



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

AMANDA NASCIMENTO PINHEIRO

**BALANÇO DE ENERGIA E FLUXOS TURBULENTOS ASSOCIADOS À
FATORES FÍSICO- QUÍMICOS DA ÁGUA NA BAÍA DE CAXIUANÃ.**

BELÉM-PA

2014

AMANDA NASCIMENTO PINHEIRO

**BALANÇO DE ENERGIA E FLUXOS TURBULENTOS ASSOCIADOS À
FATORES FÍSICO- QUÍMICOS DA ÁGUA, NA BAÍA DE CAXIUANÃ.**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre em Ciências Ambientais do Instituto de geociências, do convênio entre Universidade Federal do Pará, EMBRAPA Amazônia Oriental e Museu Paraense Emilio Goeldi.

Orientador: Prof. Dr. José Henrique Cattanio

BELÉM-PA

2014

AMANDA NASCIMENTO PINHEIRO

**BALANÇO DE ENERGIA E FLUXOS TURBULENTOS ASSOCIADOS À
FATORES FÍSICO- QUÍMICOS DA ÁGUA, NA BAÍA DE CAXIUANÃ.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a EMBRAPA Amazônia oriental.

Área de concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.

Data da aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. José Henrique Cattanio - Orientador
Doutor em Agronomia Tropical
Universidade Federal do Pará - UFPA

Prof. Edson José Paulino da Rocha - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará - UFPA

Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará - UFPA

Prof. José Francisco Berrêdo Reis da Silva - Membro Externo
Doutor em Geologia e Geoquímica
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG

Dedico este trabalho à minha mãe
Ana Cláudia e a minha querida avó
Raimunda (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me honrado com suas promessas em minha vida, e por ter me sustentado até aqui. Aos meus familiares por compreenderem minha ausência em reuniões de família.

Agradeço ao meu orientador Dr. José Henrique Cattanio pelo tempo e compreensão dedicados sempre que precisei e por ter me auxiliado na execução deste trabalho.

Agradeço especialmente as minhas amigas, irmãs e companheiras nessa grande caminhada de aprendizagem que é o mestrado, Vânia Franco, Thaiane Soeiro e Ana Paula Assunção. A todos os momentos bons e ruins que passamos juntas.

A minha mãe pelo apoio durante esses dois anos de mestrado.

Ao professor Dr. José Augusto Martins que me auxiliou nas análises químicas de água e que cedeu a utilização do Laboratório de Cromatografia no Instituto de Geociências, UFPA para que as análises químicas fossem realizadas.

Agradeço a minha avó Raimunda Nascimento (*in memoriam*) por ter acreditado em mim, e que foi peça fundamental em minha educação e por me fazer acreditar que realizar sonhos é possível quando se tem fé e dedicação.

Agradeço a minha irmã Aline Nascimento pelo auxílio na geração de imagens no ARCGIS. Ao meu cunhado Maiko pelas caronas até o porto São Domingos durante minhas coletas de dados.

Aos funcionários da estação científica Ferreira Penna pelo auxílio durante minhas coletas de campo.

Ao Professor Dr. Antônio Carlos Lôla da Silva por fornecer dados de precipitação do seu projeto que foram de grande importância para os resultados desse trabalho.

A CAPES pela concessão de bolsa de auxílio e ao Projeto *Rede de Mudanças Climáticas e Ambientais do Pará: Uma Perspectiva de Estudos Integrados* aprovado dentro do Edital 14/2009 PRONEX/FAPESPA/CNPQ por financiar minhas atividades de campo.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento.
Conhecimento auxilia por fora, mas só o amor socorre
por dentro. Conhecimento vem, mas a sabedoria tarda”.

Albert Einstein

RESUMO

Investigar o comportamento do balanço de energia sobre superfícies aquáticas ainda é um desafio científico, pois são raros estudos disponíveis neste tipo de superfície. A fona de Caxiuanã há vários anos se tornou um grande objeto de estudo para diversos ramos da ciência, que servem de suporte para região amazônica. Dentre esses encontra-se a micrometeorologia, que aborda entre seus principais tópicos de interesse os fenômenos de troca de energia e massa na interface superfície-atmosfera. Visando suprir essa carência de informações, no presente estudo foram analisadas as variações horárias e sazonais das componentes do balanço de energia, como fluxo de calor latente e de calor sensível. Com o auxílio de variáveis meteorológicas tais como precipitação, temperatura do ar, velocidade e direção do vento além de parâmetros físico-químicos da água (albedo, nível de maré, turbidez, temperatura da água, carbono orgânico e inorgânico total) verificou-se o papel de cada uma dessas variáveis no fechamento do balanço de energia sobre uma superfície aquática na baía de Caxiuanã. Uma peculiaridade apresentada pela baía de Caxiuanã foi a temperatura da água estar sempre com valores superiores à temperatura do ar, demonstrando que a baía consegue reter grande quantidade de calor durante o dia, e não perde a maior parte deste calor para a atmosfera durante a noite. O carbono orgânico total presente nas águas da baía apresentou redução da concentração ao longo do período de estudo. O fluxo de calor latente (LE) mostrou ser a componente dominante do balanço de energia, apresentando valor médio de 200 W.m^{-2} durante a maior parte do período de estudo, e o fluxo de calor sensível (H) apresentou valor máximo em Maio, cerca de 50 W.m^{-2} . Os valores negativos de H durante período noturno demonstram que a baía está perdendo calor para o ambiente, isto é, a mesma está atuando como fonte calor para atmosfera adjacente, inclusive para a floresta.

Palavras-chave: Fluxo de calor. Balanço de energia. Fatores físico-químicos da água. Baía de Caxiuanã.

ABSTRACT

Investigate the behavior of the energy balance on water surfaces is still a scientific challenge, since few studies are available on this topic in this type of surface. The flona of Caxiunã several years ago has become a major object of study for various field of science that support for the Amazon region. Among these fields lies the micrometeorology, which discusses among his main topics of interest are the phenomena of energy and mass exchange at the surface-atmosphere interface. Aiming to fill this lack of information, in this study the hourly and seasonal variations of the components of energy balance, such as latent heat and sensible heat flux were analyzed. With the assist of meteorological variables such as precipitation, air temperature, wind speed and direction as well as physical- chemical water parameters (albedo, tide level, turbidity, water temperature and amount of total organic and inorganic carbon) was studied the role of these variables in the energy balance in the Caxiuanã bay. A peculiarity presented by Caxiuanã bay was the water temperature always being higher than the air temperature values, demonstrating that the bay can hold large amounts of heat during the day and not lose most of this heat to the atmosphere during the night. The total organic carbon present in the waters of the bay decreased concentration throughout the study period. The latent heat flux (LE) was shown to be the dominant component of the energy balance, presenting an average value of 200 W.m^{-2} during most of the study period, and the sensible heat flux (H) showed a peak in May with about 50 W.m^{-2} . The negative values of H during the nighttime show that the bay is losing heat to the environment, ie, the bay is acting as a heat source for local atmosphere, including the forest.

Keywords: Heat flow. Energy balance. Physico-chemical of water. Caxiuanã bay.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Esquematização do balanço de energia.	15
Figura 2- Localização da área de estudo. O ponto vermelho significa a localização da torre para estudos micrometeorológicos na baía de Caxiuanã, no município de Melgaço (PA).	19
Figura 3- Sistema de aquisição de dados e sensores conectados ao mesmo, situados em torre micrometeorológica, fixada na baía de Caxiuanã.	22
Figura 4- Exemplo esquemático de fluxo horizontal de vórtices turbulentos.	26
Figura 5- Vórtice em um ponto da torre.	27
Figura 6- Simplificação da equação do Método de Covariâncias, utilizando a decomposição de Reynolds	27
Figura 7- Turbidímetro	29
Figura 8- Disco de Secchi.....	29
Figura 9- Precipitação horária acumulada e número de dias com Precipitação referentes ao período de um ano na baía de Caxiuanã.	31
Figura 10- Nível de maré horário, na baía de Caxiuanã.....	34
Figura 11- Concentração de Carbono Total (CT), Carbono orgânico total (COT), Carbono Inorgânico (CI) e total de Nitrogênio durante o período de quatro meses (Maio, Julho, Agosto e Setembro), na baía de Caxiuanã (PA).	37
Figura 12- Análise de Turbidez e profundidade de Secchi durante o período de 4 meses(Maio, Julho, Agosto e Setembro). As barras correspondem ao erro da amostra.	38
Figura 13-Temperatura média do ar e da água sobre a baía de Caxiuanã.	40
Figura 14-Mapa destacando a torre dentro da baía de Caxiuanã ($1^{\circ}46,785'S$ e $51^{\circ}25,385'W$) à 5,9 km da Estação Científica Ferreira Pena (ECFP).....	42
Figura 15-Velocidade média e direção do vento na baía de Caxiuanã.....	43
Figura 16- Albedo horário estimado sobre a baía de Caxiuanã.....	47
Figura 17-Média horária da radiação global de onda curta, saldo de radiação e radiação de onda longa emitida total na baía de Caxiuanã.	49
Figura 18-Média horária mensal dos fluxos de calor latente e fluxo de calor sensível, na baía de Caxiuanã.....	52

LISTA DE SÍMBOLOS

R_n – Saldo de radiação

ROC^* - Balanço de radiação de ondas curtas

$ROC\downarrow$ - Radiação de onda curta incidente

$ROC\uparrow$ - Radiação de onda curta emitida

ROL^* - Balanço de radiação de ondas longas

$ROL\downarrow$ - Radiação de onda longa incidente

$ROL\uparrow$ - Radiação de onda longa emitida

α – Albedo

R_n^* - Balanço de radiação total a superfície

LE – Fluxo de calor latente

H – Fluxo de calor sensível

G – Fluxo de calor no solo

T' - Temperatura

ρ – Densidade do ar

CP- Calor específico à pressão constante

w' - Flutuação do vento na vertical

q' - Umidade específica

u' - Flutuação zonal do vento

λE – Fluxo de calor latente

ε – Emissividade

σ – Constante de Stefan-Boltzmann

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 Balanço de energia	14
3.1.1 Fluxo de calor sensível e calor latente.....	15
3.1.2 Albedo	16
3.2 Parâmetros físico-químicos da água	17
3.2.1 Carbono orgânico total	17
3.2.2 Turbidez	17
3.2.3 Transparência	18
3.2.4 Temperatura da água	18
4 MATERIAL e MÉTODOS	20
4.1 Caracterização da área de estudo	19
4.2 Dados	20
4.3 Torre e instrumentos	21
4.3.1 Direção e velocidade do vento	22
4.3.2 Radiação.....	22
4.4 Balanço de radiação	23
4.4.1 Radiação de ondas curtas	23
4.4.2 Estimativa de Albedo sobre a Baía de Caxiuanã.....	23
4.4.3 Radiação de ondas longas	24
4.4.4 Balanço total de energia à superfície.....	24
4.4.5 Fluxo de calor sensível e calor latente.....	24
4.5 Método das covariâncias	25
4.5.1 Medidas de Fluxo	26
4.5.2 Escoamento do ar no ecossistema	26
4.5.3 Significado físico do método de covariância de vórtices turbulentos	26
4.6 Aspectos físico-químicos da água	28
4.6.1 Turbidez e transparência da água	29
4.6.2 Carbono orgânico total	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31

5.1 Precipitação	31
5.2 Comportamento da maré.....	34
5.3 Carbono orgânico.....	36
5.4 Turbidez da água.....	38
5.5 Temperatura da água e do ar.....	39
5.7 Albedo.....	47
6 CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A região amazônica é conhecida por dispor de uma grande área de florestas e possuir uma das maiores bacias hidrográficas do mundo. Estabelecer o quanto de energia é armazenada e liberada por este ecossistema e de extrema importância para futuros trabalhos que venham ser desenvolvidos nessa região. Nas últimas três décadas vários projetos científicos foram elaborados visando coletar medidas micrometeorológicas na bacia Amazônica, projetos como “*Amazon Region Micrometeorological Experiment*” (ARME) que produziu uma série de dados micrometeorológicos e secundários na Reserva Ducke em Manaus (SHUTTLEWORTH et al., 1984; SHUTTLEWORTH, 1988), “*Anglo Brazilian Amazonian Climate Observational Study*” (ABRACOS) que forneceu dados representativos de climatologia, micrometeorologia, fisiologia da planta e hidrologia do solo para diferentes áreas florestais na Bacia Amazônica (GASH et al., 1996; GASH; NOBRE, 1997) e “*The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia*” (LBA) que desde 1998 vem gerando dados quantitativos e qualitativos, a fim de que a análise destes constitua meios para a produção de novos conhecimentos com a finalidade de auxiliar na compreensão do funcionamento ecológico, climatológico, hidrológico e biogeoquímico da Amazônia, bem como a avaliação do impacto, em âmbito local e global, causado por mudanças no uso da terra (VILANI et al., 2006).

O entendimento e a quantificação dos processos relacionados ao balanço de energia e ao ciclo de carbono na Amazônia são relevantes para a formulação de políticas ambientais e climáticas (BALDOCHI et al., 1996; FALKOWSKI et al., 2000). Quantificar o balanço de radiação nos diversos tipos de superfície é fundamental para saber o quanto de energia esta sendo disponibilizada para a realização de tais processos de fluxo e balanço de energia. Em sua grande maioria, estudos abordam o balanço de energia em superfícies de terra firme, tendo em vista que a região amazônica é composta por grande quantidade de corpos d’água, o presente trabalho visa quantificar o balanço de energia sobre uma superfície aquática (baía de Caxiuanã) localizada na Floresta Nacional de Caxiuanã (flona de Caxiuanã). Com isto é finalidade deste trabalho responder a seguinte questão: Qual o comportamento dos fluxos turbulentos sobre a baía de Caxiuanã e como as características físico-química da água e da maré agem sobre o transporte e armazenamento de calor?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Verificar variações micrometeorológicas com relação às qualidades físico-químicas da água na baía de Caxiuanã (PA).

2.2 Objetivos específicos:

- Analisar o fluxo de calor, dentro e acima da água na baía de Caxiuanã, associando a fatores físico-químicos da água e com fluxo de maré.
- Medir a direção e velocidade do vento e verificar a sua influencia sobre a temperatura do ar e da água na baía de Caxiuanã;
- Calcular o fluxo de calor sensível, calor latente, na interface água-atmosfera;
- Calcular o Albedo da água na baía de Caxiuanã;
- Analisar a precipitação e investigar o seu papel nos parâmetros físico-químico da água e conseqüentemente sobre os fluxos de calor.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Balanço de energia

A fonte primária de energia para o planeta Terra é o Sol, emitindo radiação eletromagnética (energia), principalmente nos comprimentos de onda entre $0,1\mu\text{m}$ e $4,0\mu\text{m}$ (1micrometro = $1\mu\text{m} = 10^{-6}$ metros), que caracterizam chamada radiação de ondas curtas (MOLION, 2010). Uma parte dessa radiação é interceptada pelo sistema terra-atmosfera, sendo convertida em outras formas de energia como, por exemplo, calor e energia cinética da circulação atmosférica. Os continentes, os oceanos, as nuvens e os gases atmosféricos absorvem a radiação de onda curta, emitindo e absorvendo radiação térmica (ou de onda longa), de acordo com suas temperaturas e sua composição física e química e trocam calor entre si de diversas formas de processos termodinâmicos: transportando massas de vapor e calor sensível, evaporando e precipitando água (MASTER, 2013).

O clima atual da região Amazônica é uma combinação de vários fatores, sendo que o mais importante é a disponibilidade de energia solar, através do balanço de energia. A região Amazônica, situada entre 5° N e 10° S, recebe radiação no topo da atmosfera com um valor máximo de $36,7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em Dezembro/Janeiro e um valor mínimo de $30,7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em Junho/Julho (SALATI; MARQUES, 1984). Estes valores de radiação são reduzidos pela transmissão atmosférica, mas são em média, da ordem de $15 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Medidas realizadas na Amazônia Central (Manaus-AM) indicam que os maiores totais de radiação que chegam à superfície ocorrem nos meses de Setembro/Outubro, sendo que os mínimos são nos meses de Dezembro à Fevereiro. Esta distribuição é controlada pela nebulosidade advinda da migração SE/NW da convecção amazônica (HOREL et al., 1989). Em média apenas 70% da radiação solar que atinge a Terra penetra a atmosfera, 30% são logo refletidos pela atmosfera (Figura 1), sendo que apenas 30% chegam na forma direta (radiação direta), embora outros 20% atinjam a superfície sob a forma de radiação solar difusa (HARTMANN, 1994).

Figura 1- Esquemática do balanço de energia.



Fonte: (UNESP, 2014)

A energia radiante solar é de novo filtrada pelas águas superficiais. Nos primeiros 10 cm de água, mesmo pura, virtualmente toda a radiação infravermelha absorvida é convertida em energia interna (energia calorífica). No primeiro metro cerca de 60% da radiação solar é absorvida e sendo que 80% é absorvida nos 10 metros iniciais. Só cerca de 1% se mantém a 140 metros de profundidade nas águas mais transparentes do oceano subtropical (GROSS, 1985). Contudo, a penetração da radiação depende da transparência da água, que por sua vez depende da quantidade de matéria em suspensão (matéria orgânica e sedimentos).

3.1.1 Fluxo de calor sensível e calor latente

A partição de energia, particularmente entre calor sensível e calor latente, determina o conteúdo de vapor d'água e o aquecimento da atmosfera, contribuindo para os processos climáticos em escala local, regional e global (DIRMEYER, 1994; SETH; GIORGI, 1996). Para Souza-Filho (2006) esta partição de energia determina as propriedades da camada limite planetária, influenciando o transporte vertical (convecção) e transporte horizontal (advecção) de calor e umidade. Para Song et al. (2012) o fluxo de calor sensível (H) oceano-atmosfera é um fluxo de energia que está diretamente relacionado a uma mudança na temperatura, sendo que o fluxo de calor

latente (LE) é o fluxo de energia associado com a evaporação da água a partir da superfície aquática. Nos Oceanos Tropicais, onde a temperatura da superfície do ar está próxima da temperatura da superfície do mar, o fluxo de calor sensível oceano-atmosfera é menor que o fluxo de calor latente. Devido a isso, o fluxo de calor latente é o termo predominante no balanço de radiação solar nos oceanos tropicais, e a contribuição do fluxo de calor sensível para o balanço de energia na superfície tropical é pequeno (NIGAMAND; CHAO, 1996; FOLTZ; MCPHADEN, 2005).

De acordo com Machado (2012), o fluxo de H descreve o transporte turbulento de calor na atmosfera, sendo considerada a porção de calor total associado com a mudança de temperatura (STULL, 2000), ou seja, varia com o resultado da diferença de temperatura entre a superfície e o ar acima dela. O fluxo de LE descreve o transporte vertical de vapor d'água e o calor exigido para evaporação gasta na atmosfera.

3.1.2 Albedo

O albedo da superfície ou poder refletor da superfície é a fração da radiação incidente que é devolvida à atmosfera. É um dos mais importantes e fundamentais parâmetros das superfícies continentais. Dentro dos modelos de tempo e clima, é um parâmetro bastante sensível, pois varia no espaço e no tempo (CULF et al., 1995; BUENO et al., 1998), sendo que depende de características da superfície como rugosidade, cor, umidade e tipo de cobertura (diferentes tipos de vegetação, solo sem cobertura ou água), depende do ângulo zenital do sol, o qual determina o máximo de radiação solar que pode atingir a superfície, sendo função do dia, hora e localidade (longitude e latitude), diminuindo com a presença de nebulosidade (GIELOW et al., 1999). O albedo é maior nas regiões polares onde a nuvem, a cobertura de neve são abundantes e onde os ângulos zenitais solares, em média, são grandes. O segundo maior valor de albedo ocorre nas regiões tropicais e subtropicais onde as nuvens espessas são predominantes ou sobre superfícies brilhantes, tais como o deserto do Saara. Os menores albedos ocorrem sobre aquelas regiões do Oceano tropical onde as nuvens são distribuídas espaçadamente. A superfície do oceano tem um albedo baixo, de tal maneira que quando as nuvens e o gelo do mar estão ausentes, o albedo planetário sobre as áreas oceânicas fica somente em 8-10% (HARTMANN, 1994).

3.2 Parâmetros físico-químicos da água

3.2.1 Carbono orgânico total

Na água é possível encontrar três formas de expressão de carbono: carbono em sua forma elementar, carbono inorgânico (CI), que é definido como toda espécie de sais e carbonatos, como dióxido de carbono (CO_2) dissolvido em água, e o carbono orgânico (CO), definido como todo átomo de carbono ligado covalentemente a uma molécula. Em amostras aquosas, a quantidade de carbono elementar é desprezível, e somente a quantidade de carbonos orgânicos e inorgânicos é considerada, quando somados constituem a totalidade de carbono presente em meio aquoso ou carbono total (CT). O carbono orgânico total (COT) é uma expressão que denomina toda matéria orgânica presente em uma amostra aquosa (BENEDETTI, 2012).

