AVALIAÇÕES DIÁRIAS E SAZONAIS DAS CONCENTRAÇÕES DE CO_2 EM UM ECOSSISTEMA DE MANGUEZAL: DIMENSÕES MICROMETEOROLÓGICAS E ECONÔMICAS[1]

Sérgio de Mattos Fonseca sergio@aprec.org.br

CEI Centro de Ensino Interdisciplinar da APREC Ecossistemas Costeiros, Pesquisador

FAETEC Fundação de Apoio a Escola Técnica do Estado de Rio de Janeiro, Professor I. Gestão Ambiental

RESUMO

Este trabalho baseou-se em um projeto pioneiro que estudou os fluxos e concentrações de CO_2 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 CO_2. 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 CO_2 atmosférico. Dentre os resultados obtidos destacam-se as seguintes: a) As menores concentrações de CO_2 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 CO_2 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 CO_2, em ordem decrescente de importância foram: a temperatura do ar, radiação solar, parâmetro de estabilidade atmosférica, velocidade de fricção e velocidade do vento. d) As taxas de assimilação média de CO_2 no período diurno variaram de -7,37 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ em junho para -10,75 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ em setembro, resultando num valor médio durante o período experimental de -9,25 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. e) As taxas médias de respiração do ecossistema durante o período noturno variaram de: 3,47 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ em março para 6,31

---

[1] Este artigo foi escrito com base na Tese de Sérgio de Mattos Fonseca 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 em 26/02/2010. Orientação: Prof. Dr.José Maria Nogueira da Costa; Agradecimentos: Doutorando Paulo Henrique Lopes Gonçalves.

μmol.CO_2.m^{-2}.s^{-1} em junho, tendo apresentado um valor médio durante o período experimental de 4,47 **μ**mol.CO_2.m^{-2}.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 TC.ha^{-1}.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

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 CO_2 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 CO_2. The following results can be pointed out in this work: a) The lower CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 concentration was not significant statistically, but, it should be pointed out the effect of the level of water at the peak of the tidals on the magnitudes of CO_2 concentration. e) The mean assimilation rates of CO_2 during the diurnal period ranged from –7.37 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ (June) to –10.75 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ in September, with an overall average during the experimental work of –9.25 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$. f) The mean ecosystem respiration rates during the nocturnal periods ranged from 3.47 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ (March) to 6.31 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ (June), with an overall average of 4.47 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$, 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 CO_2 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.

1.0 - 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 conseqüência, 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 (CO_2). 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 CO_2. 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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.

2.0 - 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 *et al.* (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 *et al.* (1997)	1997	112	18.100.077
Aizpuru *et al.* (2000)	2000	112	17.075.600

1 ha = 0,01 km^2; e 1 km^2 = 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).[2]

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

[2] 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.

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^o 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 ^oC. 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.

O presente estudo analisa as variações diurnas e sazonais das concentrações de CO_2 em um ecossistema de manguezal em suas dimensões micrometeorológicas e econômicas, resumidas a seguir.

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 CO_2 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 organicos na rhizosfera, 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 fotossintéticamente ativa incidente, a temperatura, a precipitação, a humidade relativa do ar, o vento e alguns fatores edáficos.

2.1.1 - 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 CO_2 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.

2.1.2 - 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 CO_2 que aplicavam o método do gradiente de fluxo (técnica indireta que avalia densidades de fluxo de CO_2 como produto da difusividade turbulenta (K) e o gradiente vertical da concentração de CO_2, dc/dz), no lugar da técnica eddy covariance, devido a falta de anemômetros de resposta rápidas e sensores de CO_2.

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 CO_2 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 CO_2 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).

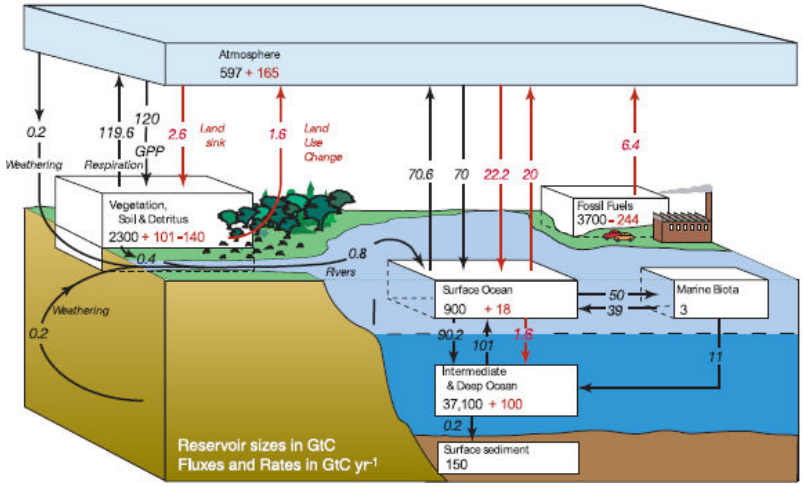
Estudos voltados para as estimativas das trocas de carbono entre florestas e a atmosfera não procuram identificar o destino do carbono absorvido pela floresta, por não ser este em geral o foco da pesquisa. Para os objetivos deste trabalho, é importante identificar que uma parte deste carbono extra é 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 CO_2, CH_4 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 controvertido, 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 CO_2 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 CO_2, através do agravamento de um fenômeno essencialmente natural: o efeito estufa. Estas preocupações têm razão de ser, haja vista, que o CO_2 é fator importante no aquecimento da atmosfera. Porém, relações de causa e efeito entre taxas de concentração de CO_2 na atmosfera e níveis de temperatura ainda são uma questão ainda sem resposta definitiva. Este crescente aumento de CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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 liquidas 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 CO_2; já no outono, com a morte dos vegetais e o ataque por bactérias, existe maior liberação de CO_2 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 CO_2 têm dado respostas positivas de aumento de produtividade vegetal. Alguns experimentos controlados constataram que, em média, ao se passar do valor da concentração de CO_2 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 CO_2 na atmosfera aumentou cerca de 100 PPM e supondo-se que é linear a relação entre aumento das concentrações de CO_2 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), consequentemente influenciando a concentração e a capacidade de absorção do CO_2, como observado e discutido adiante na floresta amazônica de mangue.

