



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**HIDROLOGIA E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA  
DO SISTEMA FLÚVIO-ESTUARINO DO RIO ARARI  
(ILHA DE MARAJÓ- PA)**

---

**Dissertação apresentada por:  
IGOR CHARLES CASTOR ALVES  
Orientador: Prof. Dr. Maâmar El-Robrini (UFPA)**

**BELÉM  
2010**



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**HIDROLOGIA E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA DO  
SISTEMA FLÚVIO-ESTUARINO DO RIO ARARI  
(ILHA DE MARAJÓ-PA)**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**

**IGOR CHARLES CASTOR ALVES**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOLOGIA**

**Data de Aprovação: 19 / 08 / 2010**

**Banca Examinadora:**

---

Prof. MAÂMAR EL-ROBRINI  
(Orientador-UFPA)

---

Prof.ª MARIA DE LOURDES SOUZA SANTOS  
(Membro-UFPA)

---

Prof.ª ELISABETE DE SANTIS BRAGA  
(Membro-USP)

*A minha esposa Celeste Holanda Alves  
e ao nosso pequeno Lucas.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora de Nazaré, padroeira dos Paraenses.

Ao Dr. Maâmar El-Robrini, pela orientação e por todo o apoio que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

A Dra. Maria de Lourdes Souza Santos, por sua valiosa amizade, por disponibilizar o LCR - Laboratório de Controle de Resíduos da UFPA para realização de todas as análises e por suas críticas e sugestões na elaboração deste trabalho, valeu chefe!

A todos que me ajudaram nos trabalhos de campo e laboratório: Aline Crizanto, André Saraiva, Rosiane Souza, Sury Monteiro, Lara Beatrix, Adjalbas Marinho, Silvana Sodré, Luciano Louzada, Odicléia, Samara, Marcus Miranda, Aldenor Jr, Jaqueline Portal.

Agradeço em especial aos amigos Oceanógrafos: Márcio Porfírio e Fábio Watanabe, por sua incansável ajuda nos trabalhos de campo.

A minha esposa Celeste Holanda, por todo o amor, incentivos e companheirismo dedicado a mim, e por este momento especial com a vinda do nosso Lucas.

A minha mãe (D. Iza) e meu Irmão (Ivan) com quem sempre pude contar em todos os momentos da minha vida.

Aos amigos do GEMC – Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros por todos os bons momentos vividos nos últimos dois anos.

Ao Laboratório de Geologia Marinha da UFPA, por ceder todos os equipamentos de campo necessários para as coletas.

Ao Laboratório de Modelagem de Estuários, onde foram editados os gráficos, textos e mapas deste trabalho.

Aos amigos motoristas do Instituto de Geociências Carlos Alberto e Nascimento, pelo auxílio no transporte de equipamentos e amostras.

Ao povo Marajoara, que nos acolheu de braços abertos em Santana do Arari, na fazenda Murutucú e em Cachoeira do Arari.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro através da concessão de bolsa de mestrado.

Ao PPGG - Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica, todos os funcionários e professores e em especial a Cleida Freitas pelo apoio administrativo e estudantil.

*Cada momento de sua espera em alguns dias valerá  
a pena; cada sorriso daqui pra frente, será por  
motivos bobos para alguns....,  
...mas incríveis pra mim.  
(autor desconhecido).*

## RESUMO

Este trabalho objetiva a avaliação do comportamento hidroquímico do sistema flúvio-estuarino (parte superior) do rio Arari (Ilha de Marajó-PA). Foram avaliados os seguintes parâmetros físicos e químicos: temperatura, Material Particulado em Suspensão (MPS), Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Orgânicos (ST Orgânicos), Sólidos Totais minerais (ST Minerais) condutividade elétrica, profundidade do disco de Secchi, variação da maré, pH, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, N-amoniaco, fosfato (PID), silicato e Biológico: Clorofila-a. Coletas simultâneas de águas superficiais foram realizadas em dois períodos distintos: chuvoso e menos chuvoso de 2009 de hora em hora durante 12 horas, sempre em condições de marés de sizígia em três estações fixas assim distribuídas: Uma na foz do rio Arari (trapiche da Vila de Santana do Arari) outra estação localizada no trapiche da cidade de Cachoeira do Arari e uma no trapiche da Fazenda Murutucú a meio caminho entre a foz e a cidade de Cachoeira do Arari. Os parâmetros obtidos foram analisados por métodos de estatística descritiva e multivariada, Análise de Componentes Principais (ACP) e Cluster. Através das análises estatísticas, foram observadas diferenças significativas entre os períodos estudados, o que demonstra uma grande influência dos diversos fatores ambientais como descarga fluvial, turbulência, precipitação e marés na dinâmica dos processos que ocorrem no rio Arari. A ilha do Marajó apresenta topografia suave, com altitudes que não atingem 20 metros. O Planalto do Baixo Amazonas é constituído por sedimentos terciários da formação Barreiras/Pós-Barreiras. No município de Cachoeira do Arari predominam os tipos de vegetação: Floresta Densa de Terra Firme, Campos Cerrados, Campos Altos e Campos Baixos. O clima da margem leste da Ilha de Marajó é classificado como clima do tipo “A” definido como clima tropical chuvoso. Na bacia hidrográfica do rio Arari a média pluviométrica anual é em torno de 2500 mm. Esta bacia posiciona-se na região de campos e totaliza 864 km<sup>2</sup>. A temperatura das águas do rio Arari foi característica de um ambiente tipicamente tropical e variou de 28,59°C no período chuvoso a 29,88°C no menos chuvoso. Os valores de condutividade elétrica, máximo de 233  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , revelam que este rio não recebe influência salina, o que caracteriza o rio Arari como um sistema predominantemente de água doce durante ambos os períodos. Durante o período chuvoso o rio Arari recebe contribuições de material alóctone, principalmente na forma orgânica, resultante da decomposição da vegetação das áreas alagadas, essa distribuição foi confirmada pelos valores da fração orgânica dos sólidos totais que representaram 61% dos sólidos totais, os outros 39% representam a fração mineral. A profundidade do disco de Secchi foi em média 28 cm no período chuvoso e 15 cm no menos chuvoso. Os menores valores de OD (mediana de 3,64  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ocorreram no período chuvoso e no menos chuvoso foi de 4,25  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). As formas mais reduzidas de nitrogênio (nitrito e N-amoniaco) predominam durante o período chuvoso (mediana de 0,32  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  e 18,1  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ), por outro lado, quando as concentrações de OD aumentam no período menos chuvoso a nitrificação é favorecida, e a concentração de nitrato aumenta (mediana de 24,98  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Concentrações elevadas de N-amoniaco no rio Arari ocorreram em ambos os períodos, com o máximo 41,67  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  12 vezes maior que o mínimo 3,33  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  registrado no período menos chuvoso. Os valores de fosfato neste trabalho foram inferiores a 2  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  durante o ano, com mediana de (0,32  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) no

período chuvoso e de  $(0,46 \mu\text{mol.L}^{-1})$  no menos chuvoso. O silicato apresentou comportamento semelhante ao do fosfato, os valores foram maiores no período menos chuvoso, com mediana de  $33,7 \mu\text{mol.L}^{-1}$  no período chuvoso e  $75,88 \mu\text{mol.L}^{-1}$  no menos chuvoso. Observou-se uma variação sazonal da clorofila a no rio Arari, as condições mais favoráveis para atividade fotossintética ocorreram no período chuvoso (mediana de  $17,4 \text{mg.m}^{-3}$ ), quando foi registrada a maior profundidade de penetração do disco de Secchi (máximo de 55 cm), por outro lado durante o período menos chuvoso esse valor diminui consideravelmente (máximo de 15cm) e apesar do incremento nas concentrações de nutrientes a clorofila a diminui, isso revela que a disponibilidade de luz é o principal fator limitante da produtividade primária no rio Arari. A ACP e os gráficos de Box mostraram que para a maioria dos parâmetros estudados, no período chuvoso a grande descarga de água do rio Arari promove a mistura das águas a longo do rio, dessa maneira é pouco intensa a diferença entre as águas, por exemplo, da foz (estação Santana) com Cachoeira do Arari. Por outro lado durante o período menos chuvoso ocorre uma divisão do rio de acordo com as três estações estudadas, as águas apresentam características distintas, com valores característicos para cada região do rio, além de padrões de distribuição espacial, com gradientes crescentes ou decrescentes de acordo com o parâmetro em questão.

**Palavras-Chave:** Ilha de Marajó. Biomassa Fitoplanctônica. Variação Sazonal. Meso-Maré. Sistema Flúvio-Estuarino. Rio Arari.

## ABSTRACT

This paper aims at assessing the hydrochemical behavior of fluvial-estuarine system (top) of the Arari river (Marajo Island-PA). We evaluated the following physical and chemical parameters: temperature, Suspended Particulate Matter (SPM), Total Solids (TS), Total Organic Solids (TS Organic), Total Solids minerals (TS Minerals) electrical conductivity, Secchi disk depth, range Tide, pH, dissolved oxygen, nitrate, nitrite, ammonia-N, phosphate, silicate and Biological: chlorophyll-a. Simultaneous collections of surface water were conducted in two distinct periods: rainy and dry season of 2009 hourly for 12 hours, always able to spring tides at three stations distributed as follows: One at the mouth of the river Arari (Santana Arari) another station on the town pier to waterfall Cachoeira do Arari and a wharf on the Farm Murutucú midway between the mouth and the town of Cachoeira do Arari. The parameters obtained were analyzed using descriptive statistical and multivariate Principal Component Analysis (PCA) and Cluster. Through statistical analysis, significant differences were observed between the periods studied, which shows a great influence of various environmental factors such as river discharge, turbulence, precipitation and tides on the dynamics of the processes occurring in the river Arari. The island has Marajó smooth topography, with elevations that do not reach 20 meters. The high plains of the Lower Amazon is made up of Tertiary sediments of the Barreiras formation / Post Barriers. In the city of Cachoeira do Arari predominant types of vegetation: Dense Forest of Upland, Campos Cerrados, Campos Campos Altos and Basses. The climate of the eastern margin of Marajo climate is classified as type "A" defined as tropical rainy climate. In the river basin Arari the average annual rainfall is around 2500 mm. The basin is positioned in the area of fields and totals 864 km<sup>2</sup>. The temperature of water the river Arari was characteristic of a typical tropical environment and ranged from 28.59 °C in the rainy season to 29.88 °C in the dry season. The electrical conductivity values, maximum of 233  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , reveal that this river does not receive saline influence, which characterizes the river as a system Arari predominantly freshwater during both periods. During the rainy season the river Arari receives contributions from allochthonous material, mainly in organic form, resulting from the decomposition of vegetation in wetlands, this distribution was confirmed by the values of the organic fraction of the total solids which represented 61% of the total solids, the other 39 % represent the mineral fraction. The Secchi disk depth was 28 cm on average during the rainy season and 15 cm in less rainy. The lower values of OD (median of 3.64  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )



occurred in rainy season and dry season was  $4.25 \text{ mg.L}^{-1}$ ). The lower forms of nitrogen (nitrite and ammonia-N) dominated during the wet season (median  $0.32 \text{ } \mu\text{M.L}^{-1}$  and  $18.1 \text{ } \mu\text{M.L}^{-1}$ ), on the other hand, when DO concentrations increase less rain during nitrification is favored, and the nitrate concentration increases (median  $24.98 \text{ } \mu\text{M.L}^{-1}$ ). High concentrations of ammonia-N in the river Arari occurred in both periods, with maximum  $41.67 \text{ } \mu\text{M.L}^{-1}$ , 12 times greater than the minimum  $3.33 \text{ } \mu\text{M.L}^{-1}$  recorded in the less rainy period. The amounts of phosphate in this study were less than  $2 \text{ } \mu\text{M.L}^{-1}$  during the year, the median ( $0.32 \text{ } \mu\text{M.L}^{-1}$ ) in the rainy season and ( $0.46 \text{ } \mu\text{M.L}^{-1}$ ) in less rain. The silicate showed similar phosphate values were higher in the less rainy period, with a median of  $33.7 \text{ } \mu\text{M.L}^{-1}$  in the rainy season and  $75.88 \text{ } \mu\text{M.L}^{-1}$  in the less rainy. We observed a seasonal variation of chlorophyll a in the river Arari, the most favorable conditions for photosynthetic activity occurred in rainy months (median  $17.4 \text{ mg.m}^{-3}$ ), when there was a greater penetration depth of the Secchi disc (maximum of 55 cm) on the other side during the less rainy period this value decreased considerably (up to 15cm) and despite the increase in nutrient concentrations of chlorophyll a decreases, this indicates that light availability is the main factor limiting productivity in the primary river Arari. The ACP and the graphics Box showed that for most parameters in the rainy season a large discharge of river water Arari promotes the mixing of waters along the river, this way is not very intense the difference between the waters, for example from the mouth (station Santana) at Waterfall Arari. Moreover during the dry season is a division of the river according to the three stations, the waters have different characteristics, with typical values for each region of the river, and spatial distribution patterns, with gradients increasing or decreasing according with the parameter in question.

**Keywords:** Marajó. Phytoplankton biomass. Seasonal Variation. Meso-Tide. Fluvial-Estuarine System. Arari River.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
EPÍGRAFE.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 GERAL.....	3
2.2 ESPECÍFICOS.....	3
<b>3 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>4</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	4
3.2 CLIMA E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS.....	8
3.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS.....	10
3.4 COBERTURA- VEGETAÇÃO E SOLOS.....	12
3.5 ASPECTOS HIDROGRÁFICOS.....	13
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
4.1 CAMPO.....	16
4.2 AMOSTRAGEM.....	16
4.3 MEDIÇÃO DA ALTURA DA MARÉ.....	19
4.4 PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS.....	19
4.5 LABORATÓRIO.....	20
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	25
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
5.1 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS.....	27
5.2 VARIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DOS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS.....	32
5.2.1 pH.....	35
5.2.2 Temperatura (°C).....	37
5.2.3 Oxigênio Dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> ).....	38
5.2.4 Condutividade elétrica.....	40
5.2.5 Material Particulado em Suspensão (MPS).....	42
5.2.6 Sólidos Totais (ST), ST Orgânicos (ST Org) e ST Minerais (ST Min).....	43
5.2.7 Sólidos Orgânicos e Minerais.....	45
5.2.8 Nitrato, Nitrito e N-amoniacal.....	46
5.2.9 Fosfato (PID).....	49
5.2.10 Silicato.....	51
5.2.11 Clorofila <i>a</i> .....	53

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA .....	56
5.3.1 <b>Análise de Agrupamento</b> .....	56
5.3.2 <b>Análise de Componentes Principais (ACP)</b> .....	57
5.3.2.1 Estação Cachoeira do Arari .....	57
5.3.2.2 Estação Murutucú .....	60
5.3.2.3 Estação Santana do Arari .....	63
6 <b>DISCUSSÕES</b> .....	67
6.1 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS.....	67
6.2 AMPLITUDES DE MARÉS .....	68
6.3 PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS.....	69
6.4 DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES NO RIO ARARI .....	73
6.5 CLOROFILA-a.....	76
7 <b>CONCLUSÃO</b> .....	78
REFERÊNCIAS .....	80

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo, com as localidades de Santana do Arari, Fazenda Murutucú e Cachoeira do Arari. ....	4
Figura 2- A) Exposição da capa laterítica durante a maré vazante em Santana do Arari; B) Maré alta em Santana (até 5m de altura). ....	5
Figura 3- A) Foz do rio Arari, ilha de Marajó-PA B) trapiche da vila de Santana do Arari, parada de embarcações durante a maré baixa. ....	6
Figura 4- a) Sede da fazenda Murutucú localizada na margem do rio Arari; b) Trapiche da fazenda Murutucú durante a maré alta; c) Trapiche da fazenda Murutucú durante a maré baixa; d) aspecto do rio Arari durante a baixa mar. ....	7
Figura 5- a) Trapiche da cidade de Cachoeira do Arari (Ilha de Marajó-PA); b) vista frontal da cidade de Cachoeira do Arari; c) e d) campos alagados durante o período chuvoso na ilha de Marajó, em frente a cidade de Cachoeira do Arari. ....	8
Figura 6 - Velocidade de ventos para o ano de 2009, estação Soure-PA. ....	9
Figura 7 – Distribuição da precipitação pluviométrica na Ilha de Marajó, (A) período mais chuvoso; (B) período menos chuvoso. ....	10
Figura 8 - Bacias de drenagem na região de campos da ilha de Marajó, Rio Arari, Rio Camará e Rio Paracauari. ....	14
Figura 9- Padrões de drenagem na Bacia hidrográfica do rio Arari. ....	15
Figura 10 - Uso da garrafa de Van Dorn na coleta das amostras de água. ....	17
Figura 11 - Utilização da sonda multiparâmetros na determinação de pH, condutividade elétrica, temperatura e TDS. ....	18
Figura 12 - Determinação do ponto de desaparecimento do disco de Secchi. ....	18
Figura 13 - Uso de frascos âmbar para armazenar as amostras de OD e Fixação do OD no momento da coleta. ....	19
Figura 14 - Processo de filtração das amostras de água para posterior determinação dos nutrientes dissolvidos. ....	20
Figura 15- Variação da chuva acumulada mensal (2009) no município de Soure. ....	27
Figura 16 – Distribuição da velocidade dos ventos ( $m.s^{-1}$ ) na ilha de Marajó, (A) trimestre (MAM) período chuvoso e (B) trimestre (SON) período menos chuvoso. ....	28

Figura 17 - Variação sazonal da descarga de sedimentos, e descarga de água pelo rio Amazonas, medidos durante o programa AMASSEDS Fonte: Nittrouer & Demaster (1996).	29
Figura 18 - Variação sazonal do nível da água no rio Arari (dados médios mensais obtidos no posto Cachoeira do Arari- período de 1952 à 1971). Fonte: IDESP, 1974.	30
Figura 19 - Amplitude de maré na estação Cachoeira do Arari, nos meses de abril, maio, setembro e novembro.	31
Figura 20- Amplitude de maré nas estações Murutucú e Santana, nos meses de abril, maio, setembro e novembro.	32
Figura 21 - Distribuição espacial do pH nas águas do rio Arari no ano de 2009.	35
Figura 22 - Variação sazonal do pH nas águas do rio Arari no ano de 2009.	36
Figura 23 - Distribuição espacial da temperatura (°C) nas águas do rio Arari no ano de 2009.	37
Figura 24 - Variação sazonal da Temperatura (°C) nas águas do rio Arari no ano de 2009.	38
Figura 25 - Distribuição espacial do OD (mg.L <sup>-1</sup> ) nas águas do rio Arari no ano de 2009.	39
Figura 26 - Variação sazonal do OD (mg.L <sup>-1</sup> ) nas águas do rio Arari no ano de 2009.	39
Figura 27 - Distribuição espacial da Condutividade Elétrica (μS.cm <sup>-1</sup> ) nas águas do rio Arari no ano de 2009.	40
Figura 28 - Variação sazonal da CE (μS.cm <sup>-1</sup> ) nas águas do rio Arari no ano de 2009.	41
Figura 29 - Distribuição espacial e temporal dos valores médios de Material Particulado Oxigênio Dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> ) no rio Arari, nas três estações de coleta (Cachoeira, Murutucú e Santana).	42
Figura 30 - Variação sazonal do MPS (mg.L <sup>-1</sup> ) nas águas do rio Arari no ano de 2009.	43
Figura 31 - Variação espacial de Sólidos Totais nas águas do rio Arari.	44
Figura 32 - Variação sazonal de Sólidos Totais (ST) nas águas do rio Arari.	44
Figura 33 - Variação espacial de ST orgânicos e ST minerais nas águas do rio Arari.	45
Figura 34 - Variação sazonal de Sólidos Totais (ST), ST orgânicos e ST minerais nas águas do rio Arari.	46
Figura 35 - Variação espacial de Nitrato e N-amoniaco nas águas do rio Arari no ano de 2009.	47
Figura 36 - Variação espacial do Nitrito nas águas do rio Arari no ano de 2009.	48

Figura 37- Variação sazonal de Nitrato e N-amoniaco nas águas do rio Arari no ano de 2009. .....	49
Figura 38 – variação espacial do fosfato ao longo do rio Arari no ano de 2009.....	50
Figura 39 – variação sazonal do fosfato nas águas do rio Arari no ano de 2009.....	51
Figura 40- -Variação espacial do silicato nas águas do rio Arari no ano de 2009.....	52
Figura 41 – Variação sazonal do silicato (Si) nas águas do rio Arari no ano de 2009.....	53
Figura 42 – Distribuição espacial da clorofila <i>a</i> nas águas do rio Arari, nas três estações de coleta (Cachoeira, Murutucú e Santana) durante o ano de 2009.....	54
Figura 43– Distribuição sazonal da clorofila <i>a</i> nas águas do rio Arari no ano de 2009.....	55
Figura 44: Análise de agrupamento (Cluster) com a formação dos grupos por estações e períodos. Símbolos sólidos (período menos chuvoso), símbolos abertos (período chuvoso) triângulo (Cachoeira do Arari), quadrado (Murutucú) e círculo (Santana do Arari). ....	56
Figura 45 - Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos no rio Arari, na estação Cachoeira, durante os períodos Chuvoso e Menos Chuvoso.	59
Figura 46 - Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clorofila <i>a</i> das águas do rio Arari, na estação Cachoeira, com estratificação entre o período Chuvoso e menos Chuvoso. ....	59
Figura 47 – Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos no rio Arari, na estação Murutucú, durante os períodos Chuvoso e Menos chuvoso.	62
Figura 48 – Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clorofila <i>a</i> das águas do rio Arari, na estação Murutucú, com estratificação entre os períodos Chuvoso e menos Chuvoso. ....	62
Figura 49 – Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos no rio Arari, na estação Santana, durante os períodos Chuvoso e Menos Chuvoso....	65
Figura 50 – Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clorofila <i>a</i> das águas do rio Arari, na estação Santana, com estratificação entre os períodos Chuvoso e menos Chuvoso.....	65

## Tabelas

Tabela 1- Quantidade de amostras realizadas durante o estudo, por períodos e pontos de coleta. ....	16
Tabela 2 - Formas dos compostos nitrogenados, abreviações e métodos. ....	21
Tabela 3 - Número de valores (N), Mediana, (Min) mínimo, (Máx) máximo e desvio padrão (Desv Pad) dos parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), transparência, condutividade elétrica, material particulado em suspensão (MPS), sólidos totais (ST), ST orgânicos (STorg), STminerais (STmin), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), N-amoniacal, fosfato (PID), silicato (Si) e clorofila <i>a</i> (Chl- <i>a</i> ), <b>obtidos em Cachoeira do Arari</b> durante os período chuvoso e menos chuvoso do ano de 2009.....	33
Tabela 4 - Número de valores (N), Mediana, (Min) mínimo, (Máx) máximo e desvio padrão (Desv Pad) dos parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), transparência, condutividade elétrica, material particulado em suspensão (MPS), sólidos totais (ST), ST orgânicos (STorg), STminerais (STmin), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), N-amoniacal, fosfato (PID), silicato (Si) e clorofila <i>a</i> (Chl- <i>a</i> ), <b>obtidos em Murutucú</b> durante os período chuvoso e menos chuvoso do ano de 2009.....	33
Tabela 5 - Número de valores (N), Mediana, (Min) mínimo, (Máx) máximo e desvio padrão (Desv Pad) dos parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), transparência, condutividade elétrica, material particulado em suspensão (MPS), sólidos totais (ST), ST orgânicos (STorg), STminerais (STmin), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), N-amoniacal, fosfato (PID), silicato (Si) e clorofila <i>a</i> (Chl- <i>a</i> ), <b>obtidos em Santana do Arari</b> durante os período chuvoso e menos chuvoso do ano de 2009.....	34
Tabela 6: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados obtidos no rio Arari, nos períodos chuvoso e menos chuvoso na estação Cachoeira do Arari. Os valores mais significativos estão em negrito. ....	58
Tabela 7: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados obtidos no rio Arari, nos períodos chuvoso e menos chuvoso na estação Murutucú. Os valores mais significativos estão em negrito. ....	61
Tabela 8: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados obtidos no rio Arari, nos períodos chuvoso e menos chuvoso na estação Santana. Os valores mais significativos estão em negrito. ....	64

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma vasta e densa rede hidrográfica. Muitos de seus rios destacam-se pela extensão, largura e profundidade, como é o caso dos rios amazônicos e ecossistemas associados que apresentam uma rica biodiversidade aquática de importância global.

A Bacia Hidrográfica Amazônica, a mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, está localizada entre 5° de latitude Norte e 20° de latitude Sul, estende-se desde as nascentes nos Andes Peruanos até a sua foz no Oceano Atlântico (Freitas, 2003). A porção brasileira apresenta uma área da ordem de 3.843.402 km<sup>2</sup> compartilhada por sete estados, incluindo 100% dos territórios do Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima e Amapá, 76,2% do Pará e 67,8% do Mato Grosso (Agência Nacional de Águas, 2003).

O sistema amazônico de drenagem consiste segundo Milliman *et al.* (1974), em dois sistemas de rios dissimilares: Amazonas e Pará. Estes rios são separados pela ilha de Marajó, incluindo também, pequenos rios, canais, igarapés, furos e ilhas (Palma, 1979). De acordo com Gabioux (2002) o rio Pará é o segundo rio do sistema amazônico de drenagem, formado pela confluência de um ramo do rio Amazonas com o rio Tocantins. Drena uma área de 0,7 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> e possui uma vazão estimada em cerca de 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

O rio Pará banha a margem oriental da Ilha de Marajó, onde as drenagens mais importantes são: os rios Arari, Paracauari, Camará e o Atua. A bacia do rio Arari é interligada a vários cursos d'água, tendo como feição central o lago Arari, o maior efluente do lago Arari é o rio do mesmo nome, que tem sua foz na porção sul da ilha de Marajó, com cerca de 110 Km<sup>2</sup> de superfície no seu nível inferior, o lago Arari pode ser considerado como a maior depressão da ilha (Lima *et al.* 2005).

A região do Lago Arari vem sendo alvo de diversos estudos: **Geofísicos** (Vital, 1988; Vital, 1989; Vital & Stattegger, 2000; Souza *et al.* 2009), **Sedimentológicos** (Góes & Rossetti, 2007; Lima *et al.* 2007a; Lima *et al.* 2008; Miranda *et al.* 2007; Miranda & Rossetti, 2009; Rossetti, 2007; Rossetti & Valeriano, 2007), **Palinológicos** (Behling & Cohen, 2004; Miranda *et al.* 2007, Miranda *et al.* 2007; Castro *et al.* 2008; Cohen *et al.* 2008; Rossetti, *et al.* 2008; Rossetti *et al.* 2008), **Arqueológico** (Rossetti *et al.* 2009) e **Isotópicos** (Reis, 1977; Miranda & Rossetti, 2007; Lima *et al.* 2007b). Por outro lado nota-se a falta de estudos hidroquímicos no rio Arari.



A cidade de Cachoeira do Arari está localizada na margem esquerda do rio Arari, em uma região estratégica que sustenta diversas atividades econômicas de relevância para o Estado, por exemplo o turismo.

Neste estudo o objetivo focaliza o comportamento hidroquímico sazonal do sistema flúvio-estuarino do rio Arari, no trecho entre a foz e a cidade de Cachoeira do Arari em dois períodos distintos: chuvoso (meses de abril e maio) e menos chuvoso (meses de setembro e novembro) de 2009.

Foram avaliados os seguintes parâmetros físicos: temperatura, turbidez, sólidos suspensos, condutividade elétrica, Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Orgânicos (STOrg), Sólidos Totais Inorgânicos (STInorg), profundidade do disco de Secchi, variação da maré; Químicos: pH, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, N-amoniaco, fosfato (PID), silicato e biológico: Clorofila-*a*.

O Estudo da relação entre os parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos citados acima, permite melhor entender o comportamento hidroquímico do rio Arari, os nutrientes considerados essenciais para as funções metabólicas do fitoplâncton são o nitrogênio, o fósforo e a sílica, os quais são transportados através dos rios, e, juntamente com a disponibilidade de luz, favorecem o desenvolvimento desses organismos, a concentração desses nutrientes em ambientes aquáticos pode ser influenciada por variações sazonais e espaciais e também podem ser dependentes de outros parâmetros como: pH, OD, condutividade, turbidez entre outros.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Estudar as condições físico-químicas e o potencial trófico do sistema flúvio-estuarino do rio Arari no trecho Foz-Cachoeira do Arari.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar a distribuição sazonal e espacial nas águas dos parâmetros abióticos (condutividade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, transparência da água, material particulado em suspensão, sólidos totais, sólidos totais orgânicos, sólidos totais inorgânicos, nitrato, nitrito, amônia, fosfato, silicato) e biótico clorofila *a* do sistema flúvio-estuarino rio Arari durante o ciclo hidrológico de 2009;
- Relacionar os nutrientes nas águas do rio Arari com os parâmetros condutividade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, material particulado em suspensão, sólidos totais e com a clorofila *a*.
- Estudar as concentrações dos nutrientes (N-amoniacal, nitrito, nitrato, fosfato e silicato) nas águas do rio Arari.

### 3 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O rio Arari está inserido na Região Norte do Brasil, na parte Leste do Arquipélago de Marajó, integralmente situado no Estado do Pará e distante cerca de 70 km da capital Belém (Figura 1), o acesso até a cidade de Cachoeira do Arari a partir de Belém pode ser por via fluvial, o percurso é feito em 10 horas pelos barcos São Sebastião do Arari, Freitas Teixeira, Comandante Renan e Cunha com saídas às terças e quintas feiras, do porto Vasconcelos, na Cidade Velha e do Cais das Docas do Pará, o horário de saída depende da maré e o retorno a Belém é feito no domingo à noite com chegada a Belém segunda feira pela manhã. O acesso até a cidade de Cachoeira do Arari pode ainda, ser feito por via aérea a partir do Aeroporto Internacional de Belém (Val de Cans).

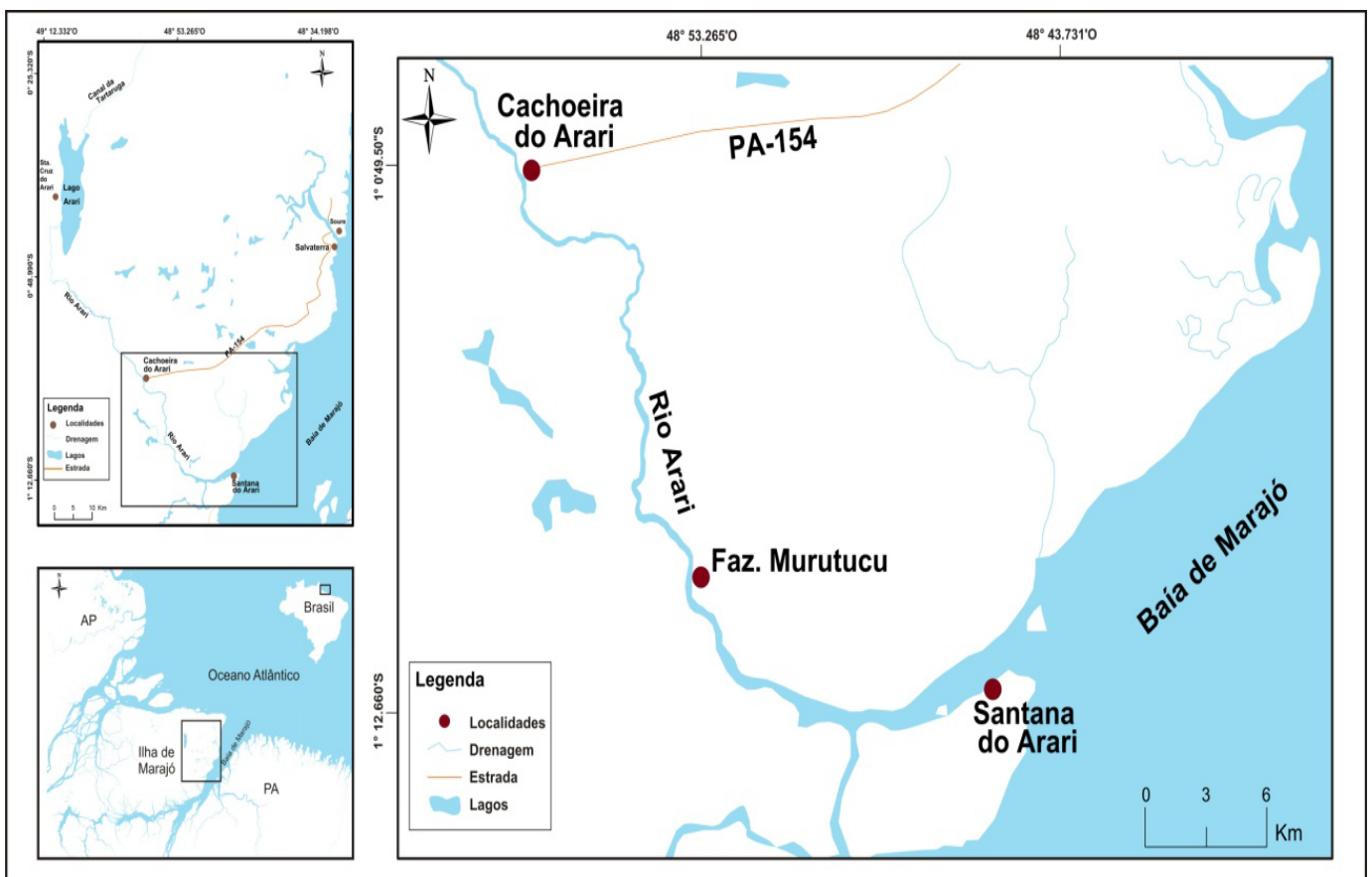


Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo, com as localidades de Santana do Arari, Fazenda Murutucú e Cachoeira do Arari.

O Arquipélago de Marajó é formado por um conjunto de ilhas, que, em seu todo, compõe a maior ilha fluvio-marítima do mundo, com 49.606 Km<sup>2</sup> e constitui-se numa das mais ricas regiões do país em termos de recursos hídricos e biológicos (Brasil, 2007).