3.2.2 Turbidez

Segundo Freitas (1999) A turbidez é a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva à mesma. Essa medição é feita com o Turbidímetro ou Nefelômetro, que compara o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra, com o de um feixe de igual intensidade, ao passar por uma suspensão padrão. Quanto maior o espalhamento, maior será a turbidez. As principais causas da turbidez da água são: presença de matérias sólidas em suspensão (silte, argila, sílica, coloides), matéria orgânica e inorgânica finamente divididas, organismos microscópicos e algas. As águas de lagos, lagoas, açudes e represas apresentam, em geral, baixa turbidez, porém variável em função dos ventos e das ondas, que em locais rasos, podem revolver os sedimentos do fundo.

3.2.3 Transparência

A transparência da coluna d'água pode variar desde alguns centímetros até dezenas de metros. A região da coluna d'água até onde a luz consegue penetrar é denominada zona eufótica, e sua extensão depende, principalmente, da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática. O limite inferior da zona eufótica é geralmente assumido como sendo aquela profundidade onde a intensidade da radiação corresponde a 1% da que atinge a superfície (ESTEVEZ, 2011). Do ponto de vista óptico, a transparência da água pode ser considerada o oposto da turbidez. Sua avaliação de maneira mais simples é feita através de um disco branco de 20 a 30 cm de diâmetro, denominado disco de Secchi. A medida é obtida mergulhando-se o disco através de uma corda marcada. A profundidade de desaparecimento do disco de Secchi corresponde àquela profundidade na qual a radiação refletida do disco não é mais sensível ao olho humano, denominada de profundidade de transparência do disco de Secchi.

3.2.4 Temperatura da água

Nos ecossistemas aquáticos continentais, grande parte da propagação do calor ocorre por transporte de massa d'água. Em lagos que apresentam temperaturas uniformes em toda a coluna, a propagação do calor através de toda a massa líquida pode ocorrer de maneira bastante eficiente, uma vez que a densidade da água nessas condições é praticamente igual em todas as profundidades, sendo o vento o agente fornecedor da energia indispensável para a mistura das massas d'água. Por outro lado, quando as diferenças de temperatura geram camadas d'água com diferentes densidades, que em si já formam uma barreira física, impedindo que se misturem, e se a energia do vento não for suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente, criando a condição de estabilidade térmica. Quando ocorre este fenômeno, o ecossistema aquático está estratificado termicamente (MARTINS, 2008).

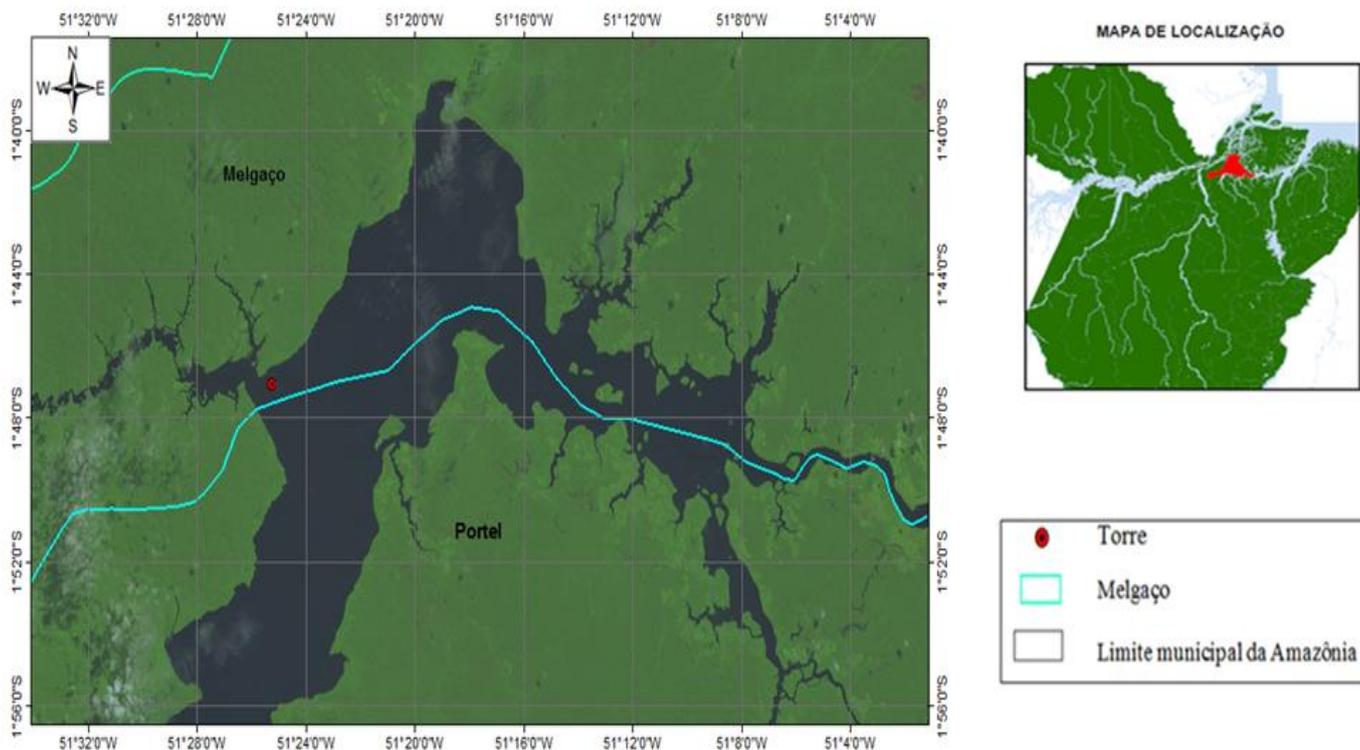
Para as medidas de temperatura, podem ser utilizados termômetros simples de mercúrio ou aparelhos mais sofisticados como o "Termistor", que pode registrar diretamente a temperatura das várias profundidades na coluna d'água. Estas medidas devem ser realizadas no próprio local de coleta.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A Floresta Nacional de Caxiuanã (Flona de Caxiuanã) está localizada no município de Melgaço-PA (Latitude $01^{\circ} 42' 30''$ S e Longitude $51^{\circ} 31' 45''$ W), a Oeste de Belém (Figura 2). Essa reserva é constituída, em 85% de sua área por floresta densa de terra firme, com dossel médio de 40 m de altura, com algumas árvores chegando a 50 m. A Flona de Caxiuanã possui clima tropical úmido e tem de 1 a 2 meses (Outubro e Novembro) de precipitação inferior a 60 mm, o que caracteriza a estação seca da região. A temperatura média anual do ar é de 26°C , com temperaturas mínima e máxima, em média, de 22°C e 32°C , respectivamente (MORAES et al., 1997).

Figura 2- Localização da área de estudo. O ponto vermelho mostra a localização da torre para estudos micrometeorológicos na baía de Caxiuanã, no município de Melgaço (PA).



Fonte: Elaborado pela autora.

A leste da Flona de Caxiuanã encontra-se a Baía de mesmo nome (Figura 1), a qual é definida pelo rio Anapú (entre os rios Tocantins e Xingu), sendo o seu principal afluente o rio Caxiuanã (MONTAG ; BARTHEM, 2003), todos de água preta. A baía é alongada no sentido norte-sul e possui, em sua parte mais expressiva, cerca de 8 km de largura e 40 km de extensão (COSTA et al., 2002). A baía de Caxiuanã, comportando-se como um grande lago de água doce, representa o represamento neotectônico do rio

Anapú em altitude próxima do nível do mar, e, conseqüentemente, influenciada por este, em fase de transgressão. São vários lagos resultantes do represamento natural das drenagens, sendo Caxiuanã a maior expressão, instalada nos últimos 10.000 anos (KERN; COSTA, 1997 a). Devido à proximidade com o mar a baía sofre influencia da maré, ou seja, tem movimentos contrario da correnteza durante o dia.

A água da baía de Caxiuanã é bastante escura, o que supõe-se estar associado principalmente a quantidade de material orgânico em suspensão. Esta baía é um modelo de lago natural para a Amazônia, pois apresenta características semelhantes às dos ambientes lacustres, tais como: o nível da água relativamente estável ao longo do ano; as margens bem definidas; e a existência de estreitas áreas alagáveis (KERN; COSTA, 1997).

Datações radiocarbônicas dos sedimentos dos fundos do rio Caxiuanã e do igarapé Curuá indicam que esta região foi formada recentemente, durante o Holoceno e no Terciário (IBGE, 1977). As datações obtidas confirmam a natureza lacustre da baía nos últimos 7.000 anos, principalmente ao norte, onde a correnteza do rio Anapú foi atenuada pela barragem natural formada pela deposição de sedimentos do rio Amazonas, que deu origem à baía (COSTA et al., 2002). Desta forma os rios da bacia de Caxiuanã têm sido classificados como rios de águas pretas (SIOLI, 1984), devido a sua cor escura, pela pobreza de nutrientes e materiais em suspensão e por sua composição catiônica (COSTA et al., 2002).

4.2 Dados

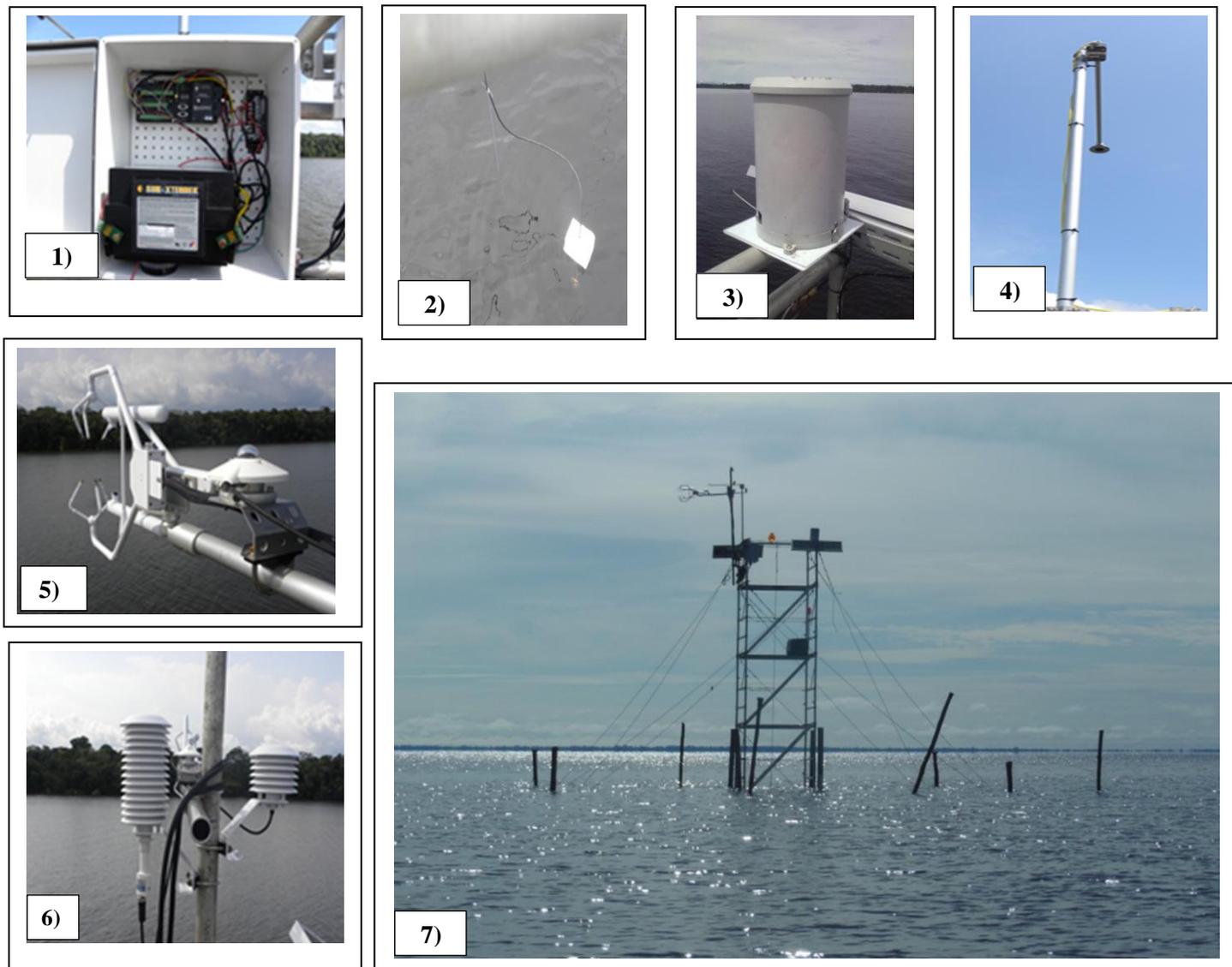
Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de uma torre micrometeorológica, de aproximadamente 10 m de altura a qual fez parte do projeto *Rede de Mudanças Climáticas e Ambientais do Pará: Uma Perspectiva de Estudos Integrados (Projeto aprovado dentro do Edital 14/2009 PRONEX/FAPESPA/CNPQ)*, situada dentro da baía de Caxiuanã (1°46'47.08" S e 51°25'23.12" W, Figura 2). Nesta torre foram instalados instrumentos para medir as variáveis a serem utilizadas no presente trabalho. As coletas dos dados na torre foram feitas automaticamente de Outubro de 2012 à Setembro de 2013.

4.3 Torre e instrumentos

Os instrumentos instalados na torre são:

1. **Datalogger** - sistema de aquisição de dados.
2. **Sensor de temperatura da água**- mede a temperatura da água ($T_{\text{água}}$, em °C).
3. **Pluviômetro**- É um instrumento utilizado para o registro contínuo da precipitação pluviométrica, em milímetros (mm). Sua precisão é de 0,254 mm.
4. **Saldo radiômetro**- É um instrumento utilizado para medir o saldo de radiação à superfície (R_n), em $W.m^2$.
5. **Sistema Eddy Correlation e Piranômetro**- o primeiro propicia uma medida direta da troca líquida de CO_2 , vapor d'água e calor entre uma superfície e a atmosfera enquanto o segundo é utilizado para medir a radiação solar incidente à superfície (R_g , em $W.m^2$).
6. **Sensor de temperatura e Umidade Relativa do ar**- É um instrumento constituído de dois sensores, sendo um utilizado para medir a temperatura do ar (T_{ar} , em °C) e outro a umidade relativa do ar (UR, %).
7. **Torre micrometeorológica**- local onde estão instalados todos os instrumentos.

Figura 3- Sistema de aquisição de dados e sensores conectados ao mesmo, situados em torre micrometeorológica, fixada na baía de Caxiuanã.



Fonte: elaborado pela autora.

4.3.1 Direção e velocidade do vento

Foram estudadas as componentes horizontal e vertical da velocidade do vento, sendo u (componente zonal), v (componente meridional) e w a (componente vertical). Estas componentes do vento foram medidas através de um anemômetro sônico, instalado na torre micrometeorológica sobre a baía de Caxiuanã.

4.3.2 Radiação

Foram medidas a radiação solar global e a radiação líquida utilizando um Piranômetro e Saldo Radiômetro, respectivamente.

4.4 Balanço de radiação

O presente trabalho adota a convenção de que os fluxos em direção à superfície terrestre são positivos e os da superfície para a atmosfera são negativos. Segundo (SOUZA FILHO et al., 2006) o saldo de radiação na superfície terrestre, como um dos componentes do balanço de energia, constitui-se em elemento fundamental para os estudos micro meteorológicos e pode ser expresso em função dos seus componentes conforme a equação abaixo:

$$R_n = ROC^* + ROL^* \quad \text{Equação (1)}$$

Em que R_n é o saldo de radiação ($W.m^{-2}$), ROC^* é o balanço de radiação de onda curta ($W.m^{-2}$), ROL^* é o balanço de radiação de onda longa ($W.m^{-2}$).

O saldo radiômetro presente na torre, já nos fornecia o valor de R_n , realizando então o balanço entre a energia que chega e a que sai.

4.4.1 Radiação de ondas curtas

O saldo de radiação de ondas curtas (ROC^*), definido pela diferença entre a radiação de ondas curtas que incide na superfície terrestre (irradiação solar global) e a radiação de ondas curtas que é refletida, pode ser calculado conforme a seguinte equação:

$$ROC^* = ROC\downarrow - ROC\uparrow \quad \text{Equação (2)}$$

Em que $ROC\downarrow$ é a radiação solar global ($W.m^{-2}$), $ROC\uparrow$ é a radiação solar refletida pela superfície terrestre ($W.m^{-2}$), as setas \downarrow e \uparrow representam a entrada e saída de energia, respectivamente.

4.4.2 Estimativa de Albedo sobre a Baía de Caxiuana

O albedo (α , em %) médio horário e diário foi calculado através da razão entre os valores médios horários da radiação solar emitida pela superfície da baía ($ROC\uparrow$) e a radiação solar incidente ($ROC\downarrow$). No entanto, uma pequena adaptação teve que ser feita, pois não dispúnhamos da radiação solar de onda curta emitida, porém a radiação solar incidente era dada pelo sistema. Desta forma, utilizando a equação (1), $ROC\uparrow$ pode ser calculado como residual.

$$\alpha = ROC\uparrow / ROC\downarrow \times 100 \quad \text{Equação (3)}$$

4.4.3 Radiação de ondas longas

O saldo de radiação de ondas longas (ROL^*) foi obtido pela diferença entre a radiação de onda longa que incide na superfície terrestre e a radiação de onda longa que é refletida, e é dado pela seguinte equação:

$$ROL^* = ROL_{\downarrow} - ROL_{\uparrow} \quad \text{Equação (4)}$$

Em que ROL_{\downarrow} é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera (Wm^{-2}), ROL_{\uparrow} é a radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre (Wm^{-2}).

Para obter ROL_{\downarrow} e ROL_{\uparrow} utilizou-se a lei de Stefan-Boltzmann, que afirma que todo corpo que é bom absorvedor de energia também é bom emissor. Onde o absorvedor perfeito é considerado um corpo negro, apresentando emissividade máxima igual a 1.

$$ROL_{\downarrow} = \varepsilon \sigma T_{ar}^4 \quad \text{Equação (5)}$$

$$ROL_{\uparrow} = \varepsilon \sigma T_{\text{água}}^4 \quad \text{Equação (6)}$$

em que ε é a emissividade da superfície (para a água, 0.97), σ a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$) e T é a temperatura dada em Kelvin.

4.4.4 Balanço total de energia à superfície

O balanço total de energia à superfície (Rn^*) foi determinado pela somatória do fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H), além do fluxo de calor no solo (G), que no caso do presente estudo ocorre no interior da superfície da baía de Caxiuanã.

$$Rn^* = LE + H + G \quad \text{Equação (7)}$$

4.4.5 Fluxo de calor sensível e calor latente

De acordo com Durand et al. (1990) os fluxos de momentum e de calor da camada atmosférica superficial podem ser medidos por meio de quatro métodos: (I) Método de *Eddy Correlation* (Método das Covariâncias de Vórtices Turbulentos), (II) Método dissipativo Inercial, (III) Método do Perfil e (IV) Método aerodinâmico de

massa que em geral é considerado o método de referência, uma vez que permite o cálculo direto do fluxo de medição de flutuações turbulentas. Para Sá (1992), o Método das Covariâncias (MC) é considerado como o procedimento-padrão para cálculo de fluxos turbulentos. Contudo, conforme tem sido relatado pela literatura, a questão do cálculo do fluxo turbulento apresenta grande complexidade (VON RANDOW, 2007) e sua determinação exata ainda apresenta alguma controvérsia (VICKERS ; MAHRT, 2003). Na Amazônia o cálculo dos fluxos é comumente agravado pela não estacionaridade do sinal turbulento (VON RANDOW et al., 2002) além de outros problemas conforme descreve Saleska et al. (2003).

4.5 Método das covariâncias

O Método de covariâncias (MC) consiste em uma técnica bastante utilizada para medida e cálculo de fluxos turbulentos, dentro da camada limite atmosférica. Instrumentos modernos e softwares potencialmente podem expandir o uso do método para além da micrometeorologia, e ser uma ferramenta amplamente utilizada por biólogos, ecologistas e entomologistas. O principal desafio desse método para não especialistas é a complexidade do cisalhamento do perfil do sistema, implementação e processamento de grandes volumes de dados (BURBA; ANDERSON, 2010).

4.5.1 Medidas de Fluxo

Medidas de fluxo são amplamente utilizadas para estimar calor, vapor d'água e troca de CO_2 , bem como gases como metano e outros, a covariância de vórtices turbulentos é uma das formas mais diretas e justificável para medir tais fluxos. O método é matematicamente complexo, e requer uma série de cuidados na criação e processamento de dados.

4.5.2 Escoamento do ar no ecossistema

O fluxo de ar pode ser imaginado como um fluxo horizontal de inúmeros redemoinhos de rotação, isto é, os vórtices turbulentos de vários tamanhos, com cada *eddy* (vórtice) tendo componentes horizontal e vertical (Figura 4). A situação é caótica, mas o movimento vertical das componentes podem ser medidas a partir da torre (BURBA et al., 2010).

Figura 4-Exemplo esquemático de fluxo horizontal de vórtices turbulentos.