Assim, quais são e quais serão as consequências do aumento das concentrações de CO_2 na atmosfera sobre a biomassa terrestre ? Qual a ação do CO_2 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 CO_2 e seus efeitos sobre os diversos ecossistemas.

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 Pannel on Climate Change (IPCC), reúne pesquisadores de todo o planeta divulgando através de pesquisas e modelos de simulação climática evidencias que sugerem a influência das atividades econômicas humanas no clima global, associadas ao aumento da concentração de GEE, principalmente o CO_2, 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, consequentemente 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.

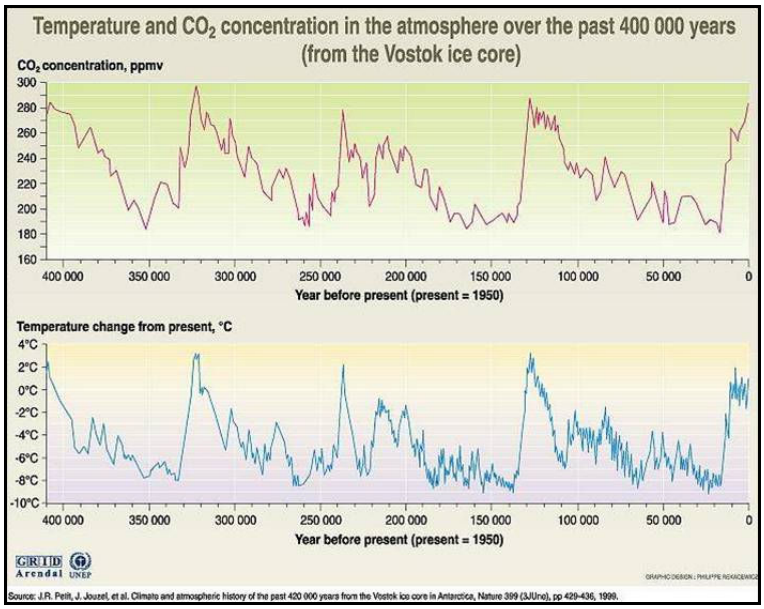
A eficiência para o armazenamento do carbono em florestas de mangue, assim como a valoração econômica – ecológica desses esforços, necessita de parametrização para modelagem de cenários futuros. Estudos sobre o ciclo de carbono florestal indicam que entre os sumidouros de carbono estariam as florestas 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

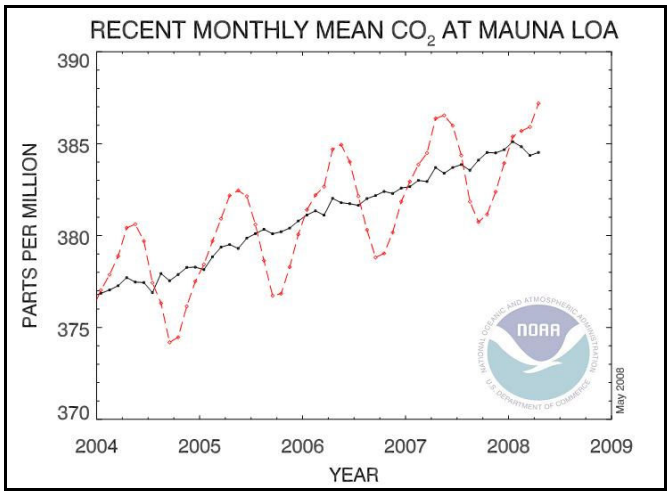
Pesquisas baseadas em testemunhos obtidos a partir da perfuração da camada de gelo armazenado nas calotas polares (testemunho de Vostok), estabelecem uma relação entre as variações da concentração do CO_2 e a temperatura planetária, conforme pode ser observado na Figura 2.



