



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ-UFPA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTU SENSO: ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS
LINHA DE PESQUISA: SANEAMENTO AMBIENTAL E SISTEMAS DE
INFRAESTRUTURA URBANA

ADAELSON CAMPELO MEDEIROS

**OBTENÇÃO DO IQA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA
ÁGUA EM RIOS DOS MUNICÍPIOS DE ABAETETUBA E
BARCARENA (PA)**

**BELÉM
2012**

ADAELSON CAMPELO MEDEIROS

**OBTENÇÃO DO IQA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA
ÁGUA EM RIOS DOS MUNICÍPIOS DE ABAETETUBA E
BARCARENA (PA)**

Orientador: Neyson Martins Mendonça
Titulação: Doutor em Hidráulica e Saneamento-EESC-USP.
Instituição: UFPA.

Banca Examinadora:

Membro: Luiza Carla Girard Mendes Teixeira.
Titulação: Doutora em Ciências-UFPA.
Instituição: UFPA.

Membro: Marcelo Oliveira Lima
Titulação: Doutor em Química-UFPA.
Instituição: IEC.

Membro: Simone de Fátima Pinheiro Pereira.
Titulação: Doutora em Química-UFBA.
Instituição: UFPA.

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil-Area de Concentração: Recursos Hídricos e Linha de Pesquisa: Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Pará-UFPA. Tendo como Orientador: Dr. Neyson Martins Mendonça.

BELÉM
2012

ADAELSON CAMPELO MEDEIROS

**OBTENÇÃO DO IQA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA
ÁGUA EM RIOS DOS MUNICÍPIOS DE ABAETETUBA E
BARCARENA (PA)**

Aprovado em: ___/___/2012.

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil-Area de Concentração: Recursos Hídricos e Linha de Pesquisa: Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Pará-UFPA. Tendo como Orientador: Dr. Neyson Martins Mendonça.

DEDICATÓRIA

Aos meus estimados pais Manoel Costa Medeiros e Adaléa Campelo Medeiros que sempre me mostraram o caminho certo com seus bons exemplos de vida e caráter.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o criador da vida e o caminho para a paz interior.

Ao Instituto Evandro Chagas (IEC), pela oportunidade de aprendizado ao longo dos anos e grande contribuição para a realização deste estudo.

À diretora do IEC, Elisabeth Conceição de Oliveira Santos, pela oportunidade profissional concedida há muitos anos atrás.

Aos amigos da Seção de Meio Ambiente (SAMAM) por todo apoio concedido no desenrolar deste estudo, em especial, aos cinco amigos do laboratório de Toxicologia (Bruno, Kelson, Kleber, Marcelo e Rosivaldo) e às pesquisadoras colaboradoras Íris e Thaís.

À Universidade Federal do Pará e ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) pela tolerância e paciência para a finalização deste estudo.

Ao orientador Prof. Dr. Neyson Martins Mendonça pelas instruções, confiança e paciência no desenrolar deste estudo.

À Coordenação e docentes do PPGEC pela oportunidade de defesa deste trabalho e ensinamentos passados em cada disciplina ministrada.

Ao Prof. Dr. Cláudio Nahum Alves e toda equipe do Laboratório de Simulação Computacional em Meio Ambiente (LSCMAM)-UFPA por todo apoio concedido na elaboração dos mapas referentes à localização das áreas de estudo.

Ao Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa do curso de pós-graduação em geologia e geoquímica da UFPA, que no momento em que precisei de informações de trabalhos desenvolvidos em rios amazônicos, para comparar com os dados deste estudo, o mesmo se prontificou para ajudar.

Aos meus pais pelos seus bons exemplos de vida, meus irmãos e minha namorada pela boa convivência e apoio a cada conquista ou dificuldade.

A todos em geral, familiares e amigos, que através de orações e incentivos me deram forças para enfrentar as grandes dificuldades da vida.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
SUMÁRIO.....	iii
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xii
LISTA SÍMBOLOS	xv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	03
2.1 OBJETIVO GERAL	03
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	03
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
3.1. QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	04
3.2. ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	06
3.3. CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS DE ESTUDO	16
3.2.1. Características da Área de Estudo em Abaetetuba/PA.	16
3.2.1.1. Localização	17
3.2.1.2. Limites	17
3.2.1.3. Solos	17
3.2.1.4. Vegetação	17
3.2.1.5. Topografia.....	18
3.2.1.6. Geologia e relevo	18
3.2.1.7. Hidrografia.....	18
3.2.1.8. Clima	18
3.2.2. Características da Área de Estudo em Barcarena/PA.	19
3.2.2.1. Localização	19
3.2.2.2. Limites	19
3.2.2.3. Solos	20
3.2.2.4. Vegetação	20

3.2.2.5. Topografia.....	20
3.2.2.6. Geologia e relevo	20
3.2.2.7. Hidrografia.....	21
3.2.2.8. Clima	21
3.2.3. Intensidade Pluviométrica na Área de Estudo.....	4
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	23
4.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	24
4.3. PROCEDIMENTOS DE COLETA.....	30
4.4. VARIÁVEIS ANALISADAS	32
4.4.1. Análise Físico-Química e Exame Microbiológico	32
4.5. CÁLCULO DO IQA.....	35
4.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DOS RIOS ESTUDADOS	53
5.1.1. Caracterização Rio Arapiranga	53
5.1.1.1. Temperatura	53
5.1.1.2. pH.....	55
5.1.1.3. OD	57
5.1.1.4. DBO.....	59
5.1.1.5. <i>Coliformes Termotolerantes</i>	61
5.1.1.6. Nitrogênio Total.....	63
5.1.1.7. Fósforo Total.....	65
5.1.1.8. Resíduo Total.....	67
5.1.1.9. Turbidez.....	69
5.1.1.10. IQA	71
5.1.2. Caracterização Rio Murucupi	73
5.1.2.1. Temperatura	73
5.1.2.2. pH.....	74
5.1.2.3. OD	76
5.1.2.4. DBO.....	79
5.1.2.5. <i>Coliformes Termotolerantes</i>	81

5.1.2.6. Nitrogênio Total.....	83
5.1.2.7. Fósforo Total.....	85
5.1.2.8. Resíduo Total.....	88
5.1.2.9. Turbidez.....	89
5.1.2.10. IQA	71
5.1.3. Análise Multivariada.....	93
5.1.3.1. Análises de agrupamentos hierárquicos, componentes principais e correlação de Pearson sobre os dados das variáveis determinadas nos rios Arapiranga e Murucupi nos períodos chuvoso e seco em condições de maré baixa-mar e preamar	93
5.1.3.2. Análises de agrupamentos hierárquicos e componentes principais sobre os dados dos IQAs determinados nos rios Arapiranga e Murucupi nos períodos chuvoso e seco em condições de maré baixa-mar e preamar	110
6. CONCLUSÕES	117
7. REFERÊNCIAS.....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Variáveis e respectivos pesos IQA.	08
Figura 3.2: Curva média de variação de qualidade para Temperatura.	11
Figura 3.3: Curva média de variação de qualidade para pH.	11
Figura 3.4: Curva média de variação de qualidade para OD.	11
Figura 3.5: Curva média de variação de qualidade para DBO.	11
Figura 3.6: Curva média de variação de qualidade para <i>Coliformes Termotolerantes</i>	12
Figura 3.7: Curva média de variação de qualidade para Nitrogênio Total.	12
Figura 3.8: Curva média de variação de qualidade para Fósforo Total.	12
Figura 3.9: Curva média de variação de qualidade para Resíduo Total.	12
Figura 3.10: Curva média de variação de	13
Figura 3.11: Mapa de Localização dos pontos de amostragem no Rio Arapiranga.	19
Figura 3.12: Mapa de Localização dos pontos de amostragem no Rio Murucupi.	4
Figura 3.13: Intensidade pluviométrica no município de Barcarena/PA.	4
Figura 4.1: Mapa de Localização dos pontos de amostragem no rio Arapiranga.	25
Figura 4.2: Mapa de Localização dos pontos de amostragem no rio Murucupi.	26
Figura 4.3: Mapa da distância em linha reta entre os pontos de amostragem nas áreas de estudo.	27
Figura 4.4: Fluxograma do resumo das etapas e atividades desenvolvidas no estudo.	28
Figura 4.5: Trabalho de Campo nos rios monitorados.	31
Figura 4.6: Análises físico-químicas e exames microbiológicos.	34
Figura 4.7: Fluxograma do resumo esquemático da estatística descritiva e analítica aplicadas sobre os dados das variáveis analisadas no rio Arapiranga.	42
Figura 4.8: Fluxograma do resumo esquemático da estatística descritiva e analítica aplicadas sobre os dados das variáveis analisadas no rio Murucupi.	43
Figura 4.9: Fluxograma do resumo esquemático da estatística descritiva, analítica e análise multivariada aplicadas aos dados dos IQAs determinados nos rios Arapiranga e Murucupi.	44
Figura 5.1: Comparação sazonal dos valores de temperatura no rio Arapiranga	

na baixa-mar e preamar de 2009.	54
Figura 5.2: Comparação sazonal dos valores de pH no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.	57
Figura 5.3: Comparação sazonal dos valores de Oxigênio Dissolvido no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.	59
Figura 5.4: Comparação sazonal dos valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.	61
Figura 5.5: Comparação sazonal dos valores de <i>Coliformes Termotolerantes</i> no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.	63
Figura 5.6: Comparação sazonal dos valores de Nitrogênio Total no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.	64
Figura 5.7: Comparação sazonal dos valores de Fósforo Total no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.	66
Figura 5.8: Comparação sazonal dos valores de Resíduo Total no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.	69
Figura 5.9: Comparação sazonal dos valores de Turbidez no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.	71
Figura 5.10: Comparação sazonal dos valores dos IQAs no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.	72
Figura 5.11: Comparação sazonal dos valores de temperatura no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.	74
Figura 5.12: Comparação sazonal dos valores de pH no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.	76
Figura 5.13: Comparação sazonal dos valores de Oxigênio Dissolvido no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.	78
Figura 5.14: Comparação sazonal dos valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.	80
Figura 5.15: Comparação sazonal dos valores de <i>Coliformes Termotolerantes</i> no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.	83
Figura 5.16: Comparação sazonal dos valores de Nitrogênio Total no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.	85
Figura 5.17: Comparação sazonal dos valores de Fósforo Total no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.	87

Figura 5.18: Comparação sazonal dos valores de Resíduo Total no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.	89
Figura 5.19: Comparação sazonal dos valores de Turbidez no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.	91
Figura 5.20: Comparação sazonal dos valores dos IQAs determinados no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.	92
Figura 5.21: Análise de agrupamento hierárquico sobre os dados das variáveis determinadas no período chuvoso em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.	94
Figura 5.22: Análise de componentes principais do tipo score plot e loading plot sobre os dados das variáveis determinadas no período chuvoso em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.	97
Figura 5.23: Análise de agrupamento hierárquico sobre os dados das variáveis determinadas no período seco em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.	102
Figura 5.24: Análise de componentes principais do tipo score plot e loading plot sobre os dados das variáveis determinadas no período seco em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.	105
Figura 5.25: Análise de agrupamento hierárquico sobre os dados dos IQAs determinados no período chuvoso em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.	110
Figura 5.26: Análise de componentes principais do tipo score plot sobre os dados dos IQAs determinados no período chuvoso em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.	113
Figura 5.27: Análise de agrupamento hierárquico sobre os dados dos IQAs determinados no período seco em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.	114
Figura 5.28: Análise de componentes principais do tipo score plot sobre os dados dos IQAs determinados no período seco em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Dados analíticos de variáveis determinadas em corpos hídricos superficiais na região amazônica.	05
Tabela 3.2: Faixa de Valores do IQA	13
Tabela 4.1: Coordenadas geográficas, distância entre os pontos de amostragem e distância acumulada em relação ao ponto ARA-01 do rio Arapiranga.....	25
Tabela 4.2: Coordenadas geográficas, distância entre os pontos de amostragem e distância acumulada em relação ao ponto MUR-01 do rio Murucupi.	26
Tabela 4.3: Tábuas de marés do Porto de Vila do Conde referentes aos dias de amostragem nos rios estudados em 2009.	29
Tabela 4.4: Intervalo de coleta nos rios Arapiranga e Murucupi em 2009.	30
Tabela 4.5: Limite de Detecção do Método para algumas variáveis.....	35
Tabela 4.6: Equações representativas das curvas de qualidade do NSF, elaboradas pela CETESB para determinação dos valores de qi das variáveis <i>Coliformes Termotolerantes</i> , pH, DBO e Nitrogênio Total.....	36
Tabela 4.7: Equações representativas das curvas de qualidade do NSF, elaboradas pela CETESB para determinação dos valores de qi das variáveis Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Sólidos Totais e percentagem de saturação de OD.	37
Tabela 5.1: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Arapiranga da maré baixa-mar de janeiro de 2009.....	45
Tabela 5.2: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Murucupi da maré baixa-mar de janeiro de 2009.	45
Tabela 5.3: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Arapiranga da maré preamar de janeiro de 2009.	46
Tabela 5.4: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Murucupi na preamar de janeiro de 2009.	46
Tabela 5.5: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Arapiranga da maré baixa-mar de abril de 2009.....	47
Tabela 5.6: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Murucupi da maré baixa-mar de abril de 2009.	47
Tabela 5.7: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA	

de cada ponto e IQA_m do rio Arapiranga da maré preamar de abril de 2009.	48
Tabela 5.8: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Murucupi da maré preamar de Abril de 2009.....	48
Tabela 5.9: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Arapiranga da maré baixa-mar de julho de 2009.	49
Tabela 5.10: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Murucupi da maré baixa-mar de Julho de 2009.	49
Tabela 5.11: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Arapiranga da preamar de Julho de 2009.....	50
Tabela 5.12: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Murucupi da maré preamar de Julho de 2009.	50
Tabela 5.13: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Arapiranga da maré baixa-mar de outubro de 2009.	51
Tabela 5.14: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Murucupi da maré baixa-mar de outubro de 2009.....	51
Tabela 5.15: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Arapiranga da maré preamar de outubro de 2009.....	52
Tabela 5.16: Pontos de amostragem, horário, valores obtidos das variáveis, IQA de cada ponto e IQA_m do rio Murucupi da maré preamar de outubro de 2009.	52
Tabela 5.17: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Arapiranga no período chuvoso em condição de maré baixa-mar.....	98
Tabela 5.18: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Arapiranga no período chuvoso em condição de maré preamar.	99
Tabela 5.19: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Murucupi no período chuvoso em condição de maré baixa-mar.....	100
Tabela 5.20: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Murucupi no período chuvoso em condição de maré preamar.	101
Tabela 5.21: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis	

determinadas no rio Arapiranga no período seco em condição de maré baixa-mar.....	106
Tabela 5.22: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Arapiranga no período seco em condição de maré preamar.	107
Tabela 5.23: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Murucupi no período seco em condição de maré baixa-mar.	108
Tabela 5.24: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Murucupi no período seco em condição de maré preamar.	109

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAH	Análise de Agrupamento Hierárquico
AB	Arapiranga Baixa-mar
ACP	Análise de Componentes Principais
ALBRAS	Alumínio Brasileiro S.A.
ALUNORTE	Alumina do Norte do Brasil S.A.
Am	Clima de Monção ou Monçônico
ANA	Agência Nacional de Águas
AP	Arapiranga Preamar
APHA	American Public Health Association
ARABPC	Arapiranga Baixa-mar Período Chuvoso
ARAPPC	Arapiranga Preamar Período Chuvoso
Art.	Artigo
AWWA	American Water Works Association
BMWP	Biological Monitoring Working Party
CBM	Corpo de Bombeiros Militar
CDP	Companhia Docas do Pará
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CHOL	Chironomidae + Oligochaeta
cm	Centímetro
C_s	Concentração de Saturação
CT	<i>Coliformes Termotolerantes</i>
CV	Ceficiente de Variação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio do quinto dia a 20 °C
DP	Desvio Padrão
EPT	Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
EXP	Exponencial

H ₀	Hipótese nula
H ₁	Hipótese alternativa
HI	HANNA Instruments
IB	Índice de Balneabilidade
ICB	Índice da Comunidade Bentônica
ICF	Índice da Comunidade Fitoplanctônica
IEC	Instituto Evandro Chagas
IET	Índice do Estado Trófico
IMB	Índice Multimétrico Bentônico
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IQA _m	Índice de Qualidade das Águas valor Médio
IQA _{modelo}	Índice de Qualidade das Águas Modelo
IQAI	Índice de Qualidade de Águas para Culturas Irrigadas
IQETA	Índice de Qualidade de Estações de Tratamento de Água
IQNAS	Índice de Qualidade Natural de Águas Subterrâneas
IRCC	Ímerys Rio Capim Caulim
IS	Índice Sapróbio
IVA	Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas
k	Número de amostras
L	Litro
LDM	Limite de Detecção do Método
Log ₁₀	Logarítimo na base 10
LSCMAM	Laboratório de Simulação Computacional em Meio Ambiente
MAX	Valor Máximo
MB	Murucupi Baixa-mar
mg	Miligrama
MIN	Valor Mínimo
mm	Milímetros
MP	Murucupi Preamar
MUR	Murucupi
MURBPC	Murucupi Baixa-mar Período Chuvoso

MURPPC	Murucupi Preamar Período Chuvoso
N	Nitrogênio
N	Número de determinações
NA	Não Analidado
NMP	Números Mais Prováveis
NSF	National Sanitation Foundation
NSFWQI	National Sanitation Foundation Water Quality Index
NT	Nitrogênio Total
O	Oeste
OD	Oxigênio Dissolvido
OD %	Percentual de Saturação de Oxigênio Dissolvido
PA	Pará
PE	Pernambuco
pH	Potencial Hidrogeniônico
PT	Fósforo Total
qi	Qualidade da i-ésima variável, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida
RT	Resíduo Total
S	Sul
SAMAM	Seção de Meio Ambiente
SM	Standart Methods
SP	São Paulo
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos
SST	Sólidos Suspensos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
T	Temperatura da Água
TAC	Termo de Ajuste de Conduta
Turb	Turbidez
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
WEF	Water Environment Federation
wi	Peso da i-ésima variável

LISTA SÍMBOLOS

λ	Comprimento de onda
$^{\circ}$	Graus
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
ν	Grau de Liberdade
I, II, III...	Incisos
$>$	Maior
\pm	Mais ou menos
\bar{X}	Média
$<$	Menor
μ	Micro
'	Minutos
α	Nível de significância
‰	Partes por mil
$\%$	Percentagem ou porcentagem
"	Segundos
S	Siemens
®	Marca registrada
p	p -valor ou nível descritivo de significância

RESUMO

MEDEIROS, A.C.(2012). Obtenção do IQA para avaliação da qualidade da água em rios dos municípios de Abaetetuba e Barcarena (PA). Belém (PA), 130p. Dissertação, Engenharia Civil-Universidade Federal do Pará.

Este trabalho teve como finalidade a avaliação da qualidade das águas de dois rios amazônicos denominados de Arapiranga e Murucupi localizados nos municípios de Abaetetuba e Barcarena respectivamente, no Estado do Pará. Para esta avaliação, utilizou-se como principal ferramenta o Índice de Qualidade das Águas (IQA) calculado a partir de nove (09) variáveis analisadas. Os cálculos do IQA foram realizados de acordo com os critérios da CETESB-SP, adaptados da National Foundation Sanitation-EUA. Este estudo foi realizado no ano de 2009 e contemplou quatro campanhas de amostragem trimestrais envolvendo o período chuvoso e seco, sendo as variáveis determinadas em condições de marés baixa-mar e preamar. A partir dos dados das variáveis e IQAs determinados, foi possível realizar algumas comparações sobre a qualidade das águas dos rios estudados e para isso, aplicou-se sobre estes dados, a estatística descritiva, analítica e multivariada. Na estatística descritiva determinaram-se no período chuvoso e no seco os valores de média, desvio padrão, valores máximos e mínimos e coeficiente de variação. Para a verificação da distribuição amostral e nível significância dos dados gerados, realizou-se a partir da estatística analítica os testes de normalidade e de hipóteses respectivamente, comparando-se os dados das variáveis e dos IQAs do período chuvoso e do seco. A análise multivariada proporcionou uma melhor avaliação sobre a qualidade das águas destes dois rios através da análise de grupos. O rio Arapiranga apresentou condições de qualidade regular e boa, registrando-se valores médios dos IQAs no período chuvoso de $48 \pm 3,7$ e $51 \pm 5,6$ na maré baixa-mar e preamar respectivamente, no período seco esses valores foram de $48 \pm 4,6$ (maré baixa-mar) e $55 \pm 5,7$ (maré preamar). A partir dos valores dos IQAs determinados no rio Murucupi, observou-se condições de qualidade ruim, regular e boa nessas águas, sendo que, os valores médios obtidos no período chuvoso foram de $44 \pm 9,4$ e $51 \pm 10,3$ (maré baixa-mar e preamar), já no período seco esses valores foram de $51 \pm 8,3$ na maré baixa-mar e de $52 \pm 8,6$ na preamar. As ferramentas de avaliação utilizadas neste estudo proporcionaram uma boa visualização sobre a qualidade das águas nos dois rios, observando-se no geral, que houve diferença significativa de qualidade para essas águas em relação à comparação entre o período chuvoso e o seco. Percebe-se que o rio localizado no município de Barcarena/PA, sofre maior influência antropogênica em decorrência da maior área urbana em seu entorno, já no outro rio no município de Abaetetuba/PA, essa influência é menor.

Palavras-chave: Índice, Qualidade das Águas, Estatística, Rios Arapiranga e Murucupi.

ABSTRACT

MEDEIROS, A.C.(2012). Obtaining the WQI to assess water quality in rivers and the towns of Abaetetuba Barcarena (PA). Belém (PA), 130p. Dissertation, Civil Engineering-Federal University of Pará.