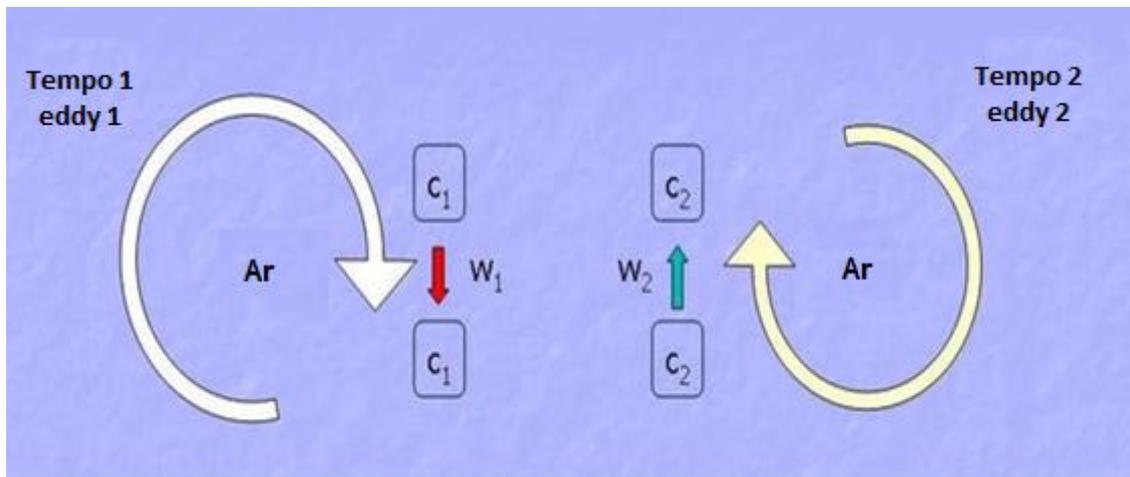
Fonte: Adaptado de Burba et al. (2010)

4.5.3 Significado físico do método de covariância de vórtices turbulentos

Segundo o mesmo autor, em um ponto físico na torre (Figura 5), em *Tempo1*, *Eddy1* a parcela de ar move-se para baixo em c_1 a velocidade w_1 . Então, no *Tempo2*, *Eddy2* os movimentos da parcela c_2 movem-se a velocidade w_2 . Cada pacote tem a concentração de gás, a pressão, a temperatura e a umidade. Se estes fatores, em conjunto com a velocidade são conhecidos, pode-se determinar o fluxo. Por exemplo, sabendo-se quantas moléculas de água desceram com os vórtices no *Tempo1*, e quantas moléculas subiram com os vórtices no *Tempo2*, no mesmo ponto, pode-se calcular o fluxo vertical de água neste ponto ao longo deste tempo. Assim, o fluxo vertical pode ser apresentado

como uma covariância da velocidade vertical do vento e da concentração da variável de interesse.

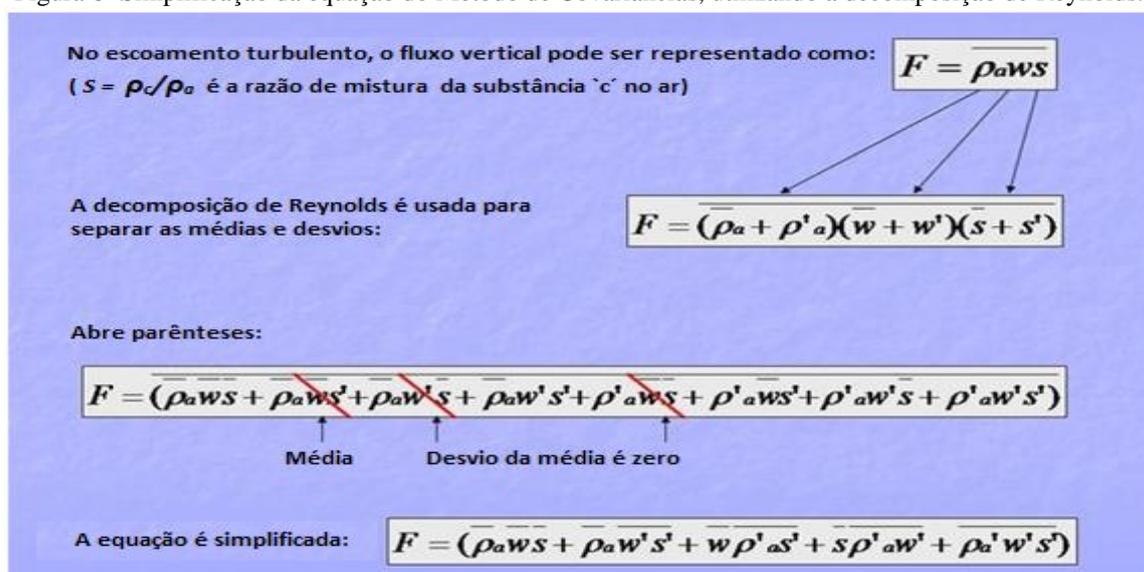
Figura 5-Vórtice em um ponto da torre.



Fonte: Adaptado de Burba et al. (2010)

Em termos matemáticos, "eddy flux" (fluxo de vórtices) é calculado como uma covariância entre desvio instantâneo da velocidade do vento vertical (w'), a partir do valor médio (\bar{w}) e desvio instantâneo da concentração de gás, a razão de mistura (s), a partir de seu valor médio (\bar{s}) multiplicado pela densidade média do ar (ρ_a). Várias operações matemáticas e suposições, incluindo a decomposição de Reynolds (Figura 6), estão envolvidas na obtenção das equações da física completa do fluxo turbulento para equações práticas para a computação do "eddy flux", como mostrado na Figura 6.

Figura 6- Simplificação da equação do Método de Covariâncias, utilizando a decomposição de Reynolds.



Fonte: Adaptado de Burba et al. (2010)

Lechinosk (2008) relata que uma das dificuldades ligadas ao cálculo do fluxo pelo MC, que utiliza informações de baixa frequência, da região de produção de energia cinética turbulenta refere-se à necessidade de se dispor de dados estacionários por um período relativamente largo (no mínimo trinta minutos) de forma a possibilitar a estimativa da covariância entre w' e escalares de maneira estatisticamente robusta.

Para medida de fluxo de calor sensível e calor latente, o presente trabalho utilizou o método das covariâncias conforme as seguintes equações:

$$H = \rho C_p \overline{w'T'} \quad \text{Equação (8)}$$

$$\lambda E = \rho \lambda \overline{w'q'} \quad \text{Equação (9)}$$

Em que H é o fluxo de calor sensível (W.m^{-2}), λE fluxo de calor latente (W.m^{-2}); e w' , T' e q' , são respectivamente as flutuações de vento (ms^{-1}), temperatura (K), e umidade específica (gg^{-1}). Esses dados foram armazenados em coletor *Campbell CR1000* com aquisição de 10 Hz (faz uma média de dez dados por segundo). O presente estudo trabalhou com um período de dados de um ano (Outubro de 2012 à Setembro de 2013).

4.6 Aspectos físico-químicos da água

A água possui características extremamente peculiares, quando comparada ao ambiente atmosférico, como maior densidade, alto calor específico, maior resistência a passagem de luz, pequena capacidade de dissolver o gás oxigênio e grande capacidade de dissolver substâncias em geral, além de conter nutrientes orgânicos e inorgânicos, tanto em suspensão como em solução (GOMES; CLAVICO, 2005).

Para cada subitem a seguir, realizou-se quatro meses de coleta (Maio, Julho, Agosto e Setembro de 2013) no final do período chuvoso e início do período seco. Essas coletas ocorreram por cerca de quatro a cinco dias representativos de cada mês, onde as mesmas eram realizadas duas vezes ao dia, uma vez durante o horário que a maré estava enchendo e outra enquanto estava vazando.

4.6.1 Turbidez e transparência da água

Por definição, a turbidez é causada pela presença de materiais em suspensão, isto é de materiais que não estão dissolvidos no fluido, cuja presença altera as suas propriedades ópticas. A turvação pode assim ser causada por uma enorme variedade de matérias em suspensão, de origem orgânica ou inorgânica, variando em dimensão desde partículas coloidais até sólidos de dimensões macroscópicas. Para análise da turbidez da água na baía de Caxiuanã foi utilizado um Turbidímetro do tipo AKthon T-100(Figura 7) , o qual mede a turbidez em unidades nefelométricas (Nephelometric Turbidity Units - NTU) . As amostras foram coletadas no local da torre e analisadas até uma hora e meia após a coleta.

Figura 7-Turbidímetro



Fonte: (ITSE, 2013)

Para medir a transparência da água foi utilizado o instrumento conhecido por disco de Secchi (Figura 8), que tem por objetivo medir até que profundidade a energia solar consegue penetrar na coluna de água. As medições foram realizadas duas vezes ao dia, assim como para a turbidez, uma medida foi realizada quando a maré estava enchendo e outra quando a maré estava vazando. Mergulhava-se o disco no local da torre e anotava-se a medida em cm de visualização do disco, conforme Figura 7.

Figura 8-Disco de Secchi.



Fonte: (UFRRJ, 2013)

4.6.2 Carbono orgânico total

Para análise do carbono orgânico total (COT), presente nas águas da baía de Caxiuanã foram coletadas amostras mensais de água no local da torre, as quais foram armazenadas em recipiente adequado e conservadas em isopor com gelo, para posterior análise em laboratório (Laboratório de Cromatografia, Instituto de Geociências, UFPA). Essas amostras foram analisadas pelo aparelho *Analytik Jena* modelo multi N/C 2100/2100 S com módulo HT 1300, e o gás de arraste utilizado foi ar ultrapuro sintético, que tem por função determinar a quantidade de COT presente nas amostras além da quantidade de carbono inorgânico e nitrogênio presente nas mesmas. As coletas de água para a análise do COT foram realizadas uma única vez no dia, durante um único dia de cada mês. Este procedimento era realizado sempre durante a segunda coleta do dia, pois a amostra a ser analisada em laboratório deveria ser o mais recente possível, para evitar possíveis alterações químicas que poderiam ocorrer com o passar do tempo.

4.7 Comportamento da maré

Para investigar a influência da maré nos fluxos de calor foi utilizado o instrumento conhecido por marégrafo, o qual tem por princípio de funcionamento a pressão exercida pela coluna de água. Além do marégrafo foram utilizados dados de nível da maré fornecidos pelo CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) para suprir os dados dos meses anteriores à instalação do marégrafo. Os dados fornecidos pelo CPRM foram coletados visualmente apenas durante dois horários do dia, às 07:00 hs e as 17:00 hs, enquanto que os dados fornecidos pelo marégrafo (instalado em Abril de 2013) oferecem informações a cada minuto.

4.8 Análise estatística

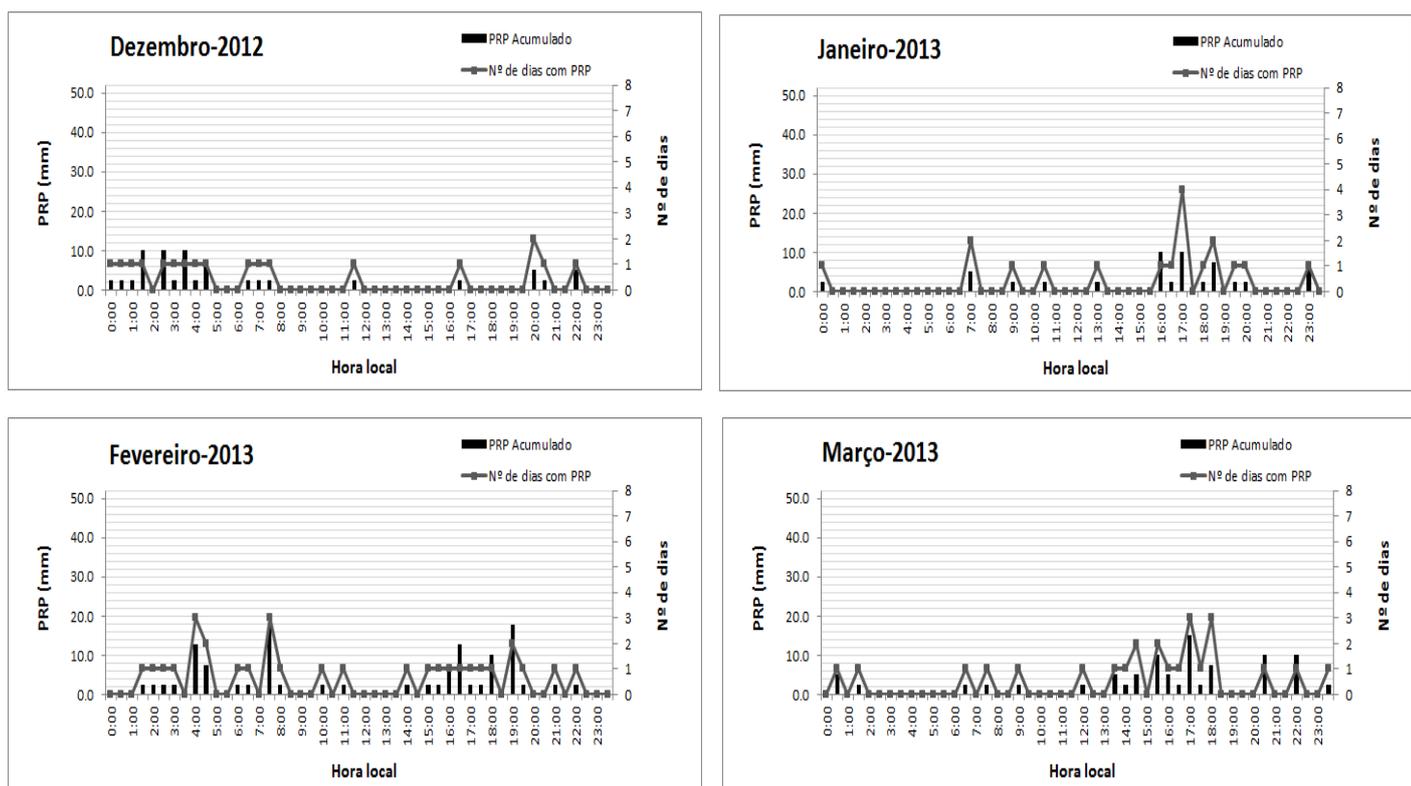
Após a coleta e consistência dos dados, os mesmos foram analisados estatisticamente em planilha eletrônica do EXCEL onde foram aplicadas médias aritméticas a todos os dados utilizados. Para todos os meses foram realizadas médias horárias, exceção para os meses em que foram analisados os dados de físico-química da água, nos quais foram feitas médias apenas de alguns dias representativos de cada mês, além de análise de variância.

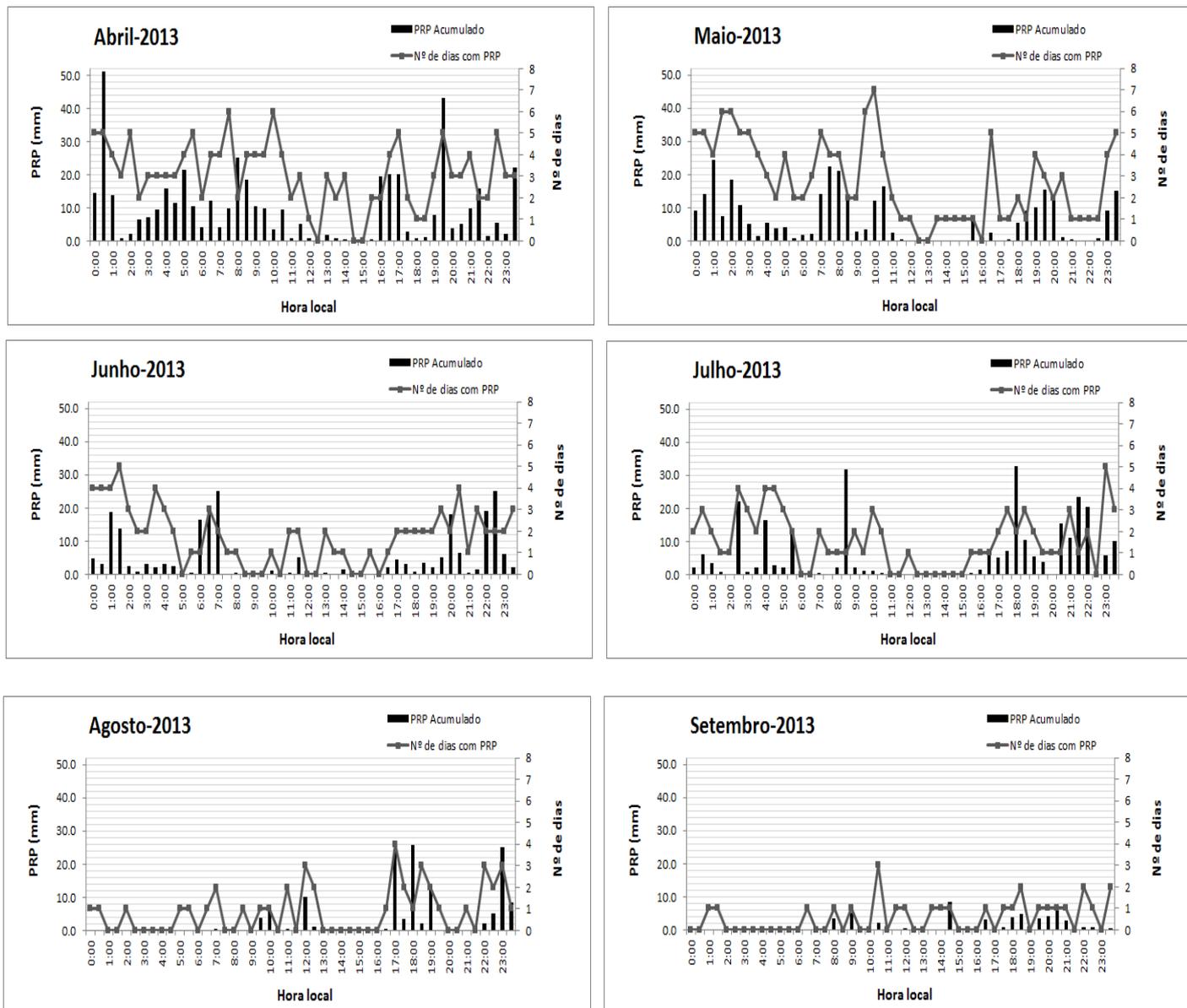
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Precipitação

A Figura 9 apresenta o padrão de precipitação acumulada (PRP) para o período correspondente de um ano (Outubro de 2012 à Setembro de 2013, sendo que não houve precipitação nos meses de Outubro e Novembro de 2012) em intervalos de 30 minutos, bem como o número de dias com precipitação para cada horário (hora local), sendo que neste período choveu um total de 1.817,2 mm. Observam-se maiores volumes de chuva no período que vai de Abril até Junho (período chuvoso), e menores volumes entre Julho e Novembro (período seco). O acumulado de PRP para o período chuvoso se aproximou de 1.000,0 mm, mais da metade do acumulado de chuva observado em todo período de estudo. No entanto, o período seco não ultrapassou 460,0 mm, ficando evidente a redução de chuvas entre os períodos chuvoso e seco.

Figura 9- Precipitação horária acumulada e número de dias com Precipitação referentes ao período de um ano na baía de Caxiuana.





Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se notar que a PRP ocorre em um mesmo horário em um número grande de dias, entretanto nem sempre quando existem mais eventos de chuva o volume é maior em relação a outros horários (Figura 9). Um exemplo disto é o mês de Abril às 10:00 hs, onde pode-se notar muitos eventos de chuva mas com um volume reduzido de PRP, em comparação com o mês de Julho, as 08:30 hs, onde foi observado um pequeno número de eventos de chuva, mas com maior volume de PRP.

Quando observamos o padrão de chuva em comparação ao período diurno e noturno (Tabela 1), tanto no período chuvoso quanto no período seco, nota-se que a chuva nesta região costuma ocorrer principalmente no período noturno. Nos oito meses onde a chuva acontece com maior intensidade no período noturno em comparação ao

diurno, a diferença média de precipitação entre os dois períodos é de 58,4 mm, sendo que nos meses de Julho e Maio (meses onde a diferença foi maior) esta diferença chega a 152,2 e 103,4 mm, respectivamente (Tabela 1). Valores noturnos máximos de chuva foram observados no mês de Abril, nos horários de 00:30 e 19:30 hs, registrando 52,0 e 43,0 mm respectivamente (Figura 9). Para o mesmo horário, porém para o mês de Maio é registrado uma redução significativa, em que a PRP máxima registrada é inferior a 20,0 mm. Para ambos os períodos o menor volume de chuvas ocorre entre 11:00 e 15:00 hs, alcançando um valor máximo de aproximadamente 5,0 à 8,0 mm.

Tabela 1- Eventos de chuva e quantidade de precipitação (mm) para os meses de Outubro de 2012 a Julho de 2013, na baía de Caxiuanã (PA).

Meses	Dia		Noite	
	Eventos de chuva	Precipitação (mm)	Eventos de chuva	Precipitação (mm)
Outubro/12	0	0,0	0	0,0
Novembro	0	0,0	0	0,0
Dezembro	5	12,7	13	58,9
Janeiro/13	11	35,6	7	25,4
Fevereiro	15	63,5	15	66,0
Março	16	58,4	8	38,1
Abril	69	180,4	80	283,8
Maio	55	122,0	79	185,6
Junho	23	81,8	62	146,2
Julho	22	60,0	55	212,2
Agosto	20	51,2	22	82,8
Setembro	13	24,8	14	27,8
Total	249,0	690,4	355,0	1.126,8

Fonte: Elaborado pela autora.