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 CO_2 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.

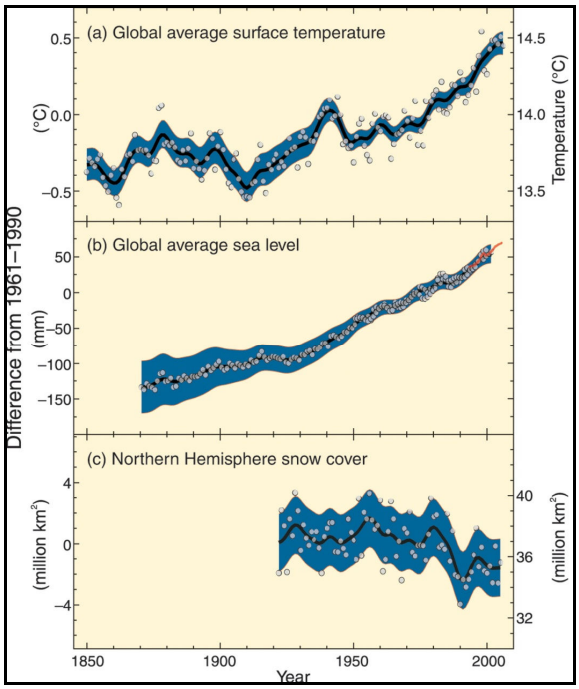


Fonte: The Guardian (2008). Disponível em:

<http://www.guardian.co.uk/environment/2008/may/13//carbonemissions>. Acesso em: 21 Jul. 2009.

Figura 3 – Concentrações do CO_2 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).

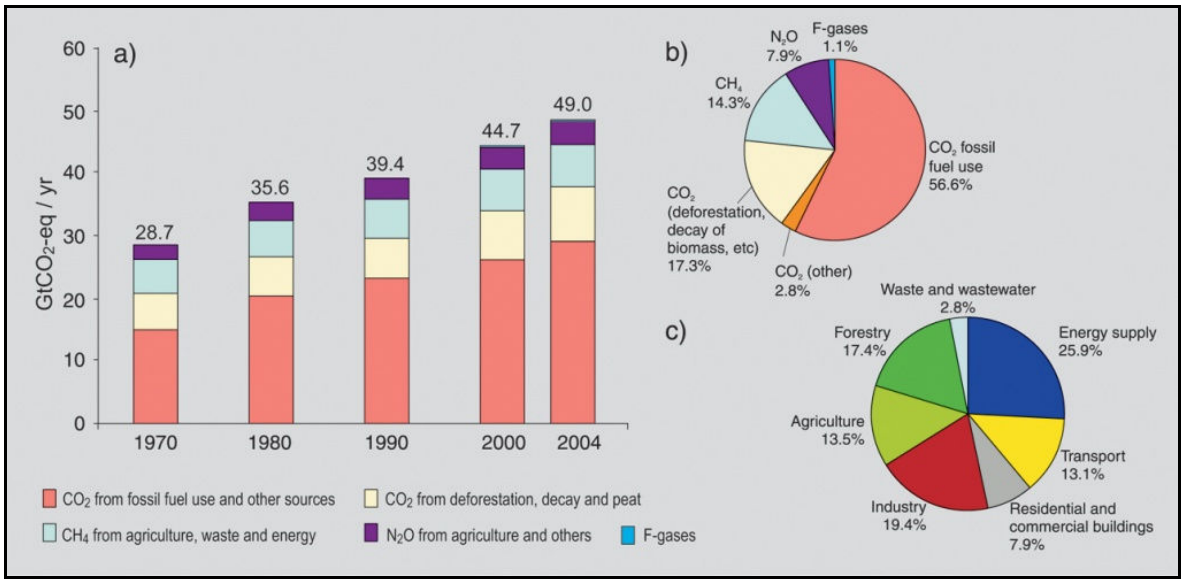
Figura 4 – Aumentos globais da temperatura, do nível do mar e a redução na cobertura da neve do hemisfério norte.