This study was aimed at assessing the quality of the waters of two rivers called Amazon Arapiranga Murucupi and the municipalities of Abaetetuba and Barcarena respectively, in the State of Pará. For this evaluation, was used as the main tool of the Water Quality Index (WQI) calculated from nine (09) variables. The WQI calculations were performed according to the criteria of SP-CETESB adapted National Sanitation Foundation, USA. This study was conducted in 2009 and included four sampling campaigns involving trimestrais the rainy season and dry, and variables in certain conditions of tide low tide and high tide. From the data of variables and WQIs determined, it was possible to make some comparisons on the quality of the rivers studied and it was applied on these data, descriptive statistics, analytical and multivariate. Descriptive statistics were determined during the rainy season and dry values of mean, standard deviation, minimum and maximum values and coefficient of variation. To verify the significance level and sample distribution of the data generated, was held from the statistical analytical tests of normality and hypotheses respectively, comparing the data of variables and WQIs in the rainy season and dry. The multivariate analysis provided a better assessment of water quality of these two rivers through the analysis of groups. The river conditions presented Arapiranga regular and good quality, recording average values of the rainy season WQIs 48 ± 3.7 and 51 ± 5.6 in the ebb-tide and high tide respectively during the dry season, these values were 48 ± 4.6 (low tide and high) and 55 ± 5.7 (low tide and high). From the values of certain WQIs Murucupi the river, we observed conditions of poor quality, regular and good in those waters, and the average values during the rainy season were 44 ± 9.4 and 51 ± 10.3 (low tide and high), in the dry period, these values were 51 ± 8.3 at low tide and 52 ± 8.6 at high tide. The assessment tools used in this study provided a good view on the quality of water in both rivers, observing in general, that there were differences significant quality for these waters with respect to the comparison between the rainy and dry. It is noticed that the river located in Barcarena / PA, undergoes major anthropogenic influence due to the largest urban area in its vicinity, as in other river in the city of Abaetetuba / PA, this influence is less.

Keywords: Índex, Water Quality, Statistics, Arapiranga and Murucupi Rivers.

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são áreas de captação natural das águas precipitadas, que através do escoamento superficial e infiltração subterrânea, seguem para os rios ou pontos de saída. As bacias hidrográficas são delimitadas por divisores de águas, sejam eles topográficos ou freáticos (FINOTTI, 2009). No contexto da gestão de recursos hídricos, considera-se na atualidade as principais bacias hidrográficas no Brasil: Amazônica, São Francisco, Parnaíba, Tocantins-Araguaia, Prata e Atlântico Sul (ANA, 2002; MAIA NETO, 1997 *apud* RIBEIRO, 2004). A bacia Amazônica é formada pelo rio Amazonas e seus afluentes com ocupação de 4.850.000 km², uma das maiores reservas hídricas no planeta (SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE HIDROLOGIA E CLIMATOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1984 *apud* NOBREGA, 2002).

Estudos vêm sendo realizados constantemente com objetivos de se avaliar as características das águas (quantidade e qualidade) tomadas como fonte de abastecimento público em rios amazônicos. Esses estudos apresentam algumas variáveis importantes para a região, dentre elas, o próprio Índice de Qualidade das Águas (IQA). Essas avaliações tornam-se uma importante ferramenta para auxiliar os representantes políticos, assim como, outras áreas multidisciplinares, sejam elas executoras ou pesquisadoras, conforme seus objetivos a fins. Essas informações sobre fontes hídricas e suas características favoráveis ao abastecimento público de água, servem como subsídios para avaliação dos custos em geral, desde a captação até a distribuição para a população consumidora.

O monitoramento de recursos hídricos é o conjunto de ações e esforços que visa permitir o conhecimento da situação da qualidade das águas dos recursos hídricos e seu padrão de comportamento ao longo do espaço e do tempo (FINOTTI, 2009). Neste sentido, foram escolhidos para o estudo do IQA dois rios amazônicos denominados de Arapiranga e Murucupi, ambos localizados no Estado do Pará, municípios de Abaetetuba e Barcarena respectivamente. Foram realizadas quatro (04) campanhas de amostragem no ano de 2009 e foram definidos oito (8) pontos de amostragem em cada rio estudado, desde as suas nascentes adentro dos municípios de Abaetetuba e Barcarena até suas fozes no rio Pará e Furo do Arrozal respectivamente.

A escolha do rio Arapiranga para a avaliação do IQA, foi pelo motivo de ser uma drenagem mais afastada da área portuária de Vila do Conde onde existem atividades industriais em Barcarena-PA, e que durante o estudo piloto apresentou características de águas mais limpas em relação às outras drenagens, sendo um rio candidato à potencial área de controle.

Já o rio Murucupi foi escolhido para o estudo do IQA pelo fato de ser uma das drenagens mais impactadas por esgotos domésticos provenientes da área urbana adjacente a este rio no município de Barcarena/PA e também pela grande atividade industrial nessa área de estudo, haja vista que, ao longo dos anos, este e outros corpos hídricos próximos dessa área industrial sofreram impactos de grandes proporções em decorrência de eventuais acidentes causados por resíduos de indústrias instaladas neste município.

Este trabalho faz parte de um projeto mais abrangente denominado **“Programa de Monitoramento e Controle em Saúde e Meio Ambiente nas Áreas Industriais e Portuárias dos Municípios de Abaetetuba e Barcarena, Estado do Pará”**, cujo gestor é o Instituto Evandro Chagas (IEC)-Seção de Meio Ambiente (SAMAM) Ananindeua/PA. As drenagens naturais de águas superficiais (rios e igarapés) monitoradas neste projeto são: Rio São Francisco, Furo do Arrozal, Rio Murucupi, Igarapés Dendê e Curuperê no município de Barcarena, Rios Arapiranga, Guajará do Beja e Arienga no município de Abaetetuba e finalmente o Rio Pará abrangendo os dois municípios.

Neste estudo realiza-se a avaliação da qualidade das águas nos rios Arapiranga e Murucupi em dois períodos distintos (chuvoso e seco) e sob condições de maré baixa-mar e preamar. A principal ferramenta utilizada nessa avaliação foi o IQA, contudo, a partir da aplicação de algumas ferramentas estatísticas foi possível uma avaliação mais criteriosa

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Obter o índice de qualidade da água em dois rios amazônicos tributários da margem direita do rio Pará, localizados nas áreas territoriais dos municípios de Abaetetuba e Barcarena no Estado do Pará, Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar testes de estatística analítica e multivariada para comparar a qualidade da água em termos físico-químicos e microbiológicos durante a ocorrência do período chuvoso e seco e variações da maré (baixa-mar e preamar) para os rios Arapiranga e Murucupi;
- Utilizar testes de estatística analítica e multivariada para comparar o índice de qualidade da água durante a ocorrência do período chuvoso e seco e variações da maré (baixa-mar e preamar) para os rios Arapiranga e Murucupi.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. QUALIDADE DAS ÁGUAS

Geralmente a água contém diversos componentes provenientes do próprio ambiente natural ou que foram introduzidos a partir de atividades humanas. Para caracterizar uma água, são determinadas diversas variáveis que representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Essas variáveis são indicadores de qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso (VON SPERLING, 2005). Diversos estudos na região amazônica são impulsionados em decorrência de atividades antropogênicas causadoras de danos ambientais, onde muitos corpos hídricos são afetados negativamente sob vários aspectos. Estes estudos têm como escopo o monitoramento, caracterização e avaliação de corpos hídricos sob seus aspectos físicos, químicos e biológicos. Dentre algumas avaliações pode-se destacar alguns fatos ocorridos em decorrência de atividades antropogênicas que causaram mudanças bruscas em algumas variáveis em corpos hídricos da Amazônia:

Em 2007 após transbordo da bacia de rejeito de uma das empresas instaladas na área portuária de Vila do Conde em Barcarena-PA, este material foi escoado em direção aos corpos hídricos mais próximos (igarapés Dendê e Curuperê), onde ocasionou alterações bruscas em algumas variáveis físico-químicas nestes corpos hídricos, tais mudanças resultaram na mortandade de diversos seres aquáticos, afetando assim, a qualidade destas águas usadas para diversas atividades pela população ribeirinha da região. Uma das variáveis que sofreu mudanças consideráveis foi o pH, pois os valores chegaram a variar de 2,79 a 2,85 na maré baixa-mar do igarapé mais próximo ao transbordo (Curuperê), ou seja, valores muito baixos para o equilíbrio da vida aquática; na mesma maré deste corpo hídrico, os valores de sulfato e ferro total variaram de 450 a 2100 mg/L e 0,998 a 13,76 mg/L respectivamente. Em decorrência da presença destes resíduos nestes corpos hídricos, a condutividade elétrica, os sólidos totais dissolvidos e a salinidade atingiram níveis que variaram de 203 a 1904,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 102,3 a 951 mg/L e 0,1 a 1,0 mg/L respectivamente (INSTITUTO EVANDRO CHAGAS, 2007).

Em decorrência deste fato ocorrido em 2007, as autoridades competentes assinaram o Termo de Ajuste de Conduta (TAC), resultando assim em recursos para

órgãos de pesquisas e outros. Estes recursos deram partida em estudos e monitoramento da área atingida pelos danos ambientais anteriormente comentados (INSTITUTO EVANDRO CHAGAS, 2009).

Outra situação ocorreu em abril de 2009, onde a área portuária do município de Barcarena-PA vinha sendo monitorada pelo Instituto Evandro Chagas, quando no dia 27 de abril de 2009 a equipe finalizou o trabalho daquela campanha de amostragem ambiental e coincidentemente no dia 28 de abril de 2009 ocorreu outro transbordo em outra bacia de rejeito (lama vermelha) de uma das indústrias instaladas no local, o qual veio atingir a nascente do rio Murucupi. Este foi outro fato que ocasionou danos ambientais naquela região com a dispersão deste rejeito em toda extensão deste rio (INSTITUTO EVANDRO CHAGAS, 2009).

Estes danos que afetam os corpos hídricos são fatos que acontecem a todo o momento não só na região Amazônica como também no mundo inteiro. Portanto, daí a importância de estudos sobre a qualidade das águas que possam servir de subsídio para as autoridades competentes para que se crie estratégias benéficas à proteção e preservação da vida aquática, assim como, ao abastecimento público de populações que sofrem com a falta de água.

Na Tabela 3.1 podem ser observadas as características de algumas variáveis em estudos realizados em corpos hídricos superficiais na região amazônica:

Tabela 3.1: Dados analíticos de variáveis determinadas em corpos hídricos superficiais na região Amazônica.

Variáveis	Unidade	A*	B*	**C	**D
pH	-	** 5,3-8,1	** 5,2-7,5	6,92-7,57	5,81-6,03
Temperatura	°C	29	28-29	25-28	26
OD	mg/L	3,0-4,2	3,72-4,71	4,21-14,4	2,27-5,99
STD	mg/L	7-9	0,55-1,08	24-50	8-14
SST	mg/L	21-27	26-41	NA	7,13
Turbidez	UNT	30-80	16-75	6-13	26-33
DBO	mg/L	11,3-18	5-24	4-12	1-11
N-Amoniacal	mg/L	0,01-0,04	0,6-0,8	0,26-0,33	0,11-0,5
N-Nitrito	mg/L	0,001-0,0	NA	0,01-0,07	0,002-0,01
N-Nitrato	mg/L	0,1-0,25	NA	0,02-0,3	0,7-1,8
Fosfato	mg/L	0,16-0,22	0,10-0,23	0,12-0,83	NA
CT	NMP/100 mL	NA	NA	207-2005	624-22200

STD: Sólidos Totais Dissolvidos; SST: Sólidos Suspensos Totais; CT: Coliformes Termotolerantes.

*Valores Médios; **Valores mínimos e máximos; NA: Não Analisado.

A: Ilha Grande-Rio Pará-Belém/PA (MENDONÇA *et al.*, 2004); **B:** Rio Piraíba-Belém/PA (GOMES *et al.*, 2007); **C:** Igarapé da Porteira-Redenção/PA (INSTITUTO EVANDRO CHAGAS, 2008); **D:** Igarapé Altamira-Altamira/PA (INSTITUTO EVANDRO CHAGAS, 2008).

3.2. ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

Conhecer a qualidade da água disponível é fundamental para a gestão dos recursos hídricos. A qualidade da água é uma questão que não diz respeito somente à determinação da pureza da mesma, mas também as suas características desejadas para os seus múltiplos usos. O conceito de classificação da qualidade da água de acordo com seu grau de pureza e poluição, remonta desde 1948 na Alemanha (SLADECEK 1973; OTT 1978; STEINHART *et al.* 1981; DOJLIDO e BEST 1993 *apud* LUMB *et al.*, 2011). Assim, ao longo dos anos foram desenvolvidos vários índices e indicadores ambientais para avaliação da qualidade da água com base em suas características físico-químicas e microbiológicas.

Um dos primeiros índices de qualidade da água foi o Índice Sapróbio (IS), visando-se estimar o nível de matéria orgânica facilmente degradável em águas correntes. Como os organismos têm diferentes taxas de sapróbio, este princípio foi a base para a determinação do IS, o objetivo era classificar as águas de uma forma empírica conforme os níveis de poluição orgânica (SLADECEK 1973 *apud* LUMB *et al.*, 2011).

O IS tornou-se deficiente e por muitas vezes impraticável, o conceito de qualidade da água na forma do IS levou a uma busca por um melhor sistema de numeração nas décadas seguintes (LUMB *et al.*, 2011). Após um século, desenvolveu-se índices numéricos através de cálculos matemáticos utilizados para a classificação e avaliação da qualidade das águas envolvendo variáveis físicas, químicas e biológicas (HORTON, 1965 e LUMB *et al.*, 2011).

Esses cálculos matemáticos são baseados na técnica Delphi, isto é, um método *ad hoc* baseado em painéis, reuniões ou grupos de especialistas. Este método foi inspirado nas consultas dos gregos aos oráculos e foi criado pelos cientistas Olaf Helmer e Norman Dalkey a partir do “Projeto Delphi” desenvolvido pela Rand Corporation (Estados Unidos) na década de 1950. Este estudo estava relacionado ao uso de opiniões de especialistas para fins militares estratégicos e a empresa acreditava que o Delphi marcaria o início de um novo campo de pesquisas, denominado “tecnologia de opinião” (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007).

Segundo Lumb *et al.* (2011), uma versão melhorada do índice desenvolvido por Horton em 1965 foi proposta por Brown *et al.* (1970) e Deininger e Maciunas (1971) com o apoio da National Sanitation Foundation (NSF) dos EUA. Este índice

ficou conhecido como Índice de Qualidade da Água da National Sanitation Foundation (NSFWQI).

O Índice de qualidade das águas (IQA) estabelece níveis e padrões de qualidade que possibilita a classificação das águas em classes, determinada pelo resultado encontrado no seu cálculo (LIMA *et al.*, 2007).

O IQA é uma forma empírica utilizada para dar respostas sobre a qualidade das águas, não tem unidade, apenas uma escala numérica de 0 a 100, sendo que, quanto mais elevado este número, melhor a qualidade das águas (BABAEI SEMIROMI, 2011).

Para a criação do IQA, utilizou-se a metodologia **Delphi** para estruturar a opinião de um grupo de 142 profissionais da área de qualidade da água, isto é, profissionais cuidadosamente selecionados em uma ampla distribuição geográfica atuantes em órgãos: federal, interestadual, estadual, territorial e regional, tais como, instituições de gestão de serviços público, de consultorias e de ensinos (EPA, 1974).

Foi elaborada uma lista que foi enviada aos 142 integrantes do painel, composta de 35 variáveis selecionadas arbitrariamente para possível inclusão em um índice de qualidade da água. Cada participante deveria selecionar para cada variável uma das opções **incluir**, **não incluir** ou **indeciso**, sendo possível listar outras variáveis não incluídas nesta primeira lista. Cada variável selecionada com o item **incluir** deveria receber um peso variando de 1 a 5. Um sumário dessa primeira rodada foi enviado aos participantes, junto com o segundo questionário, para que comparassem as respostas com a do grupo e as reavaliassem, sendo também solicitada uma lista das 15 variáveis mais importantes. Por fim, definiu-se uma lista composta por 9 variáveis e respectivos pesos integrantes do IQA, conforme pode ser visto na Figura 3.1 (LIBÂNIO, 2008):

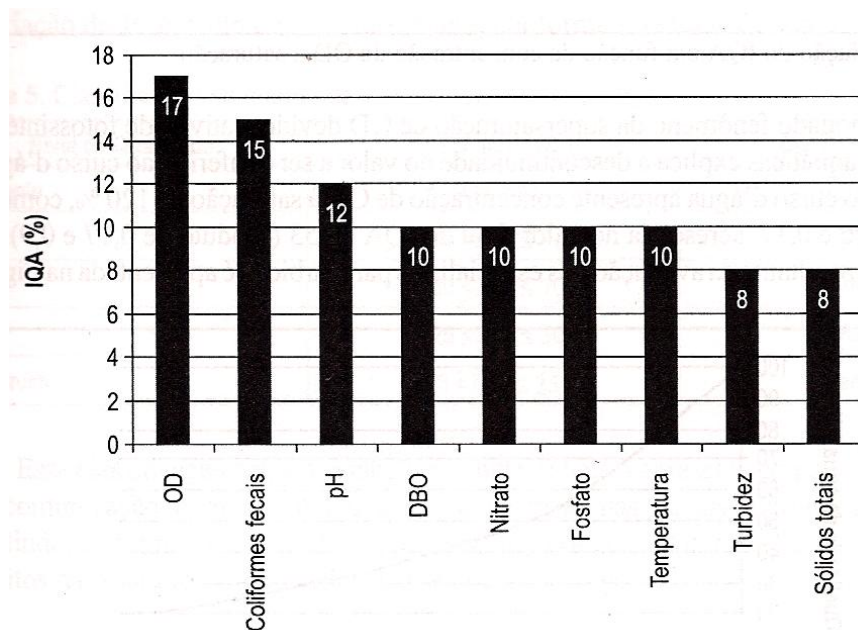


Figura 3.1: Variáveis e respectivos pesos IQA.
Fonte: Adaptado de Libânio, 2008.

Definidas as variáveis integrantes do IQA e os respectivos pesos, no terceiro questionário, coube ao painelista desenhar as curvas que, segundo seu julgamento, representassem a variação da qualidade da água produzida pelas várias possíveis medidas das variáveis. As nove curvas utilizadas para o cálculo do IQA constituíram-se das curvas médias obtidas das respostas de todos os respondentes (LIBÂNIO, 2008). A maneira convencional para se obter o IQA é calcular a média ponderada das variáveis pré-definidas, normalizadas numa escala de 0 a 100 e multiplicadas pelos seus respectivos pesos (LERMONTOV *et al.*, 2009).

Segundo Mattos e Von Sperling (1999), o primeiro IQA físico-químico surgiu em 1965 nos EUA e desde então se observa a criação e desenvolvimento de diversos índices em vários países.

Como a água é utilizada para diversos fins, surgiram outros índices, tais como:

- Índice da National Sanitation Foundation (GILJANOVIC, 1999);
- Índice de qualidade de Básaram (FLORES, 2002);
- Índice de qualidade da água de Scottish (BORDALO *et al.*, 2001).

No Brasil sua utilização teve início na década de 80, na maioria das vezes adotando-se os IQAs desenvolvidos em outros países. Destacou-se a utilização da técnica análise fatorial no Rio Grande do Sul em 1989 e a criação do Índice de Proteção das Comunidades Aquáticas pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

do Estado de São Paulo-CETESB em 1995 (MATTOS E VON SPERLING, 1999).

A partir do estudo realizado em 1970 pela NSF dos Estados Unidos, a CETESB adaptou e desenvolveu o IQA, que incorpora 9 variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a utilização das mesmas para abastecimento público (CETESB, 2011).

A CETESB iniciou em 1974 a operação da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores (rios e reservatórios), que possibilitaram o conhecimento adequado das condições principais nos cursos d'água do Estado de São Paulo.

Os objetivos desta Rede de Monitoramento consistiam em:

- a) Avaliar a evolução da qualidade das águas interiores para cada ponto de amostragem;
- b) Propiciar o levantamento das áreas prioritárias para o controle da poluição das águas;
- c) Subsidiar o diagnóstico da qualidade das águas doces utilizadas para o abastecimento público e outros usos;
- d) Dar subsídio técnico para a elaboração dos Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos, realizados pelos Comitês de Bacias Hidrográficas;
- e) Identificar trechos de rios onde a qualidade d'água pudesse estar mais degradada, possibilitando ações preventivas e de controle da CETESB, como a construção de ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) por parte do município responsável pela poluição ou a adequação de lançamentos industriais.

Com vistas ao aperfeiçoamento da avaliação ambiental, a CETESB iniciou a partir de 1998, o desenvolvimento de outros índices de qualidade de água (CETESB, 2011):

- Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP);
- Índice do Estado Trófico (IET);
- Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA);
- Índice da Comunidade Fitoplanctônica (ICF);
- Índice da Comunidade Bentônica (ICB);
- Índice de Balneabilidade (IB).

O cálculo para obtenção IQA segundo a CETESB é realizado pelo produtório ponderado conforme as seguintes variáveis: Temperatura, pH, percentual de saturação de Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20°C), *Coliformes Termotolerantes*, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Resíduo Total e Turbidez.

A fórmula utilizada no cálculo do IQA está descrita na equação 01:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

(Eq. 01)

IQA : Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i : qualidade da i-ésima variável, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida;

w_i : peso correspondente a i-ésima variável, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

Os valores de q_i são obtidos da respectiva "curva média de variação de qualidade, em função de sua concentração ou medida de cada variável. Os pesos correspondem a um determinado valor para cada variável observada em função da sua importância para a conformação global de qualidade e a somatória de todos os pesos é igual a um (1) conforme a fórmula da equação 02:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

(Eq. 02)

As curvas médias de variação de qualidade em função das concentrações ou medidas de cada variável, assim como, os pesos (w_i) referentes a importância para a conformação global de qualidade de cada variável podem ser observadas nas Figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10. Portanto, os valores de q_i podem ser obtidos em função dos resultados analíticos determinados de cada variável conforme as suas curvas médias de variação.

Nas Figuras 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 podem ser observadas as curvas médias de variação de qualidade para as variáveis Temperatura, pH, OD e DBO.

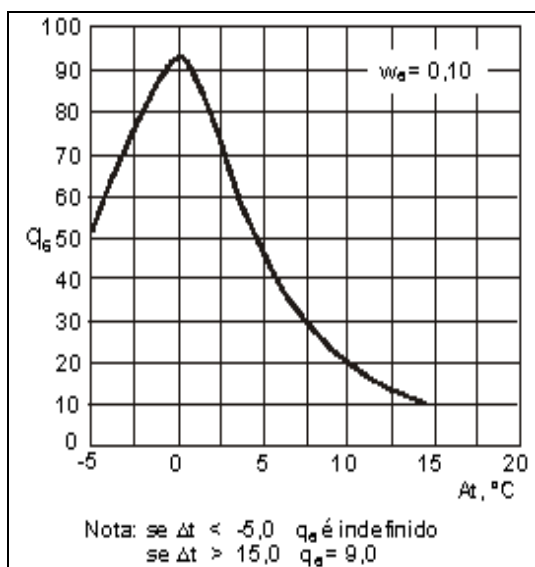


Figura 3.2: Curva média de variação de qualidade para Temperatura.
Fonte: CETESB, 2009.

