

Embrapa

Amazônia Oriental



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

NELSON ANTONIO CASTELLÓN RODRÍGUEZ

**VARIAÇÃO SAZONAL DO CARBONO EM UM ECOSISTEMA DE
MANGUEZAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL: FLORÍSTICA, CLIMA E
ECONOMIA**

BELÉM – PA

2019

NELSON ANTONIO CASTELLÓN RODRÍGUEZ

**VARIAÇÃO SAZONAL DO CARBONO EM UM ECOSISTEMA DE
MANGUEZAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL: FLORÍSTICA, CLIMA E
ECONOMIA**

Proposta de Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia
Linha de Pesquisa: Física do clima.

Orientadora: Prof^a.Dr^a.Maria Isabel Vitorino.

Coorientador: Dr. Mário Augusto Gonçalves Jardim

Belém – PA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C348v Castellón Rodríguez, Nelson Antonio.
Variação Sazonal do carbono em um ecossistema de mangue na Amazônia Oriental : florística, clima e economia / Nelson Antonio Castellón Rodríguez. — 2019.
123 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dra. Maria Isabel Vitorino
Coorientador(a): Prof. Dr. Mário Augusto Gonçalves Jardim
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Manguezal. 2. Carbono. 3. Socioeconômico. 4. Amazônia. I. Título.

CDD 577.69809811

NELSON ANTONIO CASTELLÓN RODRÍGUEZ

**VARIAÇÃO SAZONAL DO CARBONO EM UM ECOSISTEMA DE MANGUEZAL
NA AMAZÔNIA ORIENTAL: FLORÍSTICA, CLIMA E ECONOMIA.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente.

Data de aprovação: 25 / 02 / 2019


Banca Examinadora:



Prof. Dra. Maria Isabel Vitorino - Orientadora
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Alessandro Carioca de Araújo – Membro Interno
Doutor em Ciências Geoambientais
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia



Prof. Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - Membro Interno
Doutorado em Agronomia
Museu Paraense Emílio Goeldi



Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza - Membro Externo
Doutor em Agronomia
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr. Hudson Cleber Pereira da Silva - Membro Externo
Doutor em Biologia Ambiental
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Ao programa COIMBRA-OEA pela oportunidade na seleção no programa de doutorado.

À Universidade Federal do Pará pela oportunidade e os professores do programa de pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) pelos ensinamentos recebidos.

À CAPES pelo apoio financeiro nos quatro anos do programa de doutorado.

À professora Dra. Maria Isabel Vitorino pela orientação nesta pesquisa.

Ao professor Dr. Mário Augusto Jardim pela coorientação.

Ao professor Dr. José Francisco Berrêdo Reis da Silva pela valiosa colaboração na parte técnica e científica e o apoio logístico nos análises de laboratório, facilitação de equipamentos nos trabalhos de campo.

Ao professor José Paulo Sarmiento, pela condução e assistência das análises químicas e físicas do solo no laboratório do MPEG.

À professora Dra. Iracilda Sampaio pelo apoio incondicional nos quatro anos do meu programa de estudos na UFPA.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi- MPEG, especialmente à Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia pela oportunidade de fazer as análises de solo, assistência técnica, facilitação de meios e materiais.

Ao corpo administrativo do programa de pós-graduação em ciências ambientais PPGCA.

Aos professores da banca examinadora que com seus aportes fortaleceram o trabalho.

À professora Dra. Maria de Lourdes Ruivo pelas ideias e sugestões no capítulo das emissões de dióxido de carbono.

Ao Professor Dr. Adriano Marlisom Leão de Sousa pela contribuição nas atividades de campo, coleta de dados e facilitação de dados micrometeorológicos.

À Professora Márcia Pimentel pelas ideias na concepção da parte socioeconômica e na elaboração do questionário.

Ao professor Dr. Miguel Cifuentes pelas ideias aportadas na pesquisa.

À professora Dra. Vania Mello pelas ideias e facilitação de equipamentos para a amostragem e análises física do solo.

Ao Prof. Dr. Sérgio Brasão pelas ideias aportadas na pesquisa na amostragem e análises de resultados químicos de solo.

À Artur Gustavo Oliveira de Miranda pelo apoio na amostragem, facilitação de programas, revisão de artigos e ideias nos análises dos dados.

À Marcos Ronielly da Silva Santos, pela colaboração na revisão e análises dos dados.

Aos técnicos do laboratório da Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA.
Estudantes bolsistas do laboratório do Museu Paraense Emilio Goeldi- MPEG pela assistência nas análises de solos.

Aos colegas e amigos do programa da OEA, especialmente a turma 2015.

Aos colegas de pós-graduação turma 2015 que de alguma forma contribuíram para a realização deste estudo.

Aos colegas e amigos orientados pela professora Dra. Maria Isabel Vitorino que de alguma forma contribuíram para a realização deste estudo.

À Pedro Coimbra Braga e a família do senhor Geraldo pelo apoio e assistência no desenvolvimento dos trabalhos de campo.

Aos senhores Lucivaldo e Roseno pelo apoio nos trabalhos de campo.

Aos moradores da Vila de Cuiarana pelas informações facilitada nas entrevistas.

RESUMO

Esta pesquisa interdisciplinar objetiva-se em investigar as dimensões sazonais ambientais e econômicas da floresta de mangue, em relação com a captura, armazenamento e as emissões de carbono, a partir da variação espacial da florística, variáveis físico-químicas, biológicas e climáticas para o período de 2016 e 2017 na Amazônia Oriental. A área de estudo localiza-se no Sítio Experimental da UFRA/UFPA na Vila de Cuiarana, Salinópolis-PA. O método para o inventário florístico consistiu de transectos e parcelas, com medidas de DAP $\geq 2.5\text{cm}$, dados mensais de precipitação gerados pela técnica CMORPH e de maré do Fundeadouro de Salinópolis. O estoque de carbono orgânico, as emissões de CO₂ e as variáveis físico-químicas e biológicas, foram medidas através da amostragem sazonal em nove parcelas de 20x20m em três estratos de mangue. Os dados socioeconômicos se baseiam na combinação de fluxos de dióxido de carbono medidos por uma torre micrometeorológica instalada na área de estudo e entrevistas com os moradores da Vila de Cuiarana. Especialmente, os principais resultados mostram que para os três estratos de mangue observou-se a dominância da *Rhizophora mangle* (L), com os maiores valores dos índices fitossociológicos. A espécie *Avicennia germinans* (L.) Stearn apresentou maior correlação positiva (0,72), com o carbono orgânico, durante o período chuvoso. Os maiores estoques e emissões de carbono orgânico no solo ocorreram no mangue adulto no período chuvoso, quando comparados com os estratos jovem/anão e intermediário. No âmbito socioeconômico, os moradores identificaram nove bens do manguezal dos quais os principais são o consumo e a venda do caranguejo na estação menos chuvosa. No entanto, os serviços pela captura e armazenamento de carbono no solo apresentaram maior renda no período chuvoso. As rendas estimadas pelos bens e serviços do manguezal foram de R\$ 92.660,50 por hectare por ano.

Palavras-chave: Manguezal. Carbono. Socioeconômico. Amazônia.

ABSTRACT

This interdisciplinary research aims at investigating the seasonal and economic dimensions of the mangrove forest, in relation to the capture, storage and carbon emissions, from spatial variation of floristic, physical-chemical, biological and climatic variables for the period of 2016 and 2017 in the Eastern Amazon. The study area is located at the Experimental Site of UFRA / UFPA in the village of Cuiarana, Salinópolis-PA. The floristic inventory method consisted of transects and plots, with DBH measures ≥ 2.5 cm, monthly precipitation data generated by the CMORPH technique and the tide of the Salinópolis Fundeadouro. The stock of organic carbon, CO₂ emissions and physico-chemical and biological variables were measured through seasonal sampling in nine 20x20m plots in three mangrove strata. Socioeconomic data are based on the combination of carbon dioxide fluxes measured by a micrometeorological tower installed in the study area and interviews with residents of Cuiarana Village. Spatially, the main results show that for the three mangrove strata the dominance of *Rhizophora mangle* (L) was observed, with the highest values of phytosociological indices. The species *Avicennia germinans* (L.) Stearn presented a higher positive correlation (0.72) with organic carbon during the rainy season. The largest stocks and emissions of organic carbon in the soil occurred in the adult mangrove in the rainy season when compared to the young / dwarf and intermediate strata. In the socioeconomic context, the villagers identified nine mangrove properties of which the main ones are the consumption and the sale of the crab in the less rainy season. However, services for carbon capture and storage in the soil presented higher income in the rainy season. The incomes estimated by mangrove goods and services were R \$ 92,660.50 per hectare per year.

Keywords: Mangrove. Carbon. Socioeconomic. Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 2

- Figura 1- Área de estudo com (A) Mapa de localização do manguezal Brasil-Pará, e (B) Área do Sítio experimental no manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará..... 35
- Figura 2- Padrões estatísticos sazonais dos CP1 e CP2 do número de espécies e carbono orgânico no solo no período chuvoso (a,b) e menos chuvoso (c,d), com t-student al 95% em isolinhas pretas. (Pontos brancos representam as 9 parcelas e o vermelho representa a torre micrometeorológica). 39

Capítulo 3

- Figura 3- Área de estudo, com; Zona Costeira do Estado do Pará, Brasil em verde; Sítio experimental na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará em círculo vermelho e mapa de Brasil..... 45
- Figura 4- Variáveis ambientais e o carbono orgânico: A) Acumulado de precipitação mensal período 2016/2017 (pp), média climatológica; B) Altura mensal da maré período 2016/2017 com média geral; C) Estoques sazonais de carbono (tC/ha/ano) representados pelos meses maio (M) e novembro (N). 49
- Figura 5- Sazonalidade das variáveis físico-químicas e biológicas no período chuvoso 2016/2017 (P.MCH) e período chuvoso 2016/2017 (P.CH) com pH= Potencial Hidrogenionico/Acidez Ativa; eH= Potencial Redox; SA=Salinidade; U=Umidade; CMB/NBM= Carbono e Nitrogênio da Biomassa Microbiana; A=Areia; S= Silte, Ar= Argila. 51
- Figura 6- Representação espaço e temporal do carbono no solo através dos componentes principais (CP) como o 55% da variância total (A) e 30% da variância total (C); com variação temporal (BD) com significância de 95% pelo t-student. 53

Capítulo 4

- Figura 7- Área de estudo com (A) Mapa de localização do manguezal, Brasil e Pará; (B) Zona Costeira do Estado do Pará; (C) Sítio experimental, com parcelas em diferentes estratos de vegetação. 59

Figura 8- Emissões de carbono e variáveis físico-ambientais: A) Valores médios das emissões sazonais de dióxido de carbono por estrato de vegetação, com barra de erro de 95% de intervalo de confiança, B) Acumulado sazonal das precipitações, C) Anomalias mensais da precipitação, D) Altura sazonal da maré.....	63
Figura 9- Representação espacial e temporal das emissões de CO ₂ através dos componentes principais (CP) como o 76% da variância total (A, B) e 24% da variância total (C,D) com significância de 95% pelo t-student.	67

Capítulo 5

Figura 10- Área de estudo com (A) Mapa de localização do manguezal, Brasil, Pará, (B) Área experimental na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.	72
Figura 11- Benefícios econômicos do manguezal. A) Atividades econômicas dos moradores, B) Usos dos manguezais da Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.	75
Figura 12- Variação temporal da quantidade de extração dos bens do manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.....	76
Figura 13- Componentes Principais (CP) da importância mensal dos bens e serviços ecossistêmicos do manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.	77

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1- Países com as maiores áreas de manguezal do mundo..... 20

Tabela 2- Estimções de Valor Econômico Total (VET) em manguezais do mundo.... 26

Capítulo 2

Tabela 3- Parâmetros fitossociológicos nos três estratos de vegetação em um trecho de 0.36 ha de manguezal da Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil. 37

Tabela 4- Estoques de carbono nos três estratos de mangue (tC/ha/ano), no período chuvoso e menos chuvoso, com média e desvio padrão ($M \pm SD$), na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil..... 38

Tabela 5- Sazonalidade das correlações estatísticas das espécies do manguezal e o carbono orgânico em componentes principais (CP1 e CP2) em um trecho de 0.36 ha, Vila de Cuiarana Salinópolis, Pará, Brasil 40

Capítulo 3

Tabela 6- Estoques de carbono em toneladas por hectare no período chuvoso (CH) e menos chuvoso (M.CH) 2016/2017 com média e desvio padrão ($M + DP$) na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil. 50

Capítulo 4

Tabela 7- Emissões de CO₂ em três estratos de mangue na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil. 64

Tabela 8- Dinâmica dos indicadores de qualidade do solo nos três estratos de mangue na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil. 65

Capítulo 5

Tabela 9- Valor econômico da atividade extrativista no manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil. 78

Tabela 10- Balanço dos fluxos de CO₂ e os cálculos dos créditos de carbono no manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil. 79

Tabela 11-Valor Econômico do Crédito de Carbono pela captura de carbono atmosférico no manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.	79
Tabela 12- Valor Econômico do Crédito de Carbono pelo armazenamento de carbono no solo do manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.	80
Tabela 13-Valor Econômico Total no manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.	80

LISTA DE ABREVIATURAS

ACP: Análises de Componentes Principais
BaCl₂: Cloreto de bário
CBM: Carbono na Biomassa Microbiana
COS: Carbono Orgânico no Solo
CO₂: Dióxido de carbono
CP: Componentes Principais
CMMA: Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia
CER₃: Certificados de Emissões Reduzidas
CMORPH: The Climate Prediction Center morphing method
CH: Chuvoso
DAP: Diâmetro a altura do peito
Eh: Eletrocondutividade
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations
GEE: Gases de Efeito Estufa
Ha: Hectare
HCL: Ácido clorídrico
IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima.
IWP: Indo-West Pacific
INMET: Instituto Nacional de Meteorologia
K: Potássio
LULUCF: Land use and Change Forest
LBA: Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia
MPEG: do Museu Paraense Emilio Goeldi.
MDL: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
M.CH: Menos chuvoso
mm: Milímetros
NAMAs: Nationally Appropriate Mitigation Actions
NaOH: Hidróxido de sódio
NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
N: Nitrogênio
NBM: Nitrogênio na biomassa microbiana

P: Fósforo

PQ: Protocolo de Quioto

PH: Grado de acidez

PSE: Pagamento por Serviços Ecológicos

TFSA: Terra Fina Seca Ao Ar

UFRA: Universidade Federal Rural da Amazônia

UFPA: Universidade Federal do Pará

VET: Valor Econômico Total

WWF: World Wide Fund for Nature

LISTA DE SÍMBOLOS

Fcc: Fluxos de carbono

Fcc $\mu\text{mol.m.s}$: Fluxos de carbono por hectare por ano

Gt: Gigatoneladas

g/kg: gramas por quilograma

km²: Quilometro quadrado

Km: quilômetro

mg/100cm³: Miligramas em 100 centímetros cúbicos

Pg: Petagramas de carbono

TCO_{2e}: Toneladas de dióxido de carbono equivalente

TCO_{2e}/ha/ano: Toneladas de dióxido de carbono equivalente por hectare por ano

TCO₂ha/ano: Toneladas de dióxido de carbono por hectare por ano

tC/ha/ano: Toneladas de carbon por hectare por ano

$\mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$: micromol por metros por segundos

US\$/ha: Dólares por hectare

R\$/ha/ano: Reais por hectare por ano

SUMÁRIO

CAPITULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	18
1.1 Os manguezais ecossistemas chaves	19
1.2 Caracterização da floresta de mangue	20
1.3 Dimensão de carbono na interface solo - planta - atmosfera	23
1.4 Análise econômica dos bens e serviços ecossistêmicos do manguezal	25
1.5 Problema da pesquisa	28
1.6 Objetivos	29
1.6.1 Objetivo geral	29
1.6.2 Objetivos específicos	29
1.7 Hipóteses	30
1.8 Estrutura da tese	30
CAPITULO 2 COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E ESTRUTURAL ASSOCIADA AO CARBONO NO SOLO DO MANGUEZAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL	31
2.1 Introdução	33
2.2 Método e Métodos	34
2.3 Resultados e Discussão	36
2.3.1 Estrutura do Mangue.....	36
2.3.2 Estoques de carbono nos três estratos de mangue	37
2.3.3 Padrões sazonais das espécies e o carbono nos estratos de mangue.....	38
2.3.4 Correlações sazonais das espécies e o carbono orgânico	40
2.4 Conclusões	41
CAPITULO 3 ARMAZENAMENTO DE CARBONO ORGÂNICO EM DIFERENTES ESTRATOS DOS MANGUEZAIS DE MACROMARÉS DA AMAZÔNIA ORIENTAL BRASILEIRA	42
3.1 Introdução	44
3.2 Material e Métodos	45
3.3 Resultados e Discussões	48
3.3.1 Sazonalidade das variáveis ambientais e os estoques de carbono	48
3.3.2 Sazonalidade das variáveis físico-químicas e ambientais.....	50
3.3.3 Padrões sazonais do carbono orgânico e variáveis físico-químicas	52
3.4 Conclusões	55

CAPITULO 4 EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO NO SOLO EM DIFERENTES ESTRATOS DO MANGUE NA AMAZÔNIA ORIENTAL BRASILEIRA	56
4.1 Introdução	58
4.2 Material e Métodos	59
4.3 Resultados e Discussões	63
4.3.1 Emissões de dióxido de carbono no mangue	63
4.3.2 Indicadores de qualidade do solo e os estratos	65
4.3.3 Padrões sazonais das emissões de CO ₂ e qualidade do solo	66
4.4 Conclusões	68
CAPITULO 5 VALOR ECONÔMICO DO ECOSSISTEMA DE MANGUE NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	69
5.1 Introdução	71
5.2 Material e Métodos	72
5.3 Resultados e Discussões	75
5.3.1 Aspectos Socioeconômico da Comunidade	75
5.3.2 Benefícios diretos: bens do manguezal	76
5.3.3 Benefícios indiretos: captura e armazenamento do carbono	79
5.3.4 Valor Econômico Total do manguezal	80
5.3.5 Perspectivas dos moradores sobre o ecossistema manguezal	81
5.4 Conclusões	82
CAPITULO 6 DISCUSSÃO GERAL	83
6.1 Resultados chaves	83
6.2 Prioridades para pesquisas futuras	84
6.3 Considerações finais	84
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICES	102
APÊNDICE A- FLUXOS SAZONAIS DE DIÓXIDO DE CARBONO EM TRÊS ESTRATOS DE MANGUE	103
APÊNDICE B- DINÂMICA SAZONAL DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS NOS PERÍODOS CHUVOSO (P.CH) E MENOS CHUVOSO (P.M.CH) NOS ANOS 2016/2017	104
APÊNDICE C- SAZONALIDADE DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS E SUA RELAÇÃO COM AS EMISSÕES DO CO₂	105

APÊNDICE D- MEDIÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ A PARTIR DA METODOLOGIA RESPIRAÇÃO BASAL NO LABORATORIO.....	106
APÊNDICE E - QUESTIONÁRIO PARA ENTREVISTAS.....	107

CAPITULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças climáticas são causadas por forçantes naturais e antropogênicas e constituem-se como a principal ameaça na sobrevivência das espécies. Neste sentido é primordial o estudo dos gases do efeito estufa (GEE) que causam o aquecimento global, como é o caso do dióxido de carbono (CO₂) como estratégia na mitigação dos efeitos nos ecossistemas que se caracterizam pela captura e armazenamento de carbono no solo, além de ser provedores de bens e serviços ecossistêmicos importantes para o consumo e a geração de renda para a sociedade.

O aumento das emissões dos GEE na atmosfera causa o incremento do calor na atmosfera da Terra. Isto impacta no sistema climático global, embora no passado a Terra já tenha passado por este tipo de mudanças. A preocupação é que o processo de aquecimento esteja acontecendo muito mais rápido, causado pelo homem através dos desmatamentos, das queimadas, do uso de combustíveis fósseis e das mudanças no uso da terra, estas atividades proporcionam o aumento da concentração dos GEE como o CO₂.

Nos últimos 50 anos, o aquecimento do planeta está aumentando progressivamente e é decorrente do aumento das concentrações de gases de efeito estufa de origem antropogênica, com aumento médio da temperatura global dos continentes de 0,85°C em um período de 100 anos, estima-se que para final do século a temperatura global aumentará em torno de 2°C, conforme o previsto pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014; DOW; DOWNING, 2007).

Mesmo que os cenários ainda sejam incertos, existem possibilidades de enfrentar os efeitos negativos graves, porém, é crucial adotar medidas para reduzir as emissões de GEE e proporcionar sua captura na biomassa e no solo. Para tal, devem ser desenvolvidas estratégias e políticas no manejo da agricultura e as áreas florestadas, considerando-se que as emissões de CO₂ na atmosfera pelas mudanças do solo ocupam o segundo lugar no mundo com uma forte contribuição nas zonas tropicais, porém é importante propiciar a conservação do uso natural dos solos para a preservação do ecossistema com alta produtividade, como os manguezais.

Desde a década de 1970, os manguezais foram considerados ecossistemas altamente produtivos que contribuem na mitigação das mudanças climáticas, sua alta capacidade de captura e armazenamento, contribui na fixação de carbono na sua biomassa e nos sedimentos (ALONGI, 2002). Estes ecossistemas são ambientalmente importantes, mas também socioeconomicamente, por ser berçário para várias outras espécies de seres vivos,

que se encontram neste ambiente para sua reprodução, o que evidencia seu papel socioeconômico, além disso são conhecidos mundialmente pela produção de biomassa e ao estar marcado por inundações periódicas constituindo-se em um importante transformador de nutrientes em matéria orgânica.

Deste modo, faz-se necessário aprofundar o conhecimento sobre o ecossistema para avaliar seus benefícios ambientais e socioeconômicos, com abordagens de sua estrutura vegetal, estágios biológicos, sua capacidade de captura e fixação de dióxido de carbono e seus benefícios econômicos. Conhecer o valor dos manguezais, torna-se imprescindível na tomada de decisões para seu uso, principalmente na Amazônia. Este valor está na justificativa de que a floresta amazônica é a principal floresta tropical do mundo que possui um papel importante no contexto das mudanças climáticas, pelo armazenamento do gás carbônico em suas árvores e nos sedimentos, contribuindo para a manutenção das espécies de plantas e animais, e sustento das populações locais. Estima-se que 95% destas populações locais tenha o manguezal como habitat importante em alguma fase da vida que logo depois serão sustento para as populações locais (NANNI *et al.*, 2005).

1.1 Os manguezais ecossistemas chaves

Os manguezais são ecossistemas considerados produtivos e biologicamente importantes no mundo, pois fornecem direta e indiretamente bens e serviços ecossistêmicos únicos e essenciais para a sociedade humana e para os sistemas costeiros e marinhos adjacentes (GIRI *et al.*, 2011). Na América Tropical, na qualidade de zonas úmidas, são reconhecidas como um “ecossistema-chave”, cuja preservação é crítica para o funcionamento de ecossistemas maiores, além de sua diversidade biológica e diversidade funcional (DINERSTEIN *et al.*, 1995).

Estes ecossistemas apresentam uma grande capacidade de captura de CO₂, os estoques de carbono são maiores em comparação com outras florestas, onde uma grande parte deste reservatório é subterrânea, têm solos ricos em matéria orgânica e calcula-se que as reservas no solo são mais do que 50%, e por vezes até 90% da reserva total de carbono em um ecossistema de mangue (KAUFFMAN *et al.*, 2012; MÁÑEZ *et al.*, 2014).

O estoque médio de carbono nos ecossistemas de manguezais na Amazônia foi estimado em 956 tC/ha/ano, claramente superior quando comparado com outros ecossistemas como florestas tropicais com 241 tC/ha/ano, 408 tC/ha/ano para pântanos de turfa, 593 tC/ha/ano para pântanos salgados e 142,2 tC/ha/ano para ervas marinhas

(ALONGI, 2014). Outras pesquisas estimam que os manguezais armazenem 146,7 toneladas de carbono por hectare em sua vegetação acima do solo e 446,2 em matéria orgânica no solo (JONES *et al.*, 2014).

1.2 Caracterização da floresta de mangue

A fisionomia da comunidade vegetal do manguezal reflete a densidade, o porte e a distribuição das árvores das diversas espécies. Esse conjunto de características interdependentes determina a estrutura do bosque que corresponde ao nível de desenvolvimento do ecossistema. Segundo Spalding *et al.*, (1997), os manguezais representam 8% de toda a linha de costa do planeta e um quarto da linha de costa da zona tropical, perfazendo um total de 181.077 km² em 123 países (Tabela 1).

De acordo com Tomlinson (1986), os manguezais estão distribuídos em dois grupos fitogeográficos distintos, conforme a presença ou ausência de cada espécie vegetal neste ambiente. O primeiro grupo está restrito ao oceano Índico e oeste do Pacífico, apresentando um grande número de espécies, enquanto o segundo com um número bem menor de espécies, ocorre no oceano Atlântico e na costa oeste da América do Sul. A maior diversidade na região IWP (Indo-West Pacific) é acompanhada de uma maior especialização ecológica e uma grande zanação referente a salinidade e altura da maré (RICKLEFS; LATHAM, 1993).

Tabela 1- Países com as maiores áreas de manguezal do mundo

País	Área de manguezal (km ²)	%
Indonésia	42.550	23,5
Brasil	13.000	8,5
Austrália	11.500	6,4
Nigéria	10.515	5,8
Cuba	7.848	4,3
Papua Nova Guine	5.399	2,9
México	5.315	2,9

Fonte: Spalding *et al.* (1997).

O Brasil possui 13.000 km² (8,5% do total mundial) de manguezais com aproximadamente 1,4 milhões de hectares, 50% da área total de mangues das Américas e 9% dos manguezais do mundo, além de ter a segunda maior área de manguezal do mundo localizada na região do Sul (SPALDING *et al.*, 1997; KJERFVE; LACERDA, 1993).

O Brasil possui 13.000 km² (8,5% do total mundial) de manguezais com aproximadamente 1,4 milhões de hectares, aproximadamente, 50% da área total de mangues das Américas e 9% dos manguezais do mundo, além de ter a segunda maior área

de manguezal do mundo localizada na região do Sul (SPALDING *et al.*, 1997; KJERFVE; LACERDA, 1993).

Aproximadamente 80% dos 7.367 km de litoral, compreendendo dezesseis estados, desde a foz do Rio Oiapoque no Amapá, região norte do país. Somente os estados do Maranhão e Pará abrigam a maior extensão de manguezais do mundo e representam 57% do total da área de manguezais no país (SOUZA-FILHO, 2005). A maior área contínua de manguezais do planeta encontra-se na Amazônia Legal Brasileira, cuja área de ocorrência pode chegar a 8.900 km² (KJERFVE *et al.*, 2002).

Schaeffer-Novelli e Cintrón (1988), observaram que os manguezais brasileiros apresentam grande variabilidade estrutural, fato relacionado às condições ambientais particulares encontrados ao longo de uma grande extensão latitudinal. Schaeffer-Novelli *et al.* (1990), com base no relevo, tipo de solo, cobertura vegetal, temperatura média anual, evapotranspiração potencial, amplitude das marés médias de sizígia, dividiram o litoral brasileiro em oito segmentos fisiográficos, ficando os manguezais da costa norte amazônica brasileira nos segmentos de I a III, os quais, por estarem submetidos às condições ambientais regionais similares, teriam um desenvolvimento estrutural dentro de uma mesma faixa.

Considerando as características ambientais da Amazônia brasileira, é de se esperar que a maior variabilidade estrutural dos bosques de mangue ao longo da costa brasileira seja encontrada na região amazônica, nos estados do Amapá, Pará e Maranhão, onde um complexo hidrológico e o clima úmido têm favorecido o estabelecimento de florestas de mangue desenvolvidas (KAUFFMAN *et al.*, 2018; FERNANDES, 1997).

Na costa norte da Amazônia brasileira, as áreas de manguezal dos estados do Amapá, Pará e Maranhão perfazem entre 7.000 a 9.000 km² (HERZ, 1991; KJERFVE; LACERDA, 1993). Souza-Filho (2005) quantificou através de mapeamento as áreas de manguezal nessa região utilizando dados de sensores remotos para a costa nordeste do Pará e noroeste do Maranhão baseado no reconhecimento de campo realizado em áreas testes na planície costeira do Pará, especificamente em Mosqueiro (grande Belém), Salinópolis e Bragança, e Alcântara e São Luís no estado do Maranhão.

A partir deste mapeamento, as áreas de manguezais foram divididas em cinco setores, denominados Costa de Manguezais de Macromarés da Amazônia (CMMA), calculando uma área de 7.591 km². Esta zona, apresenta os manguezais mais exuberantes do país, devido à grande descarga de água doce fornecida pelos rios, ótimas condições oceanográficas e meteorológicas, como variações de maré entre 4 e 8 metros, o clima é

quente e úmido, com estação seca (julho a dezembro) e chuvosa (janeiro a maio) bem definidas, com precipitação média anual variando de 2.500 a 3.000 mm anuais, temperatura média em torno de 26°C e umidade entre 80 e 85% (KJERFVE; LACERDA, 1993; MORAES *et al.*, 2005, BERRÊDO *et al.*, 2008).

A zona Costeira Amazônica distribuída pela costa dos estados do Amapá, Pará e Maranhão correspondem a 70% dos manguezais do Brasil abrangendo uma área de 9.000 km². As condições ambientais nessa região propiciam um alto potencial de recuperação do sistema, o que certamente é um fator positivo na restauração e manutenção na costa amazônica brasileira (TSUJI, 2010; MENESES *et al.*, 2009).

Na costa nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, denominada CMMA estende-se da Baía de Marajó (Pará) até a Ponta de Tubarão (Maranhão), perfazendo cerca de 650 km de litoral em linha reta (SPALDING *et al.*, 1997). Esta área é caracterizada por um relevo baixo (0 a 80 m), ampla planície costeira de até 70 km de largura e extensa plataforma continental adjacente de, mais o menos 200 km de largura, sendo extremamente irregular endentada e recortada por vários estuários.

No Pará, as florestas de mangue em sua totalidade correspondem a 2.177 km², e uma linha de costa é de aproximadamente 300 km, constituindo-se em um segmento desde o braço norte do rio Amazonas até o município de Viseu, sob influência da região dos Lençóis Maranhenses (ALMEIDA *et al.*, 2002). O litoral paraense apresenta extensos manguezais, os quais se associam aos bosques do Amapá e Maranhão, perfazendo um dos maiores conjuntos de manguezais do mundo, contribuindo consideravelmente com a riqueza em recursos naturais (PROST *et al.*, 2001).