A bacia do rio Arari é a de maior destaque dentro da região de campos da ilha de Marajó, tanto pela sua extensão e grandeza de vazão, como por sua importância econômica como via de penetração naquela área.

No trecho do rio Arari, de aproximadamente 43 km, compreendido entre a vila de Santana do Arari e a cidade de Cachoeira do Arari foram distribuídas 3 (três) estações de coleta, uma na Foz do rio Arari na Vila de Santana do Arari (1°12'3.16"S e 48°45'47.32"W), uma na Fazenda Murutucú (1°10'13.94"S e 48°53'37.71"W) e uma estação na cidade de Cachoeira do Arari (1°0'31.95"S e 48°57'46.15"W).

Santana do Arari é uma pequena vila localizada na margem direita do rio Arari e próximo de sua foz (Figura 2). Nesta região ocorre falésias ativas, com aproximadamente 5m de altura, sujeitas a processos erosivos devido à forte influência das correntes de maré e exposição de uma capa laterítica de espessura variável durante a maré baixa.

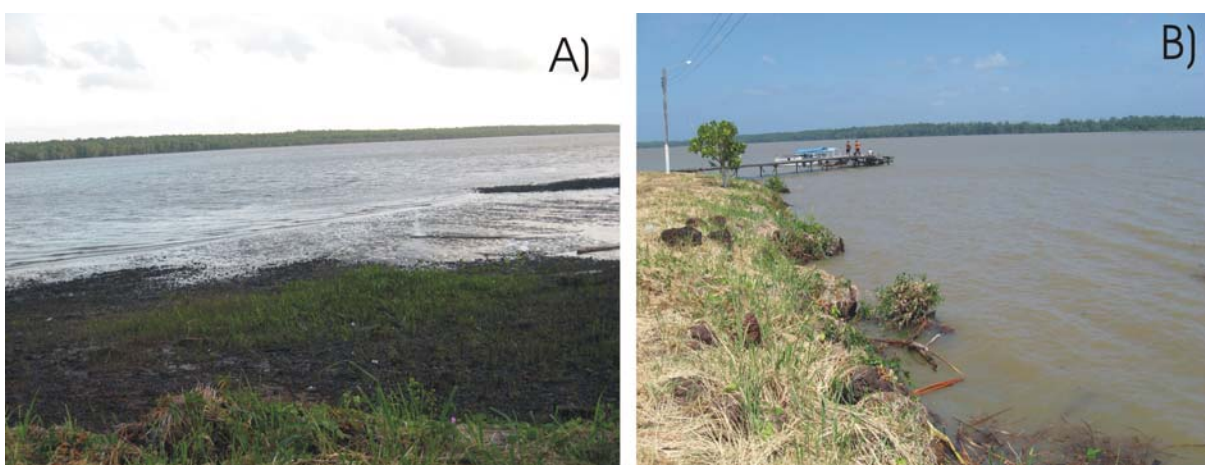


Figura 2- A) Exposição da capa laterítica durante a maré vazante em Santana do Arari; B) Maré alta em Santana (até 5m de altura).

Nesta margem ocorrem espécies vegetais como: Açai (*Euterpe oleracea*), Taperebá (*Spondias mombin L*), Manga (*Mangifera indica L*), Bambu (*Phyllostachys castillonis*) entre outras. Contudo na outra margem (esquerda) predomina *Rhizophora sp.* e *Avicennia sp.*, medindo entre 5 e 10m de altura. A profundidade local do canal nas proximidades de Santana é de 5m (maré alta), as embarcações que se deslocam para Cachoeira do Arari, Jenipapo e Santa Cruz do Arari só passam durante a maré alta. É comum ver embarcações encalhadas em

bancos de areia neste trecho do rio Arari, aguardando a enchente da maré para continuar o seu percurso (Figura 3).



Figura 3- A) Foz do rio Arari, ilha de Marajó-PA B) trapiche da vila de Santana do Arari, parada de embarcações durante a maré baixa.

Na estação localizada na Sede da Fazenda Murutucú (Figura 4), que dista 18.077 km da estação Santana, existe apenas uma casa onde reside uma família com 8 pessoas que utilizam as águas do rio Arari para tomar banho, lavar roupas, beber e preparar comida. Neste local não se observa mais o manguezal. Neste ponto, predominam espécies como Açai (*Euterpe oleracea*), Taperebá (*Spondias mombin L*), Manga (*Mangifera indica L*), Bambu (*Phyllostachys castillonis*) entre outras, nas duas margens do rio. A profundidade local é em torno de 4m (maré cheia), durante a baixa-mar afloram bancos de areia, o que se torna um obstáculo para embarcações de maior calado, principalmente aquelas que transportam passageiros e as balsas que transportam gado e búfalo, a pecuária é considerada a principal atividade econômica da região.



Figura 4- a) Sede da fazenda Murutucú localizada na margem do rio Arari; b) Trapiche da fazenda Murutucú durante a maré alta; c) Trapiche da fazenda Murutucú durante a maré baixa; d) aspecto do rio Arari durante a baixa mar.

O município de Cachoeira do Arari, é a única área urbana existente na região de estudo, fica a 24.613 km da estação Murutucú, ocupa uma superfície de 3.102,08 km<sup>2</sup> e sua população é de 20.411 habitantes, com 37% na zona urbana e 63% na rural com uma densidade de 5,7 hab km<sup>2</sup> (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009). No trapiche de Cachoeira do Arari a profundidade é de 5 m e 3m, respectivamente durante os períodos chuvoso, e de estiagem na maré alta (Figura 5).

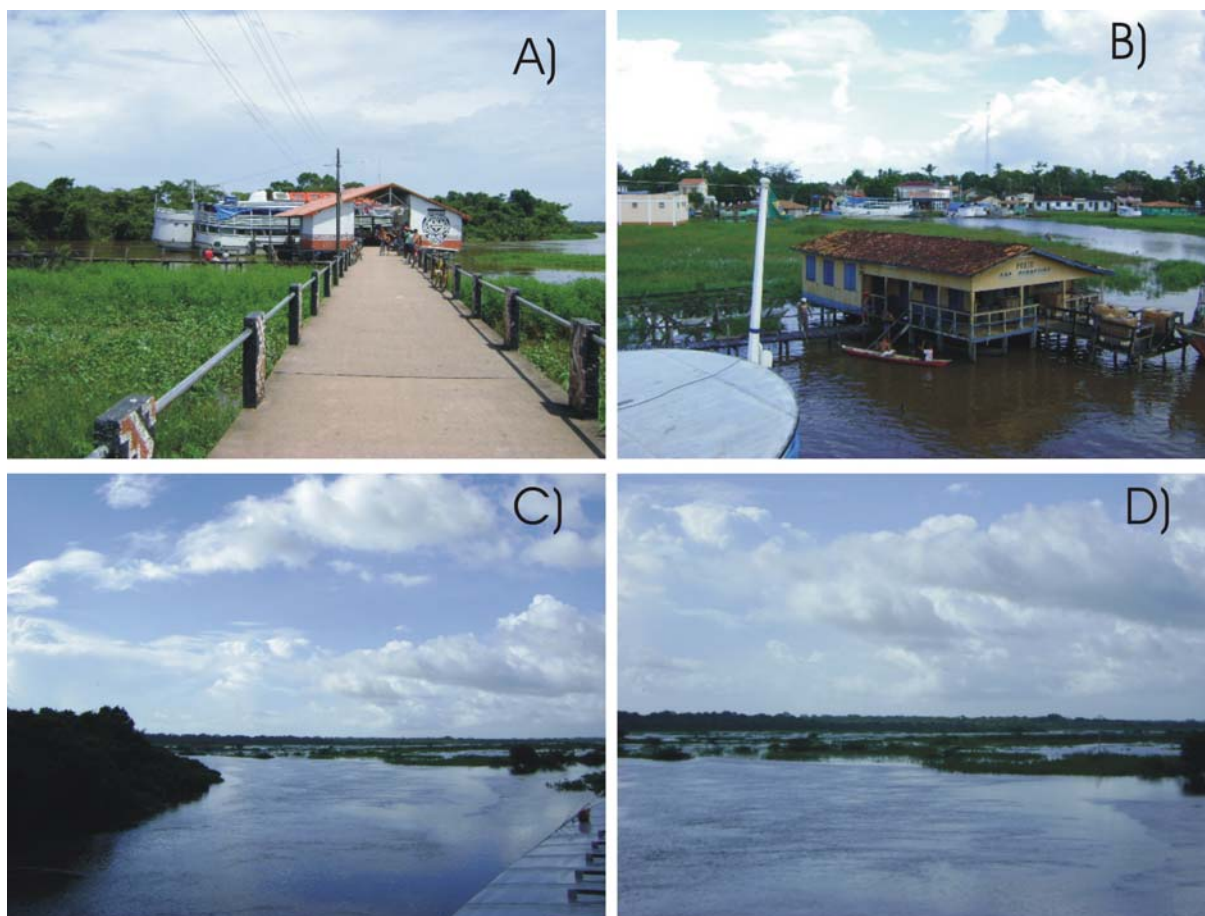


Figura 5- a) Trapiche da cidade de Cachoeira do Arari (Ilha de Marajó-PA); b) vista frontal da cidade de Cachoeira do Arari; c) e d) campos alagados durante o período chuvoso na ilha de Marajó, em frente a cidade de Cachoeira do Arari.

### 3.2 CLIMA E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

#### Temperatura

O clima da margem leste da Ilha de Marajó é classificado como clima do tipo “A” definido como clima tropical chuvoso e com dois subtipos: Af (parte ocidental) e Am (parte oriental), segundo a classificação de Köppen, a temperatura média anual é de 27,3° C e apresenta muito pouca variação mensal e anual, as variações diárias são mais importantes pois se produz apreciável queda da temperatura durante a noite (Martorano *et al.* 1993).

## Ventos

Em função de sua especial localização, banhada pela foz do rio Amazonas e pelo Oceano Atlântico, a ilha de Marajó recebe rajadas de vento de superfície mais forte na região oriental (de campos), atingindo  $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ . Estes ventos fortes procedentes do nordeste perdem velocidade e diminuem de  $2,6 \text{ m.s}^{-1}$  na região de campos para  $1,0 \text{ m.s}^{-1}$  na região ocidental (de matas), pois encontram como barreira natural a vegetação de floresta, com árvores de grande porte (Lima *et al.* 2005).

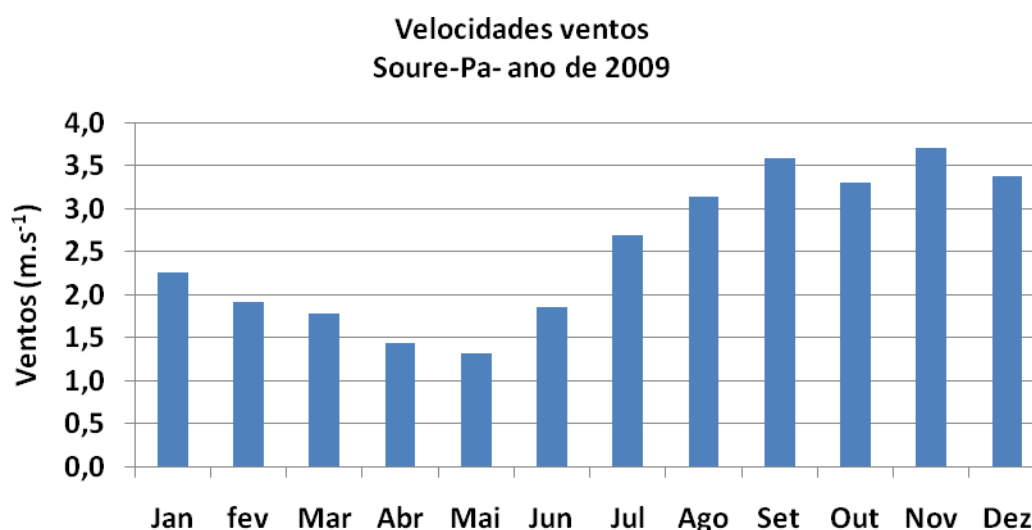


Figura 6 - Velocidade de ventos para o ano de 2009, estação Soure-PA.

Fonte: INMET, 2010.

## Pluviometria

Na bacia hidrográfica do rio Arari a média pluviométrica anual é em torno de 2500 mm. A umidade relativa é muito alta o ano todo, com ausência total de período seco e mantém-se acima de 80%. Em Cachoeira do Arari, região de campos do Marajó o máximo valor de umidade ocorre em janeiro com 90% e a mínima em dezembro, com 81% (Lima *et al.* 2005).

O regime de chuvas na região amazônica é dividido em dois períodos sazonais (Figura 7): (1) o período chuvoso, que se estende de dezembro a maio, com precipitação média de 2.566 mm, e maiores índices entre fevereiro e abril, o que representa 86 % do total anual



precipitado, sendo o período de maior influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); e (2) o período menos chuvoso de junho a novembro, apresenta os menores índices entre setembro e novembro, com média de 414,3 mm de chuvas, equivalentes a 14 % do total pluviométrico anual (Lima *et al.* 2005).

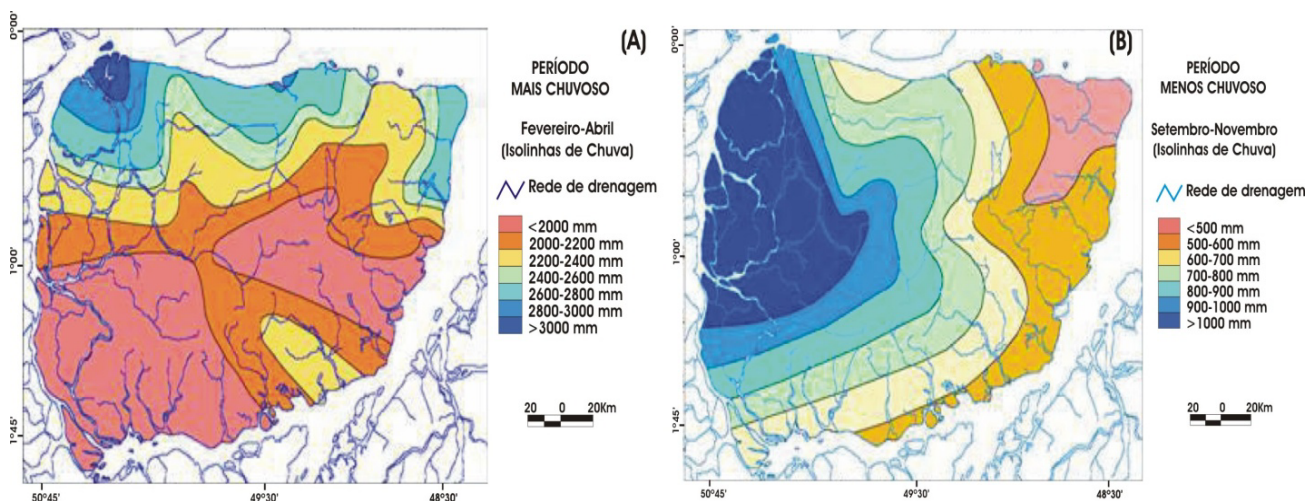


Figura 7 – Distribuição da precipitação pluviométrica na Ilha de Marajó, (A) período mais chuvoso; (B) período menos chuvoso.

Fonte: Adaptado de Lima *et al.* (2005).

### 3.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS

#### Estratigrafia

Segundo RADAM BRASIL (1974), os Aluviões (Quaternário) predominam na Ilha de Marajó. De acordo com Rosseti (2001), a estratigrafia Cenozóica da Bacia Sedimentar do Marajó é composta pelos grupos Pirabas (Oligoceno Superior ao Mioceno Inferior), Barreiras (Mioceno Médio ao Superior) e Pós-Barreiras (Plioceno Superior ao Holoceno Inferior).

## Geologia

Os aluviões são coberturas sedimentares recentes, compreendendo depósitos aluviais inconsolidados de variada granulometria, que formam a ampla planície aluvial do Amazonas, no arquipélago de Marajó. A estrutura geológica local é composta pelo Arco de Gurupá, que se estende entre os Cratons Guianês e Guaporé e sob a ilha Grande de Gurupá, com direção geral NW. Destaca-se essa feição estrutural com direção geral do grupo Vila Nova e Gnaisse Tumucumaque (RADAM BRASIL, 1974).

## Geomorfologia e Relevo

A ilha do Marajó apresenta topografia suave, com altitudes que não atingem 20 metros, e em grande parte constitui uma extensa planície sujeita às inundações periódicas pelas chuvas ou pelas cheias dos rios, os quais estão sob influência de marés (Teixeira & Costa, 1992).

O relevo da Ilha do Marajó é constituído por duas grandes unidades morfoestruturais: Planalto Rebaixado da Amazônia e Planície Amazônica. O Planalto Rebaixado da Amazônia, também chamado de Planalto do Baixo Amazonas ou Pediplano Pleistocênico, é constituído por sedimentos terciários do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras que, na área de estudo, dá origem ao Planalto Costeiro. Esta unidade faz parte do domínio morfoclimático dos planaltos amazônicos rebaixados ou dissecados, áreas colinosas e planícies revertidas por floresta densa. Correspondem a superfícies pediplanas, que formam níveis de baixos platôs (França, 2003).

As regiões mais baixas, que ocorrem frequentemente alagadas, são chamadas localmente como “Mondongos” e as formações mais elevadas, de solo arenoso, onde é comum encontrar sítios arqueológicos, são chamados localmente de “tesos”, estes locais foram construídos por antigos indígenas que habitaram a região, com a finalidade de usar estes locais como habitações ou cemitérios, esta prática, indica, a existência do problema de inundações periódicas desde aqueles tempos remotos.

### 3.4 COBERTURA- VEGETAÇÃO E SOLOS

#### Solos

Nas áreas de várzea são encontrados os solos hidromórficos de tipo Gley (húmicos e pouco húmicos), desenvolvidos sobre sedimentos recentes do Quaternário, em geral ácidos e com textura argilosa. Estes solos apresentam um horizonte superficial em torno de 25 a 30 cm, com alta porcentagem de matéria orgânica, sobre uma camada mineral originária de material sedimentar. A fertilidade dos solos de várzea concentra-se na sua camada superficial, devido a dois mecanismos: o primeiro refere-se à liberação de nutrientes pela matéria orgânica oriunda da decomposição de material vegetal florestal; o segundo é devido à deposição sobre o solo de substâncias minerais e orgânicas em suspensão nas águas barrentas do rio Amazonas causada pela movimentação das marés. São estes dois mecanismos que mantêm elevada a fertilidade dos solos de várzea (Brasil, 2007). Os solos do município de Cachoeira do Arari são representados pela Laterita Hidromórfica, em maior porcentagem, associada a Areias Quartzosas e Solos Aluviais Gleizados, Eutróficos e Distróficos (IDESP- Instituto de Desenvolvimento Social do Pará, 1974).

#### Cobertura Vegetal

Na ilha de Marajó existem três aspectos distintos, cujas condições edafológicas são favoráveis a um certo número de espécies proporcionando três tipos de vegetação características: um que se desenvolve no campo, composto predominantemente de espécies herbáceas e alguns arbustos, as espécies que ocorrem no campo possuem importância quanto ao número e como forrageiras, pertencem a três grandes famílias botânicas, *gramineae*, *leguminosae*, *cyperaceae*. Outro tipo de vegetação que ocorre nos “tesos” com predominância de plantas de porte mediano, desenvolvendo-se em solos mais elevados que escapam a inundação periódica, representadas pelas famílias *sapindaceae*, *ochraceae*, *verbenaceae*, *leguminosae*, *melastomaceae*, *apocynaceae*, *palmae*, *gramineae*, *malvaceae*, *rosaceae*, *lauraceae*, *anacardiaceae*, entre outros. Um terceiro tipo vegetando nas margens dos rios (várzeas) onde ocorrem as espécies comuns a categoria dos solos hidromórficos do estuário

do rio Amazonas, com espécies das famílias *leguminosae*, *palmae*, *myristicaceae*, *polygalaceae*, *anonaceae*, *rosaceae*, *acanthaceae*, *moraceae*, *olacaceae* e *myrtaceae*. Contornando o campo na parte nordeste da ilha encontra-se um a mata ciliar constituída de mangue e de siriúba, principalmente. No município de Cachoeira do Arari predominam os seguintes tipos de vegetação: Floresta Densa de Terra Firme, Campos Cerrados, Campos Altos e Campos Baixos. Nas margens dos baixos cursos d'água destaca-se a Floresta Aberta Mista, nas várzeas sujeitas às inundações das marés, ocorre também o Manguezal (IDESP, 1974).

### 3.5 ASPECTOS HIDROGRÁFICOS

A hidrografia na Ilha de Marajó é caracterizada por uma intrincada rede de drenagem formada por um emaranhado de canais recentes, paleocanais, furos, baías, paranás, meandros abandonados, lagos e igarapés, marcando um complexo em evolução, onde se destacam os rios Amazonas, Pará, Anapu, Jacundá e Anajás, com seus inúmeros afluentes, entre eles o rio Arari. O movimento sazonal e diário das águas é o principal elemento da paisagem da região. Nestas áreas, a variação diária do nível da maré pode ultrapassar os três metros (Brasil, 2007).

A rede de drenagem da Ilha de Marajó é subdividida em dois grupos: uma rede de drenagem densa e ativa, com furos e igarapés, sendo encontrada a oeste, e uma rede de drenagem esparsa, na qual a maioria dos rios é temporária, com diversos lagos a leste (Bemerguy, 1982).

A rede de drenagem na Ilha de Marajó apresenta escoamento geral do centro para a borda da ilha, com traçado radial denso na porção ocidental: A angularidade dos rios de primeira ordem é baixa e a sinuosidade curva, mas os de primeira e segunda ordem que confluem diretamente nos rios de ordem mais alta, têm angularidade média e sinuosidade mista (Bemerguy, 1982).

A hidrografia regional tem importância vital, destacando-se seu aproveitamento econômico: a) como principal meio de transporte e comunicação entre as cidades e vilas; b) como potencial pesqueiro; e c) como enriquecedor sedimentar das várzeas, através da ação dos rios de água barrenta (Brasil, 2007).

## Bacia Hidrográfica do rio Arari

A bacia do rio Arari constitui a principal bacia hidrográfica da região de campos da ilha de Marajó, devido a sua extensão e importância econômica como via de penetração, via de escoamento dos bens e produtos e ainda à sua riqueza ictiológica existente no rio Arari e no Lago Arari.

Esta bacia posiciona-se na região de campos e totaliza 864 km<sup>2</sup>, sendo caracterizada por inúmeros paleocanais, principalmente em sua porção noroeste (Figura 8). Limita-se, a sudeste com o rio Murutucú, a nordeste com o Igarapé Santo Antonio, no extremo norte com os rios Anajás e Almas e no extremo sul com o rio Laranjeiras. O fluxo do curso d'água do rio Arari mostra-se com ângulo de inflexão de 90°, tanto de montante a jusante ao longo da bacia, indo de N-S para E-W, formando retângulos abertos para nordeste (Souza & Rossetti, 2009).

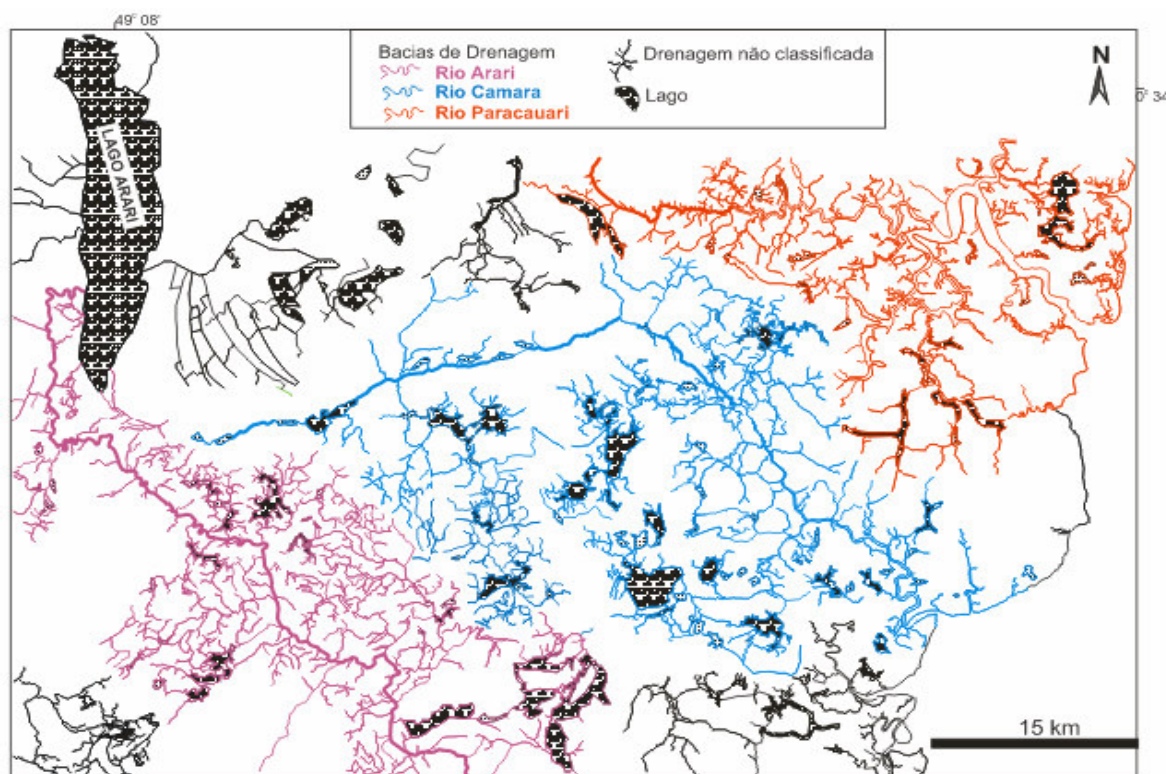


Figura 8 - Bacias de drenagem na região de campos da ilha de Marajó, Rio Arari, Rio Camará e Rio Paracauari.

Fonte: Souza & Rossetti (2009).

A bacia do rio Arari é do tipo exorréica, de densidade e assimetria fortes. Há incidência de paleocanais pontuais, de extensões inferiores a 15 km. A característica marcante é a presença dos lagos, principalmente na sua porção mediana e à jusante, onde eles apresentam maiores dimensões. Em geral, os lagos tem larguras e comprimentos variando de 0,4 a 5 km e 0,6 a 10 km, respectivamente. Possuem geometria alongada, e ocorrem na junção de canais/paleocanais, que se interceptam em ângulo ora agudo, ora reto (Souza & Rossetti, 2009).

O padrão dominante na porção central dessa bacia é o treliça recurvada a multibacinal. No extremo norte ocorrem padrões de treliça recurvada e subparalelo e, para sudeste, multibacinal a sub-treliça (Figura 9). O rio Arari tem como grande anomalia de drenagem, meandramentos comprimidos, principalmente no extremo norte e noroeste da bacia, mas que passa rapidamente, à jusante, para canais retilíneos. Estas anomalias de drenagem ocorrem em associação a padrões de drenagem treliça recurvada a multibacinal e subparalelo a retangular reto (Souza & Rossetti, 2009).



Figura 9- Padrões de drenagem na Bacia hidrográfica do rio Arari

Fonte: Adaptado de Souza & Rossetti (2009).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CAMPO

A metodologia utilizada neste estudo foi baseada em coletas sistemáticas e periódicas de acordo com as variações climáticas locais, em pontos pré-estabelecidos ao longo do rio Arari, com intuito de se obter informações acerca das alterações que ocorrem em diferentes períodos sazonais. Para isso foram realizadas 4 (quatro) campanhas, sendo 2 (duas) no período chuvoso (08 de Abril de 2009 e 24 de Maio de 2009) e 2 (duas) no período menos chuvoso (20 de Setembro de 2009 e 02 de Novembro de 2009).

A Príncipe escolheu-se 10 estações para amostragem ao longo do rio, contudo, após a realização da campanha de reconhecimento e com posse dos dados de campo e análises preliminares, optou-se por uma redução da rede de amostragem para três estações fixas assim distribuídas: Uma na foz do rio Arari (trapiche da Vila de Santana do Arari), outra estação localizada no trapiche da cidade de Cachoeira do Arari e uma no trapiche da Fazenda Murutucú a meio caminho entre a foz e a cidade de Cachoeira do Arari.

### 4.2 AMOSTRAGEM

As coletas de água foram realizadas simultaneamente nas três estações de coleta de hora em hora durante 12 horas, fechando um ciclo de maré a fim de observar as alterações provocadas pelas marés enchente e vazante, totalizando 13 (treze) coletas por estação e 39 (trinta e nove) por campanha (Tabela 1), as amostras foram coletadas em águas de superfície e sempre em condições de marés de sizígia.

Tabela 1- Quantidade de amostras realizadas durante o estudo, por períodos e pontos de coleta.

Estações de coleta	Período Chuvoso		Período Menos Chuvoso		TOTAL
	Amostras	Amostras	Amostras	Amostras	
	Abril	Maio	Setembro	Novembro	
Cachoeira	13	13	13	13	52
Murutucú	13	13	13	13	52
Santana	13	13	13	13	52
subtotal	39	39	39	39	
TOTAL	78 amostras		78 amostras		156 amostras

As amostras de água coletadas com garrafa hidrológica do tipo Van Dorn (Figura 10) foram armazenadas em frascos de polietileno de 500 ml, mantidas sob refrigeração à 4°C e protegidas contra a luz, para posterior filtração. Uma alíquota de 250 mL foi filtrada para determinação da clorofila *a* em filtros Whatman de acetato de celulose com 0,45µm de porosidade. Outra alíquota foi filtrada em filtros da marca Whatman de fibra de vidro com porosidade de 0,5-0,7µm pré-pesados para a determinação do material em suspensão (Strickland & Parsons, 1972) a água filtrada foi utilizada para análise dos nutrientes

Cada frasco foi devidamente identificado de acordo com o ponto de coleta, hora e data e as amostras foram transportadas para o Laboratório de Controle de Resíduos (LCR) da Universidade Federal do Pará.



Figura 10 - Uso da garrafa de Van Dorn na coleta das amostras de água.

Em campo foram determinados: temperatura, pH, condutividade elétrica e TDS com medidores multiparâmetros (HANNA HI9828) (Figura 11), calibrados com solução padrão de condutividade marca HANNA-HI 7031 ( $1413 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) e soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 marca VETEC .





Figura 11 - Utilização da sonda multiparâmetros na determinação de pH, condutividade elétrica, temperatura e TDS.

A transparência da água foi medida com a utilização de um disco de Secchi



Figura 12 - Determinação do ponto de desaparecimento do disco de Secchi.

### 4.3 MEDIÇÃO DA ALTURA DA MARÉ

Em cada ponto foi instalada uma régua limnimétrica, com o objetivo de identificar os momentos de enchente e vazante da maré, sendo feitas medições a cada 20 minutos.

### 4.4 PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS

O método utilizado para a determinação do teor do oxigênio dissolvido foi o de Winkler, descrito em Strickland & Parsons (1972). As amostras de água foram coletadas com garrafa Van Dorn, imediatamente recolhidas em frascos âmbar devidamente calibrados, fixadas ainda na embarcação e determinadas em um período de menos de 8h (Figura 13).



Figura 13 - Uso de frascos âmbar para armazenar as amostras de OD e Fixação do OD no momento da coleta.

O princípio do método está baseado no método iodométrico clássico de Winkler (titrimetria de oxidação e redução): soluções de manganês divalente ( $Mn^{2+}$ ) (codificadas por R1) e de iodeto alcalino de potássio (R2) são adicionadas a amostra. O oxigênio molecular

dissolvido oxida uma quantidade equivalente de hidróxido de manganês  $3^+$ . Quando o precipitado é dissolvido com ácido na presença de iodeto, o hidróxido de manganês  $3^+$  oxidado retorna ao estado reduzido de manganês  $2^+$  solúvel, e é liberado iodo em quantidade equivalente ao oxigênio original. O iodo formado é então titulado com solução padrão de tiosulfato de sódio, usando-se como indicador a suspensão de amido (Strickland & Parsons, 1972).

#### 4.5 LABORATÓRIO

##### Nutrientes

As amostras de água destinadas à determinação do nitrato, nitrito, fosfato e silicato foram filtradas mediante o uso de filtro Whatman de fibra de vidro de  $0,5-0,7\ \mu\text{m}$  (Figura 14).



Figura 14 - Processo de filtração das amostras de água para posterior determinação dos nutrientes dissolvidos.

## Fosfato Dissolvido

Para obtenção da concentração de fosfato foi empregada a metodologia descrita em Grasshoff *et al.* (1983). Este método dosa o fósforo sob as formas de íons ortofosfatos, que reagem com o molibdato de amônio em meio ácido, formando o complexo fosfomolibdato, que é reduzido pelo ácido ascórbico. Esta redução catalisada pelo antimônio tartarato de potássio, forma um composto de coloração azulada, cuja absorção máxima se dá no comprimento de onda de 885 nm de onda luminosa, utilizando-se cubetas com 1 cm de trajeto óptico em espectrofotômetro de feixe simples (Grasshoff *et al.* 1983).

## Compostos nitrogenados

As formas de nitrogênio determinadas nas águas do rio Arari, abreviações e métodos encontram-se na tabela 2. A metodologia empregada encontra-se descrita em Grasshoff *et al.* (1983).

Tabela 2 - Formas dos compostos nitrogenados, abreviações e métodos.

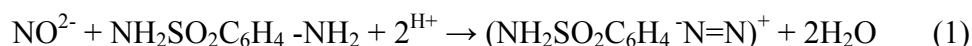
Formas	Abreviações	Métodos
Nitrato	$NO_3^-$	Redução: coluna de cádmio
Nitrito	$NO_2^-$	Formação do íon diazótico
N-amoniacal	$NH_4^+$	Nessler (HACH)

A concentração do N-amoniacal ( $NH_4^+ + NH_3$ ) foi medida pelo método de Nessler, descrito no manual HACH do aparelho DR/2500. Este método foi adaptado do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Para o nitrito foi empregado sulfanilamida (R<sub>1</sub>) em meio ácido (pH < 2), com formação do íon diazótico. A leitura foi feita em 543 nm, essas análises foram feitas segundo Grasshoff *et al.* (1983).