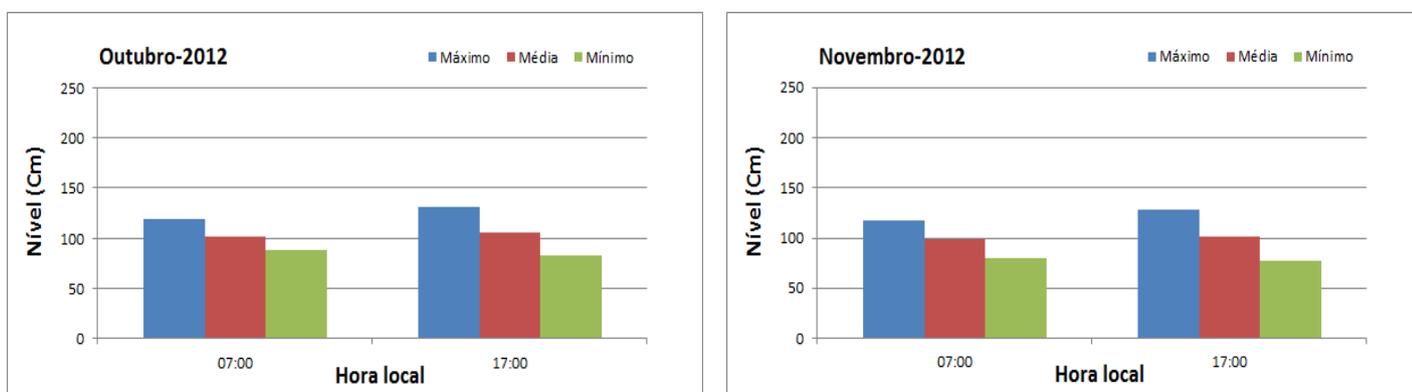
Conforme comentado acima, o maior número de eventos de chuva aconteceu no período noturno com exceção para os meses de Janeiro e Março, quando os eventos foram maiores no período diurno, e para o mês de Fevereiro quando o número de eventos de chuva foi o mesmo para os dois períodos (Tabela 1). Nota-se que este momento é quando a região está passando do período seco para o chuvoso. Os meses de

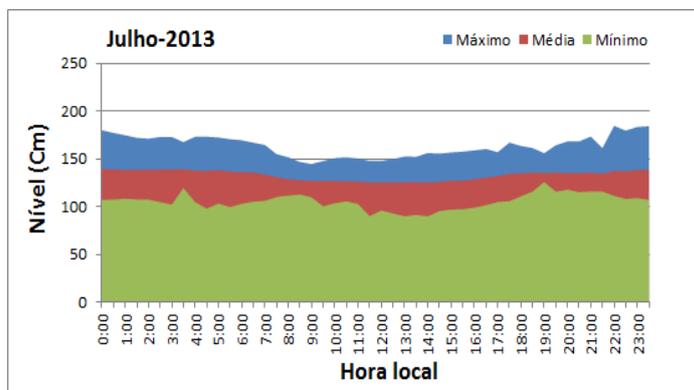
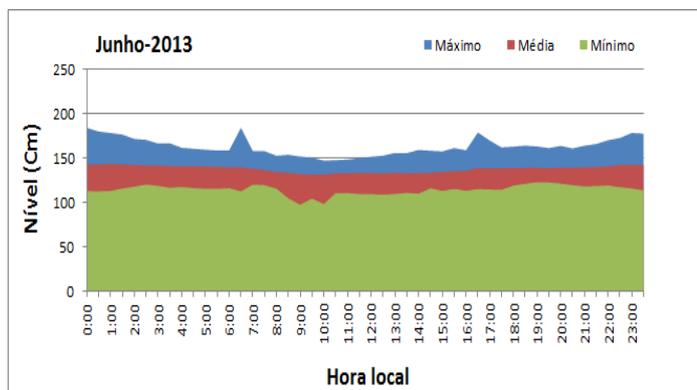
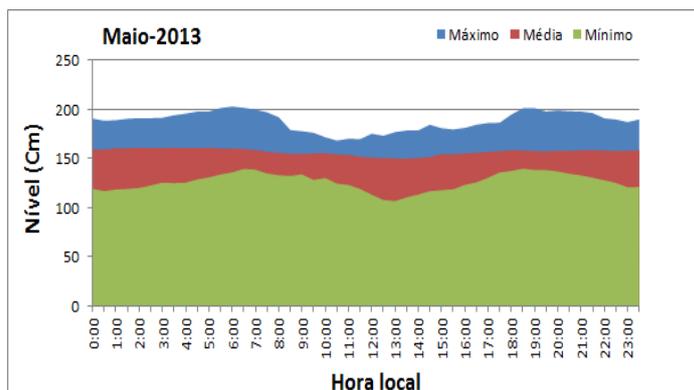
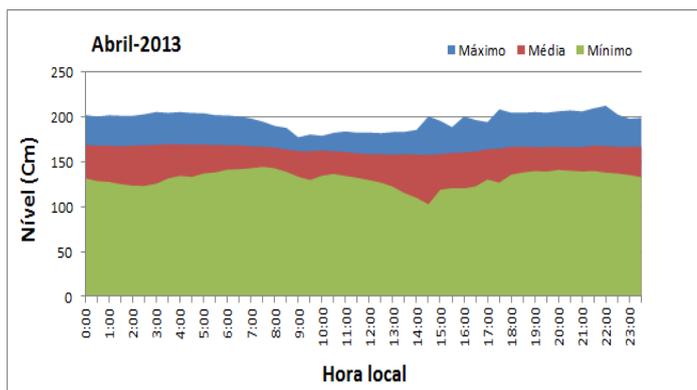
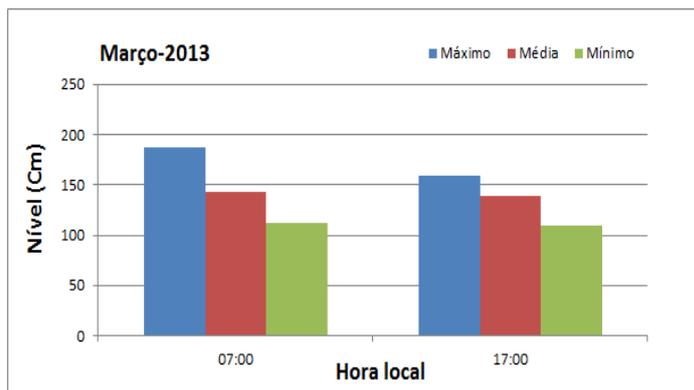
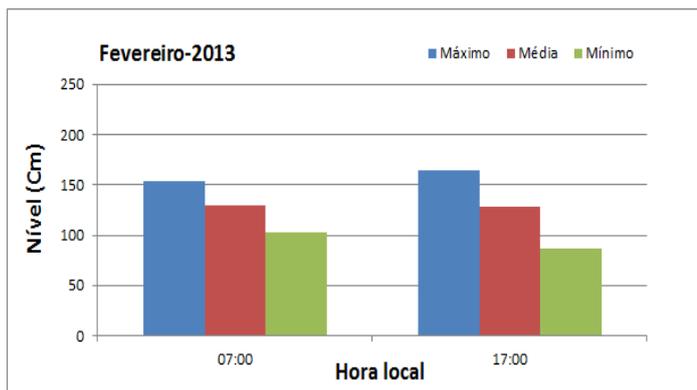
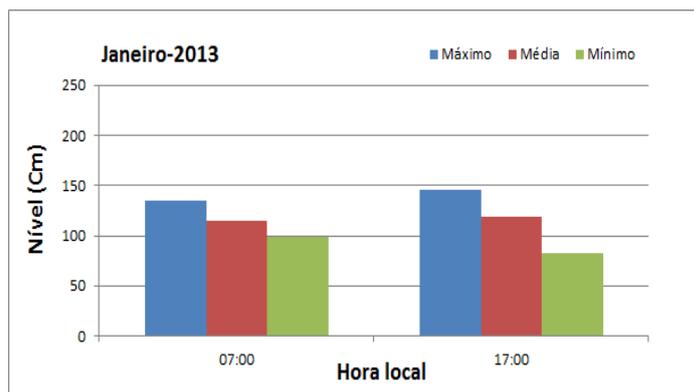
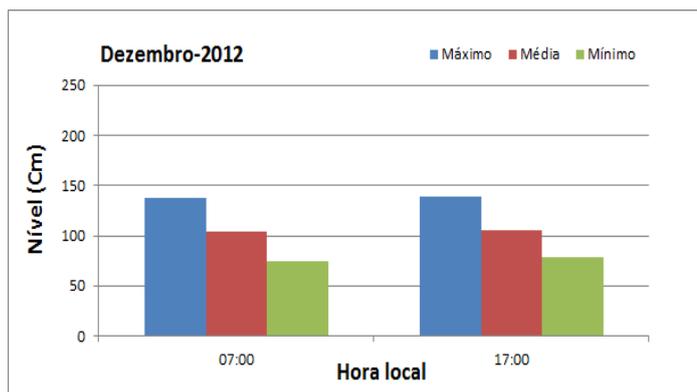
Abril e Maio foram os que apresentaram o maior número de eventos de chuva durante o período noturno, sendo que as maiores diferenças entre os eventos, quando comparamos os dois períodos, ficaram nos meses de Junho e Julho, respectivamente (Tabela 1). É importante ressaltar que mesmo nos períodos secos, bem como na estação chuvosa, o maior número de eventos de chuva (355) e a maior quantidade (1.126,8 mm) aconteceu no período noturno. Nos meses de maior precipitação, de Abril a Agosto, no qual choveu em média 281,2 mm, 65,1% da quantidade de chuva, aconteceu no período noturno.

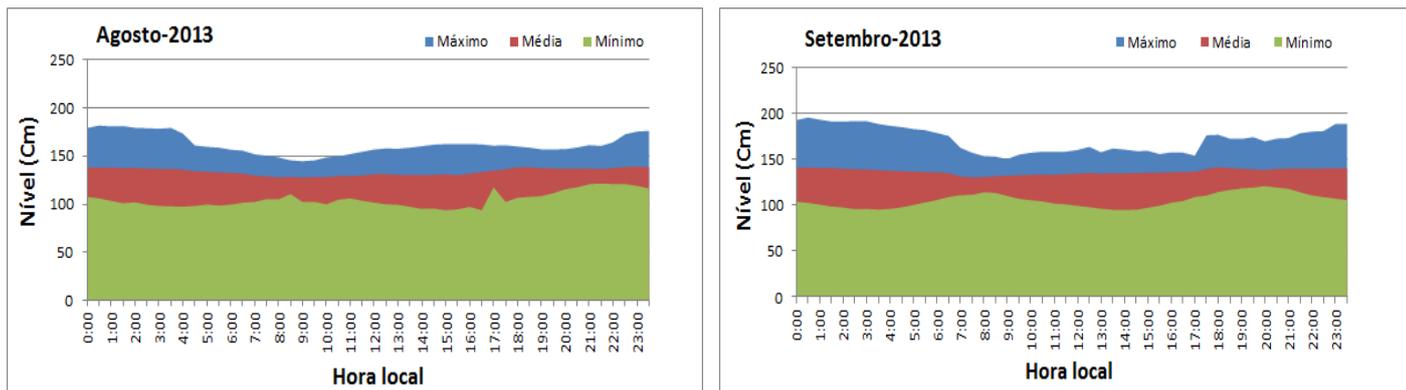
5.2 Comportamento da Maré

Na Figura 10 é observado o comportamento do nível de água na baía de Caxiuanã. Para os meses de Outubro de 2012 à Março de 2013, apenas os dados de 07:00 e 17:00 hs encontravam-se disponíveis, pois os mesmos foram coletados através da tábua de maré medido no furo de Curuá pela CPRM, distante em linha reta 970 m da torre. Nos demais meses as medidas de nível da água foram coletadas automaticamente a cada 30 minutos pelo Marégrafo instalado na torre micrometeorológica. Os dados revelam que os meses mais chuvosos são os que têm maior volume de água. Nos meses de Outubro a Dezembro de 2012 o nível variou muito pouco (100-105 cm) entre a maré cheia e a maré baixa, atingindo máximo de 140 cm às 17:00 hs. Nota-se que no horário das 07:00 hs a maré estava no período de vazante e durante o horário de 17:00 hs no período de enchente, ou seja, neste período pelas manhãs a água corria pelo seu percurso normal e a tarde voltava a encher.

Figura 10-Nível de maré horário, na baía de Caxiuanã.







Fonte: Elaborado pela autora.

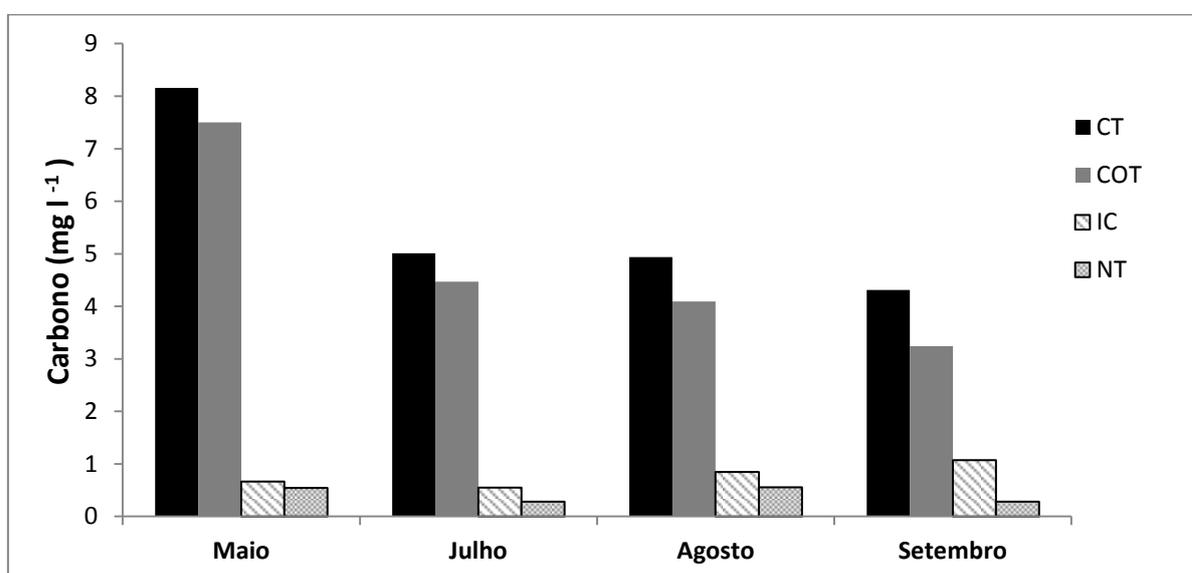
Para os meses de Fevereiro e Março (período chuvoso) uma elevação significativa é notada no nível médio de maré, onde o mesmo alcança um máximo de 140 cm. A partir de Abril podemos observar o comportamento mais detalhado do nível da água (Figura 10), onde são evidentes os períodos em que maré encontrava-se no período de enchente e vazante. Em Abril também foram registrados os maiores níveis de água de todo período observado, alcançando o máximo de 170 cm nos horários que a maré encontrava-se vazando e 200 cm quando estava no período de maré-cheia. Este resultado está de acordo com a Figura 9, a qual apresenta Abril como o mês de maior volume de PRP, o qual também é precedido pelos dois meses com grande volume de chuva, Fevereiro e Março. Na maioria dos meses a maré estava baixa no intervalo entre 07:00 hs da manhã e 16:00 hs da tarde. Os valores máximos de nível de maré ocorreram entre 00:00-06:30 e 18:00-23:00 hs, alcançando 200 cm.

5.3 Carbono Orgânico

A concentração de carbono total (CT), carbono orgânico total (COT), carbono inorgânico (CI), além do total de nitrogênio (NT) é exibida na Figura 11. Quando observamos o comportamento do COT, a partir de Maio, percebe-se que o mesmo diminui com o passar dos meses, e que esta variável é o que mais contribui para a concentração do CT dentro da baía de Caxiuanã. Em Maio o valor observado chegou próximo de $7,5 \text{ mg l}^{-1}$ (valor máximo registrado durante todo período), enquanto que no mês de Julho uma redução de quase $3,0 \text{ mg l}^{-1}$ pode ser notada pois o valor máximo alcançado nesse período foi de $4,5 \text{ mg l}^{-1}$. Para o mês de Agosto, houve uma redução mínima em relação o mês anterior, em que valor observado foi de $4,1 \text{ mg l}^{-1}$. Em Setembro o valor mínimo de COT é notado, cerca de $3,2 \text{ mg l}^{-1}$. Comportamento inverso é observado para o CI, pois o mesmo tende a aumentar durante o período de análise, o que vem justificar a diminuição do COT pois o mesmo é dado pela diferença

entre o CT e CI. Esse aumento do CI corresponde também ao período de redução de chuva na região (Figura 9), ou seja, redução no volume de água da baía de Caxiuanã, com conseqüente menor carregamento de MO da floresta para o rio, elevando dessa forma a concentração de CI. O NT não apresentou um comportamento padrão, devido algum mês aumentar (Maio e Agosto) e outros diminuir (Julho e Setembro) de forma aleatória. Estes resultados são semelhantes aos encontrados em estudo realizado por Melo (2013) o qual fez estudo da físico-química do rio Curuá e da baía de Caxiuanã.

Figura 11- Concentração de Carbono Total (CT), Carbono orgânico total (COT), Carbono Inorgânico (CI) e total de Nitrogênio durante o período de quatro meses (Maio, Julho, Agosto e Setembro), na baía de Caxiuanã (PA).



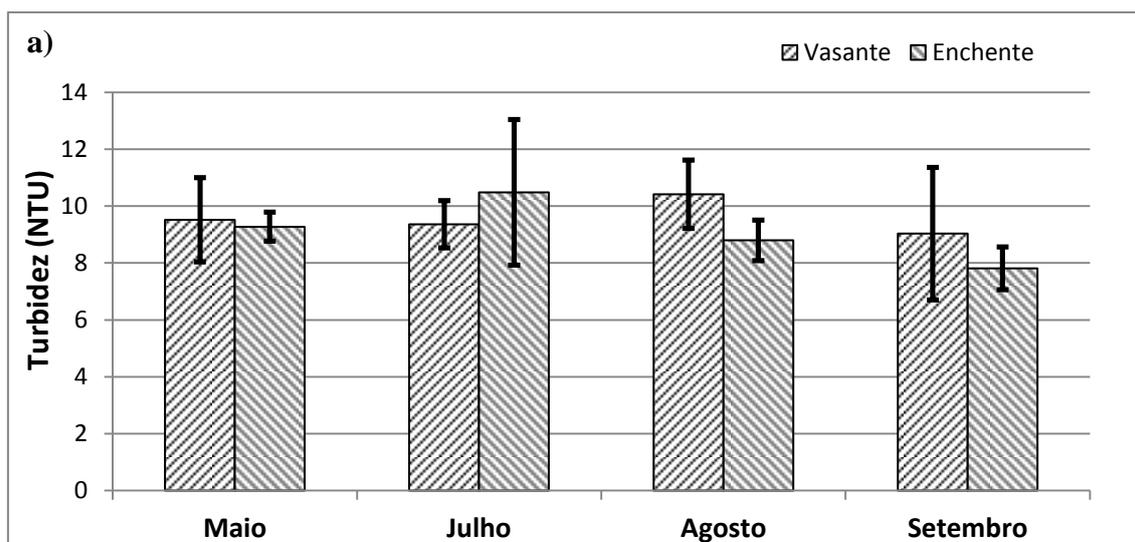
Fonte: Elaborado pela autora.

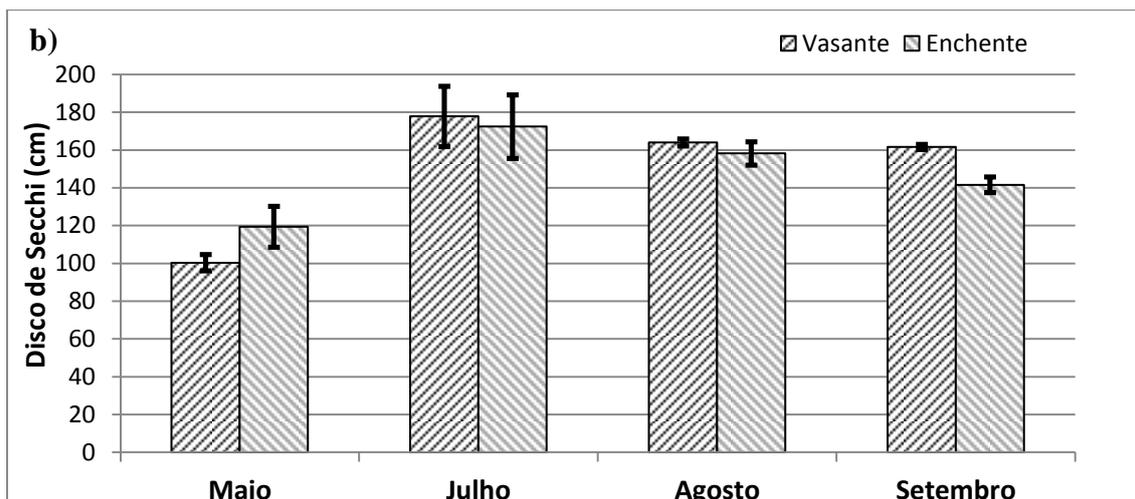
O COT e o NT diminuem, principalmente o COT, quando comparamos os meses de Maio e Julho, entretanto neste mesmo período o CI fica praticamente constante (Figura 11), indicando que não existe processo de decomposição da matéria orgânica (MO) dissolvida na água. No período de julho a Agosto o COT continua diminuindo sua concentração, entretanto os dados mostram um aumento do IC e do NT, o que indica um processo de decomposição acentuada da MO. O mesmo acontece com COT e CI no período de Agosto a Setembro, entretanto observa-se uma diminuição do NT. Os dados revelam que existem uma maior concentração de COT no período chuvoso e uma menor concentração no período seco, inversamente ao CI, o qual aumenta sua concentração no período seco (Figura 11).