A vegetação arbórea que caracteriza os manguezais amazônicos é composta por três espécies de mangue vermelho (*Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* e *Rhizophora harrisonii*, duas espécies de siriba (*Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana*, pela tinteira (*Laguncularia racemosa*) e pelo mangue-de-botão (*Conocarpus erectus*). Árvores de 25 a 35 metros de altura são comuns e o diâmetro a altura do peito (DAP) pode chegar a 1 m em *Avicennia germinans* (SENNA; SARMENTO, 1996).

No nordeste do estado do Pará, constatou-se que a distribuição dos gêneros predominantes como a *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*, está diretamente influenciada por fatores como salinidade, inundação periódica e dinâmica costeira da região, onde a espécie *Laguncularia racemosa* geralmente aparece nas bordas e canais de clareiras (MENEZES *et al.*, 2008).

Carvalho (2016) relata em seu estudo que a composição florística e estrutural do manguezal de Cuiarana, Salinópolis, Pará, encontrou três espécies; *Rhizophora mangle* L. *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn e *Avicennia germinans* (L.) Stearn. Estas mesmas espécies foram reportadas por Fernandes (2018), em um estudo sobre a regeneração natural corroborando à predominância destas mesmas espécies neste ecossistema de mangue em Cuiarana. Um estudo feito por Matni (2006) proporcionou os mesmos resultados quando estudou o manguezal de Bragança, reporta as espécies, *Rhizophora mangle* L. *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn e *Avicennia germinans* (L.) Stearn, indicando a predominância destas espécies nestes manguezais.

Pesquisas de Menezes *et al.* (2008) destacam que a distribuição da *Rhizophora mangle* L. e a *Avicennia germinans* (L.) Stearn., está mais condicionada aos fatores de salinidade no substrato.

1.3 Dimensão de carbono na interface solo - planta - atmosfera

O oceano, a vegetação e o solo são importantes reservatórios para troca ativa de carbono com a atmosfera. De acordo com Santos (1999), o dióxido de carbono (CO₂) atmosférico é absorvido pelas plantas clorofiladas e bactérias quimiossintetizantes, e é utilizado na formação de compostos orgânicos. Parte do CO₂ volta diretamente para a atmosfera pela respiração das plantas.

Segundo Bonan (1991), a troca de CO₂ no sistema superfície-atmosfera relacionada a vegetação, representa o equilíbrio de vários processos durante o período de crescimento, o carbono é fixado na forma de biomassa aérea e radicular através de fotossíntese enquanto é perdido devido à manutenção, respiração e crescimento da planta.

A troca líquida de CO₂ no ecossistema é a diferença entre o CO₂ absorvido pela fotossíntese e o perdido pela respiração, combinando medidas do sistema de fluxos com medidas do perfil vertical da concentração de CO₂ (LEE, 1998; WOHLFAHRT, 2005).

Nas camadas mais baixas da atmosfera, a concentração de CO₂ está relacionada com os processos de fotossíntese, respiração de vegetação e de solo, porém é possível encontrar concentrações elevadas de CO₂ no início da manhã, devido à liberação produzida pela respiração do ecossistema durante a noite e baixos valores durante à tarde. Isto pode ser explicado pela atividade fotossintética, radiação solar, e turbulência dentro da camada de superfície (PÉREZ- LANDA *et al.*, 2007; SARRAT *et al.*, 2009).

Assim, a dinâmica do carbono em uma floresta compreende a captura do CO₂ (fotossíntese bruta), a liberação de carbono através da respiração autotrófica, a transferência de carbono para o solo na forma de liteira, do surgimento de compostos orgânicos na Rizosfera e a eventual liberação de carbono do solo de volta para a atmosfera pela respiração heterotrófica. Esses processos são controlados principalmente pelas condições ambientais locais, como a radiação fotossintética ativa, a temperatura, a precipitação, a umidade do ar, o vento e alguns fatores edáficos (MALHI; GRACE, 2000; MATTOS, 2010).

O armazenamento global de carbono nos três primeiros metros da superfície é de 2,344 petagramas de carbono (PgC), três vezes maior que a quantidade de carbono existente na atmosfera e cinco vezes maior que a quantidade de carbono armazenada na vegetação. O tempo de residência do carbono na atmosfera é menor do que na vegetação, são cinco vezes inferiores ao tempo de residência no solo. Assim, o aumento ou diminuição de pequenas quantidades de carbono no solo pode gerar grandes impactos na concentração de CO₂ na atmosfera (JOBAGY; JACKSON, 2000; SOTTA *et al.*, 2004).

O fluxo de CO₂ oriundo do solo constitui a maior fonte de carbono para atmosfera na maioria dos ecossistemas terrestres, podendo representar de 60 a 90% da respiração total desses ecossistemas (KUZNETSOV, 2006). Um estudo na Reserva do Jaru, Rondônia, sobre o balanço do carbono na floresta, indicou que 84% do CO₂ emitido pela floresta é originado no solo (MEIR *et al.*, 1996).

A respiração do solo é outro componente do balanço de CO₂ no sistema solo-atmosfera, que representa uma perda contínua de carbono pela respiração de raízes, atividades microbiológicas e oxidação do carbono, mecanismo que está associado às condições de temperatura e umidade do solo, portanto associado à variabilidade dos parâmetros atmosféricos (WOHLFAHRT, 2005).

O carbono na forma de gás carbônico atmosférico entra na biomassa terrestre via fotossíntese (produtividade primária bruta), e metade desse valor é logo liberado como CO₂ pela respiração das plantas. Este carbono é armazenado na biomassa vegetal ou produtividade primária líquida (Produtividade Primária Bruta – Respiração dos autótrofos) e entra no solo via senescência ou exsudação. Ao mesmo tempo, a respiração heterotrófica e o fogo retornam uma quantidade equivalente à produtividade primária líquida para a atmosfera fechando o ciclo (FERREIRA, 2013).

No solo, o carbono encontra-se dividido em duas frações: inorgânica e orgânica. O termo orgânico refere-se à substâncias que possuem em suas moléculas, principalmente,

elementos de carbono e hidrogênio. Esse carbono depende do processo de fotossíntese visto que a incorporação no solo acontece através do processo de decomposição da serapilheira depositada e posteriormente incorporada ao solo, a fração inorgânica se encontra principalmente no material de origem, como as rochas calcárias (MELLO, 2007).

O carbono orgânico no solo depende da entrada de material orgânico através da senescência de certos componentes da biomassa acima e abaixo do solo, queda das folhas, resíduos da exploração e animais mortos, com suas respectivas taxas de decomposição a queda da serapilheira, somente se estabiliza quando o povoamento atinge a maturidade (BALBINOT *et al.*, 2003).

O crescimento da floresta de mangue absorve CO₂ em tecidos de plantas. Embora parte deste CO₂ seja eventualmente devolvido à atmosfera através da decomposição e da respiração, a inundação regular das marés diminui a velocidade destes processos, prendendo carbono dentro da biomassa e material de origem vegetal ou turfa do solo da floresta. Estas florestas removem o CO₂ da atmosfera a uma taxa maior do que outros ecossistemas terrestres, por estar tipicamente inundados duas vezes por dia pelas marés altas, devido seus substratos estarem frequentemente em ambientes anaeróbicos que suprimem a decomposição no solo, das folhas e detritos lenhosos, reduzindo a liberação de CO₂ de volta para a atmosfera. Assim, os sistemas de manguezal são exclusivamente capazes de reter grandes quantidades de carbono absorvido (NELLEMAN *et al.*, 2009; PENDLETON *et al.*, 2012).

1.4 Análise econômica dos bens e serviços ecossistêmicos do manguezal

Os ecossistemas estão fornecendo à humanidade através de sua estrutura, bens como espécies comerciais, caça, pesca, pecuária, interesse agrícola e florestal, e através de seu funcionamento, serviços como: captura de CO₂ contribuindo para mitigar o efeito estufa, abastecimento de água, assimilação de resíduos, fertilidade do solo, polinização e turismo. Estes bens e serviços são vitais para a economia local, regional e global. No entanto, as mudanças produzidas pela alteração da função e estrutura dos ecossistemas, também estão afetando, portanto, o abastecimento de bens e serviços que fornecem para a sociedade (GOODLAND; DALY, 1996; FONSECA; DRUMMOND, 2003).

Os diversos ecossistemas provêm de uma gama de bens e serviços ambientais que geram benefícios diretos e indiretos para a sociedade que, em muitos casos, são providos gratuitamente. Embora muitos não tenham mercados que possam revelar seu valor, a

sociedade atribui valor a esses bens por contribuir para seu nível de bem-estar. Por esta razão, é importante saber como mudanças na quantidade desses bens e serviços afetam o nível de bem-estar das pessoas. Uma das abordagens mais empregadas na análise econômica ambiental é o Valor Econômico Total-VET (CASTRO *et al.*, 2010). Esta abordagem busca estrutura de classificação dos diferentes tipos de valores que as pessoas derivam dos bens e serviços ambientais direta ou indiretamente. O uso indireto é chamado de benefício funcional, tais como regulação do clima ou microclima, a proteção contra cheias e inundações, etc. Por outro lado, os valores de opções referem-se a valores de uso direto ou indireto no futuro como a captura de CO₂ que pode ser comercializada na forma de créditos de carbono através de diferentes mecanismos.

Estudos realizados por Wells *et al.* (2006), indicam que os valores econômicos anuais dos manguezais, estimados em custos dos produtos e serviços ecossistêmico que fornecem, estão entre US\$ 200.000 e 900.000 ha. No entanto, existem uma variedade de estudos referidos ao valor econômico destes ecossistemas como é indicado na tabela 2.

Tabela 2- Estimções de Valor Econômico Total (VET) em manguezais do mundo

Valores gerais	VET	Referências
VET médio de manguezais do mundo	US\$ 475- 1.675/ha/ano	Ronnback (1999)
Valor médio de manguezais da Austrália	US\$ 4.850 - 17.000/ha/ano	UNEP (2014) RAMSAR (2001)
VET serviços ecossistêmicos fornecidos por manguezais	US\$ 57.000/ha/ano	WWF (2015)
Tratamento de efluentes em Shayhang - China	US\$ 850/ha/ano	Tong <i>et al.</i> (2007)
Tratamento de efluentes, pesca e turismo (Estuário de Potengi-RN)	US\$ 27.500/ano	Souza e Silva (2011)
Produtos pesqueiros e florestais em parque nacional na (Índia)	US\$ 107/ano	UNEP (2014)
Pesca, turismo e valor de existência (Cananéia-SP)	US\$ 4.741/ano	Seehusen <i>et al.</i> (2011)

O Mercado de Créditos de Carbono teve como base principal o Protocolo de Quioto (PQ), sendo que a partir deste, muitos movimentos foram iniciados para que efetivamente acontecesse um mercado relacionado às emissões de GEE. No mês de abril do ano 2000

foi lançado o Fundo Protótipo de Carbono, que era uma parceria entre dezessete empresas e seis governos gerenciados pelo Banco Mundial. A proposta deste fundo era de congregar, de um lado o dinheiro dos participantes e, de outro, projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo- MDL (INSTITUTO BRASIL CARBONO, 2012).

O MDL oferece aos países industrializados a possibilidade de adquirir certificados ou redução de carbono nos países em desenvolvimento (IPCC, 2001). O PQ estabelece uma série de medidas de flexibilização de mecanismos, incluindo projetos de Implementação Conjunta (IC), o comércio de emissões entre países e do MDL. Neste sentido, os países em desenvolvimento têm uma oportunidade de negócio, em seguida, para efeitos do cumprimento das suas obrigações, os países industrializados que não são capazes de programar nos seus territórios.

Segundo Gayoso e Schlegel (2001), entre os projetos florestais considerados para efeitos de MDL estão: 1) Projetos de conservação de carbono; 2) projetos de captura de carbono. O MDL trabalha através de um mercado que funciona com certificados ou créditos podendo-se distinguir em dois cenários: Um definido por transações de carbono que procuram respeitar o quadro estabelecido pelo PQ e outro por iniciativas de comércio de emissões paralelas fora do protocolo, tais como as iniciativas voluntárias que restringem emissões e decisões federais e estaduais para mitigar os GEE, com os países que não fazem parte do Protocolo do Quioto.

O CO₂ como commodity é atualmente o gás que mais se destaca nestas transações. Cada tonelada deste gás é convertida em toneladas de carbono equivalente (tCO₂e) que é a medida padrão das negociações. Sendo assim, o mercado estabelece um preço para a tCO₂e de acordo com a oferta e a demanda das emissões no mercado internacional (NÁPRAVNÍK FILHO, 2006).

O conceito de crédito de carbono fundamentou-se em vários artigos da convenção sobre mudança do clima que entrou em vigor em 1994. O artigo 3.5 implementa um sistema econômico internacional favorável e aberto trazendo desenvolvimento econômico sustentável para todas as partes, o que permite que os países em desenvolvimento verifiquem seu potencial nas ações para redução das mudanças climáticas. O artigo 11.5 possibilita que países desenvolvidos implementem acordos multilaterais para prover recursos financeiros a países ainda em desenvolvimento (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2012).

O governo brasileiro estabeleceu medidas de ações de mitigação nacional conhecido como NAMAs através da política nacional sobre mudança do clima (Lei Federal n.

12.187/2009) e seu decreto regulamentador (7.390/2010). As primeiras diretrizes das NAMAs brasileiras dispõem sobre as metas voluntárias de redução de GEE para 2020, que seria de 36,1% a 38,9%, na redução das emissões atuais.

1.5 Problema da pesquisa

O "efeito estufa" é o fenômeno que faz com que parte da energia térmica emitida pela crosta terrestre seja mantida e refletida por certos gases que fazem parte da atmosfera, impedindo que se produza um arrefecimento progressivo da Terra. Sem a ação desses gases, a vida como a conhecemos não seria possível, o calor do planeta se dissiparia no espaço produzindo temperaturas extremamente baixas na Terra. Estes gases incluem o dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄) que, em sua maioria, são liberados pela indústria, agricultura, pecuária e queima de combustíveis fósseis (IPCC, 1996; IPCC, 2001; IPCC, 2007).

O CO₂ é particularmente relevante pelo efeito sobre o clima do planeta, pois é um gás que permanece ativo na atmosfera durante longos períodos de tempo. Pesquisas sobre o aquecimento global previram um possível aumento na temperatura média global para o século XXI, mais de quatro graus. A estação no Havaí obteve o registro de concentração mensal de CO₂ a atingir a marca dos 411.75 ppm (NOAA, 2019).

Os ecossistemas florestais podem absorver quantidades significativas de CO₂ e armazenar no solo que, quando não são perturbados, podem permanecer estáveis durante muitos anos, como a matéria orgânica contribuindo na mitigar a mudança climática. Os manguezais constituem-se como um ecossistema chave pela sua capacidade de captura e armazenamento de CO₂, no entanto são constantemente ameaçadas devido ao desmatamento e a degradação ambiental. Esta última está diretamente relacionada ao avanço do mercado imobiliário, o plantio de culturas, a expansão da carcinicultura e o extrativismo de fauna e flora, flúvio-marinhas e flúvio-lacustres. Suas taxas de declínio são comparáveis com as de outros importantes ecossistemas, podendo chegar a 2% de área total ao ano (BRANDÃO, 2011).

Tendo em vista que a maior parte dos manguezais é encontrada em países em desenvolvimento, os quais apresentam populações tradicionais que dependem quase que exclusivamente dos bens e serviços ecossistêmicos ali presentes, a degradação ambiental passa a ser uma questão não só de ordem ambiental, mas também socioeconômica e resulta em perdas econômicas anuais na ordem de US\$ 42 bilhões (WWF, 2015).

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo geral

Investigar as dimensões sazonais ambientais e econômicas da floresta de mangue, em relação a captura, armazenamento e as emissões de carbono, a partir da variação espacial florística, variáveis físico-químicas, biológicas e climáticas no manguezal da Amazônia Oriental.

1.6.2 Objetivos específicos

- a) Relacionar a composição e a estrutura das espécies arbóreas em diferentes estratos com a variabilidade sazonal do carbono orgânico em um trecho de manguezal na Amazônia Oriental;
- b) Investigar as variações sazonais do estoque de carbono orgânico relacionadas a variáveis físico-químicas e ambientais em diferentes estratos de um manguezal de macromarés da Zona Costeira da Amazônia;
- c) Pesquisar a variação espacial e temporal das emissões de CO₂ no solo em diferentes estratos de mangue e suas relações com os indicadores de qualidade do solo no período chuvoso e menos chuvoso no manguezal na Amazônia oriental;
- d) Estimar o valor econômico sazonal dos produtos e serviços ecossistêmicos a partir da pesquisa dos bens de uso e não uso fornecidos pelo manguezal na Amazônia Oriental.

1.7 Hipóteses

H1: Os teores de carbono orgânico nos manguezais são influenciados pelos estratos de vegetação e os tipos de espécies.

H2: Armazenamento do carbono orgânico no solo varia de acordo com o estrato arbóreo de mangue vesse influenciado pelas características físico-químicas e biológicas do solo e os fatores ambientais como a precipitação e a maré.

H3: As emissões de CO₂ nos solos e os estratos de mangue vesse influenciado pela sazonalidade, as características físico-químicas e biológica do solo e os fatores ambientais.

H4: O manguezal aporta importantes rendas econômicas para as populações locais a partir dos bens e os serviços ecossistêmicos como a captura e armazenamento de CO₂ convertendo-se um uma opção complementar.

1.8 Estrutura da tese

A tese está escrita em seis capítulos, dos quais quatro capítulos estão escritos na forma de artigos científicos. O primeiro capítulo, trata-se da contextualização, problema da pesquisa, os objetivos e as hipóteses da pesquisa. O segundo aborda a distribuição do carbono orgânico no solo de manguezal, em função da composição florística no ecossistema; o terceiro capítulo está baseado no papel dos solos do mangue como sumidouros do carbono; o quarto capítulo refere-se as medições das emissões de dióxido de carbono na dinâmica solo – atmosfera e seus fatores condicionantes; o quinto capítulo trata-se de uma análise socioeconômica da atividade extrativista do mangue pela população e o cálculo dos créditos de carbono a partir da capacidade de captura de CO₂ do manguezal. O capítulo seis é uma seção integradora abordando os impactos e implicações, prioridades para futuras pesquisas e considerações finais.

CAPITULO 2 COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E ESTRUTURAL ASSOCIADA AO CARBONO NO SOLO DO MANGUEZAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi relacionar a composição e a estrutura das espécies arbóreas em diferentes estratos com a variabilidade sazonal do carbono orgânico em um trecho de manguezal, localizado no Sítio Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia e a Universidade Federal do Pará em Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil. Foram delimitadas nove parcelas de 20 x 20 metros com três parcelas alocadas nos estratos jovem/ano, intermediário e adulto. Em cada parcela foram identificadas e mensuradas as espécies arbóreas com diâmetro de altura do peito $\geq 2,5$ cm, estimada a altura e medido os teores de carbono orgânico do solo a 20 cm de profundidade. Os resultados mostraram que *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn e *Avicennia germinans* (L.) Stearn., foram dominantes. Os parâmetros fitossociológicos foram representativos para *Rhizophora mangle* (L.), nos três estratos, a exceção da área basal que foi menor no estrato jovem/ano. O carbono orgânico no solo no estrato adulto registrou 31($\pm 7,4$) tC/ha/ano no período chuvoso e 22($\pm 5,6$) tC/ha/ano no período menos chuvoso. A correlação entre as espécies e o carbono orgânico mostrou que 73% ocorre no período chuvoso e 62% no período menos chuvoso com distribuição espacial do estrato adulto ao estrato jovem/ano. *Avicennia germinans* (L.) Stearn teve a maior correlação positiva com o carbono no solo de 0,72 no período chuvoso e 0,53 no período menos chuvoso.

Palavras chaves: Fitossociologia. Espécies. Mangue. Carbono orgânico.

ABSTRACT

The objective of this work was to relate the composition and structure of tree species in different strata with the seasonal variability of organic carbon in a mangrove stretch, located in the Experimental Site of the Federal Rural University of Amazonia and the Federal University of Pará in Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brazil. Nine plots of 20 x 20 meters were delineated with three plots allocated in the young, intermediate and adult strata. In each plot were identified and measured the tree species with diameter of breast height $\geq 2,5$ cm, estimated the height and measured the soil organic carbon contents at 20 cm depth. The results showed that *Rhizophora mangle* L. *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn and *Avicennia germinans* (L.) Stearn., Were dominant. The phytosociological parameters were representative for *Rhizophora mangle* (L)., In the three strata, except for the basal area that was lower in the young stratum. Soil organic carbon in the adult stratum recorded 31 (± 7.4) tC/ha/year in the rainy period and 22 (± 5.6) tC/ha/year in the less rainy period. The correlation between species and organic carbon showed that 73% occurs in the rainy season and 62% in the less rainy season with spatial distribution of the adult stratum to the young stratum. *Avicennia germinans* (L.) Stearn had the highest positive correlation with soil carbon of 0.72 in the rainy season and 0.53 in the least rainy season.

Keywords: Phytosociology. Species. Mangrove. Organic carbon.

2.1 Introdução

O manguezal acumula o carbono proveniente da biomassa aérea, no entanto, parte deste carbono é perdido em médio e curto prazo ocasionado pelo uso desordenado de ocupação da terra e por desmatamento, enquanto a longo prazo é armazenado no solo e eventualmente nas condições certas como turfa (ALONGI, 2012).

O solo do manguezal armazena entre 50% a 90% da reserva total de carbono, todavia o desmatamento atinge uma taxa anual de 1 a 3% pelo fato de que o manguezal geralmente tem no seu entorno áreas ocupadas com altas densidades populacionais e elevados índices de pobreza. Essa ocupação proporciona a mudança no uso do solo resultando em perda de carbono liberado para a atmosfera (LAL, 2003; KAUFFMAN; DONATO, 2012; ALONGI, 2012). Estima-se que 10% das emissões de carbono são decorrentes da perda de biomassa dos manguezais em várias partes do mundo (CHAUDHARI; PEJAVER, 2015; CHAIKAEW; CHAVANICH, 2017).

O manguezal se caracteriza pela capacidade de captura e armazenamento de carbono, por alta eficiência das espécies na conversão da energia solar em matéria orgânica, como receptor de matéria orgânica de outros ecossistemas, pelas inundações que diminuem as taxas de decomposição da matéria orgânica e, portanto, considerado um sumidouro de carbono eficiente em comparação com outros ecossistemas terrestres (PERERA; AMARASINGHE, 2014).

Apesar de ser um ecossistema com baixa diversidade de espécies arbóreas se enquadra como um dos ambientes mais produtivos do mundo em biomassa vegetal e animal no solo (REEF *et al.*, 2010). A relação das espécies vegetais com o carbono no solo é determinada pelo processo fisiológico específico de cada espécie na medida em que absorvem e armazenam o CO₂ com auxílio da fotossíntese e cuja biomassa se decompõe e parte dela é armazenada nos sedimentos (MCLEOD *et al.*, 2011; CHAUDHARI; PEJAVER, 2015). As espécies arbóreas de mangue se diferenciam estruturalmente, este fato determina a eficiência de cada espécie na captura de CO₂. Tal assertiva foi comprovada por Mattos-Fonseca (2005) e Naidoo *et al.* (2002), quando mostraram que *Avicennia germinans* (L.) Stearn., devido a tolerância às condições ambientais extremas foi superior no sequestro de carbono em comparação com *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn., e *Rhizophora mangle* L.

Desta forma foi testada a hipótese que os teores de carbono orgânico nos manguezais são influenciados pelos estratos de vegetação e os tipos de espécies. O objetivo desta

pesquisa foi relacionar a composição e a estrutura das espécies arbóreas em diferentes estratos com a variabilidade sazonal do carbono orgânico em um trecho de manguezal na Amazônia Oriental.

2.2 Método e Métodos

Área de estudo

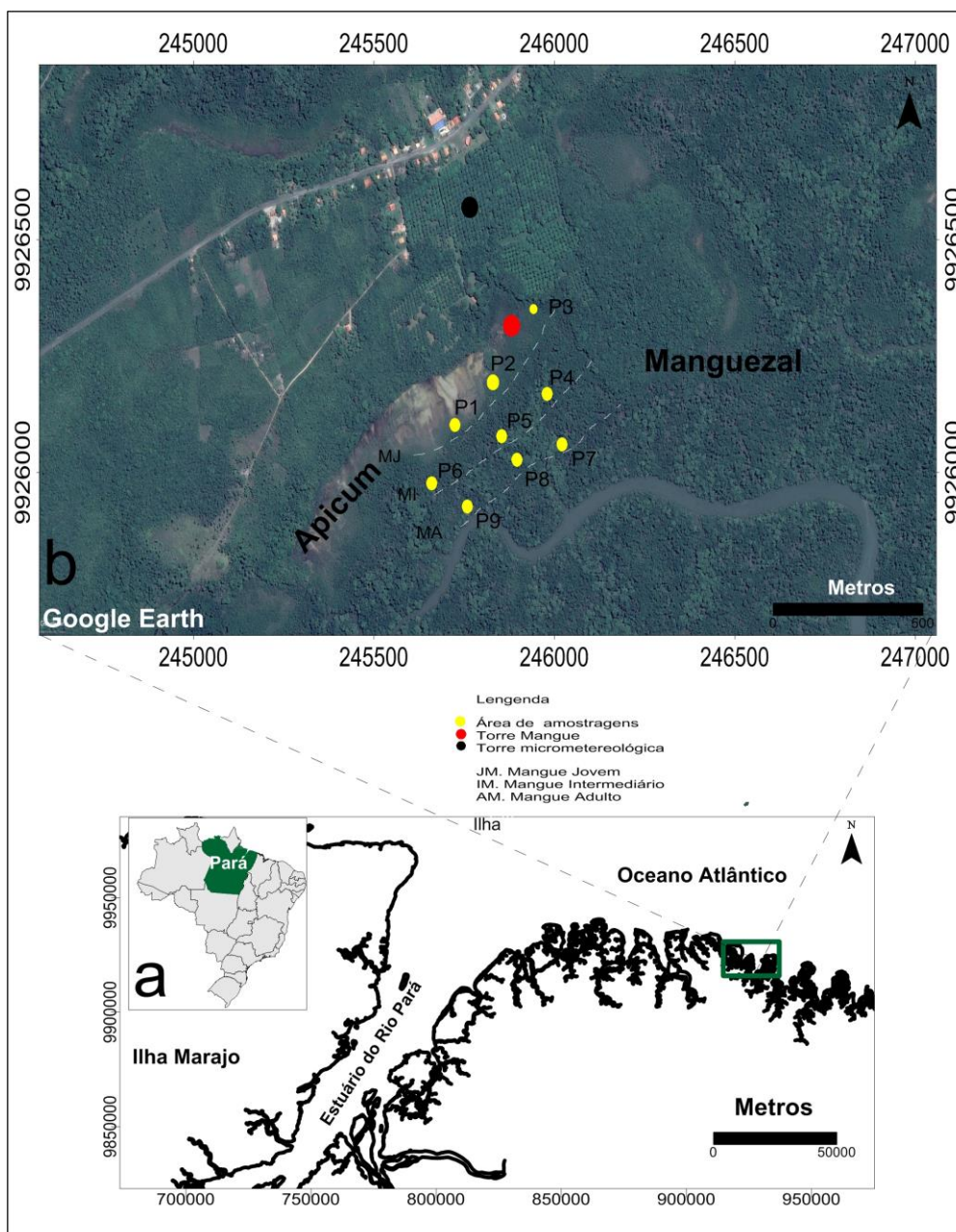
A pesquisa foi realizada em um trecho de manguezal localizado no Sítio Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e a Universidade Federal do Pará (UFPA) em Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil (0° 40'S e 47° 17'WE (Figura 1 A, B) na mesorregião do Nordeste Paraense e à microrregião Salgado. Segundo a classificação fisiográfica de Schaeffer-Novelli *et al.* (1990), está inserido na unidade III. O tipo climático predominante na região é o clima tropical com estação seca de Inverno (Aw) com reduzida amplitude térmica e pluviosidade anual de 2.100 mm (INMET, 2013).

O trecho de manguezal foi definido a uma distância de 700 metros de uma torre micrometeorológica instalada na área. Foram alocadas nove parcelas de 20 m x 20 m distanciadas entre si de 100 a 150 m e distribuídas proporcionalmente em três diferentes estratos: mangue jovem (P1, P2, P3 - com árvores de 1 a 3 metros), intermediário (P4, P5, P6 com árvores de 3,1 a 6 metros) e adulto (com árvores \geq 6 metros) e identificadas, mensuradas todas as espécies arbóreas com DAP \geq 2,5 cm (Diâmetro a Altura do Peito a 1,30 m do solo) e estimada a altura acima de 1 metro de acordo com Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986).

Com o auxílio do Programa Mata Nativa 2 foi calculada a frequência relativa, densidade relativa, área basal, dominância relativa, índice de valor de cobertura e índice de valor de importância para cada espécie desenvolvida pela Cientec da Universidade Federal de Viçosa.

Nas nove parcelas durante o período chuvoso (maio/2016) e o período seco (novembro/2016) com auxílio de um trado holandês foram coletadas amostras de solo equivalente a 1 kg na profundidade de 20 cm de profundidade. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de 2kg, identificadas com o número de parcela e número de amostra, depositadas em um caixa térmica com gelo e transportadas para o laboratório de solo da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia do Museu Paraense Emílio Goeldi.

Figura 1- Área de estudo com (A) Mapa de localização do manguezal Brasil-Pará, e (B) Área do Sítio experimental no manguezal na Vila de Cuairana, Salinópolis, Pará.



Os teores de carbono orgânico foram analisados em Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) onde foram pesadas 0,5 g do solo, adicionado 10,0 ml de Dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Após o resfriamento se adicionou 3 ml de ácido fosfórico- H_3PO_4 , (na amostra e no branco/padrão) e 50 ml de água destilada mais 10 gotas do indicador difenilamina a 1%. Finalmente foram tituladas com a solução de Sulfato Ferroso Amoniacal 1N até que a cor azul desapareça, cedendo lugar à verde. O teor de carbono orgânico é obtido pela expressão proposta por Silva (2003).

Obtenção do fator: $f_{\text{FeSO}_4} = \frac{10}{V}$ (1)

Onde:

10 é dicromato de potássio; V é o Sulfato Ferroso Amoniacal.

Obtenção de carbono orgânico:

$$\%C = \frac{(Lb-La) \times f_{\text{FeSO}_4} \times 0,3}{(\text{peso da amostra}) \times 0,77} (2)$$

Onde:

%C é porcentagem de carbono;

Lb é a quantidade de solução Sulfato Ferroso Amoniacal 1N usada na titulação do branco;

La é a quantidade de solução Sulfato Ferroso Amoniacal 1N usada na titulação da amostra;

f é o fator; 0,77 é uma constante. Este resultado multiplica-se por 10 para converter de % a g/kg de carbono orgânicos no solo (COS).