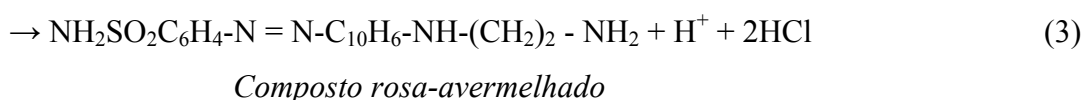
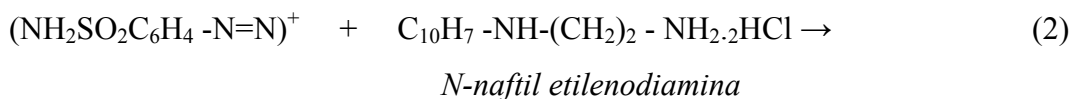
## Reações:

Os íons nitrito formam um íon diazótico com a sulfanilamida (R<sub>1</sub>) em meio ácido (pH < 2), seguindo a reação:



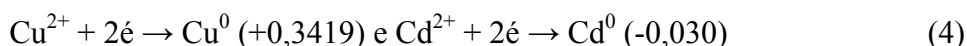
*amostra sulfanilamida íon diazótico*

Depois, o íon diazótico reage com o N-naftil etilendiamina (R2) para formar um composto colorido, cuja absorção máxima é a 543 nm:



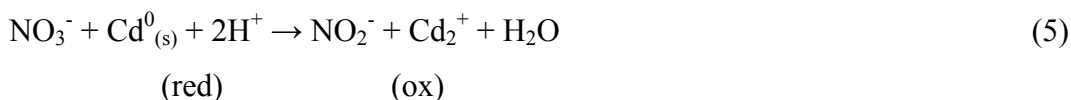
Em relação ao nitrato a concentração foi obtida subtraindo-se o nitrito original da amostra da concentração de nitrito total dosado (somatório destes  $\text{NO}_2^-$  com o  $\text{NO}_3^-$  reduzido). A redução do nitrato é efetuada pela passagem da amostra por uma coluna redutora preenchida por grãos de cádmio tratados com solução cúprica (cádmio envelopado com cobre).

O cádmio “envelopado” com cobre é ótimo para reações heterogêneas de redução. O papel do cobre é de catalisador, aumentando a eficiência da coluna. O cobre atrai os íons  $\text{NO}_3^-$ , fazendo seu papel de cátodo neste redox. Segundo Carmouze (1994), o cobre precipita na superfície do cádmio, onde forma uma camada porosa. O  $\text{Cu}^{2+}$  (oxidado) não é reduzido pelo cádmio, pois a redução do cobre exige um alto potencial de redução:



Na redução do  $\text{NO}_3^-$  para  $\text{NO}_2^-$  são envolvidos 2 elétrons, e assim o N passa da valência 5+ para 3+ (redução). Quem fornece esses 2 elétrons é o cádmio, que passa do  $\text{Cd}^0$  para  $\text{Cd}^{2+}$  (oxidação).

O princípio geral da reação de redução é:



## Silicato Dissolvido

O silicato foi determinado de acordo com o método adaptado de Mullin & Riley (1955) descrito por Grasshoff *et al.*, 1983. O princípio da determinação é a reação do silício dissolvido na amostra com molibdato de amônio em meio ácido (R1), resultando na formação do complexo silicomolibdico (amarelo), o qual, pela adição de uma mistura redutora de metol (sulfato de p-metilamino fenol) e de sulfito de sódio, é reduzido ao azul de silicomolibdato, cuja absorção máxima é a 810 nm (Mullin & Riley, 1955).

## Clorofila-a

A amostragem para determinação de pigmentos fotossintetizantes foi realizada simultaneamente com os parâmetros abióticos. Para o estudo da clorofila *a* foi seguido o método descrito em UNESCO (1966) e Teixeira (1973), as amostras de água foram coletadas diretamente na superfície, no laboratório uma alíquota de 0,25 L foi filtrada com filtros Whatman de acetato de celulose, filtros estes, devidamente colocados com auxílio de pinças em porta-filtro, acoplado a um kitassato. Foi utilizada uma bomba de vácuo, dotada de um vacuômetro, para controle da pressão que deve ser sempre inferior a 25 cm de Hg para minimizar possíveis danos ao material de interesse.

Após a filtragem, o filtro contendo o material nele retido foi devidamente dobrado uma única vez ao meio, sem que houvesse contato manual, envelopado e guardado em um freezer a uma temperatura de -18°C. Para extração dos pigmentos clorofilianos, foram utilizados tubos de ensaio de 10 ml, onde foi adicionado 10 ml de acetona a 90%, macerado e armazenado em um refrigerador, por 24 horas, a fim de que fosse possível a extração dos referidos pigmentos. Após esse período, o material foi centrifugado durante dez (10) minutos, a 2500 RPM, e o sobrenadante colocado em cubetas ópticas de 1 cm, sendo feitas as respectivas leituras de absorbâncias em um espectrofotômetro da marca HACH modelo 2500 nos comprimentos de ondas 630, 645, 665 e 750nm.

Para o cálculo do teor de clorofila *a*, utilizou-se a fórmula:

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg.m}^{-3}\text{)} = \left( \frac{11,6 \times A_{665} - (1,31 \times A_{645} + 0,14 \times A_{630} + A_{750})}{V \times L} \right) \times v$$

**Onde:**

A665 – leitura da absorbância da luz em 665nm;

A645 - leitura da absorbância da luz em 645nm;

A630 - leitura da absorbância da luz em 630nm;

A750 - leitura da absorbância da luz em 750nm;

*v* – volume de acetona a 90% (10 ml);

*V* – volume da amostra filtrada em litros (0,25 L);

*L* - caminho óptico da cubeta (1 cm).

Material particulado em suspensão (MPS)

O material particulado em suspensão presente nas águas do rio Arari foi determinado por medida gravimétrica, segundo a metodologia descrita em APHA (1995). No laboratório, as amostras de água foram filtradas em filtros de fibra de vidro da marca Whatman com 0,45µm de porosidade e 47 mm de diâmetro, previamente secos por 12 horas a 60°C. Após a filtração, o filtro contendo o material filtrado foi transferido cuidadosamente, com uma pinça, para uma placa de petry e foi seco a 30°C por duas horas em uma estufa, em seguida os filtros foram transferidos para um dessecador e depois de no mínimo duas horas os filtros foram pesados em balança analítica da marca SARTORIUS Modelo BL 210S com quatro casas decimais de precisão, antes e após a filtração das amostras. A diferença entre o peso do filtro antes e após a filtração forneceu o peso do material particulado em suspensão para um exato volume filtrado.

Sólidos Totais (ST), Minerais e Orgânicos

A determinação foi feita segundo a metodologia descrita em APHA (1995). Inicialmente foi feita a preparação de uma capsula de porcelana numerada e com capacidade para 100 ml, esta foi lavada com água destilada, calcinada em forno mufla durante uma hora a

550-600 °C e armazenada em dessecador com sílica-gel antes da pesagem em balança analítica.

Após a anotação do  $P_1$ , peso da cápsula vazia, 100 ml da amostra homogeneizada foi introduzido na cápsula através de uma proveta de 100 ml, sofrendo em seguida evaporação em banho-maria e secagem final em estufa a 103-105°C até peso constante. A evaporação em banho Maria tem por objetivo acelerar o processo de secagem, podendo ser suprimida. A cápsula foi retirada da estufa e armazenada em dessecador com sílica-gel até esfriar e em seguida levada para pesagem na balança analítica. O valor da massa da cápsula com o resíduo seco,  $P_2$ , foi anotado e a concentração de sólidos totais foi determinada pela equação:

$$ST(mg.L^{-1}) = (P_2 - P_1) \cdot 10^4$$

Para a determinação das frações de minerais e orgânicos, a cápsula com o resíduo seco foi introduzida em seguida em um forno mufla, onde permaneceu durante uma hora a 550-600°C. A esta temperatura os sólidos orgânicos se volatilizam e, após retenção de umidade em dessecador com sílica-gel e pesagem em balança analítica o valor  $P_3$  foi anotado, este deve estar compreendido entre  $P_1$  e  $P_2$  e a concentração da fração mineral foi calculada pela equação:

$$ST_{minerais}(mg.L^{-1}) = (P_3 - P_1) \cdot 10^4$$

Finalmente para calcular a concentração da fração orgânica foi aplicada a equação:

$$ST_{orgânicos}(mg.L^{-1}) = (ST - ST_{minerais})$$

Onde:  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$  são dados em gramas.

#### 4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Antes da escolha do teste estatístico a ser usado, aplicou-se o teste de Análise de Agrupamentos, para verificar a semelhança entre as três campanhas de coleta no rio Arari. A técnica classificatória multivariada da análise de agrupamentos pode ser utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre indivíduos ou entre as variáveis, definindo-os em



grupos, sendo no primeiro caso todas as variáveis medidas em cada indivíduo e, no segundo caso, todos os indivíduos nas quais foram feitas as mesmas mensurações. Segundo esse método, procura-se por agrupamentos homogêneos de itens representados por pontos num espaço dimensional em um número conveniente de grupos, relacionando-os através de coeficientes de similaridades ou de correspondências (Landim, 2000).

Os dados obtidos foram analisados por métodos de estatística descritiva e multivariada, Análise de Componentes Principais (ACP) e análise de agrupamento (*cluster*). A ACP, provavelmente, é o método multidimensional mais utilizado em estudos que avaliam as características físicas e químicas dos ecossistemas aquáticos continentais. Gradientes ambientais formados por processos de transporte em reservatórios, gradientes de poluição, e gradientes longitudinais em rios podem ser facilmente sintetizados e identificados pela ACP, dada a forte estrutura de correlação entre as variáveis limnológicas (Bini, 2004).

Na análise de componentes principais, as variáveis originais são linearmente combinadas com o objetivo de projetar o máximo de informação no menor número de dimensões. A informação total contida no conjunto de dados de partida é quantificada pela matriz de covariância. A primeira componente principal (PC1) é a direção de máxima variância e, portanto, de máxima informação no espaço multidimensional original. A segunda componente (PC2) é ortogonal a PC1 e corresponde ao eixo que explica o máximo possível da informação que não pôde ser representada pela primeira componente. Juntas, PC1 e PC2 definem o plano de máxima informação no espaço multidimensional. Se as variáveis apresentarem muitas correlações significativas, é possível que esse plano já contenha informação suficiente para permitir inferir os padrões de associação existentes nos dados de partida (Massart *et al.* 1998).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS

#### Precipitação

O ano de 2009 na Ilha de Marajó foi marcado por eventos de chuvas e seca intensas durante o primeiro e segundo semestre, respectivamente. A figura 15 apresenta os valores de precipitação para o ano de 2009 na estação de Soure (Ilha de Marajó). Observa-se que durante o primeiro semestre a quantidade de chuva ultrapassou os 600 mm, ou seja, foi acima da normal climatológica (61-90), e no segundo semestre a quantidade de chuvas foi abaixo da normal climatológica.

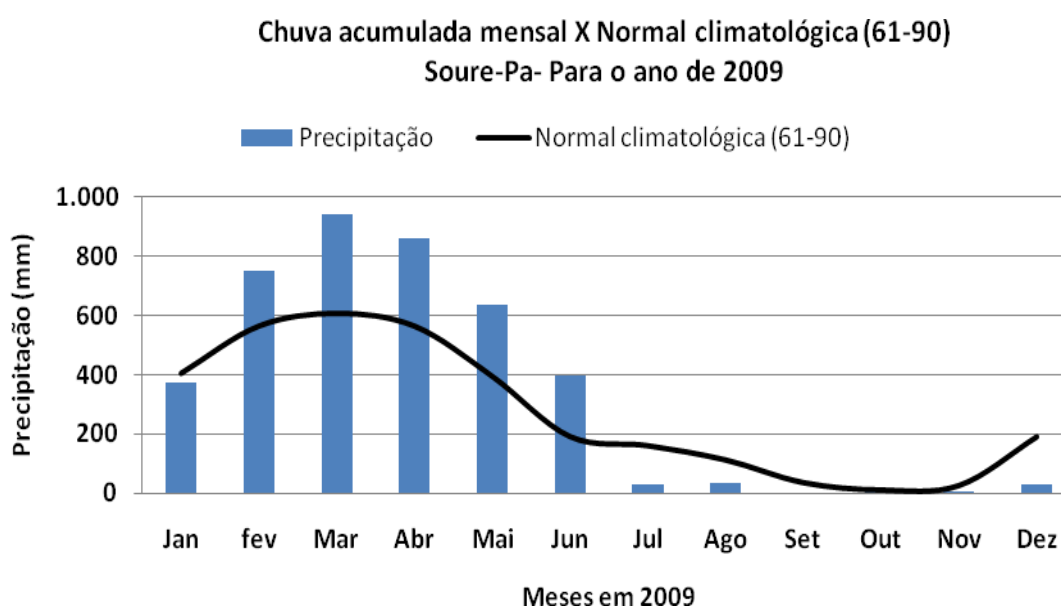


Figura 15- Variação da chuva acumulada mensal (2009) no município de Soure.

Fonte: (INMET, 2010).

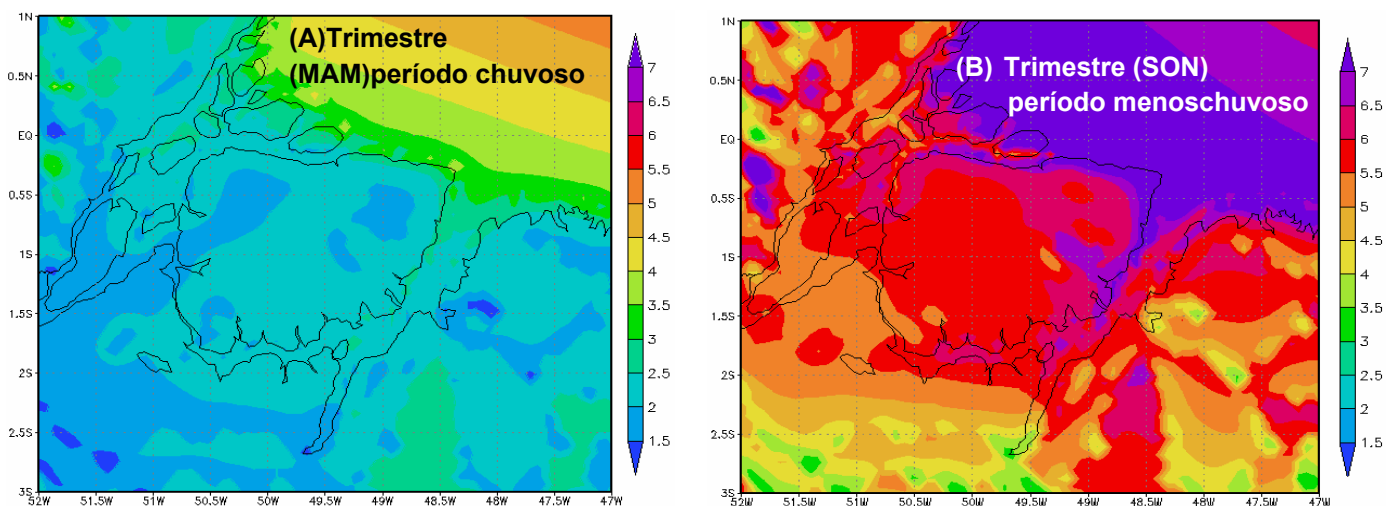
No período chuvoso as fortes chuvas causaram diversos problemas aos moradores de cachoeira do Arari. Nos bairros que são frequentemente atingidos pelas enchentes, as residências são todas construídas sobre pontes de madeira, iguais palafitas, já prevendo essas enchentes. Contudo, segundo relato de moradores em Maio de 2009, o nível da água subiu a ponto de invadir as residências. Outro problema causado pelas enchentes é a interdição da estrada PA-154 que interliga os municípios de Soure, Salvaterra, Cachoeira do Arari e Santa

Cruz do Arari, o que, entre outros problemas, dificulta o escoamento da produção para as cidades mais próximas. A PA-154 corta a região de campos da Ilha do Marajó e durante o período chuvoso fica submersa, sendo o acesso à região restrito às vias fluviais e aéreas. Por outro lado, durante o período menos chuvoso, as chuvas ficaram abaixo da normal climatológica, a ilha de Marajó foi castigada com uma das maiores secas já registradas.

## Ventos

Os resultados de velocidade do vento registrados na estação de Soure (Ilha de Marajó) revelam que as maiores velocidades são registradas durante o período menos chuvoso: mínimos de  $1,31 \text{ m.s}^{-1}$  em maio e máximo de  $3,70 \text{ m.s}^{-1}$  em novembro. De acordo com Cruz (2009), os ventos mais intensos ocorrem na parte norte/nordeste do litoral da ilha, com destaque para o trimestre (SON) Setembro, Outubro, Novembro quando os ventos se intensificam tanto no interior quanto no litoral e as médias superam  $5,5 \text{ m.s}^{-1}$  em toda a região, com destaque para médias superiores a  $7 \text{ m.s}^{-1}$  na costa (Figura 16).

Figura 16 – Distribuição da velocidade dos ventos ( $\text{m.s}^{-1}$ ) na ilha de Marajó, (A) trimestre



(MAM) período chuvoso e (B) trimestre (SON) período menos chuvoso.

Fonte: Adaptado de Cruz Segundo (2009).

O trimestre com ventos mais fracos é o (MAM) Março, Abril, Maio, onde predominam ventos fracos tanto no interior da ilha quanto nas suas margens, quando a média não passa dos  $3 \text{ m.s}^{-1}$ . Na figura 14 (B), que representa o trimestre (SON) com os ventos mais fortes, nota-se, na margem leste da Ilha de Marajó e na foz do rio Arari, um corredor de ventos com velocidades entre  $6,5$  e  $7,0 \text{ m.s}^{-1}$  e que se distribuem para o interior da ilha, a direção deste corredor de ventos acompanha a direção do rio Arari, passando pela cidade de Cachoeira do Arari e chega até o lago Arari.

#### Variação das Marés no rio Arari

O regime hidrológico do rio Arari é definido pelos períodos de maior e menor precipitação, as cheias iniciam em dezembro ou janeiro e terminam em julho ou agosto, atingindo o máximo em abril ou maio e mínimo entre setembro e novembro, tal como os demais rios do Marajó, e do próprio rio Amazonas (Figura 17).

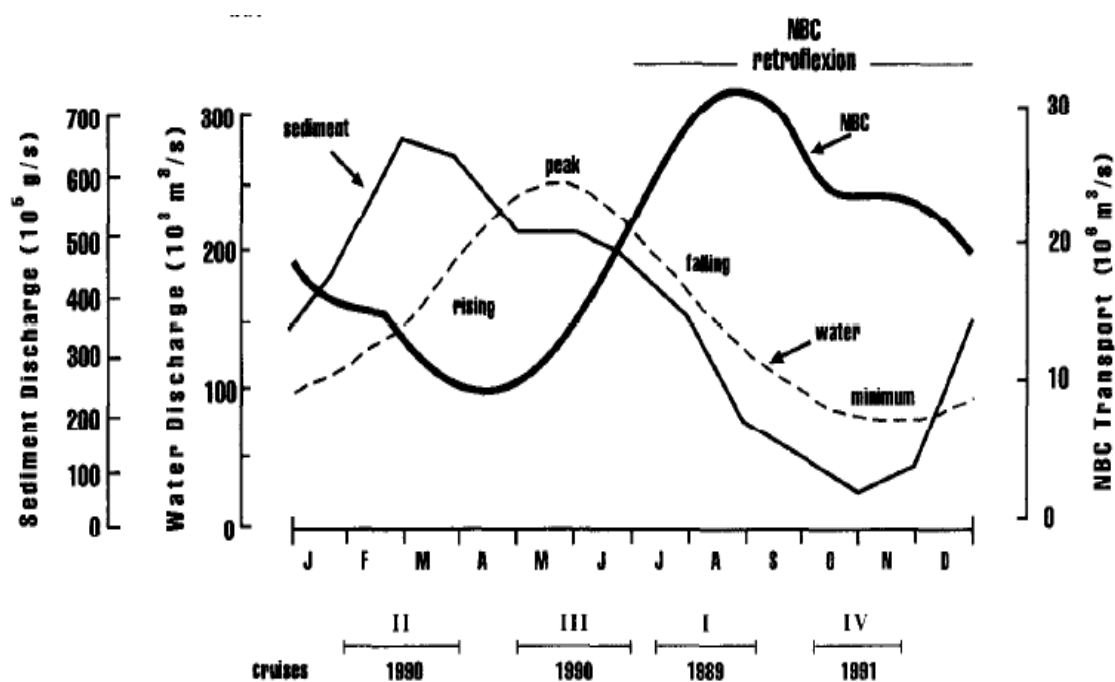


Figura 17 - Variação sazonal da descarga de sedimentos, e descarga de água pelo rio Amazonas, medidos durante o programa AMASSEDS.

Fonte: Nittrouer & Demaster (1996).

Os resultados das medições das alturas hidrométricas no rio Arari, realizados por IDESP (1974), compreendem um período de 19 anos de observações diárias na estação localizada na cidade de Cachoeira do Arari (Figura 18), atualmente a estação está desativada. Os dados da série histórica revelam que entre os meses de março a maio a amplitude da maré é muito pequena, ou seja, neste trecho é o limite de penetração da maré dinâmica. Por outro lado entre os meses de agosto e janeiro a amplitude é bem maior, pode-se inferir que a maré dinâmica atinja seu limite alguns quilômetros a montante da cidade de Cachoeira do Arari. Desta maneira a hidrodinâmica do rio Arari varia sazonalmente.

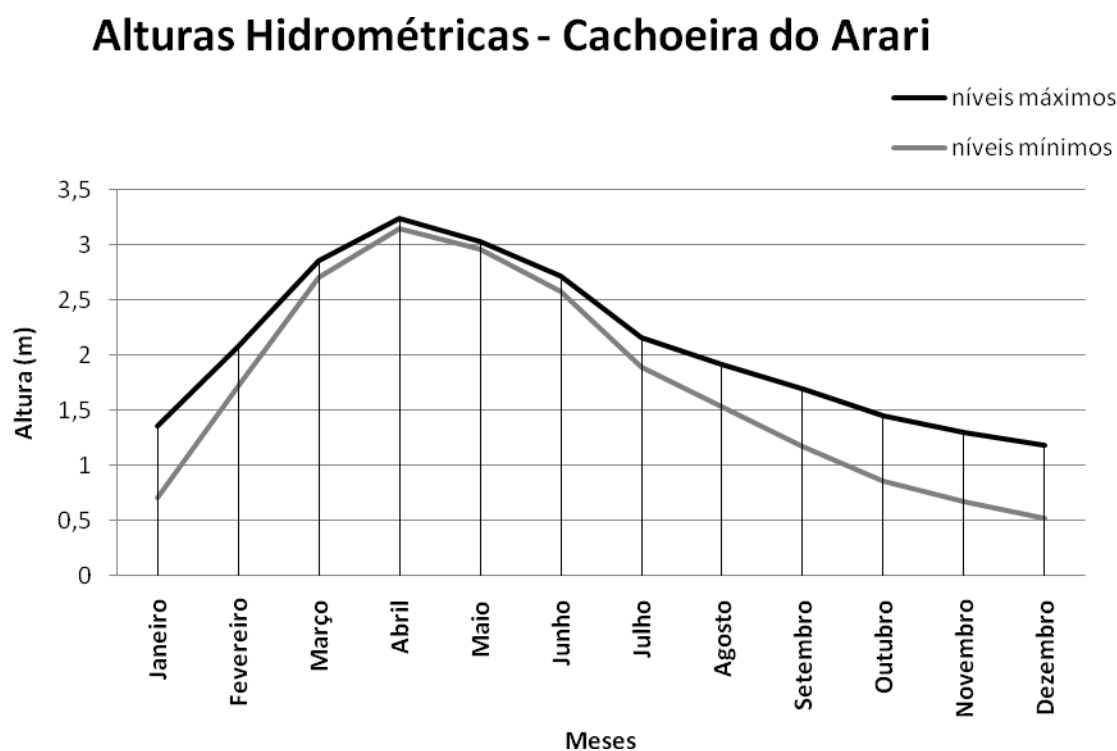


Figura 18 - Variação sazonal do nível da água no rio Arari (dados médios mensais obtidos no posto Cachoeira do Arari- período de 1952 à 1971). Fonte: IDESP, 1974.

#### Amplitudes de marés

Os resultados de amplitude de maré medidos em Cachoeira do Arari nos meses de abril, maio, setembro e novembro são apresentados na figura 19, no período chuvoso, praticamente não se observa a influencia das marés, a amplitude da maré em abril e maio foi de 0,05 e 0,09 m, respectivamente. Por outro lado nos meses de setembro e novembro a amplitude foi de 1,22 e 1,08 m, respectivamente.

No período chuvoso, ocorre uma pequena oscilação na amplitude, contudo não é observado o fluxo e refluxo da maré, o rio Arari apresenta um fluxo unidirecional em direção a sua foz, ou seja, a maré dinâmica não atinge este ponto do rio Arari.

Durante o período menos chuvoso, quando pode ser observada a variação das marés em Cachoeira do Arari, nota-se um comportamento assimétrico da maré, com predomínio da maré vazante. Em setembro a duração da enchente foi de 04h40min e vazante de 07h20min, em novembro a enchente durou em média 04h00min e a vazante 08h00min.

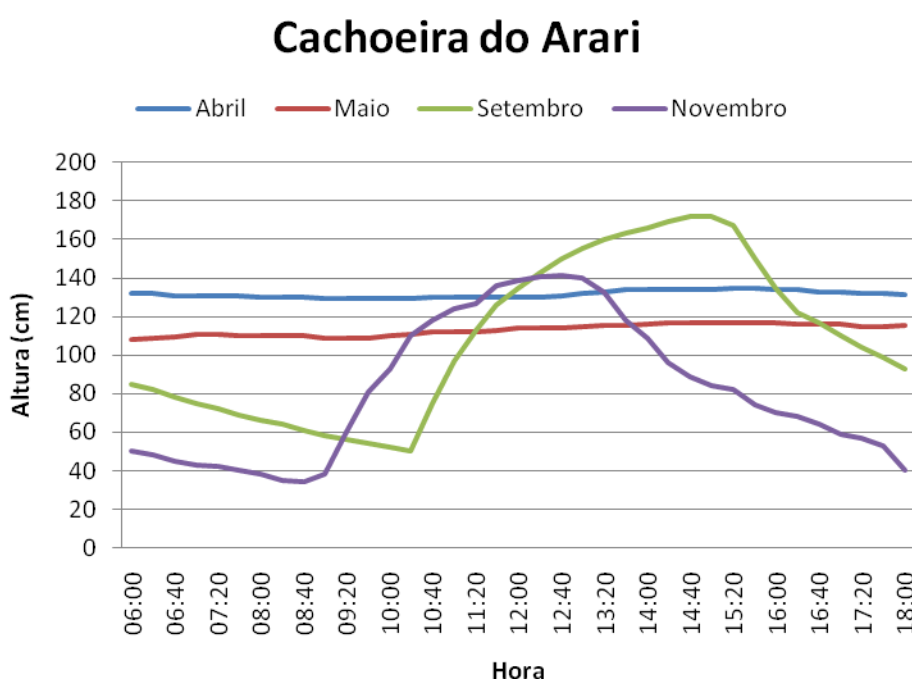


Figura 19 - Amplitude de maré na estação Cachoeira do Arari, nos meses de abril, maio, setembro e novembro.

Na estação Murutucú a amplitude de maré foi de 2,78m no período chuvoso e de 3,01m no período menos chuvoso (Figura 20). A maré foi assimétrica, com predomínio da vazante, em média a enchente tem duração de 04h15min e a vazante 07h45min. Nota-se que o nível da água aumenta bruscamente no começo da enchente e sobe em torno de 1m em apenas 20 minutos, em seguida o movimento de subida se torna mais suave e continua crescendo lentamente durante 2 ou 3 horas até a preamar.

Na estação Santana as amplitudes ficaram entre 3,11m e 3,45m, a maré é do tipo assimétrica com tempo médio de 04h45min para enchente e 07h15min para vazante (Figura 20). Foi observado o padrão de enchente semelhante ao da estação Murutucú, com subida brusca do nível da água no começo da enchente seguido por um aumento mais suave até a preamar.

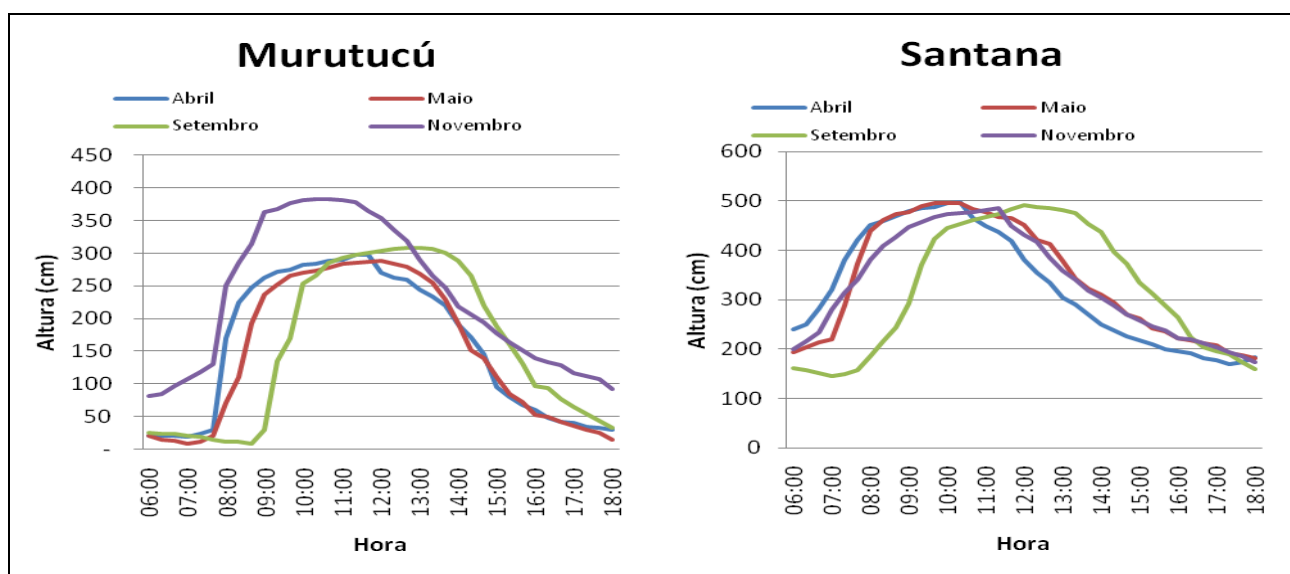


Figura 20- Amplitude de maré nas estações Murutucú e Santana, nos meses de abril, maio, setembro e novembro.

## 5.2 VARIAÇÃO SAZONAL E ESPACIAL DOS PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS

Os resultados dos meses de abril e maio serão apresentados como “período chuvoso” e os resultados registrados nos meses setembro e novembro serão chamados de “período menos chuvoso”. As tabelas 3, 4 e 5 mostram a estatística descritiva para os períodos chuvoso e menos chuvoso, nas estações Cachoeira, Murutucú e Santana, respectivamente.

Tabela 3 - Número de valores (N), Mediana, (Mín) mínimo, (Máx) máximo e desvio padrão (Desv Pad) dos parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), transparência, condutividade elétrica, material particulado em suspensão (MPS), sólidos totais (ST), ST orgânicos (STOrg), STminerais (STmin), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), N-amoniacoal, fosfato (PID), silicato (Si) e clorofila *a* (Chl-*a*), obtidos na Cachoeira do Arari durante os período chuvoso e menos chuvoso do ano de 2009.

	Chuvoso					Menos Chuvoso				
	N	Mediana	Mín	Máx	Desv Pad	N	Mediana	Mín	Máx	Desv Pad
pH	26	5,29	4,88	6,22	0,31	26	5,36	4,79	7,00	0,43
Temperatura (°C)	26	28,07	27,50	29,00	0,51	26	29,94	29,24	30,56	0,37
OD(mg.L <sup>-1</sup> )	26	3,53	3,07	4,27	0,34	26	4,64	3,96	5,09	0,28
Secchi (cm)	16	50,00	45,00	55,00	2,78	16	10,00	8,00	12,00	1,06
Condutividade( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	26	107,05	77,30	143,50	22,28	26	158,20	145,50	233,00	29,72
MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	26	19,00	9,00	42,00	8,94	26	264,50	90,00	343,00	62,17
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	26	71,50	33,00	513,00	102,28	26	491,00	229,00	635,00	103,93
STmin (mg.L <sup>-1</sup> )	26	31,50	9,00	77,00	14,47	26	399,00	158,00	540,00	97,00
STOrg (mg.L <sup>-1</sup> )	26	44,00	11,00	472,00	101,08	26	86,00	63,00	279,00	40,69
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	26	9,08	2,27	10,80	3,37	26	68,87	62,30	71,53	2,47
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	26	0,39	0,11	0,75	0,22	26	0,15	0,05	0,73	0,16
N-amoniacoal ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	26	26,67	6,67	35,56	9,71	26	13,61	5,56	28,89	6,87
PID ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	26	0,27	0,03	0,78	0,19	26	0,39	0,13	1,30	0,34
Si ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	26	18,02	6,75	64,20	17,75	26	54,40	6,80	126,70	36,89
Chl <i>a</i> (mg.m <sup>-3</sup> )	26	17,28	4,22	38,32	9,79	26	7,50	3,94	15,23	2,91

Tabela 4 - Número de valores (N), Mediana, (Mín) mínimo, (Máx) máximo e desvio padrão (Desv Pad) dos parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), transparência, condutividade elétrica, material particulado em suspensão (MPS), sólidos totais (ST), ST orgânicos (STOrg), STminerais (STmin), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), N-amoniacoal, fosfato (PID), silicato (Si) e clorofila *a* (Chl-*a*), obtidos em Murutucú durante os período chuvoso e menos chuvoso do ano de 2009.