5.4 Turbidez da água

A turbidez da água da baía de Caxiuanã juntamente com a profundidade do disco de *Secchi* é avaliada na Figura 12, para dois momentos distintos, quando a maré está no período de vazante e quando a maré está no período de enchente. As avaliações aconteceram nos mesmos meses da análise de carbono dissolvido na água da baía. O número de dias analisados varia entre 4 à 5 dias durante cada mês. Os dados mostram que não existe uma diferença significativa ($p > 0,05$) entre a vazante e a enchente nos meses estudados, tanto para o disco de *Secchi*(Figura12-b) como para Turbidez (Figura 12-a), devido ao erro apresentado pelas amostras ser muito grande. A diminuição das chuvas resulta em uma maior visibilidade do disco de *Secchi*, indo de uma média de 110 cm para 160 cm de profundidade, o que está de acordo com os resultados apresentados sobre o COT dissolvido na água da baía. Contudo a turbidez da água não varia significativamente durante os meses analisados (Figura 12-a), dados estes que não condiz com os resultados do disco de *Secchi*. O que pode ser justificado de acordo com as Figuras 9 e 11, pois nesse período ocorre redução do COT e diminuição de volume de chuva, isto é, com a diminuição do COT maior será a transparência da água e redução de chuva faz com que menos material orgânico seja carregado para a baía, tornando dessa forma maior a transparência das águas da baía de Caxiuanã.

Figura 12- Análise de Turbidez e profundidade de Secchi durante o período de quatro meses(Maio, Julho, Agosto e Setembro). As barras correspondem ao erro da amostra.





Fonte: Elaborado pela autora.

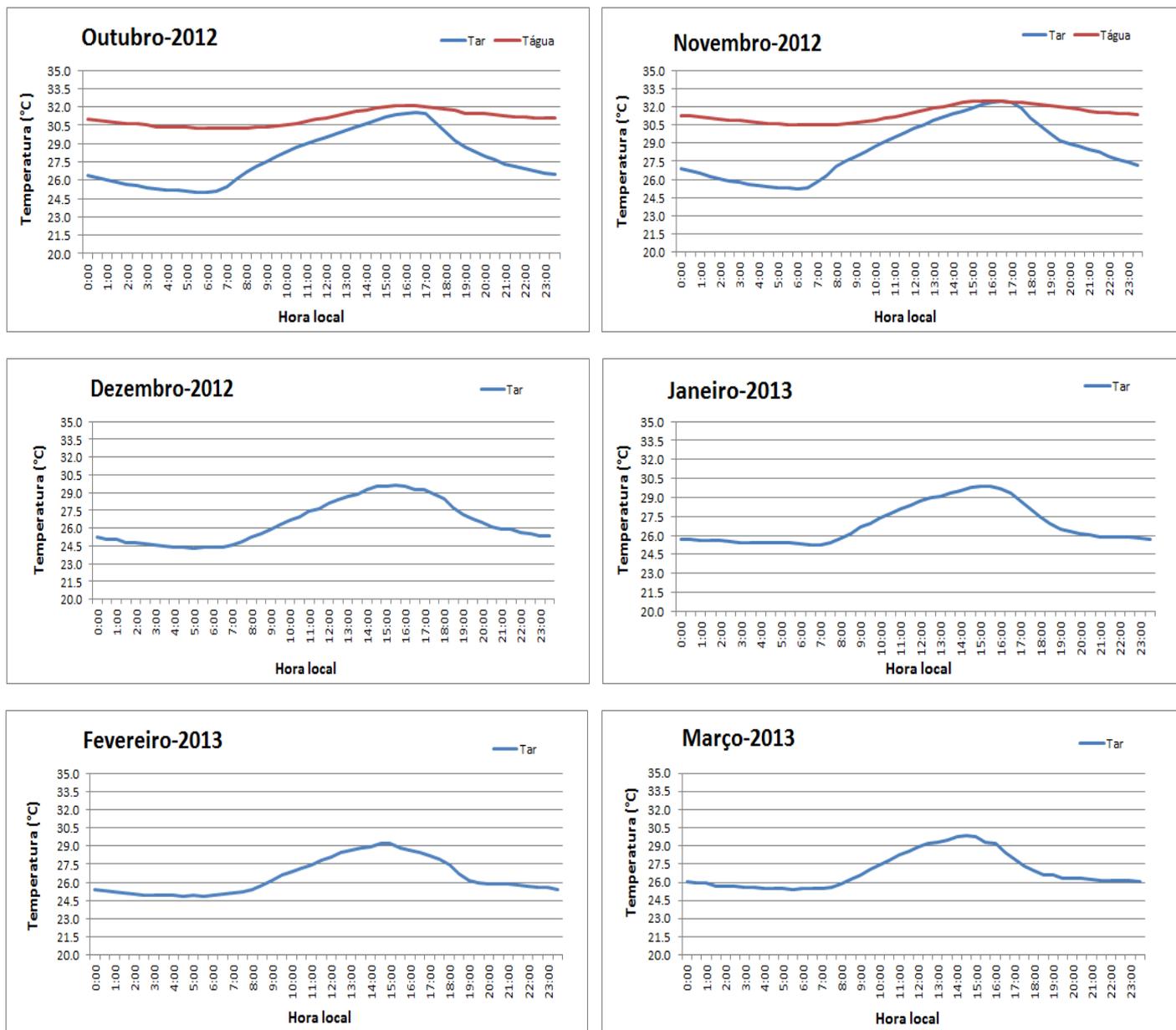
A claridade da água é afetada basicamente por dois fatores: algas e material em suspensão. Outros fatores que podem afetar a leitura da profundidade do disco de *Secchi* são: a cor da água, os ventos fortes, as ondas, a nebulosidade, a pesca de arrasto, as hélices dos barcos (nas águas rasas) e até a visão do operador. Geralmente, a profundidade do disco, multiplicada por 1,7 é aquela na qual a luz solar pode penetrar na coluna d'água. Apesar de não existir diferença estatística é interessante notar que nos meses mais secos a profundidade que a luz entrou dentro das águas da baía foi maior na vasante do que na enchente, coisa que aconteceu ao contrário no mês mais chuvoso (Maio). Uma explicação para isto pode estar relacionado com o retorno das águas pelo movimento das marés e com isto uma maior concentração de material particulado, dificultando a entrada da luz. Entretanto os resultados de turbidez não confirmam estes resultados, pois a turbidez nas vazantes dos meses de menor precipitação deveria ser maior na enchente em comparação com a vazante.

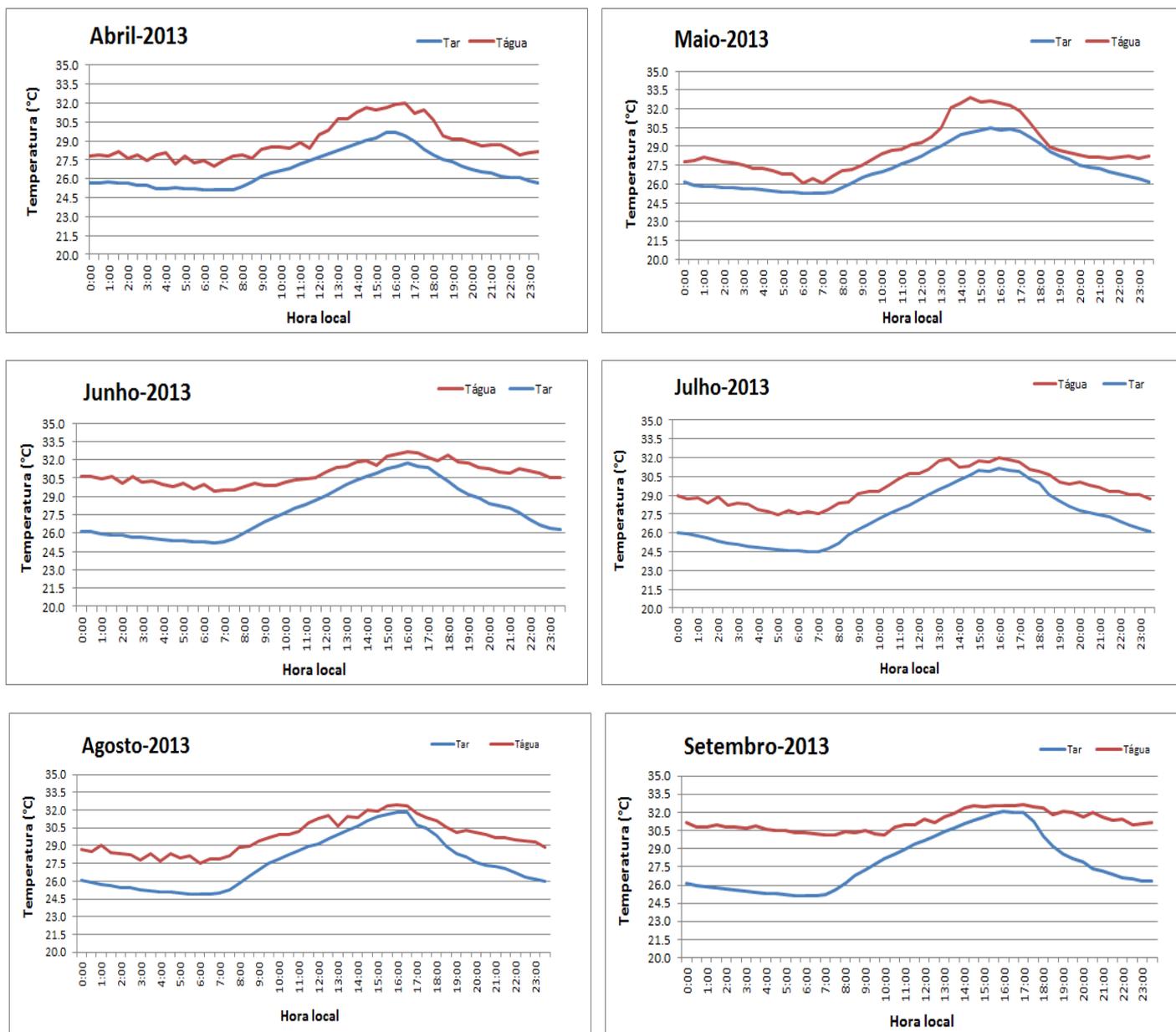
5.5 Temperatura do ar e da água

O comportamento da temperatura do ar e da água pode ser observado na Figura 13, sendo importante ressaltar que nos meses de Dezembro de 2012 a Março de 2013 o termômetro da água esteve com defeito e os dados não foram coletados. A máxima temperatura do ar observada ocorreu nos meses de Junho, Agosto e Setembro, atingindo 32,0 °C no horário das 16:00 hs. A temperatura mínima da água foi observada no mês de Maio, alcançando 26,0 °C entre 06:00 e 06:30 hs da manhã, enquanto que o valor mínimo encontrado para temperatura do ar ocorreu nos meses de Dezembro de 2012 e

Julho de 2013 atingindo 24,5°C no intervalo de 05:00-06:00 hs da manhã. O aquecimento do ar no período do inverno se inicia perto da 07:00 hs indo até as 15:00 hs, quando começa novamente a esfriar. Entretanto no período do verão, onde as precipitações são menores, este aquecimento perdura até próximo as 17:00 hs.

Figura 13-Temperatura média do ar e da água sobre a baía de Caxiuana.





Fonte: Elaborado pela autora.

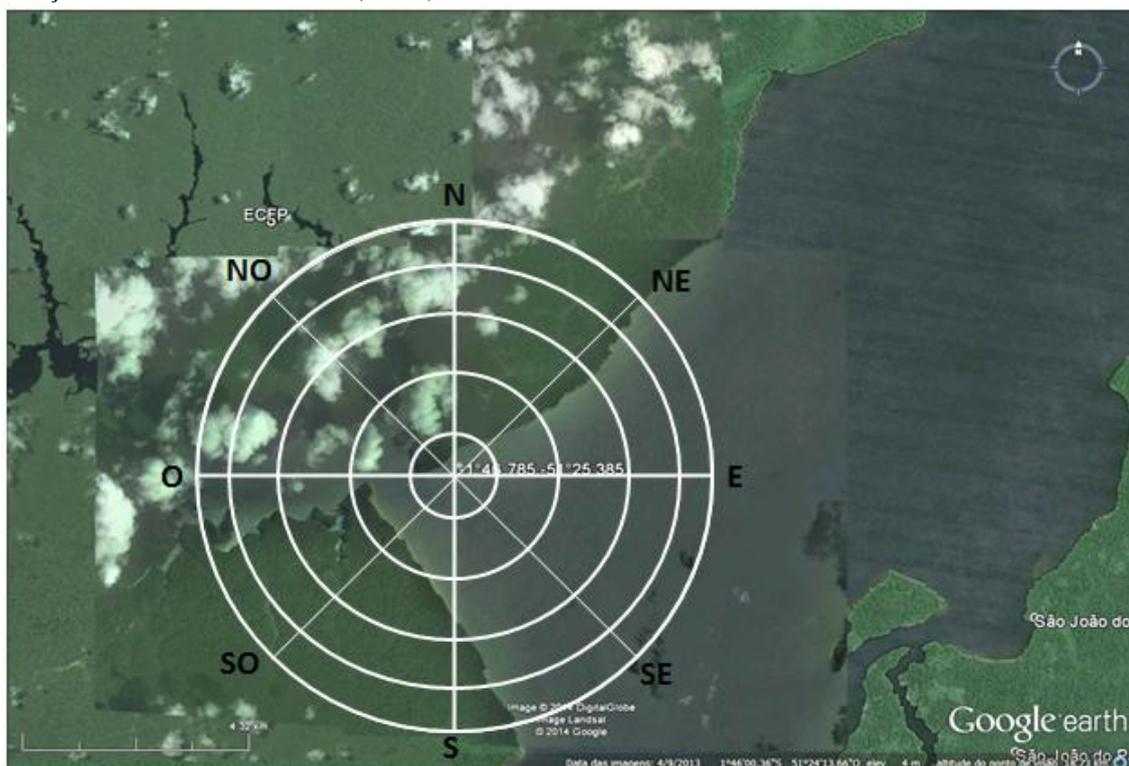
Em todos os meses analisados a temperatura da água sempre se manteve superior a temperatura do ar, além de apresentar pouca variação ao longo do dia (Figura 13). A temperatura máxima da água foi observada nos meses de Maio e Setembro, alcançando aproximadamente 33,0 °C, porém em diferentes horários, em Maio essa máxima ocorreu entre 14:00 e 16:00 hs enquanto que em Setembro ocorreu de 15:00 às 18:00 hs, o que esta de acordo com o descrito na literatura, onde tal variação é decorrente ao movimento aparente do sol ao longo do ano. É importante ressaltar que em todos os meses que a temperatura da água foi estudada, esta se apresentou mais fria no período da manhã em comparação com a tarde-noite. Em relação aos valores elevados da temperatura da água em relação à temperatura do ar, os resultados estão

coerentes aos encontrados em estudo realizado por Angelocci e Villa Nova (1995) para um lago na cidade de Piracicaba-SP, onde se verificou o perfil de temperatura ao longo de um ano, sendo que os resultados mostraram que para todos os níveis de profundidade do lago, a temperatura da água foi maior que a temperatura do ar.

5.6 Direção e velocidade do vento

Para se ter uma melhor visualização deste estudo é necessário plotar a torre em uma mapa ($1^{\circ}46,785'S$ e $51^{\circ}25,385'W$), o qual é apresentado na Figura 14. Pode notar que as direções Nordeste (NE), Este (E) e Sudeste (SE) são ventos que vem da baía de Caxiuanã, sendo que as direções Norte (N), Noroeste (NO), oeste (O) e sul (S) são ventos vindos do continente para a baía.

Figura 14- Mapa destacando a torre dentro da baía de Caxiuanã ($1^{\circ}46,785'S$ e $51^{\circ}25,385'W$) à 5,9 km da Estação Científica Ferreira Pena (ECFP).



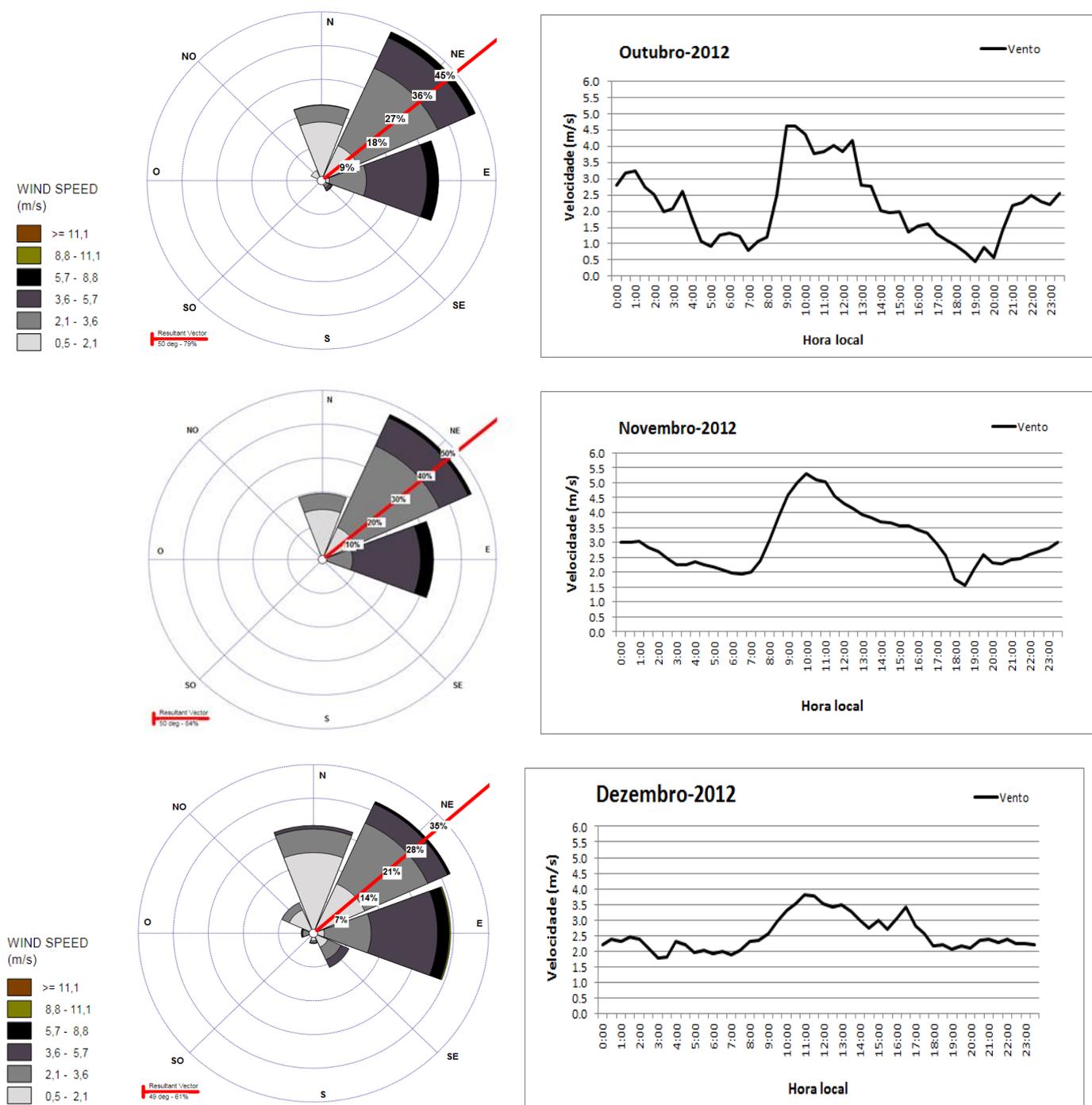
Fonte: Elaborado pela autora.

