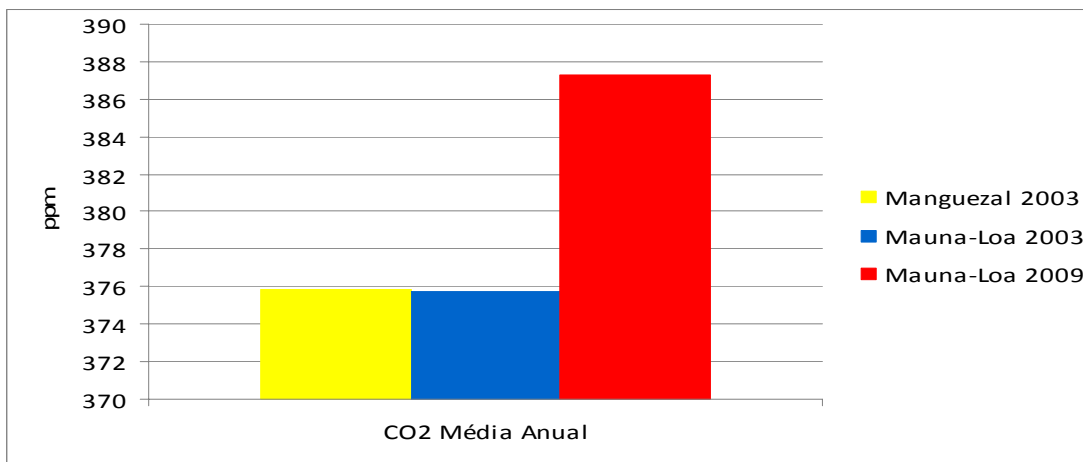


Figura 55 – Concentração de CO₂ média anual em Mauna-Loa e no sítio de manguezal.

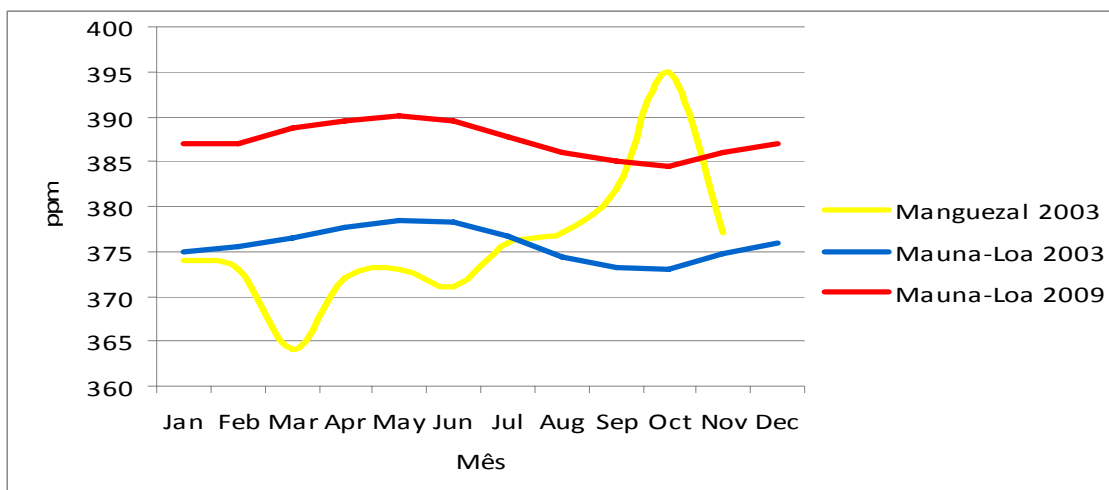


Figura 56 – Variação sazonal da concentração de CO₂ em Mauna-Loa e no sítio de manguezal.