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

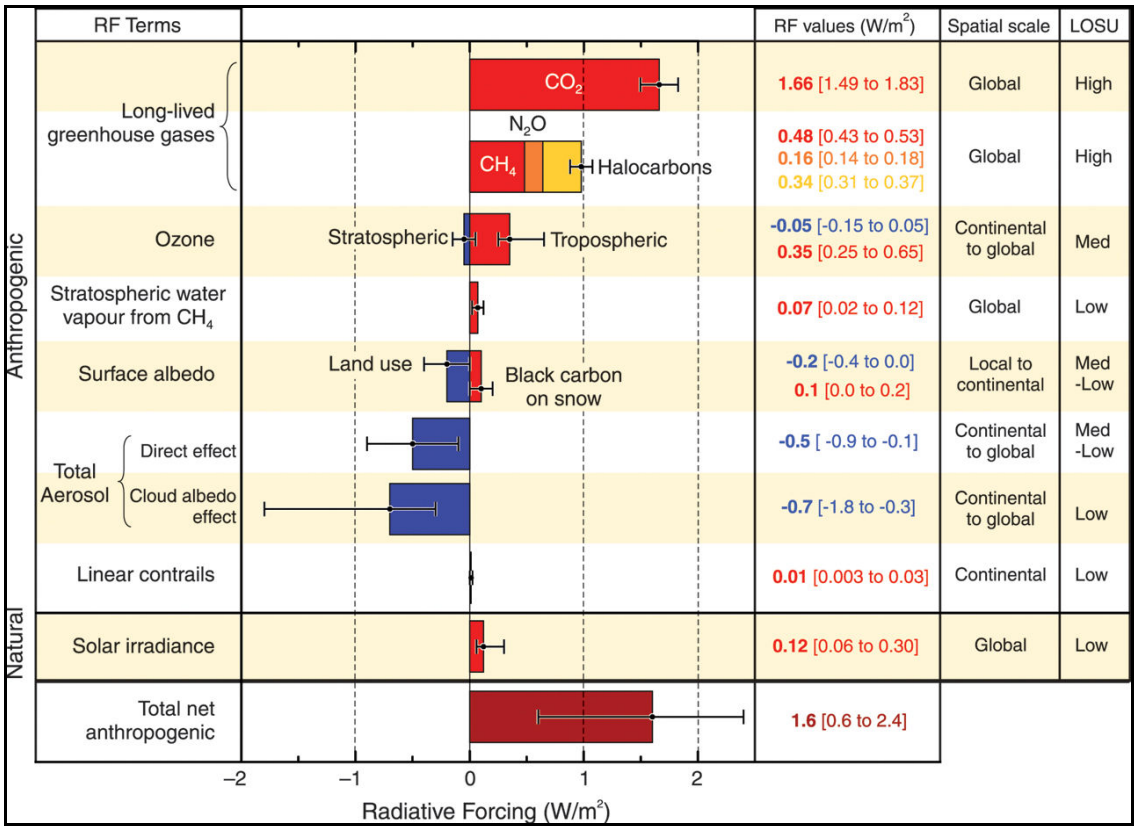
IPCC, esta é "... uma dramática evidência da relação entre o ciclo do carbono e o sistema climático" (IPCC AR4, Chapter 7, 7.6 Concluding Remarks, 2007). As principais fontes de emissões de CO_2 do final do século passado ao início do século XXI são destacadas na Figura 5.



Fonte: IPCC AR4 (2007).

Figura 5 – Principais Fontes de Emissões de CO_2.

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 CO_2 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 contrario 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 CO_2, 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2, 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 - 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 invísivel (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.

2.2.6 - 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 3 registra suas principais funções e usos.

Tabela 3 – Principais funções e usos do ecossistema de manguezais

Áreas	**Categoria de Recursos**	**Tipos**
Biogeoquímica	Funções e serviços	Retenção de sedimentos carreados 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 4.

Tabela 4 – As componentes de valor nos manguezais

Agregando um parâmetro ao método de avaliação contigente 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 5).

Tabela 5 – 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 Cambodja, 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 6).

Tabela 6 – Sumário dos benefícios líquidos (Koh Kapik, Cambodia)

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 7. 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 7 – 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).

2.2.7 - 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 vellosoi* 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, India, 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 micrometeo-rológico 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 peninsula com cerca de 110 km^2, 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 5).

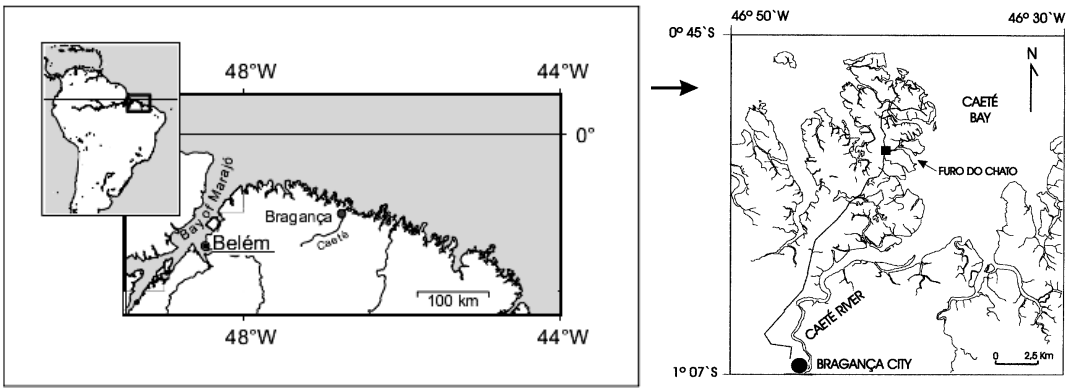


Figura 5 – Linha costeira do Pará, em destaque o município de Bragança.

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

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 6), para este estudo foram utilizados os dados coletados pelos equipamentos descritos a seguir.