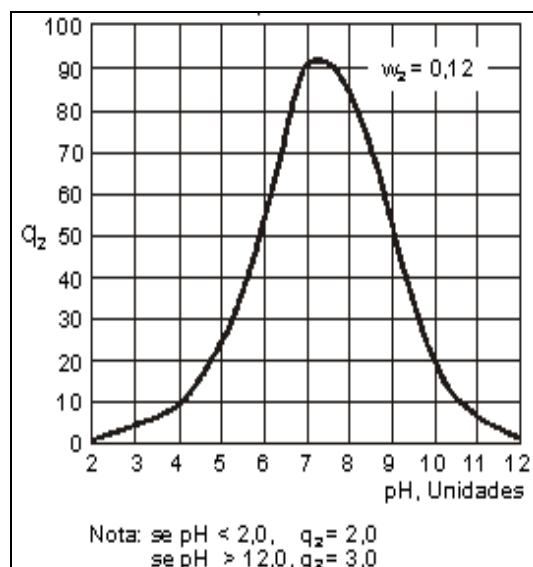


Figura 3.3: Curva média de variação de qualidade para pH.
Fonte: CETESB, 2009.

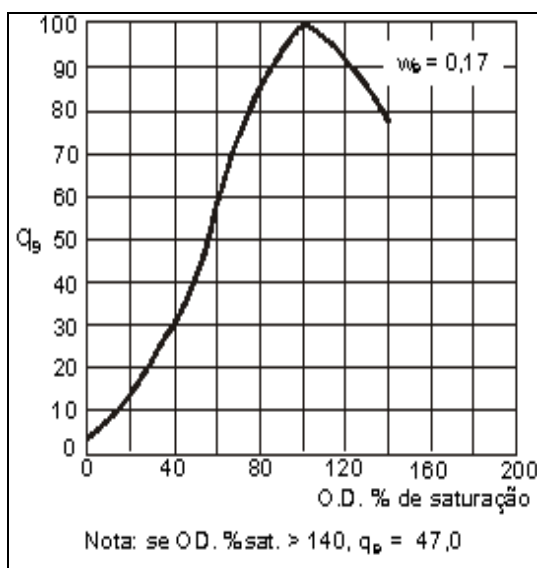


Figura 3.4: Curva média de variação de qualidade para OD.
Fonte: CETESB, 2009.

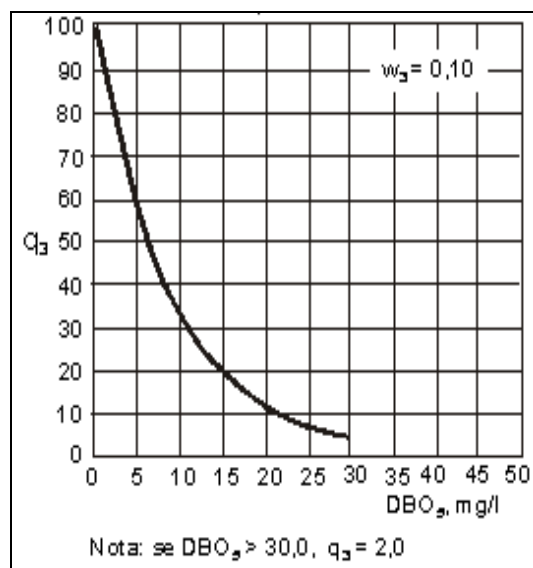


Figura 3.5: Curva média de variação de qualidade para DBO.
Fonte: CETESB, 2009.

Nas Figuras 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 podem ser observadas as curvas médias de variação de qualidade para as variáveis *Coliformes Termotolerantes*, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Resíduo Total.

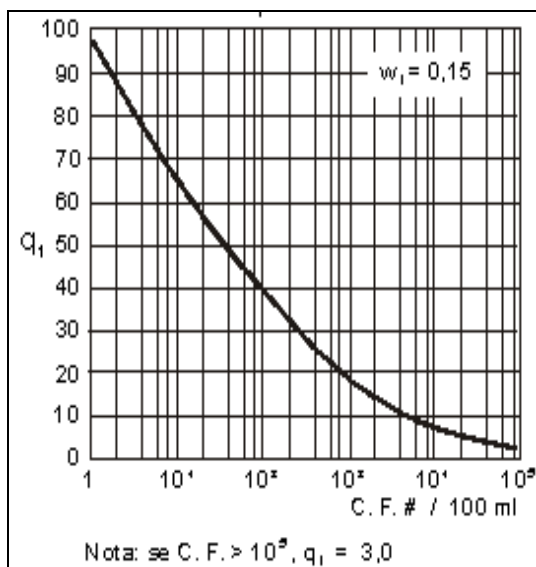


Figura 3.6: Curva média de variação de qualidade para *Coliformes Termotolerantes*.
Fonte: CETESB, 2009.

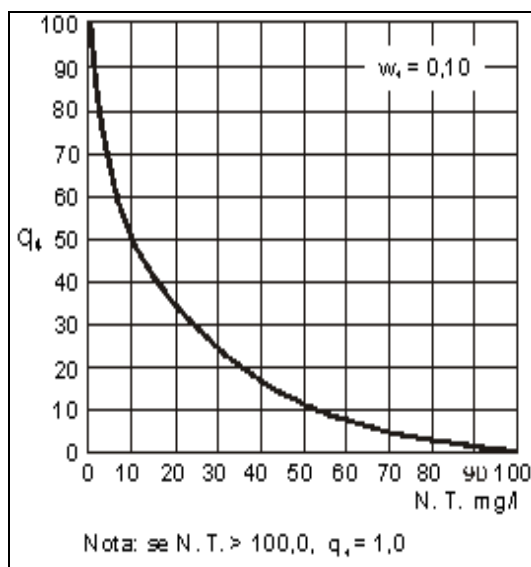


Figura 3.7: Curva média de variação de qualidade para Nitrogênio Total.
Fonte: CETESB, 2009.

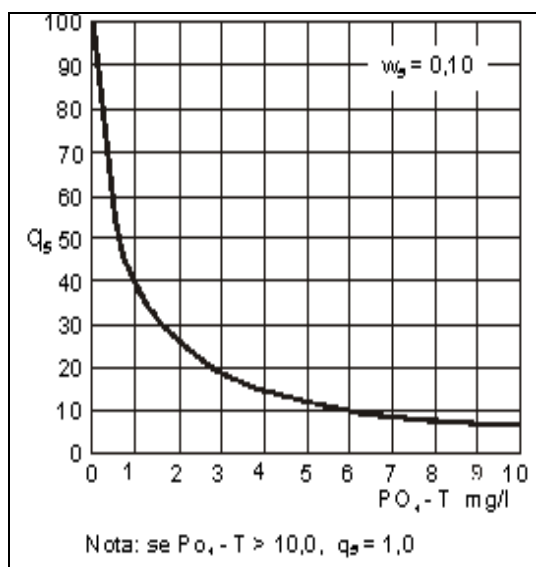


Figura 3.8: Curva média de variação de qualidade para Fósforo Total.
Fonte: CETESB, 2009.

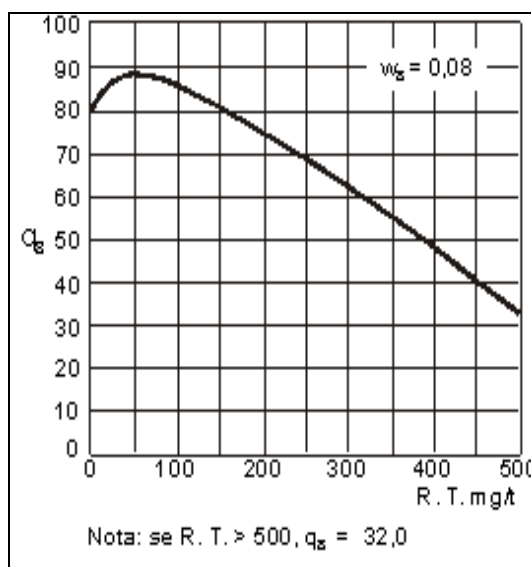


Figura 3.9: Curva média de variação de qualidade para Resíduo Total.
Fonte: CETESB, 2009.

Na Figura 3.10 pode ser observada a curva média de variação de qualidade para as variável Turbidez.

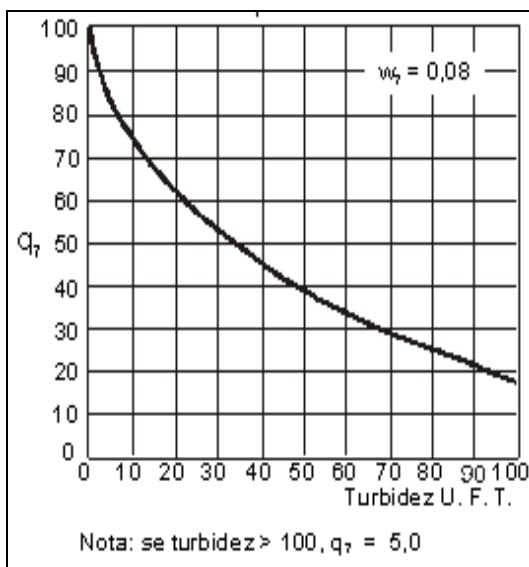


Figura 3.10: Curva média de variação de qualidade para Turbidez.
Fonte: CETESB, 2009.

Os valores do IQA variam de 0 a 100 com faixas de classificação especificadas de acordo com a categoria e a ponderação conforme Tabela 3.2:

Tabela 3.2: Faixa de Valores do IQA

Categoria	Ponderação
Ótima	79 < IQA ≤ 100
Boa	51 < IQA ≤ 79
Regular	36 < IQA ≤ 51
Ruim	19 < IQA ≤ 36
Péssima	IQA ≤ 19

Fonte: CETESB, 2009.

Outros estudos inovadores proporcionaram a criação de vários índices a partir do mesmo procedimento adotado para a criação do IQA. Dentre estes, pode-se citar alguns e suas importâncias:

- a) Visando-se avaliar a qualidade da água destinada à irrigação, de modo a evitar ou reduzir impactos sobre a produção de culturas e saúde da população, em estudo desenvolvido por Dotto *et al.* (1996) a partir 1980 formulou-se o Índice de Qualidade de Águas para Culturas Irrigadas (IQAI). Este estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba no Estado de São Paulo e objetivou possíveis identificações que pudessem ser relevantes ao planejamento de recursos hídricos para a irrigação. Utilizou-se a técnica de hierarquização denominada pelos autores de electre I e II, assim como, os modelos matemáticos produzidos a partir da função de qualidade. Os resultados foram divididos em dois grupos com denominação de IQAI₁ com as variáveis *coliforme fecal*, pH, DBO, cloreto, nitrogênio total e condutividade elétrica, já para o grupo IQAI₂ excluiu-se apenas os dados de coliformes fecais. A partir dos dados obtidos para o grupo IQAI₁ os autores concluíram que a água da bacia do Rio Piracicaba não estava em condições adequadas para a irrigação de frutas e hortaliças em função da elevada taxa de *coliformes fecais*. Com a correção deste fator, levando-se em consideração apenas o grupo IQAI₂, a utilização desta água para os referidos tipos de culturas seria possível;
- b) Com o objetivo de se fornecer uma ferramenta qualitativa para auxiliar os administradores de sistemas de abastecimento público, no período de 2003 a 2004 iniciou-se um estudo para a criação do Índice de Qualidade de Estações de Tratamento de Água (IQETA) abrangendo três meses no período seco e três no período chuvoso. Contou-se com a opinião de 18 especialistas da área, sendo que 16 se manifestaram até o término da pesquisa. Este trabalho limitou-se a 10 estações de tratamento de água localizadas nos estados de Minas Gerais e São Paulo com todas constituídas de tecnologia convencional e dotadas de decantadores de escoamento horizontal. No primeiro questionário foram incluídos 22 parâmetros, onde posteriormente esse número reduziu para 19, os mesmos foram divididos nos grupos de Mistura Rápida, Flocculação, Sedimentação, Filtração, Desinfecção

e Operação. Após as respostas dos questionários e dos cálculos realizados para a criação do IQETA, chegou-se a conclusão de que o parâmetro mais importante conforme hierarquização nas respostas dos questionários foi a taxa de filtração, pois este parâmetro teve grande importância com relação a redução dos valores permissíveis de turbidez conforme os padrões de potabilidade da água nacionais e internacionais e que inferiu tendências de melhor qualidade nas águas filtradas nas 10 estações de tratamento. Segundo os autores deste estudo, após conclusões sobre os questionários que abordaram 19 parâmetros, o IQETA pode ser um bom indicador para hierarquização das estações de tratamento de água e contribuir como excelente ferramenta para as administrações dos sistemas de abastecimento de água (LOPES e LIBÂNIO, 2005);

- c) No período de maio de 2003 a maio de 2005, desenvolveu-se um IQA destinado à avaliação da qualidade das águas dos rios Macuco e Queixado no Estado de São Paulo. Este estudo objetivou a verificação dos efeitos da aquicultura sobre organismos aquáticos. Foram monitorados dezessete pontos de amostragem e as variáveis envolvidas foram: turbidez, fósforo total e oxigênio dissolvido. Os resultados deste índice mostraram que houve visível degradação destas águas em decorrência de atividades de aquicultura na região (SIMÕES *et al.*, 2007).
- d) Também foi desenvolvido um estudo para a criação do Índice de Qualidade Natural de Águas Subterrâneas (IQNAS). O IQNAS foi construído à semelhança do IQA usado pela CETESB para classificar a qualidade das águas superficiais, os intervalos de valores utilizados para a classificação da qualidade das águas subterrâneas foram os mesmos usados no IQA. Foram utilizados dados de análises químicas de 1.899 poços tubulares perfurados em todo o estado da Bahia e de cinco amostras de fontes de águas minerais situadas no recôncavo. Foram utilizadas no IQNAS um número limitado de variáveis físico-químicas (cloreto, pH, resíduo total, dureza, nitrato e fluoreto) a fim de garantir praticidade, sendo consideradas as mais significativas para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas dos vários tipos de domínios hidrogeológicos (sedimentar, metassedimentar, cárstico e cristalino). Os valores dos IQNAS encontrados quantificaram adequadamente a qualidade das águas subterrâneas das regiões estudadas, confirmando

- positivamente a metodologia aplicada (KIPERSTOK et al., 2008);
- e) Em um estudo realizado no período de 2004 a 2007, desenvolveu-se um Índice Multimétrico Bentônico (IMB), cuja ferramenta teve como finalidade a avaliação da qualidade da água em programas de biomonitoramento de bacias hidrográficas utilizando-se os seguintes indicadores: riqueza de famílias, % Oligochaeta, % Chironomidae + Oligochaeta (% CHOL), % EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), % Coletores-catadores e índice BMWP-CETEC. Neste estudo avaliou-se a qualidade das águas no programa de biomonitoramento da bacia hidrográfica do Rio das Velhas no sudeste do Brasil (FERREIRA *et al.*, 2011). Segundo os autores, essa metodologia mostrou-se eficiente para avaliação da qualidade da água no programa de biomonitoramento da bacia hidrográfica do rio estudado;
 - f) Outros índices foram desenvolvidos de acordo com outras necessidades, dentre eles, pode-se citar o Índice de Impactos de Resíduos Sólidos Urbanos na Saúde Pública (IIRSP), o qual a partir de oito índices específicos formulou-se um índice geral de controle de qualidade dos serviços de limpeza urbana no Estado do Rio Grande do Sul. Este índice foi desenvolvido com o propósito de se investigar a relação direta entre resíduos sólidos, homem e saúde pública (DE DEUS, 2004). Portanto, a técnica Delphi continua sendo utilizada multidisciplinarmente em vários estudos.

3.3. CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS DE ESTUDO

As características das áreas de estudo referentes aos municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará conforme relatado por Braglia *et al.* (2011), segue nos itens 3.2.1. e 3.2.2.:

3.2.1. Características da Área de Estudo em Abaetetuba/PA.

Os subitens 3.2.1.1 a 3.2.1.8 retratam algumas características referentes ao município de Abaetetuba, tais como: Localização, limites solos, vegetação, topografia, geologia e relevo, hidrografia e clima.

3.2.1.1. Localização

O município de Abaetetuba pertencente à Mesorregião do Nordeste Paraense e à Microrregião de Cametá. “Sua Sede municipal tem as seguintes coordenadas geográficas: 01° 43’ 24” de latitude Sul e 48° 52’ 54” de longitude a Oeste de Greenwich.

3.2.1.2. Limites

O município tem como limites: Ao norte - Rio Pará e município de Barcarena; a leste - Município de Moju; ao sul - Municípios de Igarapé-Miri e Moju e a oeste - Municípios de Igarapé-Miri, Limoeiro do Ajuru e Muaná.

3.2.1.3. Solos

Predominam no Município o Latossolo Amarelo distrófico com textura média associado ao Podzol Hidromórfico e Solos Concrecionários Lateríticos Indiscriminados distróficos com textura indiscriminada em relevo plano. Nas ilhas, acham-se presentes em manchas, os solos Gleys eutróficos e distróficos e Aluviais eutróficos e distróficos, textura indiscriminada.

3.2.1.4. Vegetação

A cobertura vegetal original é representada pela Floresta Hileiana de grande porte (Floresta Densa de Terra Firme), a qual recobria a maior parte do município de Abaetetuba, hoje, é praticamente inexistente, dando lugar à Floresta Secundária, intercalada com cultivos agrícolas. Já as áreas de várzea apresentam sua vegetação característica, com espécies ombrófilas latifoliadas (de folhas largas), intercaladas com palmeiras, dentre as quais desponta o açaí como uma espécie de grande importância para as populações locais.

3.2.1.5. Topografia

Os acidentes topográficos do Município são inexpressivos, com terrenos localizados na margem direita do trecho baixo do rio Tocantins, com cotas que oscilam entre 5 a 20 metros.

3.2.1.6. Geologia e relevo

Constituídos por terrenos sedimentares do Terciário (Formação Barreiras) e do Quaternário Antigo e Recente, a estrutura geológica de Abaetetuba reflete, não só em sua porção continental, mas, também, na insular, grande simplicidade nas suas formas de relevo. Apresenta, ora amplos tabuleiros pediplanados, que formam os terrenos mais recentes, inseridos na unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado do Baixo Amazonas.

3.2.1.7. Hidrografia

O principal rio do município de Abaetetuba é o Pará, que é o limite natural, a noroeste, com os municípios de Muaná e Ponta de Pedras. Nesse rio, se destacam dezenas de ilhas, tais como: Urubuéua, Sirituba, Capim, Compopema, entre outras. Importante, também, é o rio Abaeté que banha a sede do Município e deságua na baía do Capim. Outros rios que deságuam na baía do Capim são: Guajará de Beja, Arapiranga de Beja e o Arienga, este último fazendo limite com Barcarena, a nordeste. Destaca-se, ainda, o rio Itanambuca, que serve de limite natural, a sudoeste, com o município de Igarapé-Miri.

3.2.1.8. Clima

O clima no município de Abaetetuba é do tipo Am, segundo a classificação de Köppen, que corresponde à categoria de super úmido. Apresenta altas temperaturas, inexpressiva amplitude térmica, e precipitações ambulantes.

Na Figura 3.3, observa-se a área de estudo correspondente ao município de Abaetetuba/PA:

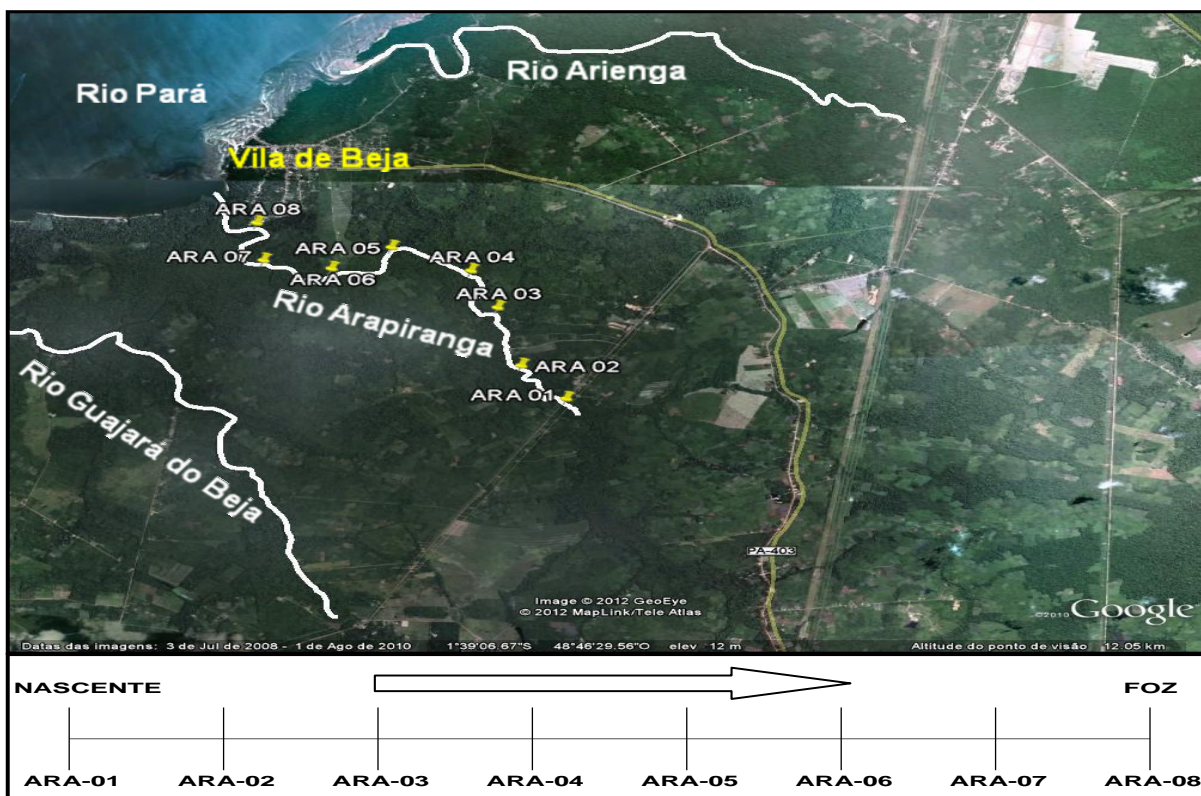


Figura 3.11: Mapa de Localização dos pontos de amostragem no Rio Arapiranga.