	Chuvoso					Menos Chuvoso				
	N	Mediana	Mín	Máx	Desv Pad	N	Mediana	Mín	Máx	Desv Pad
pH	26	5,22	3,60	5,69	0,72	26	6,28	4,40	7,88	1,20
Temperatura (°C)	26	28,20	28,00	29,80	0,45	26	29,95	28,90	31,10	0,64
OD(mg.L <sup>-1</sup> )	26	3,63	2,98	4,65	0,52	26	3,78	3,29	5,33	0,46
Secchi (cm)	16	16,50	12,00	22,00	3,09	17	15,00	10,50	24,00	4,06
Condutividade( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	26	88,45	75,50	102,80	8,66	26	152,65	103,60	183,90	16,62
MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	26	36,00	15,00	75,00	15,15	26	110,00	66,00	213,00	30,19
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	26	125,50	86,00	567,00	123,48	26	214,50	166,00	607,00	83,09
STmin (mg.L <sup>-1</sup> )	26	59,00	20,00	443,00	85,68	26	163,00	60,00	250,00	41,89
STOrg (mg.L <sup>-1</sup> )	26	70,00	21,00	429,00	75,27	26	46,50	15,00	501,00	92,95
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	26	6,08	0,10	11,20	2,35	26	24,98	10,73	50,17	12,62
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	26	0,35	0,08	1,04	0,37	26	0,18	0,09	0,33	0,08
N-amoniacoal ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	26	26,67	12,78	41,67	6,74	26	11,11	5,00	30,00	7,25
PID ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	26	0,36	0,15	0,83	0,19	26	0,46	0,15	0,88	0,18
Si ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	26	20,20	5,70	92,40	24,24	26	94,63	16,45	147,90	38,50
Chl <i>a</i> (mg.m <sup>-3</sup> )	26	19,33	4,32	32,09	6,56	26	12,50	5,36	17,33	3,50



Tabela 5 - Número de valores (N), Mediana, (Min) mínimo, (Máx) máximo e desvio padrão (Desv Pad) dos parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), transparência, condutividade elétrica, material particulado em suspensão (MPS), sólidos totais (ST), ST orgânicos (STorg), STminerais (STmin), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), N-amoniaco, fosfato (PID), silicato (Si) e clorofila *a* (Chl-*a*), **obtidos em Santana do Arari** durante os períodos chuvoso e menos chuvoso do ano de 2009.

	Chuvoso					Menos Chuvoso				
	N	Mediana	Mín	Máx	Desv Pad	N	Mediana	Mín	Máx	Desv Pad
pH	26	4,97	3,30	5,75	0,49	26	6,80	5,10	7,80	0,99
Temperatura (°C)	26	29,85	27,00	30,60	0,82	26	29,00	28,00	30,40	0,79
OD(mg.L <sup>-1</sup> )	26	4,19	3,15	5,29	0,58	26	4,10	2,60	5,90	1,07
Secchi (cm)	15	28,00	15,00	37,00	7,30	16	34,00	25,00	45,50	6,71
Condutividade(μS.cm <sup>-1</sup> )	26	115,00	60,20	165,00	16,87	26	153,40	140,70	223,00	23,16
MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	26	24,00	11,00	58,00	15,17	26	42,00	15,00	77,00	16,01
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	26	93,00	44,00	245,00	53,43	26	38,60	28,80	190,00	34,51
STmin (mg.L <sup>-1</sup> )	26	38,50	5,00	144,00	30,15	26	137,00	99,00	444,00	77,50
STOrg (mg.L <sup>-1</sup> )	26	57,50	16,00	212,00	41,39	26	109,50	58,00	232,00	34,51
$\text{NO}_3^-$ (μmol.L <sup>-1</sup> )	26	12,02	0,37	21,40	5,46	26	28,50	16,00	386,00	72,34
$\text{NO}_2^-$ (μmol.L <sup>-1</sup> )	26	0,32	0,07	0,79	0,19	26	5,80	2,70	9,60	1,98
N-amoniaco (μmol.L <sup>-1</sup> )	26	12,22	4,44	24,44	4,44	26	0,20	0,10	0,50	0,13
PID (μmol.L <sup>-1</sup> )	26	0,53	0,10	0,92	0,26	26	10,30	3,30	21,70	6,10
Si (μmol.L <sup>-1</sup> )	26	52,00	10,00	125,05	31,01	26	0,60	0,30	1,00	0,23
Chl <i>a</i> (mg.m <sup>-3</sup> )	26	15,24	5,85	31,77	6,30	26	116,80	56,40	170,80	48,27

A representação gráfica de Box Whisker permite uma comparação visual da distribuição dos parâmetros estudados nas quatro campanhas e nas três estações ao longo do rio Arari, permitindo uma visualização espacial e sazonal da variação dos parâmetros. Onde tem-se que: Período Chuvoso (campanhas realizadas em Abril e Maio), Período menos Chuvoso (campanhas realizadas em Setembro e Novembro), como maneira de identificar as Estações de coleta por Período e de visualizar melhor o gráfico aplicou-se as siglas (CS) - Cachoeira menos Chuvoso, (MS) - Murutucú menos Chuvoso, (SS) - Santana menos Chuvoso, (CC) - Cachoeira Chuvoso, (MC) - Murutucú Chuvoso e (SC) - Santana Chuvoso.

O gráfico de caixa está relacionado com a mediana, onde os quartis dividem conjuntos ordenados em quatro (4) partes iguais, sendo que: a altura das caixas representa a distância interquartilica, sobre a qual encontra-se a maioria dos resultados (25%-75%); o ponto central, a mediana; e, as extremidades das duas linhas, os valores mínimo e máximo.

### 5.2.1 pH

No período menos chuvoso a distribuição espacial do pH mostrou um gradiente crescente a partir da estação Cachoeira (CS), onde foi registrada a menor mediana (5,36) Tabela 3, a estação Murutucú (MS) apresentou o valor da mediana intermediário de 6,28, além de registrar os menores valores mínimo (4,40) e máximo (7,88) entre as três estações, para este período (Tabela 4) e mostrou-se assimétrica em direção aos valores máximos Figura 21, o que indica uma mistura das águas nesse trecho do rio Arari, Em Santana (SS), foi detectada a maior mediana (6,80) Tabela 5 e Figura 21, isso indica que o pH é influenciado por águas ácidas provenientes do rio Arari e águas menos ácidas provenientes da Baía de Marajó, que durante o período menos chuvoso sofre influência do Oceano Atlântico.

No período chuvoso os valores das medianas para o pH nas estações Cachoeira (CC), Murutucú (MC) e Santana (SC) foram próximos (5,27), (5,26) e (4,99) respectivamente Figura 21, a maior amplitude interquartílica foi registrada na estação Murutucú, assim como o comportamento assimétrico com o valor de mediana orientado em direção ao quartil superior, distribuição similar ao período menos chuvoso.

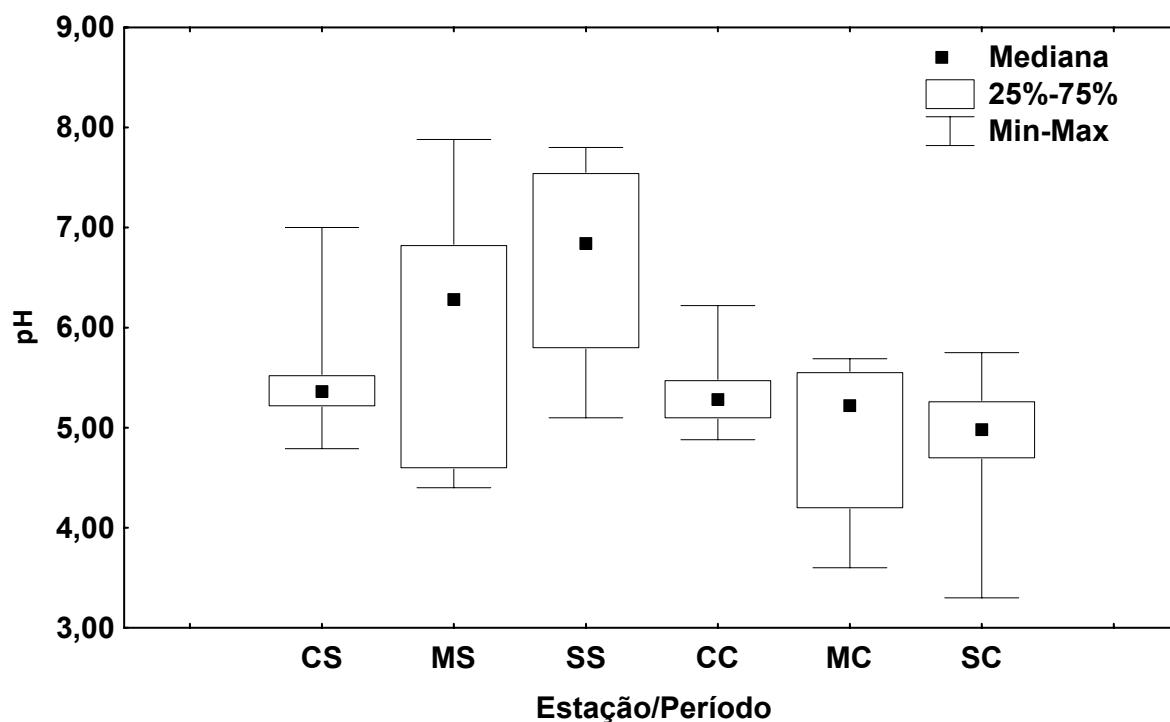


Figura 21 - Distribuição espacial do pH nas águas do rio Arari no ano de 2009.

A estação (CC) apresentou valor de mediana pouco inferior ao registrado no período menos chuvoso (CS) (4,88 e 5,24, respectivamente), enquanto que para as estações Murutucú (MC) e Santana (SC), os valores de mediana foram bem menores (6,18 e 5,13) e (6,88 e 4,97), respectivamente.

A análise dos valores de pH nos períodos chuvoso e menos chuvoso permite observar valores ácidos do pH nos dois períodos (Figura 22), com os valores das medianas próximos no período chuvoso (mediana de 5,10) e menos chuvoso (mediana de 5,60). Durante o período chuvoso a distribuição foi simétrica, com uma cauda inferior longa, e valores mínimos e máximos de 3,30 e 6,22, respectivamente. No período menos chuvoso, a distribuição foi assimétrica com a mediana mais próxima dos valores mínimos, os valores mínimos e máximos foram mais acentuado (4,40) e (7,80), o que mostra o aumento do pH neste período.

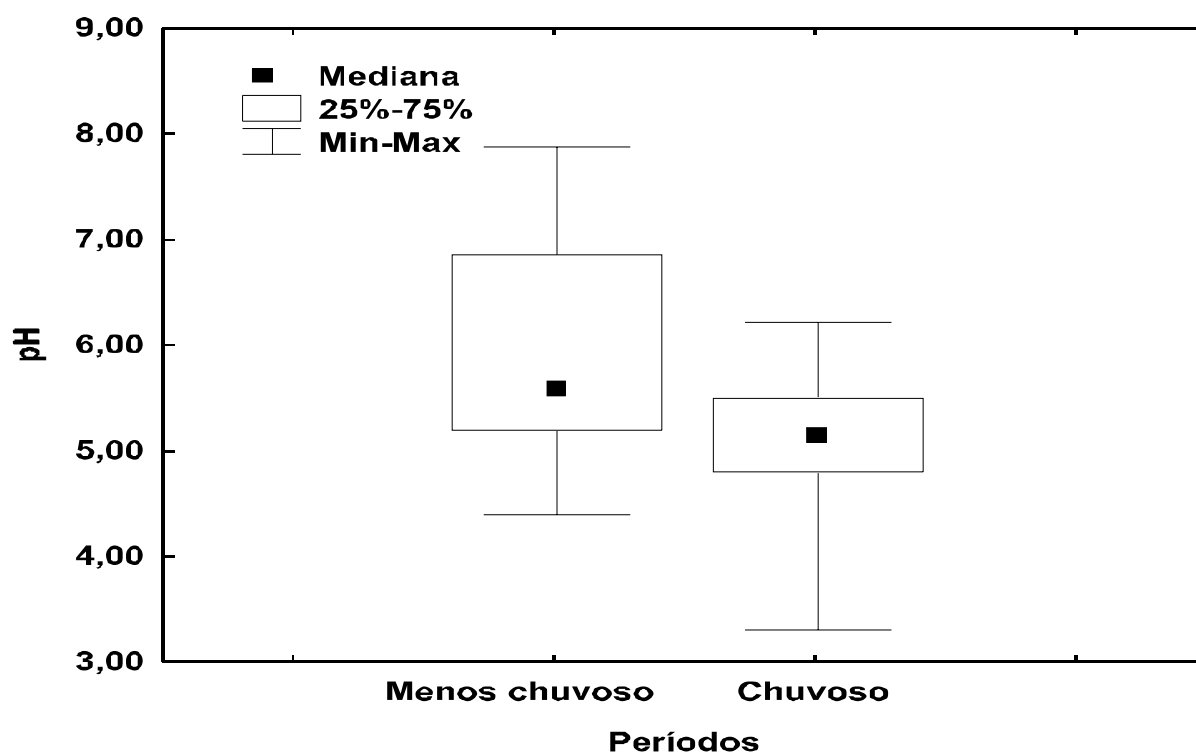


Figura 22 - Variação sazonal do pH nas águas do rio Arari no ano de 2009.

### 5.2.2 Temperatura (°C)

A figura 23 apresenta a variação da temperatura no rio Arari nos dois períodos estudados, os valores das medianas nas estações Cachoeira (CS) e Murutucú (MS) no período menos chuvoso são maiores, por outro lado na estação Santana o maior valor de mediana foi registrado no período chuvoso.

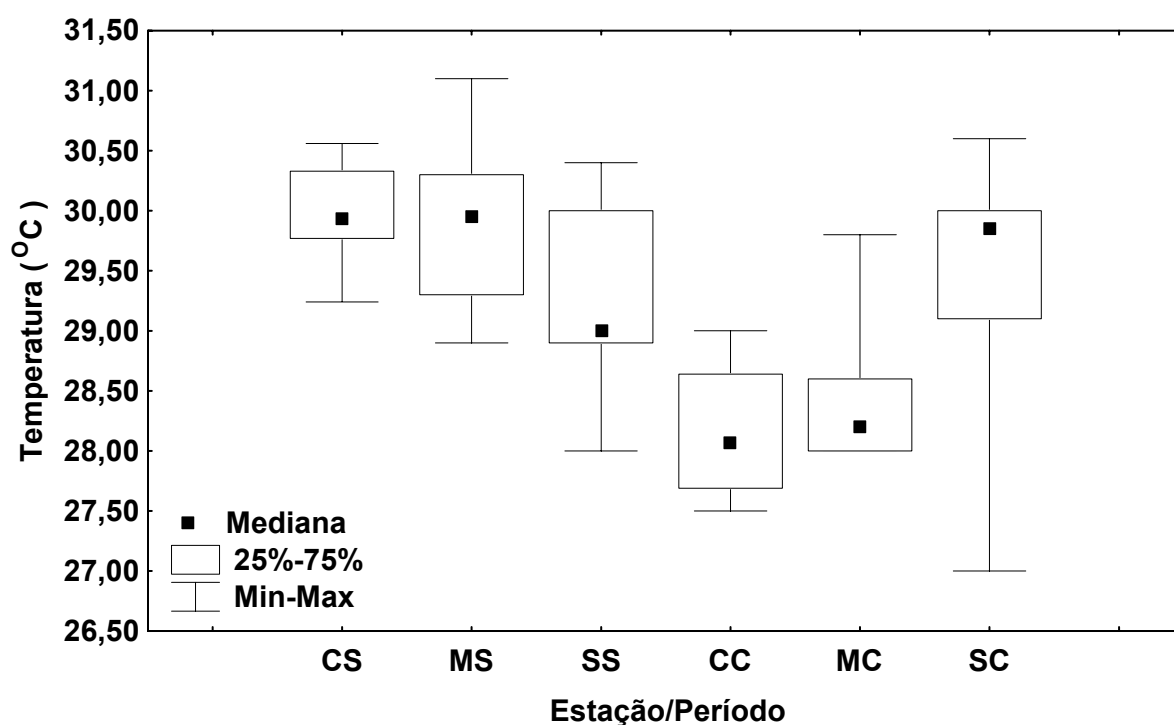


Figura 23 - Distribuição espacial da temperatura (°C) nas águas do rio Arari no ano de 2009.

A variação sazonal da temperatura nas águas do rio Arari apresentou um padrão, com temperaturas mais elevadas no período menos chuvoso da região (Figura 24), a mediana foi de 28,59°C no período chuvoso e de 29,89°C no período menos chuvoso. Durante o período chuvoso observa-se um comportamento simétrico, com mínimo de (27,01°C) e Máximo de (30,60°C). Por outro lado no período menos chuvoso ocorre uma leve assimetria com a mediana deslocada no sentido do quartil superior, o que mostra a maior influência das temperaturas mais elevadas.

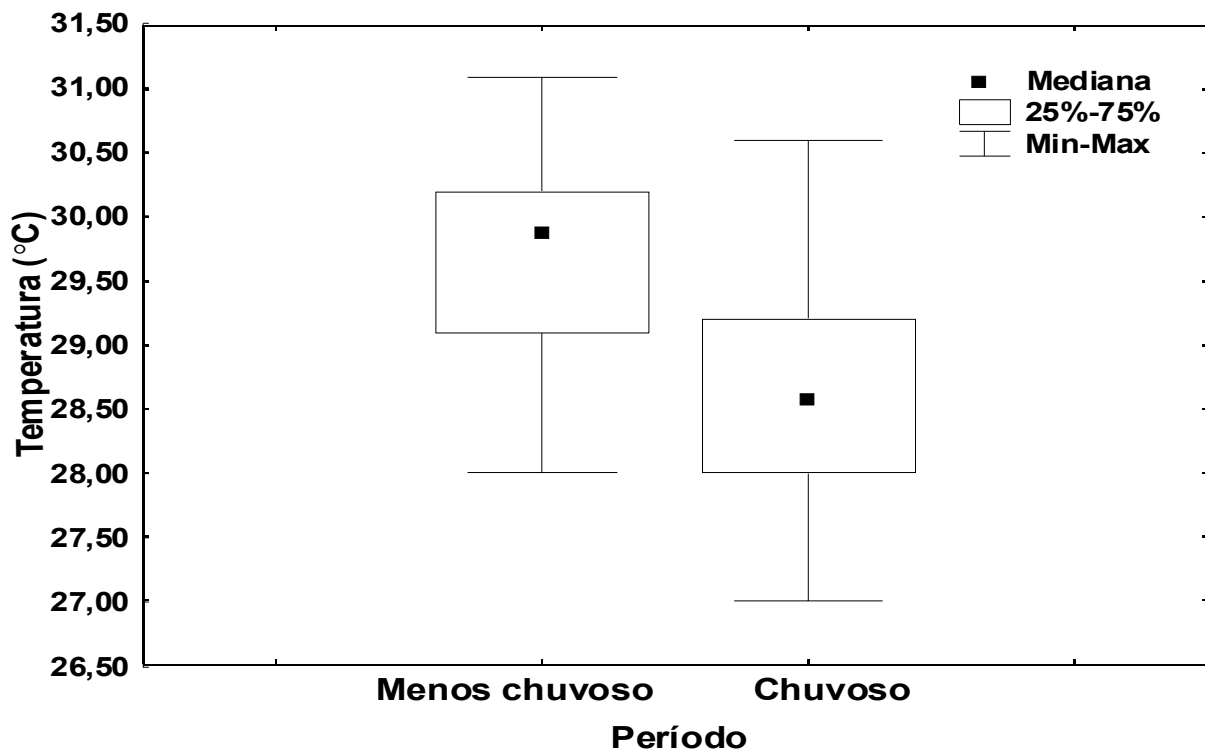


Figura 24 - Variação sazonal da Temperatura (°C) nas águas do rio Arari no ano de 2009.

### 5.2.3 Oxigênio Dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>)

A figura 25 apresenta os valores mínimos e máximos de OD na estação Cachoeira de 3,07 mg.L<sup>-1</sup>, e 4,27 mg.L<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 3,96 mg.L<sup>-1</sup> e 5,09 mg.L<sup>-1</sup> no período menos chuvoso (Tabela 3); para a estação Murutucú foram de 2,99 mg.L<sup>-1</sup> e 4,64 mg.L<sup>-1</sup> no período chuvoso e 3,28 mg.L<sup>-1</sup> e 5,32 mg.L<sup>-1</sup> no período menos chuvoso (Tabela 4) e finalmente na estação Santana foram os valores mínimo de 2,59 mg.L<sup>-1</sup> e máximo de 5,88 mg.L<sup>-1</sup> registrados no período menos chuvoso (Tabela 5).

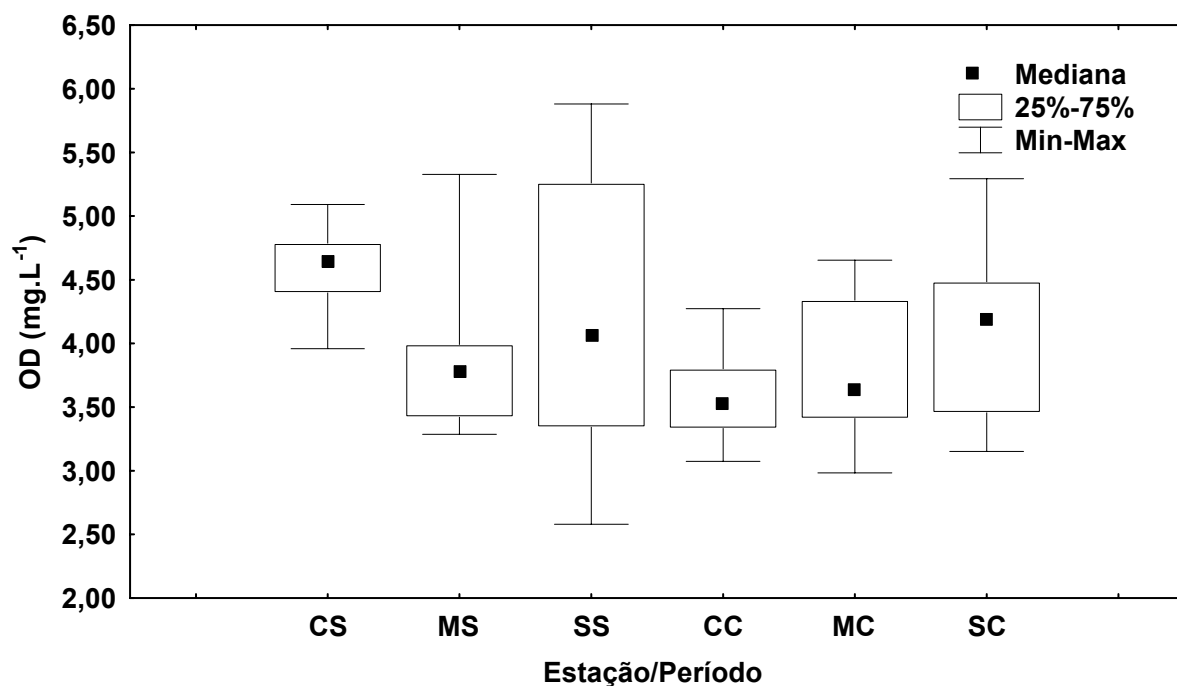


Figura 25 - Distribuição espacial do OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas do rio Arari no ano de 2009.

Os valores de Oxigênio Dissolvido (OD) nas águas do rio Arari não apresentam um padrão de distribuição bem definido, contudo foi possível observar uma discreta modificação sazonal, o valor da mediana no período chuvoso foi de ( $3,64 \text{ mg.L}^{-1}$ ) com elevação da concentração para ( $4,25 \text{ mg.L}^{-1}$ ) no período menos chuvoso (Figura 26).

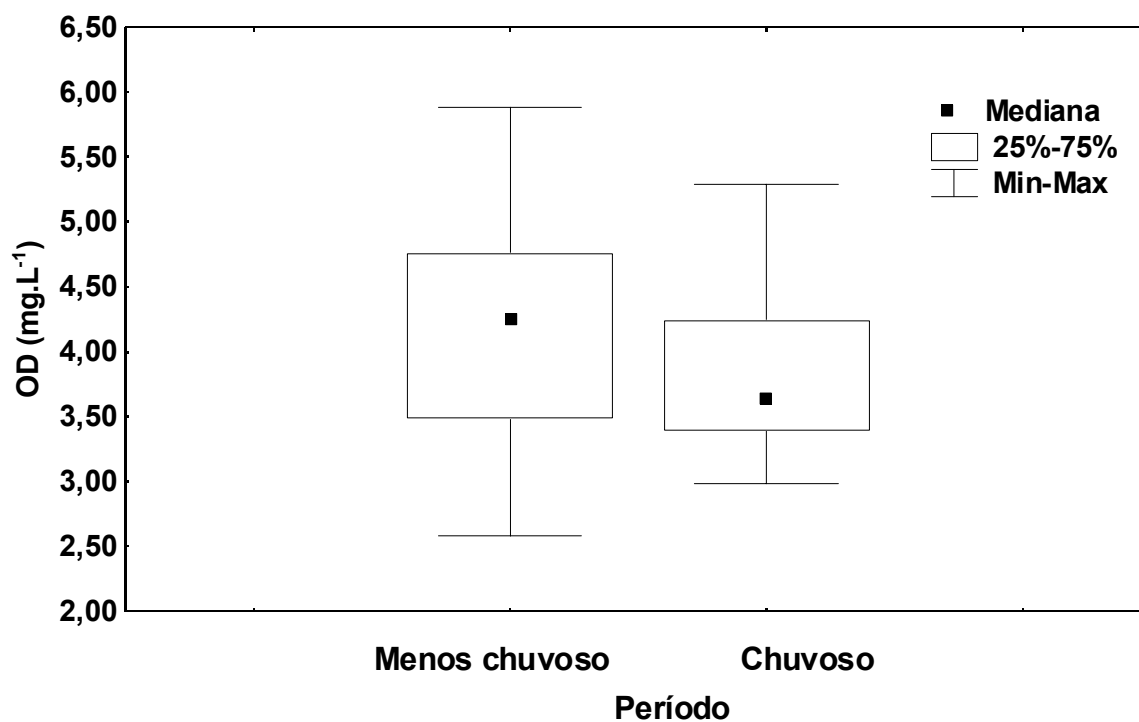


Figura 26 - Variação sazonal do OD ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas águas do rio Arari no ano de 2009.

A distribuição do OD no período chuvoso mostra a distribuição assimétrica, com a mediana próxima ao quartil inferior, por outro lado durante o período menos chuvoso a distância interquartílica foi maior e a mediana apresentou uma leve aproximação ao quartil superior, o que indica os mínimos e máximos, respectivamente, influenciando os valores das medianas.

### 5.2.4 Condutividade elétrica

A distribuição espacial desse parâmetro (Figura 27) não apresenta um padrão, notou-se que nas três estações durante o período chuvoso os valores de mediana foram muito próximos ao quartil inferior. A estação Cachoeira mostrou a maior amplitude interquartílica, em Murutucú destacou-se um caudal inferior longo, enquanto que em Santana ocorreu um caudal superior longo, o que pode ocorrer devido à maior influência de águas menos condutivas do rio Arari na estação Murutucú e águas mais condutivas, vindas da Baía de Marajó, na estação Santana.

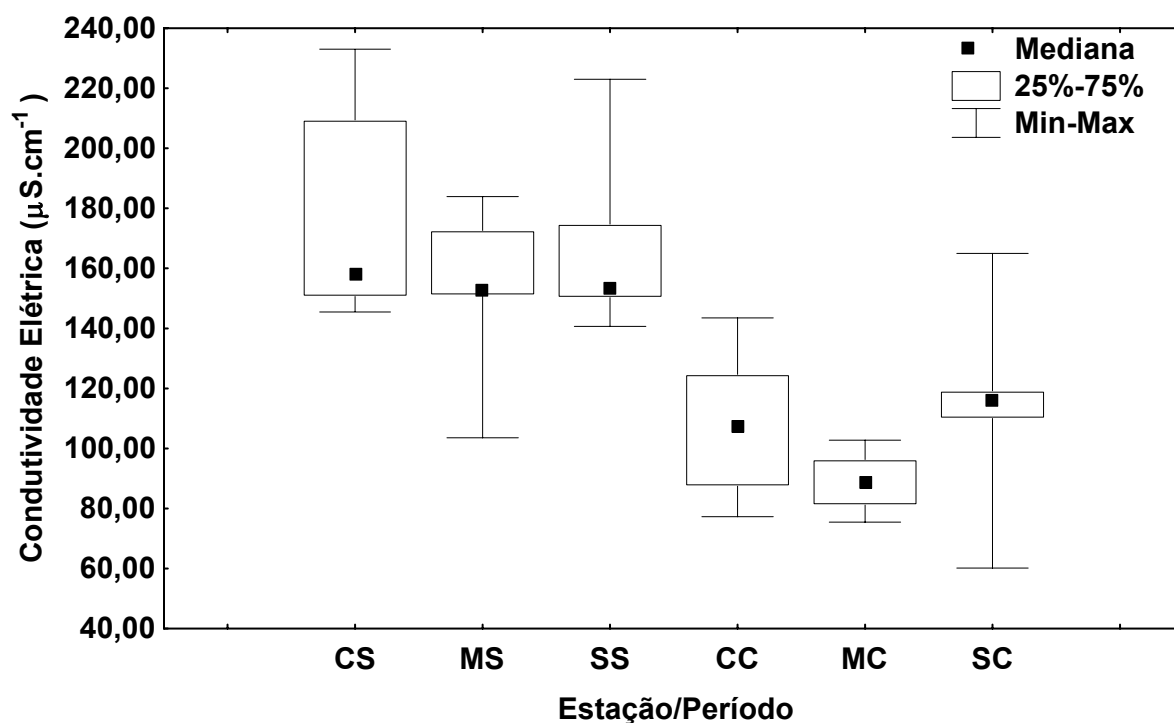


Figura 27 - Distribuição espacial da Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) nas águas do rio Arari no ano de 2009.

No período Chuvoso (CC, MC e SC) ocorre uma distribuição simétrica (Figura 27), o que indica a distribuição mais homogênea da condutividade durante este período. Os valores mínimo e máximo neste período  $60,22 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e  $165,00 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , respectivamente, foram registrados na estação Santana no período chuvoso (Tabela 5), contudo apesar dos caudais superior e inferior longos, a mediana ficou muito próxima dos quartis inferior e superior, o que ressalta a distribuição homogênea da condutividade durante o período chuvoso.

Os valores de condutividade elétrica foram característicos de água doce durante todas as campanhas e apresentaram um padrão de variação sazonal, com menores valores no período chuvoso, mediana de  $101,30 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e maiores valores no período menos chuvoso mediana de  $153,40 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Figura 28).

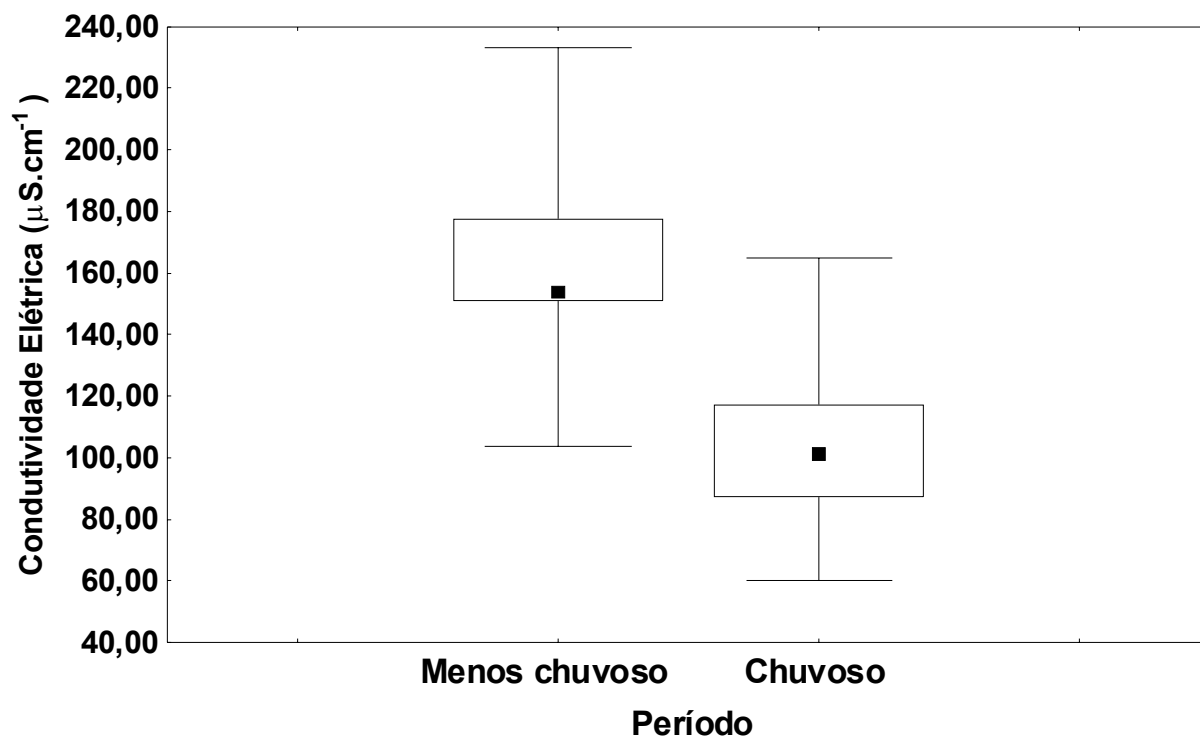


Figura 28 - Variação sazonal da CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) nas águas do rio Arari no ano de 2009.