Figura 6 – Acesso e equipamentos no alto da torre (junho de 2004, foto do autor).

As medições de concentrações de CO_2, vapor d'água e os fluxos de CO_2, 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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.

4.1 - Variação dos fluxos de CO_2 acima da copa da vegetação de manguezal.

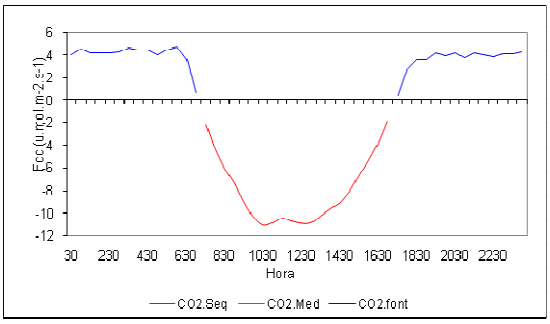
As análises feitas entre as variações da concentração de CO_2 acima da copa da vegetação de manguezal e as variáveis micrometeorológicas pertinentes, também podem ser utilizadas para as variações dos fluxos de CO_2, no período típico de assimilação de CO_2 pela vegetação, através do processo de fotossíntese, entre o nascer e o pôr-do-sol, e para o período noturno, em que só existe o processo de respiração do ecossistema (Figura 7).

O balanço médio horário de CO_2 em cada mês resultante da diferença entre a assimilação de CO_2 e as perdas respiratórias do ecossistema variou de -1,07 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ em junho (início do período seco) a – 6,39 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ em abril (mês típico de estação chuvosa). O balanço médio horário de CO_2 no período experimental foi de -4,78 $\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-}1$. 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 CO_2 discutidas no item anterior e dos respectivos fluxos de CO_2 num ecossistema de manguezal, fica bem evidenciado quando se pretende avaliar a quantificação das fontes e dos sumidouros de CO_2 atmosférico, especialmente no contexto atual de aquecimento global, em que se torna altamente relevante avaliar as possíveis consequências da tendência de aumento na concentração CO_2 atmosférico em função das variáveis biofísicas que controlam esses fluxos.

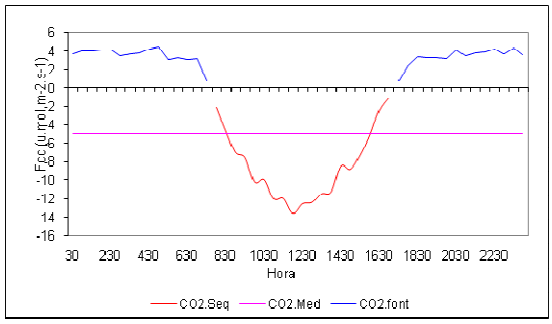
Mahli e Grace (2000) enfatizam a necessidade de ampliação de sítios experimentais para monitoramento das concentrações e dos fluxos de CO_2, especialmente nas regiões tropicais e alerta para um questionamento sobre os procedimentos experimentais na quantificação desses

fluxos, inclusive os métodos micrometeorológicos baseados na covariância dos vórtices turbulentos.