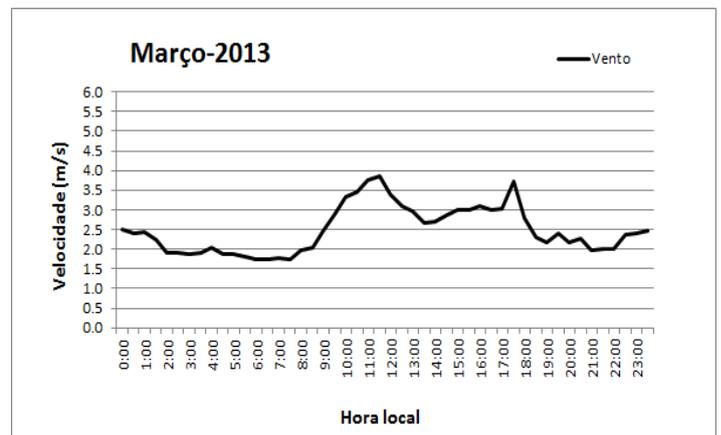
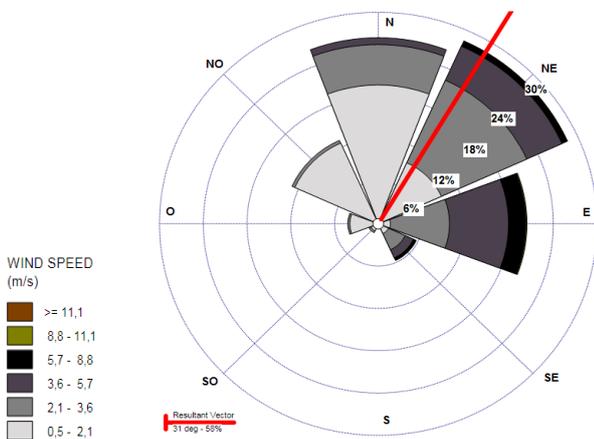
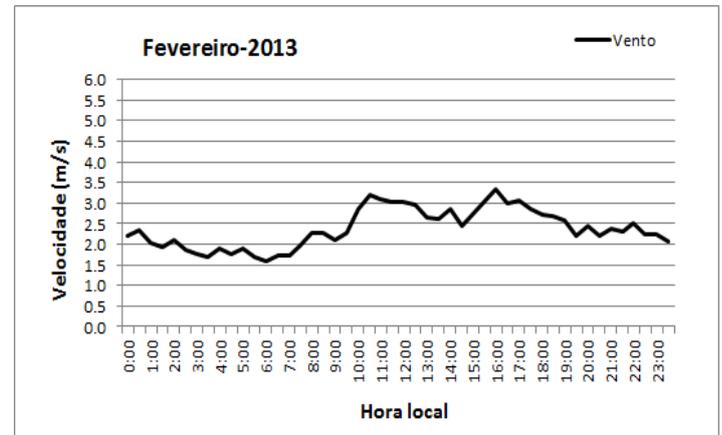
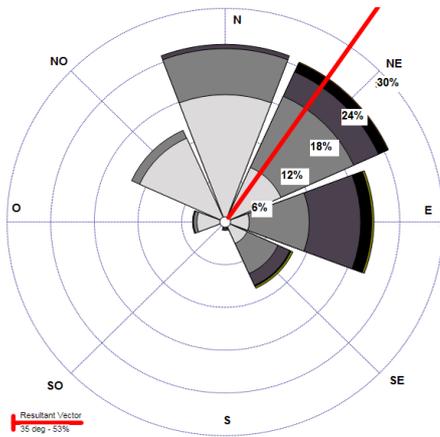
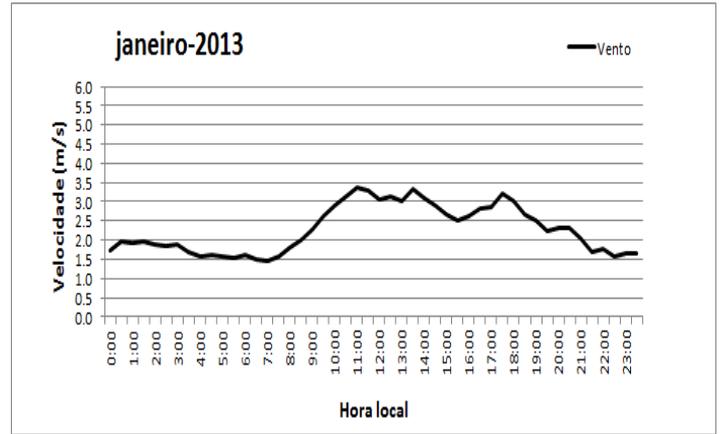
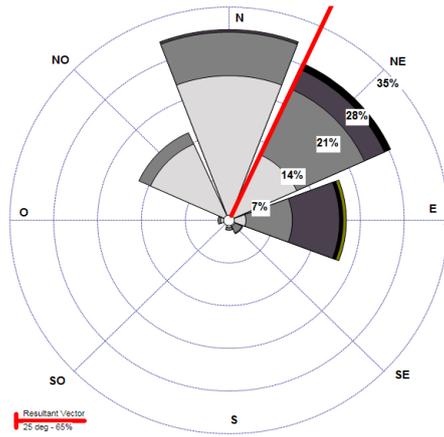
Na Figura 15 é observado o comportamento da direção e velocidade do vento para o período que se estende de Outubro de 2012 à Setembro de 2013. Em uma avaliação da direção do vento, nota-se que a mesma tem caráter predominante de NE, direção média ou vetor resultante, porém em alguns meses a exemplo de Janeiro à Abril, além de Agosto observa-se que ventos advindos de N aproximam-se a 30% das direções

observadas no período, onde por vezes se aproximam em porcentagens aos ventos de nordeste. Outra direção característica notada é a presença de ventos de Este que apresentaram a segunda maior porção.

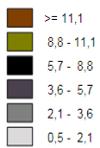
As velocidades máximas foram registradas nos meses de Novembro de 2012 e Setembro de 2013, atingindo aproximadamente $5,2 \text{ m.s}^{-1}$ e a mínima registrada foi no mês de Abril e Maio onde a velocidade máxima não ultrapassou $3,0 \text{ m.s}^{-1}$.

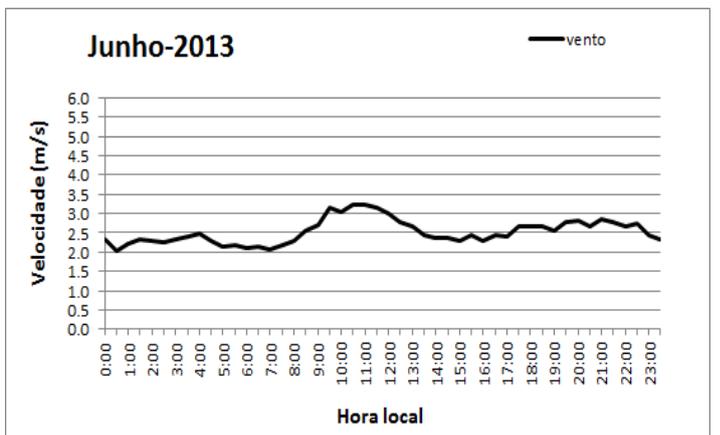
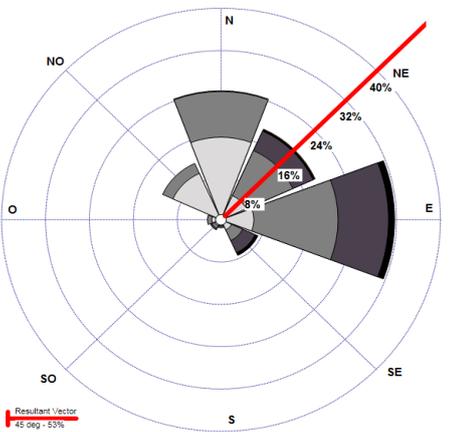
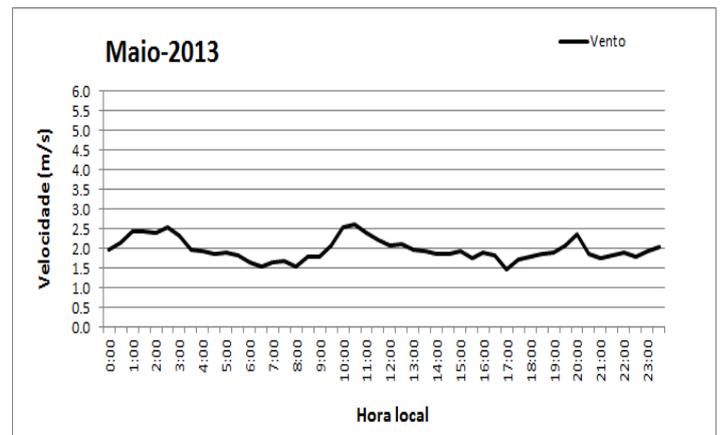
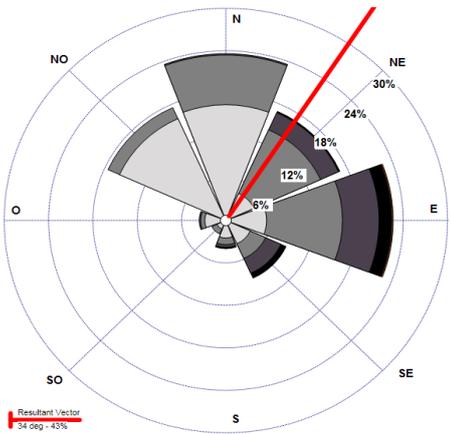
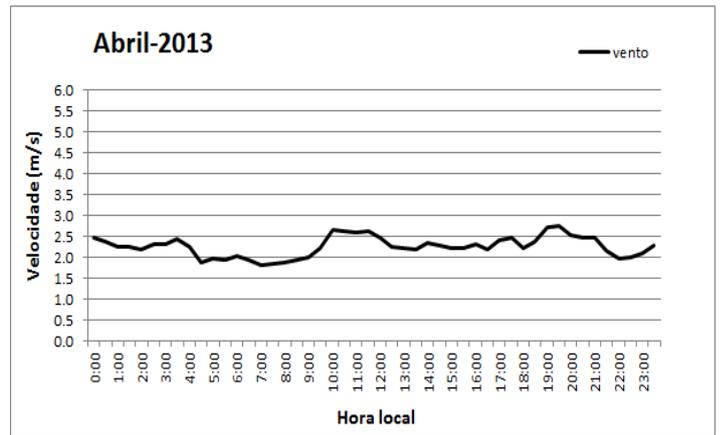
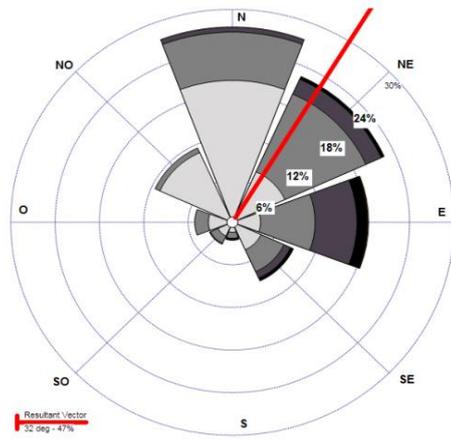
Figura 15-Velocidade média e direção do vento na baía de Caxiuana.



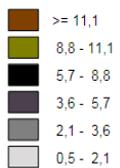


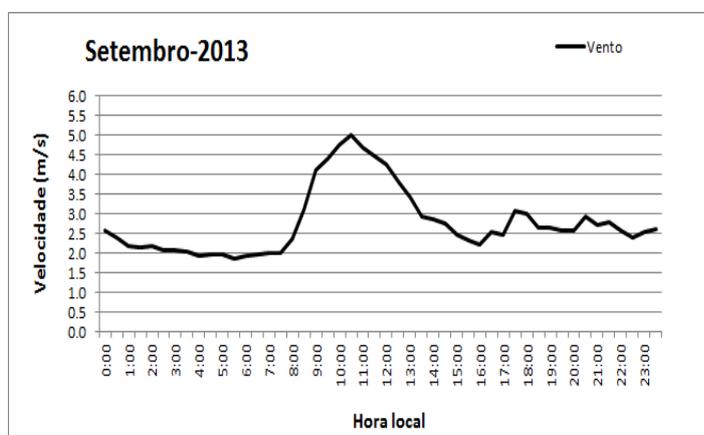
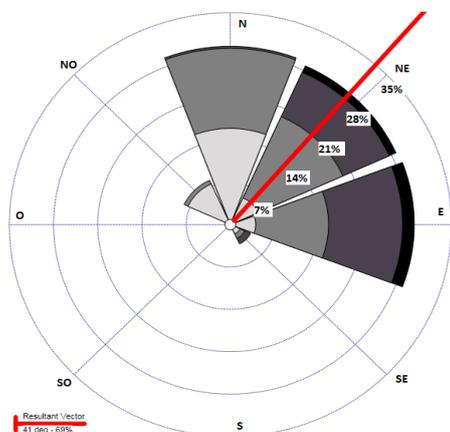
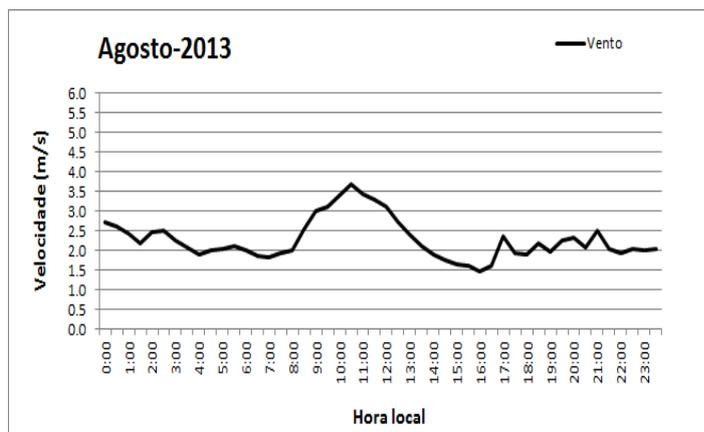
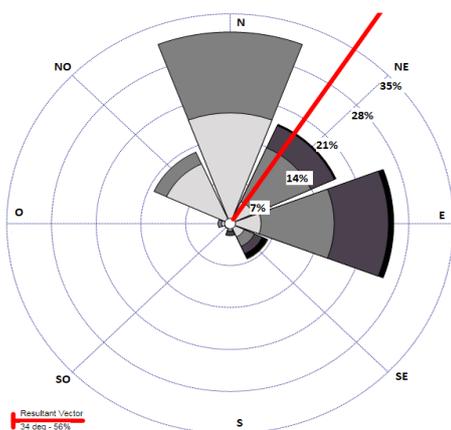
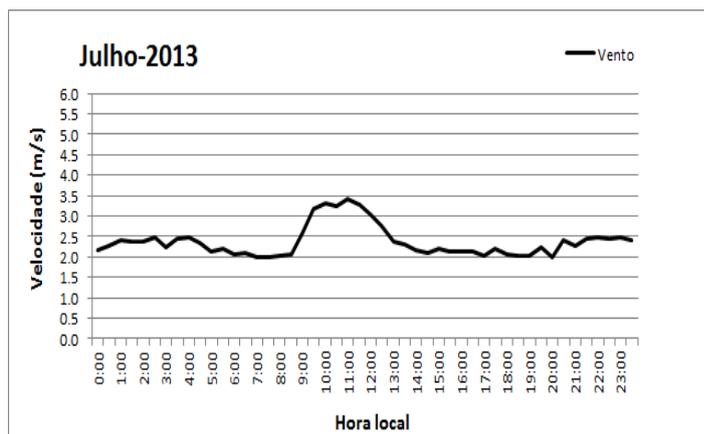
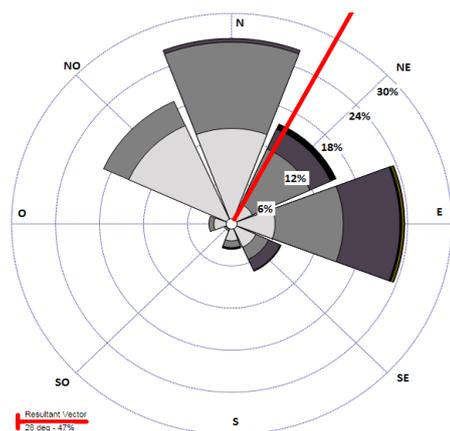
WIND SPEED
(m/s)





WIND SPEED (m/s)





Fonte: Elaborado pela autora.

A partir de Janeiro é sempre observado a formação de brisas com ventos vindos de N e NO, a brisa é causada pelo aquecimento diferencial entre a floresta e o rio (SILVA DIAS et al., 2004). As brisas observadas ocorreram em grande parte no período da noite, o que as caracteriza como brisas terrestres, isto é, no sentido do continente para o mar (rio).

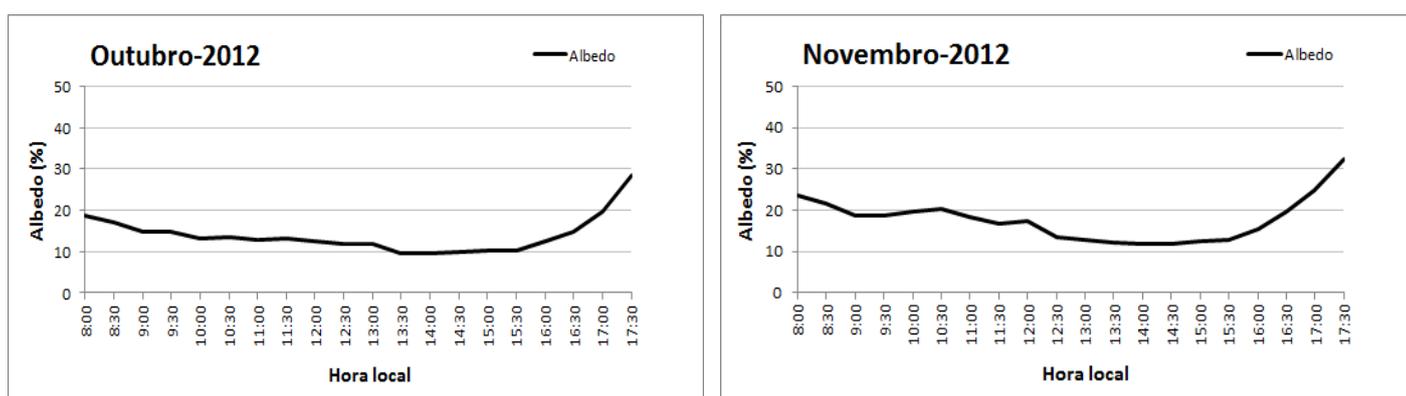
Estudos realizados por Silva Dias et al. (2004) apontam para a existência de brisas fluviais que podem ocorrer tanto no período diurno como noturno, no presente

estudo estas estariam auxiliando no transporte de calor para o continente. Ao avaliar o comportamento da velocidade do vento, uma característica chama atenção no horário entre 10:00 e 10:30 hs, de todos os meses analisados, nota-se que ocorre uma elevação da velocidade do vento, que por sua vez está associada a maiores gradientes de temperatura que geram gradientes de pressão, elevando desta forma a velocidade do vento. Quando a velocidade do vento ocorreu de forma mais intensa, uma maior agitação foi observada na maré da baía de Caxiuanã, pois o vento induziu a produção de ondas. Esse período de agitação da maré ocorreu em geral, durante a maré estar no período de vazante, e de maneira mais pronunciada nos meses referentes ao período seco, Setembro, Outubro e Novembro.

5.7 Albedo

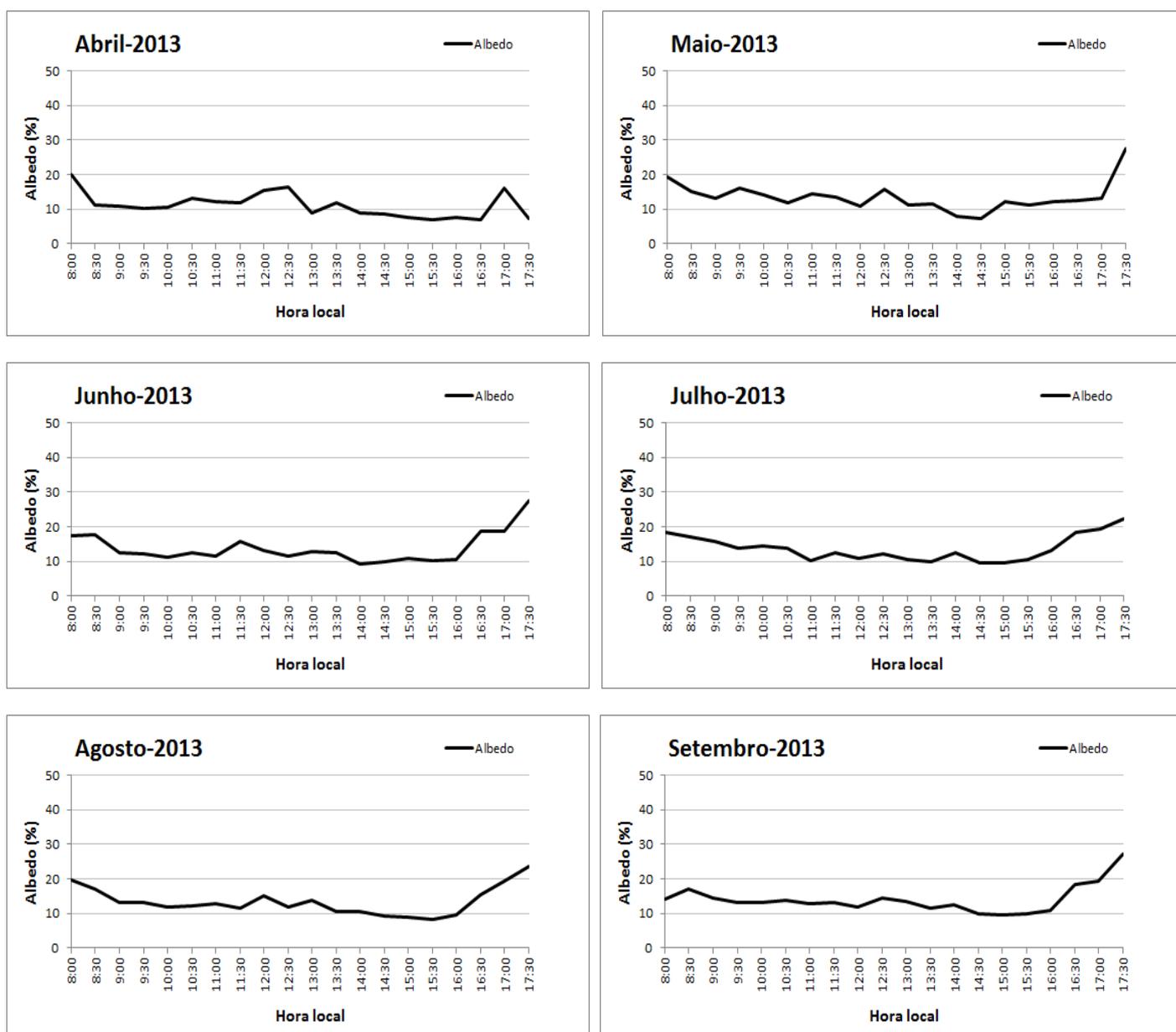
O comportamento do albedo pode ser observado na Figura 16, a qual apresenta uma sazonalidade evidente ao longo dos meses analisados. Em meses correspondentes ao período chuvoso (DJFMAM¹) ocorreram os maiores valores de albedo, enquanto nos meses que caracterizam o período compreendido por seco (JJASON²) foram observados os menores valores de albedo. Ao longo do dia ocorre uma variação do albedo onde o mesmo apresenta máximos no período de máxima incidência solar, isto é, quando os raios solares encontram-se perpendiculares a terra é observado os mínimos valores de albedo, quando esse ângulo é aumentado notamos maiores valores no albedo.