No período chuvoso observou-se a distribuição simétrica da condutividade elétrica e um caudal superior longo, por outro lado no período menos chuvoso ocorreu uma distribuição assimétrica com a mediana muito próxima do quartil inferior (Figura 28), o que indica a maior influência das águas doces do rio Arari, mesmo no período de estiagem.



### 5.2.5 Material Particulado em Suspensão (MPS)

Observou-se uma clara variação espacial para este parâmetro, pois, durante o período menos chuvoso ocorreu um gradiente decrescente da estação Cachoeira para Santana (Figura 29), enquanto que no período chuvoso os valores de mediana nas três estações foram próximos (Tabela 3, 4 e 5). Os valores mínimos e máximos registrados foram de 9,0 mg.L<sup>-1</sup> e 343,0 mg.L<sup>-1</sup> na estação Cachoeira, 15,0 mg.L<sup>-1</sup> e 213,0 mg.L<sup>-1</sup> na estação Murutucú e de 11,0 mg.L<sup>-1</sup> e 77,0 mg.L<sup>-1</sup>, na estação Santana.

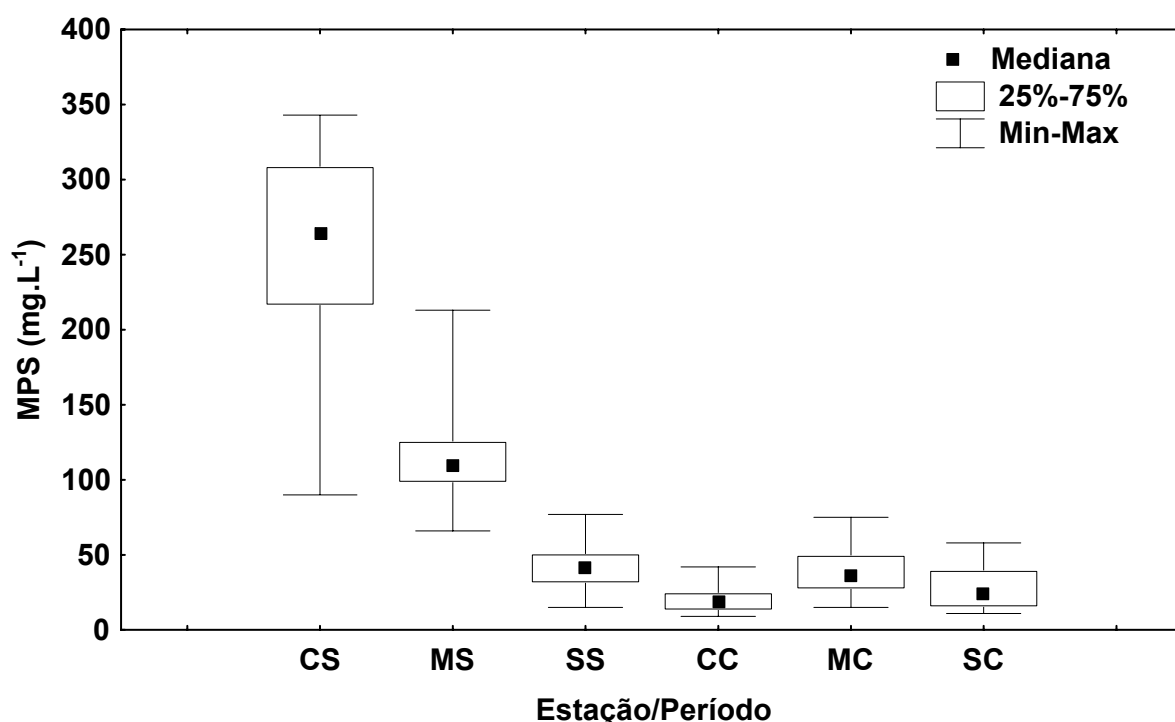


Figura 29 - Distribuição espacial e temporal dos valores médios de Material Particulado Oxigênio Dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>) no rio Arari, nas três estações de coleta (Cachoeira, Murutucú e Santana).

O Material Particulado em Suspensão (MPS) nas águas do rio Arari apresentou um padrão de variação controlado pela sazonalidade climática, com valor de mediana de 24,5 mg.L<sup>-1</sup> no período chuvoso e de 108,5 mg.L<sup>-1</sup> no período menos chuvoso (Figura 30). Durante o período chuvoso o gráfico apresenta uma maior amplitude interquartílica, com a mediana próxima ao quartil inferior, em contraste com uma distribuição mais estreita no período menos chuvoso. Esse comportamento sugere uma distribuição homogênea durante o período chuvoso, enquanto no período menos chuvoso pode indicar uma compartimentação das águas do rio Arari, de acordo com as diferentes estações de amostragem.

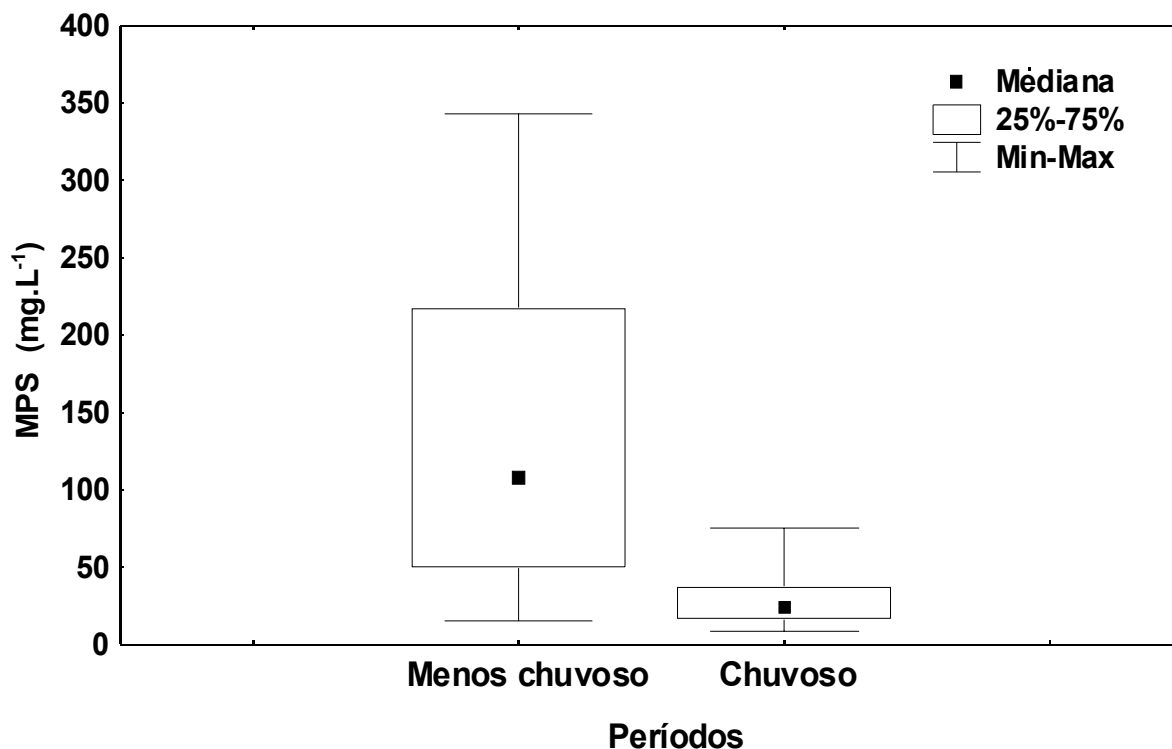


Figura 30 - Variação sazonal do MPS (mg.L<sup>-1</sup>) nas águas do rio Arari no ano de 2009.

#### 5.2.6 Sólidos Totais (ST), ST Orgânicos (ST Org) e ST Minerais (ST Min)

Nas campanhas do período menos chuvoso foi observado um padrão de distribuição semelhante ao MPS, com diminuição dos valores no sentido Cachoeira-Santana (Figura 31). O padrão de distribuição espacial e sazonal dos ST foi semelhante ao padrão observado para MPS, o que demonstra a forte correlação existente entre estes parâmetros. Os valores mínimos foram registrados no período chuvoso e os máximos no período menos chuvoso, na estação Cachoeira os valores mínimos e máximos registrados foram de 33,58 mg.L<sup>-1</sup> e 635,70 mg.L<sup>-1</sup>, na estação Murutucú os valores foram de 86,20 mg.L<sup>-1</sup> e 607,00 mg.L<sup>-1</sup> e na estação Santana os valores foram de 44,00 mg.L<sup>-1</sup> e 442,20 mg.L<sup>-1</sup>.

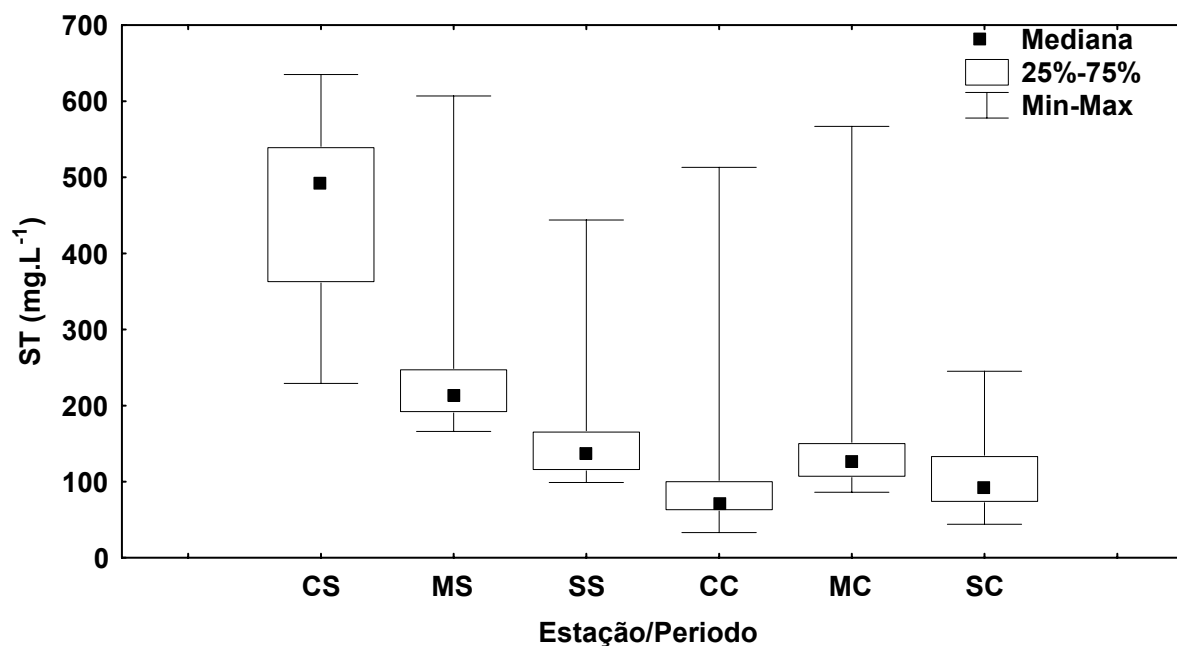


Figura 31 - Variação espacial de Sólidos Totais nas águas do rio Arari.

Os valores de Sólidos Totais (ST) variaram sazonalmente, com as maiores concentrações no período menos chuvoso (Figura 32). A mediana no período chuvoso foi de 101,30 mg.L<sup>-1</sup>, apresentou um comportamento simétrico e um caudal superior longo, por outro lado no período menos chuvoso a mediana foi de 221,00 mg.L<sup>-1</sup>, e apresentou uma maior amplitude interquartílica, com a mediana próxima ao quartil inferior, em contraste com a distribuição mais estreita observada no período chuvoso.

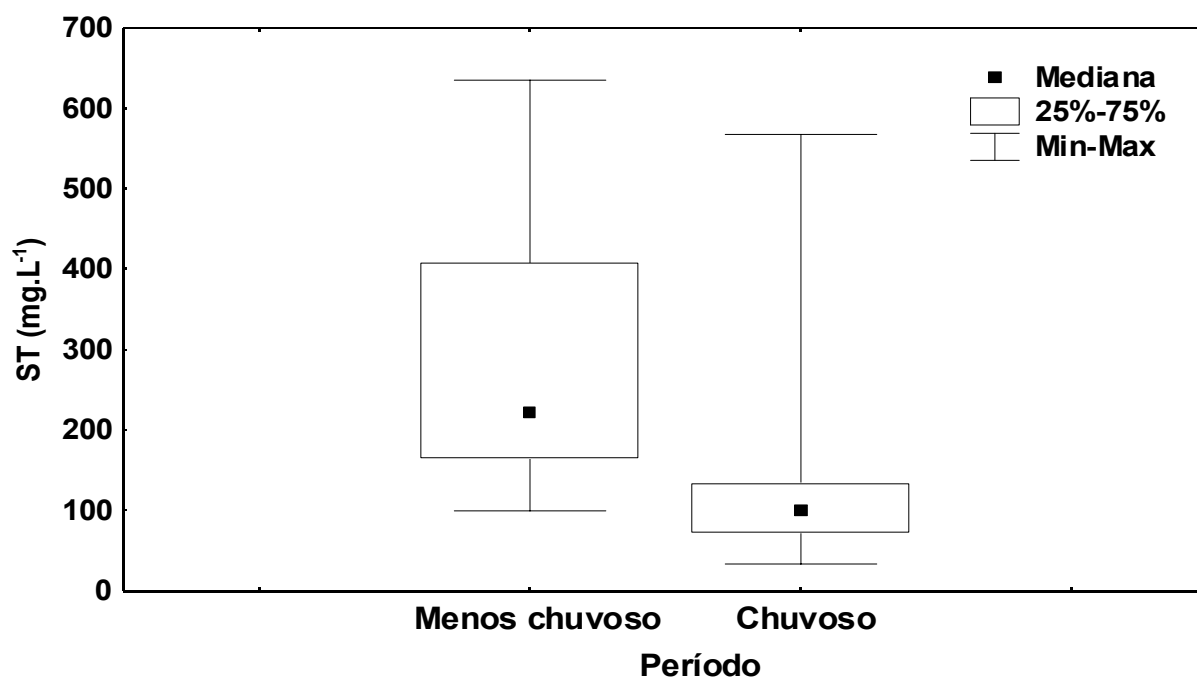


Figura 32 - Variação sazonal de Sólidos Totais (ST) nas águas do rio Arari.

### 5.2.7 Sólidos Orgânicos e Minerais

Para a fração orgânica na estação Cachoeira foram registrados os valores mínimo de  $11,00 \text{ mg.L}^{-1}$  e máximo de  $471,40 \text{ mg.L}^{-1}$ , para a fração mineral esses valores foram de  $7,47 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $86,84 \text{ mg.L}^{-1}$  (Tabela 3). Na estação Murutucú ocorreu o mesmo padrão de variação sazonal descrito para Estação Cachoeira (Figura 33), e os valores registrados são intermediários entre Cachoeira, localizada a montante e Santana onde fica a foz do rio Arari.

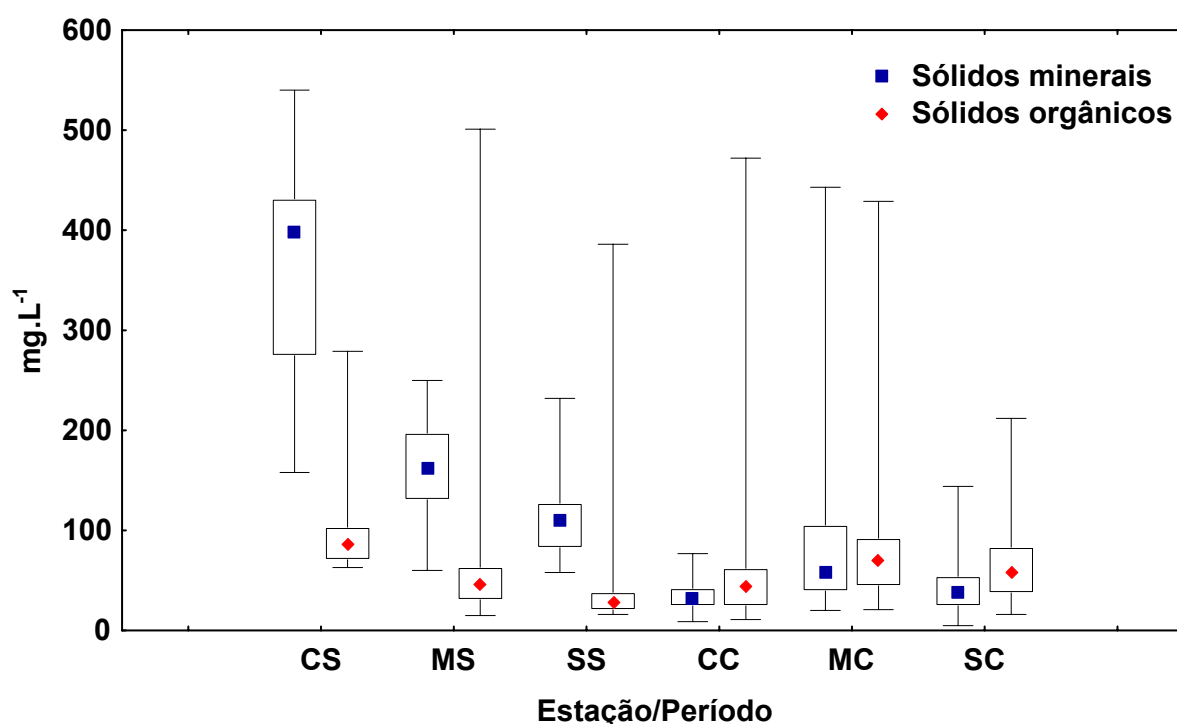


Figura 33 - Variação espacial de ST orgânicos e ST minerais nas águas do rio Arari.

As frações orgânicas e minerais dos Sólidos Totais (ST) apresentaram um nítido padrão de variação sazonal (Figura 34), a fração orgânica foi predominante durante o período chuvoso, o valor da mediana de ST neste período foi de  $(101,50) \text{ mg.L}^{-1}$  sendo 61% deste valor representado pela fração orgânica e 39% pela fração mineral. Por outro lado, no período menos chuvoso o comportamento foi inverso, pois a fração mineral foi predominante, a mediana de ST registrado neste período foi de  $221,00 \text{ mg.L}^{-1}$  sendo 77% deste valor representado pela fração mineral e 23% pela fração orgânica.

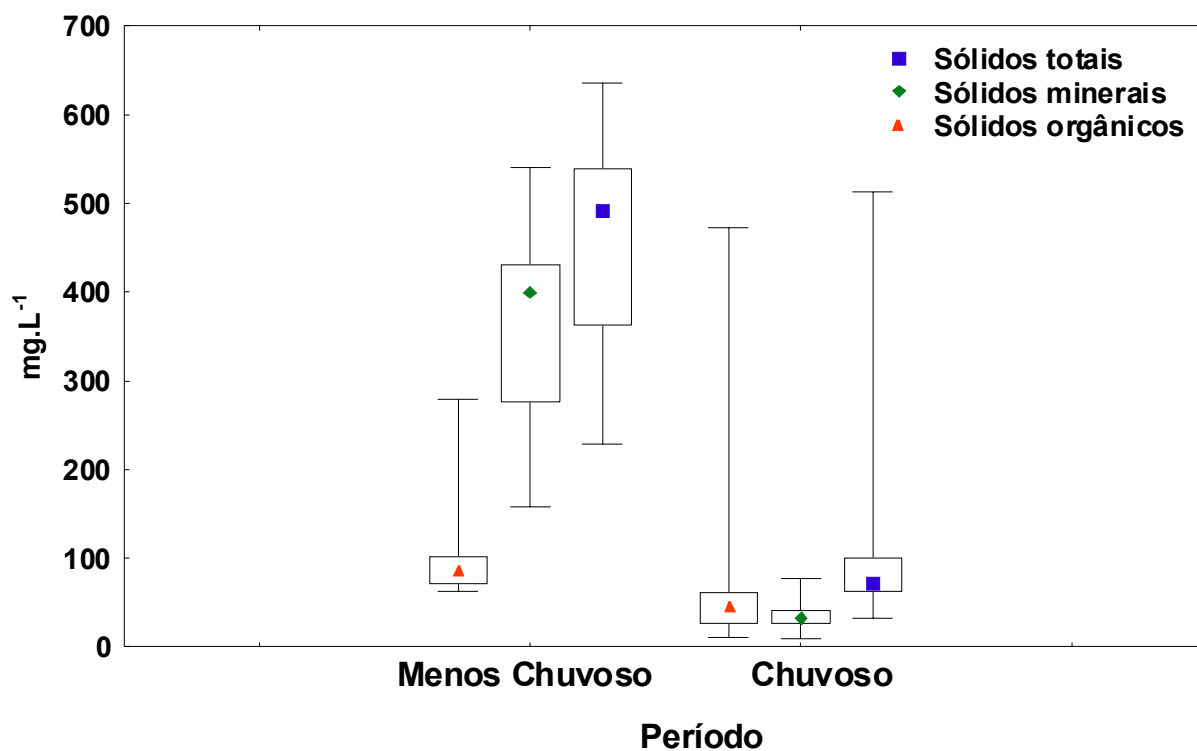


Figura 34 - Variação sazonal de Sólidos Totais (ST), ST orgânicos e ST minerais nas águas do rio Arari.

### 5.2.8 Nitrato, Nitrito e N-amoniaco

Durante o período menos chuvoso, o nitrato e o N-amoniaco apresentaram gradiente decrescente a partir da estação cachoeira (Figura 35), onde foram registradas as maiores concentrações com mediana de ( $69,02 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e ( $13,96 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) respectivamente, intermediárias em Murutucú de ( $24,77 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e ( $10,85 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e a menor mediana em Santana ( $5,73 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e ( $10,31 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ), o que indica que a fonte deste nutriente está localizada a montante do rio Arari e que ao longo do seu percurso esses nutrientes podem estar sendo assimilados por organismos fitoplanctônicos, ou passando por processos de desnitrificação no ciclo do nitrogênio.

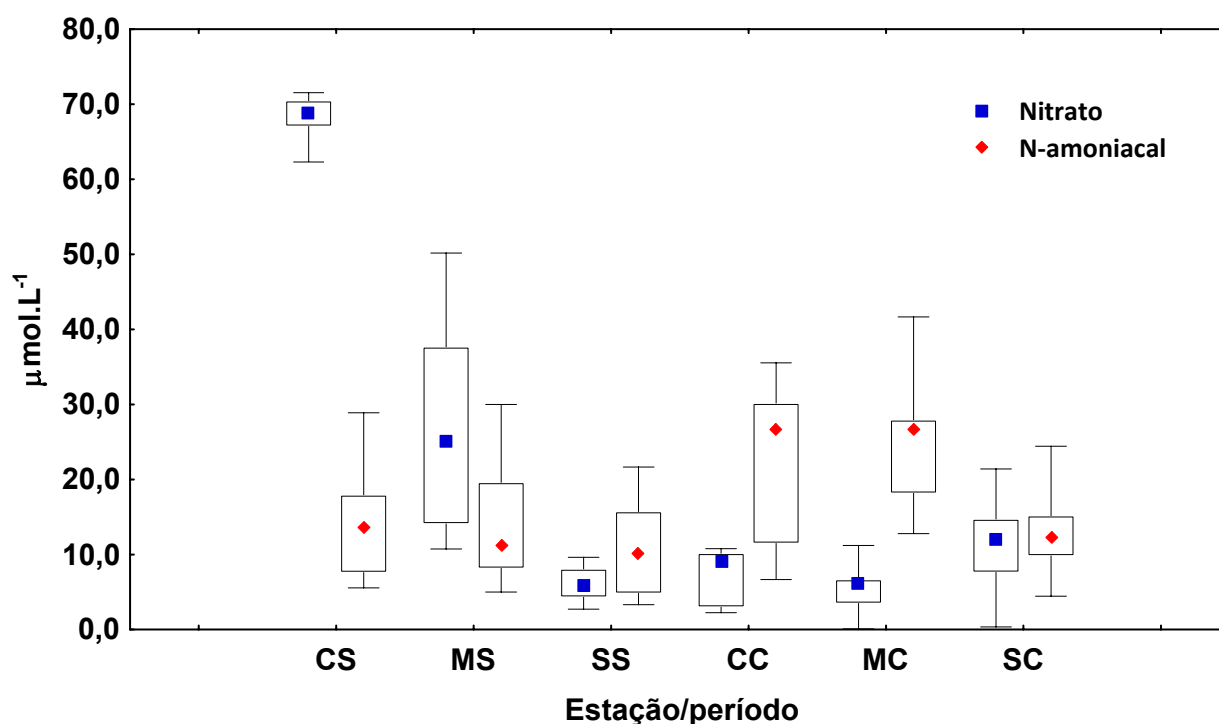


Figura 35 - Variação espacial de Nitrato e N-amoniacal nas águas do rio Arari no ano de 2009.

A distribuição de N-amoniacal e nitrato é levemente assimétrica (Figuras 35 e 36), caudas superiores bastante longas, indicando valores máximos destacados, para essas duas formas nitrogenadas, a amplitude interquartilica indica haver uma variação na distribuição das concentrações desses nutrientes em ambos os períodos. O nitrato apresentou no período menos chuvoso um aumento na concentração, enquanto que o nitrato e amônia apresentaram decréscimo, isto pode estar relacionado ao processo de nitrificação, visto que, o valor de mediana nas duas formas mais reduzidas, N-amoniacal e nitrato, são deslocadas no sentido oposto ao nitrato, forma mais oxidada.

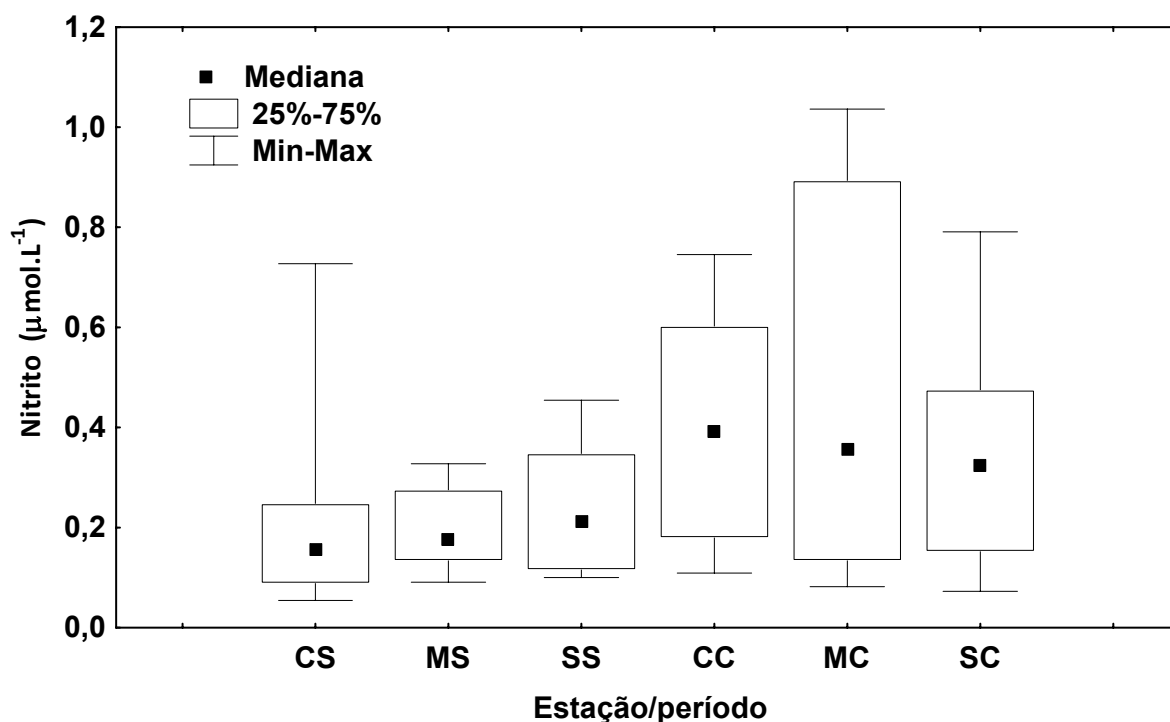


Figura 36 - Variação espacial do Nitrito nas águas do rio Arari no ano de 2009.

Em relação à variação sazonal do nitrato, e do N-amoniacoal (Figura 37), os valores de medianas revelam o comportamento sazonal desses parâmetros, o nitrato com maior valor de mediana  $33,83 \mu\text{mol.L}^{-1}$  no período menos chuvoso e de  $7,56 \mu\text{mol.L}^{-1}$  no período chuvoso. Por outro lado o N-amoniacoal com mediana de  $18,10 \mu\text{mol.L}^{-1}$  apresentou uma distribuição sazonal inversa ao nitrato, ou seja, maiores valores no período chuvoso.

No período chuvoso o nitrato mostra uma distância interquartílica pequena (Figura 37), o que revela a estabilidade dessa forma nitrogenada neste período e sua distribuição mais homogênea ao longo do rio Arari. Por outro lado no período menos chuvoso o nitrato apresentou uma ampla distância interquartílica, com assimetria direcionada ao quartil inferior, esse comportamento indica que os valores de nitrato neste período podem estar sob influência de mínimos e máximos registrados nas diferentes estações de amostragem.

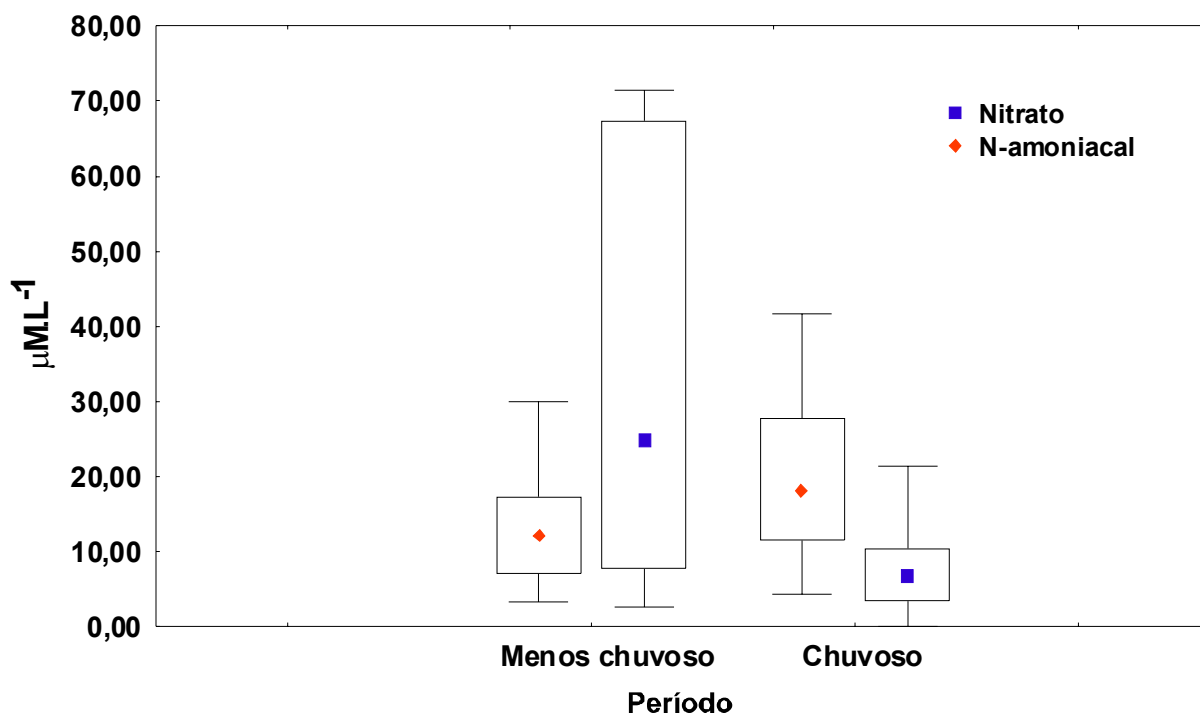


Figura 37- Variação sazonal de Nitrato e N-amoniacal nas águas do rio Arari no ano de 2009.

### 5.2.9 Fosfato (PID)

Em relação à variação espacial do fosfato (PID) (Figura 38) os maiores valores foram detectados em Santana, foz do rio Arari (Tabela 5), os menores em Cachoeira (Tabela 3) e os valores intermediários em Murutucú (Tabela 4). Esse padrão foi observado nos dois períodos estudados e mostra uma correlação inversa com o MPS e ST, ou seja, as estações de amostragem onde ocorreram concentrações baixas de MPS são as que apresentam as maiores concentrações de PID, essa relação pode ocorrer em virtude da capacidade das argilas, presentes no MPS, em adsorver o PID, retirando da coluna d'água por processos de sedimentação.



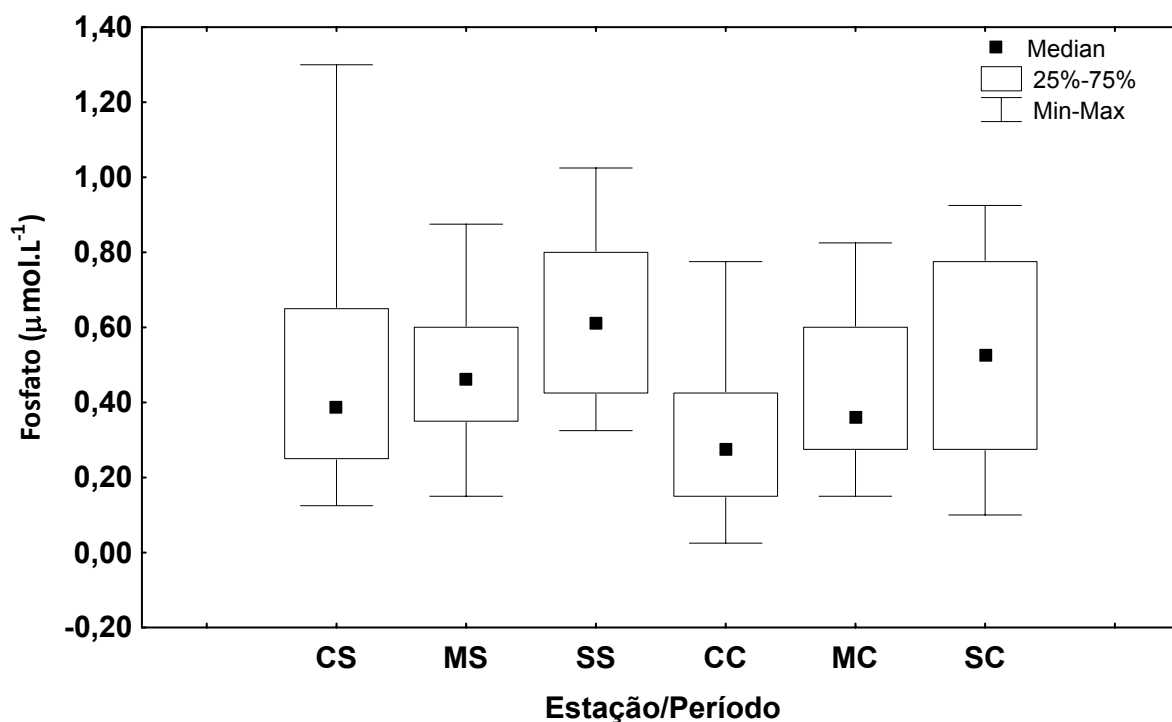


Figura 38 – variação espacial do fosfato ao longo do rio Arari no ano de 2009.