Analises de dados

Para determinar a relevância estatística dos teores de carbono no solo entre os estágios de vegetação foi feito uma análise da variância (ANOVA), para explicar a relação entre as espécies arbóreas e o COS foi aplicada a técnica estatística multivariada, conhecida como Componentes Principais (CP). Segundo Harper (1999), esta análise permite encontrar variáveis hipotéticas (componentes) que agregam o máximo possível da variância presente nos dados multivariados.

Para a seleção das CP foram consideradas a soma das primeiras componentes que representam 80% da variância total dos dados observados. Além disso, foi aplicado o teste t-Student para 95% de significância estatística, ou seja, foram plotadas correlações maiores do 0,7 e menores do que - 0,7 (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; EL-BATTAY, 2014).

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Estrutura do mangue

Para os três estratos de vegetação foram registradas 231 árvores, distribuídas em três espécies, *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn e *Avicennia germinans* (L.) Stearn (Tabela 3). No mangue jovem observou-se 103 árvores com 73% *Rhizophora mangle* L. No mangue intermediário e adulto coletou-se 64 indivíduos cada um com 48% e 51% da espécie *Rhizophora mangle* L. respectivamente. O mangue

jovem/anão e o intermediário com exceção da área basal obtiveram os maiores valores nos parâmetros fitossociológicos para *Rhizophora mangle* L. No mangue adulto apenas *Rhizophora mangle* L. se destacou com maior valor de área basal.

Tabela 3- Parâmetros fitossociológicos nos três estratos de vegetação em um trecho de 0.36 ha de manguezal da Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

	Mangue Jovem/anão			Mangue Intermediário			Mangue Adulto		
	RM	LR	AG	RM	LR	AG	RM	LR	AG
N	76,0	13,0	14,0	31,0	13,0	20,0	33,0	16,0	15,0
FR	38,9	33,3	38,9	38,9	33,3	38,9	33,3	33,3	33,3
DR	69,6	33,3	15,7	46,6	26,3	29,9	50,1	24,3	25,5
AB	0,2	0,4	0,5	1,5	1,7	1,9	2,1	1,4	1,0
DoR	77,6	20,2	8,9	57,1	25,4	34,8	44,1	32,5	23,5
IVC (%)	73,6	21,1	12,3	51,9	25,8	32,3	47,1	28,4	24,5
IVI (%)	62,0	25,2	21,2	49,1	28,3	34,5	42,5	30,0	27,5

RM= *Rhizophora mangle* L. LR= *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. AG= *Avicennia germinans* (L.) Stearn, Número de indivíduos (N), Área Basal (AB), Densidade Relativa (DR), Frequência Relativa (FR), Dominância Relativa (DoR), Índice de Valor de Cobertura (IVC%) e Índice de Valor de Importância (IVI%).

Um estudo de Carvalho e Jardim (2017), no mangue em Salinópolis identificaram as três espécies citadas com maiores nos parâmetros fitossociológicos acima daqueles registrados neste estudo. Bernini e Rezende (2010) e Cunha *et al.* (2006), avaliando o mangue do estuário do rio Itabapoana localizado entre os estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, e na Baía de Babitonga em Santa Catarina, sudeste e sul do Brasil concluíram que as diferenças entre os parâmetros estruturais são ocasionadas pela frequência de inundação que influenciam na composição dos substratos.

2.3.2 Estoques de carbono nos três estratos de Mangue

Na tabela 4 pode se observar que o mangue adulto armazena a maior quantidade de COS e o mangue jovem o menor. Isto se deve principalmente a influência da maré no mangue adulto e baixa disponibilidade de material vegetal, e as propriedades físicas do solo no mangue jovem. A precipitação modula a maior quantidade de COS no período chuvoso diminuindo os teores de salinidade que favorece a atividade microbiana. A análise da variância (ANOVA) demonstrou que não houve diferença estatística entre os estratos de vegetação e os teores de carbono no solo ($p=0,1927$), este resultado poderia estar relacionado com o tempo de amostragens indicando que 6 meses é pouco tempo para o acúmulo de carbono no solo.

Tabela 4- Estoques de carbono nos três estratos de mangue (tC/ha/ano), no período chuvoso e menos chuvoso, com média e desvio padrão (M±SD), na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

Estágios	Período Chuvoso	Período menos chuvoso
Mangue Jovem/anão (M ± SD)	20,0±10.5	7±0,5
Mangue Intermediário (M ± SD)	27,4±4.1	20±2,6
Mangue adulto (M ± SD)	32,0±3,9	23.6±1,3
Média	26.4	16.8

A variação na estrutura do mangue tem sido correlacionada com a variação das características físico-químicas do solo e particularmente com a salinidade como foi demonstrado por Soto e Jiménez (1982), corroborando com a distribuição das espécies e o gradiente salino. A taxa de sedimentação, a salinidade, a entrada de nutrientes, a erosão de solo e a qualidade do solo influenciam no desenvolvimento e estrutura dos manguezais (LOVELOCK *et al.*, 2005; REEF *et al.*, 2010; PERERA; AMARASINGHE, 2013).

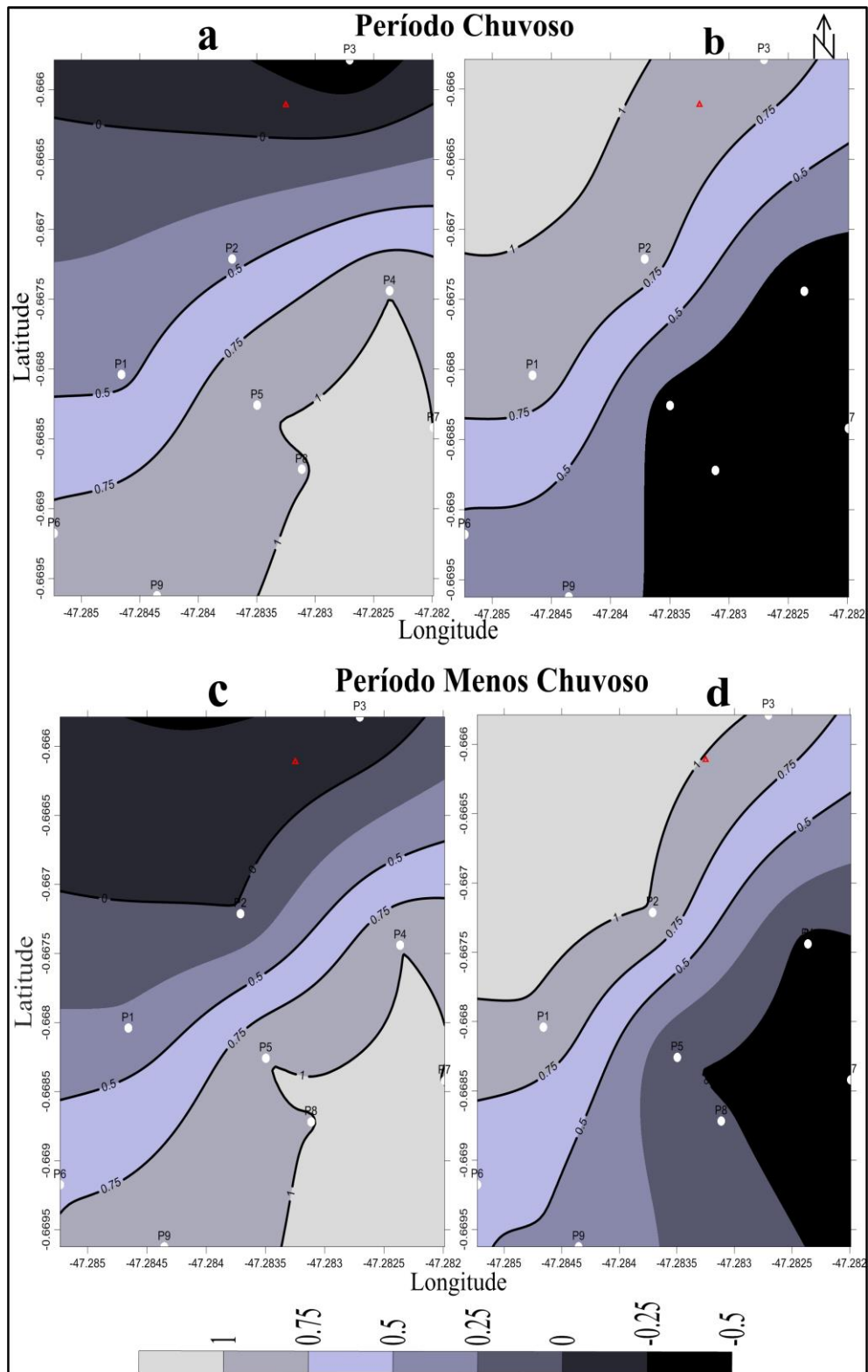
O acúmulo de carbono no solo de um manguezal jovem na China mostrou-se relativamente baixo (1,14%), mas aumentou para 1,52% ao longo de seis anos de acordo com a idade dos indivíduos (LUNSTRUM; CHEN, 2014).

O solo arenoso presente no mangue jovem possui maior aeração, menor quantidade de matéria orgânica e menor umidade, esses fatores dificultam a formação de biomassa (MARTINS; MATTHES, 1978). A menor quantidade de folhas e o baixo nível de biomassa no mangue jovem foram registradas na Província de Camau no Vietnã em relação a queda de serapilheira em outros estratos e diferentes idades do manguezal (NGA *et al.*, 2005). Estudos de Koch *et al.* (2011), enfatizam a importância das folhas como o principal componente da serapilheira da floresta dos manguezais responsável pela fonte de carbono no solo.

2.3.3 Padrões sazonais das espécies e o carbono nos estratos de mangue

Na figura 2, observa-se os padrões sazonais do número de espécies em diferentes estratos de vegetação e o carbono orgânico no solo, predominantes na direção noroeste-sudeste, com mangue adulto a sudeste e a terra firme ao noroeste. As CP1 e CP2 (Figura 2 a,b) explicam 73% e 24%, totalizando 97% da variância total dos dados para o período chuvoso e menos chuvoso. Estas componentes representam maiores correlações positivas no mangue adulto e no mangue jovem/anão, e terra firme (Figura 2b), respectivamente, o que indica que os maiores teores de carbono estão no mangue adulto.

Figura 2- Padrões estatísticos sazonais dos CP1 e CP2 do número de espécies e carbono orgânico no solo no período chuvoso (a,b) e menos chuvoso (c,d), com t-student al 95% em isolinhas pretas. (Pontos brancos representam as 9 parcelas e o vermelho representa a torre micrometeorológica).



Sazonalmente a maior variância total dos dados utilizados para a distribuição das espécies e o carbono no solo apresentam as maiores correlações no mangue adulto e intermediário, estratos localizados perto do canal da maré, e menores na floresta jovem que está próxima da terra firme. O estado de oxidação do solo mantém estreita relação com os fatores com a frequência e intensidade das inundações pela maré, gerando maior quantidade de matéria orgânica (REEF *et al.*, 2010). As diferenças no carbono orgânico nos estratos do mangue podem estar associadas a complexidade estrutural, composição e localização da zona intertidal (ADAME *et al.*, 2015; KAUFFMAN *et al.*, 2014; RAHMAN *et al.*, 2015).

2.3.4 Correlações sazonais das espécies e o carbono orgânico

As correlações entre as espécies e o carbono no solo no período chuvoso e menos chuvoso mostram variações significativas (Tabela 5). Na CP1 e CP2 do período chuvoso, as maiores correlações foram da *Avicennia germinans* (L.) Stearn e *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn., respectivamente. Na segunda componente, *Rhizophora mangle* L. teve a maior correlação com os valores próximos a *Avicennia germinans* (L.) Stearn. Na CP1 e CP2 do período menos chuvoso, a maiores correlações positiva foi para *Avicennia germinans* e a correlação negativa foi para *Rhizophora mangle* L. e *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn.

Tabela 5- Sazonalidade das correlações estatísticas das espécies do manguezal e o carbono orgânico em componentes principais (CP1 e CP2) em um trecho de 0.36 ha, Vila de Cuirana Salinópolis, Pará, Brasil

Especies	Período chuvoso		Período menos chuvoso	
	CP1(73%)	CP2(24%)	CP1(62%)	CP2(34%)
<i>Rhizophora mangle</i> L.	- 0,61	0,47	- 0,78	0,08
<i>Avicennia germinans</i> (L.). Stearn.	0,72	0,42	0,53	0,70
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn.	0,30	- 0,79	0,46	- 0,75

Segundo Perobelli (2011), em um trecho de manguezal em Cananéia, São Paulo foi encontrado o maior teor de carbono orgânico em áreas com dominância de espécies de *Avicennia germinans* (L.) Stearn. Fato também comprovado por Lacerda *et al.* (1995), em solos de manguezal no sudeste do Brasil quando encontrou o maior teor de carbono solo em áreas com *Avicennia germinans* (L.) Stearn em relação as áreas com *Rhizophora mangle* L. Os autores concluíram que solos com vegetação de *Avicennia germinans* (L.) Stearn se caracterizam pela presença de matéria orgânica mais degradável favorecendo a atividade microbiana e como consequência a melhor ciclagem de nutrientes. Para Bernini

et al. (2014), a produção de folhas, flores, frutos e liteira total no manguezal do Rio Itabapoana no Brasil demonstraram a superioridade de *Avicennia germinans* (L.) Stearn quando comparada com *Rhizophora mangle* L. e *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. *Avicennia germinans* (L.) Stearn as espécies que se decompueram mais rapidamente, este fato pode estar associado às mais diversas variáveis, tais como: diferentes concentrações de tanino, lignina e nitrogênio, favorecendo o grau de palatabilidade da folha (TWILLEY *et al.*,1997).

2.4 Conclusões

A floresta do mangue de Cuiarana, do ponto de vista estrutural, é semelhante à floresta úmida amazônica – a densidade média de árvores é em torno de 370 indivíduos por hectare, com 3 famílias; cerca de 60% das famílias botânicas estão representadas por uma única espécie que é *Rhizophora mangle* L., e 20 a 30% das espécies com um único indivíduo. Por outro lado, observa-se uma grande concentração de indivíduos em algumas poucas famílias e espécies que seriam dominantes.

A distribuição espacial sugere que a relação espécie-carbono no solo é influenciada pelas condições ambientais que favorecem ao desenvolvimento estrutural das espécies e no acúmulo de biomassa aérea e encima no solo. *Avicennia germinans* (L.) Stearn foi a responsável pela presença de carbono no solo pois registrou a maior correlação positivas de 0,72 no período chuvoso e 0,53 no período menos chuvoso.

A espécie *Avicennia germinans* (L.) Stearn., se caracteriza pela produção de material vegetal favorável a maior decomposição e a proliferação de microorganismos pois apresenta diferentes concentrações de tanino, lignina e nitrogênio, favorecendo o grau de palatabilidade da folha contribuindo no incremento de carbono.

CAPITULO 3 ARMAZENAMENTO DE CARBONO ORGÂNICO EM DIFERENTES ESTRATOS DOS MANGUEZAIS DE MACROMARÉS DA AMAZÔNIA ORIENTAL BRASILEIRA

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar as variações sazonais do estoque de carbono orgânico relacionadas a variáveis físico-químicas e ambientais em diferentes estratos de um manguezal de macromarés da Zona Costeira da Amazônia. Foram delimitadas nove parcelas de 20 x 20m com três parcelas alocadas nos estratos: jovem/anão, intermediário e adulto. Os dados de precipitação e maré usados foram do site CMORPH e Fundeadouro de Salinópolis respectivamente. O carbono orgânico no sedimento e as variáveis físico-químicas foram obtidas a partir da amostragem sazonais de 1 kg de sedimentos a 20 cm de profundidade em 2016/2017. No laboratório foram analisados os teores de carbono orgânico em Terra Fina Seca ao Ar, além de ser medida a umidade, pH, eH, salinidade, densidade relativa, macro e micronutrientes e o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana; estas variáveis foram usadas na análises dos componentes principais para determinar, mediante correlações, a variabilidade espacial e temporal. O carbono orgânico armazenado no mangue adulto foi maior quando comparado com os outros estratos com valores de 88,8 e 100,7 toneladas de carbono por hectare por ano respectivamente, no período chuvoso. Este comportamento foi corroborado nos padrões estatísticos através das análises dos componentes principais distribuídos em sua maior variância (55%) mostraram que os estratos adultos e intermediários tiveram as maiores correlações estatísticas sendo mais representativa no período chuvoso, e as variáveis, mas correlacionados foram, Ph, umidade no solo, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana representada com 53,3% da variância dos dados.

Palavras-chave: Carbono Orgânico. Mangue. Estratos. Variáveis físico-químicas.

ABSTRACT

The objective of this work was to investigate the seasonal variations of the organic carbon stock related to physicochemical and environmental variables in different strata of a macromaric mangrove of the Coastal Zone of the Amazon. Nine plots of 20 x 20m were delineated with three plots allocated in the strata: young / dwarf, intermediate and adult. The precipitation and tide data used were from the site CMORPH and Fundeadouro de Salinópolis respectively. The organic carbon in the sediment and the physical-chemical variables were obtained from the seasonal sampling of 1 kg of sediments at 20 cm depth in 2016/2017. In the laboratory were analyzed the organic carbon content in Dry Fine to Air, in addition to being measured the humidity, pH, eH, salinity, relative density, macro and micronutrients and the carbon and nitrogen of the microbial biomass; these variables were used in the analysis of the main components to determine, through correlations, the spatial and temporal variability. The organic carbon stored in the adult mangrove was larger when compared to the other strata with values of 88.8 and 100.7 tons of carbon per hectare per year, respectively, in the rainy season. This behavior was corroborated in the statistical patterns through analyzes of the main components distributed in their greater variance (55%), showing that the adult and intermediate strata had the highest statistical correlations being more representative in the rainy season, and the variables, but correlated, were Ph, soil moisture, carbon and nitrogen of the microbial biomass represented with 53.3% of the data variance.

Keywords: Organic Carbon. Mangrove. Strata. Physical-chemical variables.

3.1 Introdução

Os manguezais se constituem em um dos mais produtivos ecossistemas do planeta e são provedores e mantenedores da biodiversidade colabora na manutenção das bacias flúvio - marinhas e está diretamente relacionado com a sustentação de inúmeras e importantes atividades econômicas humanas. Além disso, este ecossistema também funciona como um grande sumidouro de carbono orgânico, através das plantas que fixam o CO₂ da atmosfera e o convertem a carbono orgânico mediante o processo da fotossíntese (SOARES, 1997).

O ecossistema manguezal apesar de estarem restritos às regiões costeiras e ocupando menor área que outros ecossistemas, se caracterizam pela sua intensa atividade geoquímica e biológica com alta capacidade de armazenamento de carbono na biomassa aérea, nos sedimentos e na biomassa subterrânea (DITTMAR *et al.*, 2006; DONATO *et al.*, 2011). Estima-se que chegam a armazenar até 1.023 toneladas de carbono por hectare, devido as estruturas radiculares que diminuem a intensidade das correntes das marés, criando um ambiente propício para a sedimentação das partículas finas. (MCLEOD *et al.*, 2011).

A capacidade de sequestrar carbono dos manguezais é estimada até 5 vezes quando comparado como outras florestas tropicais, daí a importância de evitar a conversão do mangue para outros usos que causa oxidação dos solos (NELLEMANN, 2009). Estudos de Kauffman *et al.* (2012) e Siteo *et al.* (2014), sugerem que o carbono nos sedimentos dos manguezais variou entre 50% e 90% do conteúdo dos sedimentos, está argumentação sustenta-se no fato que a matéria orgânica nesses ecossistemas tende-se acumular, devido às suas altas taxas de produtividade primária, sua capacidade de penetrar partículas suspensas e sua baixa exposição a incêndios florestais.

O conteúdo de matéria orgânica nos sedimentos e a disponibilidade de resíduos vegetais, se constituem as principais fontes de carbono e à microbiota que participa na decomposição de compostos orgânicos têm influência nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos sedimentos influenciados pelos fatores ambientais (CIOTA *et al.*, 2003). Vale ressaltar que estudos que abordam a relação dos estoques de carbono orgânico com variáveis físico-químicas e ambientais nos manguezais foi o objetivo de vários trabalhos, mas em sua grande maioria tratou-se de uma forma geral, no entanto pesquisas que abordem está temática por estratos de mangue são ainda limitadas, apesar de ser um ecossistema que segundo Attri *et al.* (2011), a biogeoquímica dos sedimentos é fortemente

influenciada pelas condições ambientais locais como a maré, a sazonalidade climática que atinge indistintamente os estratos da floresta.

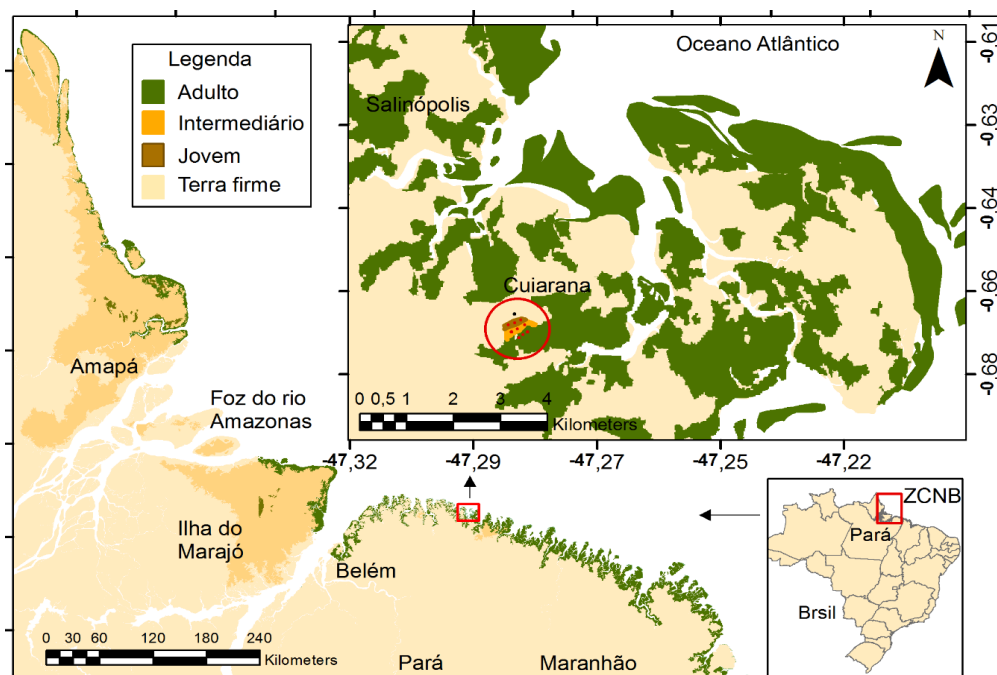
De tal modo a hipótese testada é Armazenamento do carbono orgânico no solo varia de acordo com o estrato arbóreo de mangue vesse influenciado pelas características físico-químicas e biológicas do solo e os fatores ambientais como a precipitação e a maré. O objetivo deste trabalho foi investigar a sazonalidade do estoque de carbono orgânico relacionadas a diferentes estratos de mangue, estrutura físico-química em solo e fatores ambientais de uma Manguezal de Macromaré da Amazônia oriental brasileira.

3.2 Material e Métodos

Área de estudo

A área de estudo localiza-se no Município de Salinópolis-PA, na vila de Cuiarana, Salinópolis (Figura 3), na região nordeste do estado do Pará (0°40'S e 47° 17'WE). É considerada uma zona que pertence à ao setor 2 da maior faixa contínua de manguezal do planeta denominado por Souza Filho (2005), como Costa de Manguezais de Macromarés da Amazônia (CMMA). O tipo climático predominante na região é o clima tropical, com estação seca de Inverno (Aw), com reduzida amplitude térmica e precipitações anuais entre 1.800 e 2.300 mm (AMANAJÁS; BRAGA, 2012).

Figura 3- Área de estudo, com; Zona Costeira do Estado do Pará, Brasil em verde; Sítio experimental na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará em círculo vermelho e mapa de Brasil.



Os dados de precipitação foram obtidos da técnica CMORPH do Centro de Previsão Climática da NOAA (www.cpc.ncep.noaa.gov/products/.../cmorph) na escala de média horária e resolução espacial de 8 km para o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2017 (JOYCE *et al.*, 2004). Estes dados foram somados em médias totais mensais e calculadas as médias climatológicas mensais para o período 1998/2017, para posteriormente serem comparados os acumulados mensais dos anos 2016/2017.

A análise da maré foi a partir dos dados do Fundeadouro de Salinópolis, disponíveis no site da Marinha do Brasil para o período 2010/2017 com destaque nos anos 2016/2017 (<https://www.surfguru.com.br/previsao/mare/20520>). As alturas das marés foram analisadas através das horas dos picos máximos atingidos pelas marés de enchente mensais e para todo o período, em seguida os dados foram comparados com os picos máximos de marés de enchente dos anos 2016/2017.

O carbono orgânico no sedimento (COS) e as variáveis físico-químicas foram analisado no Laboratório de Solo da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia do Museu Paraense Emilio Goeldi a partir da delimitação de nove parcelas distribuídas em três estratos de mangue jovem/anão, intermediário e adulto com auxílio de um trado holandês, foram coletadas amostras de 1 (um) kg de sedimentos na profundidade de 20 cm no período chuvoso (maio/2016 e 2017) e no período menos chuvoso (novembro/2016 e 2017). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de 2kg, identificadas com o número de parcela e número de amostra, depositadas em um caixa térmica com gelo e transportadas para o laboratório.

Os teores de carbono orgânico foram analisados em Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), inicialmente pesadas 0,5 g de sedimentos, adicionado 10 ml de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Após o resfriamento se adicionou 3 ml de ácido fosfórico- H_3PO_4 , (na amostra e no padrão) e 50 ml de água destilada mais 10 gotas do indicador difenilamina- $C_{12}H_{11}N$ 1%. Finalmente foram tituladas com a solução de Sulfato Ferroso Amoniacal 1N até que a cor azul desapareça, cedendo lugar à verde. O teor de carbono orgânico foi obtido pela expressão proposta por Silva (2003).

$$\text{Obtenção do fator (f): } f_{FeSO_4} = \frac{10}{V} \quad (1)$$

Onde: 10 é dicromato de potássio e V é o Sulfato Ferroso Amoniacal.

$$\text{Obtenção de carbono orgânico: \%C} = \frac{(\text{Lb}-\text{La}) \times f_{\text{FeSO}_4} \times 0,3}{(\text{peso da amostra}) \times 0,77} \quad (2)$$

Onde:

%C é porcentagem de carbono;

Lb é a quantidade de solução Sulfato Ferroso Amoniacal 1N usada na titulação do branco;

La; é a quantidade de solução Sulfato Ferroso Amoniacal 1N usada na titulação da amostra;

f é o fator; 0,77 é uma constante. Este resultado multiplica-se por 10 para converter de % a g/kg de carbono orgânicos no sedimento (COS).

Durante a amostragem, foram medidos o Eh (mV), pH e salinidade. O pH e Eh (mV) com auxílio do equipamento Metrhom 744. Para medir e Eh foi usado um eletrodo de platina cujo valor de leitura foi corrigido com a adição do valor do eletrodo de referência de calomelano (+244 mV), enquanto que as leituras de pH foram com um eletrodo de vidro calibrado com soluções padrões de pH = 4,0 e 7,0, mediante a inserção diretamente no sedimento coletado (BALTZER, 1982).

A salinidade intersticial foi determinada com um refratômetro de campo (ATAGO), mediante a extração, sob pressão, de um pequeno volume (gotas) de água intersticial. A granulometria foi determinada pelo método do densímetro e como base nos percentuais de areia, silte e argila. O nitrogênio total (método de Kjeldahl), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Fosforo (P) foram realizadas em amostras de TFSA em estufa a 40°C conforme descrito por Silva (2003) e o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM) foram analisados mediante o método irradiado e não irradiado estabelecido por Tedesco (1995).

Análises de dados

A análise das concentrações de carbono orgânico nos estratos do mangue foi aplicada o teste de análise de variância (ANOVA) para testar as diferenças ($p < 0,05$) entre os teores carbono nos estratos de vegetação no período chuvoso e menos chuvoso. O teste a posteriori de Tukey 5% foi aplicado para identificar diferenças dos estoques de carbono dos diferentes estratos segundo Oliveira *et al.* (2013). Pela diversidade de fatores relacionados com o carbono orgânico foi aplicada a metodologia da Análises de Componentes Principais (CP) para determinar a existência de autovetores espaciais e autovalores temporais.

Os autovetores da correlação entre o carbono e as variáveis físico-químicas do solo foram interpolados e especializados no Surfer 9.1 gerando mapas de distribuição das correlações na área estudada e os autovalores temporais foram representados graficamente para determinar as correlações, mais significativas no espaço e no tempo (AMANAJÁS; BRAGA, 2012). Foram selecionados os modos com somatória maior de 80% da variância total dos dados observados e plotados com 95% de significância estatística, obtido na tabela t-Student (EL-BATTAY, 2014).