4.4. Estimativa dos créditos de carbono

No contexto da contabilidade dos compromissos de reduções de emissões de CO₂, a única modalidade que consegue reduzir o imobilizado na atmosfera, e debitado à conta corrente dos países desenvolvidos no Anexo B do Protocolo de Kyoto, refere-se à atividades de florestamento e reflorestamento de ecossistemas. Utilizando-se os resultados obtidos pelo projeto CARBO-Pará chega-se aos resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Balanço de Fcc e quadro resumo das conversões

Meses	Dia	Noite	Balanço (Fcc $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	FccTC (TCha ¹ .ano ⁻¹)	TCO _{2eq} (TCO _{2eq} .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Jan.	-8,28	3,94	-4,34	15,05739	55,15528
Fev.	-8,24	3,65	-4,59	15,89824	58,23533
Mar.	-8,64	3,47	-5,17	17,93415	65,69285
Abr.	-9,87	3,48	-6,39	22,15542	81,15538
Mai	-10,30	4,20	-6,10	21,15019	77,47322
Jun.	-7,37	6,31	-1,07	3,695278	13,53582
Jul.	-9,28	5,76	-3,52	12,21135	44,73021
Ago.	-10,17	5,29	-4,88	16,90267	61,91453
Set.	-10,75	4,91	-5,84	20,24786	74,168
Out.	-9,58	3,67	-5,90	20,45976	74,94418
Nov.	-9,31	4,48	-4,83	16,75575	61,37638
Média	-9,25	4,47	-4,78	16,59	60,76

Os resultados mostrados na Tabela 11, para o cálculo da moeda-certificado do MDL, compreendem as conversões de unidades dos resultados medidos pela torre micrometeorológica ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) para a unidade considerada para a emissão dos CERs (TCO_{2eq}.ha⁻¹.ano⁻¹). Para o cálculo da moeda – certificado do MDL (Reduções Certificadas de Emissões, CER, sigla em inglês), converte-se o valor médio do balanço F_{cc} (4,78 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de μmol para grama, sabendo-se primeiramente a massa molar do CO₂, em seguida a conversão para gramas.m⁻².s⁻¹, efetua-se a conversão de segundos para um ano⁴, metros quadrados para hectares chega-se ao valor obtido (60,76 TCO_{2eq}.ha⁻¹.ano⁻¹).

⁴ Face a não indisponibilidade de dados no mês de dezembro, considerou-se para efeito dos cálculos de CER um ano com 334 dias.

Os resultados obtidos mostram-se bastante significativos quando comparados, por exemplo, com os dados sobre as oportunidades para a indústria brasileira divulgados pela Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose de um workshop realizado há seis anos, que influenciou até os dias de hoje o enorme desenvolvimento do plantio de “florestas produtivas” (FBDS/FINEP, 2004).

Tabela 12 – Comparação florestas produtivas *versus* manguezais

Florestas Produtivas	Manguezais
<i>Pinus spp</i> ou <i>Eucalyptus spp</i>	Diversas espécies
Média de 38,6 t CO ₂ /ha/ano)	Média de 60,8 t CO ₂ /ha/ano)

O estudo destaca que as práticas relacionadas com o uso da terra, as mudanças no uso da terra e as florestas, englobadas nos textos do MDL sob a expressão LULUCF (da sigla Land-Use, Land-Use Change and Forestry) constituem um importante mecanismo de controle climático, tanto pela sua capacidade de emitir gás carbônico como de capturá-lo. O aprimoramento das técnicas de uso do solo diminuindo o desmatamento e implementando tecnologias de manejo florestal sustentável significam emitir menos CO₂. Porém, desconsidera a necessidade de adicionalidade exigida para as atividades de projeto LULUCF, ao incluir os produtos derivados das “florestas produtivas”, como a energia de biomassa produzida continuamente de forma sustentável, para substituir parte das emissões dos combustíveis fósseis. Ademais, como fica claro na tabela anterior, o potencial de subtração do CO₂ atmosférico demonstrado pelo ecossistema de manguezal estudado, suplanta em muito os também chamados “desertos verdes”, além dos serviços ambientais e da biodiversidade agregadas por aquele ecossistema.

A Tabela 13 resume o potencial das atividades de projeto em manguezais para a geração de CERs seja através de atividades de projeto A/R LULUCF/MDL do Protocolo de Kyoto para períodos de 7 ou 10 anos, bem como para inclusão em mecanismos propostos para Fundos de Conservação por emissões evitadas.