Fonte: Google Earth, 2012.

3.2.2. Características da Área de Estudo em Barcarena/PA.

Nos subitens 3.2.2.1 a 3.2.2.8 são apresentadas algumas características referentes ao município de Barcarena, tais como: Localização, limites solos, vegetação, topografia, geologia e relevo, hidrografia e clima.

3.2.2.1. Localização

O município de Barcarena pertence à mesorregião Metropolitana de Belém e a microrregião de Belém. A sede municipal tem as seguintes coordenadas geográficas: 01° 30' 24 "de latitude Sul e 48° 37' 12" de longitude a Oeste de Greenwich.

3.2.2.2. Limites

O município tem como limites: Ao norte - Baía de Guajará e município de Belém; ao sul - municípios de Moju e Abaetetuba; a leste - Baía de Guajará e município de Acará e a oeste - Baía do Marajó.

3.2.2.3. Solos

Na porção continental, os solos predominantes são o Latossolo Amarelo distrófico textura média, o Podzol Hidromórfico e Concrecionário Laterítico indiscriminado, distrófico, textura indiscriminada. Nas ilhas, estão presentes os solos hidromórficos indiscriminados, eutróficos e distróficos, textura indiscriminada e Hidromórficos Gleisados, como o Gley Pouco Húmico e Aluvial eutróficos e distróficos, textura indiscriminada.

3.2.2.4. Vegetação

A cobertura vegetal primitiva de Floresta Densa dos baixos platôs Pará/Maranhão foi quase totalmente substituída pela ação dos desmatamentos para o plantio de espécies agrícolas de subsistência, dando ensejo nas áreas em pousio à regeneração florestal com diferentes estágios de desenvolvimento da Floresta Secundária. Ao longo das margens dos rios e igarapés, preponderam as Florestas Ciliares e de várzeas nos trechos sob influência de inundações, ocorrendo, também, o mangue e a siriúba, margeando os grandes rios e as Ilhas do Município.

3.2.2.5. Topografia

O Município apresenta níveis topográficos pouco elevados, sobretudo nas ilhas sujeitas, em parte, a inundações. Na porção continental, a topografia é um pouco mais elevada, especialmente na sede, cuja altitude é de 14 metros.

3.2.2.6. Geologia e relevo

A geologia do Município é pouco variável, construída, como em toda a microrregião, por sedimentos do Terciário (Formação Barreiras) e do Quaternário. Os primeiros estão presentes, sobretudo, na porção continental do Município, enquanto trechos Quaternários estão nas margens dos rios, constituindo a porção insular do Município, onde predominam sobre a sedimentação da Formação Barreiras. O relevo reflete a geologia, estando presentes áreas de várzeas, terraços e tabuleiros, que constituem, regionalmente, um setor da unidade áreas de várzeas, terraços e

tabuleiros, que constituem, regionalmente, um setor da unidade morfoestrutural, Planalto Rebaixado da Amazônia (Baixo Amazonas).

3.2.2.7. Hidrografia

O principal acidente hidrográfico de Barcarena é a Baía de Marajó que, em sua maior abertura para nordeste, compõe, com outras contribuições hídricas, o “Golfão Marajoara”. Além desses dois elementos alguns furos separam a porção continental da porção insular do Município, entre os quais o furo do Arrozal, que separa a Ilha de Carnapijó e recebe o rio Barcarena e o rio Itaporanga, nasce ao sul do Município. O rio o furo e a baía Carnapijó cortam o Município de sudeste para noroeste. É importante pela navegabilidade como coletor da drenagem da região. Outro rio de expressão na área é o Moju, cuja foz limita com o município de Acará. A sudoeste, o rio Uruenga limita com Abaetetuba e, a sudeste, o limite com Moju é feito através do Igarapé Cabresto.

3.2.2.8. Clima

O Clima de Barcarena faz parte do clima quente equatorial úmido sendo, na classificação de Köppen, do tipo Am. A temperatura média anual é de 27° C, com amplitude térmica mínima. Precipitações abundantes, acima de 2.500 mm ano, ocorrem mais nos seis primeiros meses e, menos intensamente, nos últimos seis meses do ano.

Pode ser observada na Figura 3.4 a área de estudo correspondente ao município de Barcarena/PA:

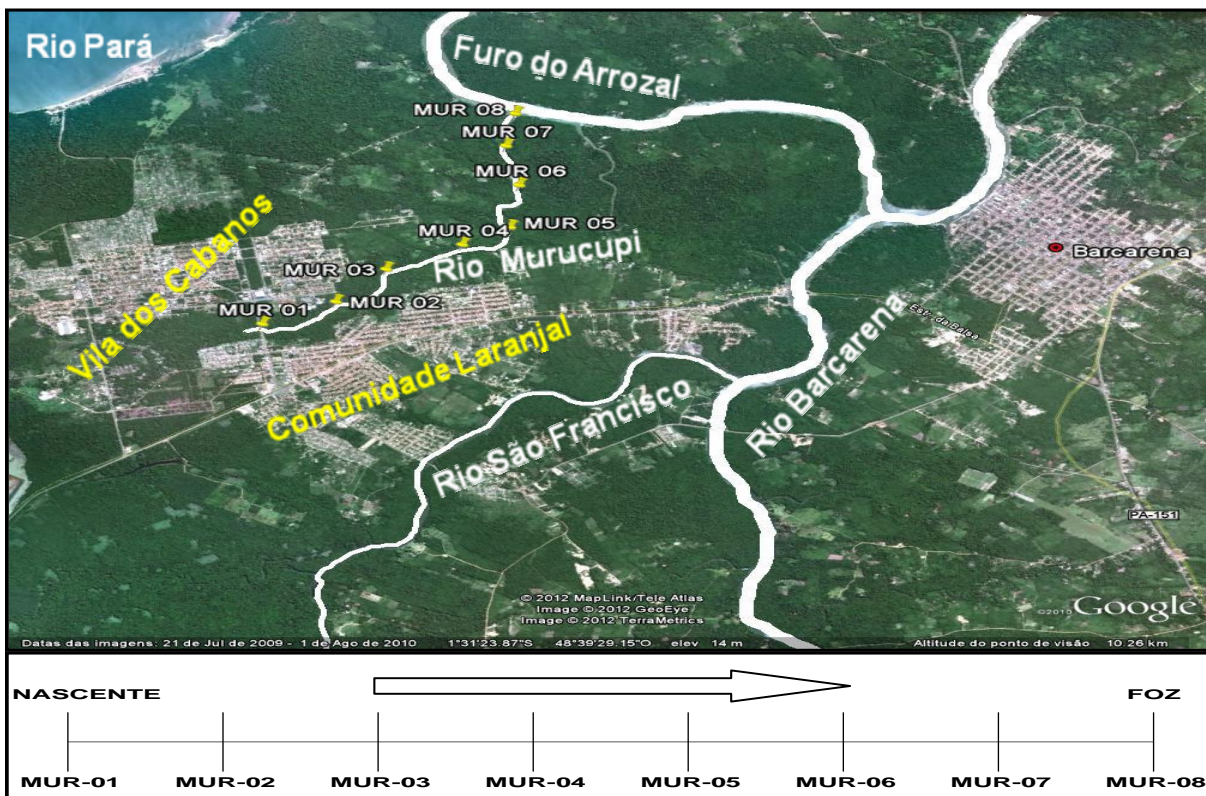


Figura 3.12: Mapa de Localização dos pontos de amostragem no Rio Murucupi.
 Fonte: Google Earth, 2012.

3.2.3. Intensidade Pluviométrica na Área de Estudo.

Na Figura 3.5 observa-se os dados de intensidade pluviométrica referentes aos anos de 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011 no município de Barcarena/PA.

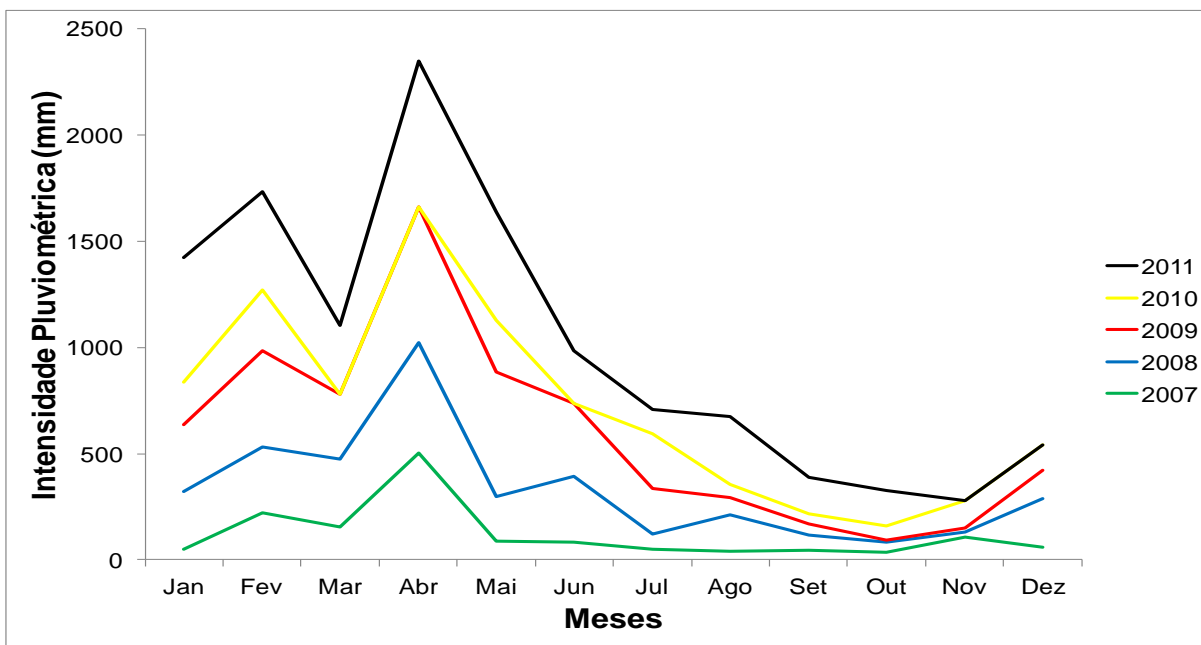


Figura 3.13: Intensidade pluviométrica no município de Barcarena/PA.
 Fonte: Agência Nacional das Águas (ANA), 2012.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo apresentam-se informações sobre as áreas de estudo, o delineamento experimental, procedimentos de coleta, variáveis analisadas, cálculo do IQA e o tratamento estatístico sobre os dados obtidos.

4.1. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

A microbacia do rio Arapiranga localiza-se no município de Abaetetuba no Estado do Pará. Este rio é tributário do rio Pará o qual tem como afluente o rio Tocantins, suas nascentes situam-se adentro do município de Abaetetuba transpassando a Rodovia PA 409 próximo ao km 03, sua foz é adjacente a Vila de Beja localizada à margem direita do rio Pará.

A microbacia do rio Murucupi localiza-se no município de Barcarena no Estado do Pará, sendo este rio tributário do furo do Arrozal e constituinte da bacia hidrográfica dos rios Araguaia e Tocantins (afluente do rio Pará). Sua extensão abrange a área do Distrito Industrial (Albrás/Alunorte), Vila dos Cabanos, Comunidade Laranjal, São Lourenço, Boa Vista até o furo do Arrozal no município de Barcarena (DA SILVA e BORDALO, 2010). Suas nascentes localizam-se próximo da bacia de rejeito da empresa Alunorte e sua foz no furo do Arrozal (INSTITUTO EVANDRO CHAGAS, 2009).

Sioli e Klinge (1962) *apud* Horbe e Santos e Queiroz *et al.* (2009), relatam a classificação dos rios na Amazônia em três categorias: as águas brancas, negras e claras.

Tomando-se como base a classificação das águas na Amazônia segundo os autores anteriormente citados, a partir de sua coloração, visualmente o rio Arapiranga no município de Abaetetuba/PA apresenta características em suas águas variando de negras à claras no sentido de suas nascentes até a sua foz. Em relação ao rio Murucupi no município de Barcarena/PA, observa-se pela coloração de suas águas que este rio apresenta características de águas claras.

4.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As atividades desenvolvidas no estudo foram definidas de forma a contemplar quatro (4) campanhas de amostragem no período de um ano (campanha de amostragem trimestral) no ano de 2009. As campanhas de amostragem foram realizadas nos meses de janeiro, abril, julho e outubro deste ano.

Os pontos de amostragem nos rios Arapiranga e Murucupi foram definidos à montante e jusante de pequenas drenagens tributárias ao longo das extensões avaliadas no sentido suas nascentes até às suas fozes, levando-se em consideração a navegabilidade, acessibilidade, equipe de campo e custo financeiro para a realização do trabalho.

No rio Arapiranga foi avaliada uma extensão de 7.647 km contemplando oito (08) pontos de amostragem com distância entre mesmos um pouco acima de 1.000 m (Tabela 4.1).

No rio Murucupi também foram avaliados oito (08) pontos de amostragem em uma extensão de 5.269 m, com distanciamento mínimo e máximo entre alguns pontos de 584 e 875 m respectivamente, conforme pode ser observado na Tabela 4.2.

As nomenclaturas dos pontos de amostragem foram definidas da seguinte maneira: Arapiranga (**ARA**) e Murucupi (**MUR**).

Os oito (8) pontos de amostragem nos rios Arapiranga e Murucupi, coordenadas geográficas e distâncias entre os mesmos podem ser vistos na Figura 4.1 e Tabela 4.1, bem como, na Figura 4.2 e Tabela 4.2 respectivamente.

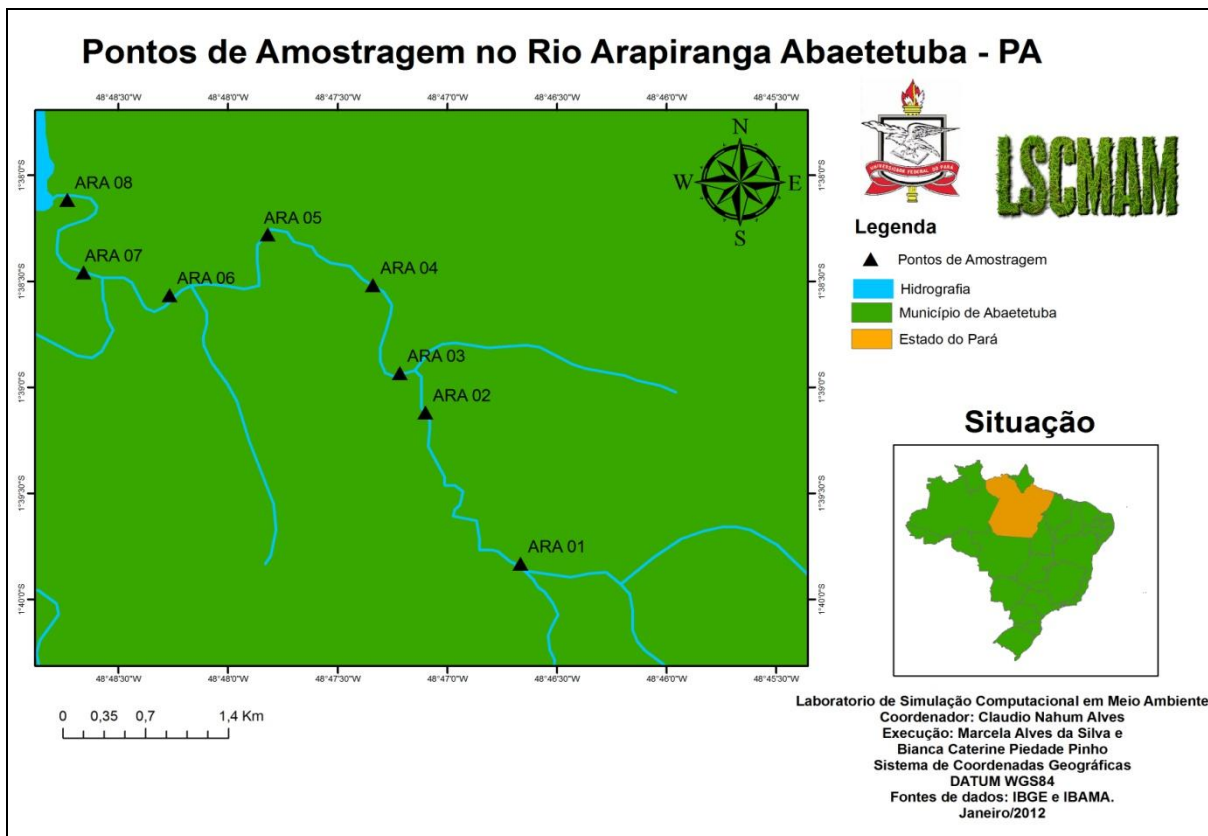


Figura 4.1: Mapa de Localização dos pontos de amostragem no rio Arapiranga.

Fonte: Laboratório de Simulação Computacional em Meio Ambiente, 2012.

Na Tabela 4.1 podem ser vistas as coordenadas geográficas, distâncias entre os pontos de amostragem e acúmulo das mesmas em relação ao ponto ARA-01 do rio Arapiranga.

Tabela 4.1: Coordenadas geográficas, distância entre os pontos de amostragem e distância acumulada em relação ao ponto ARA-01 do rio Arapiranga.

Pontos	Latitude	Longitude	Distância (m)	Distância acumulada em relação à ARA-01 (m)
ARA-01	1°39'50.50"S	48°46'46.40"O	ARA 01-02:1.165	1.165
ARA-02	1°39'30.90"S	48°47'3.70"O	ARA 02-03:1.132	2.297
ARA-03	1°38'56.20"S	48°47'13.40"O	ARA 03-04:1.049	3.347
ARA-04	1°38'34.20"S	48°47'23.90"O	ARA 04-05:1.160	4.506
ARA-05	1°38'20.90"S	48°47'54.00"O	ARA 05-06:1.011	5.517
ARA-06	1°38'34.20"S	48°48'16.10"O	ARA 06-07:1.013	6.503
ARA-07	1°38'29.85"S	48°48'41.62"O	ARA 07-08:1.147	7.647
ARA-08	1°38'07.40"S	48°48'44.70"O		

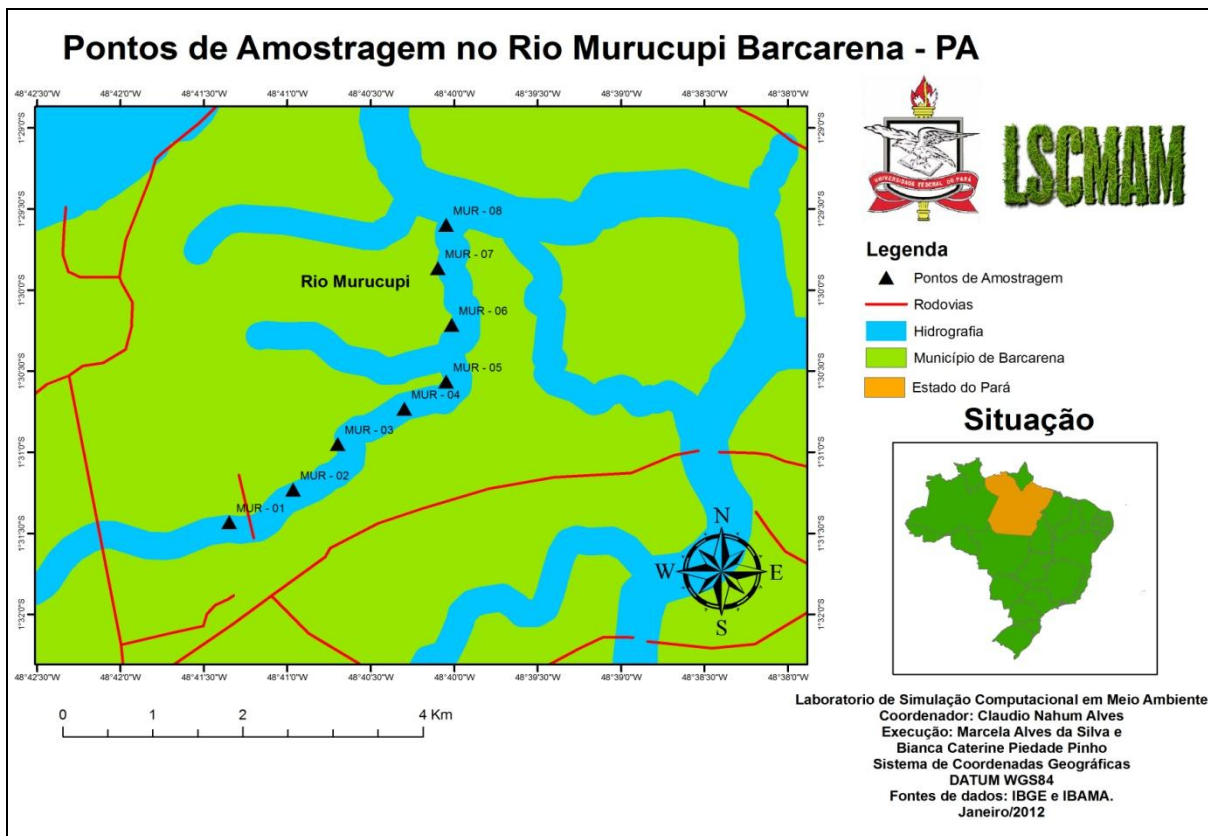


Figura 4.2: Mapa de Localização dos pontos de amostragem no rio Murucupi.
 Fonte: Laboratório de Simulação Computacional em Meio Ambiente, 2012.

Na Tabela 4.2 podem ser vistas as coordenadas geográficas, distâncias entre os pontos de amostragem e acúmulo das mesmas em relação ao ponto MUR-01 do rio Murucupi.

Tabela 4.2: Coordenadas geográficas, distância entre os pontos de amostragem e distância acumulada em relação ao ponto MUR-01 do rio Murucupi.