Em relação a variação sazonal do Fosfato (PID), os maiores valores da mediana ( $0,46 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) foram encontrados no período menos chuvoso. A distribuição do PID revelou uma pequena variação sazonal (Figura 39), as amplitudes interquartílicas foram semelhantes em ambos os períodos, contudo os maiores valores ocorreram no período menos chuvoso, com mediana de ( $0,46 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ), valor mínimo de  $0,12 \mu\text{mol.L}^{-1}$  e máximo de  $1,30 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , enquanto que no período chuvoso a mediana foi de  $0,32 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , mínimo de  $0,02 \mu\text{mol.L}^{-1}$  e máximo de  $0,92 \mu\text{mol.L}^{-1}$ .

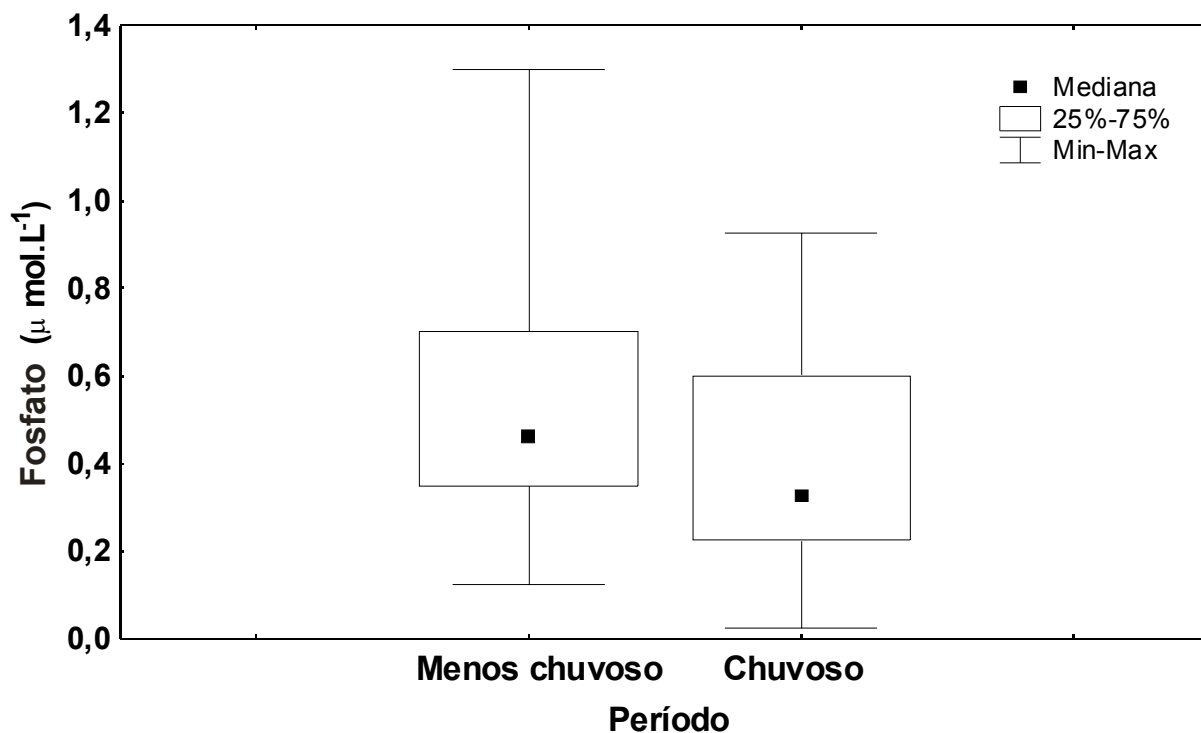


Figura 39 – variação sazonal do fosfato nas águas do rio Arari no ano de 2009.

### 5.2.10 Silicato

Na figura 40 observa-se a variação espacial do silicato no rio Arari, no período chuvoso as medianas foram próximas em Cachoeira e Murutucú ( $18,14 \mu \text{ mol.L}^{-1}$ ) e ( $19,75 \mu \text{ mol.L}^{-1}$ ), respectivamente, com distância interquartílica semelhante e assimetria orientada em direção ao quartil inferior, em Santana a mediana foi maior ( $52,21 \mu \text{ mol.L}^{-1}$ ) e se mostrou simétrica, com maior amplitude interquartílica e caudal superior longo.

No período menos chuvoso, o silicato mostrou uma distribuição crescente com mediana de ( $54,64 \mu \text{ mol.L}^{-1}$ ) em Cachoeira, ( $94,39 \mu \text{ mol.L}^{-1}$ ) em Murutucú e ( $116,70 \mu \text{ mol.L}^{-1}$ ) em Santana (Figura 40). Este foi o mesmo padrão apresentado pelo PID o que demonstra a relação existente entre estes dois parâmetros em função de sua natureza terrígena, e que os processos de resuspensão favorecem o aporte destes nutrientes ao longo do rio Arari.

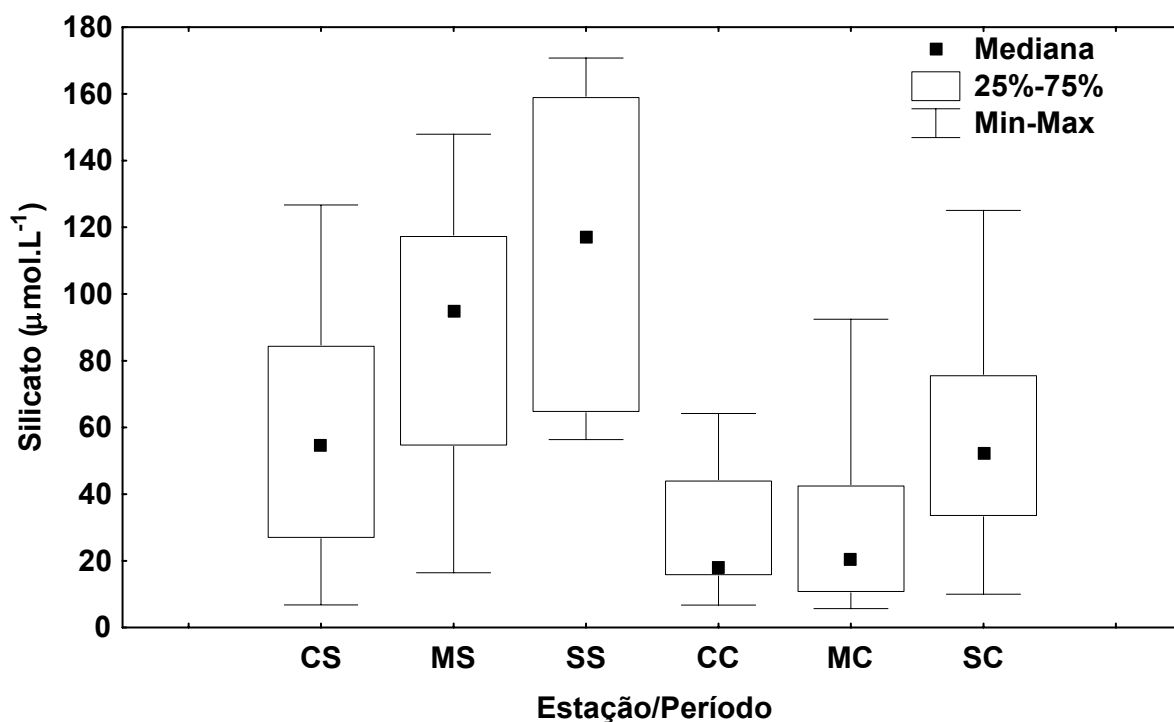


Figura 40- -Variação espacial do silicato nas águas do rio Arari no ano de 2009.

As maiores concentrações de silicato foram registradas no período menos chuvoso, com mediana de  $75,88 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , enquanto no período chuvoso a mediana foi de  $17,40 \mu\text{mol.L}^{-1}$ . O comportamento sazonal do silicato foi semelhante ao do fosfato, sólidos totais e sólidos suspensos. Os valores mínimos e máximos registrados no período menos chuvoso foram de  $6,80 \mu\text{mol.L}^{-1}$  e  $170,75 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , e no período chuvoso foram de  $5,70$  e  $125,00 \mu\text{mol.L}^{-1}$ .

A variação sazonal do silicato é apresentada na figura 41, no período chuvoso a mediana mostra um comportamento simétrico e um caudal superior longo, isso sugere uma distribuição homogênea do silicato, enquanto que no período menos chuvoso a mediana apresenta uma distribuição assimétrica, próxima ao quartil inferior, com caudas superior e inferior longas, a amplitude interquartilica indica haver uma variação na distribuição das concentrações desse nutriente em ambos os períodos.

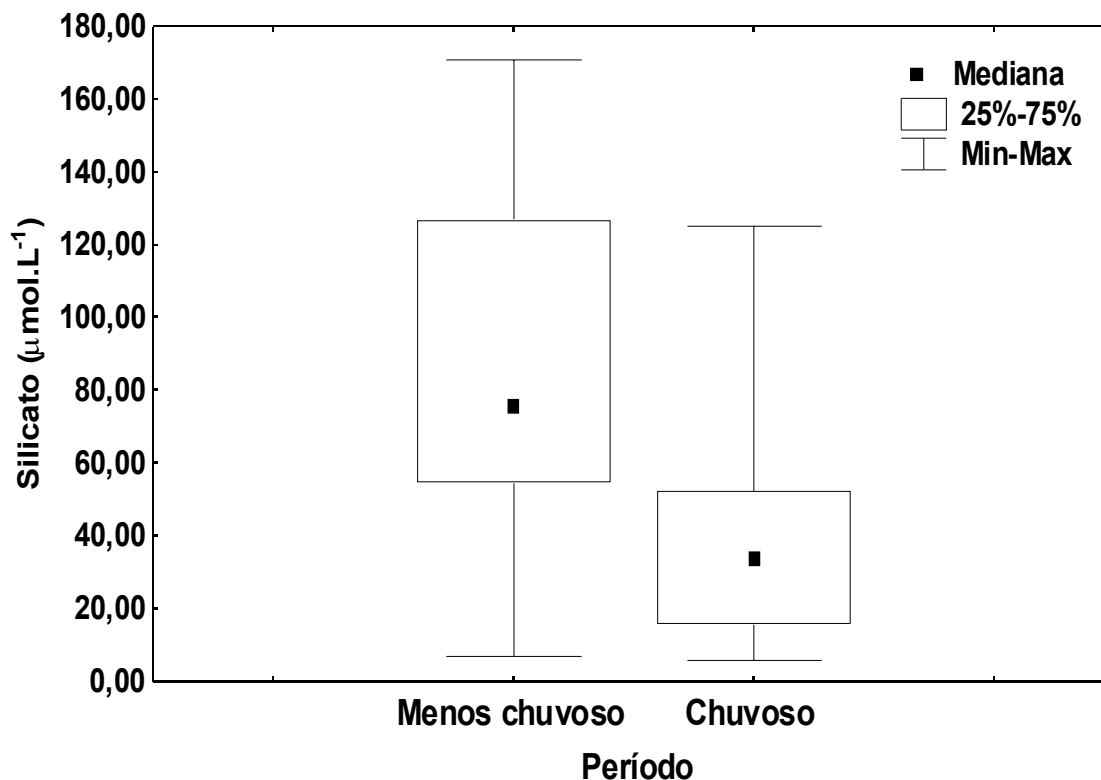


Figura 41 – Variação sazonal do silicato (Si) nas águas do rio Arari no ano de 2009.

### 5.2.11 Clorofila *a*

A distribuição espacial da clorofila *a* ao longo do rio Arari mostrou as maiores amplitudes interquartílicas durante o período chuvoso, onde todas as estações apresentaram cauda superior e inferior longas (Figura 42), o que representa a influência dos valores mínimos e máximos, principalmente na estação Cachoeira. Por outro lado no período menos chuvoso a distancia interquartílica foi mais estreita e simétrica em todas as estações, o valor máximo foi detectado na estação Santana.

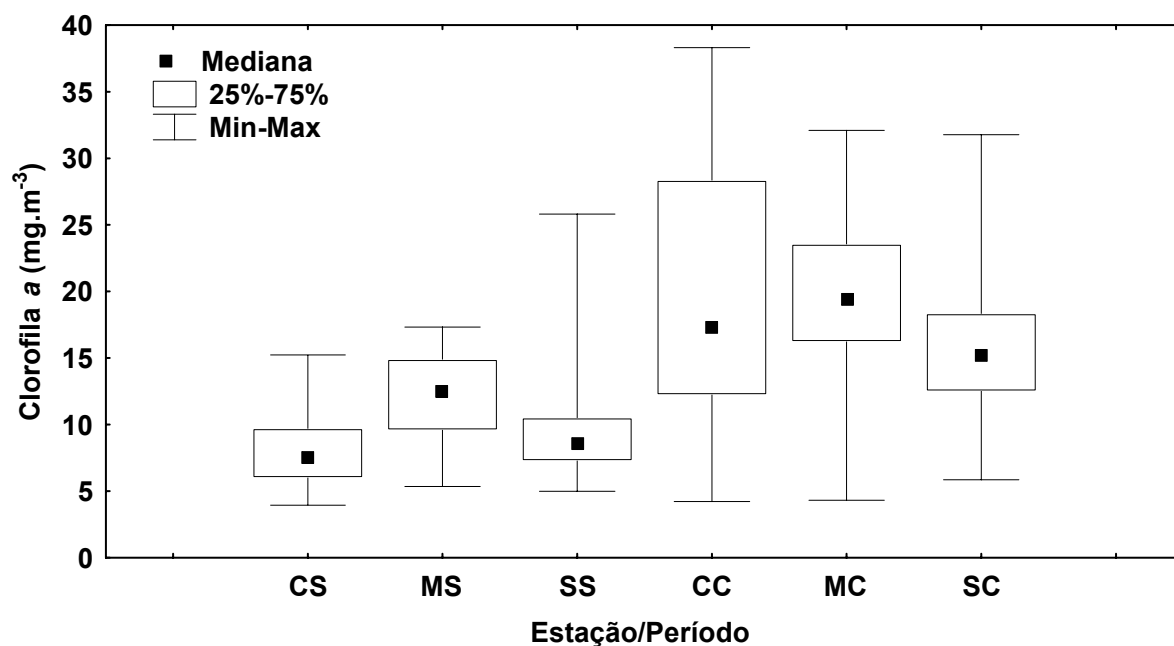


Figura 42 – Distribuição espacial da clorofila *a* nas águas do rio Arari, nas três estações de coleta (Cachoeira, Murutucú e Santana) durante o ano de 2009.

A dispersão dos valores de Clorofila *a* apresentou-se simétrica no período chuvoso e assimétrica no período menos chuvoso, com a cauda superior bastante longa em ambos os períodos, as maiores concentrações foram registradas no período chuvoso, mediana de (17,40) e diminuíram (8,91) no período menos chuvoso, que apresentou a menor amplitude interquartílica, o que mostra menores variações da Clorofila *a* neste período (Figura 43). Durante o período chuvoso os valores mínimo e máximo foram de (4,22 mg.m<sup>-3</sup> e 38,31 mg.m<sup>-3</sup>). No período menos chuvoso os valores mínimos e máximos foram de 3,90 mg.m<sup>-3</sup> e 25,81 mg.m<sup>-3</sup>.

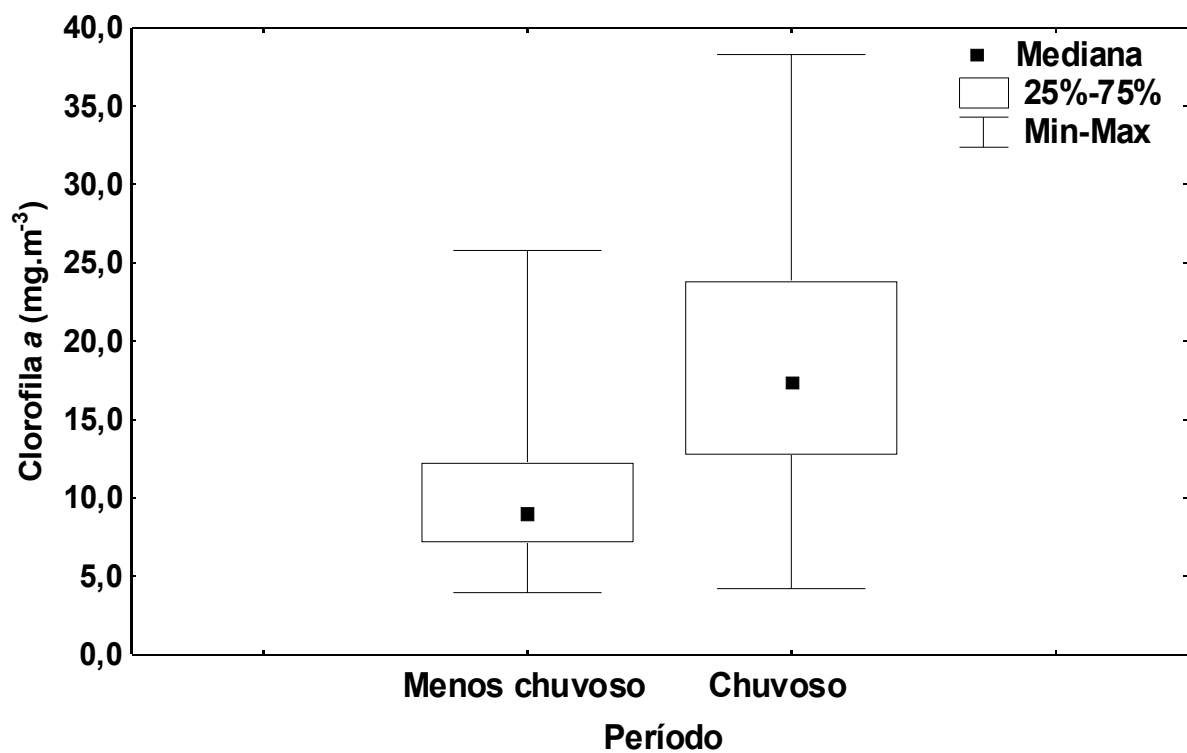


Figura 43– Distribuição sazonal da clorofila *a* nas águas do rio Arari no ano de 2009.

## 5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

### 5.3.1 Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento foi feita com os resultados médios obtidos em cada estação de coleta nas quatro campanhas, para observar grupos com a mesma semelhança. Essa análise permitiu verificar a formação de dois grandes grupos, o primeiro com os dados das estações de Cachoeira e Murutucú (período menos chuvoso), e o segundo que engloba todas as informações do período chuvoso nas estações Cachoeira, Murutucú e Santana, mais os resultados do período menos chuvoso da estação Santana (Figura 44).

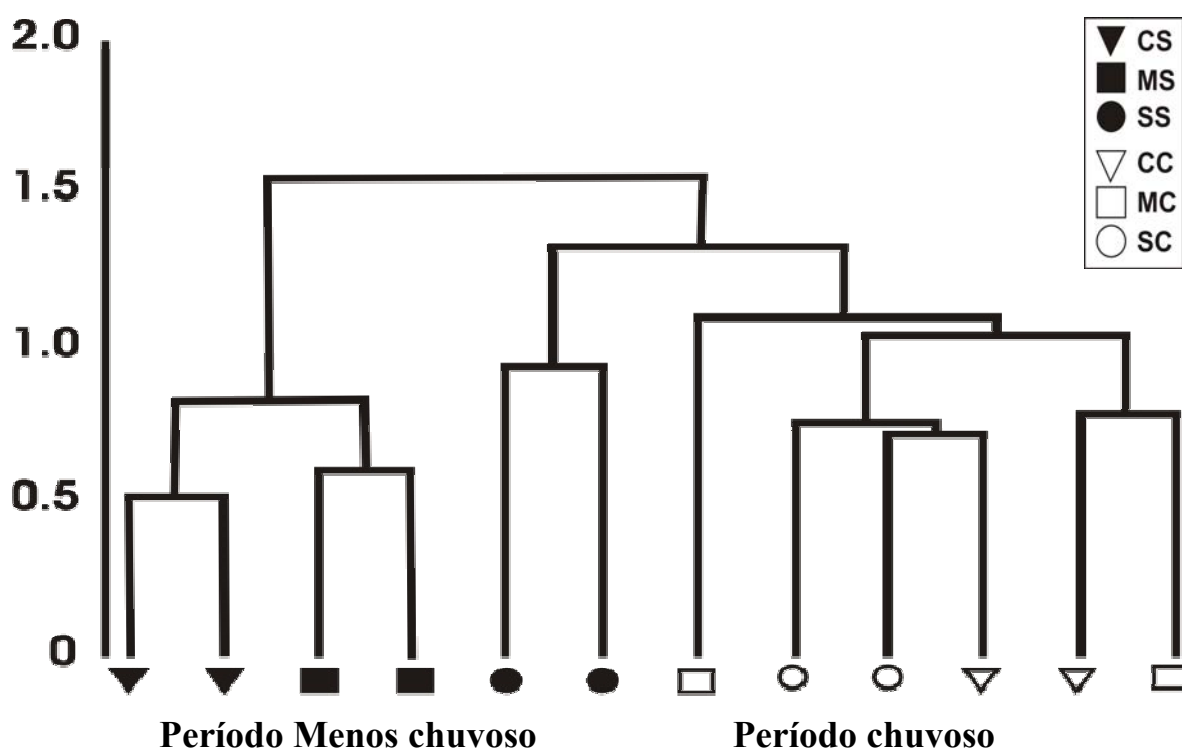


Figura 44: Análise de agrupamento (Cluster) com a formação dos grupos por estações e períodos. Símbolos sólidos (período menos chuvoso), símbolos abertos (período chuvoso) triângulo (Cachoeira do Arari), quadrado (Murutucú) e círculo (Santana do Arari).

Os grupos formados salientam a variação sazonal existente nas águas do rio Arari, no período menos chuvoso os dados da estação Cachoeira (setembro e novembro) ficaram agrupados o que demonstra a semelhança entre os resultados obtidos, este mesmo comportamento foi observado para as estações Murutucú e Santana. Por outro lado, no período chuvoso não foi observado esse mesmo padrão de comportamento entre as estações, os grupos formados foram entre estações diferentes.

### 5.3.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

Com base nos resultados da análise de agrupamento foi realizada uma ACP por pontos e períodos de coleta.

#### 5.3.2.1 Estação Cachoeira do Arari

A análise de componentes principais com todos os parâmetros nos diferentes períodos de coleta na estação Cachoeira, mostra que as duas primeiras componentes (PC1 e PC2) juntas descrevem cerca de 72% da variância original (tabela 6). A PC1 explicou 52% da variância total e pode ser interpretada como um contraste entre, de um lado, nitrito (0,40), N-amoniaco (0,44) e clorofila *a* (0,64) e, de outro lado, temperatura (-0,94), OD (-0,85), condutividade elétrica (-0,81), MPS (-0,95), turbidez (-0,75), sólidos totais (-0,94), STMineral (-0,97), nitrato (-0,87), fosfato (-0,44) e silicato (-0,57). Esses sinais contrários indicam uma correlação negativa ao longo da PC1 entre esses dois grupos.



Tabela 6: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados obtidos no rio Arari, nos períodos chuvoso e menos chuvoso na estação Cachoeira do Arari. Os valores mais significativos estão em negrito.

Variável	PC1	PC2
pH	-0,01	0,51
Temperatura (° C)	<b>-0,94</b>	-0,01
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>-0,85</b>	0,26
Cond. Elétrica (µS.cm-1)	<b>-0,81</b>	-0,42
MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>-0,95</b>	0,09
Turbidez (UNT)	<b>-0,75</b>	0,09
Sólidos Totais (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>-0,94</b>	-0,24
ST Minerais (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>-0,97</b>	-0,09
ST Orgânicos (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,22	-0,42
Nitrato (µmol.L <sup>-1</sup> )	<b>-0,97</b>	0,15
Nitrito (µmol.L <sup>-1</sup> )	0,40	<b>-0,80</b>
N-amoniaco (µmol.L <sup>-1</sup> )	0,44	<b>-0,77</b>
Fosfato (µmol.L <sup>-1</sup> )	-0,44	<b>-0,73</b>
Silicato (µmol.L <sup>-1</sup> )	-0,57	-0,54
Clorofila <i>a</i> (mg.m <sup>-3</sup> )	0,64	-0,28
Variância explicada (%)	52%	19,4 %

A relação direta entre a condutividade elétrica, MPS, turbidez, sólidos totais e STMineral destaca a forte ligação existente entre esses parâmetros (Figura 45).

Ao longo da PC1 temperatura e o OD apresentaram uma relação inversa com o nitrito, N-amoniaco e clorofila *a*, o que indica a utilização do OD no processo de nitrificação. Em relação à clorofila *a* ela foi favorecida (de acordo com a elevação da temperatura) quando a temperatura estava em seu máximo valor (Figura 45).

O pH e ST Orgânicos não apresentaram uma forte influência na primeira componente, mas destacaram-se na segunda (PC2), que explicou 19,4% da variância total, estes dois parâmetros variaram inversamente isso indica que o processo de remineralização da matéria orgânica exerce alguma influencia sobre o pH das águas do rio Arari. A correlação positiva entre o nitrito e amônia e inversa com o nitrato e OD ressalta o processo de nitrificação ocorrente no ciclo do nitrogênio.

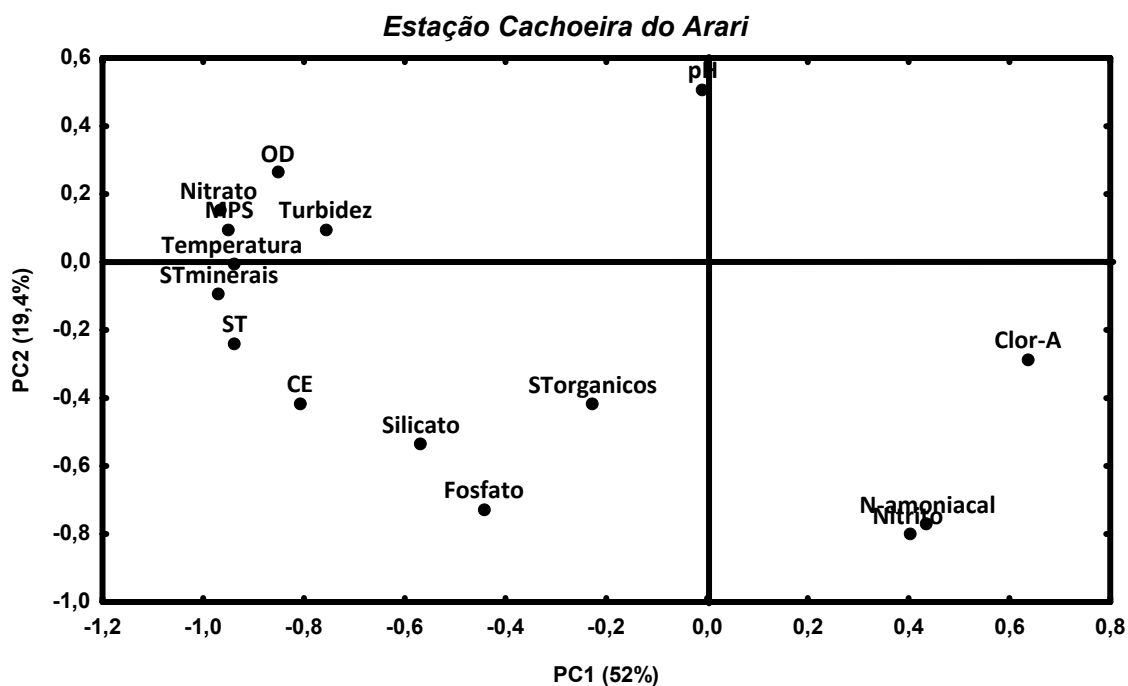


Figura 45 - Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos no rio Arari, na estação Cachoeira, durante os períodos Chuvoso e Menos Chuvoso.

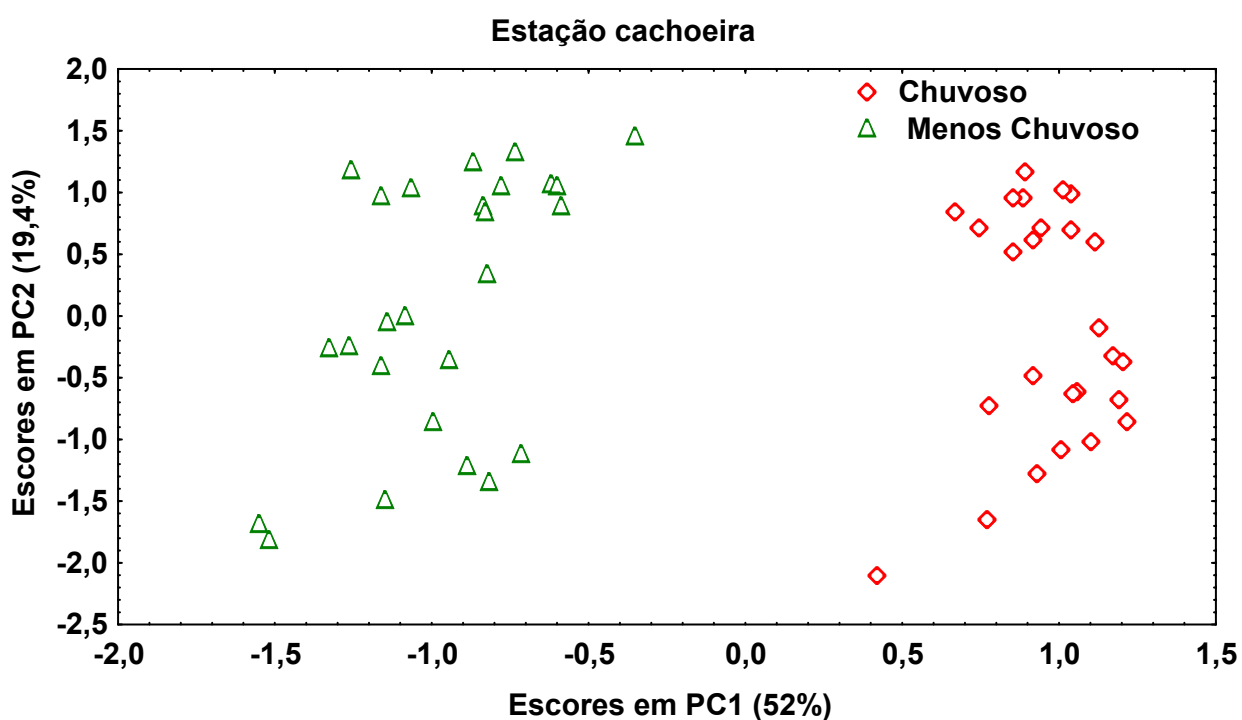


Figura 46 - Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clorofila *a* das águas do rio Arari, na estação Cachoeira, com estratificação entre o período Chuvoso e menos Chuvoso.

Os escores para os dados durante os dois períodos sazonais em PC1 e PC2, estratificados de acordo com a sazonalidade da região, estão plotados na figura 46. Pode-se observar uma separação total das amostras hidrológicas nos dois períodos, com o período chuvoso deslocado na PC1 para a extremidade positiva e o período menos chuvoso deslocado para a extremidade negativa, indica a influência da sazonalidade na distribuição dos parâmetros abióticos e bióticos na estação Cachoeira. No período chuvoso os parâmetros que são favorecidos são clorofila *a*, nitrito e N-amoniaco, enquanto que no período menos chuvoso foram favorecidos os seguintes parâmetros OD, nitrato, MPS, turbidez, sólidos inorgânicos, sólidos totais, condutividade elétrica, silicato, fosfato, sólidos orgânicos.

#### 5.3.2.2 Estação Murutucú

Na estação Murutucú, as duas primeiras componentes (PC1 e PC2) explicaram 54,2% da variância original (Tabela 7e Figura 47). Na primeira componente, que explica cerca de 36,5% da variância total, foi observado um contraste entre o nitrito (0,48), o N-amoniaco (0,56) e a clorofila *a* (0,67), com o pH (-0,51), a temperatura (-0,78), a condutividade elétrica (-0,91), o MPS (-,89), os sólidos totais (-0,49), STMinerais (-0,62), o nitrato (-0,84) e o silicato (-0,79). A correlação positiva entre o nitrito, o N-amoniaco e a clorofila *a* também foi observada na estação Cachoeira, o que mostra ser o N-amoniaco o nutriente que favorece a produtividade primária em ambas as estações.

Tabela 7: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados obtidos no rio Arari, nos períodos chuvoso e menos chuvoso na estação Murutucú. Os valores mais significativos estão em negrito.