Tabela 13 – Estimativa de CERs gerados por manguezais (valores em reais)

A/R LULUCF - MDL Protocolo de Kyoto (CERs em Projetos de 15.000 ha)		Fundos de Conservação (CERs em Área Total no Brasil = 1.000.000 ha)
20 anos (divididos em até 2 períodos) ³	30 anos (apenas um único período) ³	CER's por Emissões Evitadas por Ano ³ (computadas apenas as remoções pelo sumidouro)
18.240.000	27.360.000	60.800.000
R\$555.758.208,00 ^{1,2}	R\$833.637.312,00 ^{1,2}	R\$ 1.852.527.360 ^{1,2}

Notas: 1) CER = €12,00, disponível em: <<http://www.pointcarbon.com>>; 2) €= R\$2,5391 em 12.2.2010), disponível em <<http://www.bcb.gov.br/>>; 3) computadas adicionalidades de 60,8 t CO₂/ha/ano; e 3) neste exercício não estão computadas fugas (*leakage*), ou a remoção líquida pelo sumidouro (ex-ante) na linha de base.

No contexto do Protocolo de Kyoto as atividades de projeto para a criação ou reflorestamento de ecossistemas manguezais mostram-se bastante atrativas e economicamente viáveis para sua implementação, seja para projetos em áreas conforme o exemplo mostrado pela tabela acima, ou para projetos mais ambiciosos, envolvendo áreas maiores em atividades de projeto de florestamento ou reflorestamento. Em relação aos Fundos de Compensação por emissões evitadas, a exemplo do recém proposto REDD, caso venham a incluir nas contabilidades nacionais as remoções de natureza não-antropogênicas, como a evolução natural dos estoques de carbono em florestas, fica a proposta implícita no cálculo da referida tabela. Para que as absorções pelo sumidouro (ecossistemas de manguezal) sejam remuneradas anualmente pelo balanço da NEE calculado e expresso pelo fluxo médio de captação do CO₂ anualmente e por unidade de área do ecossistema conservado.

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho foram:

1) As variáveis mais importantes na variação diurna das concentrações de CO₂ acima da copa do manguezal foram a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade de fricção, a velocidade do vento e a radiação solar global.

2) As concentrações médias horárias de CO₂ e o termo de estabilidade atmosférica, expresso por Zol, apresentaram fortemente correlacionados, chegando a superar a influência da velocidade de vento e velocidade de fricção.

3) A influência das marés na variação diurna de CO₂, embora tenha sido fracamente correlacionado com coeficientes de correlação abaixo de 0,30, observou-se uma forte correlação entre os horários de picos de nível de água e as elevadas concentração de CO₂.

4) A variação sazonal das concentrações de CO₂ é controlada principalmente pelo regime de precipitação e a variação sazonal da radiação solar global.

5) A concentração média anual em 2003 no sítio de manguezal foi aproximadamente a mesma observada no sítio de Mauna Loa, todavia a variação sazonal foi distinta entre os sítios, o que expressa a característica específica de um ecossistema interagir com a atmosfera, justificando a necessidade do monitoramento das concentrações de CO₂ nos principais ecossistemas terrestres.

6) Os resultados obtidos no ecossistema de manguezal em Bragança (PA) evidenciam a sua importância no segmento de CO₂ atmosférico na possibilidade de geração em torno de 60 certificados de emissões reduzidas por cada hectare de manguezal recuperado ou plantado por ano.