Pontos	Latitude	Longitude	Distância (m)	Distância acumulada em relação à MUR-01 (m)
MUR-01	1°31'26.40"S	48°41'21.20"O	MUR 01-02: 860	860
MUR-02	1°31'14.40"S	48°40'58.20"O	MUR 02-03: 830	1.690
MUR-03	1°30'57.30"S	48°40'42.60"O	MUR 03-04: 875	2.565
MUR-04	1°30'44.08"S	48°40'18.84"O	MUR 04-05: 629	3.194
MUR-05	1°30'34.70"S	48°40'3.90"O	MUR 05-06: 833	4.027
MUR-06	1°30'13.02"S	48°40'1.52"O	MUR 06-07: 658	4.685
MUR-07	1°29'52.92"S	48°40'6.22"O	MUR 07-08: 584	5.269
MUR-08	1°29'36.30"S	48°40'3.70"O		

Para visualizar melhor em termos de localização e distância, na Figura 4.3 pode ser observada a relação dos pontos de amostragem entre os dois rios estudados.

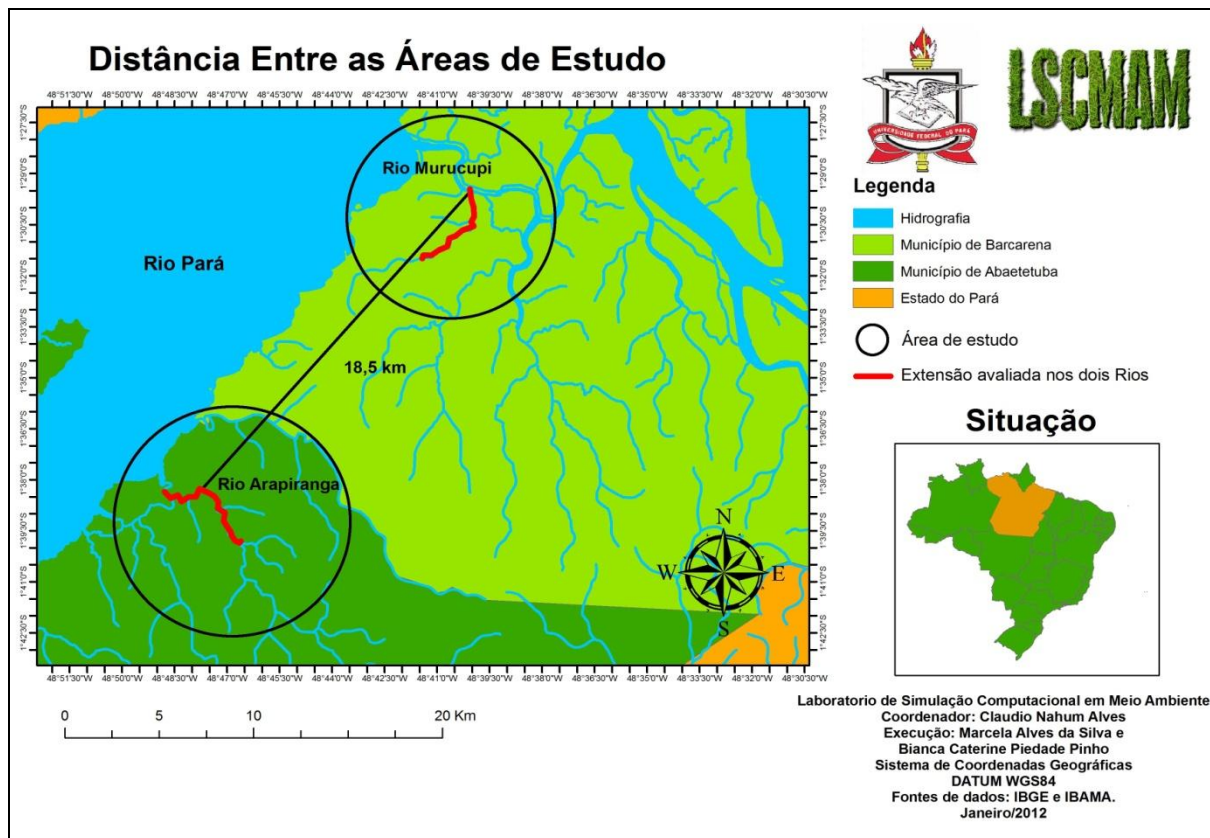


Figura 4.3: Mapa da distância em linha reta entre os pontos de amostragem nas áreas de estudo. Fonte: Laboratório de Simulação Computacional em Meio Ambiente, 2012.

O trabalho experimental realizado nos rios estudados com o objetivo de se contemplar as quatro campanhas de amostragem no ano de 2009 abrangendo o período chuvoso e seco em condições de marés baixa-mar e preamar, assim como, a determinação das variáveis necessárias para o cálculo do IQA e avaliação da qualidade dessas águas, desenvolveu-se sob três (03) etapas que compreenderam: planejamento de coleta; trabalho de campo e laboratório e avaliação de resultados. Estas etapas do estudo estão delineadas no resumo esquemático da Figura 4.4:

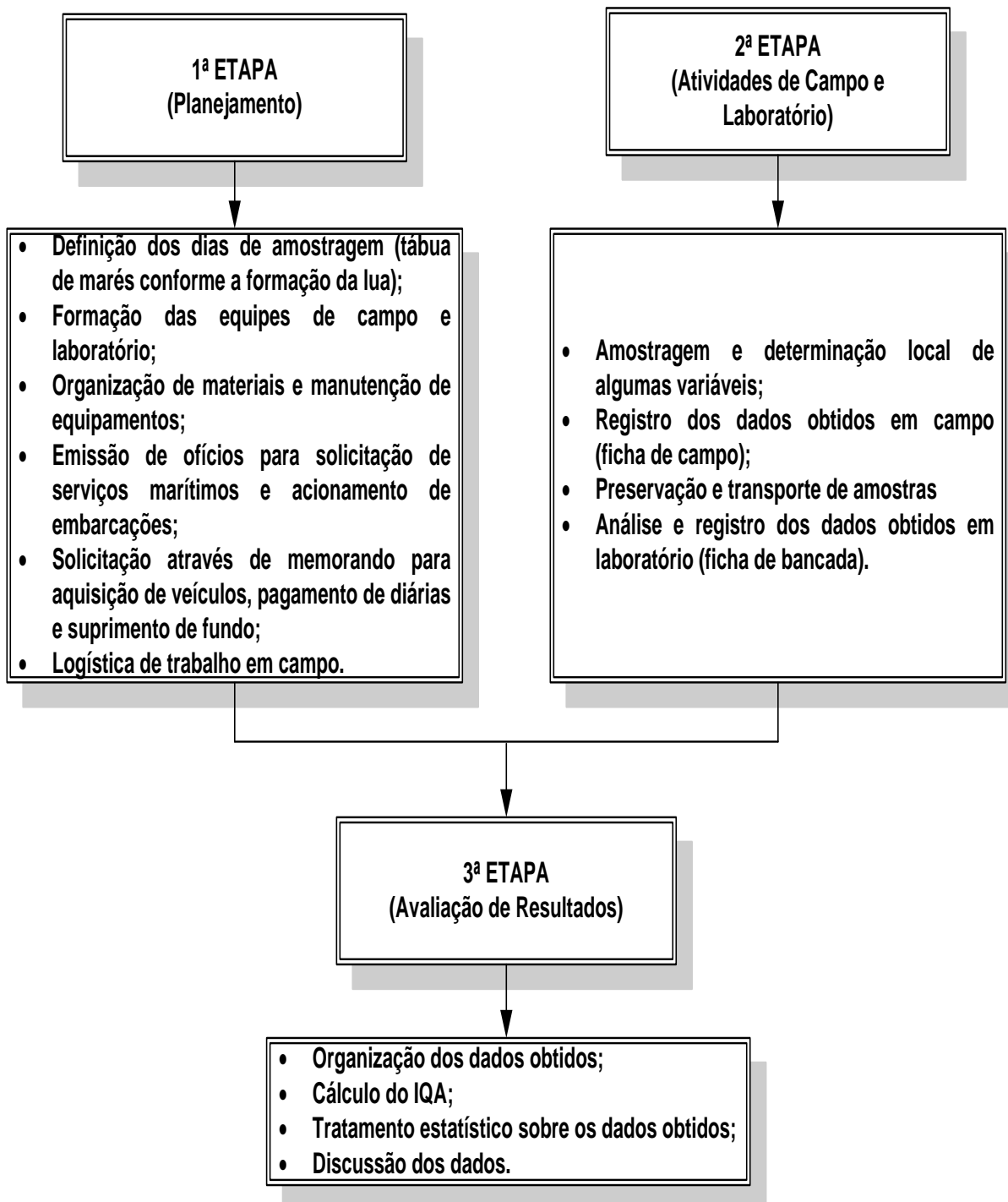


Figura 4.4: Fluxograma do resumo das etapas e atividades desenvolvidas no estudo.

Tomou-se como referência para a realização do trabalho de campo as previsões de marés do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) do Centro de Hidrografia da Marinha Brasileira (CHM), com as seguintes descrições: Latitude: Latitude: 01°32',4 S; Longitude: 048°45',2 W; Fuso: +03.0; Ano: 2009; Instituição: DHN 42; Componentes Nível Médio: 1.680 e Carta: 0304. As tábuas de marés utilizadas para a realização do trabalho de campo nos rios Arapiranga e Murucupi em

2009 foram do Porto de Vila do Conde, conforme pode ser observado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Tábuas de marés do Porto de Vila do Conde referentes aos dias de amostragem nos rios estudados em 2009.

Rio	Lua	Dia	Hora	Altura (m)
Arapiranga	Nova	26.01.2009	07:28	0,1
			12:30	2,6
			19:06	0,6
	Nova	25.04.2009	07:13	0,4
			11:32	3,0
			19:51	0,2
	Cheia	07.07.2009	06:47	0,7
			11:53	2,6
			19:49	0,2
	Crescente	03.10.2009	06:00	0,4
			11:11	2,8
			18:43	0,2
Murucupi	Nova	26.01.2009	07:28	0,1
			12:30	2,6
			19:06	0,6
	Nova	27.04.2009	08:45	0,5
			12:19	3,1
			13:41	3,1
	Cheia	07.07.2009	21:32	0,2
			06:47	0,7
			11:53	2,6
	Cheia	04.10.2009	19:49	0,2
			06:47	0,4
			11:43	2,9
			19:15	0,3

Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), 2012.

As amostragens nos rios Arapiranga e Murucupi foram realizadas de acordo com a variabilidade no tempo obedecendo à tabua de marés (Tabela 4.3) e condições de navegabilidade nos dias de amostragem. Os intervalos de coletas realizadas em 2009 durante cada dia de amostragem e de acordo com a condição de maré estão descritos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Intervalo de coleta nos rios Arapiranga e Murucupi em 2009.

Mês	Maré	Intervalo de Coleta (H: min)	
		ARA Início-Fim	MUR Início-Fim
Janeiro	BM	16:32-18:19	13:15-14:48
	PM	10:13-12:38	09:22-10:52
Abril	BM	14:57-17:15	14:16-15:43
	PM	10:31-11:53	10:13-12:06
Julho	BM	13:40-15:14	13:33-14:46
	PM	10:45-11:58	10:14-11:07
Outubro	BM	14:04-15:43	13:14-14:53
	PM	09:10-10:26	09:00-10:30

ARA: Arapiranga; MUR: Murucupi; BM: Baixa-mar; PM: Preamar.

4.3. PROCEDIMENTOS DE COLETA

A amostragem para determinação das variáveis físico-química e exames microbiológicos nos pontos de coleta fora do tipo simples e utilizando-se a técnica de imersão do frasco numa profundidade máxima de 30 cm da coluna d'água (CETESB, 2001).

Na coleta de água para análise físico-química foram utilizados frascos de polipropileno com capacidade de 1 L, sendo as amostras coletadas e transportadas logo após as coletas para o Laboratório de Toxicologia da Seção de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas em Ananindeua/PA. As amostras foram conservadas sob refrigeração ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) em caixas isotérmicas durante o transporte de campo até o laboratório. Para a análise de DBO, foram utilizados frascos de polipropileno âmbar com capacidade de 1 L, utilizando-se o mesmo critério de conservação comentado anteriormente.

Na coleta de água para os exames microbiológicos, foram utilizadas bolsas NASCO[®] de 100 mL. As amostras foram acondicionadas em caixas isotérmicas ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) e também foram transportadas para o Laboratório de Microbiologia Ambiental da Seção de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas em Ananindeua/PA, onde foram realizados os procedimentos necessários para os exames microbiológicos.

Na Figura 4.5 pode ser observado o trabalho desenvolvido em campo envolvendo as seguintes atividades: coleta de água para análises físico-químicas e exames microbiológicos, determinação de algumas variáveis no momento da coleta, registro de informações locais e armazenamento e preservação de amostras para

análises e exames em laboratório.



Figura 4.5: Trabalho de Campo nos rios monitorados. a) Coleta de água para análise físico-química; b) Coleta de água para exame microbiológico; c e d) Determinação “*in loco*” de variáveis físico-químicas; e) Registro de informações no momento da coleta e f) Acondicionamento e preservação de amostras em caixa isotérmica.

4.4. VARIÁVEIS ANALISADAS

As variáveis físico-química e microbiológica que foram determinadas para obtenção do IQA foram as seguintes: Temperatura (T), pH, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Sólidos Suspensos Totais (SST), Oxigênio Dissolvido (OD, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), *Coliformes Termotolerantes* (CT), Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (PT), Turbidez (Turb). O valor referente a soma do STD e do SST, resultou nos valores de Resíduo Total.

Conforme o Art. 2º da Resolução CONAMA 357/05/MMA, as águas são definidas quanto à salinidade como: I- águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰; II- águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰; III- águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30‰. Neste sentido, com o intuito de classificação dos corpos hídricos avaliados quanto à salinidade, determinou-se a variável Salinidade (Sal).

4.4.1. Análise Físico-Química e Exame Microbiológico

Os métodos analíticos empregados para a determinação das variáveis analisadas obedeceram aos procedimentos e metodologias padronizadas e validadas conforme recomendações descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 2005) e Manual do Espectrofotometro HACH® (HACH®, 1990 e 2007).

O pH, temperatura, Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e oxigênio dissolvido (mg/L e % de saturação) foram determinados no momento da amostragem com o equipamento HI 769828 da HANNA® e as variáveis Sólidos Suspensos Totais (SST), Nitrogênio Total, Fósforo Total e Turbidez foram determinadas por espectrofotometria nos equipamentos DR 2000 e 2800 (UV-VIS).

A determinação da DBO₅ a 20 °C foi realizada no equipamento HACH BODTRAK e os Números Mais Prováveis (NMP) de *coliformes termotolerantes* por meio de cartelas QUANTI-TRAY em banho maria com temperatura constante de 44,5⁰ C.

Os métodos utilizados para análise de cada variável estão descritos abaixo:

- pH: utilização do método potenciométrico, sensor pH/ORP Probe HI 769828-1 (SM 4500B);

- OD: utilização do método do eletrodo contendo membrana por difusão; Sensor OD/Temperatura HI 769828-2 (SM 4500 O);
- DBO: utilização do método respirométrico (SM 5210 D);
- STD: utilização do método potenciométrico, sensor de condutividade EC HI 769828-3 (SM 2540C);
- Salinidade: utilização do método potenciométrico, sensor de condutividade EC HI 769828-3 (SM 2520B);
- SST: utilização do método fotométrico por espectrofotometria com comprimento de onda (λ) de 810 nm (SM 2540D);
- Turbidez: determinação utilizando o método absorvométrico por espectrofotometria com comprimento de onda (λ) de 450 nm (8237 HACH[®]);
- Nitrogênio Total Kjeldahl: utilização do método de digestão e Nesslerização por espectrofotometria com comprimento de onda (λ) de 460 nm (SM 4500-Norg B);
- N-Amoniacal: utilização do método de destilação e Nesslerização por espectrofotometria com comprimento de onda (λ) de 425 nm (8038 HACH[®]);
- N-Nitrato: utilização do método de redução de cádmio por espectrofotometria com comprimento de onda (λ) de 507 nm (SM 4500NO3-E);
- N-Nitrito: determinação utilizando o método 8507 HACH[®], mediante a utilização do método de diazotization por espectrofotometria com comprimento de onda (λ) de 507 nm (SM 4500NO2-B);
- Fósforo Total: determinação utilizando o método de digestão de persulfato de potássio seguido pelo método colorimétrico do ácido ascórbico por espectrofotometria com comprimento de onda (λ) de 880 nm (SM 4500 P-E);
- *Coliformes Termotolerantes*: determinação mediante a aplicação do método de substrato enzimático Substrato cromogênico definido e ONPG-MUG (COLLILERT/QUANTI-TRAY[®]) (SM 9223 B).

Obs.: Os valores de turbidez determinados em UFT (Unidade Formazina de Turbidez) foram convertidos para UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez) através de multiplicação por um fator de correção encontrado (1,02) a partir de testes realizados com o padrão de formazina de 100 UNT no espectrofotômetro DR 2000 da Hach e no turbidímetro 2100P da Hach.

Na Figura 4.6 podem ser vistos os procedimentos para as análises físico-químicas e microbiológicas.

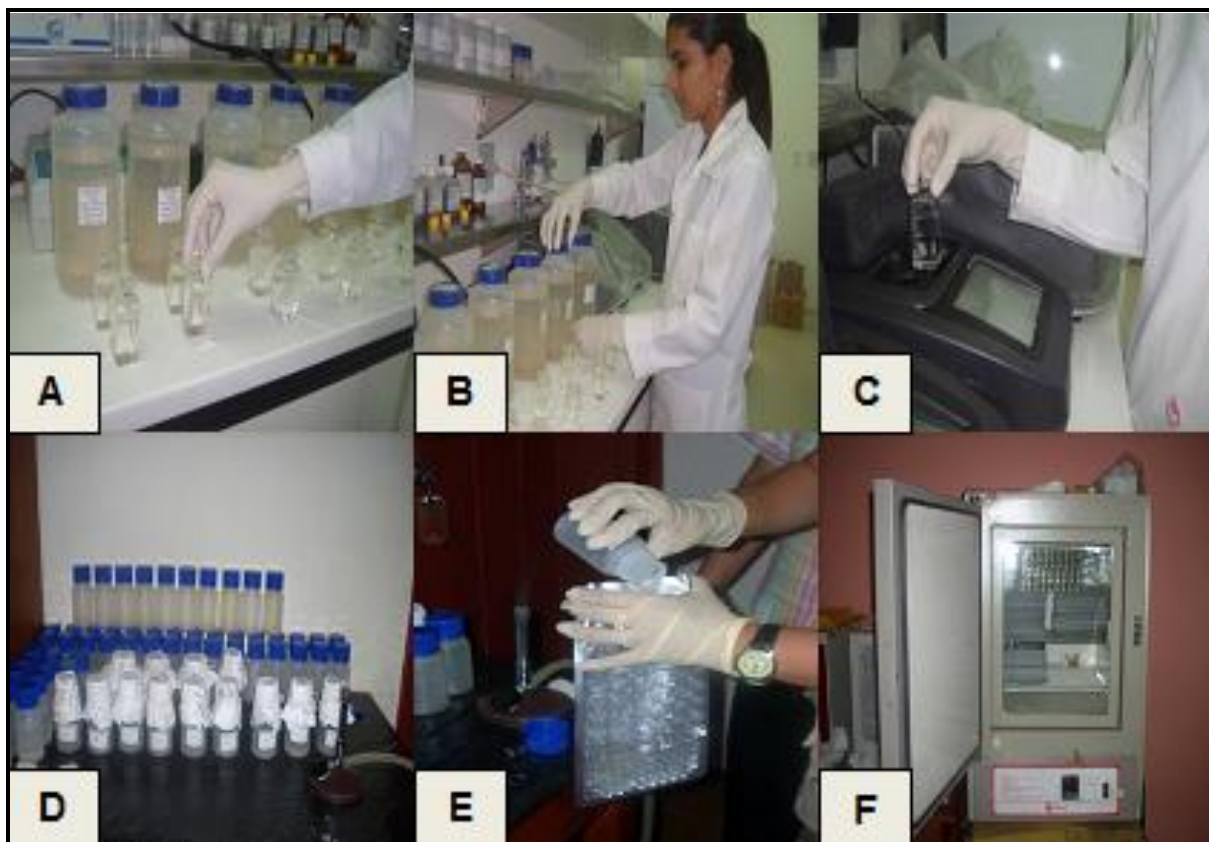


Figura 4.6: Análises físico-químicas (A, B e C) e exames microbiológicos (D, E e F).

A determinação do Limite de Detecção do Método (LDM) para as variáveis Sólidos Totais Dissolvidos, Turbidez, Fósforo Total, N-Nitrato e N-Amoniacal utilizou a equação 03 (DOQ-CGCRE-008, 2011). Também foi determinado o percentual de recuperação para o pH após dez (10) medições sobre o padrão de pH=10 com a sonda multiparamétrica devidamente calibrada com os padrões de pH=4 e pH=7.

$$LD = 0 + t_{(n-1, 1-\alpha)} \cdot s \quad (\text{Eq.03})$$

Em que,

LDM= Limite de Detecção do método (a matriz utilizada foi o branco da amostra com adição da menor concentração aceitável do analito);

t= Distribuição de Student, dependente do tamanho da amostra e do grau de confiança e,

s = Desvio-padrão amostral dos brancos da amostra, com adição.

A partir da expressão 03, determinou-se o LDM para algumas variáveis e o percentual de recuperação (valor observado) para o pH conforme as informações da

Tabela 4.5. O valor t (2,821) da distribuição de Student foi adotado (valor tabelado) para um intervalo de confiança de 99% e grau de liberdade igual a nove (09) após dez (10) determinações sobre os brancos das amostras. O grau de liberdade (ν) é determinado a partir da subtração do número de determinações (n) menos o valor 1 (BARROS NETO *et al.*, 2007).

Tabela 4.5: Limite de Detecção do Método para algumas variáveis.