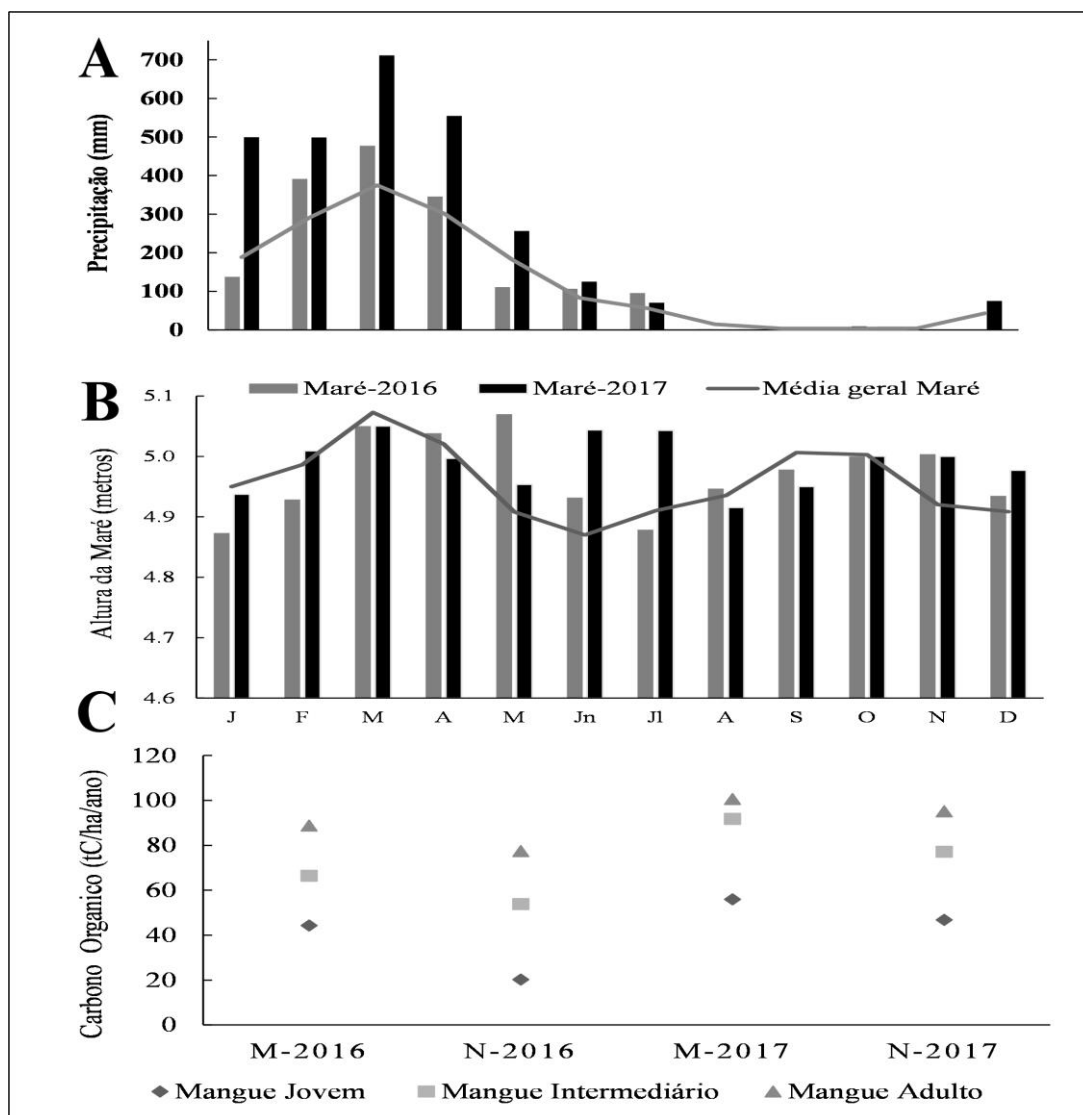
3.3 Resultados e Discussões

3.3.1 Sazonalidade das variáveis ambientais e os estoques de carbono

Na figura 4, foi verificada a relação das variáveis ambientais e os estoques de carbono. Os maiores acúmulos de precipitação ocorrem no período chuvoso (dezembro/maio), com destaque para o ano 2017 que teve mais incidência característica, que pode ser corroborado no acumulado do mês de maio, que ainda apresenta acumulados acima da média climatológica. Já o período menos chuvoso (junho/novembro) teve acumulados similares para os respectivos anos (Figura 4A). A altura das marés (Figura 4B) foram ligeiramente maiores durante o período chuvoso e os teores de carbono.

Especificamente no período menos chuvoso as marés convertem-se nas fontes mais importantes de umidade devido a diminuição das precipitações, sobretudo nos meses de agosto até novembro, no entanto os estoques de carbono diminuíram também neste período. A sazonalidade dos estoques de carbono está em concordância com a dinâmica da precipitação e a altura da maré, na medida que estas variáveis incrementam favorecem o acúmulo de carbono nos sedimentos, isto ficou mais evidenciado nos resultados do ano 2017 onde incrementou nos três estratos, sendo maiores naqueles que são cobertos pela maré com maior frequência (Figura 4C).

Figura 4- Variáveis ambientais e o carbono orgânico: A) Acumulado de precipitação mensal período 2016/2017 (pp), média climatológica; B) Altura mensal da maré período 2016/2017 com média geral; C) Estoques sazonais de carbono (tC/ha/ano) representados pelos meses maio (M) e novembro (N).



Em concordância com as precipitações e as marés os resultados amostrados na tabela 6 evidenciam os maiores teores de COS no período chuvoso 2016/2017 com valores médios de 66,5 e 50,6 tC/ha/ano 2016 e 85, 8 e 73,1 tC/ha/ano 2017. O mangue adulto do período chuvoso 2016/2017 armazenou 88,8 e 100,7 tC/ha/ano, quando comparado com o mangue jovem/ano 40,3 e 47,7 tC/ha/ano respectivamente que é o estrato com menores estoques. Estes resultados podem ser explicados pelo incremento da umidade dos sedimentos tanto pelos acumulados pela precipitação e picos máximos das alturas das marés no período chuvoso que beneficia a atividade microbiana e os cúmulos de matéria orgânica que tende a se acumular nas áreas próximas ao canal da maré com predomínio

do mangue adulto. Importante destacar que a ANOVA indicou a não existência de diferença significativa dos estoques sazonais e anual do carbono no solo ($p=0,4868$).

Tabela 6- Estoques de carbono em toneladas por hectare no período chuvoso (CH) e menos chuvoso (M.CH) 2016/2017 com média e desvio padrão (M+DP) na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

Estratos	Períodos estacionais			
	CH. 2016	M.CH. 2016	CH. 2017	M.CH. 2017
	(tC/ha/ano)			
Mangue jovem/anão	20,0±10,5	6,8±0,5	13,2±2,6	9,8±2,6
Mangue intermediário	27,4±4,1	20,0±2,6	29,9±2,0	22,0±2,8
Mangue adulto	32,0±3,9	23,6±1,3	42,9±3,5	37,7±2,1
Média	79,4	50,4	86,0	69,5

Estudos que relacionam as precipitação e estoques de carbono encontraram teores médios de 511 tC/ha/ano de carbono nos manguezais da Amazônia, com uma precipitação de 2.300 mm ano, mais em ambientes semiáridos com precipitações de 1.024 mm por ano, os estoques médios de carbono foram de 413 tC/ha/ano (KAUFFMAN, 2018; BEHLING *et al.*, 2001).

Em uma pesquisa em solos das reservas naturais Apar, Tanah Grotot, Indonésia, medindo o estoque de carbono a 20 cm de profundidade com predomínio de *Avicennia germinans* (L.) Stearn encontraram teores de carbono de 79,2 tC/ha/ano (39,69 g/kg) (SUKARDJO, 1994). Resultados similares foram encontrados por Doughty *et al.* (2016), estudando estoques de carbono a 30 cm com predominância das espécies, *Rhizophora mangle* L. *Avicennia germinans* (L.) Stearn., e *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn., na Florida com 57 tC/ha/ano; coincidentemente Ray *et al.* (2011), encontraram em manguezais de Sundarbans, no delta dos rios Ganges, Bramaputra e Meghna na Baía de Bengala teores 38–87 tC/ha/ano.

Estes resultados diferem do encontrado por Madi *et al.* (2017), nos manguezais da Baía de Antonina e Guaratuba, Paraná, Brasil, com predominância dos gêneros *Avicennia germinans* (L.) Stearn. *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn., e *Rhizophora mangle* L. reportando teores de 161,8 tC/ha/ano em 20 cm de profundidade.

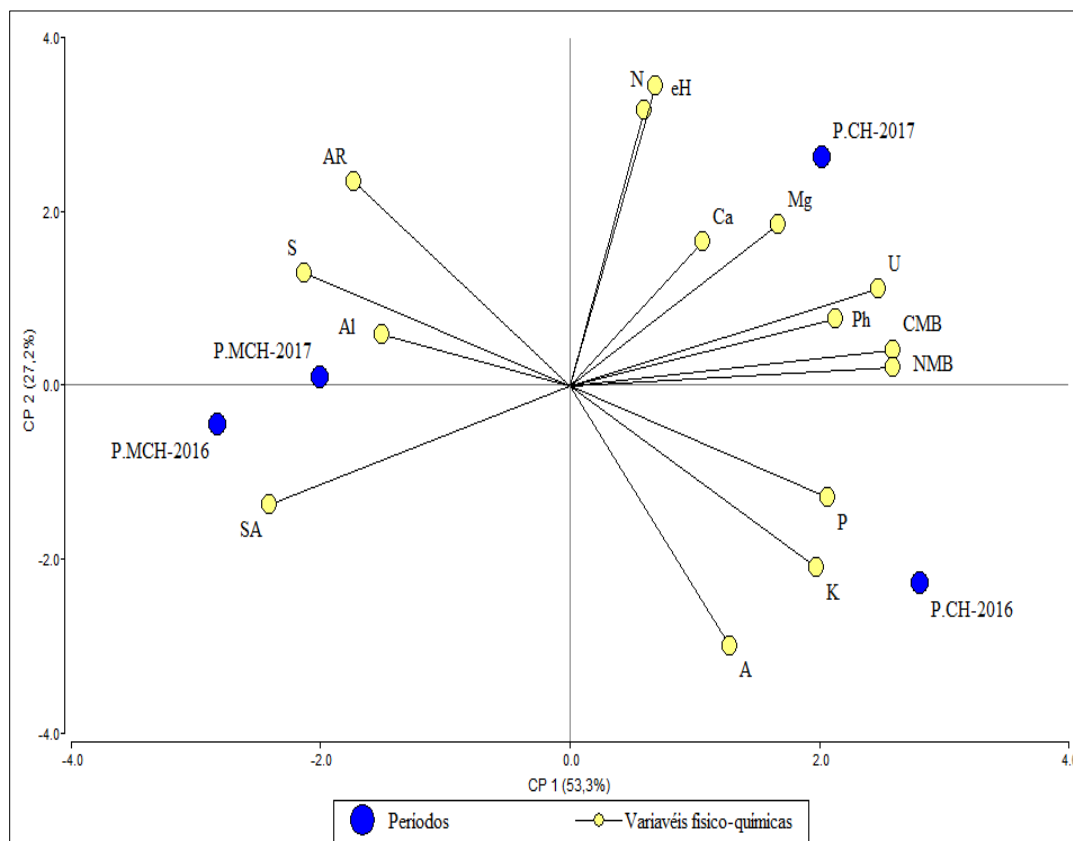
3.3.2 Sazonalidade das variáveis físico-químicas e ambientais

A sazonalidade das variáveis físico-químicas e ambientais, e sua relação com o carbono orgânico representou nas componentes principais um montante de 80,5% da variância total. Sendo que na CP1 houve o percentual de 53,3% da variância total, com

as maiores correlações proveniente no período chuvoso 2016/2017 (P.CH) em decorrência principalmente de alguns fatores: destacando-se com maior relevância a variável umidade dos sedimentos, em seguida a associação de variáveis (carbono microbiano (CMB) e nitrogênio microbiano (NMB)), PH, nitrogênio total (N) e eH. Em terceiro o grupo das variáveis composto pelas argilas (A), fosforo (P), potássio (K) e os micronutrientes Ca, Mg com as menores correlações. A representatividade das variáveis no período menos chuvoso diminuiu, a salinidade que foi mais representativa no ano 2016 que apresentou menores acumulados de precipitação.

O CP2 apresentou um percentual de 27,2% da variância total, complementando a associação das variáveis referente ao ano 2017 ao qual está associada aos maiores acumulados de precipitação que ocorreram neste ano, quando comparado com o ano 2016 (Figura 5). O ano 2017 foram agrupadas a maior quantidade de variáveis possivelmente influenciado pelos maiores acumulados de precipitação quando comparado com o 2016.

Figura 5- Sazonalidade das variáveis físico-químicas e biológicas no período chuvoso 2016/2017 (P.MCH) e período chuvoso 2016/2017 (P.CH) com pH= Potencial Hidrogenionico/Acidez Ativa; eH= Potencial Redox; SA=Salinidade; U=Umidade; CMB/NBM= Carbono e Nitrogênio da Biomassa Microbiana; A=Areia; S= Silte, Ar= Argila.



O suprimento adequado de nutriente do manguezal está intimamente ligado ao fornecimento de água, tendo como principal porta de entrada os picos máximos de marés de enchente de sizígias, que traz os nutrientes do mar, das chuvas e da drenagem dos cursos de água (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). Esta argumentação está em concordância com Tam e Wong (1998), que argumentam que os teores de nutrientes do solo dos manguezais são regulados por diversos fatores biogeoquímicos, incluindo acúmulo e decomposição de serapilheira, espécies de plantas, dinâmica das marés, lixiviação, insumos de escoamento superficial e distúrbios humanos.

A concentração dos nutrientes minerais em ecossistemas costeiros pode variar, consideravelmente, em virtude de fatores ambientais, como a frequência de inundação pelas marés, velocidade de correntes e aporte de água dos rios (BERNINI *et al.*, 2010). Para Tomlinson (1986), nos sedimentos do ecossistema manguezal, os teores de nutrientes variam ao longo da zona entre marés como decorrência das flutuações marinhas e do nível de saturação dos sedimentos que influenciam o potencial redox determinante na disponibilidade dos elementos químicos.

É importante ressaltar que os argumentos de Jagtap (1987), quando estudou a distribuição sazonal da matéria orgânica nos manguezais no estado de Goa, Índia descobriu que o escoamento terrestre contribuiu com altos níveis de partículas e matéria orgânica para o mangue, especialmente durante os meses de monções (período chuvoso).

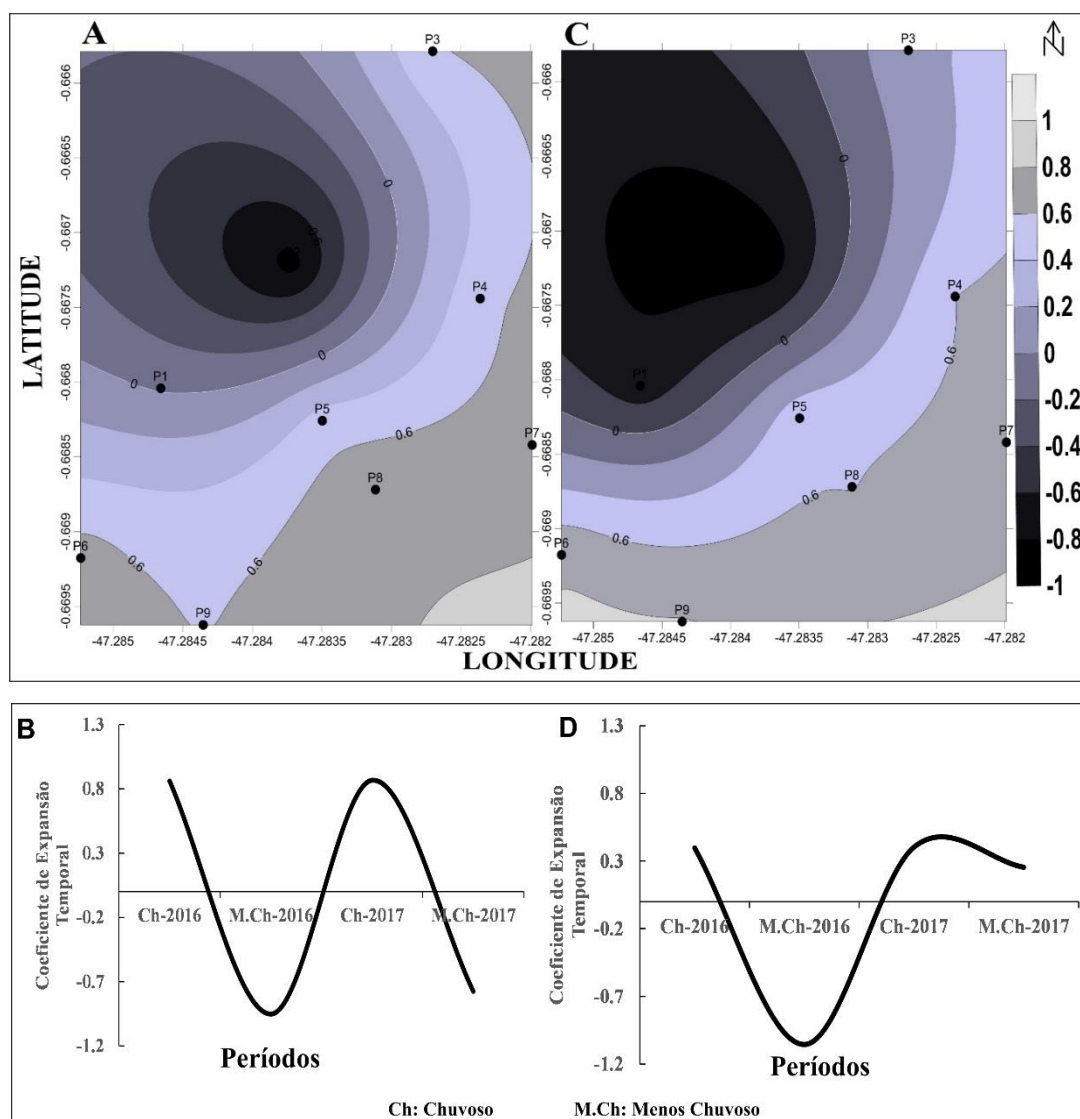
3.3.3 Padrões sazonais do carbono orgânico e variáveis físico-químicas

A Figura 6 elucidada a distribuição espacial dos padrões sazonais através das ACP1 e ACP2, com uma explicação de 85% da variância total dos dados. Na ACP1 (Figura 6AB) que representa o 55% da variância, pode-se apreciar um aumento das variáveis na direção sudeste/nordeste (mangue adulto), e diminuição na direção nordeste ou mangue jovem. No período chuvoso 2016/2017 as parcelas 3,4,5,6,7 e 8 apresentam as maiores correlações de COS no mangue intermediário e adulto, as variáveis físico-químicas mais correlacionadas foram, Ph, umidade dos sedimentos, CBM, NBM. Situação inversa ocorreu no período menos chuvoso 2016/2017, com maiores correlações de COS na terra firme do que no manguezal e as variáveis mais correlacionadas foram, Eh, salinidade e densidade dos sedimentos.

No ACP2 (Figura 6CD) com 30% da variância, o padrão espacial sul/nordeste no período chuvoso 2016/2017 as maiores correlações foram nas parcelas 3,5,6,9 e as

variáveis mais correlacionadas foram densidade dos sedimentos e nitrogênio. Situação inversa ocorreu no período menos chuvoso 2016/2017, na parcela 2 e as variáveis mais correlacionadas foram potássio, fósforo e cálcio. O comportamento destes padrões de distribuição do carbono orgânico e demais variáveis deve-se à locação dos estratos intermediário e adulto de estarem localizados próximos ao canal da maré que é a porta da entrada da umidade e nutrientes para o manguezal, além dos sedimentos com características granulométricas de silte/argilosos facilitando o cumulo do carbono orgânico.

Figura 6- Representação espaço e temporal do carbono no solo através dos componentes principais (CP) como o 55% da variância total (A) e 30% da variância total (C); com variação temporal (BD) com significância de 95% pelo t-student.



Estes resultados estão em correspondência com estudos que indicam que as condições de hipóxia dos sedimentos (baixa concentração de Oxigênio) produto dos conteúdos de umidade nos sedimentos diminuem a decomposição da matéria orgânica e limitam os processos de remineralização pelos quais o carbono orgânico é reconvertido e librado em forma de CO₂ (MCLEOD *et al.*, 2011; DUARTE *et al.*, 2013). No entanto trabalhos de Marchand *et al.* (2003), demonstram que os teores de carbono orgânicos aumentam de acordo com o envelhecimento dos manguezais (mangue adulto); isso pode ser explicado pela produção de serapilheira que durante os primeiros estágios de desenvolvimento do manguezal, apenas compensam a perda de carbono orgânico devido a processos de material orgânico nos sedimentos superficiais; conseqüentemente, o armazenamento de carbono orgânicos é menos importante para o mangue que pode ser qualificado como um mangue jovem/anão.

Este resultado assemelha-se ao verificado por Marchand *et al.* (2003), quando concluíram que o teor orgânico sedimentar das florestas de mangue na costa da Guiana Francesa aumentou com o desenvolvimento da floresta e as flutuações na sazonalidade nos estoques do carbono entre, segundo Bastviken *et al.* (2004), pode ser em resposta ao incremento da umidade no solo que é acentuado no período chuvoso que minimiza o potencial redox fazendo que a decomposição microbiana diminua facilitando o acumulado de material orgânico.

Para Kjerfve (1990) e Lacerda *et al.* (1985), os fatores hidrológicos, como regime das marés, velocidade de correntes e aporte de água doce, relacionados com a topografia, controlam a qualidade, a quantidade e o tempo de entrada e permanência da água de inundações, atuando, diretamente, nos parâmetros físico-químicos, na sedimentologia, nas quantidades de minerais, de nutrientes e, nos níveis de salinidade encontrados no ambiente.

Estudos de Barreto *et al.* (2016), indicam as classes granulométricas silts e a argila são partículas minerais eficazes no sequestro de carbono orgânico, argumento coincidente com Höfle *et al.* (2013), que encontraram a maior parte do carbono orgânico armazenado nas frações de argila e de silte fino, que são comuns em áreas proximal ao canal de maré, característica coincidente com Lacerda *et al.* (1995), quando verificaram que a matéria orgânica acumulada nos sedimentos de mangue é derivada da quantidade de serapilheira e água que circulam no ecossistema, o que está indiretamente relacionado a dinâmica natural dos processos oceanográficos.

3.4 Conclusões

A dinâmica espacial e temporal do carbono orgânico em conjunto com as variáveis físico-químicas no solo implica uma estreita relação carbono-estratos de mangue influenciada pelas características físico-químicas dos sedimentos e as mesmas condições ambientais em cada estrato de vegetação com destaque para a precipitação que é uma variável moduladora no período chuvoso atingindo diretamente em variáveis como a salinidade que é reduzido pela ação da precipitação favorecendo a atividade microbiana.

O estrato adulto foi o responsável pelo cúmulo de maiores teores de carbono com 88,8 e 100,7 tC/ha/ano durante o período chuvoso 2016/2017 quando comparada com os outros estratos propiciado pelas favoráveis condições ambientais como a frequência da maré e o comportamento das variáveis físico-químicas neste estrato de mangue, no entanto estatisticamente não é significativo indicando que tanto a sazonalidade e a anualidade são períodos curtos na armazenagem de carbono nos sedimentos.

CAPITULO 4 EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO NO SOLO EM DIFERENTES ESTRATOS DO MANGUE NA AMAZÔNIA ORIENTAL BRASILEIRA

RESUMO

O artigo apresenta a variação espacial e temporal das emissões de CO₂ no solo, para diferentes estratos de mangue e suas relações com os indicadores de qualidade do solo durante o período chuvoso e menos chuvoso, no Sítio experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia e a Universidade Federal do Pará. Foram delimitadas nove parcelas de 20 x 20 metros, com três parcelas alocadas para cada estrato: jovem/anão, intermediário e adulto. Em cada parcela foi coletado 1 quilograma de solo e incubado 50 gramas junto com 30 ml de hidróxido de sódio, em recipiente hermético durante 80 dias e titulados em diferentes intervalos de tempo com ácido clorídrico, posteriormente, foi acrescentado cloreto de bário e fenolftaleína 1%. No laboratório foi medida a umidade e a temperatura do solo, pH, eH, densidade relativa, o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e os teores de matéria orgânica. Estas variáveis foram usadas nas análises das Componentes Principais para determinar correlações com as emissões de CO₂. Os resultados demonstraram que as maiores emissões de CO₂ aconteceram no período chuvoso 21,8 (7,3±3,3) mg/100cm³, e 15,7 (5,2±1,6) mg/100cm³ no período menos chuvosos. O estrato jovem/anão teve menores emissões 2,6, e 3,8 mg/100cm³(6,8 TCO₂ha/ano), o intermediário 4,8 e 7,5 mg/100cm³ (11,6 TCO₂ha/ano) e o estrato adulto 7,0 e 7,4 mg/100cm³ (16,7 TCO₂ha/ano). A variação espacial e temporalmente as emissões de CO₂ e os indicadores de qualidade do solo com o 76% da variância dos dados permite a visualizar as maiores correlações no estrato adulto caracterizado pela maior umidade (0,9), maiores teores de matéria orgânica (0,8), carbono microbiano (p=0,75) e nitrogênio microbiano (p=0,7).

Palavras-chave: Mangue. Emissões. CO₂. Indicadores de qualidade de solo.

ABSTRACT

The article presents the spatial and temporal variation of CO₂ emissions in the soil for different mangrove strata and their relationships with soil quality indicators during the rainy and less rainy season, at the experimental site of the Federal Rural University of Amazonia and the University Federal of Pará. Nine plots of 20x20 meters were delineated, with three plots allocated for each stratum: young/dwarf, intermediate and adult. In each plot, 1 kilogram of soil was collected and 50 grams were incubated together with 30 ml of sodium hydroxide in an airtight container for 80 days and titrated at different time intervals with hydrochloric acid, followed by barium chloride and phenolphthalein 1%. In the laboratory the soil moisture and temperature, pH, eH, relative density, carbon and nitrogen of the microbial biomass and the organic matter contents were measured. These variables were used in the Principal Components analyzes to determine correlations with CO₂ emissions. The results showed that the highest CO₂ emissions occurred in the rainy season 21.8 (7.3±3.3) mg/100cm³, and 15.7 (5.2±1.6) mg / 100cm³ in the less rainy period. The young/dwarf stratum had lower emissions of 2.6 and 3.8 mg/100 cm³ (6.8 TCO₂ ha/year), the intermediate 4.8 and 7.5 mg/100 cm³ (11.6 TCO₂ ha / year) and the adult stratum 7.0 and 7.4 mg/100cm³ (16.7 TCO₂ha/year). The spatial and temporal variation of CO₂ emissions and soil quality indicators with 76% of the data variance allows us to visualize the highest correlations in the adult stratum characterized by higher humidity (0.9), higher organic matter content (0,8), microbial carbon (p = 0.75) and microbial nitrogen (p = 0.7).

Keywords: Mangrove. Emissions. Carbon dioxide. Soil quality indicators.

4.1 Introdução

A supressão dos ecossistemas naturais é responsável por aproximadamente 30% de dióxido de carbono liberado na atmosfera, o que ajuda a impulsionar o aquecimento global (HOUGHTON, 2003). As altas taxas de desmatamento destacam-se como uma das principais causas que está provocando a perda de biomassa acima do solo e a liberação de dióxido de carbono através da respiração do solo como é indicado por Troxler *et al.* (2015) e Costa *et al.* (2008).

Ecossistema como os manguezais se caracterizam por uma intensa ciclagem de matéria orgânica e representa um potencial de impacto no orçamento global de carbono quando são perturbados por ação antrópica ou fenômenos naturais (HOLGUIN *et al.*, 2001; ALONGI, 2012). O acúmulo de carbono em seus solos é produto das entradas de compostos orgânicos, formados por processos fotossintéticos sequestrando o dióxido de carbono atmosférico, e as emissões são causadas pela decomposição, erosão e lixiviação (STOCKMANN *et al.*, 2013).

As emissões de CO₂ produto dos processos naturais, acontece pela respiração microbiana e radicular e a deposição e decomposição de serapilheira, favorecidas pelas propriedades físicas e químicas do solo, fatores ambientais e fatores biológicos como a produção de serapilheira e suas taxas de decomposição e a vegetação (REEF *et al.*, 2010; BOND-LAMBERTY; THOMSON, 2010; KIM *et al.*, 2012; FIEDLER *et al.*, 2015). As emissões globais da degradação dos manguezais são até 0,12 pentagramas de carbono por ano, isso equivale a quase 10% das emissões globais associadas às florestas tropicais, embora ocupem 1% da área terrestre das florestas tropicais (DONATO *et al.*, 2011).

Embora na literatura existe um grande número de estudos das emissões nos solos dos manguezais, pesquisas que abordem esta temática por estratos de vegetação são ainda limitadas, apesar de ser um ecossistema cujas características e atributos na vegetação e no solo variam de acordo com as marés (SOUZA *et al.*, 1996).

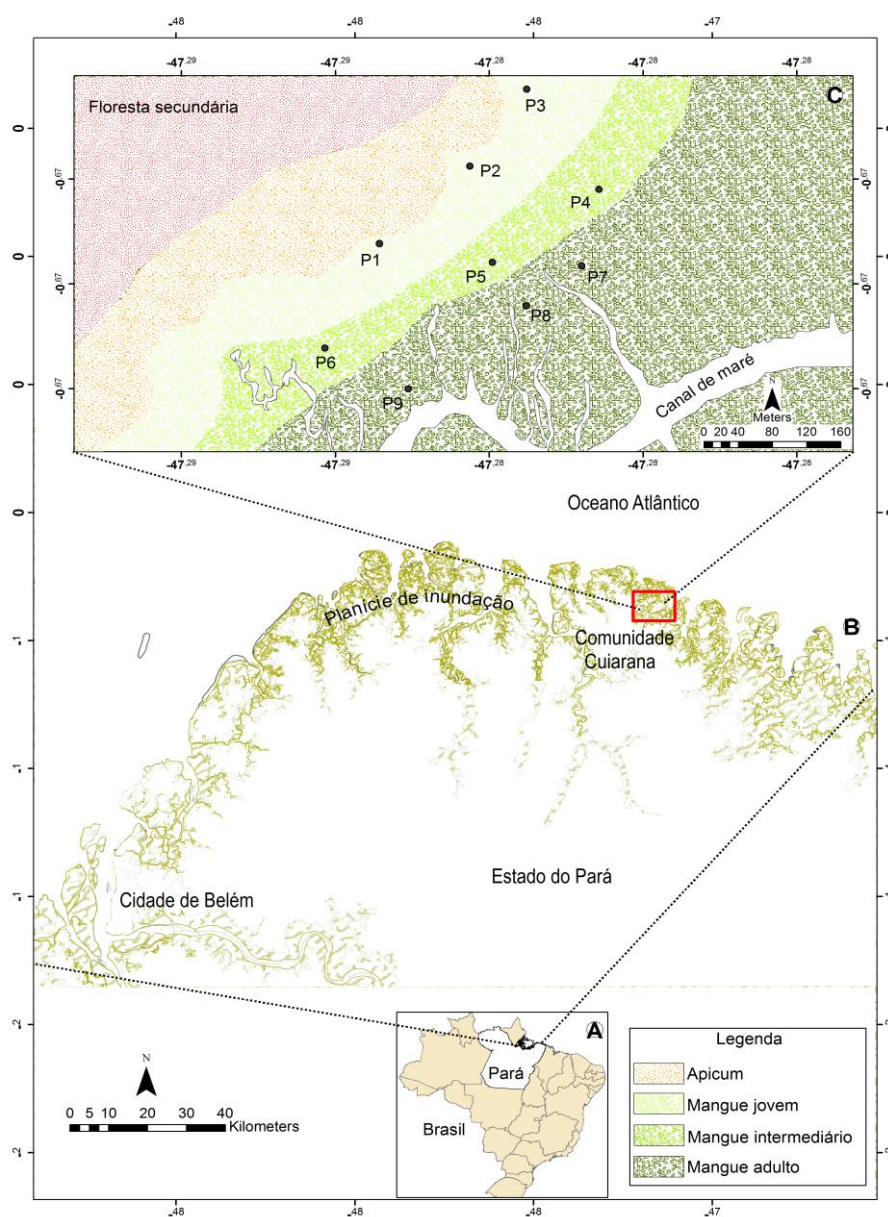
Nesta pesquisa a hipótese testada é de que as emissões de dióxido de carbono nos solos diferem entre os estratos de mangue que pode ser influenciada pela sazonalidade, as características físico-químicas do solo e os fatores ambientais. De tal modo, objetivou-se investigar a variação espacial e temporal das emissões de CO₂ no solo em diferentes estratos de mangue e suas relações com os indicadores de qualidade do solo no período chuvoso e menos chuvoso no manguezal na Amazônia oriental.