As conclusões acima corroboram a veracidade da hipótese deste estudo, que indica a viabilidade do florestamento ou reflorestamento de manguezais como atividades de projeto para inclusão na modalidade LULUCF do MDL ou de Fundos de Compensação (REDD *et alii*). O experimento realizado em Bragança (PA) aponta para um ganho líquido e a possibilidade de geração em torno de 60 certificados de emissões reduzidas por cada hectare de manguezal recuperado ou plantado por ano. Conclusões devem ser vistas a luz das informações também aqui fornecidas, que destacam a variabilidade do porte das florestas de mangue entre os trópicos, sinalizando para a

importância de novos estudos que relacionem a absorção anual de carbono (ou CO_{2eq}), com o armazenamento deste em florestas localizadas na mesma latitude. Ademais, estudos em águas costeiras adjacentes aos manguezais indicam que cerca de 20% da produção global e em torno de 30% da acumulação global de CaCO₃ ocorrem nas latitudes tropicais, porém o papel dos ecossistemas de manguezal nestes processos permanece desconhecido (MIDDELBURG *et alii*, 1996). Em escala global, estima-se que os manguezais contabilizam mais de 10% do carbono orgânico dissolvido terrestre direcionados para o oceano, embora constituam apenas menos de 0,1% da superfície continental, constituindo-se a maior fonte de exportação de carbono orgânico para o oceano adjacente às suas áreas (DITTMAR *et alii*, 2006). A contribuição das microalgas deve ser estudada, como mais um compartimento do sumidouro de carbono. Portanto, fica sinalizado também a importância do desenvolvimento de estudos sobre a exportação do carbono orgânico pelos ecossistemas de manguezal para as áreas costeiras adjacentes, sob o ponto de vista dos fluxos do CO₂ biosfera-atmosfera, visando identificar o destino deste significativo aporte.

Os manguezais e toda sua pujança para absorção de carbono demonstrada neste trabalho, direciona à necessidade de atualização das metodologias para os Inventários Nacionais, incluindo os habitats marinhos/costeiros como LULUCF (LAFFOLEY & GRIMSDITCH, 2009). O presente trabalho apresenta robustas evidências e bases, permitindo ir além das conclusões apresentadas, inferirem as enormes perdas pela degradação dos manguezais originada por atividades humanas, decorrendo o aumento das emissões de gases de efeito estufa. Também, além da confirmação da hipótese, esta pesquisa demonstra que os manguezais de Bragança (PA) vem absorvendo 16,6 toneladas de carbono em cada hectare por ano (ou a geração de 60 CERs, MDL, Kyoto), no mesmo período. A principal diferença entre esses habitats costeiros e as florestas é que os mangues, as gramas marinhas e as plantas das marismas são extremamente eficientes em enterrar o carbono no sedimento abaixo deles, onde pode ficar armazenado por séculos ou até milênios. As florestas tropicais não são tão eficazes na transferência de carbono para o solo, armazenando a maior parte do carbono nas plantas vivas e na camada de húmus (LAFFOLEY & GRIMSDITCH, 2009). Portanto, direcionando para a necessidade da inclusão dos sumidouros marinhos/costeiros nos Inventários Nacionais, ou mesmo em acordos sobre clima, para o pós 2012, ano em que finda ou se renova o Protocolo de Quioto. A exemplo do estabelecido em Bali, Indonésia (COP-13), possibilitando compensar aqueles países em desenvolvimento que,

voluntariamente, demonstrarem Reduções de Emissões resultantes do Desmatamento e da Degradação de Florestas (REDD). A expectativa é que esse novo mecanismo traga instrumentos inovadores e poderosos para a conservação não só das florestas tropicais, mas dos ecossistemas costeiros e para a redução das emissões de carbono que, produzidas com sua destruição ou deterioração, contribuem para aquecer perigosamente o planeta. Além, aprofundando os estudos sob a perspectiva dos gases de efeito estufa sobre as perdas de áreas de manguezais e o significado dessas para a atmosfera, vice-versa, a importância de sua recuperação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. G. **Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical da Amazônia**. 2005. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

ANDERSON D. E.; VERMA, S. B.; ROSENBERG, N. J. Eddy correlation measurements of CO₂, latent heat and sensible heat fluxes over a crop surface. **Boundary Layer Meteorology**, v. 29, p. 167-183, 1984.

ANDERSON D. E.; VERMA, S. B. Carbon dioxide, water vapour and sensible heat exchanges of a grain sorghum canopy, **Boundary Layer Meteorology**, v. 34, p. 317-331, 1986.