Variável	PC1	PC2
pH	-0,51	0,35
Temperatura (° C)	<b>-0,78</b>	-0,03
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	0,14	-0,17
Cond. Elétrica (µS.cm-1)	<b>-0,91</b>	-0,07
MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>-0,89</b>	-0,22
Turbidez (UNT)	0,06	<b>-0,85</b>
Sólidos Totais (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,49	-0,24
ST Minerais (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,62	0,17
ST Orgânicos (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,06	-0,47
Nitrato (µmol.L <sup>-1</sup> )	<b>-0,84</b>	0,07
Nitrito (µmol.L <sup>-1</sup> )	0,48	<b>-0,78</b>
N-amoniacal (µmol.L <sup>-1</sup> )	0,56	-0,43
Fosfato (µmol.L <sup>-1</sup> )	-0,15	-0,60
Silicato (µmol.L <sup>-1</sup> )	<b>-0,79</b>	-0,30
Clorofila <i>a</i> (mg.m <sup>-3</sup> )	0,67	0,41
Variância explicada (%)	36,5%	17,7%

A segunda componente explica cerca de 17,7% da variância total e apresenta como principais elementos a clorofila *a* (0,41), em contraste com a turbidez (-0,85), STorgânicos (-0,47), o nitrito (-0,78), o N-amoniacal (-0,43), e o fosfato (-0,60) a relação inversa da clorofila *a* com turbidez, N-amoniacal e fosfato revela que a diminuição da turbidez favorece o desenvolvimento da biomassa fitoplanctônica, que utiliza esses nutrientes no processo fotossintético. O material particulado não teve influência nessa segunda componente.

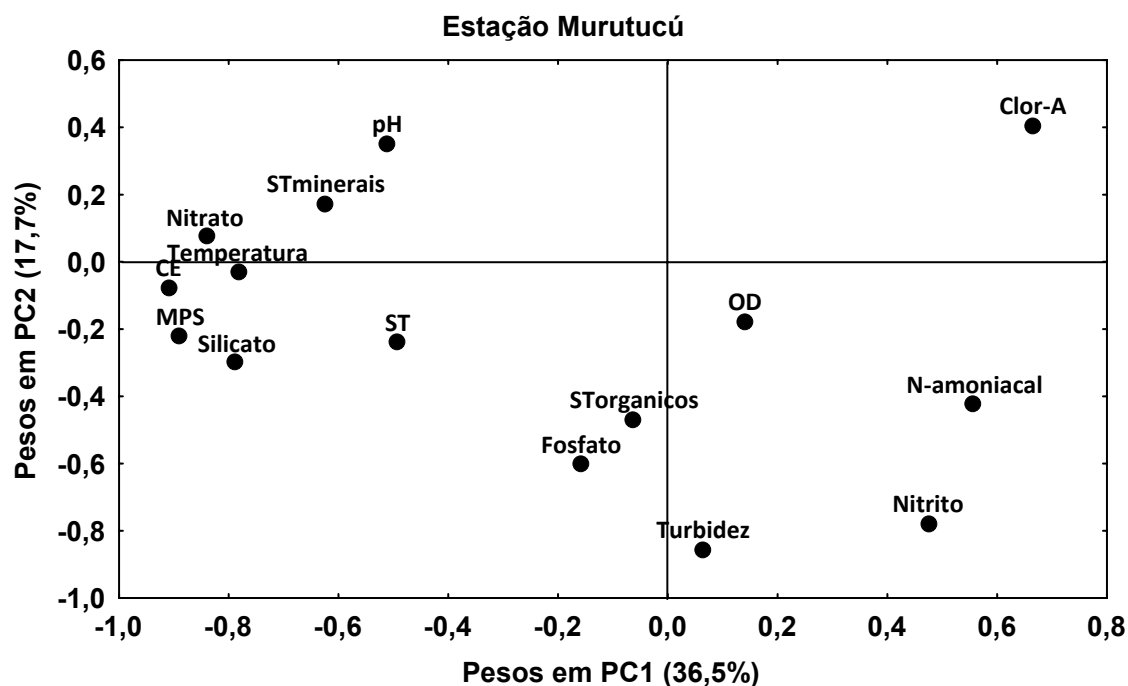


Figura 47 – Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos no rio Arari, na estação Murutucú, durante os períodos Chuvoso e Menos chuvoso.

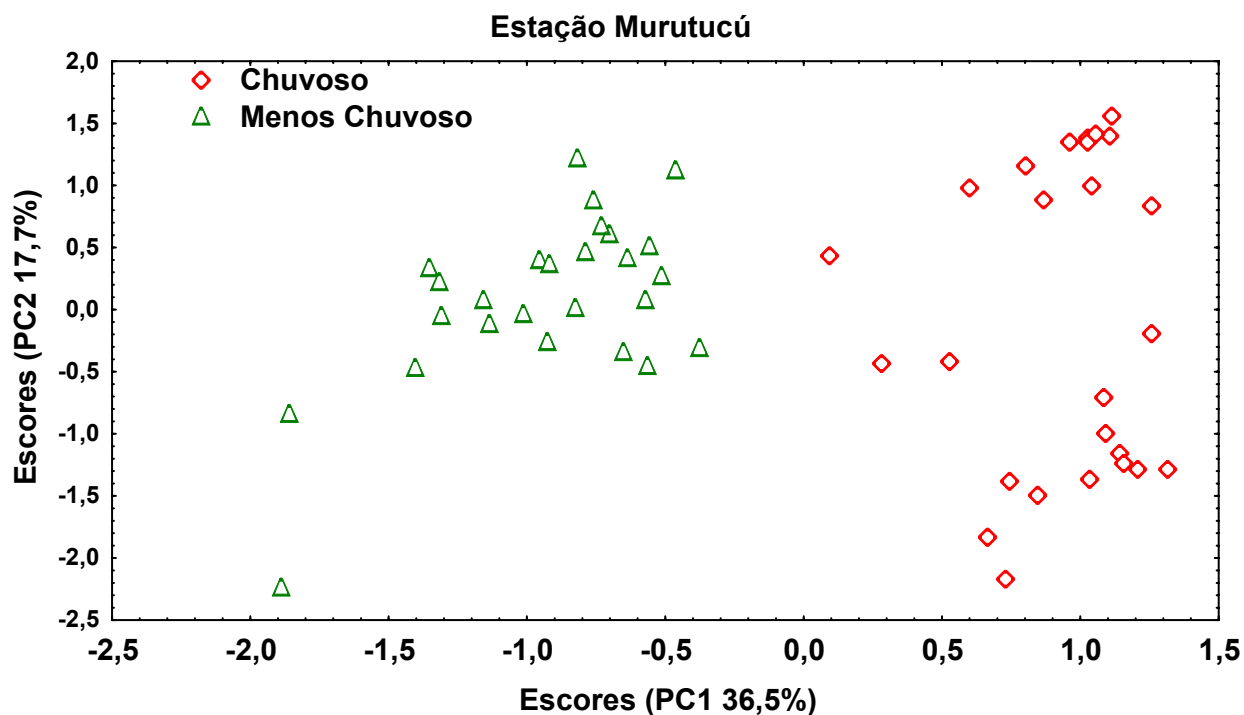


Figura 48 – Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clorofila a das águas do rio Arari, na estação Murutucú, com estratificação entre os períodos Chuvoso e menos Chuvoso.

Os escores para os dados durante os dois períodos sazonais em PC1 e PC2, estratificados de acordo com a sazonalidade da região, estão plotados na figura 48. A separação sazonal é nítida, com os escores do período chuvoso na extremidade positiva e do menos chuvoso na extremidade negativa da PC1. A distribuição na PC2 indica uma separação das amostras de abril e maio, revelando que existem diferenças significativas entre estes meses na estação Murutucú. Por outro lado para o período menos chuvoso, observa-se um agrupamento das amostras dos meses de setembro e novembro, ou seja, as amostras representativas do período menos chuvoso apresentam características bastante semelhantes.

### 5.3.2.3 Estação Santana do Arari

Na estação Santana, as duas primeiras componentes (PC1 e PC2), explicaram 47,8% da variância original (Tabela 8 e Figura 49). A primeira componente explica 25,7% da variância total, é formada em seu lado negativo pelo pH (-0,71), condutividade (-0,73), MPS (-0,57), ST (-0,52) e STminerais (-0,84) e na extremidade positiva por nitrato (0,57) e clorofila *a* (0,71). A relação direta entre condutividade, MPS e ST indica a influência dos dois últimos sobre a condutividade elétrica nas águas do rio Arari, a relação direta entre nitrato e clorofila *a* sugere que este nutriente está favorecendo a produtividade primária, a disponibilidade deste nutriente aumenta na estação Santana em função dos valores máximos de oxigênio dissolvido encontrados nesta estação de coleta.

A segunda componente explicou cerca de 22,1% e foi formada na extremidade positiva por condutividade elétrica (0,50), nitrito (0,45), N-amoniaco (0,81), fosfato (0,61) e silicato (0,73), a relação direta entre esses parâmetros reforça a influência dos nutrientes na distribuição da condutividade elétrica. A extremidade negativa foi formada por temperatura (-0,62), e OD (-0,81).

Tabela 8: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados obtidos no rio Arari, nos períodos chuvoso e menos chuvoso na estação Santana. Os valores mais significativos estão em negrito.

Variável	PC1	PC2
Ph	<b>-0,71</b>	-0,38
Temperatura (° C)	0,15	-0,62
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,37	<b>-0,81</b>
Cond. Elétrica (μS.cm-1)	<b>-0,73</b>	0,50
MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,57	0,08
Turbidez (UNT)	0,37	-0,16
Sólidos Totais (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,52	-0,06
ST Minerais (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>-0,84</b>	0,16
ST Orgânicos (mg.L <sup>-1</sup> )	0,05	-0,20
Nitrato (μmol.L <sup>-1</sup> )	0,57	-0,03
Nitrito (μmol.L <sup>-1</sup> )	0,34	0,45
N-amoniaco (μmol.L <sup>-1</sup> )	0,35	<b>0,81</b>
Fosfato (μmol.L <sup>-1</sup> )	0,11	0,61
Silicato (μmol.L <sup>-1</sup> )	-0,40	<b>0,73</b>
Clorofila <i>a</i> (mg.m <sup>-3</sup> )	<b>0,71</b>	-0,13
Variância explicada (%)	25,7%	22,1%

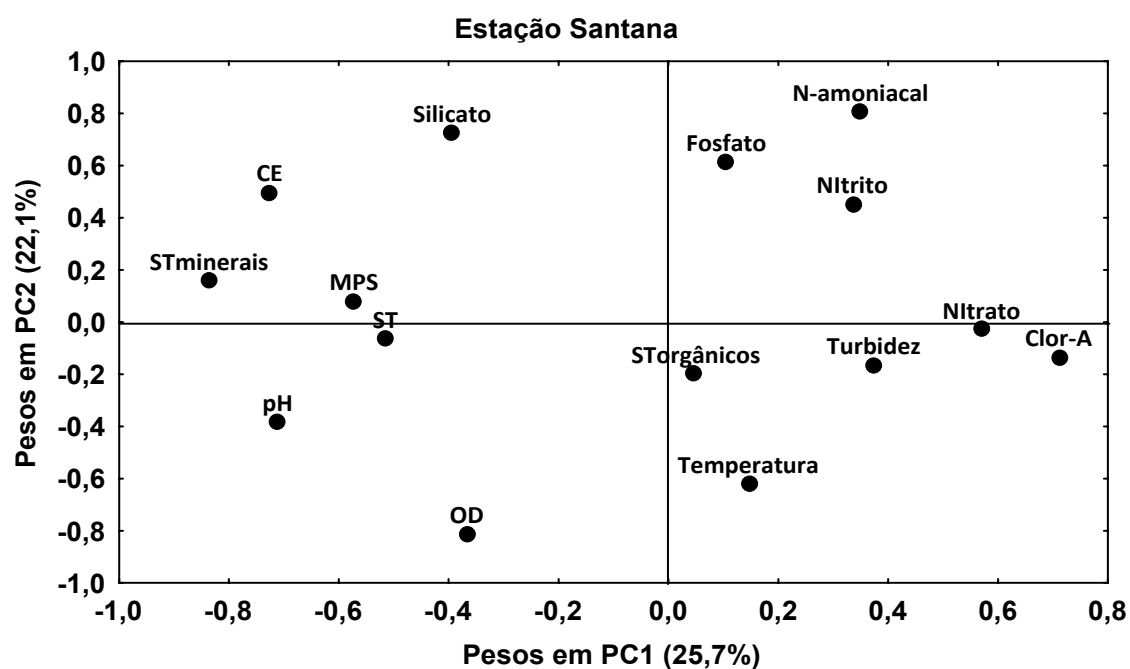


Figura 49 – Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos no rio Arari, na estação Santana, durante os períodos Chuvoso e Menos Chuvoso.

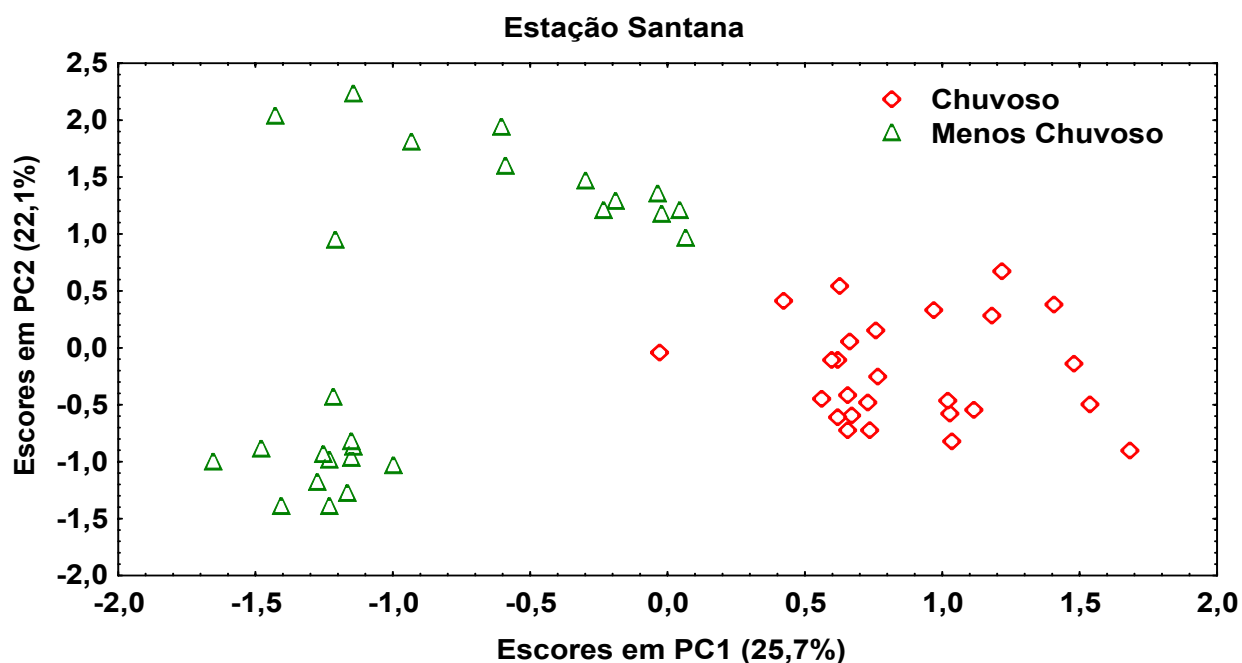


Figura 50 – Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clorofila a das águas do rio Arari, na estação Santana, com estratificação entre os períodos Chuvoso e menos Chuvoso.



Os escores, para os dados da estação Santana, durante os dois períodos sazonais em PC1 e PC2, estratificados de acordo com a sazonalidade da região, estão plotados na figura 50. Nota-se que os dados do período chuvoso estão agrupados na extremidade positiva da PC1 e os dados do período menos chuvoso estão agrupados na extremidade negativa, o que indica a influência da sazonalidade na distribuição dos parâmetros abióticos e bióticos na estação Santana. No período chuvoso os parâmetros que são favorecidos são clorofila *a*, nitrito e N-amoniaco, nitrato e fosfato e no menos chuvoso foram favorecidos os seguintes parâmetros OD, silicato, MPS, sólidos inorgânicos, sólidos totais e condutividade elétrica, em relação a PC2 as amostras do período chuvoso tem pequena variação, ou seja, durante este período as águas apresentam características bastante homogêneas, enquanto que para o menos chuvoso ocorre uma clara separação entre os dados obtidos no período menos chuvoso, ou seja, as águas do rio Arari mudam suas características conforme a intensificação do período de estiagem.

## 6 DISCUSSÕES

### 6.1 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS

Os eventos extremos de chuvas e seca no ano de 2009 na ilha de Marajó ocorreram em função de fenômenos climáticos de escala global, no primeiro semestre foi a La Niña e no segundo semestre o El Niño. De acordo com Moraes *et al.* 2005 na cidade de Soure (Ilha de Marajó) a precipitação média anual é de 3.216 mm. De acordo com os dados de precipitação do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET para esta cidade no ano de 2009, foi registrado o valor de 4.058 mm, sendo 3.964 mm, ou seja 79,2% deste valor registrado no período de janeiro a junho e o restante apenas 94 mm, 20,8%, entre os meses de julho e dezembro.

O episódio La Niña, que ocorreu no ano de 2008 se intensificou, atingiu sua fase madura em janeiro de 2009 e favoreceu a continuidade da situação de estiagem na região sul do Brasil e o aumento da pluviometria nas regiões Norte e Nordeste, com uma distribuição de chuvas acima da média histórica sobre o Norte do Brasil no trimestre março a maio de 2009 e abril a junho de 2009 (INPE, 2009a). Os modelos de previsão climática assumiram a previsão de desenvolvimento da fase quente do fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS) no decorrer do segundo semestre de 2009, ficando estabelecida uma situação de transição entre o episódio La Niña e El Niño, evidenciado pelo aquecimento das águas e a diminuição das anomalias nos ventos de leste adjacente à costa oeste da América do Sul.

A atuação do fenômeno El Niño modificou o cenário das chuvas no Brasil, neste sentido, ocorreram totais pluviométricos na categoria abaixo da normal climatológica no Norte da Região Norte (INPE, 2009b, INPE, 2009c e INPE, 2009d).

Ainda para o ano de 2010 os modelos prevêem que o El Niño continuará atuando na região do pacífico equatorial durante o trimestre janeiro a março de 2010, com perspectivas de chuvas abaixo da média histórica principalmente no norte das regiões norte e nordeste do Brasil (INPE, 2009e).

Durante o período chuvoso na ilha de Marajó, a grande quantidade de chuvas que caem sobre a região de campos, provoca a interligação das redes de drenagem, tornando a ilha de Marajó um imenso campo alagado “*wetland*”, o que leva ao aumento na descarga fluvial do rio Arari neste período e faz com que a maré dinâmica não chegue até a cidade de Cachoeira do Arari, o rio segue um fluxo unidirecional em direção a sua foz. A situação acontece por que o nível da água do rio sobe e com isso não se registra mais o refluxo de vazante. As águas do rio Arari somam-se com as águas que descem dos campos e inicia-se

então o que os moradores chamam de “*inchaço do Arari*”. As águas dos campos, ricas em matéria orgânica, são a principal fonte de nutrientes para o rio Arari durante este período. Durante o período menos chuvoso, ocorre uma modificação na hidrodinâmica do rio Arari. O fluxo e refluxo das marés em Cachoeira do Arari só são observados novamente a partir de julho e agosto, com a diminuição das chuvas e do nível das águas do rio, o que permite o avanço da maré dinâmica.

De maneira geral, esse pulso de inundação na bacia do rio Arari provoca alterações na dinâmica dos parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos que quando comparados a outros ambientes da região amazônica (Ribeiro *et al.* 1978; Santos *et al.* 1981; Santos & Ribeiro, 1988; Horbe *et al.* 2005; Cunha & Pascoaloto, 2009; Queiroz *et al.*, 2009, Monteiro, 2009) mostram padrões diferentes de distribuição sazonal, ou seja, o comportamento hidroquímico no rio Arari é distinto das demais bacias hidrográficas da região amazônica em função de sua hidrologia. Esta singularidade já foi observada em estudos anteriores, Reis *et al.* (1977) realizaram estudo isotópico na bacia do rio Arari (interior da ilha de Marajó) e concluíram que as composições isotópicas das águas superficiais são enriquecidas em isótopos pesados, diferindo ligeiramente das águas pluviais, e concluíram que a evaporação das águas superficiais é relevante no balanço de águas nesta bacia, estes autores afirmam que do ponto de vista de balanço hídrico, esta região do Marajó é singular em comparação com a bacia amazônica como um todo, por outro lado Salati *et al.* (1973) realizaram estudo isotópico onde analisaram as concentrações de  $^{18}\text{O}$  e  $\text{D}$  em águas pluviais da Bacia Amazônica e demonstraram que para esta Bacia como um todo as perdas de águas superficiais por evaporação são desprezíveis.

## 6.2 AMPLITUDES DE MARÉS

Em áreas com baixo regime dinâmico (áreas de baixa correnteza), os sedimentos são facilmente depositados e a transparência da água, aumenta de forma considerável, enquanto que em outras áreas, a correnteza invade as áreas adjacentes ao rio, recebendo novos materiais para carregar que devido à alta dinâmica do corpo d'água, ficam por um elevado período, em suspensão. Em áreas localizadas às proximidades da cidade de Manaus, um litro de água do rio Amazonas contém cerca de 0,1 g de sedimentos (Junk, 1983).

De acordo com a análise do comportamento das marés no rio Arari, os dois regimes citados por Junk (*op.cit.*) são observados, controlados pela sazonalidade da região, ou seja,

durante o período chuvoso a característica é de baixo regime dinâmico, devido ao alagamento que minimiza os efeitos das marés. Por outro lado, durante o período menos chuvoso o rio Arari apresenta alto regime dinâmico, principalmente em função das marés, que se propagam ao longo de todo o rio. Estas marés são do tipo semidiurnas e apresentam diferentes amplitudes ao longo do rio, a região da foz do rio Arari, vila de Santana e da sede da Fazenda Murutucu é dominada por meso-marés ( $2 < 4\text{m}$ ), enquanto que na cidade de Cachoeira do Arari ocorrem as micro-marés.

No rio Arari as marés são assimétricas e dominadas pela vazante, para as estações Santana e Murutucú, no começo da enchente o nível da água aumenta bruscamente e logo em seguida se torna mais suave, a suavização ocorre em função do alagamento das margens do rio, áreas de várzea, que durante o período chuvoso já se encontram alagadas, os níveis de maré baixa são mais elevados, o que favorece uma menor amplitude de maré. Enquanto que no período menos chuvoso, durante as enchentes, o alagamento da várzea também causa o efeito de suavização na altura da maré, contudo o nível da maré baixa do rio é menor e isso favorece o aumento na amplitude. Para a estação Cachoeira a maré é do tipo assimétrica, contudo, o padrão de suavização na enchente não foi observado, provavelmente em função da ocorrência de micro-marés, isso significa que a pequena amplitude não permite que a área de várzea seja alagada.

### 6.3 PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS

A temperatura das águas do rio Arari foi característica de um ambiente tipicamente tropical, onde a amplitude da variação diária é mais significativa que a variação sazonal. As menores temperaturas relativas ocorrem no período chuvoso em função da grande quantidade de nuvens que recobrem a ilha de Marajó, durante praticamente todo o dia, estas nuvens inibem a incidência dos raios solares o que resulta em temperaturas mais baixas, por outro lado no período menos chuvoso estas nuvens se tornam mais esparsas e as águas do rio Arari ficam expostas a mais horas de insolação que permitem a elevação da temperatura da água. Em relação às estações de coleta, as maiores diferenças de temperatura observadas na estação Santana, podem ser em função da maior exposição desta estação aos efeitos das marés, que atingem até 5m de altura e trazem águas da Baía do Marajó.

Os valores de condutividade elétrica das águas do rio Arari revelam que este rio não recebe influencia salina, ou seja, é um ambiente tipicamente de águas doces durante o ano

inteiro. O maior valor de condutividade registrado no período menos chuvoso ( $233,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) é apenas 4 vezes maior que o mínimo registrado no período chuvoso  $60,20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , o que caracteriza o rio Arari como um sistema predominantemente de água doce durante ambos os períodos.

Vital (1988) em seu estudo no lago Arari encontrou valores menores que os encontrados no presente estudo, o mesmo padrão sazonal foi observado por essa autora, com máximo de  $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  no período menos chuvoso e  $80 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  durante o período chuvoso.

De acordo com a subdivisão do estuário em zonas proposta por Kjerfve (1987) os valores de salinidade menores que 1, assim como a baixa condutividade detectadas revelam que a foz do rio Arari está situada na *Zona de rio* do estuário principal, o rio Pará ou Baía de Marajó, ou seja, esta região recebe influência somente das marés dinâmicas. Neste sentido o rio Arari, pode ser classificado como um sistema flúvio-estuarino onde ocorre o predomínio das características fluviais, apesar das influências das marés dinâmicas, que no período de estiagem penetram dezenas de quilômetros rio adentro.

A análise de componentes principais mostrou que a condutividade tem forte correlação com ST, MPS, ST inorgânicos e íons dissolvidos, principalmente fosfato e silicato. Em regiões tropicais, como é o caso do rio Arari, os valores de condutividade estão mais relacionados com as características geoquímicas da região onde se localizam e com as condições climáticas (chuva e estiagem), do que com o estado trófico (Esteves, 1998). No rio Arari a variação espacial da condutividade é controlada principalmente pelos processos de resuspensão e sedimentação, enquanto que a variação sazonal deste parâmetro é controlada pela precipitação.

A intensificação dos processos de resuspensão favorece o aumento da turbidez, que esta diretamente relacionada com a quantidade de Material Particulado em Suspensão (MPS), aos Sólidos Totais (ST) e as frações de ST (ST orgânico e ST mineral). As águas do rio Arari possuem elevada concentração de MPS durante o ano todo, o que atribui uma coloração amarelada e aspecto barrento as mesmas, cursos d'água (rios, lagos, estuários) com essas características são muito freqüentes na bacia amazônica e são regionalmente conhecidas como “águas brancas”. Uma classificação muito utilizada atualmente foi proposta para as águas amazônicas por Sioli (1957), sendo que ele as classificou em relação à sua coloração e à natureza físico-química destas, em águas brancas, águas pretas e águas claras. Os valores de MPS e ST orgânicos, detectados neste trabalho, caracterizam o rio Arari como um rio de águas brancas.

Vários rios da região Amazônica, como o próprio Amazonas, o Purus, o Madeira e o Juruá, têm suas bacias de drenagem com origem na região Andina e pré-Andina. Nesse contexto, os processos erosivos atuantes na região andina são muito intensos dando origem a uma elevada carga de sedimentos, o que promove a coloração branca das águas (Junk, 1983). Neste estudo os valores de MPS e ST orgânicos são típicos de rios de águas brancas.

De acordo com Chaparro *et al.* (2008) grande parte do material resuspenso está na forma inorgânica, mas partículas orgânicas como algas bentônicas e biodepósitos também são presentes. Durante o período chuvoso a região de campos do Marajó, onde está localizado o rio Arari, se comporta como um imenso “*wetland*”, o relevo baixo e plano da ilha não favorece o escoamento das águas, o que provoca uma rápida inundação dos campos e interligação das diversas drenagens. Desta maneira a hidrodinâmica neste período diminui, o escoamento é lento, essas condições de baixo regime dinâmico favorecem os processos de sedimentação do MPS e dos ST além de contribuir para a diluição dos mesmos e aumentar a transparência da água. Neste período o rio Arari recebe maiores contribuições de material alóctone, principalmente na forma orgânica, resultante da decomposição da vegetação das áreas alagadas, essa distribuição foi confirmada pelos valores de ST orgânicos que representaram 61% dos sólidos totais, os outros 39% representam a fração mineral.

A principal fonte de MPS e ST no período menos chuvoso é de origem autóctone, ocorrendo predominância da fração mineral, neste caso 77% dos ST é representado pela fração mineral, o restante 23% é referente à fração orgânica. O regime de alta dinâmica e o fluxo turbulento favorecem os processos de resuspensão, e reduz o processo de sedimentação, logo a transparência da água também diminui.

Desta maneira, nota-se que, durante o período chuvoso o escoamento superficial, bastante lento, favorece os processos de sedimentação, principalmente da fração mineral dos sólidos totais (areia, argilas e minerais em suspensão), ou seja, diminui a concentração dos sólidos totais minerais, enquanto que os detritos orgânicos provavelmente derivados da produção primária e bentônica, além de pedaços de folhas e galhos tendem a permanecer mais tempo em suspensão e na coluna d'água e sofrem menos o efeito de sedimentação, contribuindo para o aumento da concentração da fração orgânica de sólidos totais. Por outro lado, durante o período menos chuvoso, praticamente não existem fontes alóctones de sólidos orgânicos, visto que as drenagens não ficam mais ligadas ao rio Arari, ocorre aumento na hidrodinâmica local devido a uma intensa ação das marés em toda a bacia do rio Arari, o balanço hídrico é negativo, ou seja, a evaporação é maior que a precipitação, isto faz com que

a dinâmica do rio aumente, com a diminuição do nível da água e do aporte fluvial, a maré dinâmica tem comportamento assimétrico e avança em direção a nascente do rio Arari e este apresenta fluxo bidirecional, característico dos movimentos de enchente e vazante da maré (que não ocorre no período chuvoso), isto intensifica os processos de ressuspensão o que torna as águas do rio Arari muito mais carregadas em MPS aumentando a turbidez.

Em relação à onda de maré no rio Arari, foi observado um comportamento assimétrico nos dois períodos, com intervalos de tempo entre enchente e vazante iguais a 5,0 e 7,0 horas respectivamente. As correntes de marés também podem ser eficazes no movimento dos sedimentos, através de assimetria das marés e/ou em áreas de maior energia de onda ou energia de correntes, para as zonas de baixa energia através de decantação nos momentos de correntes lentas (Brydsten, 1992; Schoelhamer, 2001; Chen *et al.* 2006; Scully & Friedrichs, 2007).

A quantidade do MPS disponível para suspensão é largamente determinado por forças atmosféricas, que causam um influxo de materiais terrígenos das áreas adjacentes e também resuspendem os sedimentos de fundo. Estes efeitos são ampliados em casos de estuários rasos (<2 m de profundidade no rio Arari), durante a maré baixa (Chaparro *et al.* 2008). Vital (1988) observou no lago Arari a presença de uma camada muito densa de argila floculada, que permanece praticamente imóvel no fundo, porém a mesma pode ser facilmente remobilizada devido à agitação das águas pelos ventos, quando a profundidade do lago reduz-se a menos da metade do período de cheia.

As velocidades dos ventos medidos na estação Soure (INMET, 2009), indicam um aumento na intensidade dos ventos durante o período menos chuvoso da ilha de Marajó, e revelam as maiores intensidades de aproximadamente 3 vezes maiores que no período chuvoso. Essa ação dos ventos pode influenciar diretamente nos parâmetros hidroquímicos do rio Arari, como por exemplo, o oxigênio dissolvido e o MPS.

Kessarkar (2010) observou em seu trabalho que os processos de ressuspensão ocorreram devido a efeitos combinados de fortes ventos induzindo as ondas e correntes, e a agitação por correntes de maré, além disso, a velocidade do vento apresentou uma forte correlação ( $r= 0,98$ ) com as concentrações de MPS. Outra característica importante da ação dos ventos é destacada por Esteves (1998), segundo este autor o vento tem papel importante na distribuição do oxigênio dissolvido (OD), tanto aumentando a sua concentração (especialmente nas camadas superiores), como provendo a sua distribuição no interior do ecossistema.

Nos ecossistemas aquáticos amazônicos a fonte de oxigênio a partir da atmosfera é considerada muito importante, cerca de 60% do oxigênio do epilimnio é de origem atmosférica, baseados nesses valores alguns autores propõem que esta seja a maior fonte de oxigênio para a maioria dos ecossistemas aquáticos da região amazônica (Junk *et al.* 1981; Melack e Fisher, 1983; Esteves, 1998).

Os menores valores de OD registrados no período chuvoso podem estar associados ao processo de degradação da Matéria Orgânica (M.O), que durante este período apresenta maior concentração, os valores de pH mais ácidos durante este período reforçam esta idéia, pois um dos resultados da atividade de decomposição da M.O é a diminuição do pH. A ACP revela que durante o período menos chuvoso ocorre uma forte correlação positiva de OD com MPS, essa relação sugere que a hidrodinâmica aumenta as concentrações de MPS e ajuda no processo de aeração, neste sentido nota-se que a principal fonte de OD para as águas do rio Arari é a atmosfera, visto que os maiores valores de turbidez contribuem para inibição do processo fotossintético.

#### 6.4 DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES NO RIO ARARI

##### Formas nitrogenadas

A oxigenação do rio Arari também está associada aos processos de nitrificação, onde as formas mais reduzidas de nitrogênio (nitrito e amônio) predominam durante o período chuvoso, por outro lado, quando as concentrações de OD aumentam no período menos chuvoso o nitrato, forma mais oxidada, é favorecida em detrimento das formas reduzidas. De acordo com Day *et al.*,(1989) as concentrações de cada um dos nutrientes nitrogenados são fortemente influenciadas pelo ciclo dinâmico do oxigênio do meio. Nesse sentido houve um incremento na concentração do nitrato no período menos chuvoso, com o valor mínimo de aproximadamente 27 vezes maior em relação ao período chuvoso. O processo de nitrificação, ou seja, a transição de formas nitrogenadas mais reduzidas (N-amoniacal e nitrito) para a forma de nitrato foi favorecido pelo acréscimo de Oxigênio Dissolvido durante este período.

A concentração de nitrato ao longo do rio diminui, no sentido Cachoeira-Foz, e pode ser um indicativo da assimilação desta forma nitrogenada pelo processo fotossintético, confirmando o resultado da PCA que mostra uma correlação entre nitrato, amônio e clorofila *a*. O nitrito foi a forma nitrogenada que apresentou as menores concentrações, inferiores a  $2\mu\text{mol.L}^{-1}$  e de maneira geral acompanhou a distribuição do amônio.