Variáveis	Padrão	Recuperação (%)	LDM
pH	10	99,96	-
Turbidez (UNT)	100	-	1,4
STD (mg/L)	50	-	1,4
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	10±0,1	-	0,019
N-NH ₃ ⁺ (mg/L)	1	-	0,023
P (mg/L)	1000	-	0,012

4.5. CÁLCULO DO IQA

Os IQAs nos dois rios em questão (Arapiranga e Murucupi) foram determinados sobre os dados referentes às quatro (04) campanhas de amostragem de 2009. É importante lembrar que o IQA obtido neste trabalho está relacionado a um intervalo de amostragem ocorrido durante algumas horas do dia envolvendo assim as marés baixa-mar e preamar.

Os IQAs foram determinados seguindo o mesmo critério da CETESB conforme a equação 01, item 3.2. do capítulo 3.

A determinação dos valores de q_i de cada variável foi realizada de acordo com as equações representativas das curvas de qualidade do NSF (Tabelas 4.6 e 4.7), elaboradas pela CETESB (Von Sperling, 2007). Os valores de q_i para a variável DBO determinados acima de 5 mg/L foram determinados de acordo com a curva média de variação de qualidade para DBO conforme a Figura 3.5, item 3.3. do capítulo 3.

Tabela 4.6: Equações representativas das curvas de qualidade do NSF, elaboradas pela CETESB para determinação dos valores de q_i das variáveis *Coliformes Termotolerantes*, pH, DBO e Nitrogênio Total.

Parâmetro	Limite Mínimo (>)	Limite Máximo (\leq)	Equação de q_i
$\text{Log}_{10}(\text{Coliformes Termotolerantes})$	0	1	$100 - 33 \cdot \log C$
	1	5	$100 - 37,2 \cdot \log C + 3,60743 \cdot \log C^2$
	5	3	
pH	0,0	2,0	2
	2,0	4,0	$13,6 - 10,6 \cdot \text{pH} + 2,4364 \cdot \text{pH}^2$
	4,0	6,2	$155,5 - 76,36 \cdot \text{pH} + 10,2481 \cdot \text{pH}^2$
	6,2	7,0	$-657,2 + 197,38 \cdot \text{pH} - 12,9167 \cdot \text{pH}^2$
	7,0	8,0	$-427,8 + 142,05 \cdot \text{pH} - 9,695 \cdot \text{pH}^2$
	8,0	8,5	$216 - 16 \cdot \text{pH}$
	8,5	9,0	$1415823 \cdot 10^{(-1,1507 \cdot \text{pH})}$
	9,0	10,0	$50 - 32 \cdot (\text{pH} - 9)$
	10,0	12,0	$633 - 106,5 \cdot \text{pH} + 4,5 \cdot \text{pH}^2$
DBO	12,0	14,0	3
	0	5	$99 \cdot 10^{(-0,1232728 \cdot C)}$
	5	15	$104,67 - 31,5463 \cdot \text{Log}(C)$
	15	30	$4394,91 \cdot C^{-1,99809}$
Nitrogênio Total (mgN/L)	30	2	
	0	10	$100 - 8,169 \cdot C + 0,3059 \cdot C^2$
	10	60	$101,9 - 23,1023 \cdot \text{Log}(C)$
	60	100	$159,3148 \cdot 10^{(-0,0512842 \cdot C)}$
	100	1	

C: concentração (mg/L)

Fonte: CETESB (2004), SRH-PE (2005) e Von Sperling (2007)

Tabela 4.7: Equações representativas das curvas de qualidade do NSF, elaboradas pela CETESB para determinação dos valores de qi das variáveis Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Sólidos Totais e percentagem de saturação de OD.

Parâmetro	Limite Mínimo (>)	Limite Máximo (\leq)	Equação de qi
Fósforo Total (mgN/L)	0	1	$99 \cdot 10^{(-0,91629 \cdot C)}$
	1	5	$57,6 - 20,178 \cdot C + 2,1326 \cdot C^2$
	5	10	$19,8 \cdot 10^{(-0,13544 \cdot C)}$
	5	5	
Diferença de Temperatura			94 (assumindo o valor constante de 94 pela CETESB, por se considerar que, nas condições brasileiras, a temperatura dos corpos d'água não se afasta da temperatura de equilíbrio)
Turbidez (UNT)	0	150	$100,17 - 2,67 \cdot \text{Turb} + 0,03775 \cdot \text{Turb}^2$
	150	500	$84,76 \cdot 10^{(-0,016206 \cdot \text{Turb})}$
	500	5	
Sólidos Totais (mg/L)	0	25	$79,75 + 0,166 \cdot C - 0,001088 \cdot C^2$
	25	100	$101,67 - 0,13917 \cdot C$
	100	32	
Percentagem de Saturação de OD (%)	0	50	$3 + 0,34 \cdot (\% \text{sat}) + 0,008095 \cdot (\% \text{sat})^2 + 1,35252 \cdot 0,00001 \cdot (\% \text{sat})^3$
	50	85	$3 - 1,166 \cdot (\% \text{sat}) + 0,058 \cdot (\% \text{sat})^2 - 3,803435 \cdot 0,00001 \cdot (\% \text{sat})^3$
	85	100	$3 + 3,7745 \cdot (\% \text{sat})^{0,704889}$
	100	140	$3 + 2,9 \cdot (\% \text{sat}) - 0,02496 \cdot (\% \text{sat})^2 + 5,60919 \cdot 0,00001 \cdot (\% \text{sat})^3$
	140		$3 + 47$
Concentração de saturação de OD (mg/L)			$C_s = (14,62 - 0,3898 \cdot \text{temp} + 0,006969 \cdot \text{temp}^2 - 0,00005898 \cdot \text{temp}^3) \cdot (1 - 0,0000228675 \cdot \text{altitude})^{5,167}$
Percentagem de saturação (%)			$100 \cdot \text{OD} / C_s$

C: concentração (mg/L); temp= temperatura; turb= turbidez

Fonte: CETESB (2004), SRH-PE (2005) e Von Sperling (2007).

Criou-se um modelo de IQA (IQA_{modelo}) baseado nos valores estabelecidos pela legislação Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas classe 2 e utilizou-se como meta nos box-plots dos IQAs. Esse valor calculado foi de 48.

Os valores de *coliformes termotolerantes* utilizados na aplicação da estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) e construção dos box-plots foram convertidos para Log_{10} conforme Von Sperling (2001), inclusive o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA de 1000 NMP/100 mL.

O valor igual ou superior a 5 mg/L de OD conforme a legislação Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2, foi convertido para percentual de saturação conforme Von Sperling (2007) para utilização no cálculo do IQA_{modelo} . Para a conversão do OD, foram utilizadas as equações 05 e 06. Segundo Braglia *et al.* (2007), a altitude no município de Abaetetuba/PA oscila entre 5 e 20 m e, em Barcarena/PA é de 14 m, portanto, adotou-se na equação 04 a altitude de 14 m. Os resultados de temperatura indicaram valor médio nas águas dos rios estudados em torno de 28 °C, assim, este valor também foi usado no cálculo da concentração de saturação de OD (C_s) para esta altitude e temperatura. A partir de C_s , definiu-se conforme a equação 04, o percentual de saturação de OD em função do valor mínimo ($OD_{\text{legislação}} = 5 \text{ mg/L}$) estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

$$C_s = (14,62 - 0,3898 * \text{temp} + 0,006969 * \text{temp}^2 - 0,00005896 * \text{temp}^3) * (1 - 0,0000228675 * \text{altitude})^{5,167} \quad (\text{Eq.05})$$

A percentagem de saturação para $OD_{\text{legislação}}$ é dada por:

$$\% \text{ Sat} = 100 \times OD_{\text{Legislação}} / C_s \quad (\text{Eq.06})$$

Onde,

C_s = Concentração de saturação de OD (mg/L);

temp = Temperatura (°C);

% Sat = Percentual de saturação de OD (%).

4.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

O tratamento estatístico objetivou a aplicação da estatística descritiva, analítica e análise multivariada sobre os dados das variáveis analisadas e dos valores de IQAs obtidos, onde tais ferramentas, serviram para avaliar todos esses

dados no período chuvoso e seco nas marés baixa-mar e preamar nos dois rios.

Na estatística descritiva, determinou-se em um certo número de dados os valores médios, desvio padrão, máximo e mínimo, assim como, construiu-se gráficos box-plots envolvendo diversas comparações. Nos box-plots, as nomenclaturas referentes às comparações realizadas foram definidas da seguinte forma: Arapiranga Baixa-Mar Período Chuvoso (**ARABPC**), Arapiranga Preamar Período Chuvoso (**ARAPPC**), Murucupi Baixa-Mar Período Chuvoso (**MURBPC**) e Murucupi Preamar Período Chuvoso (**MURPPC**).

Na estatística analítica verificou-se a distribuição dos dados amostrais por meio do teste de normalidade de D'Agostine para um número de amostras maior que 10 ($k > 10$), onde se pode avaliar se as amostras eram paramétricas (iguais entre si) ou não paramétricas (anormais entre si). O teste de normalidade de D'agostine foi utilizado com o propósito de se verificar em um conjunto de informações, as semelhanças e diferenças entre os dados obtidos nos dois rios estudados a partir de comparação sazonal (períodos chuvoso e seco). Foram realizadas 40 comparações envolvendo os dados de variáveis e IQAs.

Aplicou-se os testes de hipóteses utilizando-se o teste t sobre o conjunto de dados definidos pelo teste de normalidade como paramétricos (para $H_0=0$) e o teste de Wilcoxon sobre os não paramétricos (para $H_1 \neq 0$) para um nível de confiabilidade α igual a 5 %. Os testes de hipóteses foram aplicados sobre as mesmas comparações realizadas pelo teste de normalidade de D'Agostine. Estes testes de hipóteses aplicados sobre os dados obtidos nos dois rios estudados, auxiliaram na avaliação da qualidade destas águas superficiais em períodos de amostragem distintos (chuvoso e seco) e para condições de maré diferentes (baixa-mar e preamar).

Utilizou-se o programa Biostat 5.0 para verificação de normalidade dos dados amostrais, o microsoft Excel 2007 para a aplicação do teste t e construção de gráficos (box-plots) e o uso do programa Minitab 15 para o teste de Wilcoxon.

Como neste trabalho utilizaram-se algumas ferramentas estatísticas para avaliação da qualidade das águas nos rios estudados, seguem abaixo algumas informações sobre análise multivariada envolvendo Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) e Análise de Componentes Principais (ACP):

Conforme comentário de Ayres (2011), embora as primeiras análises se devam a Francis Galton (1986), só foi possível desenvolver e aprimorar os testes estatísticos de análises multivariadas com o desenvolvimento da informática e, desde

então, essas ferramentas de análises vêm sendo utilizadas em larga escala nos últimos anos do século XX. A Análise Multivariada é denominada como sendo um grande número de métodos e técnicas onde se utilizam ao mesmo tempo todas as variáveis interpretadas em um conjunto de dados obtidos (NETO, 2004 *apud* VICINI, 2005).

A AAH ou de *cluster*, são conjuntos de técnicas multivariadas que têm a finalidade de agregar e separar objetos (indivíduos) de acordo com as características que eles possuem (HAIR JR *et al.*, 2005 *apud* HOFFMANN, 2008). Os agrupamentos hierárquicos ocorrem por métodos aglomerativos e divisivos através da fusão e separação dos grupos em cada etapa, respectivamente (FRALEY E RAFTERY, 1998 *apud* HOFFMANN, 2008). Esses grupos são representados em forma de gráficos bidimensionais denominados de dendogramas (NASCIMENTO *et al.*, 2010).

A finalidade dessa técnica é reunir os objetos (indivíduos, elementos...) verificados nos grupos em que existe homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos (VICINI, 2005). Esse critério é utilizado para decidir até que ponto dois elementos de um determinado conjunto de dados podem ser considerados semelhantes a partir de suas medidas (distâncias), definindo-se assim, a similaridade entre elementos amostrais de acordo com suas características e proximidade. Por exemplo, ao considerar que para cada elemento amostral têm-se informações de p variáveis armazenadas em um vetor, a comparação de diferentes elementos amostrais poderá ser feita através de medidas matemáticas (métricas), que possibilitem a comparação de vetores através das medidas de distância, deste modo, pode-se calcular as distâncias entre os vetores de observações dos elementos amostrais e agrupar aqueles de menor distância (FRANÇA, 2009).

O agrupamento de objetos consiste no reconhecimento entre eles de certo grau de similaridade que seja suficiente para uni-los em um mesmo grupo (VALENTIM, 2000 *apud* BUFON e LANDIM, 2007). A partir da matriz inicial de dados, defini-se outras matrizes simétricas de similaridades com detecção de pares com a mais alta similaridade ou mais baixa distância. Diversas medidas têm sido propostas como medidas de similaridade, contudo, as mais usadas são: coeficiente de correlação e coeficiente de distância. Muitas técnicas têm sido propostas e os métodos geralmente mais utilizados são: ligação simples, ligação completa, agrupamento pareado proporcionalmente ponderado, agrupamento pareado igualmente ponderado e variância mínima (BUFON e LANDIM, 2007).

A ACP é um método da estatística multivariada no qual a estrutura de um conjunto de dados multivariados pode ser interpretada a partir das respectivas matrizes de variâncias-covariâncias ou de correlações entre as variáveis consideradas, onde ocorrem as transformações lineares das variáveis originais em novas variáveis, surgindo assim, novos conjuntos de dados até ao ponto que essas variações de conjuntos tenham sido explicadas (GOMES, 1985; LUDWIG e REYNOLDS, 1988; LANDIM, 2000; ODDEN e KVALHEIM, 2000 *apud* BERNARDI *et al.*, 2009).

É uma técnica estatística multivariada onde a idéia central é reduzir dimensionalmente um conjunto de dados que apresentam muitas variáveis inter-relacionadas. Os dados originais são definidos em um novo conjunto de variáveis chamados de componentes principais (LIMA *et al.*, 2011).

Utilizou-se neste estudo a AAH com observação de grupos e subgrupos através da distância euclidiana por ligação completa, ACP dos tipos Score Plot e Loadind Plot permitindo uma avaliação discriminante para grupos e variáveis respectivamente, assim como, a correlação de Pearson sobre dados das variáveis obtidos em todas as campanhas de amostragem realizadas neste estudo em 2009.

A análise multivariada foi realizada conjuntamente nos dois rios sobre os dados o

btidos (para variáveis e para IQAs), com avaliação à parte para cada período (chuvoso e seco). Foram construídos a partir dos dados obtidos, os gráficos de componentes hierárquicos (dendogramas), componentes principais (score plots), componentes principais (loading plots, apenas para as variáveis) e matrizes de correlação de Pearson para as variáveis. Pelo fato das variáveis apresentarem unidades diferentes, os dados foram padronizados no próprio programa (minitab 15). Os oito (08) pontos de amostragem em cada rio, para estas análises, estão identificados nos gráficos da seguinte maneira: Arapiranga Baixa-Mar (**AB**), Arapiranga Preamar (**AP**), Murucupi Baixa-Mar (**MB**), Murucupi Preamar (**MP**). Os meses deste estudo, estão representados nos dendogramas e PCAs da seguinte forma: janeiro (**1**) e abril (**2**) referentes ao período chuvoso e julho (**3**) e outubro (**4**) referentes ao período seco.

Podem ser observados nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, os resumos esquemáticos da estatística descritiva, analítica e análise multivariada aplicadas sobre os valores das variáveis e IQAs determinados nos rios Arapiranga e Murucupi nos períodos

chuvoso (janeiro e abril) e seco (julho e outubro), em situações de marés baixa-mar e preamar.

Na Figura 4.7 pode ser visto o resumo esquemático da estatística descritiva e analítica aplicadas sobre os valores das variáveis determinadas nas águas do rio Arapiranga.

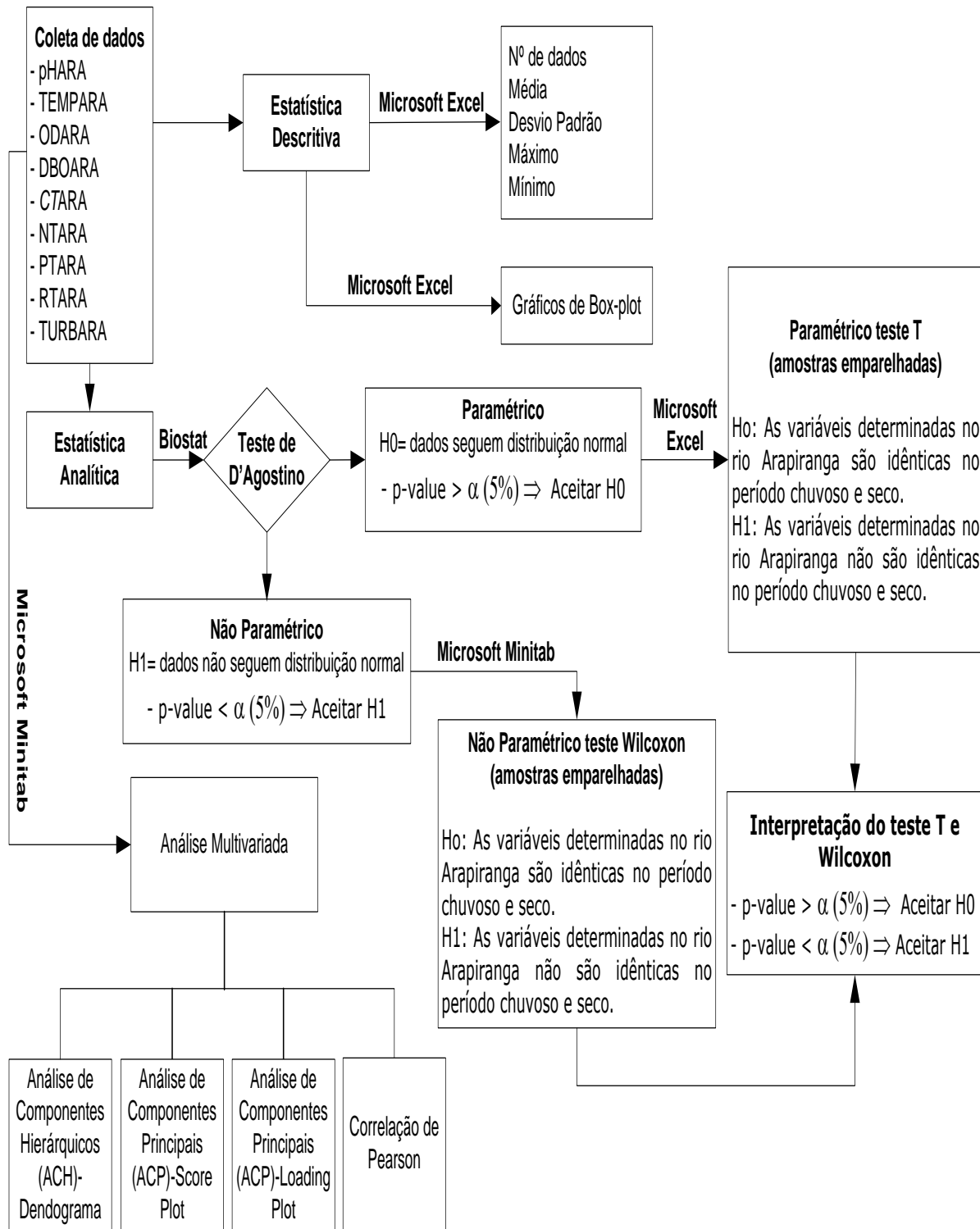


Figura 4.7: Fluxograma do resumo esquemático da estatística descritiva e analítica aplicadas sobre os dados das variáveis analisadas no rio Arapiranga.

Na Figura 4.8 pode ser visto o resumo esquemático da estatística descritiva e analítica aplicadas sobre os valores das variáveis determinadas nas águas do rio Murucupi.

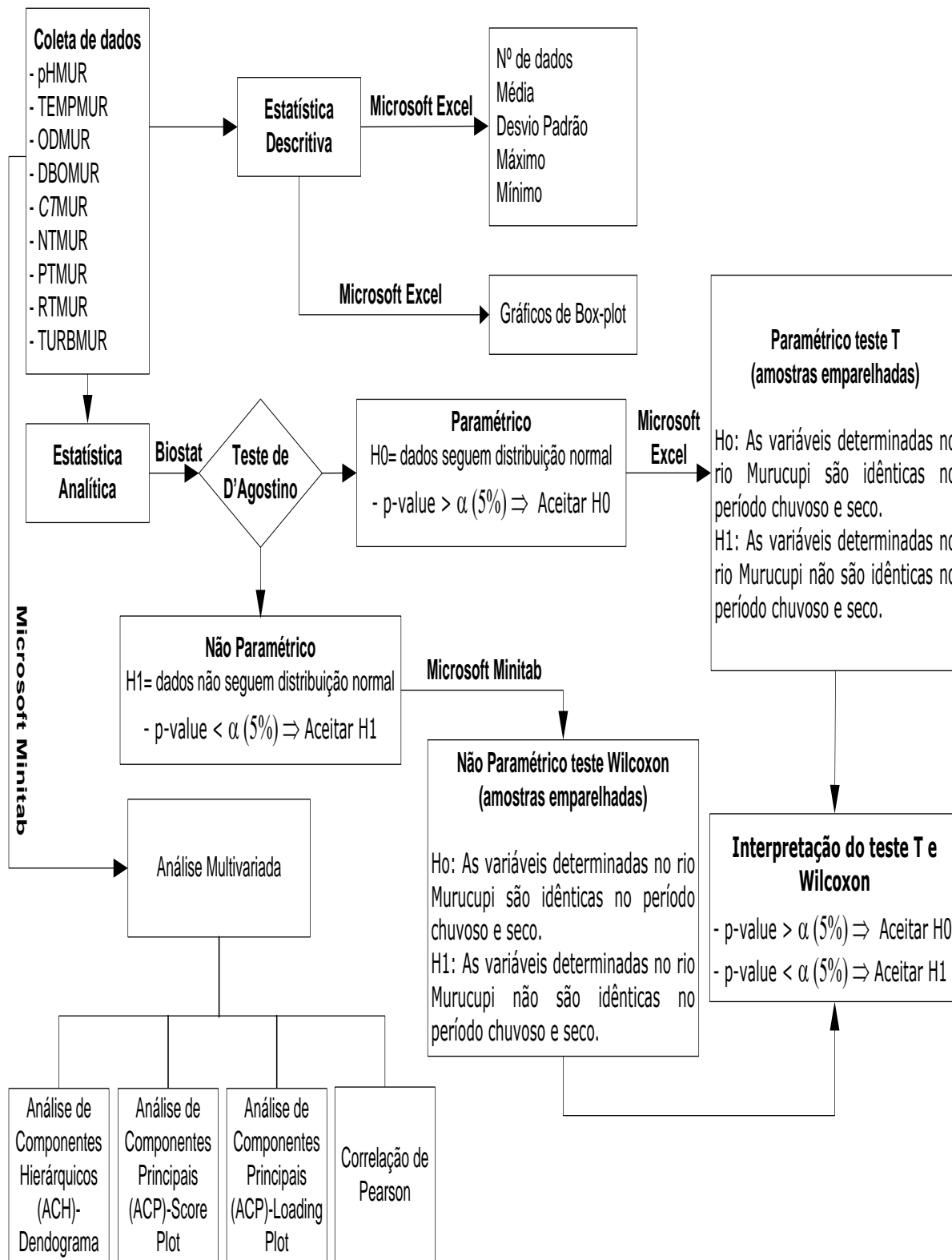


Figura 4.8: Fluxograma do resumo esquemático da estatística descritiva e analítica aplicadas sobre os dados das variáveis analisadas no rio Murucupi.