Figura 16 - Albedo horário estimado sobre a baía de Caxiuanã.



¹ Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio.

² Junho, Julho, Agosto, Setembro, Outubro, Novembro.



Fonte: Elaborado pela autora.

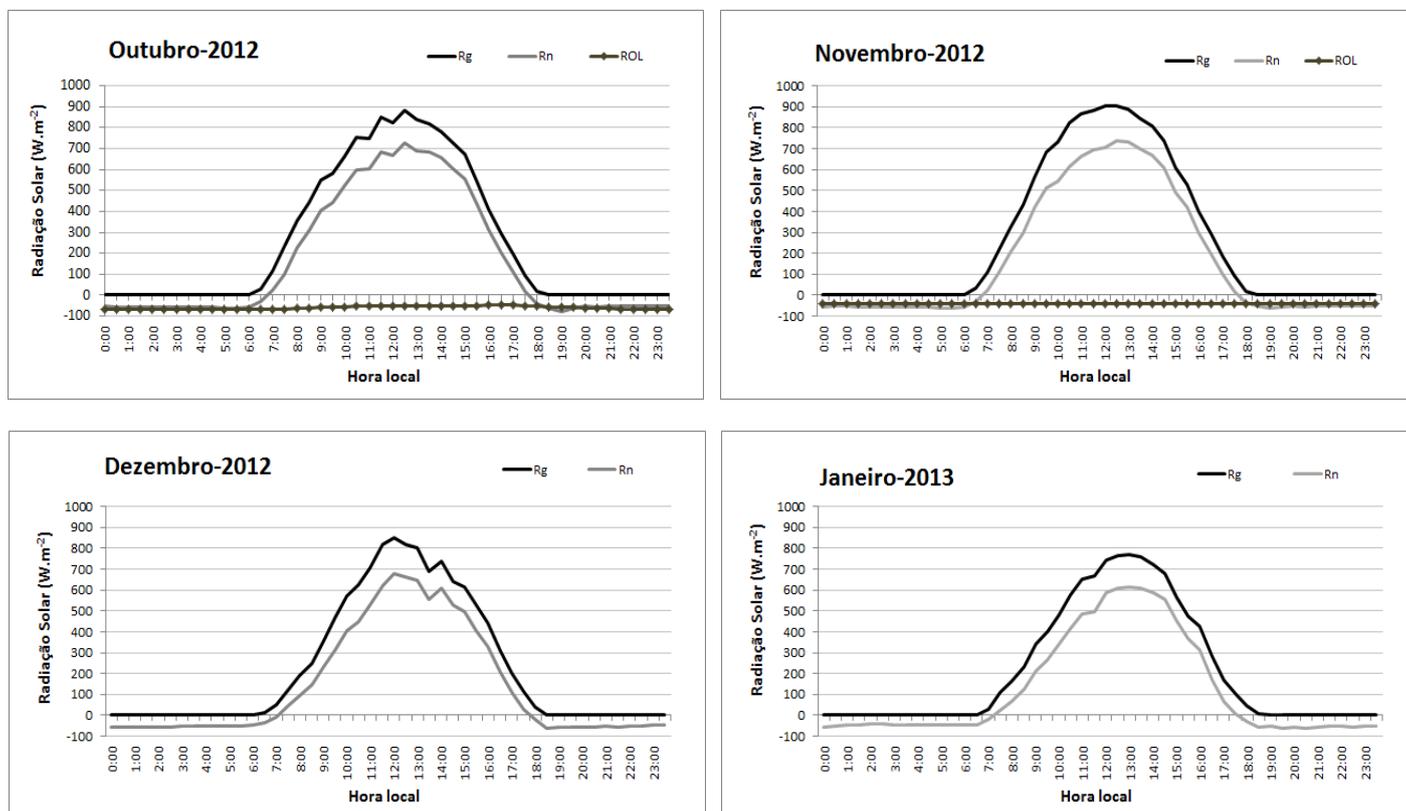
Os valores mínimos de albedo ocorreram no horário de 13:30 e 14:30 hs no mês de Maio, alcançando 9%. Enquanto os valores médios observados foram de aproximadamente 15% ao longo de todo período analisado. Os valores mínimos de albedo corroboram com a Figura 13, como o albedo é mínimo indica que a água está absorvendo bastante radiação, logo sua temperatura será elevada. Este resultado está de acordo com Oliveira et al. (2010) que afirma que a água possui um albedo baixo, porém isto pode mudar dependendo de sua constituição a exemplo de material orgânico dissolvido ou particulado presente na mesma. No entanto, quando associamos os valores de albedo com COT não foi possível verificar uma correlação entre ambos, pois nos meses que o COT foi avaliado (Figura 11) vem diminuindo, com essa diminuição espera-

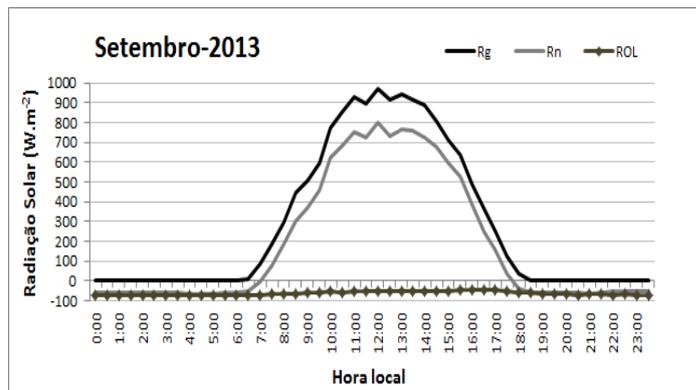
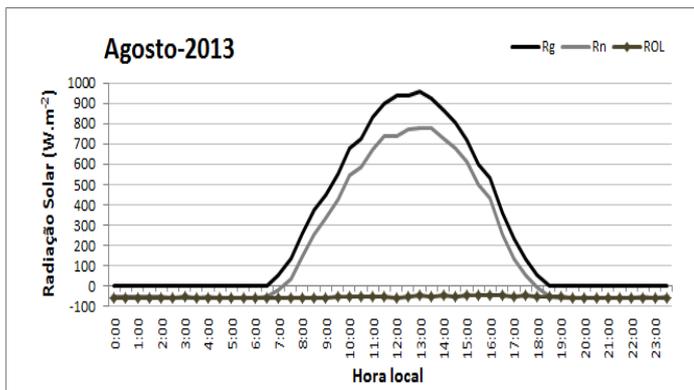
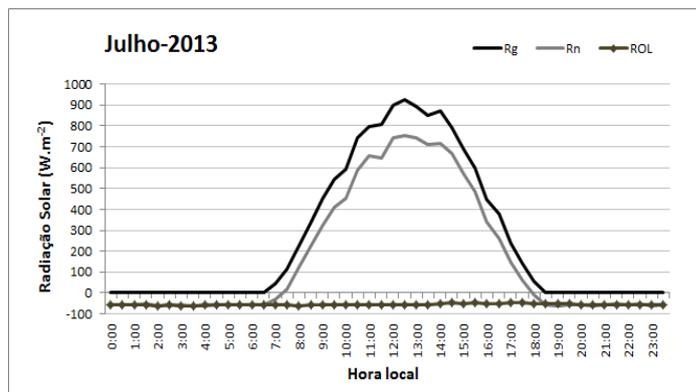
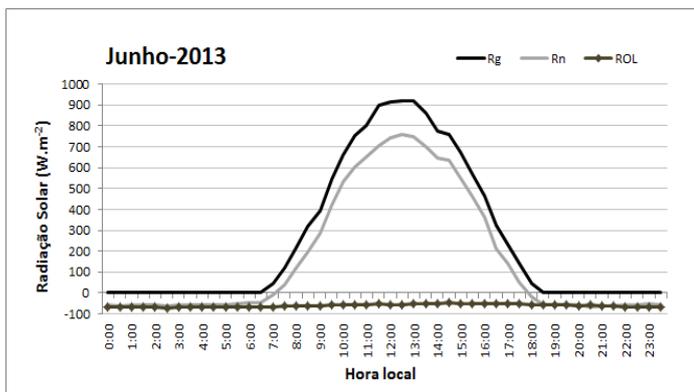
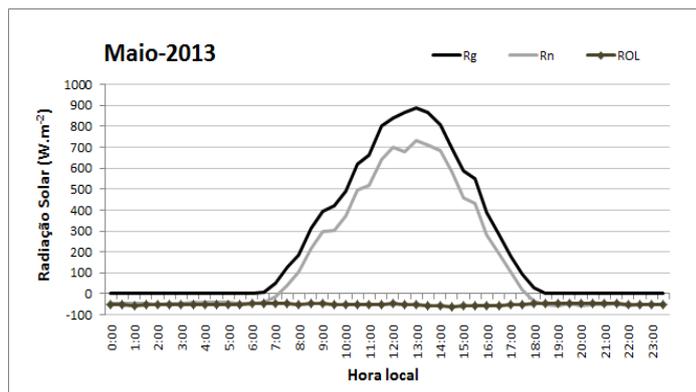
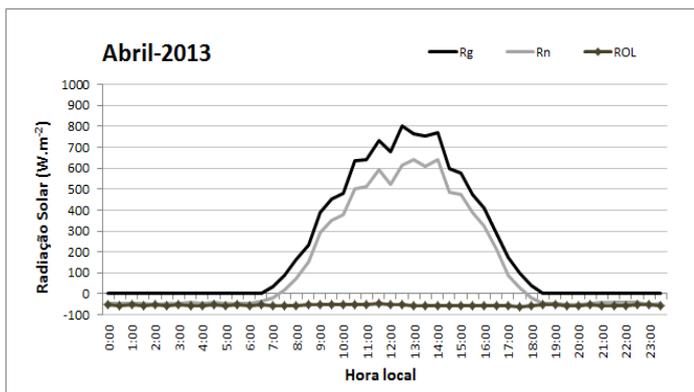
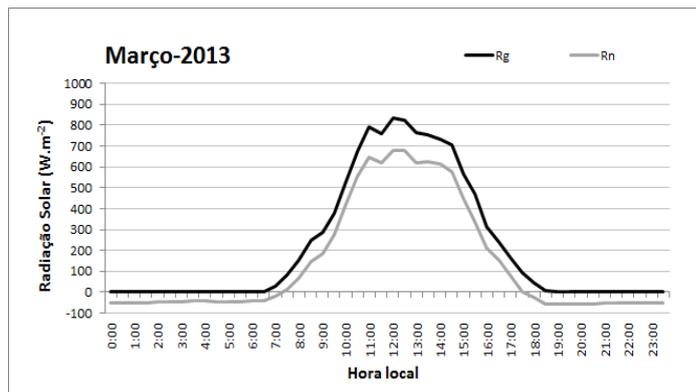
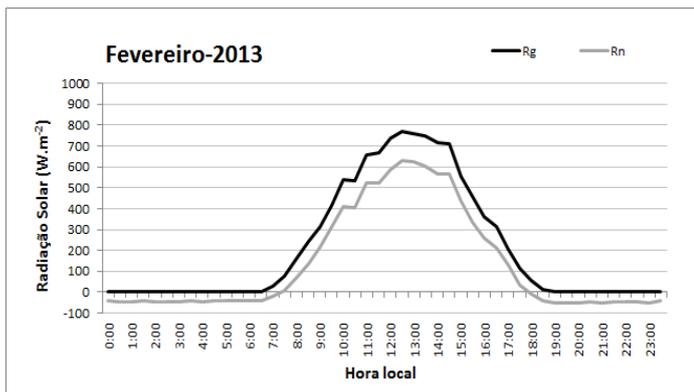
se menos material particulado absorvendo radiação, o que resultaria em maior reflexão da superfície da água, contudo isto não fica evidente, visto que o albedo varia muito pouco nos meses analisados.

5.8 Radiação global, saldo de radiação líquida e balanço de onda longa.

Na Figura 17 é observado o comportamento de radiação global (Rg), saldo de radiação (Rn) e balanço de radiação de onda longa (ROL). No decorrer de todos os meses fica claro que por volta das 06:30 hs inicia-se o recebimento de radiação solar pela atmosfera, ocorrendo seu ápice às 13:00 hs, voltando a diminuir em torno de 18:00 hs devido ao pôr do sol. Para os meses que caracterizam o período seco são observados os maiores valores de Rg que chegam à superfície, isto ocorre devido a menor cobertura de nuvens presentes neste período. Os valores máximos de Rg ocorreram nos meses de Agosto e Setembro, geralmente entre 12:00-15:00 hs, alcançando aproximadamente 1.000 W.m^{-2} , enquanto que os valores mínimos ocorreram nos meses de Janeiro a Abril, alcançando $700-800 \text{ W.m}^{-2}$ que também caracterizam o período de maior cobertura de nuvens, o que está de acordo com os resultados de precipitação (Figura 9).

Figura 17-Média horária da radiação global de onda curta, saldo de radiação e radiação de onda longa emitida total na baía de Caxiuana.





Fonte: Elaborado pela autora.

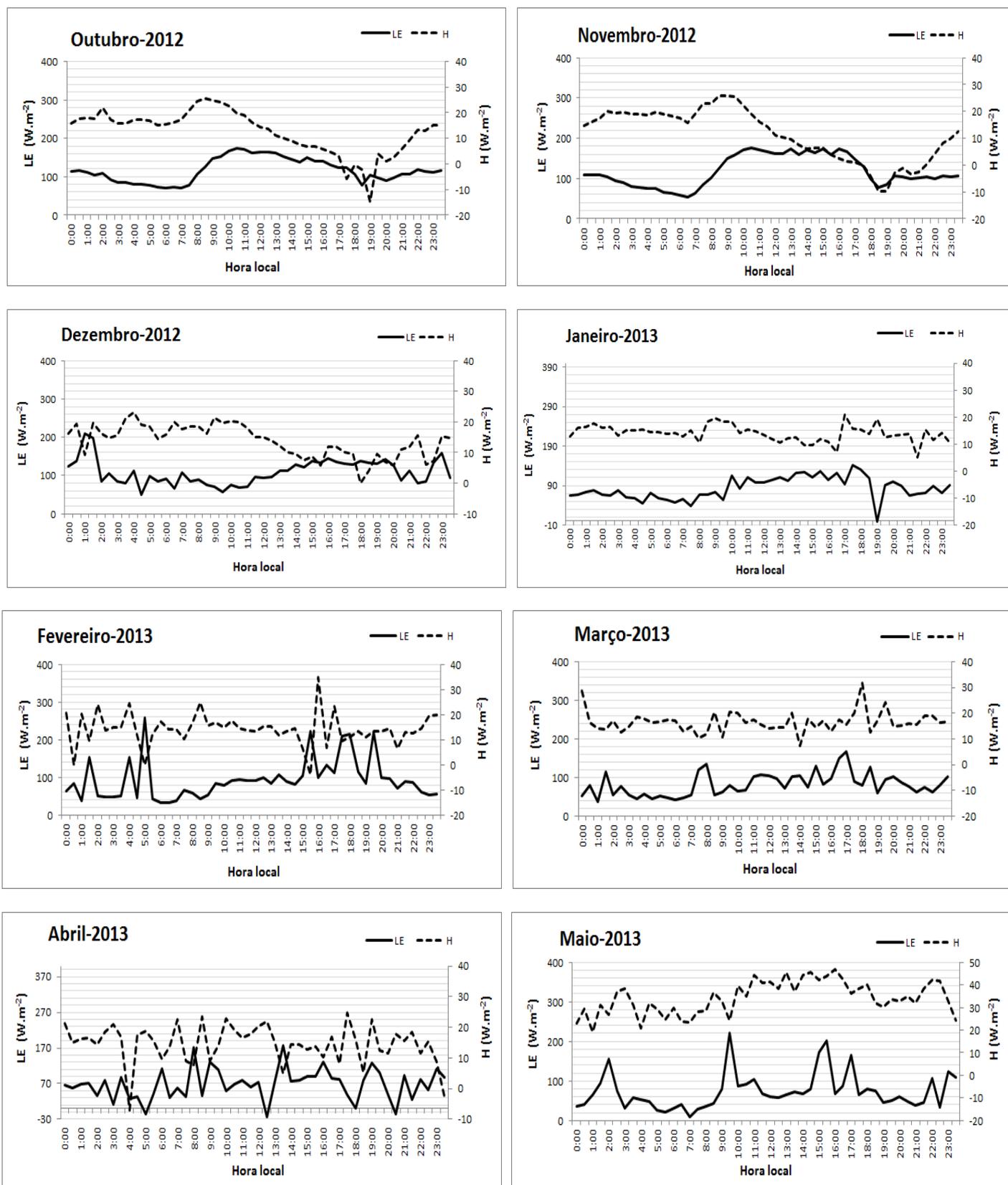
Comportamento semelhante é apresentado pelo saldo de radiação líquida que apresenta maiores valores no período seco e menores no período chuvoso, em que os

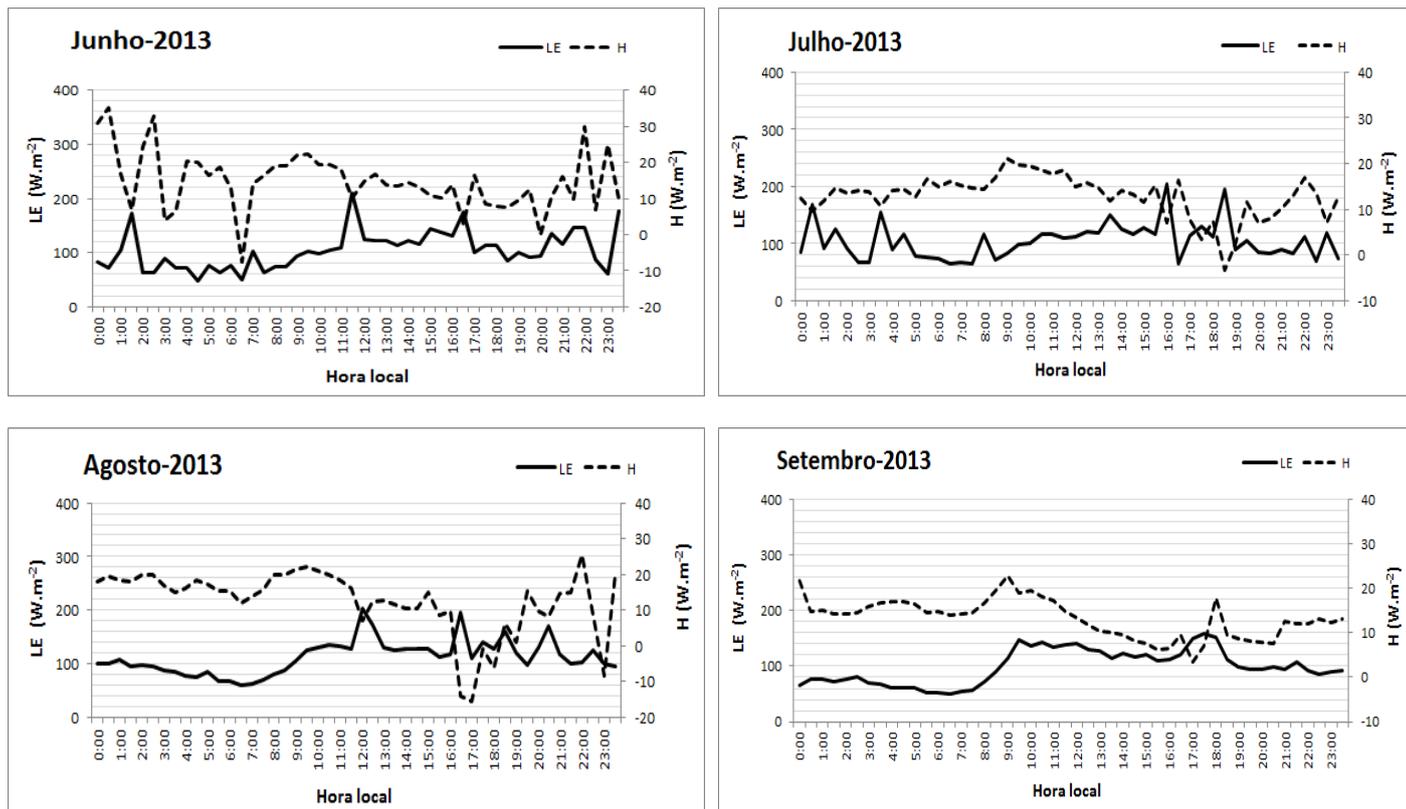
valores médios observados foram de 700 W.m^{-2} e 600 W.m^{-2} respectivamente. Os valores de balanço de onda longa mostraram-se sempre negativos, em todo período de estudo devido a superfície emitir mais radiação do que ela recebe. Como o balanço de onda longa neste estudo possui como uma de suas dependentes a temperatura da água, nos meses em que não se dispunha da mesma, os valores de ROL não foram plotados. Nos meses de maior intensidade de radiação solar também ocorreram as maiores temperaturas do ar e da água (Figura 13), contudo em horários diferentes, como por exemplo, se a máxima de R_g ocorreu as 14:00 hs, a máxima da temperatura do ar(água) ocorreu com certo atraso, em geral duas horas após a máxima incidência de R_g .