4.2 Material e Métodos

Área de estudo

A área de estudo localiza-se no Município de Salinópolis-PA, na vila de Cuiarana, na região nordeste do estado do Pará sobre as coordenadas $0^{\circ}40'S$ e $47^{\circ}17'W$ (Figura 7). É considerada uma zona que pertence à Mesorregião Nordeste Paraense e à microrregião Salgado. Segundo a classificação fisiográficos de Schaeffer-Novelli *et al.* (1990).

Figura 7- Área de estudo com (A) Mapa de localização do manguezal, Brasil e Pará; (B) Zona Costeira do Estado do Pará; (C) Sítio experimental, com parcelas em diferentes estratos de vegetação.



Para obter os dados de emissão de dióxido de carbono (CO₂) no solo e indicadores de qualidade de solo foi utilizado o método de medição da respiração do solo e analisado no Laboratório de Solo da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia do Museu Paraense Emílio Goeldi. Os dados de precipitação foram obtidos da técnica CMORPH do Centro de Previsão Climática da NOAA (www.cpc.ncep.noaa.gov/products/.../cmorph) na escala de meia hora e resolução espacial de 8 km para o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2017 (JOYCE *et al.*, 2004).

A análise da altura da maré efetuou-se com dados do Fundeadouro de Salinópolis para quatro medidas diárias, disponíveis no site da Marinha (<https://www.surfguru.com.br/previsao/mare/20520>) para o período de 2016 a 2017.

As emissões de CO₂ foram medidas pela determinação do CO₂ por incubação estática de 50g de solo e 30 ml de solução de NaOH 0,5 mol⁻¹ (Hidróxido de sódio) em recipientes plásticos herméticos a 25°C (SILVA *et al.*, 2007). O CO₂ foi medido por um período de 80 dias, com titulações, durante 4 dias consecutivos (1,2,3,4), com nove intervalos: de 3, 3, 5, 6, 7, 10, 14, 16 e 22 dias, com titulação após cada intervalo. Na titulação foram usados 10 ml de NaOH com adição 10 ml de BaCl₂ 0,05 mol L⁻¹ (Cloreto de Bário) para a precipitação dos carbonatos e acrescentada a solução indicadora de Fenolftaleína (C₂₀H₁₄O₄) 1% e finalmente foi titulado com ácido clorídrico (HCL). O CO₂ liberado foi expressado em mg/100cm³ e quantificado, através da fórmula de Anderson e Domsch (1993).

$$C - \text{CO}_2(\text{mg. } 100\text{cm}^3) = (B - V) \times M \times 12 \times \left(\frac{v_1}{v_2}\right) \quad (1)$$

B= Volume do HCl no branco (mL);

V= Volume de HCl gasto na amostra (mL);

M = Concentração real do HCl (mol L⁻¹);

12 = Peso equivalente do carbono;

v₁ = Volume total de NaOH usado na captura do CO₂ (mL);

v₂ = Volume de NaOH usado na titulação (mL).

Os resultados foram expressos em TCO₂ha/ano. O cálculo compreende as conversões de unidades dos resultados medidos no laboratório, convertidos em mg/100cm³, para mg.dm³, dividido pelo fator 500 para tonelada para hectare. Os indicadores de qualidade

do solo foram medidos a partir de três parcelas de 20 x 20 metros demarcados em cada estrato, caracterizando o mangue jovem (com árvores de 1 a 3 metros), intermediário (de 3,1 a 6,0 metros) e adulto (≥ 6 metros). Esses foram coletadas em duas amostras de solo em cada parcela (1 repetição) na profundidade 0-20 cm, durante os períodos chuvoso, em maio de 2017 e menos chuvoso em novembro de 2016 e 2017, totalizando 18 amostras de 400 gramas.

Para as amostras de solo foi medida a umidade e a temperatura do solo, eH (potencial redox), o pH (potencial hidrogeniônico), a salinidade no solo, a densidade relativa do solo, o carbono e o nitrogênio na biomassa microbiana. Os valores da temperatura do solo correspondem aos dias de medição do CO₂ e obtida com um Infrared Thermometer portátil modelo TASI 8601, a nível superficial e expressadas em °C. A umidade gravimétrica no solo foi calculada no laboratório através da relação do peso úmido e peso seco do solo.

Durante a amostragem, foram medidos os valores do Eh (mV), pH e salinidade. O pH e Eh (mV) foram obtidas com um equipamento Metrom 744. Para medir o Eh foi usado um eletrodo de platina, cujo valor de leitura foi corrigido com a adição do valor do eletrodo de referência de calomelano (+244 mV). Para as leituras de pH foram usados um eletrodo de vidro calibrado com soluções padrões de pH = 4,0 e 7,0 mediante a inserção diretamente no sedimento coletado (BALTZER, 1982). A salinidade intersticial foi determinada com um refratômetro de campo (ATAGO), mediante a extração, sob pressão, de um pequeno volume (gotas) de água intersticial.

A granulometria (física do solo) foi determinada pelo método da divisão da massa de amostra seca (g)/volumem de amostra (m³). O carbono e nitrogênio da biomassa microbiana foram analisados mediante o método irradiado e não irradiado. O Carbono na Biomassa Microbiana (CBM) foi calculado a partir da equação proposta por Tedesco (1995):

$$C_{\text{microbiana}}(\mu\text{g. g}^{-1}) = \frac{(C_I - C_{\text{NI}})}{K_c} \quad (2)$$

Onde,

C_I = amostra irradiada;

C_{NI} = amostra não irradiada;

$K_c = 0,33$ para o método de irradiação extração de CBM.

O Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM) foi calculado pela equação descrita a seguir:

$$N_{\text{microbiano}} (\text{mg. Kg}^{-1}) = \frac{(N_1 - N_{\bar{N}1})}{K_n} (3)$$

Onde,

NI = nitrogênio da amostra irradiada;

$N_{\bar{N}1}$ = nitrogênio da amostra não irradiada;

$K_n = 0,54$ para o método de irradiação-extração do NBM.

Os dados de precipitação de meia hora foram somados em médias totais mensais. Em seguida foram calculadas as médias climatológicas mensais, para posteriormente serem utilizadas no cálculo das anomalias de precipitação no período chuvoso 2017 e menos chuvoso 2016/2017. Para o cálculo de anomalias da precipitação foi subtraído do acumulado mensal de cada ano a média climatológica mensal do período 1998 a 2017. A altura de maré foi utilizada por apresentar fundamental importância pela disponibilidade de umidade. Nos anos 2016-2017, a maré foi analisada através das horas de chegada e a altura meia mensal, logo depois estas medias foram analisados por períodos.

Análises de dados

Para analisar as emissões de CO₂ nos estratos do mangue foi aplicada a análise da variância (ANOVA) e teste Tukey 5%. Para obter a variabilidade espaço-temporal das emissões de CO₂ e demais variáveis foi aplicada a metodologia fatorial em Componentes Principais (CP) para sintetizar a variação multidimensional dos dados (WILKS, 2006; TER- BRAAK, 1986).

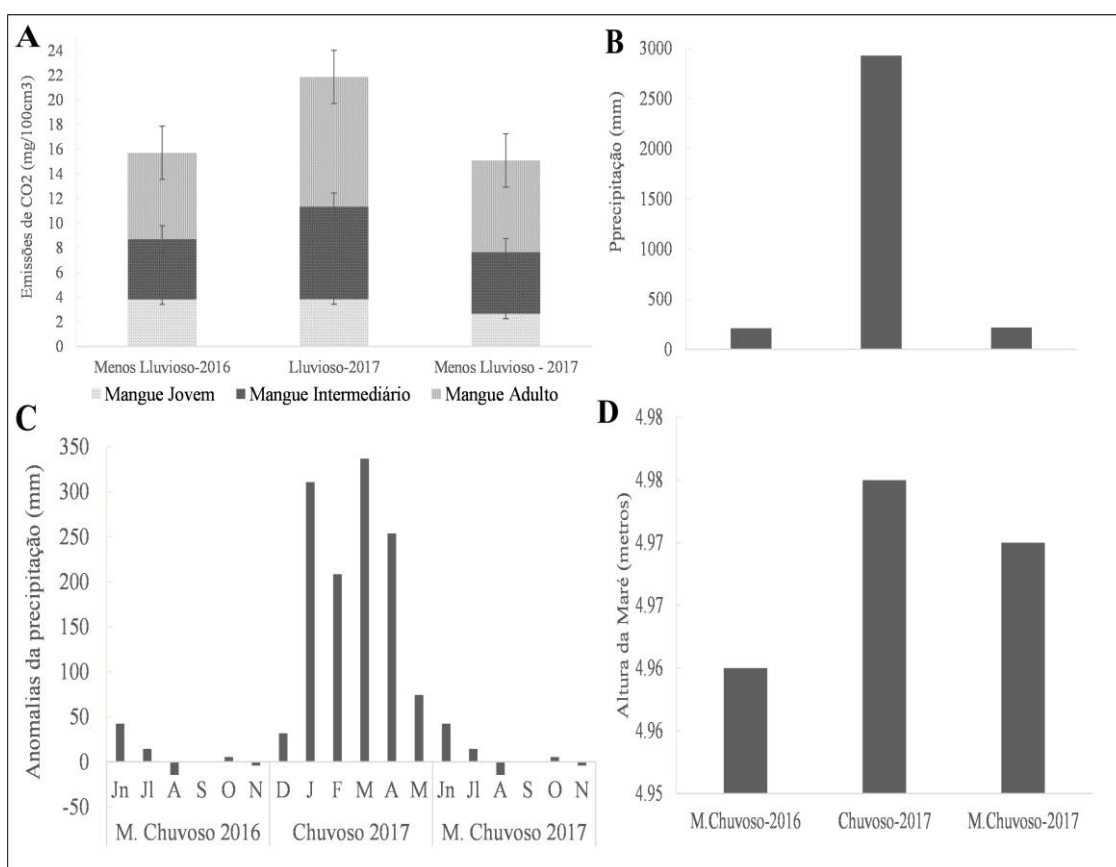
Como as variáveis tinham diferentes níveis de grandeza os dados foram normalizados e organizados em uma matriz de covariância em modo T, onde nas linhas ficaram os indicadores de qualidade de solo e as emissões de CO₂ e nas colunas foram organizadas as nove parcelas amostradas gerando os coeficientes de expansão temporal e espacial como padrões de correlação. Os autovalores foram representados graficamente para determinar as correlações, mas significantes estadísticas no tempo. Na CP foram selecionados os modos com somatório maior de 80% da variância total dos dados observados e plotados com 95% de significância estatística, obtido na tabela t-Student, para 80 graus de liberdade (n-1), correspondente aos 8 indicadores qualidade do solo e as 9 parcelas amostradas (EL-BATTAY, 2014; PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

4.3 Resultados e Discussões

4.3.1 Emissões de dióxido de carbono no mangue

Na figura 8 mostrasse que o período chuvoso 2017 liberou maior quantidade de CO₂ quando comparado com os menores valores nos períodos menos chuvosos 2016/2017. As menores emissões aconteceram no estrato jovem que se caracteriza por estar perto da terra firme e pouco coberto pela maré, enquanto os estratos intermediário e adulto apresentam emissões similares nos períodos menos chuvosos e visivelmente maiores no período chuvoso. O estrato adulto caracteriza-se por estar perto do canal da maré (Figura 8A). Isto pode estar relacionado ao incremento das emissões no período chuvoso de 2017 que foi decorrente da umidade da precipitação e que teve um maior acumulado de chuva (Figura 8B,C) e a maior altura da maré (Figura 8D). Isto pode ter favorecido a maior atividade dos microrganismos presentes na camada superficial do solo.

Figura 8- Emissões de carbono e variáveis físico-ambientais: A) Valores médios das emissões sazonais de dióxido de carbono por estrato de vegetação, com barra de erro de 95% de intervalo de confiança, B) Acumulado sazonal das precipitações, C) Anomalias mensais da precipitação, D) Altura sazonal da maré.



Estes resultados estão em concordância com os estudos das emissões de dióxido de carbono no solo em uma floresta secundária de mangue, com predomínio de *Avicennia germinans* (L.) Stearn., no leste da Tailândia quando encontraram os maiores valores médios de emissões no período chuvoso Poungharn *et al.* (2009). Resultados similares foram encontrados por Valentini *et al.* (2015), medindo emissões de CO₂ no Parque Estadual Massairo Okamura onde se corrobora a existência de uma forte correlação da respiração do solo com a precipitação ($r=0,62$) e a umidade no solo ($r=0,67$), devido a umidade favorecer reações bioquímicas dos microrganismos na época chuvosa aumentando as emissões de CO₂.

Mukherjee e Ray (2012), estudando variações mensais de emissões CO₂ em mangues de Sundarban, Índia encontraram que os solos de mangue liberam mais carbono nos meses do período de transição ao período chuvoso.

Na tabela 7 observa-se maiores emissões no estrato adulto com 16,69 TCO₂ha/ano, contrário ao estrato jovem/anão que liberou 6,86 TCO₂ha/ano. Este resultado e confirmado pela a análise da variância (ANOVA) demonstrou que houve diferença significativa entre os estratos de vegetação e emissões de CO₂ ($p=0,0170$), e o test de Tukey confirmou maior importância estatística do mangue adulto quando comparada com demais estratos de vegetação ($p=0,0140$). Este resultado deve-se aos altos níveis de umidade no mangue adulto por sua proximidade ao canal da maré por sua proximidade ao canal da maré o que origina maiores teores de matéria orgânica e solos silte-argiloso, contrário ao estrato jovem/anão que tem altos teores de areia, baixos níveis de umidade e matéria orgânica.

Tabela 7- Emissões de CO₂ em três estratos de mangue na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

Período	Estratos de mangue		
	Jovem/anão	Intermediário	Adulto
	TCO ₂ ha/ano		
Menos chuvoso -2016	7,6±3,1	9,8±1,6	13,9±3,4
Chuvoso- 2017	7,6±0,5	15,0±0,5	21,0±0,9
Menos chuvoso-2017	5,3±2,5	9,9±2,9	15,0±1,5
Média	6,8	11,6	16,7

En uma pesquisa de Herrera Silveira *et al.* (2016), encontraram valores médios de fluxos de CO₂ em manguezais mexicanos até 6,7 TCO₂ha/ano; resultados similares foram encontrados por Nobrega *et al.* (2016), estudando emissões de CO₂ em manguezais no Ceará, Brasil registraram até 4 TCO₂ha/ano. Em manguezais de *Rhizophora mangle* L. e

Avicennia germinans (L.) Stearn., na costa venezuelana, encontraram taxas de emissão de 11.2 tn.CO₂ ha.ano (OTERO *et al.*, 2017). Estudos das emissões de CO₂ na floresta dos manguezais na baía de Gazi, Kenya por Lang'at *et al.* (2014), em manguezais dominadas por *Rhizophora* sp. encontraram emissões de 25,36 TCO₂ha/ano.

Outros estudos relataram baixas emissões de CO₂ em manguezais tropicais, Das *et al.* (2017) estudando emissões em bosque de manglar de Sundarban, Índia, encontraram valores médios de emissões entre 0,23 a 1,94 TCO₂ha/ano; já Poungparn *et al.* (2009), no leste da Tailândia encontraram valores médios de 3,75 e 4,28 TCO₂ha/ano.

4.3.2 Indicadores de qualidade do solo e os estratos

Na tabela 8, encontram-se os indicadores de qualidade do solo nos períodos avaliados. Estes indicadores variam segundo o período e as características físico-químicas nos estratos de mangue. O período chuvoso apresenta valores favoráveis as maiores emissões de CO₂, destaca-se a umidade no solo, CBM, M.O, pH, salinidade e teores de silte e argila. Estes resultados coincidem com o incremento do conteúdo de umidade no solo produto das precipitações e ao incremento da maré, característica corroborada no mangue adulto pela sua proximidade do canal da maré.

Tabela 8- Dinâmica dos indicadores de qualidade do solo nos três estratos de mangue na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

	Períodos estacionais								
	Menos chuvoso 2016			Chuvoso 2017			Menos chuvoso 2017		
	MJ	MI	MA	MJ	MI	MA	MJ	MI	MA
PH	5,3±0,7	6,3±0,6	5,3±0,6	6,6±0,2	6,6±0,1	6,7±0,1	4,5±0,8	5,0±0,6	5,5±0,4
EH	156,7±72,4	91,2±125,9	33,7±115,8	-302,0±65,3	-264,2±39,8	-156,2±23,0	235,0±131,0	164,5±113,6	169,2±183,9
SAL	70,0±20,0	51,8±5,4	52,3±8,0	26,0±10,8	10,0±7,2	29,0±10,5	57,0±10,5	58,2±11,4	61,3±6,9
U	25,5±2,8	50,1±5,5	60,9±6,3	33,2±4,2	69,4±3,5	78,2±7,9	31,1±9,5	59,7±10,1	50,1±4,4
TS	28,2±0,9	27,4±3,1	26,1±1,4	25,8±4,9	26,1±4,5	25,1±2,9	27,4±0,1	27,1±0,04	27,2±0,1
CMB	5.919,3±27,4	11.316±2,4	5.919,3±27,4	10.261±7	12.563±5	13.923±3,3	8.819±1,9	9.957±4,9	10.867±2,2
NMB	10,2±27,4	25,2±33,0	26,7±37,7	19,7±5,6	35,2±14,6	35,8±12,0	9,0±4,2	28,1±7,6	15,3±4,6
M.O	11,7±6,5	38,2±8,13	39,2±9,6	29,9±42,7	42,1±4,6	44,1±1,3	9,5±2,4	35,1±3,1	35,0±14,2
A	546,6±358,1	238,3±150,0	215,0±150	546,6±358,1	238,3±150,0	215,0±150,0	546,6±358,1	238,3±150,0	215,0±150,0
S	250,0±266,7	418,3±100,5	331,7±100,8	250,0±266,7	418,3±100,5	331,7±100,8	250,0±266,7	418,3±100,5	331,7±100,8
AR	250,0±176,7	390,0±95,3	360,0±95,3	250,0±176,7	390,0±95,3	360,0±95,3	250,0±176,7	390,0±95,3	360,0±95,3

MJ=Mangue jovem/ano; MI= Mangue intermédio; MA= Mangue adulto

pH= Potencial Hidrogenionico/Acidez Ativa; eH (mV) = Potencial Redox; SA (%)=Salinidade; U (%)=Umidade; Ts (°c) = Temperatura do solo; CMB = Carbono da Biomassa Microbiana, NBM (µg.g-1) = Nitrogênio da Biomassa Microbiana (mg.kg); M.A=Matéria Orgânica; A (g/Kg) =Areia; S (g/Kg) = Silte, Ar (g/Kg) = Argila.

Argumentos de Reef *et al.* (2010), sugerem que as propriedades físico-químicas dos solos de mangue, estão associadas a frequência de inundação da maré, indicadores como, pH, salinidade, produção de serapilheira e a taxa de decomposição do material orgânico são resultado do comportamento do fator maré. Este argumento é concordante como Souza *et al.* (1996), que argumentam que os níveis de nutrientes nas florestas de mangue geralmente variam de acordo com as marés e o grau de saturação da água sedimentar, o que pode afetar a disponibilidade dos atributos do solo.

Martins e Matthes (1978), referem que as características do solo são determinantes no comportamento dos indicadores de qualidade do solo indicando que nos solos arenosos comuns no mangue jovem/anão são pobres em umidade e matéria orgânica que resultam em menores emissões de CO₂.

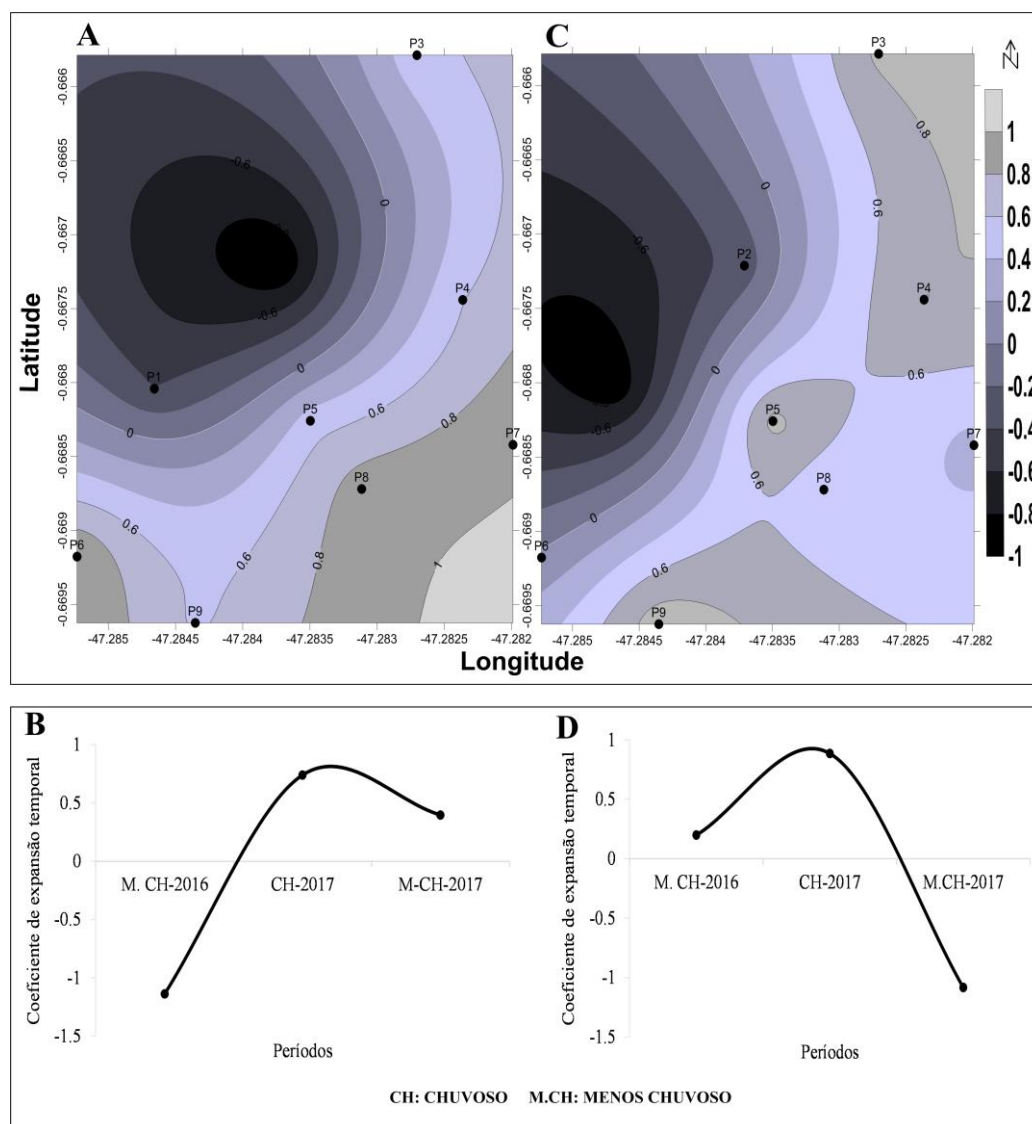
4.3.3 Padrões sazonais das emissões de CO₂ e qualidade do solo

As correlações de emissões de CO₂ e os indicadores de qualidade do solo em diferentes estratos indicam que 76% da amostra total está representada na CP1 e 24% na CP2 (Figura 9). Na CP1 (Figura 9A,B) observa-se um gradiente diagonal de sudeste-noroeste, com elevadas correlações, representando as superfícies do mangue a sudeste e da terra firme a noroeste. É importante ressaltar que no período chuvoso as parcelas 6, 7 e 8 apresentam as maiores emissões de CO₂ no mangue adulto, com os indicadores de qualidade do solo mais correlacionados, como o eH (p=0,94) e a salinidade no solo (p=0,99). Situação inversa ocorre no período menos chuvoso de 2016, com maiores emissões de CO₂ a terra firme do que no manguezal.

Na CP2 (Figura 9C,D), visa-se um padrão com altas correlações localiza sul-noroeste. No período chuvoso (Ch) as parcelas 3, 4, 5 e 9 apresentam as maiores emissões de CO₂ no mangue jovem, intermediário e adulto e entre as variáveis mais correlacionadas estão, umidade no solo (0,9), matéria orgânica (0,8), CBM (p=0,75) e NBM (p=0,7).

Estes padrões estão relacionados principalmente como o aumento da umidade no solo pela precipitação e a maré no período chuvoso 2017 que poderia ter ajudado na oxidação da matéria orgânica e, porém, liberação de uma maior quantidade de dióxido de carbono provocando maiores emissões de CO₂ nas áreas com mais matéria orgânica e conteúdo de umidade.

Figura 9- Representação espacial e temporal das emissões de CO₂ através dos componentes principais (CP) como o 76% da variância total (A, B) e 24% da variância total (C,D) com significância de 95% pelo t-student.



As emissões de dióxido de carbono dos manguezais dependem do tamanho dos estoques do carbono orgânico no solo e das taxas de remineralização onde o carbono consumido pelos microorganismos e emitido de volta para a atmosfera (LOVELOCK *et al.*, 2017).

Estudos de Lallier-Vergés (2008), sugerem que o fator maré pode influenciar as emissões de CO₂ ao alterar o estado de oxidação e os processos de decomposição da matéria orgânica. Esta argumentação é coincidente com Keuskamp *et al.* (2015), quando concluíram que a decomposição microbiana dependerá das condições ambientais do solo, que no caso dos manguezais são em grande parte regidos pelo regime de marés predominante. Os fatores como a quantidade de matéria orgânica, presença de

água/umidade, a temperatura influenciam as emissões de CO₂, características que foram propícias no período chuvoso facilitando maiores emissões (MATSON; HARRISS, 1995; LIBLIK *et al.*, 1997).

4.4 Conclusões

A distribuição espacial das emissões de dióxido de carbono sugere que a relação emissões-estratos de vegetação é influenciada por características físicas, químicas e as condições ambientais em cada estrato de vegetação. O estrato adulto foi o responsável pelas maiores emissões, pois registrou 16,7 TCO₂ha/ano, diferença que foi constatada estatisticamente quando comparada com os outros estratos.

O estrato adulto favoreceu o incremento das emissões de CO₂ sazonais por ter maiores conteúdos umidade, tanto pelas precipitações e a altura da maré principalmente no período chuvoso que incrementa a atividade microbiana no solo gerando maiores emissões de dióxido de carbono para a atmosfera; situação contrária acontece no estrato jovem/anão que apenas liberou 6,8 TCO₂ha/ano, devido ao tipo de solo arenoso, baixa disponibilidade de umidade e baixos teores de matéria orgânica.

Verificou-se a diminuição das concentrações da salinidade nos sedimentos em virtude do aumento da precipitação no período chuvoso, promovendo uma maior atividade microbiana e conseqüentemente maiores emissões do CO₂.

CAPITULO 5 VALOR ECONÔMICO DO ECOSISTEMA DE MANGUE NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

RESUMO

A pesquisa estima o valor econômico sazonal dos produtos e serviços ecossistêmicos, a partir da pesquisa dos bens de uso e não uso fornecidos pelo manguezal. Nesta análise se utilizou a metodologia do Valor Econômico Total, por meio da aplicação de entrevistas a moradores que extraem bens do manguezal. Para os serviços ecossistêmicos, foram utilizados o carbono atmosférico medido por uma torre micrometeorológica e carbono orgânico através de amostragens no ano 2016. Na determinação dos valores dos bens foram consideradas as quantidades extraídas pelos preços do mercado e o valor dos serviços foram estimados via créditos de carbono calculadas a partir da metodologia dos projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Os resultados das entrevistas indicam que o ecossistema produz 9 bens, que geram R\$ 75.033,5 (US\$ 24,286.7 ha/ano) e R\$ 17.627,2 (US\$ 5,549.6 ha/ano) pelo serviço de captura e armazenamento de carbono. Na análise dos bens, os maiores valores econômicos corresponderam ao período menos chuvoso pela facilidade na captura das espécies. Os valores econômicos do crédito de carbono atmosférico ($p = 0,0278$) e carbono do solo ($p = 0,0354$) indicaram maior importância estatística quando comparados com os bens no período chuvoso, devido à dificuldade de extração pelas condições ambientais adversas no mangue e à precipitação que favorece a maior quantidade de carbono. Este comportamento foi corroborado na Análises de Componentes Principais que apresentaram 51,1% da variância elucidando que nos meses do período menos chuvoso, a maioria dos bens são mais importantes quando comparado com os serviços ecossistêmicos, que são mais importantes no período chuvoso favorecido pelas condições ambientais.

Palavras chaves: Mangue. Bens. Serviços. Valores econômicos. Carbono.

ABSTRACT

The research estimates the seasonal economic value of ecosystem products and services, based on the research of the use and non - use goods provided by the mangrove. In this analysis, the methodology of Total Economic Value was used, through the application of interviews to residents who extract goods from the mangrove. For the ecosystem services, the atmospheric carbon measured by a micrometeorological tower and organic carbon by means of samplings in the year 2016 were used. In the determination of the values of the goods the quantities extracted by the market prices were considered and the value of the services were estimated via credits of calculated on the basis of the Clean Development Mechanism project methodology. The results of the interviews indicate that the ecosystem produces 9 goods, which generate R \$ 75,033.5 (US \$ 24,286.7 ha/year) and R \$ 17,627.2 (US \$ 5,549.6 ha/year) for the carbon capture and storage service. In the analysis of the assets, the highest economic values corresponded to the least rainy period due to the ease in catching the species. The economic values of the atmospheric carbon credit ($p = 0.0278$) and soil carbon ($p = 0.0354$) indicated a higher statistical significance when compared to the rainy season, due to the difficulty of extraction by adverse environmental conditions in the mangrove and precipitation that favors the largest amount of carbon. This behavior was corroborated in the Principal Components Analysis, which presented 51.1% of the variance, explaining that in the months of the least rainy season, most of the goods are more important when compared to the ecosystem services, which are more important in the rainy season favored by the conditions environmental impacts.

Key words: Mangue. Goods. Services. Economic values. Carbon.

5.1 Introdução

O manguezal é um ecossistema produtivo e biologicamente importante do mundo, pois fornece direta e indiretamente bens e serviços essenciais às populações como peixes, mariscos, madeira, retenção de sedimentos e nutrientes, proteção contra fenômenos naturais e o armazenamento de carbono (BARBIER *et al.*, 2011; ENGLE, 2011; GIRI *et al.*, 2011). Ocupa uma estreita faixa abundante e diversificada na região tropical e integra diversos bens e serviços ecossistêmicos avaliados em aproximadamente US\$ 200.000/ha anualmente (COSTANZA *et al.*, 2014).