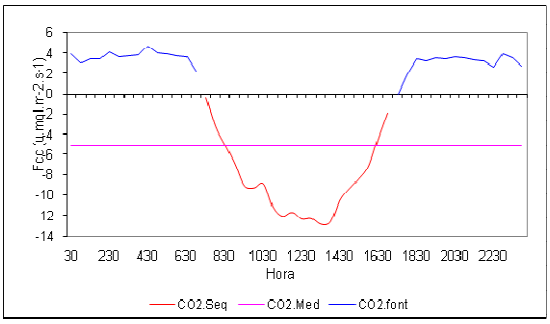
Jan



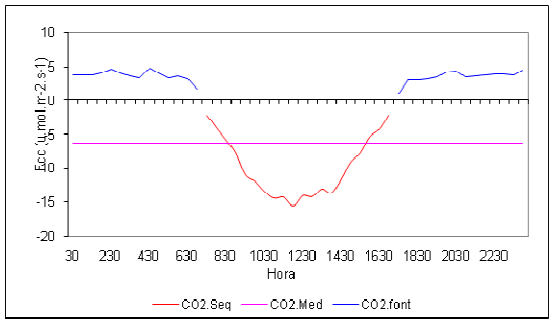
Fev



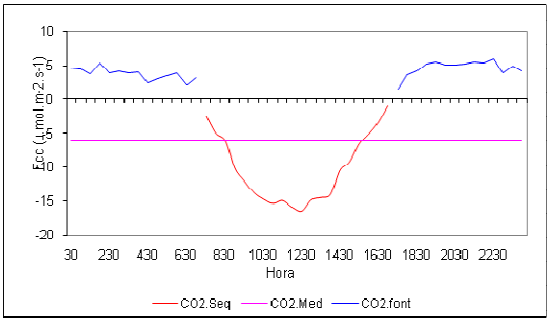
Mar



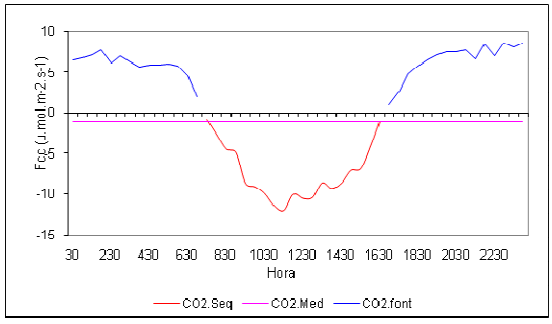
Abr



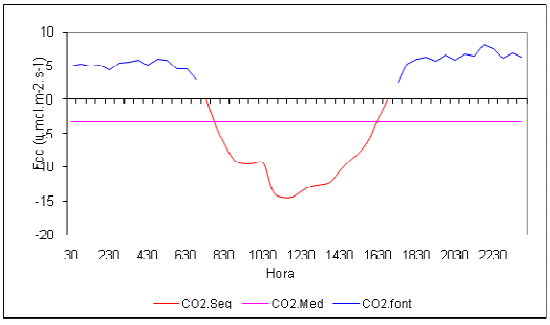
Mai



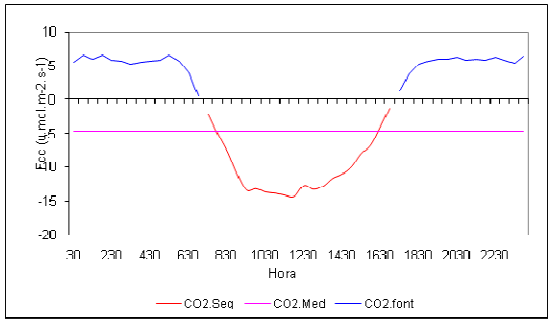
Jun



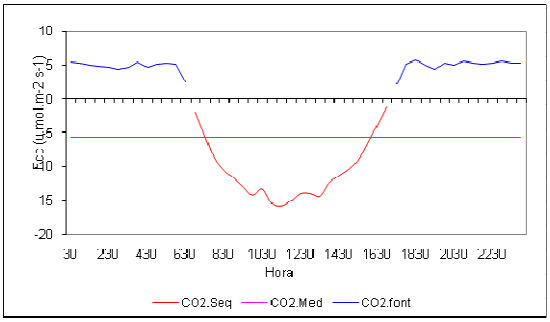
Jul



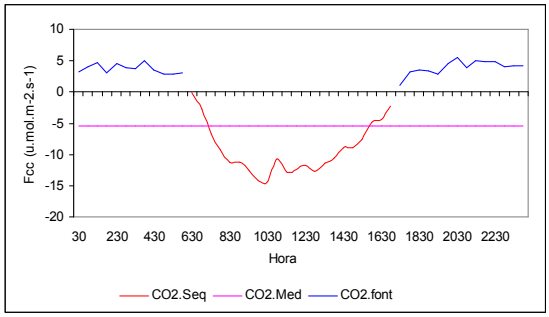
Ago



Set



Out



Nov

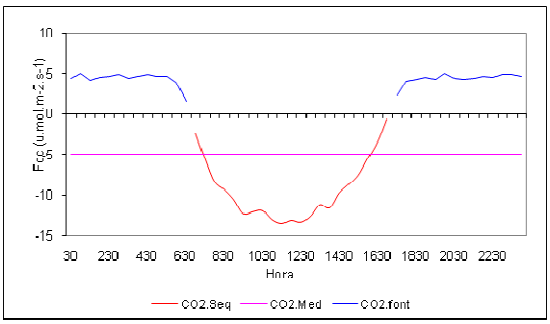


Figura 7 – Variação média horária dos fluxos de CO_2, acima da copa do manguezal, no período de janeiro a novembro.

4.2 - Variação sazonal da concentração de CO_2

A Figura 8 a seguir ilustra a variação sazonal da concentração de CO_2 relacionada com algumas variáveis pertinentes. Dentre as variáveis analisadas, o regime de precipitação é o que melhor explica a variação sazonal da concentração de CO_2. Existe uma relação aproximadamente inversa entre as concentrações mensais de CO_2 e a precipitação pluvial. Os valores máximos de concentração de CO_2 foram observados no período seco, enquanto as menores concentrações mensais de CO_2 ocorreram nos meses mais chuvosos. Esse resultado fica mais evidente ao se examinar a relação entre concentração de CO_2 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 CO_2. Todavia, no outro pico de nível de água observado em outubro, devido possivelmente às marés, ocorreram os valores máximos observados na concentração de CO_2. A influência da temperatura do ar na variação sazonal da concentração de CO_2 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 CO_2. A variação sazonal da radiação solar está bem relacionada com a

variação sazonal da concentração de CO_2, tanto com relação aos valores extremos como nos valores intermediários.