ANDRADE, V. M. S. **Fluxos de CO₂, vapor d'água e energia em um ecossistema de manguezal em Bragança-PA**. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

ARYA, S. **Pal**: introduction to micrometeorology. 2nd ed., New York: Academic Press, 2001.

BALDOCCHI, D. D.; HARLEY, P. C. Scaling carbon dioxide and water vapor exchange from leaf to canopy in a deciduous forest: model testing and application. **Plant Cell Environ.**, v. 18, p. 1157-1173, 1995.

BALDOCCHI, D. D. Measuring and modeling carbon dioxide and water vapor exchange over a temperate broad-leaved forest during the 1995 summer drought. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, p. 1108-1122, 1997.

BALDOCCHI, D. D. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. **Global Change Biology**, v. 9, p. 479-492, 2003.

BMF. Disponível em: <<http://www2.bmf.com.br>>.

BANN, C. Economic analysis of alternative mangrove management strategies in Cambodia, in PEARCE, D. W.; PEARCE, C.; PALMER, C. (Ed.). **Valuing the environment in developing countries – case studies**. UK: Edward Elgar Publishing Limited, 2002.

CDM. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int>>.

COGLIATTI-CARVALHO, L.; MATTOS-FONSECA, S. Quantificação da biomassa e do Carbono em *Rhizophora mangle*, *Avicennia shaueriana* e *Laguncularia racemosa* no

manguezal da laguna de Itaipu, Niterói-RJ. In: VI SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS – PROGRAMA E RESUMOS, ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, INPA, São José dos Campos, 2004.

DITTMAR, T.; HERTKORN, N.; KATTNER, G.; LARA, R. J. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 20, 2006.

DESJARDINS, R. L.; LEMON, E. R. Limitations of an eddy covariance technique for the determination of the carbon dioxide and sensible heat fluxes. **Boundary Layer Meteorology**, v. 5, p. 475-488, 1974.

FAO. Mangrove resources: status and trends 1980–2005. **FAO Forestry Paper**, v. 153, Roma, 2007.

FBDS/FINEP. **As mudanças climáticas, globais e as oportunidades para a indústria brasileira**. Workshop, 2004.

FBMC. **Mudanças climáticas: guia de informação**. Brasília-DF: Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002.

FBMC. **7ª Conferência das Partes**, Os acordos de Marrakesh. Brasília-DF, 2002a.

GUNAWARDENA, M.; ROWAN, J. S. Economic valuation of a mangrove ecosystem threatened by shrimp aquaculture in Sri Lanka. **Environmental Management**, v. 36, n. 4, Springer Science e Business Media Inc, Berlin, 2005.

HOUGHTON, R. A.; HOBBIE, J. E.; MELILLO, J. M.; MOORE, B.; PETERSON, B. J.; SHAVER, G. R.; WOODWELL, G. M. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere. **Ecological Monographs**, v. 53, p. 235-262, 1983.

IPCC – International Panel of Climate Changes. **Synthesis Report**. WMO/UNEP, 2001.

IPCC – International Panel of Climate Changes. **Synthesis Report**, WMO/UNEP, 2007.

IPCC. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>.

IPCC. Fourth Assessment Report 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4>>.

KIM, J.; VERMA, S. B. Carbon dioxide exchange in a temperate grassland ecosystem. **Boundary Layer Meteorology**, v. 52, p. 135-149, 1990.

KIMBAL, B. A.; MITCHEL, S. T. Tomato yields from CO₂ – enrichment in unventilated and conventionally ventilated greenhouses. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 104, n. 4, p. 515-520, 1979.

KOLSTAD, Ch. D. **Environmental economics**. Oxford University, New York, 2000.

LAFFOLEY, D.d'A.; GRIMSDITCH, G. (Ed.). **The management of natural coastal carbon sinks**. IUCN: Gland, Switzerland, 2009.

LARA R. J.; DITTMAR T. Nutrient dynamics in a mangrove creek (North Brazil) during the dry season. **Mangroves and Salt Marshes**, 3, p. 185-195, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1999.