Os benefícios do manguezal se convertem em fonte econômica de subsistência proporcionando o bem-estar da sociedade (VO *et al.*, 2012), conforme comprovado por Singh *et al.* (2010), na Índia quando estimaram que a extração de produtos não madeireiros do manguezal contribuiu com 79% nas rendas das famílias. No entanto para Mojiol *et al.* (2016), estudando o manguezal em Sabah, Malaysia mostraram que os produtos do mangue podem ser divididos em nove categorias (marinhos, lenha, materiais de construção, valores medicinais, usos domésticos, pesca, alimentos/bebidas, decoração/artesanato e a conchilha e conchas).

O manguezal desempenha papel fundamental no controle das emissões de carbono atmosférico uma vez que armazena maior quantidade nas camadas mais profundas do solo (DONATO *et al.*, 2011). Este ecossistema é reconhecido como potencial sumidouro de carbono e a chave para o sequestro de carbono da biomassa e do solo (ADAME *et al.*, 2013; ALONGI, 2014). O sequestro de carbono reforça a manutenção e conservação do manguezal como estratégias para a geração de renda sustentável e alta produtividade (ALONGI, 2002; MCLEOD *et al.*, 2011).

O manguezal vem diminuindo a uma taxa anual de 0,7-3% ocasionado por impactos naturais, humanos e desmatamento (ALONGI, 2002; FAO, 2007; LO *et al.*, 2011). O alto potencial de sequestro de carbono pode ser uma alternativa comercial sustentável (ALONGI, 2011; DONATO *et al.*, 2010; FOURQUREAN *et al.*, 2012; MURDIYARSO *et al.*, 2015). Neste contexto foi que Russell e Greening (2013), estimaram valores de até US\$ 23.000,00 por sequestro de carbono nos manguezais de Tampa Bay, Florida.

A hipótese testada é que o manguezal aporta importantes rendas econômicas para as populações locais a partir dos bens e os serviços ecossistêmicos como a captura e armazenamento de CO₂ converte-se em uma opção econômica complementar. Tem-se, portanto, como objetivo desta pesquisa estimar o valor econômico sazonal dos bens e

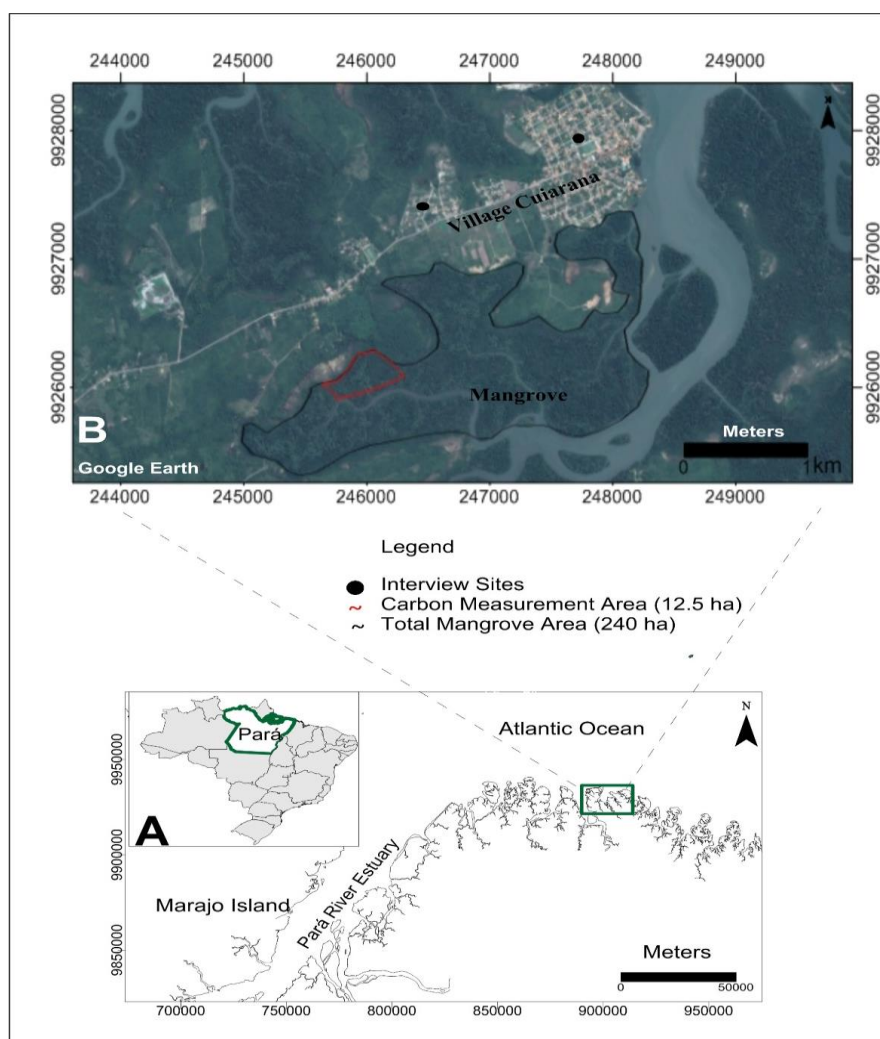
serviços ecossistêmicos a partir da pesquisa dos bens de uso e não uso do manguezal na Amazônia Oriental.

5.2 Material e Métodos

Área de estudo

A área de estudo compreende o manguezal do Sítio Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e a Universidade Federal do Pará (UFPA), localizado na Vila de Cuiarana, no Município de Salinópolis-PA ($0^{\circ} 40' S$ e $47^{\circ} 17' W E$) (Figura 10A, 10B). É uma zona que pertence à mesorregião nordeste paraense e à microrregião do Salgado. O período chuvoso ocorre nos meses de dezembro a maio e o menos chuvoso de junho a novembro.

Figura 10- Área de estudo com (A) Mapa de localização do manguezal, Brasil, Pará, (B) Área experimental na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.



A Análise Econômica Total foi baseada na proposta metodológica de Valor Econômico Total (VET) de Carandang *et al.* (2013), estimando os valores de diferentes usos, classificando bens de uso (produtos marinhos e florestais) e bens de não uso (captura e armazenamento de CO₂). Os bens de uso foram obtidos através de 15 entrevistas realizadas a partir de um inventário dos moradores (100) que tem vínculo direto como o manguezal para sua subsistência, e logo definida uma amostra do 15% segundo Fidelman (2001).

Para a definição dos tipos de usos foram somados os bens usados por mês de cada entrevistado e para o cálculo do valor econômico das atividades extrativistas foram somadas as quantidades de bens por cada entrevistado e multiplicado pelos preços médios no mercado. Os bens de não uso foram obtidos a partir de uma série de dados de fluxos de CO₂ medidos pela Torre Micrometeorológica de 10 metros instalada nas proximidades do manguezal em estudo com auxílio do instrumento EC-150, medido a cada 10 minutos durante o ano de 2016 e calculado os créditos de carbono sazonal e anual.

A análise dos créditos de carbono foi calculada pelo fluxo de CO₂ sazonal e anual a partir do processamento dos dados de alta frequência para a obtenção dos fluxos médios sazonais mediante um balanço de fluxos de CO₂ (fluxos diurnos menos fluxos noturnos), a partir dos fluxos de CO₂ sazonal foi calculada a moeda-certificada do MDL, segundo proposto por Mattos-Fonseca (2010). O cálculo compreende as conversões de unidades dos fluxos de CO₂ ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) para a unidade considerada como emissão dos CERs (TCO₂e/ha/ano) e logo a moeda – certificada.

Para o cálculo da moeda – certificada do MDL (CERs), converteu-se o valor médio do balanço de carbono ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Assim, μmol para grama, tomando em conta a massa molar do CO₂, em seguida a conversão para $\text{gramas.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, efetuou-se a conversão de segundos para um ano e de m^3 para hectare para chegar ao valor em TCO₂e/ha/ano. Isto gerou um balanço de dióxido de carbono equivalente por hectare e depois calculados os créditos de carbono segundo a modalidade LULUCF – MDL (Land use and Change Forest) do Protocolo de Quioto para 20 anos.

O resultado do balanço de CO₂ foi multiplicado por 15.000 hectares (projeto LULUCF - MDL) e por 20 anos. O resultado foi multiplicado pelo preço do crédito carbono (em Reais ou Dólares) e dividido entre 15.000 hectares e logo dividido entre 20 anos (prazo) para conhecer a renda por hectare. Para a quantificação do carbono orgânico armazenado no solo foram utilizados os teores de Carbono Orgânico (CO) medidos em nove parcelas

de 20 x 20m até a profundidade de 20 cm e aplicada a fórmula de Kauffman e Donato (2012):

$$C. O \text{ (Mg. ha}^{-1}\text{)} = DR(\text{g. cm}^{-3}) * I. A \text{ (cm)} * \%C$$

Onde,

C.O= Carbono no solo;

DR= Densidade Relativa;

I.A= Intervalo de Amostragem;

%C=Porcentagem de Carbono.

Analises de dados

Para calcular as toneladas de carbono equivalente foram utilizados os teores médios de carbono orgânico por hectare por ano no período chuvoso e menos chuvoso e multiplicados pelo fator de conversão 3,67 (relação do peso molecular do CO₂ é 44 e do carbono 12 = 3,67) de acordo com o IPCC (2013). O valor desta relação foi multiplicado pelo preço do crédito de carbono para calcular a renda por carbono armazenado. O preço do crédito de carbono dependerá do mercado definido. Neste estudo foi adaptado o preço de US\$ 20,00 (R\$ 63,526) por crédito de carbono baseado em uma faixa de preços do WORLD BANK GROUP (2017), com a taxa cambial na data 08/08/2017 de R\$ 3,1763 por Dólar americano no site do Banco Central do Brasil.

O VET foi calculado a partir da somatória dos valores econômicos dos bens (uso direto) e os valores estimadas pelos créditos de carbono pela captura e armazenamento do carbono no solo (uso indireto) e multiplicada por 12,5 hectares correspondente ao tamanho do manguezal estudado.

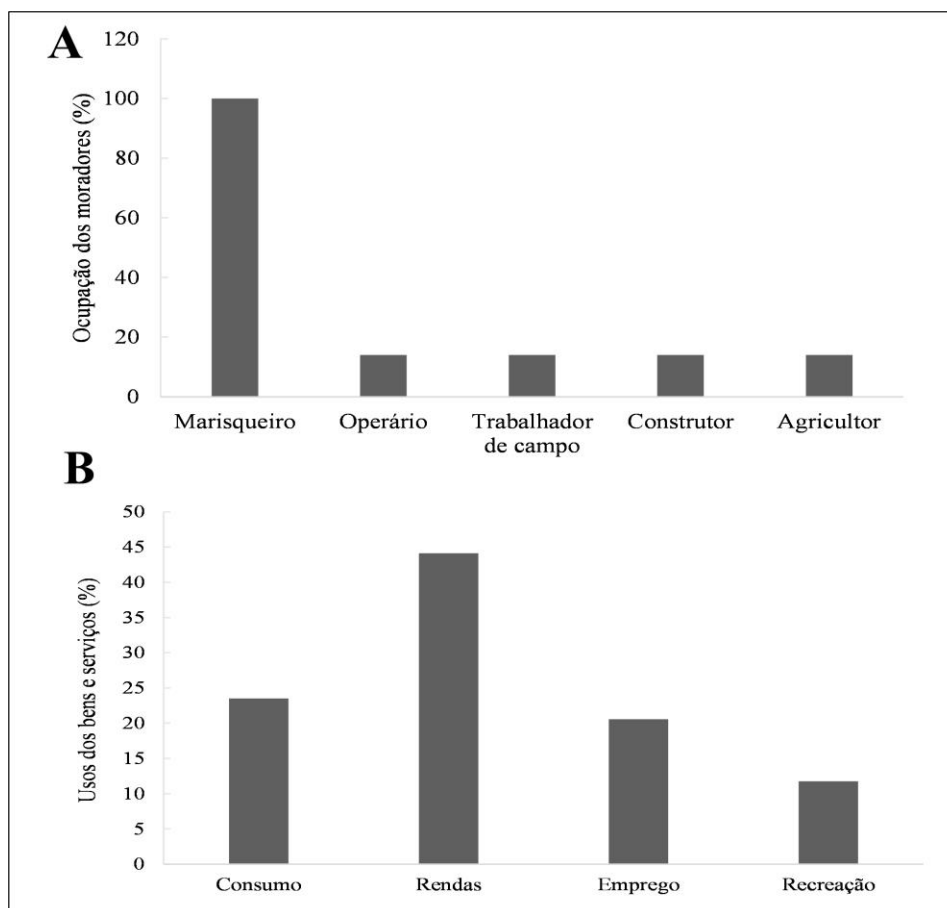
A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para determinar as diferenças estatísticas dos produtos e serviços nos períodos chuvoso e menos chuvoso e o teste de Tukey 5% foi realizado para determinar diferenças entre os períodos. Os bens e serviços ecossistêmicos foram analisados por método de Componentes Principais (CP). A CP analisou o indivíduo como classificação de importância (meses) para nove bens diferentes e dois serviços com o software SPSS (versão 22). Com esta análise estatística foram identificados os bens utilizados e os serviços valorizados por todos os moradores por mês no transcurso do ano de 2017. Os dois primeiros componentes representaram 50,1% e 26,1% das variações, respectivamente.

5.3 Resultados e Discussões

5.3.1 Aspectos Socioeconômico da Comunidade

Em média, as famílias na Vila de Cuiarana estão constituídas por 6 membros que podem variar de um mínimo de 2 e um máximo de 10 pessoas. Os filhos em idade escolar estão cursando o ensino fundamental e médio em escolas da Vila e do município de Salinópolis. Conforme a Figura 11, as famílias na Vila de Cuiarana estão envolvidas em cinco atividades econômicas, a qual a marisqueira apresenta maior ocupação da comunidade e que constitui a principal fonte de sustento, devido as condições socioeconômicas precárias no local.

Figura 11- Benefícios econômicos do manguezal. A) Atividades econômicas dos moradores, B) Usos dos manguezais da Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.



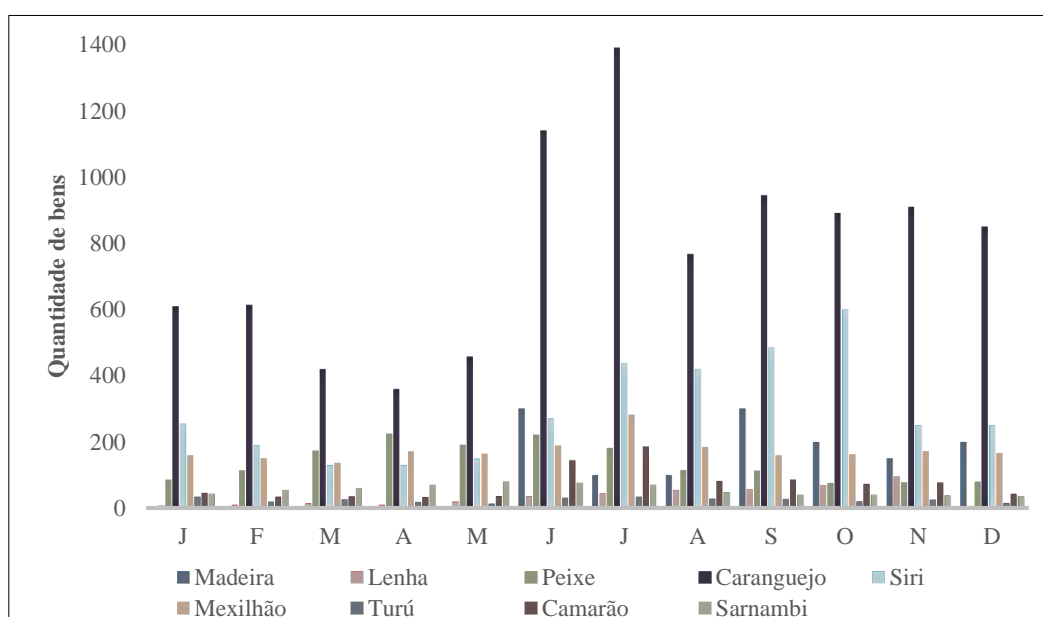
Estes resultados estão em concordância com Carvalho (2016), quando estudando a dinâmica socioeconômica na Vila de Cuiarana, através de entrevistas aos moradores, encontrou que a maioria dos entrevistados (70%) afirmou necessitar de uma fonte complementar de renda, a qual, em geral, se dá pelo trabalho na agricultura (25%), ou

ainda na construção civil, como pedreiro (15%), ou na pesca (15%). Além disso, 45% dos entrevistados indicaram que trabalham no manguezal por volta de duas vezes ao mês, apresentando maior frequência na época de veraneio. Cerca de 35% adentram o manguezal de três a cinco vezes por semana, e nos outros dias realizam as demais atividades complementares na procura de maior renda. Freire (2018), em sua pesquisa encontrou que a renda per capita média do município de Salinópolis cresceu 141,39% nas últimas duas décadas, passando de R\$ 165,12 em 1991, para R\$ 398,58 em 2010. Isso equivale a uma taxa média anual de crescimento nesse período de 4,75%.

5.3.2 Benefícios diretos: bens do manguezal

Na análise temporal das quantidades e tipos de bens do manguezal (Figura 12), nota-se que os produtos extraídos estão representados por nove categorias entre produtos florestais e marinhos: madeira, a lenha, o peixe, o caranguejo (*Ucides cordatus*), o siri (*Calinectes sp.*), o mexilhão (*Limnoperma fortunei*), o Turú (*Teredo sp.*), o Camarão (*Litopenaeus schmitti*) e o Sarnambi (*Lucina pectinata*) que são obtidos durante todo o ano. Entre os nove produtos, o caranguejo que se caracteriza pela abundância e demanda comercial. A maior quantidade extraída dos produtos, ocorrem no período menos chuvoso. O caranguejo é o produto que é extraído com maior frequência e em maior quantidade pelas famílias principalmente para a venda.

Figura 12- Variação temporal da quantidade de extração dos bens do manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

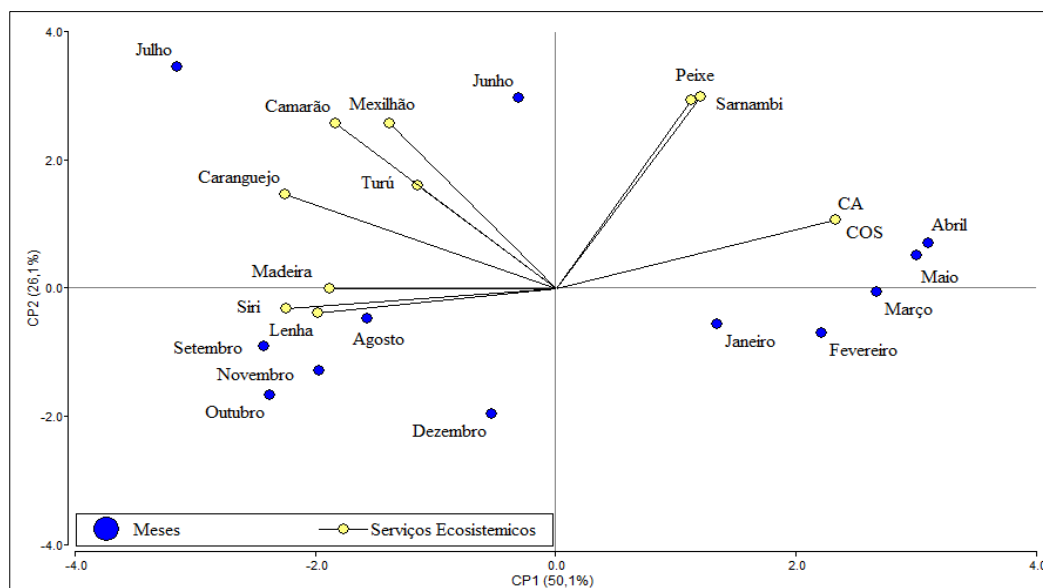


O caranguejo é o produto extraído para fins comerciais com maior frequência e quantidade pelas famílias. É o segundo maior crustáceo dos manguezais brasileiros, e um dos recursos mais explorados comercialmente nas regiões norte e nordeste do Brasil (PINHEIRO *et al.*, 2005). Este argumento é concordante com diversos estudos que indicam que é um recurso econômico e de subsistência em todas as áreas de manguezal no Brasil (ALVES; NISHIDA, 2002; GLASER; DIELE, 2004). Em Bragança, nordeste paraense, o caranguejo é coletado e vendido por 42% da população e é responsável por 38% da renda local (GLASER, 2003).

A atividade de mariscagem, com captura de caranguejo, siri, mexilhão, sarnambi e a pesca de camarão, agregando um ganho médio entre R\$ 300,0 a 500,0 por mês, considerando a sazonalidade e o período defeso do marisco (FREIRE, 2018).

A figura 13 apresenta os componentes principais da importância mensal dos bens e serviços ecossistemas do mangue. Com 76,2% da variância total (CP1/CP2), as variáveis caranguejo, siri, lenha, madeira, camarão, mexilhão e turkey apresentam as correlações negativas e os meses associados a essas variáveis são os meses menos chuvosos (Julho, Agosto, Setembro, Outubro, Novembro). O carbono atmosférico (CA) e carbono orgânico no solo (COS), Sarnambi e Peixes apresentam as correlações positivas e os meses associados são os meses dos períodos chuvosos (Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio). Este resultado poderia estar favorecido pelas condições ambientais resultados das precipitações e maiores alturas da maré contribuindo na captura do carbono.

Figura 13- Componentes Principais (CP) da importância mensal dos bens e serviços ecossistêmicos do manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.



Nesta zona a cerca de 90% da precipitação se distribuem nos seis primeiros meses do ano que representa a época chuvosa (MORAES *et al.*, 2005). Esta argumentação está em concordância com Mcleod e Salm (2006), argumentam que com a diminuição nas taxas de precipitação diminui a produtividade do mangue pelo efeito em seu crescimento e sobrevivência do manguezal.

A tabela 9 apresenta o valor econômico estimada por hectares por ano pela retirada direta de bens do manguezal, equivalente a aproximadamente R\$ 75.033,5 (US\$ 24,286.6), mas com a contribuição de 35% do mexilhão, 13% do camarão, 12% do caranguejo, 12% do sarnambi e o restante dos bens com 28%. A sazonalidade influencia os bens do manguezal de modo a apresentar os maiores rendimentos econômicos de 61% do total anual no período menos chuvoso, com as maiores rendas com o mexilhão (31%), o camarão (16%) e o caranguejo (13%). Na estação chuvosa, os produtos de maior valor são: o mexilhão (41%), o sarnambi (17%), o peixe (12%) e o caranguejo (11%).

Tabela 9-Valor econômico da atividade extrativista no manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

Bens Usados	Unidades Medida	Q Total	Q C	Q MC	Valor Médio (\$)	R (R\$) Total	R (R\$) Chuvoso	R (R\$) MC
Madeira	Metros	675.0	100.0	575.0	10	6.750,0	1.000,0	5.750,0
Lenha	Unidades	212.0	33.0	179.0	1	212.0	33.5	178.5
Peixe	Kg	824.0	432.0	392.0	8	6.592,0	3.460,0	3.132,0
Caranguejo	Unidades	4.678	1.655,0	3.023,0	2	9.356,0	3.311,0	6.045,0
Siri	Unidades	1.784,0	552	1.232,0	3	5.352,0	1.656,0	3.696,0
Mexilhão	Lata	1.046,5	483.0	564.0	25	26.162,5	12.087,5	14.075,0
Turú	Lata	143.5	62.0	82.0	15	2.152,5	930.0	1.222,5
Camarão	Kg	437.0	114.0	323	22	9.614,0	2.508,0	7.106,0
Sarnambi	Lata	327.0	172.0	156.0	27	8.842,5	4.630,5	4.212,0
Renda ha/R\$						75.033,5	29.616,5	45.417,0

Q/Quantidade, MC/menos chuvoso, R/renda, R\$/ Reais.

Barbier (2000) e Ronnback (1999), estimaram o valor de mercado anual dos crustáceos, moluscos, camarão, e peixes, que dependem direta ou indiretamente do manguezal durante seu ciclo de vida e o valor dos manguezais, associado à sua função de suporte (ex. produção primária, biodiversidade, ciclo dos nutrientes), variou entre US\$ 750,0 a 16.750,0 por hectare por ano e os resultados confirmam que é justamente no período menos chuvoso, mais especificamente, no mês de julho, que a maioria dos entrevistados (55%) mais frequenta os manguezais para extração de seus produtos.

5.3.3 Benefícios indiretos: captura e armazenamento do carbono

Na tabela 10 observa-se que no período chuvoso ocorre a maior captura de CO₂ atmosférico com 32,3 TCO₂e/ha/ano e 28,4 TCO₂e/ha/ano no período menos chuvoso, com total anual capturado de 60,7 TCO₂e/ha/ano.

Tabela 10- Balanço dos fluxos de CO₂ e os cálculos dos créditos de carbono no manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

Períodos	Dia	Noite	Balanço (F _{cc} μmol.m ⁻² .s ⁻¹)	TCO ₂ e/ha/ano
Chuvoso	-7,2	3,1	-4,1	32,3
Menos chuvoso	-6,7	2,1	-4,6	28,4
Total	-	-	-	60,7

Fonte: LBA

Este resultado difere do encontrado por Mattos-Fonseca (2005), no manguezal de Itaipu, Rio de Janeiro que reporta 76,09 TCO₂e/ha/ano de carbono atmosférico capturado. Kairo *et al.* (2009), estudando um trecho de manguezal no Quênia com dominância de *Rhizophora mangle* L. mostraram que o sequestro de carbono foi equivalente 53,3 TCO₂e/ha/ano corroborando os valores registrados nesta pesquisa.

A tabela 11 demonstra a análise econômica dos créditos de carbono em base aos projetos LULUCF- MDL em 15.000 ha, este cálculo sugere um cenário a 20 anos e tendo como referência as 60,7 TCO₂e/ha/ano (60,7 certificados/créditos) retiradas pelo manguezal por hectare assumindo preços de R\$ 63.526 (US\$ 20) por tonelada de carbono. O valor econômico calculado correspondeu a R\$ 3.857,30 (US\$ 1,214.4) por hectare por ano.

Tabela 11-Valor Econômico do Crédito de Carbono pela captura de carbono atmosférico no manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

Variáveis	Periodo chuvoso	Periodo menos chuvoso	Total
TCO ₂ e/ha/ano	32.3	28.4	60.7
TCO ₂ e/ha/ano (15.000ha)	9696.000,0	8520.000,0	18216.000,0
R\$/15.000ha (20 anos)	615948.096,0	541241.520,0	1157189.616,0
US\$/15.000ha (20 anos)	193920.000,0	170400.000,0	364320.000,0
R\$ ha/ano	2.053,2	1.804,1	3.857,0
US\$ ha/ano	646,4	568,0	1,214,4

CER = US\$ 20,0 (R\$ 63,526), TCO₂e= toneladas de carbono equivalente R\$= Reais brasileiros, US\$= Dólares americanos.

A tabela 12 demonstra a análise econômica dos créditos de carbono pelo armazenamento de carbono tendo como referência as 216,8 TCO₂e/ha/ano ou (certificados/créditos) armazenadas por hectare assumindo preços de R\$ 63,526 (US\$ 20) por tonelada de carbono equivalente. O valor econômico calculado correspondeu a R\$ 13.770,1 (US\$ 4,335.2) por hectare por ano, dos quais o 63% correspondeu ao período chuvoso.

Tabela 12- Valor Econômico do Crédito de Carbono pelo armazenamento de carbono no solo do manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

Períodos	tC /ha/ano	Fator de Conversão	TCO ₂ e /ha/ano	P.C R\$	V.E R\$	V.E US\$
Chuvoso	37,3	3,67	136,9	63,53	8.696,9	2,738.1
Menos chuvoso	21,8	3,67	79,8	63,53	5.073,1	1,597.2
Total	59,1	-	216,8	-	13.770,0	4,335.3

tC/ha/ano= toneladas de carbono orgânico, TCO₂e/ha/ano = toneladas de carbono equivalente por hectare por ano, P.C. Preço do carbono, V.E. Valor Econômico.
R\$= Reais brasileiros, US\$= Dólares americanos.

Para Donato *et al.* (2011), os solos são os mais decisivos para o destino do carbono nos manguezais ao armazenar até 98% do carbono. Kairo *et al.* (2009), assumindo preços de US\$10 por tonelada de carbono estimaram que o manguezal de Gazi Bay, Quênia, gerou uma renda de US\$ 533.0 por hectare.

5.3.4 Valor Econômico Total do manguezal

A tabela 13 mostra o Valor Econômico estimada para 12,5 hectares referente a área de estudo. O maior valor econômico no ecossistema corresponde aos bens com R\$ 75.033,5 (US\$ 24,286.7), o serviço, armazenamento de CO₂ no solo representa R\$ 13.770,1 (US\$ 4,335.2) e a captura de carbono atmosférico R\$ 3.857,1 (US\$ 1,214.3) por hectare por ano. O Valor Econômico na área total estudada (12.5 ha) correspondeu a R\$ 986.132,50 (US\$ 310,465.8).

Tabela 13-Valor Econômico Total no manguezal na Vila de Cuiarana, Salinópolis, Pará, Brasil.

Bens e serviços	Valor Econômico R\$/ha/ano	Área estudada ha	Valor Econômico Total (R\$)
Bens do manguezal	75.033,5	12,5	937.918,7
Carbono atmosférico	3.857,1	12,5	48.213,7
Carbono no solo	13.770,1	12,5	96.559,5
Total	92.660,6	-	986.132,50

Salem e Marcer (2012), estudando bens e serviços econômicos dos manguezais em diferentes continentes (África, Ásia e América) concluíram que 1 hectare de mangue gera US\$ 30,864.0 por ano em bens de marisqueira (peixes, conchas, moluscos, camarões) e florestais e US\$ 4,265.0 por captura de carbono. Russell e Greening (2013), estimaram valores de até US\$ 23,000.0 por sequestro de carbono nos manguezais de Tampa Bay, Florida. Constanza *et al.* (1997), reportou um VET de serviços ecossistêmicos em manguezais de US\$ 9,990.0 ha/ano.

Valores de bens e serviços inferiores foram demonstrados por Brander *et al.* (2012), quando registraram o valor de US\$ 4,185.0 ha/ano para um manguezal no sudeste asiático e de US\$ 685.8 a 1,038.7 ha/ano para diferentes usos no manguezal em Palawan and Bohol, Philippines (CARANDANG *et al.*, 2013).