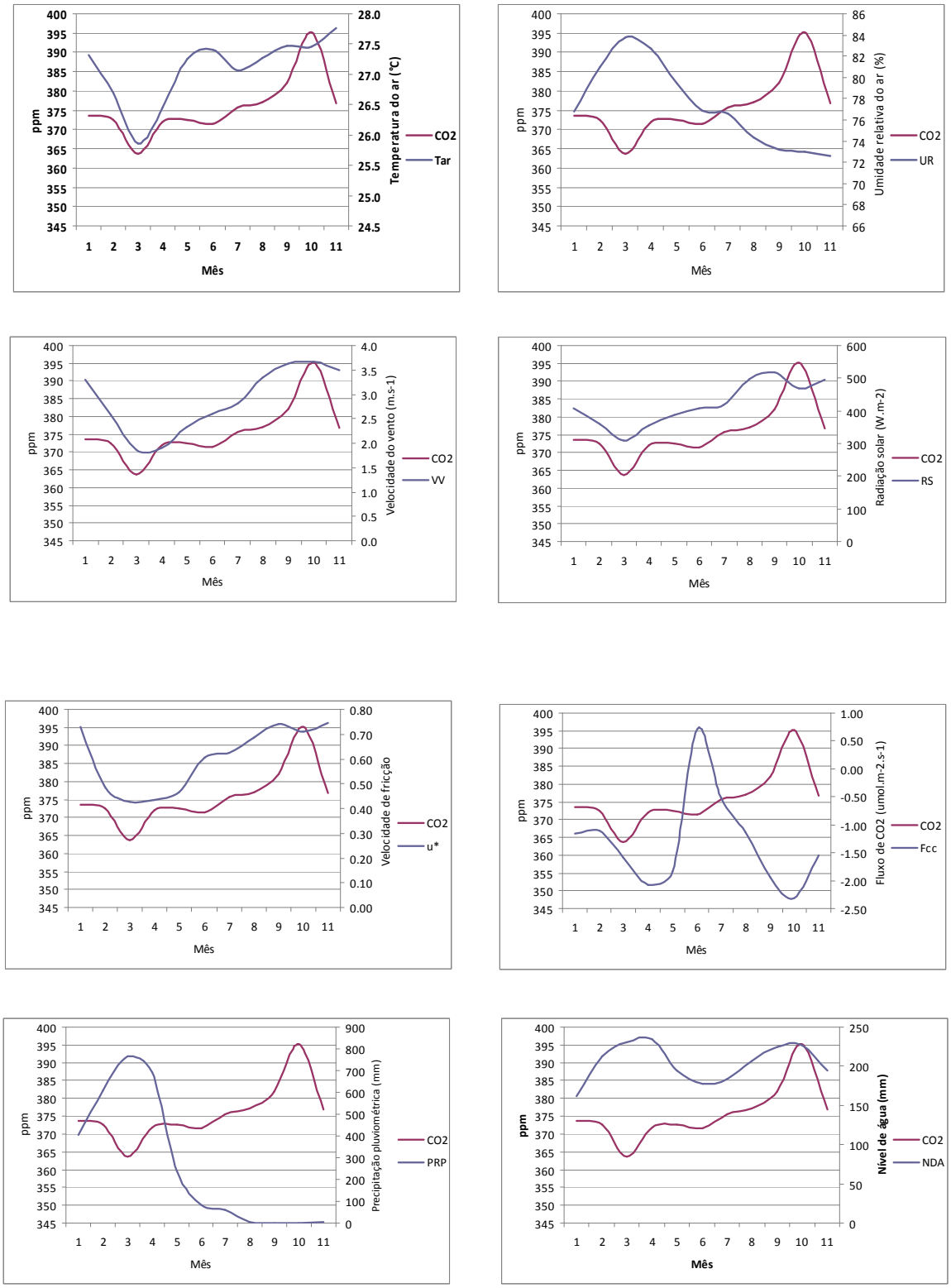


Figura 8 – Relação de variação sazonal entre a concentração de CO_2 acima da copa do manguezal e variáveis pertinentes.

Ao se comparar a média anual da concentração de CO_2 sobre o manguezal com o valor obtido em Mauna Loa (Figura 9 e 10), 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 CO_2 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 CO_2 atmosférico sobre as possíveis consequências do aumento de concentração de CO_2 no planeta.