Na Figura 4.9 pode ser visto o resumo esquemático da estatística descritiva, analítica e análise multivariada aplicadas sobre os valores dos IQAs determinados nas águas dos rios Arapiranga e Murucupi nos períodos chuvoso (janeiro e abril) e seco (julho e outubro).

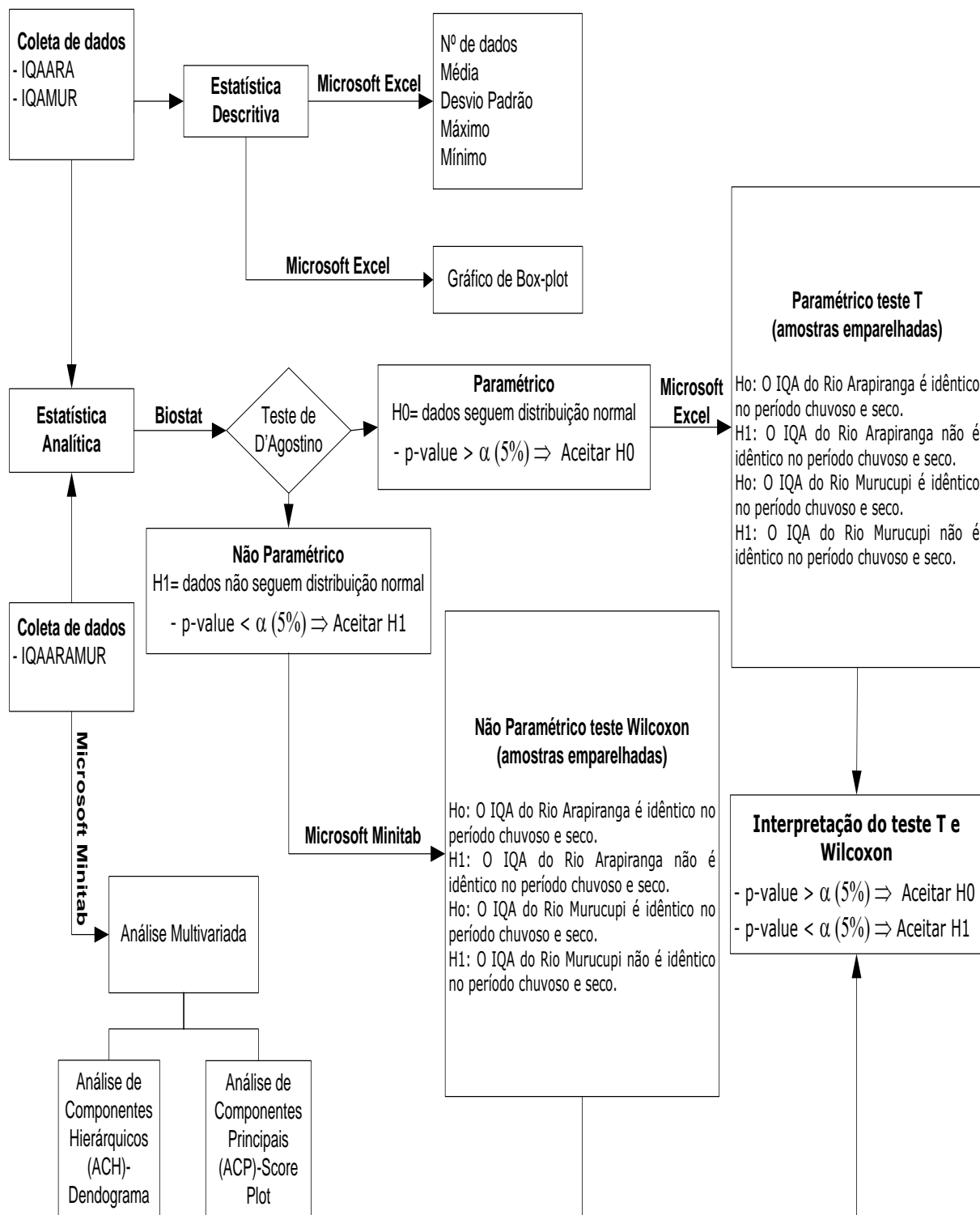


Figura 4.9: Fluxograma do resumo esquemático da estatística descritiva, analítica e análise multivariada aplicadas aos dados dos IQAs determinados nos rios Arapiranga e Murucupi.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados físico-químicos, microbiológicos e IQAs determinados nos rios Arapiranga e Murucupi em condições de marés baixa-mar e preamar nas campanhas de amostragem de janeiro, abril, julho e outubro de 2009 são apresentados nas Tabelas 5.1 a 5.16. Nas Tabelas 5.1 e 5.2 constam os dados das variáveis e IQAs dos rios Arapiranga e Murucupi da maré baixa-mar de janeiro de 2009.

Tabela 5.1: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Arapiranga-maré baixa-mar de janeiro de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
ARA-01	26	4,6	4,5	0,00	6	3,30E+03	0,2	0,04	12	17	43
ARA-02	26	4,8	4,9	0,00	6	3,40E+03	0,2	0,05	14	21	45
ARA-03	26	4,8	5,0	0,00	4	4,60E+03	0,2	0,04	14	16	46
ARA-04	26	4,7	4,8	0,00	4	7,70E+03	0,2	0,04	13	15	43
ARA-05	26	4,9	4,9	0,00	6	4,10E+03	0,2	0,04	13	16	46
ARA-06	26	5,0	5,2	0,00	5	5,80E+03	0,2	0,07	15	19	46
ARA-07	27	5,4	6,0	0,00	4	4,40E+03	0,2	0,07	17	21	52
ARA-08	28	6,1	6,4	0,01	4	4,60E+03	0,2	0,08	18	20	57

IQA_m = 47

Tabela 5.2: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Murucupi-maré baixa-mar de janeiro de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
MUR-01	27	6,1	3,4	0,03	16	2,40E+05	3,4	0,5	47	28	32
MUR-02	27	6,1	4,3	0,03	16	5,70E+04	3,5	0,5	46	31	36
MUR-03	27	6,2	4,6	0,03	16	5,50E+04	1,5	0,3	45	30	38
MUR-04	28	6,3	5,0	0,02	11	1,70E+04	1,2	0,3	43	33	44
MUR-05	28	6,5	6,0	0,02	10	7,90E+03	1,2	0,3	40	31	49
MUR-06	29	6,7	6,5	0,01	10	4,30E+03	1,3	0,3	26	25	53
MUR-07	29	7,0	6,5	0,01	8	2,00E+03	1,3	0,4	32	21	57
MUR-08	29	7,2	6,8	0,02	6	1,50E+03	1,2	0,4	32	18	60

IQA_m = 46

Na Tabela 5.3 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Arapiranga referentes à maré preamar de janeiro de 2009.

Tabela 5.3: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Arapiranga-maré preamar de janeiro de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
ARA-01	26	4,8	5,1	0,00	4	6,10E+03	0,16	0,03	12	14	46
ARA-02	26	5,1	5,4	0,00	4	5,50E+03	0,16	0,04	14	18	48
ARA-03	26	4,9	5,4	0,00	2	5,50E+03	0,16	0,04	12	18	48
ARA-04	26	5,1	5,2	0,00	2	2,70E+03	0,15	0,03	12	19	51
ARA-05	26	5,5	5,2	0,00	4	3,60E+03	0,14	0,04	14	21	51
ARA-06	27	6,2	5,5	0,01	4	2,90E+03	0,15	0,07	21	24	56
ARA-07	28	6,6	6,8	0,01	2	2,90E+03	0,17	0,06	29	25	62
ARA-08	29	7,1	7,0	0,02	4	3,70E+03	0,16	0,07	28	16	62

IQA_m = 53

Na Tabela 5.4 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Murucupi referentes à maré preamar de janeiro de 2009.

Tabela 5.4: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Murucupi-maré preamar de janeiro de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
MUR-01	26	6,2	3,9	0,03	14	1,00E+04	2,1	0,4	49	32	40
MUR-02	26	6,1	4,4	0,03	14	2,40E+04	1,4	0,5	46	30	39
MUR-03	27	6,2	4,9	0,03	13	1,30E+04	1,0	0,2	44	31	44
MUR-04	27	6,3	5,6	0,02	12	3,90E+03	0,9	0,2	40	31	50
MUR-05	29	6,6	6,5	0,02	12	3,00E+03	0,9	0,2	33	24	54
MUR-06	29	6,9	6,7	0,02	11	1,00E+03	1,0	0,2	30	19	59
MUR-07	29	7,0	6,9	0,02	9	7,80E+02	0,9	0,2	33	19	62
MUR-08	29	7,2	6,9	0,02	8	8,30E+02	0,9	0,2	32	18	62

IQA_m = 51

Na Tabela 5.5 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Arapiranga referentes à maré baixa-mar de abril de 2009.

Tabela 5.5: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Arapiranga-maré baixa-mar de abril de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
ARA-01	26	5,0	6,0	0,00	9	9,10E+03	0,4	0,05	18	23	45
ARA-02	26	5,3	6,2	0,00	7	1,30E+04	0,4	0,07	21	28	46
ARA-03	26	5,6	6,1	0,00	6	9,60E+03	0,4	0,06	20	29	49
ARA-04	26	5,4	6,2	0,00	6	8,00E+03	0,4	0,05	20	27	49
ARA-05	26	5,9	6,3	0,01	8	1,20E+04	0,6	0,06	24	30	50
ARA-06	26	5,6	6,3	0,01	6	1,80E+04	0,5	0,09	24	36	47
ARA-07	27	6,1	6,4	0,01	5	2,00E+04	0,5	0,08	29	36	50
ARA-08	27	6,2	6,5	0,01	4	1,40E+04	0,5	0,09	33	38	52

IQA_m = 49

Na Tabela 5.6 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Murucupi referentes à maré baixa-mar de abril de 2009.

Tabela 5.6: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Murucupi da maré baixa-mar de abril de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
MUR-01	27	6,1	1,4	0,02	14	1,20E+05	0,4	0,09	48	45	29
MUR-02	27	6,2	3,4	0,02	18	1,40E+05	0,5	0,05	46	41	33
MUR-03	28	6,4	4,3	0,02	17	9,10E+04	0,5	0,06	49	47	37
MUR-04	28	6,4	5,2	0,02	18	7,30E+04	0,4	0,08	42	37	39
MUR-05	28	6,7	6,1	0,02	12	4,90E+04	0,4	0,05	43	35	46
MUR-06	29	7,0	6,2	0,02	14	1,60E+04	0,4	0,07	53	42	47
MUR-07	28	6,7	6,5	0,02	9	1,10E+04	0,4	0,07	49	36	52
MUR-08	29	6,8	6,4	0,02	7	6,90E+04	0,4	0,10	42	30	48

IQA_m = 41

Na Tabela 5.7 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Arapiranga referentes à maré preamar de abril de 2009.

Tabela 5.7: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Arapiranga-maré preamar de abril de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
ARA-01	26	4,8	5,3	0,00	8	4,40E+03	0,3	0,04	10	8	46
ARA-02	26	4,9	5,3	0,00	5	9,80E+03	0,3	0,05	10	9	45
ARA-03	26	5,1	5,3	0,00	4	7,70E+03	0,3	0,04	11	16	47
ARA-04	26	5,3	5,2	0,00	4	1,10E+04	0,4	0,05	16	21	46
ARA-05	26	5,6	5,3	0,01	6	9,80E+03	0,5	0,04	14	17	48
ARA-06	27	6,5	5,5	0,01	5	5,50E+03	0,4	0,07	16	15	55
ARA-07	28	7,0	5,5	0,00	4	8,20E+03	0,4	0,07	6	8	55
ARA-08	26	8,1	5,7	0,00	2	1,20E+04	0,4	0,07	6	8	56

IQA_m = 50

Na Tabela 5.8 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Murucupi referentes à maré preamar de abril de 2009.

Tabela 5.8: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Murucupi-maré preamar de Abril de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
MUR-01	26	5,7	3,1	0,02	10	4,40E+04	0,3	0,04	37	36	37
MUR-02	27	5,7	3,8	0,02	11	4,40E+04	0,3	0,06	46	44	38
MUR-03	28	5,9	4,6	0,02	11	4,40E+04	0,4	0,06	45	43	40
MUR-04	29	6,4	5,8	0,02	10	8,30E+03	0,4	0,05	39	35	50
MUR-05	29	6,7	6,7	0,02	9	2,40E+03	0,4	0,04	40	31	58
MUR-06	29	7,0	6,7	0,02	7	1,20E+03	0,5	0,08	36	26	62
MUR-07	29	7,1	6,8	0,02	6	1,20E+03	0,4	0,08	35	24	63
MUR-08	29	7,1	6,8	0,02	6	1,20E+03	0,3	0,06	36	23	63

IQA_m = 51

Na Tabela 5.9 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Arapiranga referentes à maré baixa-mar de julho de 2009.

Tabela 5.9: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Arapiranga-maré baixa-mar de julho de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
ARA-01	26	4,8	4,3	0,01	11	2,46E+03	0,2	0,03	11	11	43
ARA-02	26	4,7	4,5	0,01	7	4,25E+03	0,1	0,02	11	12	43
ARA-03	26	4,9	4,7	0,00	12	4,10E+03	0,2	0,02	12	13	42
ARA-04	26	5,0	4,9	0,00	8	2,09E+03	0,2	0,04	14	15	47
ARA-05	26	4,8	5,0	0,01	11	4,05E+03	0,2	0,03	16	16	43
ARA-06	26	5,2	5,1	0,01	10	9,80E+00	0,2	0,03	14	16	59
ARA-07	27	5,4	5,5	0,01	11	4,82E+03	0,2	0,03	25	16	47
ARA-08	28	6,1	6,3	0,01	13	4,19E+03	0,3	0,03	23	17	52

IQA_m = 47

Na Tabela 5.10 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Murucupi referentes à maré baixa-mar de julho de 2009.

Tabela 5.10: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Murucupi-maré baixa-mar de Julho de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
MUR-01	27	5,7	5,5	0,03	11	1,30E+05	1,0	0,07	48	22	39
MUR-02	27	5,8	5,8	0,03	12	1,73E+05	1,1	0,06	57	29	39
MUR-03	27	5,9	5,3	0,03	13	8,66E+04	0,9	0,06	56	33	40
MUR-04	27	5,9	5,6	0,03	10	3,97E+04	0,9	0,07	46	30	43
MUR-05	28	5,7	7,2	0,02	9	2,19E+04	0,8	0,05	54	34	48
MUR-06	28	5,9	6,7	0,02	11	1,31E+04	0,6	0,03	40	30	49
MUR-07	29	5,9	7,4	0,01	8	1,22E+04	0,5	0,02	35	26	52
MUR-08	29	6,0	7,5	0,01	6	7,17E+03	0,5	0,01	26	23	56

IQA_m = 46

Na Tabela 5.11 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Arapiranga referentes à maré preamar de julho de 2009.

Tabela 5.11: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Arapiranga-maré preamar de Julho de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
ARA-01	26	4,8	4,8	0,01	8	9,35E+02	0,1	0,01	14	13	47
ARA-02	26	4,8	5,1	0,01	5	1,32E+03	0,2	0,01	12	13	49
ARA-03	26	4,9	5,5	0,01	9	1,51E+03	0,2	0,01	12	14	49
ARA-04	26	5,0	5,6	0,01	7	2,88E+03	0,3	0,04	14	16	48
ARA-05	26	5,3	5,8	0,01	5	7,22E+03	0,1	0,02	11	14	50
ARA-06	27	6,5	6,0	0,01	7	1,60E+02	0,1	0,03	19	17	65
ARA-07	29	7,0	6,3	0,02	6	1,33E+03	0,2	0,02	32	18	62
ARA-08	29	6,9	6,7	0,02	11	9,60E+02	0,2	0,03	30	19	61

IQA_m = 54

Na Tabela 5.12 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Murucupi referentes à maré preamar de julho de 2009.

Tabela 5.12: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Murucupi-maré preamar de Julho de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
MUR-01	27	5,7	6,0	0,03	7	2,42E+05	1,2	0,08	49	21	42
MUR-02	27	5,8	6,1	0,03	13	6,87E+04	1,0	0,06	50	27	42
MUR-03	27	5,8	6,4	0,02	8	3,28E+04	0,8	0,05	39	24	47
MUR-04	28	5,8	6,3	0,01	9	8,36E+03	0,5	0,02	26	22	50
MUR-05	29	6,0	7,4	0,01	11	3,82E+03	0,5	0,03	40	23	55
MUR-06	29	6,2	7,2	0,01	9	5,04E+03	0,5	0,02	40	22	55
MUR-07	29	6,0	7,5	0,01	7	4,87E+03	0,5	0,01	41	21	57
MUR-08	29	6,1	7,7	0,01	5	2,62E+03	0,5	0,02	37	20	61

IQA_m = 51

Na Tabela 5.13 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Arapiranga referentes à maré baixa-mar de outubro de 2009.

Tabela 5.13: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Arapiranga-maré baixa-mar de outubro de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
ARA-01	27	5,8	5,9	0,01	4	4,35E+04	0,3	0,06	17	18	45
ARA-02	28	6,2	5,9	0,01	5	2,60E+04	0,3	0,03	23	20	48
ARA-03	28	6,5	6,0	0,01	7	4,61E+04	0,3	0,05	27	23	46
ARA-04	29	6,5	7,2	0,01	7	6,49E+04	0,3	0,08	34	25	46
ARA-05	29	6,8	7,3	0,02	6	2,76E+04	0,3	0,06	33	23	52
ARA-06	28	6,5	7,8	0,02	6	3,45E+04	0,3	0,04	39	24	50
ARA-07	28	6,9	7,9	0,02	6	1,92E+04	0,2	0,02	35	24	53
ARA-08	29	7,3	7,4	0,02	6	3,26E+04	0,2	0,06	40	24	52

IQA_m = 49

Na Tabela 5.14 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Murucupi referentes à maré baixa-mar de outubro de 2009.

Tabela 5.14: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Murucupi-maré baixa-mar de outubro de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
MUR-01	29	6,0	5,8	0,02	11	1,17E+04	0,4	0,02	37	25	48
MUR-02	29	6,2	6,0	0,02	10	6,44E+03	0,4	0,02	37	29	51
MUR-03	29	6,0	6,2	0,02	13	6,42E+03	0,3	0,02	40	30	50
MUR-04	29	5,6	6,4	0,02	14	3,36E+03	0,3	0,02	36	28	49
MUR-05	30	6,4	6,9	0,01	12	7,40E+02	0,2	0,02	42	28	60
MUR-06	30	6,6	7,1	0,01	12	1,83E+03	0,2	0,01	34	27	59
MUR-07	30	6,3	7,2	0,01	7	8,60E+02	0,4	0,01	31	24	63
MUR-08	30	6,6	7,3	0,02	8	4,10E+02	0,2	0,01	31	24	66

IQA_m = 56

Na Tabela 5.15 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Arapiranga referentes à maré preamar de outubro de 2009.

Tabela 5.15: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Arapiranga-maré preamar de outubro de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
ARA-01	26	5,3	5,7	0,01	2	2,61E+03	0,2	0,02	12	14	53
ARA-02	26	5,4	5,3	0,01	2	3,45E+03	0,2	0,04	10	13	53
ARA-03	27	5,6	5,2	0,01	3	3,65E+03	0,2	0,03	13	18	53
ARA-04	27	5,9	5,4	0,01	2	4,11E+03	0,2	0,04	14	18	55
ARA-05	27	6,1	6,4	0,01	9	3,87E+03	0,3	0,02	30	21	55
ARA-06	28	6,4	6,4	0,01	4	4,11E+03	0,2	0,04	29	22	59
ARA-07	28	6,8	6,2	0,01	6	6,49E+03	0,3	0,03	30	23	57
ARA-08	29	7,6	6,8	0,02	5	1,72E+03	0,2	0,02	39	32	63

IQA_m = 56

Na Tabela 5.16 observa-se os dados das variáveis e IQAs do rio Murucupi referentes à maré preamar de outubro de 2009.

Tabela 5.16: Pontos de amostragem, variáveis, IQA de cada ponto e IQA médio (IQA_m) do rio Murucupi-maré preamar de outubro de 2009.

Pontos	T (°C)	pH (-)	OD (mg/L)	Sal (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	RT (mg/L)	Turb UNT	IQA (-)
MUR-01	28	5,9	6,0	0,03	9	2,14E+04	0,4	0,04	45	24	47
MUR-02	28	5,6	6,1	0,02	8	1,30E+05	0,2	0,03	39	23	41
MUR-03	29	5,7	6,0	0,02	8	1,05E+05	0,3	0,03	39	26	43
MUR-04	29	5,8	6,5	0,02	7	2,06E+04	0,3	0,02	34	25	49
MUR-05	30	5,9	7,1	0,01	8	1,30E+03	0,3	0,02	33	25	59
MUR-06	30	6,0	7,0	0,01	10	1,50E+03	0,2	0,02	27	21	57
MUR-07	30	6,6	7,5	0,01	5	8,50E+02	0,2	0,02	28	22	67
MUR-08	30	7,1	7,9	0,01	5	8,40E+02	0,2	0,01	25	21	67

IQA_m = 54

5.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DOS RIOS ESTUDADOS

Baseando-se nos enquadramentos da Resolução CONAMA 357/2005/MMA e nos valores de salinidade que foram determinados nas águas superficiais dos rios estudados (0,00 a 0,03 mg/L), as águas dos mesmos se enquadram como doces.