LBA. Disponível em: <<http://lba.cptec.inpe.br>>.

MALHI, Y.; GRACE, J. Tropical forest and atmospheric carbon dioxide. **Tree**, v. 15, n. 8, 2000.

MATTOS-FONSECA, S. *et al.* Considerações sócio-ambientais para subsidiar a valoração dos danos do derramamento de petróleo em manguezais do Rio de Janeiro, Brasil. Coordenação Peter H. May. In: LABORATÓRIO EM DIAGNÓSTICO E GESTÃO PARTICIPATIVA DE ECOSSISTEMAS, CPDA/UFRRJ, Rio de Janeiro, 2000.

MATTOS-FONSECA, S. **O valor de existência de um ecossistema costeiro tropical, através da disposição ao trabalho voluntário**. 2001. Dissertação (Mestrado Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2001.

MATTOS-FONSECA, S.; DRUMMOND, J. A. Reflorestamento de manguezais e o valor do resgate para o sequestro de carbono atmosférico. **História, Ciências, Saúde**, v. 10, n. 3, p. 1071-1080, 2003.

MEADOWS D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J. **The limits to growth**. New York: WW Behrens, 1972.

MIDDELBURG, J. J.; NIEUWENHUIZE, J.; SLIM, F. J.; OHOWA, B. Sediment biogeochemistry in an East African mangrove forest (Gazi Bay, Kenya). **Biogeochemistry**, v. 34, p. 133-155, 1996.

MOLION, L. C. B. **Pode o homem mudar o clima da Terra?** Maceió: Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, artigo disponibilizado pelo autor, 2008.

OHTAKI, E. Application of an infrared carbon dioxide and humidity instrument to studies of turbulent transport. **Boundary Layer Meteorology**, v. 46, p. 53-67, 1989.

PACHECO, M. R. P. dos S.; ALBUQUERQUE, M. E. M. H. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Revista Estudos Avançados IEA/USP**, v. 4, n. 9, p. 204-20, 1990.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of natural resource use and the environment**. Baltimore: Johns Hopkins, 1990.

PETIT J. R. *et al.* Climate an atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core in Antarctica. **Nature**, v. 389, n. 3, June, p. 429-436, 1999.

RODRIGUES, H. J. B. Balanço de radiação, energia e fluxo de CO₂ em ecossistema de manguezal na Amazônia, 2006. Doutorado (Tese em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SALESKA *et al.* **Carbon in Amazon forests: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses**. Vol. 302 Science, 28 November 2003.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. M. Mangrove development along the coast of Pará and Amapá. In: III WORKSHOP ECOLAB, 1995 (resumos expandidos).

STONE, K.; BHAT, M.; BHATTA, R.; MATHEWS, A. Factors influencing community participation in mangroves restoration: A contingent valuation analysis. **Ocean e Coastal Management**, n. 51, Elsevier, The Netherlands, 2008.

SUN, J.; DESJARDINS, R.; MAHRT, L. *et al.* Transport of carbon dioxide, water vapor and ozone by turbulence and local circulations. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 25873-25885, 1998.

THE GUARDIAN. Disponível em: <<http://www.guardian.co.uk/environment/2008/may/13/carbonemissions>>.

UNFCCC. **Draft decision** -/CMP.1: land use, land-use change and forestry (FCCC/CP/2001/13/ Add.1).<http://unfccc.int/> (15 Nov. 2002).

UNFCCC. Disponível em: <<http://unfccc.int>>.

WEBB, E. K.; PEARMAN, G.; LEUNING, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, v. 106, p. 85-100, 1980.

WOFSY *et al.* Net exchange of CO₂ in a mid-latitude forest. **Science**, v. 260, n. 5.112, p. 1314-1317, May 1993.

WORLD MANGROVE ATLAS. SPALDING, M. D.; BLASCO, F.; FIELD, C. D. (Ed.). **The International Society for Mangrove Ecosystems**, Okinawa, Japan, 178p, 1997.