5.3.5 Perspectivas dos moradores sobre o ecossistema manguezal

Os entrevistados em 100% consideram que o manguezal é muito importante em seus meios de vida (100%). Além disso, os moradores percebem que o manguezal está pouco conservado e comentam que a atividade extrativista pode ser uma das principais causas da mudança no ambiente. Eles mencionaram que a conservação do manguezal é fundamental para o bem-estar da população local e consideram importante a implementação de estratégias de conservação, como por exemplo o pagamento por bens e serviços ecossistêmicos (PSA).

Nos últimos anos, observou-se um número crescente de negócios de PSA no Brasil. Vários estados e municípios estabeleceram programas de PSA. Esta argumentação é abordada por Mattos *et al.* (2012), em pesquisas nos manguezais do estado do Rio grande do Norte verificaram que a proximidade dos usuários com os recursos naturais confere uma habilidade em observar mudanças diárias no ecossistema.

Há também um número crescente de programas de pagamento por serviços de sequestro de carbono ou no caso ingressar ao mercado dos créditos de carbono. No Brasil as emissões de certificados de emissões reduzidas, dependem da aprovação dos projetos pela Comissão Interministerial de Mudanças global do Clima (CIMGC), estando vinculadas as reduções que já foram efetivamente constatadas. Quando os projetos são registrados passa por uma fase de monitoramento, no caso o participante coleta os dados necessários para o cálculo da emissão de gases de efeito estufa (GEE), logo estes projetos são submetidos a auditorias independentes para sua verificação. Assim, o conselho

executivo emite os certificados de emissões reduzidas - CERs, para creditar aos participantes no Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

Para LIMIRO (2009), o potencial brasileiro para participação no mercado de carbono é grande, pois segundo o Banco Mundial, o Brasil tem capacidade para conquistar cerca de 10% do mercado mundial de carbono. Isso pode ser representado pelo fato de ser pioneiro no registro do primeiro projeto de MDL no Conselho Executivo da Organização das Nações Unidas (ONU), em novembro de 2004.

5.4 Conclusões

O manguezal é um ecossistema economicamente estratégico de muita importância para as famílias litorâneas que tem uma economia de subsistência ao proporcionar bens de alta demanda para o consumo das famílias e alto valor no mercado, durante o ano todo, mas com maior destaque no período menos chuvoso da região no caso dos bens foram estimadas rendas por R\$ 75.033,5.

As estimativas da capacidade de captura de carbono atmosférico e armazenamento no solo do manguezal têm evidenciado superioridade quando comparados com outros ecossistemas, permitindo que seja um ecossistema de valor econômico local e global, podendo ser proveitoso para os mecanismos dos CERs e converter-se em uma fonte econômica complementar. Foram estimadas rendas de R\$ 3.857,1 pela captura de carbono atmosférico e R\$ 13.770,1 pelo armazenamento no solo, evidenciando a importância do solo como o sumidouro mais importante no ecossistema.

CAPITULO 6 DISCUSSÃO GERAL

6.1 Resultados chaves

Nos três estratos de vegetação estudados foram registradas 231 árvores, distribuídas em três espécies, *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn e *Avicennia germinans* (L.) Stearn. Os parâmetros fitossociológicos foram representativos para *Rhizophora mangle* L. nos três estratos, a exceção da área basal que foi menor no estrato jovem. *Avicennia germinans* obteve a maior correlação positiva com o carbono no solo de 0,72 no período chuvoso e 0,53 no período menos chuvoso.

Na pesquisa ficou comprovado a produtividade do manguezal quando comparada com outros ecossistemas, esta característica biológica também foi observada no carbono orgânico quando provado que o solo de mangue armazena teores de 79,0 e 86,5 toneladas no período chuvoso favorecido pela a presença de as maiores precipitações e alturas da maré incrementando a umidade favorecendo o incremento (folhas) e decomposição do material orgânico além do incremento da atividade dos microorganismos no solo.

Quanto os resultados das emissões de dióxido de carbono do solo para a atmosfera confirmam que o solo dos manguezais e um sumidouro importante pelas baixas emissões quando comparadas com outros ecossistemas que liberou em média 11,7 toneladas de dióxido carbono, quantidade inferior aos teores emitidos por florestas de terra firme.

Socioeconomicamente o ecossistema de mangue também joga um papel destacado na economia dos moradores de Cuiarana. Os aportes dos para a economia das famílias se estimaram em 75.033,50 mil reais em bens extraídos, além de isso nesta pesquisa se abordam os valores do serviço ecossistêmico sequestro de carbono atmosférico estimado em 60,7 toneladas de carbono equivalente por hectare por ano e que segundo a metodologia dos projetos LULUCF- MDL estimasse em um aporte por ano de 17.627,15 reais por hectare por ano, valor que pode varia em função dos preços internacionais do carbono. Também nesta pesquisa foi considerado o estoque de carbono no solo na estimação do carbono equivalente e o cálculo dos créditos de carbono respectivamente encontrando-se 216,7 toneladas de carbono equivalente por hectare por ano o que significa uma renda de 13.770,05 reais.

6.2 Prioridades para pesquisas futuras

Os elementos químicos no solo, nesta pesquisa apenas são abordados em seus teores totais pelo que é pertinente pesquisar o fracionamento dos elementos principais nos sedimentos, para ter maior compreensão sobre a dinâmica geoquímica neste ecossistema e a influência nos estoques de CO₂. A biomassa aérea do ecossistema é um aspecto não abordado na pesquisa porém não sabemos a quantidade de carbono armazenado na biomassa; esta estimativa esteve limitada pelo fato que estes manguezais estão protegidos por lei e resolução CONAMA Nº04/1985 (BRASIL, 1985 e 1965), para assegurar a manutenção do recurso e avaliações em longo prazo, que eram pontos relevantes antes da promulgação do novo código florestal.

A partir do impedimento na eliminação de espécies poderia ser válida a pesquisa de equações alométricas usadas em investigações desenvolvidas em manguezais próximos a Cuiarana para estimar o carbono na biomassa aérea.

O análise socioeconômico do ecossistema precisa de profundidade em seus bens e serviços que nesta pesquisa apenas é abordada a captura de dióxido de carbono atmosférico e o armazenamento de carbono no solo, no entanto os manguezais apresentam uma diversidade de serviços para as comunidades locais e a sociedade que podem ser considerados em futuras pesquisas.

6.3 Considerações finais

Esta pesquisa gerou informação do ecossistema que poderia ser útil na formulação de proposta para seu manejo e sua conservação que é fundamental para garantir os meios de vidas das famílias locais além dos benefícios para o médio ambiente baseada nas espécies de manguezal da vila de Cuiarana, Salinópolis composta por 3 espécies, *Rhizophora mangle* L. *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. *Avicennia germinans* (L.) Stearn. Os conteúdos de carbono atmosférico capturado e o CO₂ armazenado é maior quando comparado com outros ecossistemas convertendo-se em um ecossistema chave frente à ameaça do aquecimento global, aproveitando sua alta produtividade, sequestrando entre 5 e 10 vezes, mas que outras florestas, e apresenta baixas emissões de carbono.

Importante ressaltar a importância do ecossistema nas rendas das famílias no ano todo, foi possível identificar que no período menos chuvoso a extração de espécies é importante facilitado pelas condições ambientais favoráveis e o período chuvoso diminui a captura

das espécies e extração de bens mais incrementa a captura do CO₂ pelas plantas e o armazenamento no solo, a maior eficiência das árvores na fixação do gás carbônico é devido as maiores precipitações, maiores alturas das maré e a consequente diminuição dos conteúdos de salinidade.

Este resultado que o manguezal ademais de gerar bens pode ser explorado como uma fonte alternativa de geração de rendas aproveitando sua alta produtividade, através do mercado dos créditos de carbono que mesmo representado menor renda em comparação com os bens pode se garantir um manejo mais sustentável. No entanto a nível institucional é necessário elaborar políticas de gerenciamento desse ecossistema que permita avaliar os benefícios desprezados dos manguezais e dessa forma, conhecer o valor econômico dos manguezais torna-se imperativo para orientar as tomadas de decisões quanto às diferentes alternativas para o seu uso.

É importante trabalhar na valoração y compreensão dos bens e serviços que geram para a comunidade, muitos destes recursos são subvalorizadas ocasionando rapidamente degradação pelo homem. Os resultados desta pesquisa podem ser úteis para as autoridades e a mesma comunidade nos processos de toma de decisões de estratégias de conservação, alternativa econômica sustentável, estratégias de adaptação a mudanças climáticas y restauração do ecossistema.

REFERÊNCIAS

- ADAME, M.F.; TOVILLA, N.S.; VÁZQUEZ-LULE, C. A.; CASTRO, L.; GUEVARA, M. Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. **Biogeosciences**, v. 12, p. 3805–3818, 2015. doi:10.5194/bg-12-3805-2015
- ADAME, M.F.J.B.; KAUFFMAN, I.; MEDINA, J.N.; GAMBOA, O.; TORRES, J.P.; CAAMAL, M.; REZA, J.A.; HERRERA-SILVEIRA. Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean. **PLOS ONE**, v.8, p.1-13, 2013.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (q CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993. doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7
- ALMEIDA, S. S.; OVERAL, W. L.; MASCARENHAS, B. M.; GUIMARÃES, D. G. Flora e vegetação na microrregião do Salgado Paraense: o caso da folha Salinópolis, Estado do Pará. In: WORKSHOP ECOLAB, 6., 2002, Belém. **Anais...** Belém: [s.n], 2002. p. 70-100.
- ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangrove forests. **Environmental Conservation**, v.29, p.331–349, 2002. doi.org/10.1017/S0376892902000231
- ALONGI, D. M. Carbon payments for mangrove conservation: ecosystem constraints and uncertainties of sequestration potential. **Environmental Science & Policy**, v.14, p.462-470, 2011. doi.org/10.1016/j.envsci.2011.02.004
- ALONGI, D.M. Carbon sequestration in mangrove forests. **Carbon Management**, v. 3, p. 313–322, 2012. doi: 10.4155/cmt.12.20
- ALONGI, D.M. Carbon cycling and storage in mangrove forests. **Annual Review of Marine Science**, v. 6, p. 195–219, 2014. doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020
- ALVES, R. R. N.; NISHIDA, A. K. A Ecdise do Caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* L. (DECAPODA, BRACHYURA) na Visão dos Caranguejeiros. **Interciência**, v.27, p.110 – 117, 2002.
- AMANAJÁS, J.C.; BRAGA, C.C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p.423 – 434, 2012.
- ATTRI, K.; KERKAR, S.; LOKABHARATHI, P.A. Ambient iron concentration regulates the sulfate reducing activity in the mangrove swamps of Diwar, Goa, India. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.95, n.1, p.156-164, 2011. org/10.1016/j.ecss.2011.08.030
- BALTZER, F. La sedimentation et la diagenèse précoce sur les côtes à mangroves. Cah. ORSTOM, **Géologia XII**, p. 175-189, 1982.

BARBIER, E.B. Valuing the environment as input: review of applications to mangrove-fishery linkages. **Ecol. Econ**, v.35, p.47–61, 2000.

BARBIER, E. B.; HACKER, S. D.; KENNEDY, C.; KOCH, E. W.; STIER, A. C.; SILLIMAN, B. R. The value of estuarine and coastal ecosystem services. **Ecological Monographs**, v.81, n.2, p 169-193. 2011.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R. Inventário de carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.5, p.59-68, 2003.

BASTVIKEN, D.; COLE, J.; PACE, M.; TRANVIK, L. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. **Global Biogeochemical Cycles**, v.18, p.1-12, 2004. doi:10.1029/2004GB002238

BARRETO, M. B.; MÓNACO, S. L.; DÍAZ, R.; BARRETO-PITTOL, E.; LÓPEZ, L.; PERALBA, M. D. C. R. Soil organic carbon of mangrove forests (*Rhizophora* and *Avicennia*) of the Venezuelan Caribbean coast. **Organic Geochemistry**, v.100, p.51-61, 2016. doi:10.1016/j.orggeochem.2016.08.002

BEHLING, H.; COHEN, M.C.; LARA, R.J. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in north-eastern Pará, Brazil. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.** v.167, p.225–242, 2001. doi:10.1016/S0031-0182(00)00239-X

BERRÊDO, J. F.; COSTA, M. L. da; VILHENA, M. D. P. S. P.; SANTOS, J. T. dos. Mineralogia e geoquímica de sedimentos de manguezais da costa amazônica: o exemplo do estuário do rio Marapanim (Pará). **Revista Brasileira de Geociências**, v.38, n.1, p.24-35, 2008.

BERNINI, E.; REZENDE, C. E. Variação estrutural em florestas de mangue do estuário do rio Itabapoana, ES-RJ. **Biotemas**, v. 23, p. 49–60, 2010.

BERNINI, E.; SILVA, M.A.B. da; CARMO, T.M.S. do; CUZZUOL, G.R.F. Spatial and temporal variation of the nutrients in the sediment and leaves of two Brazilian mangrove species and their role in the retention of environmental heavy metals. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.22, n.3, p.177-187, 2010.

BERNINI, E.; CHAGAS, T.; LAGE-PINTO, F.; CALEGARIO, G.; EDUARDO, C.R. Phytosociology and litterfall in the mangrove estuary of the Itabapoana river, Southeast Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 9, p. 88-102, 2014.

BONAN, G. B. Atmosphere-biosphere exchange of carbon-dioxide in boreal incoming, solar radiation and daily maximum and minimum temperatures. **Journal of Geophysics Research**, v.14, p.7301–7312, 1991.

BOND-LAMBERTY, B.; THOMSON, A. global database of soil respiration data. **Biogeosciences**, v.7, n.6, p.1915–2010, 2010.

BRANDÃO, E. J. O ecossistema manguezal: aspectos ecológicos e jurídicos. **Revista de Curso de Direito**, v.1, n.2, p.1-16, 2011.

BRANDER, M.L.; WAGTENDONK, A.J.; HUSSAIN, S.S.; MCVITTIE A.; VERBURG, P.H.; GROOT, R.; VAN DER PLOEG, S. Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: A meta-analysis and value transfer application. **Ecosystem Services**, v.1, p.62–69, 2012. doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.003

CARVALHO, E. A. **Caracterização estrutural e ambiental de bosques de mangue da costa paraense, como subsídios à conservação e qualidade de vida**. 2016. 114.f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

CARANDANG, A.P.; CAMACHO, L.D.; GEVAÑA, D.T.; DIZON, J.T.; CAMACHO, S.C.; DE LUNA, C.C.; PULHIN, F.B.; COMBALICER, E.A.; PARAS, F.D.; ROSE JANE, J.; REBUGIO, P.L.L. Economic valuation for sustainable mangrove ecosystems management in Bohol and Palawan, Philippines, **Forest Science and Technology, Forest Science and Technology**, v.9, p.118–125, 2013. doi.org/10.1080/21580103.2013.801149

CASTRO, F. T. C.; ARAUJO, R. C. P.; SOUZA, H. C. Valoração econômica dos usos diretos do ecossistema manguezal: o caso da foz do rio Jaguaribe. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA (SOBER), 48., 2009, Campo Grande, **Palestra**. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/15/893.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2016.

CARVALHO, E. A.; JARDIM, M. A. G. Composição e estrutura florística em bosques de manguezais paraenses, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, p.923-930, 2017.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBURQUERQUE, J.A. Matéria Orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciências Rural**, v.33, p.1161-1164, 2003.

COSTA, F. DE S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008.

COSTANZA, R.; GROOT, R. de; SUTTON, P.; VAN DER PLOEG, S.; ANDERSON, S.J.; KUBISZEWSKI, I.; FARBER, S.; TURNER, R.K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v.26, p.152–158, 2014. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; GROOT, R. de; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; RASKIN, R. G. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v.387, n.6630, p.253, 1997.

CUNHA, S. R. D.; TOGNELLA-DE-ROSA, M. M. P.; COSTA, C. S. B. Structure and litter production of mangrove forests under different tidal influences in Babitonga Bay, Santa Catarina, southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 1169-1174, 2006.

CHAUDHARI, S.H. P.; PEJAVAR, M. Natural Carbon sequestration by dominant mangrove species *Avicennia marina* var. *acutissima* ex Staf & Moldenke ex Moldenke found across Thane creek, Maharashtra, India. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 6, v.2 p.1162-1165, 2015.

CHAIKAEW, P.; CHAVANICH, S. Spatial variability and relationship of mangrove soil organic matter to organic carbon. **Applied and Environmental Soil Science**, v, 2017, p.1-9, 2017. doi:10.1155/2017/4010381

DAS, S.; GANGULY, D.; RAY, R.; JANA, T.K.; KUMAR, T. Microbial activity determining soil CO₂ emission in the Sundarban mangrove forest, India. **Tropical Ecology**, v.58, n.3, p.525–537, 2017.

DINERSTEIN, E.; OLSON, D.; GRAHAM, D.; WEBSTER, A.; PRIMM, S.; BOOKBINDER, M.; LEDEC, G. **A conservation assessment of the terrestrial eco-regions of Latin America and the Caribbean**. Washington, DC: The World Bank and World Wildlife Fund, 1995.

DITTMAR, T.; HERTKORN, N.; KATTNER, G.; LARA, R. J. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. **Global Biogeochem**, v.20, p.GB1012, 2006. doi:10.1029/2005GB002570, 2006

DIVISION OF ENVIRONMENTAL POLICY IMPLEMENTATION (UNEP). **The importance of mangroves to people: a call to action**. Cambridge: UNEP-WCMC, 2014. Disponível em: http://www.ulb.ac.be/sciences/biocomplexity/pub/UNEP_2014.pdf. Acesso em: 20.06.2017

DOW, K.; DOWNING, T. E. **O atlas da mudança climática: o mapeamento completo do maior desafio do planeta**. Publifolha, 2007.

DOUGHTY, C.L.; LANGLEY, J.A.; WALKER, W.S.; FELLER, I.C.; SCHAUB, R.; CHAPMAN, S.K. Mangrove range expansion rapidly increases coastal wetland carbon storage. **Estuaries and Coasts**, v.39, p.385–396, 2016. doi:10.1007/s12237-015-9993-8

DONATO, D. C.; KAUFFMAN, J. B.; MACKENZIE, R. A.; AINSWORTH, A.; PFLEEGER, A. A. Whole island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. **Journal of Environmental Management**, v.97, p.89-96, 2010. doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.004

DONATO, D. C.; KAUFFMAN, J. B.; MURDIYARSO, D.; KURNIANTO, S.; STIDHAM, M.; KANNINEN, M. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature Geoscience**, v.4, n.5, p.293–297, 2011. doi.org/10.1038/ngeo1123

DUARTE, C.M.; I.J. LOSADA, I.E.; HENDRIKS, I.; MAZARRASA, E N. The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. **Nature Climate Change**, v.3, p.961–968, 2013. doi: 10.1038/nclimate1970

EL-BATTAY, A. Spatial and temporal characterizations of water quality in Kuwait Bay. **Marine Pollution Bulletin**, v. 83, p. 127–131, 2014.

ENGLE, V.D. Estimating the provision of ecosystem services by Gulf of Mexico coastal wetlands. **Wetlands**, v.31, p.179–193, 2011. doi.org/10.1007/s13157-010-0132-9

FERREIRA, E. A. B. **Dinâmica de longo prazo do carbono do solo em sistema de manejo no cerrado**. 2013. 235f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília,DF, 2013.

FERNANDES, M. E. B. **The ecology and productivity of mangroves in the Amazon region, Brazil**. 1997. 214 f. Tese (Doutorado) - University of York, England, 1997.

FERNANDES, D.A.J.; VITORINO, M.I.; SOUZA, P.J.O.P.; JARDIM, M.A.G. Efeito da radiação solar sobre a regeneração natural de manguezal em Cuiarana, Salinópolis, Pará. **RBCIAMB**, n.49, p.108-122, 2018. doi.org/10.5327/Z2176-947820180333

FREIRE, C.A.S. **Análise dos fluxos turbulentos de CO₂ e energia, associada a percepção dos serviços ecossistêmicos em um manguezal amazônico**. 2018.141f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Brasil, 2018.

FIDELMAN, P.I.J. Manguezais do rio Santana, Ilhéus, Bahia: caracterização do sistema (1). **Revista de estudos ambientais, Blumenau**, v.3, p.86-94, 2001.

FIEDLER, S.R.; BUCZKO, U.; JURASINSKI, G.; GLATZEL, S. Soil respiration after tillage under different fertilizer treatments—implications for modeling and balancing. **Soil Till. Res.** v.150, p.30-42, 2015.

FONSECA, S. de M.; DRUMMOND, J. A. Reflorestamento de manguezais e o valor de resgate para o sequestro de carbono atmosférico. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v.10, p.1071-1081, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The world's mangroves** Rome, Italy. 1980-2005. 2007. 89p.

FUNDEADOURO DE SALINÓPOLIS. 2017. Disponíveis em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/boxprevisao/mare/tabuas>. Acesso em: 02 de junho 2018.

FOURQUREAN, J. W.; DUARTE, C. M.; KENNEDY, H.; MARBÀ, N.; HOLMER, M.; MATEO, M. A.; APOSTOLAKI, E.T.; KENDRICK, G.A.; KRAUSEJENSEN, D.; MCGLATHERY, K. J.; SERRANO, O. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. **Nature Geoscience**, v.5, p.505-509, 2012. doi.org/"10.1038/ngeo1477"

GAYOSO, J.; SCHLEGEL, A. **Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono**. Proyecto FONDEF “Captura de Carbono” en Valdivia, Chile, 2001. 15p.

GIRI, C.; OCHIENG, E. L.; TIESZEN, L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using

earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, v.20, p.154-159, 2011. doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x

GOODLAND, R.; DALY, H. Environmental sustainability: universal and non-negotiable. **Ecological Applications**, v.6, p.1002-1017, 1996.

GLASER, M. Interrelations between mangrove ecosystem, local economy and social sustainability in Caeté Estuary, North Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, v.11, p.265–272, 2003. doi.org/10.1023/A:1025015600125

GLASER, M.; DIELE, K. Asymmetric outcomes: Assessing Central Aspects of the Biological, Economic and Social Sustainability of Mangrove Crab Fishery, *Ucides cordatus* (OCYPODIDAE), in North Brazil. **Ecological Economics**, v.49, p.361 – 373, 2004.

HARPER, D.A.T. Numerical Palaeobiology. Computer-Based Modelling and Analysis of Fossils and their Distributions. x+468 pp. Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto. **Geological Magazine**, v.137, p.463-479, 1999. doi:10.1017/S0016756800334410

HERRERA SILVEIRA, J. A.; CAMACHO, R.; PECH, E.; PECH, M. RAMÍREZ, J. R.; TEUTLI H. Y C. Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. **Terra Latinoamericana**, v.34, p.61-72, 2016.

HERZ, R. **Manguezais do Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 1991. 227p.

HOLGUIN, G.; VAZQUEZ, P.; BASHAN, Y. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. **Biology and fertility of soils**, v. 33, n. 4, p. 265-278, 2001. doi:10.1007/s003740000319

HOUGHTON, R. A. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different?. **Global change biology**, v. 9, n.4, p. 500-509, 2003. doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00620.x

HÖFLE, S.; RETHEMEYER, C.; MUELLER, C.W.; JOHN, S. Organic matter composition and stabilization in a polygonal soil of the Lena Delta. **Biogeosciences**, v.10, p.3145–3158, 2013.

INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGES (IPCC). **The science of climate change; contribution of working Group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996. 572 p.

INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGES (IPCC). **Climate change 2001: the scientific basis**. Summary for Policy Makers and Technical Summary of the Working Group I Report. WMO/UNEP. Cambridge University Press, p. 881, 2001.

INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGES (IPCC). **The physical science basis; summary for policymakers**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGES (IPCC). **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [FIELD, C.B., BARROS, V.R. ; DOKKEN, D.J. ; MACH, K.J. ; MASTRANDREA, M.D. BILIR, T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; MacCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE L.L. (eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014. 1132p.

INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGES (IPCC). Coastal wetlands 2013. In: Supplement to the 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [ALONGI, D, KARIM, A, KENNEDY, H, CHEN, G, CHMURA, G, CROOKS, S.(eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. 1142p

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de dados meteorológicos da estação automática de Salinópolis**, 2013. Publishing Physics Web. Publishing Physics Web. Disponível em: www.inmet.gov.br/portail/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf. Acesso em: 20.07.2017.

INSTITUTO BRASIL CARBONO. **Financiamentos, 2012**. Disponível em: http://www.institutocarbonobrasil.org.br/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo__mdl_/financiamentos. Acesso em: 20.06.2017.

JAGTAP, T. G. Seasonal distribution of organic matter in mangrove environment of Goa. **Indian J. Mar. Sci**, v.16, p.103–106, 1987.

JOBAGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, v.10, p.423-436, 2000.

JOYCE, R.J.; JANOWIAK, J.E.; ARKIN, P.A.; XIE, P. CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. **Journal of hydrometeorology**, v.4, p.487-510, 2004.

JONES, T. G.; RATSIMBA, H. R.; RAVAOARINOROTSIHOARANA, L.; CRIPPS, G.; BEY, A. Ecological variability and carbon stock estimates of mangrove ecosystems in Northwestern Madagascar. **Forests**, p.177-205, 2014.

KAUFFMAN, J.; BOONE, D.; DONATO, C. **Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass, and carbon stocks in mangrove forests**. Bogor, Indonesia: CIFOR, 2012.

KAUFFMAN, J.B.; DONATO, D. Protocols for the measurement, monitoring, and reporting of structure, biomass, and carbon stocks in mangrove forests. **Working Paper**, v.86, p.1-40, 2012.

KAUFFMAN, J. B.; HEIDER, C.; NORFOLK, J.; PAYTON, F. Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. **Ecological Applications**, v.24, n. 3, p. 518-527, 2014. doi:10.1890/13-0640.1

KAUFFMAN, J. B.; BERNARDINO, A. F.; FERREIRA, T. O.; GIOVANNONI, L. R.; DE O. GOMES, L. E.; ROMERO, D. J.; RUIZ, F. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. **Biology Letters**, v.14, n.9, 20180208, 2018. doi.org/10.1098/rsbl.2018.0208

KAUFFMAN JB; BERNARDINO AF.; FERREIRA TO.; BOLTON NW.; GOMES LEO.; NO'BREGA GN. Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in Northeastern Brazilian mangroves. **Ecol. Evol.** v.8, p.1–11, 2018. doi:10.1002/ece3.4079

KAIRO, J. G.; WANJIRU, C.; OCHIEWO, J. NET PAY: Economic Analysis of a Replanted Mangrove Plantation in Kenya. **Journal of Sustainable Forestry**, v.28, p. 395–414, 2009. doi.org/10.1080/10549810902791523

KEUSKAMP J. A.; HEFTING M. M.; DINGEMANS B. J. J.; VERHOEVEN J. T. A.; FELLER I. C. Effects of nutrient enrichment on mangrove leaf litter decomposition. **Sci. Total Environmental**, v.508, p.402–410, 2015.

KIM, D.G.; R. VARGAS, B.; BOND-LAMBERTY & M.TURETSKY. Effects of soil rewetting and thawing on soil gas fluxes: a review of current literature and suggestions for future research. **Biogeosciences**, v.9, n.7, p.2459–2483, 2012.

KOCH, B.P.; SOUZA FILHO, P.W.M.; BEHLING, H.; COHEN, M.C.L.; KATTNER, G.; RULLKÖTTER, J.; SCHOLZ-BÖTTCHER, B.; LARA, R.J. Triterpenols in mangrove sediments as a proxy for organic matter derived from the red mangrove (*Rhizophora mangle*). **Org Geochem**, v.42, p.62-73, 2011.

KUZYAKOV, Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. **Soil Biology & Biochemistry**, v.38, p.425-448, 2006.

KJERFVE, B.; LACERDA L.D. Mangroves of Brazil. *In*: LACERDA, L.D (ed.). **Conservation and sustainable utilization of mangrove forest in Latin America and Africa regions**. Part I–Latin America. Okinawa: ITTO/ISME, 1993. 272p. (Mangrove ecosystem technical report, n. 2).

KJERFVE, Björn *et al.* Chapter twenty morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. **Proceedings in Marine Science**, v.4, p. 479-532, 2002.

KJERFVE, B. **Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems**. New Delhi, UNESCO/UNDP, 1990. 72 p.

LACERDA, L. D.; PFEIFFER, C. W.; FISZMAN, M. Intertidal beach sands as monitors for heavy metal pollution in coastal water bodies. **Environmental Technology Letters**, v.6, p.123-128, 1985.

LACERDA, L. D.; ITTEKKOT, V.; PATCHINEELAM, S. R. Biogeochemistry of mangrove soil organic matter: a comparison Between *Rhizophora* and *Avicennia* Soils in South-eastern Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.40, n.6, p.713-720, 1995. doi:0272-7714/95/060713+08 \$08.00/0

LAL, R. Soil erosion and the global carbon budget. **Environment International**, v.29, p.437-450, 2003. doi:10.1016/S0160-4120(02)00192-7

LALLIER-VERGÉS, E.; MARCHAND, C.; DISNAR, J-R.; LOTTIER, N. Origin and diagenesis of lignin and carbohydrates in mangrove sediments of Guadeloupe (French West Indies): Evidence for a two-step evolution of organic deposits. **Chem Geol**, v.255, p.388-398, 2008.

LANG'AT, J. K. S.; KAIRO, J. G.; MENCUCCINI, M.; BOUILLON, S.; SKOV, M. W.; WALDRON, S.; Huxham, M. Rapid losses of surface elevation following tree girdling and cutting in tropical mangroves. **PLoS ONE**, v.9, n.9, p. e107868, 2014.

LEE, X. On micrometeorological observations of surface-air exchange over tall vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.91, p.39-49, 1998.

LIBLIK, L.K.; MOORE, T.R.; BUBIER, J.L.; ROBINSON, S.D. Methane emissions from wetlands in the zone of discontinuous permafrost: Forts Simpson, Northwest Territories, Canada. **Global Biogeochemical Cycles**, v.11, p.485-494, 1997.

LIMIRO, Danielle. **Créditos de Carbono: protocolo de Kyoto e projetos de MDL**. Curitiba, Juruá, 2009.

LOVELOCK, C.E.; FELLER, I.C.; MCKEE, K.L.; THOMPSON, R. Variation in mangrove forest structure and sediment characteristics in Bocas del Toro, Panama. **Caribbean Journal of Science**, v.41, p.456-464, 2005.

LO, M. W.; MOJIOL, A. R.; SALEH, E. Diversity of mangroves ecosystem in Semporna mangrove forest. **Borneo Science**, v.28, p.7-17, 2011.