5.9 Fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível

O comportamento das componentes do balanço de energia como o fluxo de calor sensível(H) e de calor latente (LE) pode ser observado na Figura 18. É evidente a sazonalidade que ocorre no comportamento desses fluxos turbulentos de calor, ficando claro a existência de um padrão durante o período caracterizado por chuvoso (DJF-MAM) e outro por período menos chuvoso (JJA-SON). Valores negativos de fluxo de calor sensível são observados em quase todos os meses, indicando perda de calor da água para o ambiente. Para os meses de Outubro e Novembro nota-se um comportamento semelhante nos fluxos de LE, onde valores mínimos são observados nas primeiras horas do dia (01:00 à 07:00 hs, chegando próximo de 110 W.m^{-2}) e maiores valores entre 11:00 e 17:00 hs (valores superiores a 150 W.m^{-2}). O comportamento inverso é notado para o fluxo de calor sensível, onde o mesmo apresenta maiores valores durante o período diurno, atingindo um máximo às 10:00 hs (cerca de 20 à 25 W.m^{-2}). Para os meses de Outubro, Novembro e Setembro percebe-se que os maiores valores de LE ocorreram no mesmo intervalo de máxima velocidade do vento (Figura 15), demonstrando dessa maneira a ocorrência de grande taxa de evaporação.

Figura 18-Média horária mensal dos fluxos de calor latente e fluxo de calor sensível, na baía de Caxiuaná.





Fonte: Elaborado pela autora.

Os maiores valores de LE estão relacionadas a estado de instabilidade atmosférica, que por sua vez está associada a ocorrência de chuva, isto condiz com os dados de LE dos demais meses, principalmente os meses do período chuvoso, em que se verifica elevação de LE quando ocorre chuva, são exemplos dessa situação os meses de Fevereiro (05:00, 15:00 e 19:00 hs), Abril (19:00 hs) e Maio (08:00-10:00 hs), após a ocorrência desses picos de LE, geralmente ocorre redução do mesmo, o que se associa ao resfriamento do ar.

Podemos observar conforme a Tabela 2, os valores médios mensais das componentes do balanço de energia além dos percentuais correspondentes a cada fluxo de calor. Do saldo de radiação durante todos os meses de estudo cerca de 70.0% da energia disponível destinou-se na forma de LE, o valor máximo observado ocorreu no mês de Dezembro, 77.2%, o valor mínimo observado ocorreu em Maio (período de transição), 48,2%. Utilizando-se da equação (7), obteve-se o percentual de fluxo de calor na água (G) como residual. Nota-se que boa parte da energia disponível foi utilizada também para este fluxo de calor, cerca de 41.0% em Abril e 13.0% em Dezembro. O fluxo de H apresentou os valores percentuais mínimos em relação as demais componentes, correspondendo a 22.0% em Maio e 6.4% em Novembro.

Tabela 2 – Valores médios mensais e percentuais das componentes do balanço de energia, fluxo de calor sensível(H), fluxo de calor latente(LE) e fluxo de calor para o interior da água(G) na baía de Caxiuanã (PA).

Meses	Rn (W.m ⁻²)	H (W.m ⁻²)	LE (W.m ⁻²)	LE/Rn (%)	H/Rn (%)	G (%)
Outubro/12	169,5	12,5	116,8	68,9	7,4	23,7
Novembro	174,5	11,2	118,1	67,7	6,4	25,9
Dezembro	140,6	13,8	108,5	77,2	9,8	13,0
Janeiro/13	126,3	14,1	82,9	65,6	11,1	23,2
Fevereiro	134,4	14,2	93,2	69,3	10,5	20,1
Março	139,1	16,7	79,8	57,4	12,0	30,6
Abril	140,2	14,6	68,2	48,6	10,4	40,9
Mai	152,7	34,3	73,5	48,2	22,4	29,4
Junho	169,2	14,9	104,5	61,7	8,8	29,5
Julho	170,3	12,9	104,5	61,4	7,6	31,1
Agosto	182,6	12,6	111,9	61,3	6,9	31,8
Setembro	189,5	13,3	98,9	52,2	7,0	40,8

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao associar os fluxos de calor (LE, H e G) ao nível de maré (Figura 10), não fica evidente a influencia da mesma, pois no período em que a maré estava enchendo/vazando, esses fluxos não demonstraram aumentar ou diminuir. Resultado semelhante foi encontrado ao comparar a quantidade de carbono total (Figura 11) com os fluxos de calor nos meses em que eram disponíveis, não há como afirmar que a diminuição do carbono total esteja afetando as trocas de calor. A radiação global (Rg) que chega a superfície (Figura 16) demonstrou influencia sobre o fluxo de LE, pois nos meses de máxima Rg são registrados os maiores valores de LE, em termos percentuais (Tabela 2).

6 CONCLUSÕES

Das variáveis meteorológicas a precipitação demonstrou influencia evidente nos fluxos de LE, pois estes se apresentaram de forma mais pronunciada na ocorrência da mesma. O saldo de radiação (Rn) mostrou ser menor nos meses de maior nebulosidade (período chuvoso). O fato de a precipitação ocorrer principalmente no período noturno se deve ao principal sistema indutor de chuvas na região amazônica, a zona de convergência intertropical (ZCIT).

A baía de Caxiuanã apresentou valores de temperatura da água sempre superiores à temperatura do ar. Portanto comporta-se como fonte de calor para a atmosfera, principalmente no período noturno.

A máxima temperatura da água foi observada no período de transição entre o inverno e verão amazônico. A temperatura da água variou minimamente ao longo das horas, cerca de 1,5°C. Enquanto a temperatura do ar apresentou grande amplitude térmica de um horário para o outro, aproximadamente 5,0°C, em quase todo período analisado.

O conteúdo de carbono orgânico total como parâmetro físico-químico da água, demonstrou influencia considerável nas variáveis turbidez e profundidade do disco de *Secchi* ao longo dos meses analisados. A chuva também demonstrou papel determinante na concentração de carbono orgânico total, pois nos meses analisados ocorreu redução da mesma, dessa forma menos material particulado/dissolvido foi carregado para baía e com isso a profundidade de visualização do disco de *Secchi* foi maior (Transparência da água). Quando associado ao albedo, não ficou evidente a atuação do COT nessa variável, pois o albedo mostrou-se quase que invariável em todos os meses analisados.

A direção resultante do vento em todos os meses foi predominante de Nordeste, no entanto, nota-se que cerca de 20% das direções em alguns meses, como: Março, Abril e Maio foram de Noroeste, isso demonstra a atuação do sistema de brisas, em particular brisas vindas do continente (brisas terrestres/fluviais) estas por sua vez, estariam transportando esse calor liberado pela baía para o continente. No período menos chuvoso a velocidade do vento na baía de Caxiuanã mostrou-se mais intensa, também verificou-se altos valores de LE, que estão associados a grande taxa de evaporação.

O comportamento da maré na enchente/vazante mostrou nenhuma interferência evidente nos fluxos de calor em todo período de estudo.

O fluxo de calor latente mostrou ser uma das componentes dominante do balanço de energia, haja vista que os valores encontrados para todos os horários dos meses analisados foram superiores aos valores do fluxo de calor sensível.

O fluxo de calor para o interior da água representou a segunda maior forma de distribuição do saldo de radiação, o que vem confirmar os valores sempre elevados de temperatura da água, haja vista que a baía está absorvendo grande quantidade de energia.

Os valores negativos apresentados pelo fluxo de calor sensível ocorreram principalmente no período da noite, indicando dessa forma que a baía está perdendo calor, isto é, a mesma está atuando como fonte de calor para a atmosfera adjacente, inclusive para a floresta.

REFERÊNCIAS

- ANGELOCCI, L. R. ; VILA NOVA, N. A. Variações da temperatura da água de um pequeno lago artificial ao longo de um ano em Piracicaba - SP. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.) [online]. v.52, n.3, p. 431-438. 1995.
- BALDOCHI, D. D.; VALENTINI, R.; RUNNING, S.; OECHELS, W.; DAHLMAN, R. Strategies for measuring and modeling carbon dioxide and water vapour fluxes over terrestrial ecosystems. **Glob. Change Biol.**, v. 2, p. 159-168. 1996.
- BENEDETTI, S. **Avaliação do teor de carbono orgânico total na qualidade da água: aplicação na radiofarmácia**. 2012. 107 f. Dissertação (mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2012.
- BUENO, A. M.; GIELOW, R.; SANTOS ALVALÁ, R. C. Análise de sensibilidade da estimativa da partição de energia sobre áreas de floresta e pastagem na Amazônia Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10.; CONGRESSO DA FLISMET, 8., 1998, Brasília (DF). 1998. **Artigos Técnicos**. Brasília (DF): SBMET, 1998. 1 CD-ROM. (Artigo MI98049 Micrometeorologia),
- BURBA, G.G ; ANDERSON, D.J . Um breve guia prático para medidas covariância de vórtices turbulentos flux: princípios e exemplos de fluxo de trabalho para aplicações científicas e industriais. In: **LI-COR Biosciences**, Lincoln, EUA, 2010. 211 p.
- COSTA, M. L., D. C. KERN, H. BEHLING, & M. S. BORGES, 2002. Geologia. In: P. L. B. LISBOA (Org.): **Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica**: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2002, p. 179-205.
- CULF, A.; FISCH, G.; HODNETT, M. G. The albedo of Amazonian forest and ranch land. **Journal of Climate**, v. 8, p. 1544-1554. 1995.
- DIRMEYER, P. A. Vegetation as a feedback mechanism in midlatitude drought. **Journal of climate**. v. 7, p. 1463-1483, 1994.
- DURAND, P.; SÁ, L. D. A.; DRUILHET, A.; SAID, F. Use of the inertial dissipation method for calculating turbulent fluxes from low-level Airbone measurements. **journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 8, p. 78-84, 1990.
- EQUIPAMENTOS TÉCNICOS DE PRECISÃO E CIENTÍFICOS (ITSE). **Turbidímetros**. Disponível em: < http://www.itise.pt/index.php?tem=111&cont_=1>. Acesso em 18/04/13.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FALKOWSKI, P.; SCHOLLES, R. J.; BOYLE, E.; CANADELL, J.; CANFIELD, D.; ELSER, J.; GRUBER, N.; HIBBARD, K.; HÖGGER, P.; LINDER, S.; MACKENZIE, F. T.; MOORE III, B.; PEDERSEN, T.; ROSENTHAL, Y.; SEITZINGER, S.; SMETACEK, V.; STEFFEN, W. The global carbon cycle: a test of our knowledge of Earth as a system. **Science**, v. 290, p. 291-296. 2000.

FOLTZ, G. R.; MCPHADEN, M. J. Mixed layer heat balance on intraseasonal time scales in the northwestern tropical Atlantic Ocean. **J. Climate**, 18, 4168–4184. 2005.

FREITAS, C. A. T. de. **Sociedade de pesquisa em vida selvagem e educação ambiental**: manual para elaboração de plano de manejo e gestão de bacia de mananciais do estado do Paraná. 2a ed. rev. Curitiba: SPVS; Sanepar, 1999. 184p.

GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A. Climate effects of Amazonian deforestation: some results from ABRACOS. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v. 78, n. 5, p. 823–830. 1997.

GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L. An overview of ABRACOS. In: AMAZONIAN deforestation and climate. Chichester, UK :Wiley, 1996. 611 p.

GIELOW, R.; SANTOS ALVALÁ, R. C.; HODNETT, M. G.; SOUZA, A. Albedo no Pantanal Sul-Matogrossense durante e após o período de inundação de 1998. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA., 2., 1999, Florianópolis. [Anais...] Florianópolis, SC: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S. A. - EPAGRI, 1999. v. 1. p. 2026-2031.

GOMES, A. S; CLAVICO, E. **Propriedades físico-químicas da água**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, Departamento de Biologia Marinha, 2005.

GROSS M. G. Ocean and climate. In: GROSS M. G. **Oceanography**, 5th edition. Publisher: Merrill Physical Science Series, 1985. 200 p. Disponível em:<http://cmhc.ucsd.edu/content/1/docs/Gross_133.pdf> Acesso em 15 de Fevereiro de 2013

HARTMANN, D. L. **Global physical climatology**. California: Academic Press, Inc., 1994.

HOREL, J.H., A.N. HAHMANN, J.E. GEISLER. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical America, **J. Climate**, 2, p.1388-1403. 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geografia do Brasil**: região Norte. Rio de Janeiro: SERGRAF; IBGE, 1977. 466p.

KERN, D. C; COSTA, M. L. Composição química de solos antropogênicos desenvolvidos em Latossolo amarelo derivados de lateritos. **Geociências**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 157- 175. 1997 a.

KERN, D. C.; COSTA, M. L. Os solos antrópicos. In: LISBOA, P. L. B. (Org.) **Caxiuanã**. Belém: MPEG, 1997, 446 p.; cap. III- O ambiente físico, p. 105-119.

LECHINOSKI, A. **Estudo de fluxos turbulentos acima da floresta de Caxiuanã, na Amazônia Oriental**. 2008. 36f. Relatório de Iniciação Científica PIBIC área de Ecologia da Terra, Centro de Ciências da Terra e Ecologia, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 2008.

MACHADO, W. B. **Balço de energia em áreas de florestas e de um campo agrícola no Leste da Amazônia**. 2012. 67 f. Dissertação (mestrado em Recursos Naturais da Amazônia). Universidade Federal do Oeste do Pará.

MARTINS, J. R. S.; MORITA, D. M.. **A Escola Politécnica da USP na Gestão das Águas e do Meio Ambiente**. 2008. Apresentação de Trabalho/Conferência ou palestra.

MASTER, **Meteorologia aplicada a sistemas de tempo regionais**. Disponível em:<http://www.master.iag.usp.br/ensino/oceano/aula_2.pdf>. Acesso em 18 de Fevereiro de 2013.

MELO, D. M. B. A biogeoquímica das águas de Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B. (org.). **Caxiuanã: paraíso ainda preservado**. Pará: Museu Emílio Goeldi, 2013. cap. 2, p. 71-89.

MOLION, L. C. B. Desmistificando o aquecimento global. **Intergeo**, v. 5, p. 13-20. 2007.

MONTAG, L. F. A.; BARTHEM, R. B. Estratégias de conservação em comunidade de peixes da baía de Caxiuanã (Melgaço/ PA): um lago antigo a ser comparado com represas novas, In: SEMINÁRIO DE 10 ANOS DE ATIVIDADES DA ECFPN, CAXIUANÃ, 1, 2003, Belém. **Resumos**. Belém: MPRG, 2003. 1 CD-ROM.

MORAES, J. C.; Costa, J. de P. R.; Rocha, E. J. P. e Silva, I. M. O. Estudos hidrometeorológicos na bacia do rio Caxiuanã. In: Lisboa, P. L. B. (org). CNPQ/Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 1997, p. 85-95.

NIGAMAND, S.; CHAO, Y. Evolution dynamics of tropical ocean-atmosphere annual cycle variability. **J. Climate**, 9, p. 3187-3205. 1996.

OLIVEIRA, T. H.; MACHADO, C. C. C.; SILVA, J. S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do Albedo da superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3. p. 1-15. 2010.

SÁ, L.D.A. **Les flux turbulents dans la couche limite de surface analyses a partir de mesures aeroportees: validation d'une methode dissipative- inertielle et etude de variabilite**". 1992.153f. Tese (Doutorado) - Universite Paul Sabatier de Toulouse, Laboratoire d'Aérodologie , Devant L', Toulouse, 1992.

SALATI, E. E MARQUES, J. Climatology of the Amazon region. In: SIOLI, H. (ed.). **The Amazon - limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Dordrecht: W. Junk Publishers, 1984. 763 p.

SALESKA, S. R., S. D.; MILLER, D. M. ; MATROSS, M. L.; GOULDEN, S. C.; WOFSEY, H. R. D.; ROCHA, P. B. D. ;CAMARGO, P.; CRILL, B. C. ; DAUBE, H. C. D.; FREITAS, L.; HUTYRA, M. ; KELLER, V.; KIRCHHOFF, M.; MENTSON, J. W.; MUNGER, E. H.; PYLE, A.; RICE, H. ; SILVA, H. Carbon in Amazonian forests. unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses, **Science**, 302, p.1554-1557, Nov. 2003.

SETH, A.; GIORGI, F. Three-dimensional model study of organized mesoscale circulations induced by vegetation. **Journal of geophysical research- Atmosphere.** v. 101, n. D3, p. 7371-7391. 1996.

SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; MOORE, C.J.; ROBERTS, J.; MARQUES, A. de O.; FISCH, G.; SILVA, V.P.; RIBEIRO, M.N.G.; MOLION, L.C.B.; ABREU SÁ, L.D.; NOBRE, C.; CABRAL, O.M.R.; PATEL, S.R.; MORAES, J.C. Eddy correlation measurements of energy partition for Amazonian forest. **Q.J.R. Meteor. Soc.** v. 110, p. 1143-1162. 1984.

SHUTTLEWORTH, W.J. Evaporation from Amazonian rain forest. **Proc.Roy. Soc. (Lond.) B**, 233, p.321-346. 1988.

SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA DIAS P. L.; LONGO M.; FITZJARRALD D. R.; DENNING A. S. River breeze circulation in eastern Amazonia: observations and modelling results. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n.1, p. 111–121. 2004

SIOLI, H. The Amazon and its main affluents: Hydrograph, morphology of the river courses and river types. In: SIOLI, H. **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Dordrecht, The Netherland: Dr. Junk Publ, 1984. p. 127-165.

SONG, X.; YU, L. High-Latitude contribution to global variability of air–sea sensible heat flux. **Journal of Climate**, v. 25, n. 10, p. 3515–3531. 2012. doi: 10.1175/JCLI-D-11-00028.1.

SOUZA FILHO, J. D. C. et al. Variação sazonal do balanço de radiação em uma floresta tropical NO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 318–330, 2006.

STULL, R. B. **Meteorology for scientist and engineers.** Second edition. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Press, 2000, 666 p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO (UNESP). **Efeito estufa.** Disponível em: <<http://wwwp.fc.unesp.br/~lavarda/procie/dez14/luciana/>>. Acesso em 03/07/14.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO (UFRRJ). **Medição da transparência da água com disco de secchi**. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/secc.htm>>. Acesso em 18/04/13.

VICKERS, D.; MARHT, L. The cospectral gap and turbulent flux calculations. **Journal of atmospheric and Oceanic Technology**. v.26, p.403-409. 2003.

VILANI, M. T. et al. Sazonalidade da radiação, temperatura e umidade em uma floresta de transição Amazônia cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p. 331-343, 2006.

VON RANDOW, C.; SÁ, L.D.A.; PRASAD, G.S.S.D.; MANZI, A.O.; ARLINO, P.R.A.; KRUIJT, B. Scale variability of atmospheric surface layer fluxes of energy and carbon over a tropical rain forest in southwest Amazonia. I. Diurnal conditions. **Journal of Geophysical Research**, v.107, n.D20, p.01-12, Sep. 2002.

VON RANDOW, C. **On turbulent exchange processes over Amazonian forest**. 2007. 176f. (PhD thesis) - University, Wageningen, The Netherland. With summaries in English and Dutch, Wageningen, 2007.