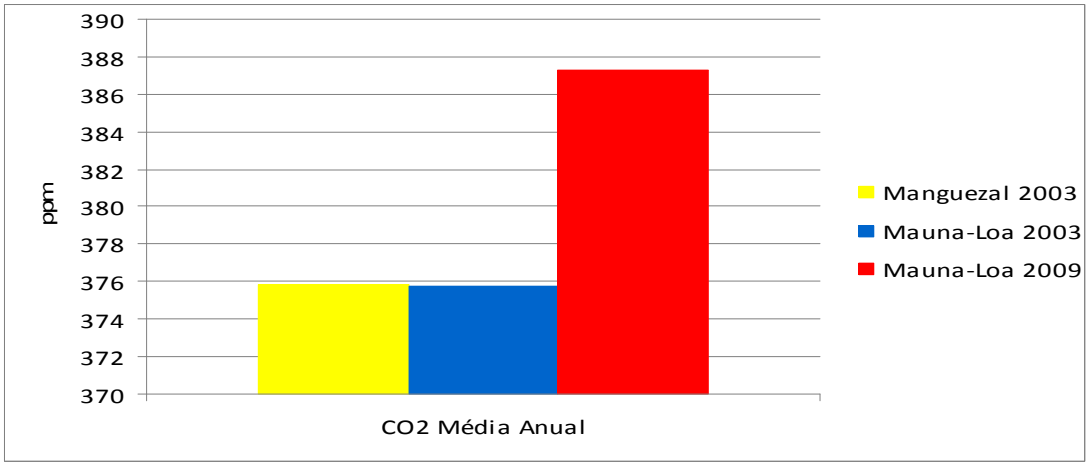


Figura 9 – Concentração de CO_2 média anual em Mauna-Loa e no sítio de manguezal.

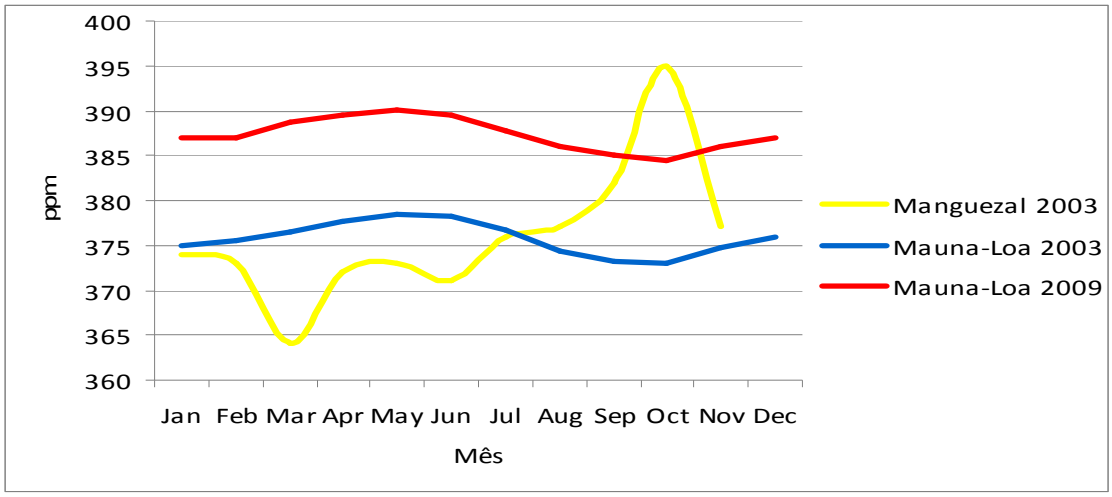


Figura 10 – Variação sazonal da concentração de CO_2 em Mauna-Loa e no sítio de manguezal.

4.4. Estimativa dos créditos de carbono

No contexto da contabilidade dos compromissos de reduções de emissões de CO_2, 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 8.

Tabela 8 – Balanço de Fcc e quadro resumo das conversões

Meses	**Dia**	**Noite**	**Balanco (Fcc µmol.m^{-2}.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
Maio	-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 8, para o cálculo da moeda-certificado do MDL, compreendem as conversões de unidades dos resultados medidos pela torre micrometeorológica (µmol.m^{-2}.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 µmol.m^{-2}.s^{-}

[1]) de μmol para grama, sabendo-se primeiramente a massa molar do CO_2, em seguida a conversão para gramas.m^{-2}.s^{-1}, efetua-se a conversão de segundos para um ano[3], metros quadrados para hectares chega-se ao valor obtido (60,76 TCO_{2eq}.ha^{-1}.ano^{-1}).

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 9 – Comparação florestas produtivas *versus* manguezais

Florestas Produtivas	**Manguezais**
Pinus spp ou *Eucalyptus spp*	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 CO_2. 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 CO_2 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 10 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.

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

Tabela 10 – 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 Emissóes 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 CO_2/ha/ano; e 3) neste exercício não estão computadas fugas (*leakeage*), 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 e o termo de estabilidade atmosférica, expresso pó Zol, apresentaram fortemente correlacionados, chegando a superar a influência da velocidade de vento e velocidade de fricção.

3) A influência das marés na variação diurno de CO_2, 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 CO_2.

4) A variação sazonal das concentrações de CO_2 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 CO_2 nos principais ecossistemas terrestres.

6) Os resultados obtidos no ecossistema de manguezal em Bragança (PA) evidenciam a sua importância no segmento de CO_2 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 $CaCO_3$ 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 organico 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 CO_2 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.

6 - 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. Eddiy 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 CO_2, 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 CO_2 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 CO_2 – 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 CO_2. **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 CO_2 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.