LOVELOCK, C.E.; ATWOOD, T.; BALDOCK, J.; DUARTE, C.M.; HICKEY, S.; LAVERY, P.S.; MASQUE, P.; MACREADIE, P.I.; RICART, A.M.; SERRANO, O.; STEVEN, A. Assessing the risk of carbon dioxide emissions from blue carbon Ecosystems. **Front Ecol Environ**, v.15, n.5, p.257-265, 2017. doi:10.1002/fee.1491

LUNSTRUM A.; CHEN, L. Soil carbon stocks and accumulation in young mangrove forests. **Soil Biology and Biochemistry**, v.75, p.223-232, 2014. doi:10.1016/j.soilbio.2014.04.008

MARTINS, F.R.; MARTTHES, L.A.F. Respiração edáfica e nutrientes na Amazônia (Região de Manaus): Floresta Arenícola, Campinarana e Campina, **Acta Amazonica**, v. 8, p.233-244, 1978.

MATSON, P.A.; HARRISS, R.C. Biogenic trace gases: measuring emissions from soil and water. **Blackwell Science**, p.13, 1995.

MALHI, Y.; GRACE, J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology & Evolution*, v.15, p. 332-337, 2000. doi.10.1016/S0169-5347 (00)01906-6

MARCHAND, C.; LALLIER-VERGÈS, E.; BALTZER, F. The composition of sedimentary organic matter in relation to the dynamic features of a mangrove-fringed coast in French Guiana Estuary. *Coast. Shelf Sci.* v.56, p.119–130, 2003.

MATTOS-FONSECA, S. O MDL e as florestas de mangue: avaliação preliminar sobre a geração de CERs a partir de atividades de projeto para recuperação de ecossistemas manguezais. *Biomassa e Energia*, v.2, p.241-250, 2005.

MATTOS-FONSECA, S. **Avaliações diárias e sazonais das concentrações de CO₂ em um ecossistema de manguezal**: dimensões micrometeorológicas e econômicas. 2010. 120f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade de Viçosa, Brasil, 2010.

MÁÑEZ, K. S.; KRAUSE, G.; RING, I.; GLASER, M. The Gordian knot of mangrove conservation: disentangling the role of scale, services and benefits. *Global Environmental Change*, v.28, p.120-128, 2014.

MADI, A. P. L. M.; BOEGER, M. R. T.; REISSMANN, C. B. Description of the soil and root biomass of two subtropical mangroves in Antonina and Guaratuba Bay, Paraná State, Brazil. *Hoehnea*, v.44, n.3, p.328-335, 2017. doi: 10.1590/2236-8906-99/2016

MATTOS, P. P.; KONIG, A.; DE MORAIS FREIRE, F. A.; ALOUFA, M. A. I. Etnoconhecimento e percepção dos povos pesqueiros da Reserva Ponta do Tubarão acerca do ecossistema manguezal. *Revista Brasileira de Biociências*, v.10, n.4, p.481, 2012.

MELLO, F.F.C. **Estimativas dos estoques de carbono dos solos dos estados de Rondônia e Mato Grosso anteriores às intervenções antrópicas**. 2007. 88f. Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MEIR, P. W. **Exchange of carbon dioxide in tropical forest**. 1996. 219 f. Thesis (Doctor) - The University of Edinburgh Institute of Ecology and Resource Management, 1996.

MENESES, M.; P, MACHADO P.; MEHLIG, U. Manguezais: as florestas da Amazônia Costeira. *Ciência hoje*, v.44, p.264, 2009.

MENEZES, M.; BERGER, U.; MEHLIG, U. Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States, north Brazil. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 3, p. 403, 2008.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Convenção sobre mudança do clima**. 2012. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0005/5390.pdf. Acesso em: 20.06.2017.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica*, v.35, p.207 – 214, 2005.

MOJIOL, A.R.; GUNTABID, J.; LINTANGAH, W.; ISMENYAH, M.; KODOH, J.; KANG, CH. L.; SOMPU, J. Contribution of mangrove forest and socio-economic development of local communities in Kudat district, Sabah Malaysia. **International Journal of Agriculture, Forestry and Plantation**, v.2, p.1-8, 2016.

MUKHERJEE, J.; RAY, S. Carbon cycling from mangrove litter to the adjacent Hooghly estuary, India – a modelling study. **Procedia Environmental Sciences**, v.13, p.391-413, 2012.

MURDIYARSO, D.; PURBOPUSPITO, J.; KAUFFMAN, J. B.; WARREN, M. W.; SASMITO, S. D. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. **Nat. Clim. Chang**, v.5, p.1089–1092, 2015. doi.org/10.1038/NCLIMATE2734

MCLEOD, E., SALM, R. **Managing Mangroves for Resilience to Climate Change**. IUCN, Gland, Switzerland, 2006.

MCLEOD, E.; CHMURA, G.L.; BOUILLON, S.; SALM, R.; BJÖRK, M.; DUARTE, C.M. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.9, p.552–560, 2011. doi.org/10.1890/110004

NANNI, H. C.; NANNI, S. M.; SEGNINI, R. C. A importância dos manguezais para o equilíbrio ambiental. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP, 2. 2005, Campus Guarujá. [Anais...] Campus Guarujá: [s.n], 2005. p.12.

MATNI, A. S.; MENEZES, M. P. M.; MEHLIG, U. Estrutura dos bosques de mangue da península de Bragança, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais**, v. 1, n. 3, p. 43-52, 2006.

NÁPRAVNÍK FILHO, LUCIANO ANGELO FRANCISCO KAREL. O mercado de carbono: um promissor espaço de negócios internacionais. **NPGA**, v.3, n.2, p.23-34, 2006.

NAIDOO, G.; TUFFERS, A.; VON WILLERT, D.J. Changes in gas exchange and chlorophyll fluorescence characteristics of two mangroves and mangrove associate in response to salinity in the natural environment. **Tress-Structure and Function**, v. 16, p.140-146, 2002.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Recent Monthly Average Mauna Loa CO₂**. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>. Acesso em: 11 de março 2019.

NELLEMANN, C.; CORCORAN, E. C. M.; DUARTE, L.; VALDES, C. DE YOUNG.; FONSECA L.; GRIMSDITCH, G. **Blue carbon**: a rapid response assessment. United Nations Environment Programme. [S.l.: s.n.], 2009.

NOBREGA, G.N.; FERREIRA, T.O.; NETO, M.S.; QUEIROZ, H.M. M.; ARTUR, A.G.; EDUARDO, S.; MENDONÇA, E.D.S.; SILVA, E.D.O.; OTERO, X.L. Edaphic

factors controlling summer (rainy season) greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) from semiarid mangrove soils (NE-Brazil). **Science of the Total Environment**, v.42, p.685–693, 2016.

NGA, B.T.; TINH, H.Q.; TAM, D.T.; SCHEFFER, M.; ROIJACKERS, R. Young mangrove stands produce a large and high quality litter input to aquatic systems. **Wetlands Ecology and Management**, v.13, p. 569–576, 2005. doi:10.1007/s11273-004-6073-4

OLIVEIRA, A. B.; RIZZO, A. E.; COUTO, E. D. C. G. Assessing decomposition rates of *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* leaves in a tropical mangrove. **Estuaries and coasts**, v.36, n.6, p.1354-1362, 2013.

OTERO, X.L.; MÉNDEZ, A.; NÓBREGA, G.N.; FERREIRA, T.O.; SANTISO-TABOADA, M.J.; MELÉNDEZ, W.; MACÍAS, F. High fragility of the soil organic C pools in mangrove forests. **Marine Pollution Bulletin**, v.119, p.460–464, 2017.

PÉREZ- LANDA, G.; CIAIS, P.; GANGOITI, G.; PALAU, J., CARRARA, A.; GIOLI, B.; MIGLIETTA, F.; SCHUMACHER, M.; MILLAN, M.; SANZ, M. Mesoscale circulations over complex terrain in the Valencia coastal region, Spain. Part 2: Modeling CO₂ transport using idealized surface fluxes. **Atmos. Chem. Phys**, v.7, p.851-1868, 2007.

PEROBELLI, F.F. Characterization of soil organic matter and humic acids extracted from a Brazilian Mangrove. **Research Gate**, v.40, p.1-39, 2011.

PENDLETON, L.; DONATO, D.C.; MURRAY B.C.; CROOKS S, JENKINS, W.A. Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. **PLOS ONE**, v.7, p.1-7, 2012.

PERERA, K.A.R.; AMARASINGHE SOMARATNA, M.D. S. Vegetation structure and species distribution of mangroves along a soil salinity gradient in micro tidal estuary on the North-Western coast of Sri Lanka. **Am. J. Marc.Sci**, v.1, p.7-15, 2013. doi:10.12691/marine-1-1-2

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba, **FEALQ**, p.309, 2002.

PINHEIRO, M. A. A.; FISCARELLI, A. G.; HATTORI, G. Y. Growth of the mangrove crab *Ucides cordatus* (*Brachyura Ocypodidae*). **Journal of Crustacean Biology**, v.25, p. 293–301, 2005. doi.org/10.1651/C-2438

POUNGPARN, S.; KOMIYAMA, A., TANAKA, A.; SANGTIEAN, T.; MAKNUAL, C., KATO, S.; PATANAPONPAIBOON, P. Carbon dioxide emission through soil respiration in a secondary mangrove forest of eastern Thailand. **Journal of Tropical Ecology**, v.25, n.4, p.393-400, 2009.

PROST, M. T.; MENDES, A. C.; FAURE, J. F., BERREDO, J. F.; SALES, M. E. C.; FURTADO, L. G.; SECCO, M. F. V. Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo

de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). **Ecosistemas Costeiros, Impactos e Gestão Ambiental**, p.1-215, 2001.

RAMSAR SECRETARIAT. **Wetland values and functions: climate change mitigation**. Switzerland: Gland, 2001.

RAY, R.; GANGULY, D. C.; CHOWDHURY, M.; DEY, S.; DAS, M. K. Carbon sequestration and annual increase of carbon stock in a mangrove forest. **Atmospheric Environment**, v.45, p.5016–5024, 2011. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.04.074

RAHMAN, M.M.; KAHN, M.N.I.; HOQUE, A.K.F.; AHMED, I. Carbon stock in the Sundarbans mangrove forest: spatial variations in vegetation types and salinity zones. **Wetlands Ecology and Management**, v.23, p.269–283, 2015. doi:10.1007/s11273-014-9379-x

REEF, R.; FEELER, I.C.; LOVELOCK, C.E. Nutrition of mangrove. **Tree Physiology**, v.30, p.1148-1160, 2010. doi.org/10.1093/treephys/tpq048

RICKLEFS, R. E.; LATHAM, R. E. Global patterns of diversity in mangrove forests. *In*: RICKLEFS, R. E.; SCHLUTER, D. (eds.). **Species diversity in ecological communities historical and geographical perspectives**. [S.l.:s.n], 1993.

RONNBACK, A. The ecological basis for economic value of seafood production supported by mangrove ecosystem. **Ecological Economics**, v.29, p.235-252, 1999.

RUSSELL, M.; GREENING, H. Estimating Benefits in a Recovering Estuary: Tampa Bay, Florida. **Estuaries and Coasts**, v.38, p.9-18, 2013. doi.org/10.1007/s12237-015-9946-2

SANTOS, E.O. **Contribuição ao estudo do fluxo de dióxido de carbono dentro da floresta amazônica**. 1999. 87f. Dissertação (Mestrado) - Ciências de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 1999.

SARRAT, C.; NOILHAN, J.; LACARRRE, P.; DOLMAN, A. J.; GERBIG, C.; ELBERS, J. A.; LAUVAUX, T. Mesoscale modeling of the CO₂ interactions between the surface and the atmosphere applied to the April 2007 CERES field experiment, **Biogeosciences Discuss**, v.6, p.515–544, 2009.

SALEM, M.E.; MERCER, D.E. The economic value of mangroves: a meta-analysis. **Sustainability**, v.4, p.359-383, 2012. doi.org/10.3390/su4030359

SEEHUSEN, S. E.; CUNHA, A. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. F. Iniciativas de PSA de proteção da biodiversidade na Mata Atlântica. *In*: GUEDES, F. B; SEEHUSEN, S. E. (org.). **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica - lições aprendidas e desafios**. Brasília, DF: MMA, 2011. p.183-224.

SENNA, C.; SARMENTO, A. P. Aplicações do sensoriamento remoto no mapeamento geobotânico do litoral do NE do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v.8, p. 137-155. 1996.

SOTTA, E. D.; MEIR, P.; MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M.; GRACE, J. Soil CO₂ efflux in a tropical forest in the central Amazon. **Global Change Biology**, v.10, p. 601-617, 2004.

SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.23, n.4, p.427-435, 2005.

SOUZA, H. F.; GUEDES, M. L. S.; OLIVEIRA, S. S.; SANTOS, E. S. Alguns aspectos fitossociológicos e nutricionais do manguezal da Ilha de Pati, Bahia, Brasil. **Sitientibus**, v.15, n.1, p.151-16, 1996.

SOUZA, F. E. S.; SILVA, C. A. R. Ecological and economic valuation of the Potengi estuary mangrove wetlands (NE, Brazil) using ancillary spatial data. **Journal of Coastal Conservation**, v.15, n.1, p.195-206, 2011.

SILVA, S.B. Análises de solo. Universidade Federal Rural da Amazônia. Serviço de documentação e informação, 2003. p.152.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, p.4, 2007.

SINGH, S.; NAG, S. K.; KUNDU, S. S.; MAITY, S. B. Relative intake, eating pattern, nutrient digestibility, nitrogen metabolism, fermentation pattern and growth performance of lambs fed organically and inorganically produced cowpea hay-barley grain diets. **Trop. Grassl**, v.44, p.55-61, 2010.

SITOE, A. A.; MANDLATE, L. J. C.; GUEDES, B. S. Biomass and carbon stocks of Sofala Bay mangrove forests. **Forests**, v.5, n.8, p.1967-1981, 2014. doi.org/10.3390/f5081967

SOTO, R.; JIMÉNEZ, J.A. Análisis fisionómico estructural del manglar de Puerto Soley, La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. **Revista de Biología Tropical**, v.30, p.161-168, 1982.

SOARES, M. L. G. **Estudo da biomassa aérea de manguezais do sudoeste do Brasil**—análise de modelos. 1997. 112.f. Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SOUZA, H.F.; GUEDES, M.L.S.; OLIVEIRA, S.S.; SANTOS, E.S. Alguns aspectos fitossociológicos e nutricionais do manguezal da Ilha de Pati, Bahia, Brasil. **Sitientibus**, v.5, n.1, p.151-165, 1996.

SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.23, n.4, p.427-435, 2005.

SUKARDJO, S. "Soils in the mangrove forests of the Apar nature reserve, Tanah Grogot, East Kalimantan, Indonesia," **Southeast Asian Studies**, v.32, n.3, p. 385–398, 1994.

SPALDING, M.; BLASCO, F.; FIELD, C. World Mangrove Atlas. ISME, Okinawa. **The International Society for Mangrove Ecosystems**, p.1-178, 1997.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. Guia para estudo de área de manguezais: estrutura função e flora. **Caribbean Ecological Research**, p.119, 1986.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G. **Expedição nacional aos manguezais do Amapá, Ilha de Maracá**. (Relatório técnico). [Macapá]: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1988. 99 p.

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

SCHAEFFER-NOVELLI Y.; CINTRÓN-MOLERO G.; ADAIME R. R. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. **Estuaries**, v.13, p.204-218, 1990.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M.A.; CRAWFORD, J.W.; FIELD, D.J.; HENAKAARCHCHI, N.; JENKINS, M.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; COURCELLES, V.R.; SINGH, K.; WHEELER, I.; ABBOTT, L.; ANGERS, D.A.; BALDOCK, J.; BIRD, M.; BROOKES, P.C.; CHENU, C.; JASTROW, J.D.; LAL, R.; LEHMANN, J.; O'DONNELL, A.G.O.; PARTON, W.J.; WHITEHEAD, D.; ZIMMERMANN, M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agric. Ecosystem Environmental*, v.164, p.80-99, 2013.

TAM, N.F.Y.; WONG, Y.S. VARIATIONS OF SOIL NUTRIENT AND ORGANIC MATTER CONTENT IN A SUBTROPICAL MANGROVE ECOSYSTEM, **Water, Air, and Soil Pollution**, v.103, p.245-261, 1998.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**, Porto Alegre: UFRGS. Departamento de Solos, 1995. p.174.

TER BRAAK, C. J. F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, v. 67, p.1167-1179, 1986.

TOMLISON, P.B. **The botany of mangrove**. Cambridge: Cambridge University Press, 1886.

TONG, C.; FEAGINB, R. A.; LU, J.; ZHANG, X.; ZHUA, X.; WANG, W.; HE, W. Ecosystem service values and restoration in the urban Sanyang wetland of Wenzhou, China. **Ecological Engineering**, v.29, p.249-258, 2007.

TROXLER, T. G.; BARR, J. G.; FUENTES, J. D.; ENGEL, V.; ANDERSON, G.; SANCHEZ, C.; DAVIS, S. E. Component-specific dynamics of riverine mangrove CO₂ efflux in the Florida coastal Everglades. **Agricultural and forest Meteorology**, v.213, p. 273-282, 2015.

TSUJI, T. **Sobrevivência e crescimento de plântulas das espécies arbóreas de mangue sementeadas em áreas degradadas na península de Ajuruteua-Pará**. 2010. 110f. Dissertação (mestrado) - Recursos Biológicos da zona costeira Amazônica, Bragança-Pa. 2010.

TWILLEY, R.R.; POZO, M.; GARCIA, V.H.; RIVERA-MONROY, R.; ZAMBRANO.; BODEDO, A. Litter dynamics in riverine mangrove forest in the Guayas River estuary, Ecuador. **Oecologia**, v.111, p.109-122, 1997.

VALENTINI, C. M. A.; DE ABREU, J. G.; DE FARIA, R. A. P. G. Respiração do solo como bioindicador em áreas degradadas. **Revista Internacional de Ciências**, v.5, n.2, p. 127-142, 2015. doi: 10.12957/ric.2015.19581

VO, Q. T.; KUENZER, C.; VO, Q. M.; MODER, F.; OPPELT, N. Review of valuation methods for mangrove ecosystem services. **Ecological Indicators**, v.23, p.431-446, 2012. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.04.022>

WELLS, S. 2006. **Establishing national and regional systems of MPAs—a review of progress with lessons learned**. UNEP World Conservation Monitoring Centre, UNEP Regional Seas Programme, ICRAN, IUCN/ WCPA – Marine.

WILKS, S.D. **Statistical methods in the atmospheric science**. [S.l.]: Elsevier, 2006. 627 p.

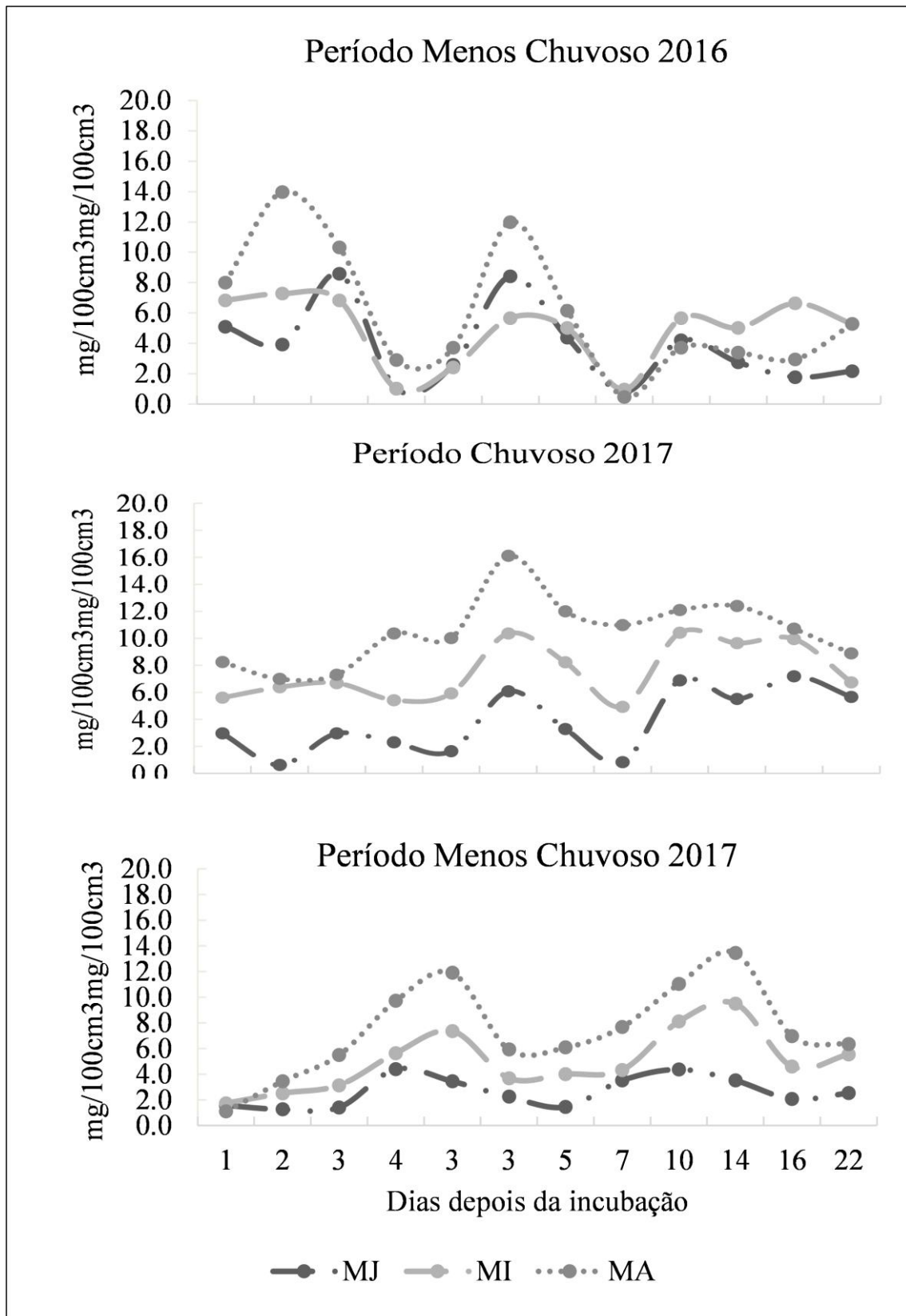
WOHLFAHRT, W. Quantifying nighttime ecosystem respiration of a meadow using eddy covariance, chambers and modeling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 128, p.141–162, 2005.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF). **Reviving the ocean economy - the case for action 2015**. Gland: WWF.

WORLD BANK GROUP. **Carbon Pricing Watch**. 2017. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/26565/9781464811296.pdf?sequence=4&isAllowed=y.pdf>. Acesso em: 20.06.2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A- FLUXOS SAZONAIS DE DIÓXIDO DE CARBONO EM TRÊS ESTRATOS DE MANGUE



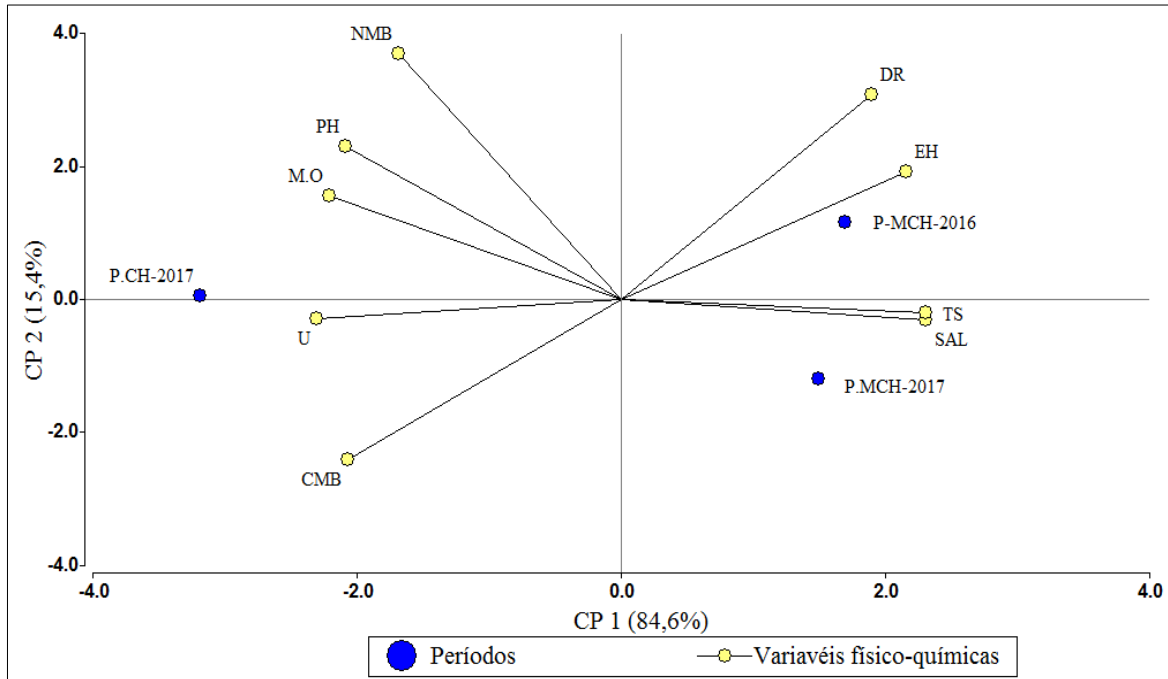
APÊNDICE B- DINÂMICA SAZONAL DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS NOS PERÍODOS CHUVOSO (P.CH) E MENOS CHUVOSO (P.M.CH) NOS ANOS 2016/2017

	P.CH-2016			P.M.CH-2016			P.CH-2017			P.M.CH-2017		
	MJ	MI	MA	MJ	MI	MA	MJ	MI	MA	MJ	MI	MA
Ph	6,0	6,54	6,42	5,3	5,8	6,1	6,5	6,6	6,7	4,5	5,1	5,5
eH	-42,3	-122,7	-149,8	156,7	91,2	33,7	-156,3	-264,3	-302,0	235,0	169,2	164,5
SA	36,2	30,2	31,3	70,0	52,3	51,8	29,0	26,0	10,0	57,0	53,2	43,0
U	68,7	80,4	87,7	25,5	69,8	78,2	80,8	81,7	94,5	33,0	69,4	78,2
P	22,5	35,5	39,8	2,2	6,7	6,2	6,1	25,5	26,0	10,9	23,7	25,7
N	1,0	1,5	1,5	0,6	1,6	1,9	1,1	2,7	2,5	1,1	1,9	2,0
K	2,4	4,3	3,7	0,7	2,3	2,3	1,3	2,2	2,3	0,4	1,7	1,2
Ca	3,2	6,3	5,3	2,1	4,3	6,8	2,2	6,8	6,8	2,2	7,9	5,8
Mg	10,2	19,4	17,9	7,5	19,7	18,0	9,6	26,7	25,8	5,7	12,3	14,1
Al	0,0	0,1	0,0	0,2	0,6	0,8	0,4	0,6	0,4	0,7	2,8	4,7
CMB	10.272	12.573,0	13.932,2	8.319,5	9.123,8	10.867,4	10.260,6	12.563,0	13.922,9	8.819,5	9.957,1	10.867,4
NMB	20,7	36,2	36,8	8,4	13,8	27,6	19,7	35,2	35,8	9,1	15,3	28,1
A	546,6	238,0	215,0	546,6	238,3	215,0	546,6	238,3	215,0	546,6	238,0	215,0
S	250,0	418,3	331,7	250,0	418,3	331,7	250,0	418,3	331,7	250,0	418,3	331,7
AR	250,0	390,0	360,0	250,0	390,0	360,0	250,0	390,0	360,0	250,07	390,0	360,0

MJ=Mangue jovem; MI= Mangue intermédio; MA= Mangue adulto

pH= Potencial Hidrogenionico/Acidez Ativa; eH (mV) = Potencial Redox; SA (%)=Salinidade; U (%)=Umidade; CMB (µg.g) = Carbono da Biomassa Microbiana, NMB (mg/Kg) = Nitrogênio da Biomassa Microbiana; A (g/Kg)=Areia; S (g/Kg)= Silte, Ar (g/Kg) = Argila.

**APÊNDICE C- SAZONALIDADE DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS E SUA
RELAÇÃO COM AS EMISSÕES DO CO₂**



APÊNDICE D- MEDIÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ A PARTIR DA METODOLOGIA RESPIRAÇÃO BASAL NO LABORATORIO



APÊNDICE E - QUESTIONÁRIO PARA ENTREVISTAS



PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

I. INFORMAÇÃO GERAL

Entrevistado:		No de entrevista:	Data:
No. Membros da família:	Filhos:	Filhas:	Outros:
Estudantes -nível:	<input type="checkbox"/> fundamental <input type="checkbox"/> médio <input type="checkbox"/> superior		
Atividades econômicas da família			
Estado do Mangue:	<input type="checkbox"/> Conservado	<input type="checkbox"/> Pouco conservado	<input type="checkbox"/> Nada conservado

II. APROVEITAMENTO DOS BENS DO MANGUEZAL

Bens	Medida	Menos chuvoso						Chuvoso					
		J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M
Madeira													
Lenha													
Peixes													
Caranguejo													

III. DESTINOS DOS BENS DO MANGUEZAL

	Venda	Consumo	Construção	Outros
Madeira				
Lenha				
Peixes				
Caranguejo				

IV. MONITORAMENTO DAS VENDAS DOS BENS DO MANGUEZAL

	Diário	Semana	15 dias	Mensal	Anual
Madeira					
Lenha					
Peixes					
Caranguejo					
Outros					

V. MONITORAMENTO DE PREÇOS DOS BENS DE MANGUEZAL

Bens	Medida	Preço alto R\$	Preço médio R\$	Preço baixo R\$	Onde vende?
Madeira					
Peixes					
Caranguejo					
Lenha					
Outros					

VI. FREQUÊNCIA DE APROVEITAMENTO

	Diário	Semana	15 dias	Mensal	Anual
Madeira					
Lenha					
Peixes					
Caranguejo					
Outros					

VII. DISPOSIÇÃO À CONSERVAÇÃO E MELHORA DOS MANGUES E O MÉDIO AMBIENTE

Você sabe o que é pagamento por serviços ambientais?

SIM NÃO

Quais são os valores que tem o manguezal?

Extrativos Não extrativos Ecológicos Culturais outros

Você estaria disposto de receber remuneração, em troca dos benefícios gerados pelo manguezal do estuário?

NO
 SI
 ↳ <10 50 100 >200 quanto? _____

Você estaria disposto a pagar monetariamente para garantir a persistência do manguezal na Villa de Cuiarana?

<10 50 100 >200 quanto? _____

Qual a certeza do valor a pagar?

Certeza absoluta certeza razoável não estou muito certo disto

Você desejaria que incrementasse a superfície de manguezais na vila?

SI
 NO

Você estaria disposto a pagar um percentual de reais por ano para consercar áreas de mangue degradadas na vila?

.....
 <10 50 100 >200 quanto? _____

 <10 50 100 >200 _____