O contraste entre OD com N-amoniacoal, durante o período chuvoso, ocorreu em todas as estações de coleta e pode ser indicativo que a degradação da matéria orgânica ocorre ao longo de todo o rio Arari. No processo de decomposição da M.O, íons dissolvidos são liberados nas formas orgânica e inorgânica, por exemplo, o N-amoniacoal provém da degradação das proteínas da M.O. Reddy & DeLaune (2008) afirmam que a presença de amônio na camada aeróbia da coluna de água é derivada de (1) decomposição de matéria orgânica na coluna d'água, (2) mineralização de nitrogênio orgânico na camada de sedimento aeróbico, e (3) difusão e fluxo de amônio da camada anaeróbia do sedimento para a coluna de água, sendo que o último processo é o que mais contribui com uma parcela importante de amônio para a camada aeróbia da coluna de água.

Concentrações elevadas de N-amoniacoal no rio Arari ocorreram em ambos os períodos, com o máximo  $41,67 \mu\text{mol.L}^{-1}$  12 vezes maior que o mínimo  $3,33 \mu\text{mol.L}^{-1}$  registrado no período menos chuvoso, sendo as maiores concentrações durante o período chuvoso relacionados principalmente à liberação deste nutriente a partir do processo de degradação da M.O, ou seja, a fonte foi a partir do processo de *Amonificação*. Os resultados de Sólidos Orgânicos corroboram com isso, pois no período chuvoso estes corresponderam a 61% do total de sólidos totais, o que indica a presença significativa de M.O nas águas do rio Arari.

Os valores de N-amoniacoal encontrados no rio Arari são muito altos quando comparados com estudos realizados em áreas estuarinas Amazônicas. Monteiro (2009) no estuário do rio Paracauari (Ilha de Marajó) registrou valores máximos de  $0,55 \mu\text{M.L}^{-1}$  e  $0,77 \mu\text{M.L}^{-1}$ , nos períodos chuvoso e menos chuvoso, respectivamente. Na foz do rio Amazonas Demaster & Pope (1996) detectaram variações entre  $0,4$  e  $0,5 \mu\text{M.L}^{-1}$ , Santos (2000) na Plataforma Continental do Amazonas encontrou o valor de mediana de  $0,38 \mu\text{M.L}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$ , Santos *et al.*, (2008) registraram os valores máximos de N-amoniacoal de  $0,91$  e  $0,26 \mu\text{M.L}^{-1}$  em áreas costeiras e oceânicas respectivamente. Eschrique (2006) estudou a área adjacente à costa do Estado do Pará e observou os valores mínimo de  $0,12$  e máximo de  $0,80 \mu\text{M.L}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$ . Por outro lado, Gorayeb (2008) estudou os rios Chumucui e Caeté (Bragança-PA) onde as concentrações de  $\text{NH}_4^+$  foram de  $33$  e  $44 \mu\text{M.L}^{-1}$ , respectivamente associados a valores de clorofila *a* na faixa de  $18,0$  a  $34,0 \text{ mg.m}^{-3}$ . Cohen (1998) observou nas águas do furo do chato (Bragança-PA) o valor de  $14,0 \mu\text{M.L}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$  durante o período chuvoso, enquanto que Lara & Dittmar (1999) no período menos chuvoso registraram valores de  $22 \mu\text{M.L}^{-1}$  a  $30 \mu\text{M.L}^{-1}$  nas marés de quadratura e sízigia, respectivamente.

## Fosfato dissolvido

Os valores de fosfato neste estudo foram inferiores a  $2 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , Santos *et al.*, (2006) em estudo realizado no rio Guamá registrou concentrações de fosfato com mínimo de  $0,01 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , máximo de  $1,39 \mu\text{mol.L}^{-1}$  e mediana de  $0,27 \mu\text{mol.L}^{-1}$ . Eschrique *et al.*, (2006) estudou a distribuição dos nutrientes na coluna d'água da área adjacente à costa do Estado do Pará e registrou valores de fosfato de  $0,43 \mu\text{mol.L}^{-1}$  na camada eufótica e de  $2,20 \mu\text{mol.L}^{-1}$  na camada afótica, e atribuiu o aumento devido à liberação desse nutriente através da degradação da matéria orgânica. Monteiro (2009) registrou no rio Paracauari (ilha de Marajó) valores médios para o fosfato de  $0,89 \mu\text{mol.L}^{-1}$  no período chuvoso e  $0,26 \mu\text{mol.L}^{-1}$  no menos chuvoso, sendo que não foram observadas diferenças significativas entre superfície e fundo, esta autora atribui os maiores valores de fosfato no período chuvoso a contribuição do particulado proveniente do escoamento fluvial e do manguezal adjacente.

Durante o ano, ao longo do rio Arari foi observado um gradiente positivo da estação Cachoeira para Santana, esse padrão de distribuição se mostrou inverso ao MPS, o que indica que o fosfato pode estar sendo retirado da coluna d'água através do processo de adsorção por argilas, pois sua disponibilidade aumenta de acordo com a diminuição do MPS. Este processo pode ser favorecido pelo pH levemente ácido das águas do rio Arari, essa relação com pH fica mais nítida durante o período menos chuvoso, quando se observa os valores ácidos de pH na estação Cachoeira e valores alcalinos na estação Santana relacionados diretamente com as menores e maiores concentrações de fosfato, respectivamente. De acordo com Stum & Morgam (1996) o fosfato pode ser adsorvido às argilas através de ligação química da carga negativa do fosfato com a positiva das bordas da argila, e essa adsorção é maior em pH ácido ou ligeiramente ácido, condição essa observada no rio Arari neste estudo.

Santos *et al.* (2007) estudou a distribuição do fosfato na coluna d'água da foz do rio Amazonas no período de diminuição da descarga (agosto, 2001) e observou na camada eufótica o valor máximo de  $0,77 \mu\text{mol.L}^{-1}$  e na camada afótica  $0,89 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , esta autora conclui que o pH alcalino em todas as amostras influenciou muito pouco os processos de adsorção e dessorção do fósforo na coluna de água.

Em relação à variação sazonal, o fosfato mostrou um discreto aumento na concentração durante o período menos chuvoso, o que pode estar associado a um efeito combinado do menor consumo deste elemento no processo fotossintético, visto que os valores

de clorofila *a* foram menores, com a liberação deste elemento a partir da camada de sedimentos.

#### Silicato Dissolvido

O silicato apresentou comportamento sazonal e espacial semelhante ao do fosfato. Em diversos trabalhos os valores de silicato sofrem aumento durante o período chuvoso, pois são associados ao aumento no aporte de sedimentos (DeMaster & Pope, 1996; Maotian *et al.* 2007; Glé *et al.* 2008; Santos *et al.* 2008; Sarma *et al.* 2008; Zhuo *et al.* 2009, Monteiro, 2009).

Contudo, neste estudo os valores de silicato foram maiores no período menos chuvoso, onde ocorrem os maiores valores de MPS e mostram forte correlação com os sólidos totais e MPS, o que revela a natureza terrígena deste elemento, para DeMaster & Pope (1996) dada à complexidade e o tamanho da bacia hidrográfica da Amazônia, mudanças temporal e espacial nas concentrações de nutrientes nos rios não são inesperados.

Neste estudo os valores obtidos são entre 2 e 4 vezes maiores em relação aos valores obtidos por Monteiro (2009) que registrou em seu estudo no rio Paracauari (Ilha de Marajó) o valor máximo de  $81,35 \mu\text{mol.L}^{-1}$  durante o período chuvoso e de  $42,65 \mu\text{mol.L}^{-1}$  no menos chuvoso. Santos *et al.*, (2008) detectou valores entre  $14,48 \mu\text{mol.L}^{-1}$  e  $108,59 \mu\text{mol.L}^{-1}$  na foz do rio Amazonas, com os maiores valores mais próximos a foz e diminuição em direção ao oceano Atlântico. Eschrique *et al.* (2006) registrou na foz do rio Pará valores de silicato entre  $0,42 \mu\text{mol.L}^{-1}$  e  $31,77 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , com altas concentrações próximas da costa associada ao aporte fluvial. Santos *et al.* (2001) verificaram valores de silicato entre 1,07 e  $31,77 \mu\text{mol.L}^{-1}$  para a Plataforma Continental Norte (costa do Pará) e consideraram que a contribuição fluvial é a principal responsável pela manutenção de sílica nas águas superficiais desta plataforma.

Ao longo do rio Arari os valores de Silicato aumentam gradualmente em direção a foz do rio, o que indica que a fonte deste elemento ocorre ao longo de todo o rio, e provavelmente é de origem autóctone, sendo disponibilizado a partir de processos de resuspensão e dissolução.

#### 6.5 CLOROFILA-*a*

As concentrações dos nutrientes nitrogenados e fosfatados foram altas durante o ano todo, apesar da variação sazonal, o que favoreceu a atividade de organismos do fitoplâncton, como pode ser observado por meio dos valores de clorofila *a*. Paiva *et al.*, (2006) em estudo

realizado no rio Guamá e Baía de Guajará (Belém-PA) registraram valores médios de 11,28 mg.m<sup>3</sup>, para o período chuvoso, e de 9,46 mg.m<sup>3</sup>, para o período menos chuvoso, comportamento semelhante ao encontrado neste estudo onde foram observados no período chuvoso, mediana de 17,40 mg.m<sup>3</sup> e diminuíram para 8,91 mg.m<sup>3</sup> no período menos chuvoso.

Nas águas costeiras tropicais podem ocorrer dois tipos de variação anual: um ciclo com aumento considerável de biomassa durante o período chuvoso, característico de ambientes onde a influência terrígena é amena e a disponibilidade de nutrientes favorece o crescimento algal; e um ciclo com aumento considerável da biomassa durante o período seco, característico de ambientes onde a influência terrígena é forte durante o período chuvoso, a ponto de provocar a diminuição da transparência da água (Eskinazi-Leça, 1990). No rio Arari os dados obtidos demonstram que o ciclo anual fitoplanctônico enquadra-se no primeiro tipo.

Desta forma, observa-se uma variação sazonal da clorofila *a* no rio Arari, onde as condições mais favoráveis para atividade fotossintética ocorreram no período chuvoso, quando a profundidade máxima de penetração do disco de Secchi foi 4,5 vezes maior que no menos chuvoso, por outro lado durante o período menos chuvoso, a concentração de MPS aumenta e em conseqüência a profundidade de penetração do disco de Secchi diminui e apesar do incremento nas concentrações de nutrientes a clorofila *a* diminui, isso revela que a disponibilidade de luz é o principal fator limitante da produtividade primária no rio Arari.

Neste sentido, o aporte terrígeno, que no caso do rio Arari provavelmente é de fonte autóctone e ocasionado por processos de ressuspensão, parece influir significativamente no comportamento fitoplanctônico, inibindo o crescimento da flora planctônica no período menos chuvoso, culminando em um comportamento inverso ao observado em outras regiões amazônicas. Apesar da radiação fotossinteticamente ativa ter pouca influência como fator limitante nas regiões tropicais, nestas áreas a luz pode ser um fator limitante quando os ambientes costeiros estão sujeitos ao aporte de material em suspensão (Tundisi, 1986). Isto fica comprovado na área estudada, que se localiza em região reconhecidamente tropical e cujos valores de transparência da água não ultrapassam 0,6 m.

## 7 CONCLUSÃO

O rio Arari é um ambiente altamente dinâmico, drena a região de campos da ilha de Marajó, que sazonalmente é alagada e apresenta-se como um imenso “*wetland*”, sua foz está localizada na parte superior do estuário do rio Pará (Baía de Marajó), onde os valores de salinidade correspondem à zona de rio, indicando uma forte influência da descarga continental, que mesmo no período menos chuvoso não permite o avanço de águas salobras provenientes do Oceano Atlântico. A maré é do tipo semidiurna, com ocorrência de maré dinâmica e ausência de maré salina, o regime é de mesomarés e dominado pela maré enchente nas estações Santana e Murutucú e micromaré na estação Cachoeira do Arari. Os valores dos parâmetros físicos e físico-químicos são característicos de um rio de águas brancas.

A Análise dos dados mostraram que, no período chuvoso, a grande descarga de água do rio Arari promove a mistura das águas ao longo do rio, dessa maneira é pouco intensa a diferença entre as águas das estações estudadas. Por outro lado durante o período menos chuvoso ocorre uma divisão do rio de acordo com as três estações estudadas, as águas apresentam características distintas, com valores característicos para cada região do rio, além de padrões de distribuição espacial, com gradientes crescentes ou decrescentes, de acordo com o parâmetro estudado. Para este último caso, o estudo revela que a influência da maré determina essa diferenciação nas águas ao longo do rio, o que pode ser em função das diferentes amplitudes de maré observadas. Com a diminuição do nível da água o rio Arari se torna bastante raso, durante este período a ação dos ventos é mais intensa, assim como as marés, essa ação conjunta favorece os processos de resuspensão, e oxigenação das águas.

O conhecimento da intensidade das diferentes forças: ventos, precipitação, evaporação, altura do nível do rio e das marés é de fundamental importância para dar suporte à tomada de decisões, principalmente em situações de emergência, como ocorridos em 2009, de chuvas e secas intensas. Para isso é necessário que a rede de monitoramento climático, estações fluviométricas de Santana do Arari, Cachoeira do Arari e Santa Cruz do Arari seja reativada imediatamente e, assim, os índices meteorológicos possam ser previstos com maior precisão. Além disso, a implantação de uma rede de monitoramento da qualidade das águas se torna imprescindível para a região da bacia hidrográfica do rio Arari, pois, através do monitoramento de pontos chaves dentro da bacia, próximo a áreas urbanas e fazendas de criação de gado se tornaria possível identificar prováveis fontes poluidoras e determinar a capacidade de autodepuração destas águas.

Os valores de fosfato e nutrientes nitrogenados encontrados no presente estudo sugerem que o rio Arari é um ambiente eutrófico. A oxigenação do rio Arari acompanha o aumento da hidrodinâmica, que ocorre no período menos chuvoso, esta demonstra ser favorecida pelos ventos e apresenta fraca correlação com a clorofila *a*, ou seja, a atmosfera é a principal fonte de oxigênio para as águas do rio Arari. Esta oxigenação favorece diretamente o processo de nitrificação. O Fosfato e o silicato revelaram as suas fontes terrígenas, com maiores valores associados à liberação por meio de processos de resuspensão. O aumento nas concentrações de nutrientes está associado à diminuição da turbidez da água e dos valores de clorofila *a*, revelando que o principal fator limitante da produtividade primária no rio Arari é a disponibilidade de luz.

Através das análises estatísticas, foram observadas diferenças significativas entre os períodos estudados, o que demonstra uma grande influência de diversos fatores como descarga fluvial, turbulência, precipitação e marés na dinâmica dos processos que ocorrem no rio Arari.

## REFERÊNCIAS

- ANA - Agência Nacional de Águas. 2003; Ministério do Meio Ambiente (MMA). Plano Nacional de Recursos Hídricos: Documento Base de Referência – Minuta. Brasília- DF.
- APHA - American Public Health Association . 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: Library of Congress. 21st Ed.
- Bemerguy, R. L. 1982. Estudo sedimentológico dos paleocanais da região do rio Paracauari, Ilha de Marajó-PA. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 95 p.
- Bini, L.M. 2004. Análises multivariadas e limnologia: exploração, síntese e inferência de um mundo aquático complexo. In: Brigante,J. & Espíndola, E. L. G. (Ed.). Limnologia Fluvial: Um estudo no Rio Mogi-Guaçu. São Carlos: RiMa. 73-107pp.
- Brasil. 2007. Presidência da República, Casa Civil, Grupo Executivo Interministerial. Decreto de 30 de julho de 2007. Plano de Desenvolvimento Territorial Sustentável do Arquipélago do Marajó. 296p. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/>. Acessado em 14/08/2008.
- Brigante, J.; Espíndola, E. L.G.; Povinelli, J.; Nogueira, A. M. 2003. Caracterização física, química e biológica da água do rio Mogi-Guaçu. in: Brigante,J. & Espíndola, E. L. G. (Ed.). Limnologia Fluvial: Um estudo no Rio Mogi-Guaçu. São Carlos: RiMa. 55-76 pp.
- Brydsten, L. 1992. Wave-induced sediment suspension in the Ore estuary, northern Sweden. *Hydrobiologia* 235(236): 71–83.
- Carmouze, J. P. 1994. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos – Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas: Editora FAPESP. 253 p.
- Castro, D. F.; Oliveira, P.E.; Rossetti, D. F. 2008. Análise palinológica de sedimentos quaternários na margem leste da ilha de Marajó, Brasil. In: Cong. Bras. Geol., 44, Curitiba:. *Anais*, resumo, v. 1. p. 1004-1004.
- Chaparro O.R.; Chaparro, C.J. Segura, Y.A. Montiel, R.J. Thompson and J.M. Navarro. Variations in the quantity and composition of seston from an estuary in southern Chile on different temporal scales. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76 (4) (2008), pp. 815–830.
- Chen, S.-L., G.-A. Zhang, S.-L. Yang, and J.Z. Shi. 2006. Temporal variations of fine suspended sediment concentrations in the Changjiang River estuary and adjacent coastal waters, China. *Journal of Hydrology* 331: 132–145.
- Cohen, M.C.L. 1998. Nutrientes e outros fatores relacionados à produção primária nas águas do manguezal de Bragança-PA. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 105 p.
- Cohen, M.C.L, Lara, R.J, Smith, C.B, Angélica, R.S, Dias, B.S, Pequeno, T. 2008. Wetland dynamics of Marajó Island, northern Brazil, during the last 1000 years. *Catena* 76, 70-77.

- Costa, L. S.; Huszar, V. L. M. ; Ovalle, A. R. C. 2009. Phytoplankton Functional Groups in a Tropical Estuary: Hydrological Control and Nutrient Limitation. *Estuaries and Coasts*, v. 32, p. 508-521.
- Cruz Segundo, E. I. 2009. Estudo de energia eólica para a Ilha de Marajó – PA, Dissertação de Mestrado, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 97p.
- Cunha, H. B.; Pascoaloto, D. (2a. Edição) 2009. Hidroquímica dos rios da Amazônia. Manaus: V. 01. 124 p.
- Day, J. W.; Hall, C. A. S.; Kemp, W. M. 1989. Estuarine Ecology. New York: John Wiley & Sons. 558 p.
- DeMaster, D. J.; Pope, R. H. 1996. Nutrient dynamics in Amazon shelf waters: results from AMASSEDS. *Continental Shelf Research*. Oxford, v.16, n.3, p.263- 289.
- Eschrique, S. A.; Santos, M. L. S.; Saraiva, A. L. L.; Delfino, I. B.; Botelho, V.F. 2006. Estudo dos nutrientes no ambiente pelágico adjacente à costa do estado do Pará. *Arquivos de Ciências do Mar*, v. 39, p. 120-130.
- Eschrique, S. A. 2007. Hidrogeoquímica do fósforo no Estuário do Jaguaribe (CE). Dissertação de Mestrado, LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, 100p.
- Eschrique, S. A; Marins, R. V.; Moreira, M. O. P.; Almeida, M. D. 2008. Hidrogeoquímica do Fósforo no Estuário do Jaguaribe (CE), In: Braga, E.S. (org.). Oceanografia e Mudanças Globais, Universidade de São Paulo. p.629-647.
- Eskinazi-Leça, E. 1990. Estudos ecológicos do fitoplâncton na plataforma continental de Pernambuco. In: Encontro Brasileiro de Plâncton, 4., Recife. *Anais*, p. 1-54. Recife: Universidade Federal de Pernambuco.
- Esteves, F. A. (2. Ed. ) 1998. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Interciência. 602p.
- França, C. F. de. 2003. Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da ilha de Marajó (PA). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Para. 144 p.
- Freitas, M.A.V. 2003. Gestão de Recursos Hídricos na Bacia Amazônica. Manaus, ANA, (CD-ROM).
- Gabioux, M. 2002. Influência da lama em suspensão sobre a propagação da maré na plataforma Amazônica. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 99p.
- Glé, C.; Amo, Y. D.; Sautour, p.; Laborde , P.; Chardy, P. 2008. Variability of nutrients and phytoplankton primary production in a shallow macrotidal coastal ecosystem (Arcachon Bay, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. (76) 642-656pp.
- Góes, A.M.; Rossetti, D. F. 2007. Decifrando fontes de sedimentos quaternários na Ilha do Marajó com base em minerais pesados. In: Cong. ABEQUA, 11, CD-Rom.



- Gorayeb, A. 2008. Análise integrada da paisagem na bacia hidrográfica do rio Caeté- Amazônia Oriental-Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 208p.
- Grasshoff, K.; Ehrhardt, M.; Kremling, K. (2.ed.) 1983. Methods of seawater analysis. Florida: Verlage Chemie. 417 p.
- Horbe, A.M.C., Gomes, I.L.F.; Miranda, S.F.; Silva, M.S.R. 2005. Contribuição à hidroquímica de drenagens no município de Manaus – AM. *Acta amazônica*. Vol. 35(2) 2005: 119 – 124pp.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Estimativas das populações residentes, em 1º de julho de 2009, segundo os municípios. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2009/POP2009\\_D\\_OU.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2009/POP2009_D_OU.pdf). Acessado em 15 de março de 2010.
- IDESP. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará. 1974. Estudo integrados da Ilha de Marajó. Belém. 333p.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2010. Monitoramento das Estações Automáticas - Consulta Dados da Estação Automática: SOURE (PA). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>. Acesso em 01/03/2010.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. MCT/INPE/CPTEC. 2009a. Boletim de Informações climáticas (INFOCLIMA) ano 16, n 4, 23 de abril de 2009. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/infoclima/climatologia.shtml>. acesso em 12/02/2010.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. MCT/INPE/CPTEC. 2009b. Boletim de Informações climáticas (INFOCLIMA) ano 16, n 5, 25 de maio de 2009. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/infoclima/climatologia.shtml>. acesso em 12/02/2010.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. MCT/INPE/CPTEC. 2009c. Boletim de Informações climáticas (INFOCLIMA) ano 16, n 6, 19 de junho de 2009. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/infoclima/climatologia.shtml>. acesso em 12/02/2010.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. MCT/INPE/CPTEC. 2009d. Boletim de Informações climáticas (INFOCLIMA) ano 16, n 9, 22 de setembro de 2009. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/infoclima/climatologia.shtml>. acesso em 12/02/2010.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. MCT/INPE/CPTEC. 2009e. Boletim de Informações climáticas (INFOCLIMA) ano 16, n 11, 24 de novembro de 2009. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/infoclima/climatologia.shtml>. acesso em 12/02/2010.
- Junk, W. J.; Robertson, B.A.; Darwich, A.J; Vieira, I. 1981. Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-Una, a primeira represa hidrelétrica na Amazônia Central. *Acta amazônica*. 11 (4):689-716.

- Junk, W. J. 1983. As águas da região amazônica. In: SALATI, E. *et al.* 1983. Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo: Brasiliense; Brasília. 112p.
- Kessarkar, P.M.; Rao, V. P.; Shynu R.; Mehra, Prakash.; Viegas, B.E. 2010. The nature and distribution of particulate matter in the Mandovi Estuary, Central West Coast of India. *Estuaries and Coasts*. 33:30–44pp.
- Kjerfve, B. 1987. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: Day Jr.; Hall, C.H.A.S.; Kemp, W.M.; Yánez-Arancibia, A. *Estuarine Ecology*. New York, Wiley, 47-78pp.
- Landim, P. M. B. 2000. Análise estatística de dados geológicos multivariados. Universidade Estadual de São Paulo (UNESP). Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Departamento de Geologia Aplicada. Campus de Rio Claro - SP. 23-39p.
- Lara, Rubén; Dittmar, T. 1999. Nutrient dynamics in a mangrove creek (North Brazil) during the dry season. *Mangroves and Salt Marshes*, Holanda, v. 3, p. 185-195.
- Lima, A.M. M de; Oliveira, L. L de; Fontinhas, R. L; Lima, R.J.S. 2005. Ilha do Marajó: Revisão histórica, hidroclimatologia, bacias hidrográficas e propostas de gestão. *HOLOS Environment*, v.5 n.1. p65.
- Lima, C.M. de; Pessenda, L.C.R. ; Rossetti, D.F. ; Rosário, C.S. 2007. Valores isotópicos (C-13) da matéria orgânica fóssil como indicativos do início da formação dos campos no leste da Ilha de Marajó (PA) durante o Holoceno. In: Cong. ABEQUA (11). CD-ROM.
- Lima, C. M.(b); Pessenda, L. C. R. ; Rossetti, D. F. ; Silva, C.A.S. 2008. Holocene climate changes in the western Marajó Island (Brazilian Amazon) by use of carbon isotopes of soil organic matter. In: South American Symp. on Isotope Geol. (6), 2008, San Carlos de Bariloche. Proceedings of the VI -SSAGI.
- Maotian, L.; Kaiqin X.; Masataka, W.; Zhongyuan, C. 2007. Long-term variations in dissolved silicate, nitrogen, and phosphorus flux from the Yangtze River into the East China Sea and impacts on estuarine ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 71. 3-12pp.
- Martorano, L.G. *et al.* 1993. Estudo climático do estado do Pará, Classificação climática e deficiência hídrica. *SUDAM/EMBRAPA*. Belém. 64p.
- Massart, D. L.; Vandeginste, B.G.M.; Buydens, L.M.C.; Jong, S.; Lewi, P.J.; Smeyers Verbeke, J. 1998. Handbook of chemometrics and qualimetrics. Amsterdam: Elsevier. part A, cap. 17. 849p.
- Melack, J.M. & Fisher, T.R. 1983. Diel oxygen variations and their ecological implications in Amazon floodplain Lakes. *Arch. Hydrobiol.* 98: 422-442pp.
- Milliman, J. D.; Summerhayes, C. P.; Barretto, H. T. 1974. Contribuição ao estudo de material em suspensão na plataforma continental do Amazonas. In: Cong. Bras. Geol., (28), Porto Alegre. *Anais*, v. 3, p. 263- 282.

- Miranda, L. B. & Castro, B. M. B. 2002. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 400 p. (Academica 42).
- Miranda, M.C.C.; Rossetti, D. F. 2007. Paleoambientes do pleistoceno tardio-holoceno na área do lago Arari, Ilha do Marajó. In: ABEQUA, Cong. ABEQUA, 11, CD-ROM.
- Miranda, M.C.C.; Rossetti, D. F. 2007. Isótopos de Carbono e razão C/N em sedimentos quaternários na área do lago Arari, leste da Ilha do Marajó. In: ABEQUA, Cong. ABEQUA, 11, CD-ROM.
- Miranda, M.C.C.; Behling, H.; Rossetti, D. F. 2007. Palinologia de sedimentos quaternários, área do lago Arari, leste da Ilha do Marajó (PA). In: ABEQUA, Cong. ABEQUA, 11, CD-ROM.
- Miranda, A. C. DA C. ; Rossetti, D. F. 2009. Quaternary paleoenvironments and relative sea-level changes in Marajó Island (Northern Brazil): Facies,  $^{13}C$ ,  $^{15}N$  and C/N. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 282, p. 19-31.
- Monteiro, S.M. 2009. Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do rio Paracauari - Ilha do Marajó – PA. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Para. 137 p.
- Moraes, B.C.; Costa, J.M.N.; Costa, A.C.L.; Costa, M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, Vol. 35(2): 207 – 214.
- Mullin, J.B. & Riley, J.P. 1955. The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters. *Anal. Chim. Acta* 12: 162–176.
- Nittrouer, C. A., DeMaster, D. J. 1996. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, New York, v. 16, n.5/6, p. 553-574.
- Palma, J. J. C. 1979. Geomorfologia da plataforma continental norte brasileira. Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes: *projeto REMAC*. [S. l.: s. n.]. p.29- 51.
- RADAM BRASIL. 1974. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Folha SA.22 Belém Rio de Janeiro: DNPM, 1 mapa col. (Levantamento de Recursos Naturais, 5).
- Reddy, K.R. & R.D. DeLaune. 2008. Biogeochemistry of wetlands. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Reis, C.M.; Tancredi, A.C.F.N.S.; Matsui, E; Salati, E. 1977. Caracterização das águas da região de Marajó através de Concentrações de O-18 e D. *Acta Amazonica*, 7: 209-222.
- Ribeiro, J.S.B.; Bringel, S.R.B; Santos, A. 1978. Hidroquímica na Amazônia central. II. Flutuações no fluxo de saída de nitrogênio e fósforo em dois ecossistemas da Amazônia. *Acta Amazônica* 8 (3):409-416.

- Rossetti, D.F. 2001. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences*, v.14, 77- 89p.
- Rossetti, D.F., Valeriano, M.M., 2007. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. *Catena* 70, 253–265pp.
- Rossetti, D.F., Góes, A.M., Valeriano, M.M., Miranda, M.C., 2008. Quaternary tectonics in a passive margin: Marajó Island, northern Brazil. *Journal Quat. Sci.* 23, 121–135pp.
- Rossetti, D. F.; Góes, A. M. ; Toledo, P. M. 2009. Archaeological Mounds in Marajó Island (Northern Brazil): A Geological Perspective Integrating Remote Sensing and Sedimentology. *Geoarchaeology* (New York), v. 24, p. 22-41.
- Santos, A.; Ribeiro, M.N.G.; Ribeiro, J.S.B. 1981. Hidroquímica da Amazônia central; químicas da água de lavagem da floresta no ecossistema campina. *Acta Amazonica*, 11(2):335-46, jun.
- Santos, A.; Ribeiro, M.N.G. 1988. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. *Acta Amazônica*, 18 (3-4) 145-172.
- Santos, M. L. S. 2000. Influência dos rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplanctônica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 92 p.
- Santos, M.L.S.; Abreu, M.W.M.; Eschrique, S.A. 2001. Estudo dos Nutrientes na Plataforma Continental Norte (Costa do Estado do Pará). In: Semana Nacional de Oceanografia, 15, *Livro de Sínteses*, p.86. Rio Grande- RS.
- Santos, M. L. S. ; Alves, I. C. C.; Sodr e, S.S.V.; Xavier, D.A. Distribui o de nutrientes no Rio Guamá (PA): trecho entre Belém e São Miguel do Guamá. In: *Cong. Bras. de Quím.*, 46, 2006, Salvador.
- Santos, M. L. S.; Muniz, K.; Barros Neto, B.; Feitosa, F.A.N. 2007. Estudo das diferentes formas de fósforo nas  guas da Plataforma Continental do Amazonas. *Química Nova*, v. 30, p. 569-573.
- Santos, M. L. S.; Medeiros, C.; Muniz, K.; Feitosa, F.A.N.; Schwamborn, R.; Macedo, S.J. 2008. Influence of the Amazon and Pará Rivers on Water Composition and Phytoplankton Biomass on the Adjacent Shelf. *Journal of Coastal Research*, v. 24, p. 585-593.
- Santos, M.L.S.; Muniz, K.; Barros Neto, B.; Araujo, M. 2008. Nutrient and Phytoplankton Biomass in the Amazon River Shelf Waters. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 80, p. 703-717.
- Sarma, V.V.S.; Gupta, S.N.M.; Babu, P.V.R.; Acharya, T.; Harikrishnachari, N.; K., Vishnuvardhan, N.S. Rao, N.P.C; Reddy, V.V; Sarma, Y; Sadhuram, T.V.R; Murty, Kumar, M.D. 2009. Influence of river discharge on plankton metabolic rates in the tropical monsoon driven Godavari estuary, India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85. 515–524.

- Schoelhamer, D.H. 2001. Influence of salinity, bottom topography and tides on locations of estuarine turbidity maximum in northern San Francisco Bay. In *Coastal and estuarine fine sediment transport processes*, eds. W.H. Mc Anally, and Mehta A.H., 343–357. Elsevier Science B.V.
- Scully, M.E & C.T. Friedrichs. 2007. Sediment pumping by tidal asymmetry in a partially mixed estuary. *Journal of Geophysical Research* 112.
- Sioli, H. 1957. Valores de pH de águas Amazônicas. *Boletim do museu paraense Emilio Goeldi. Geologia* 1: 1-35.
- Souza, L. S. B. & Rossetti, D. F. 2009. Análise morfoestrutural na porção leste da Ilha do Marajó/PA. In: SBSR-Simp. Bras. Sens. Remoto, 14, Natal. p. 3387-3394.
- Souza, L.S.B; Rossetti, D. F. ; Elis, W. R. 2009. Sondagem Elétrica Vertical na Ilha do Marajó. In: Simp. de Geol. da Amaz., 9, Manaus. Cd-ROM: Temas Técnico-Científicos (Geofísica, sensoriamento remoto/SIG).
- Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. 1972. A practical handbook of sea water analysis. *Bulletim Fisheries research board of Canada*, Ottawa, n. 167, p. 1- 311.
- Stumm, W. & Morgan, J.J. (3a. Ed.) 1996. Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters, New York, John Wiley & Sons.
- Teixeira, C. 1973. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. *Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo*, São Paulo, v. 22, p. 59-92.
- Teixeira, J.V.B. & Costa, L.T.R. 1992. Estudo Integrado da região de Soure - Salvaterra - Marajó (PA). Estágio de campo III: Sub-area X, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Para. 153 p.
- Tundisi, J. G. 1986. Estudos ecológicos do fitoplâncton marinho e lacustre no Brasil: situação atual e perspectivas. In: Bicudo, C.E.; Tundisi, J. G. *Algas a Energia do Amanhã*. [S.l.:s.n.]. p. 27-48.
- UNESCO. 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea water: report of SCOR/UNESCO, working group 17 with meeting from to 6 June 1964. Monographs on Oceanography Methodology, 1. Paris, 69 p.
- Vital, H. 1988. Estudo do Geossistema do lago Arari, ilha do Marajó- Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 106p.
- Vital, H. & Stattger. 1989. Estudo do Geossistema do Lago Arari, Ilha de Marajo-PA. RBG - *Revista Brasileira de Geociências*, Brasil, v. 19, n. 4, p. 514-515.
- Zhuo, Y.Z; Wai, M.; Liu, S.M.; Jing, Z.; Jay, C.C.; Ying, W. 2009. Estuarine phytoplankton dynamics and shift of limiting factors: A study in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and adjacent area. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84, 393–401p.