5.1.1. Caracterização Rio Arapiranga

5.1.1.1. Temperatura

A temperatura nos pontos de coleta deste rio nas quatro campanhas de amostragem (janeiro, abril, julho e outubro) realizadas no ano de 2009, conforme Tabelas 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11, 5.13 e 5.15, variou de 26 a 29 °C com oscilações mínimas e máximas entre os pontos de amostragem de ± 1 e 2 °C respectivamente. A baixa variação térmica dos corpos hídricos está associada à radiação solar, haja vista que, 99% dessa radiação é absorvida nos primeiros dez metros de profundidade e na camada superior não se observa grandes variações de temperatura (BRANCO, 1986 *apud* RIBEIRO, 2004).

Os valores mais elevados foram registrados nos pontos próximos à foz (ARA 07 e ARA 08). Comparando-se os dados das campanhas de janeiro, abril e julho, pode-se observar nas Tabelas 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9 e 5.11 que os valores de temperatura nas marés baixa-mar e preamar apresentaram condição semelhante entre os pontos de amostragem ARA 01 a ARA 05 (26 °C).

Na maré baixa-mar do ponto ARA 06 também registrou-se 26 °C, contudo, na preamar deste ponto, o valor subiu para 27 °C. No mês de outubro fora registrado comportamento diferencial com relação a variável temperatura, sendo verificado a elevação dessa desde a nascente até a foz deste rio, atingindo valores máximos de 29°C conforme se pode observar nas Tabelas 5.13 e 5.15.

Fazendo a comparação sazonal, durante o período chuvoso (janeiro e abril) foram registradas temperaturas médias de $26 \pm 0,47$ °C e $26 \pm 1,13$ °C para baixa-mar e preamar, respectivamente, enquanto no período seco (julho e outubro) as temperaturas médias subiram para $27 \pm 1,15$ °C, na baixa-mar, e $27 \pm 1,06$ °C, na

preamar.

Em estudo realizados em outros rios amazônicos, foram registrados valores de temperatura que apresentaram características semelhantes, isto é, valores entre 25 e 29 °C (GOMES *et al.*, 2007; MENDONÇA *et al.*, 2004 e INSTITUTO EVANDRO CHAGAS, 2008). Santos (2001), em seu estudo sazonal no rio Murubira em Mosqueiro-Belém/PA, também encontrou valores de temperatura que tiveram poucas variações nos diferentes pontos de amostragem (28 a 30 °C).

Os testes de hipóteses revelaram diferenças (H_0 rejeitado) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste de Wilcoxon ($p=0,014$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste de Wilcoxon ($p=0,036$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$.

Esses resultados demonstram que as temperaturas da baixa-mar e preamar oscilam entre ambos os períodos, e provavelmente tal comportamento seja em decorrência da intensidade pluviométrica e contribuições de drenagens tributárias nesse corpo d'água. Essa diferença pode ser observada na Figura 5.1, correspondente às comparações entre os dois períodos em condições de marés baixa-mar e preamar.

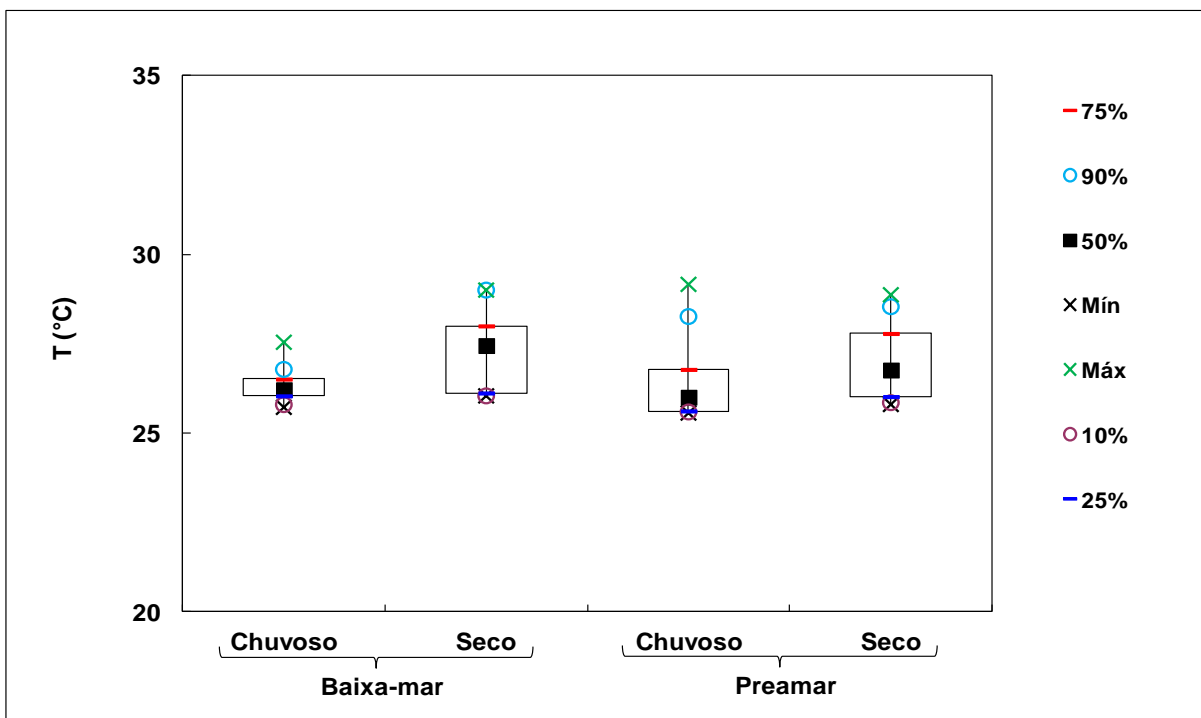


Figura 5.1: Comparação sazonal dos valores de temperatura no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.

5.1.1.2. pH

As Tabelas 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11, 5.13 e 5.15, referentes aos valores de pH determinados no rio Arapiranga em condições de marés baixa-mar e preamar, 90,63% estiveram em condições ácidas ($\text{pH} < 7$); 3,12% neutras ($\text{pH} = 7$) e 6,25% alcalinas ($\text{pH} > 7$). A maioria dos pontos de amostragem nos meses de janeiro, abril, julho e outubro revelaram pH ácido, com aumento dos valores no sentido nascente-foz.

Esse comportamento heterogêneo de pH no rio Arapiranga é característico de as águas negras e claras reportadas por Sioli e Klinge (1962) *apud* Horbe e Santos (2009), Furch (1984); Walker (1987); Forti *et al.* (1991) *apud* Queiroz *et al.* (2009) e Sioli (1985) *apud* Zeidemann (2001) sobre a classificação dos rios na Amazônia. De acordo com Leenheer (1980) *apud* Da Nobrega (2005), os níveis mais elevados de acidez nas águas negras se deve a presença de solutos orgânicos dissolvidos (ácidos húmicos e fúlvicos) e segundo esses autores, os sólidos suspensos têm a capacidade de adsorção desses ácidos e como o rio Arapiranga apresenta baixas concentrações de sólidos conforme observado neste estudo, conseqüentemente, o pH apresenta-se mais ácido.

Da Nobrega (2005) diz que a densa cobertura vegetal faz com que processos erosivos sejam menores e em conseqüência deste fator, há uma baixa quantidade relativamente baixa de sólidos em suspensão, portanto, as características de águas negras adentro do rio Arapiranga, provavelmente atribui-se a densa cobertura vegetal, substrato geológico e grande liberação de ácidos fúlvicos e húmicos provenientes de outras drenagens tributáveis ao longo deste rio. No caso das águas claras, características da foz deste rio, provavelmente se deve a maior influência das águas do rio Pará nesta área avaliada.

Apenas na foz do rio Arapiranga foram registrados valores de pH em condições neutras, isto é, na maré preamar do ponto de amostragem ARA 07 em abril e julho de 2009. Na maré baixa-mar de outubro e preamar de janeiro, abril e outubro de 2009, as condições de pH no ponto de amostragem ARA08 foram alcalinas, com valores de 7,1, 7,3, 7,6 e 8,1. Essa condição de comportamento alcalino nesse corpo d'água, pode ser atribuída aos seguintes fatores principais: 1) contribuição do rio Pará, 2) redução da precipitação pluviométrica e conseqüentemente das contribuições de

ácidos fúlvicos e húmicos devido ao processo de escoamento superficial e 3) incremento das contribuições de esgoto da Vila de Beja que aportam substâncias capazes de alterar a alcalinidade desse manancial.

Para águas classes 2 e 3, 37,5% dos valores de pH no rio Arapiranga se enquadraram de acordo com a faixa de pH estabelecida pela Resolução CONAMA 357/05/MMA e 62,5% estiveram em desacordo.

Fazendo a comparação sazonal desta variável, durante o período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 4,6 e 6,2 na maré baixa-mar e 4,8 e 8,1 na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 4,7 e 7,3 na maré baixa-mar e 4,8 e 7,6 na preamar.

Para efeito de comparação com outros rios amazônicos estudados em anos anteriores, em 1985 e 1986 após cinco campanhas de amostragem envolvendo o período chuvoso e seco, Cordeiro analisou em amostras de água superficial em um determinado trecho do estuário do rio Pará no estado do Pará e encontrou valores de pH para condições de maré baixa-mar e preamar que variaram de 6,0 a 6,5 (CORDEIRO, 1987). Moura (2007) em seu estudo realizado na Baía do Guajará no ano de 2005 no trecho entre o bairro de Val-de-Cães e o distrito de Icoaraci em Belém/PA, após três campanhas de amostragem que contemplaram o período chuvoso e o seco, encontrou valores de pH que variaram de 5,74 a 7,39.

O teste de hipótese revelou diferença (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação entre os dados dos períodos chuvoso e seco da maré baixa-mar, pois o teste t ($p=0,00005$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. No entanto, utilizando-se a mesma comparação para a condição de maré preamar, houve semelhança entre os dados desta variável (hipótese H_1 rejeitada), o teste t ($p=0,252$) revelou baixo nível de significância para $\alpha=0,05$. Essas diferenças e semelhanças podem ser observadas na Figura 5.2.

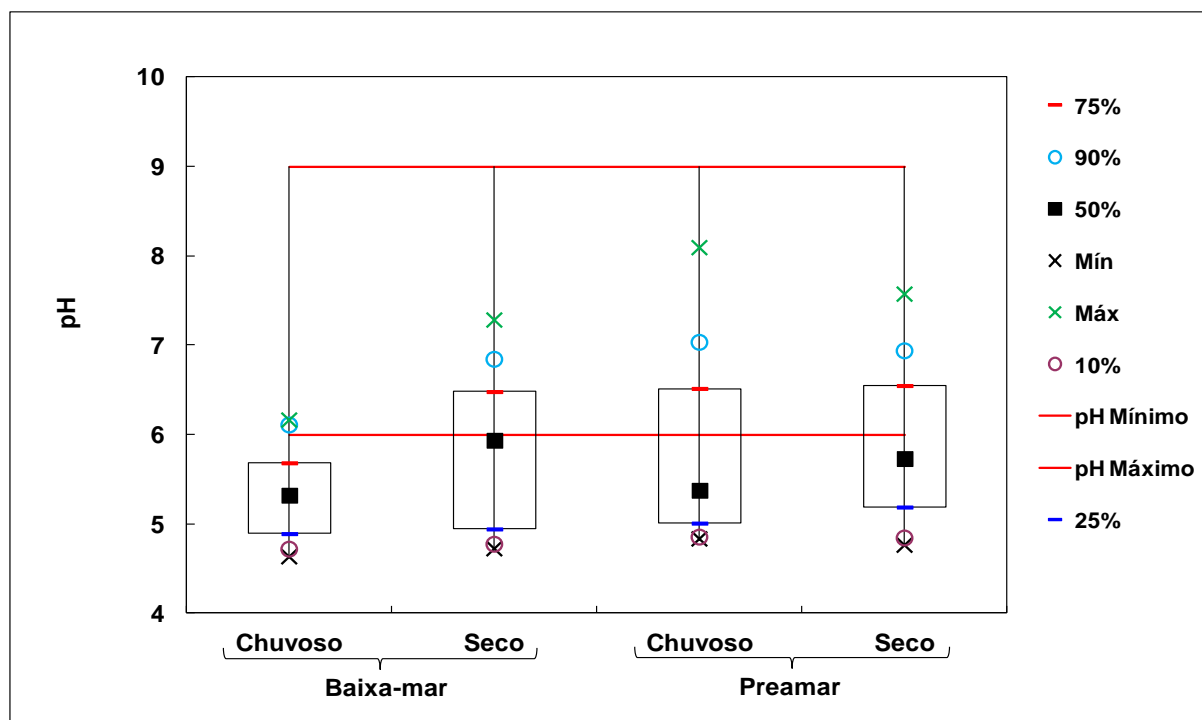


Figura 5.2: Comparação sazonal dos valores de pH no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** pH Mínimo e pH Máximo são valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

Conforme a Figura 5.2, o pH neste rio apresentou em algumas situações condições neutras e alcalinas nos pontos próximos à sua foz possivelmente pela influência das águas do rio Pará (afluente do rio Arapiranga).

5.1.1.3. OD

O comportamento do OD no rio Arapiranga é semelhante ao do pH, como pode ser observado nos dados das Tabelas 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11, 5.13 e 5.15, infere-se que as concentrações dessa variável também tiveram incremento no sentido da nascente até a foz deste corpo hídrico nas condições de marés baixa-mar e preamar.

A legislação Brasileira estabelece em seus Art. 15 VI e Art. 16 j) para águas doces classes 2 e 3, valores de OD não inferiores a 5 e 4 mg/L respectivamente. No rio Arapiranga, 85,94% dos valores estiveram de acordo com o padrão estabelecido pela legislação para águas doces classes 2 e 14,06% em desacordo. Todos os resultados estiveram de acordo com o padrão classe 3. Os valores de OD no rio Arapiranga que estiveram abaixo do mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA

357/05/MMA para águas doces classe 2, se concentraram adentro do rio, sentido foz-nascente.

No período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 4,5 e 6,5 mg/L na maré baixa-mar e de 5,1 e 7,0 mg/L na preamar, com valores médios de $6,0 \pm 0,70$ e $6,0 \pm 0,55$ mg/L respectivamente. No período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 4,3 e 6,8 mg/L na maré baixa-mar e 4,8 e 7,1 mg/L na preamar e as médias foram de $5,0 \pm 0,76$ mg/L e $6,0 \pm 0,65$ mg/L respectivamente.

Veronez (2011), em seu estudo na microbacia do Igarapé Praquiquara no município de castanhal/PA, avaliou no período chuvoso e seco a qualidade das águas em três sub-bacias diferentes envolvendo áreas com predominância florestal, predominância urbana e predominância de atividades agropecuárias, onde encontrou valores médios de OD que variaram respectivamente de 2,4 a 8,7 mg/L, 3,8 a 13,1 mg/L e 4,8 a 8,7 mg/L. Mendonça *et al.* (2004) e Gomes *et al.* (2007) em seus estudos no Rio Pará (Ilha do Combú) e Rio Piraíba (Distrito de Icoaraci), ambos na região metropolitana de Belém/PA, encontraram valores médios de OD que variaram de 3,0 a 4,2 mg/L e 3,72 a 4,71 mg/L respectivamente.

Os testes de hipóteses revelaram diferença (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Na maré baixa-mar, o teste t ($p=0,013$) apresentou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$ confirmando diferença entre os dados, no entanto, essa diferença foi percebida apenas sobre os dados em 50% dos box-plots, pois neste percentual, os valores estiveram entorno de 6,0 mg/L no período chuvoso e no período seco um pouco acima de 5,0 mg/L. Esta mesma comparação sazonal foi aplicada sobre os dados da maré preamar, em que, o teste de Wilcoxon ($p=0,034$) revelou boa significância para $\alpha=0,05$, demonstrando que também houve diferença entre os dados para esta condição de maré (hipótese H_0 rejeitada). Estas semelhanças e diferenças são observadas na Figura 5.3.

Esse comportamento distinto quanto ao oxigênio dissolvido entre os períodos chuvoso e seco, pode ser atribuído a alterações nas fontes de produção e de consumo de OD. Haja vista que no período chuvoso, se tem provavelmente maiores incrementos da carga orgânica e nitrogenada autóctone devido à lixiação, além de do lançamento de efluente doméstico que em período seco apresenta-se mais

concentrado e das contribuições ao longo do percurso desse manancial por outras drenagens tributáveis que podem adicionar oxigenação ou desoxigenação.

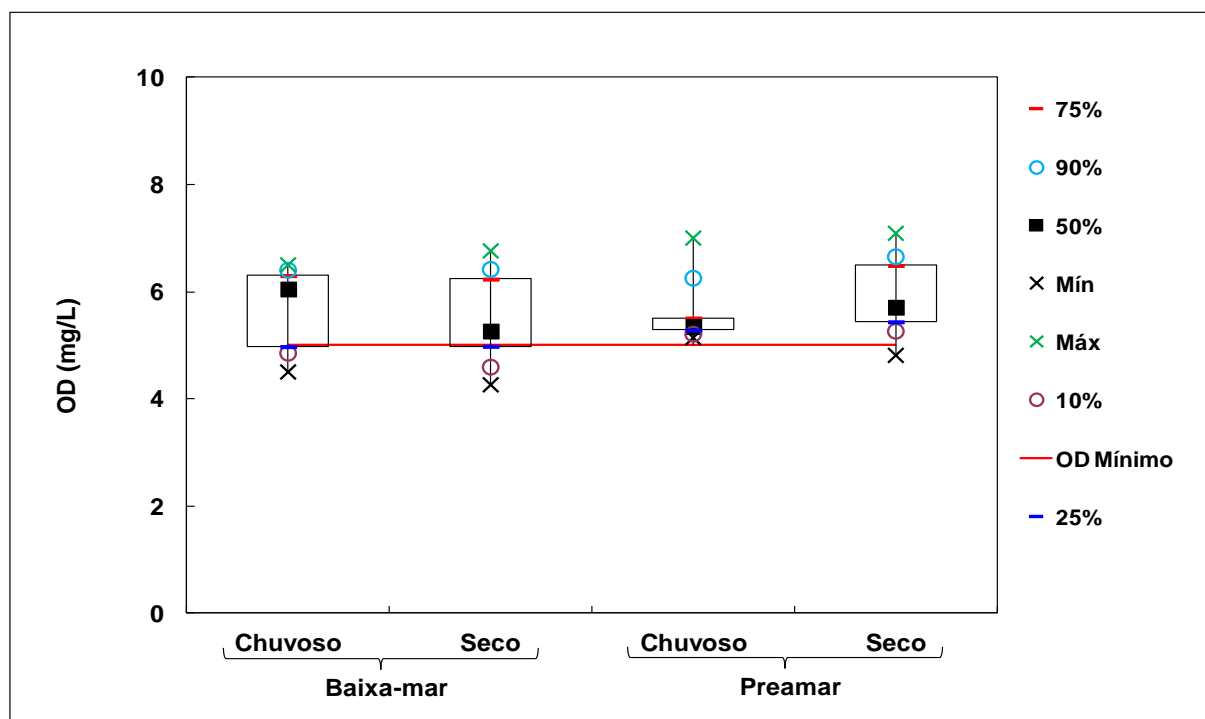


Figura 5.3: Comparação sazonal dos valores de Oxigênio Dissolvido no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** OD Mínimo é o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

5.1.1.4. DBO

Os resultados de DBO no rio Arapiranga revelaram oscilações ao longo dos pontos de amostragem, tanto na maré baixa-mar como na preamar. De acordo com as Tabelas 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11, 5.13 e 5.15, as concentrações mais elevadas foram registradas no mês de julho, com variação de 5 a 13 mg/L. A resolução CONAMA 357/05/MMA em seus Art. 15 V e Art. 16 I i), estabelece para águas doces classes 2 e 3 valores de DBO não superiores a 5 e 10 mg/L respectivamente. Portanto, 48,44% dos valores de DBO no rio Arapiranga estiveram de acordo com o padrão classe 2 e 51,56% em desacordo.

Comparando-se os dados com o padrão classe 3, 90,62% atenderam e 9,38% estiveram em desacordo. Os valores de DBO que não atenderam a legislação foram determinados nos primeiros pontos de amostragem adentro do rio Arapiranga. , portanto, considerando-se o padrão classe 2,

Os valores de DBO durante o período chuvoso (janeiro e abril) variaram de

4,0 a 9,0 mg/L na maré baixa-mar e 2,0 a 8,0 mg/L na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 4,0 e 13,0 mg/L na maré baixa-mar e 2,0 e 11,0 mg/L na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $6,0 \pm 1,5$ mg/L e na maré preamar de $4,0 \pm 1,59$ mg/L, já no período seco, os valores médios foram de $8,0 \pm 2,78$ mg/L e $6,0 \pm 2,73$ mg/L respectivamente.

Na microbacia do Igarapé Praquiquara no município de castanhal/PA, Veronez (2011) encontrou valores médios de DBO que variaram respectivamente de 2,7 a 15,6 mg/L em área com predominância florestal, 0,5 a 10,8 mg/L em área urbana e 2,6 a 8,5 mg/L em área com predominância agropecuária. Nos Igarapés Porteira (Redenção/PA) e Altamira (Altamira/PA) no Estado do Pará, foram registrados valores mínimos e máximos de 4 a 12 mg/L e 1 a 11 mg/L respectivamente (INSTITUTO EVANDRO CHAGAS, 2008).

O teste de hipótese revelou diferença (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco da maré baixa-mar. Para esta condição de maré, o teste t ($p=0,021$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Nos dados da preamar, o teste de Wilcoxon ($p=0,074$) demonstrou baixa significância para $\alpha=0,05$, representando semelhança entre os dados (hipótese H_1 rejeitada), contudo, esta semelhança ocorreu apenas sobre os valores mínimos, em 10% e 25% conforme os box-plots da Figura 5.4.

O fato de não haver diferença significativa em termos de DBO para os períodos chuvoso e seco, provavelmente pode ser atribuído a análise em questão, isto é, medir toda matéria orgânica ao invés da especificação da matéria orgânica em termos de proteínas, carboidratos e lipídios e dessa maneira não apresentar sensibilidade devida quando os resultados são submetidos ao tratamento estatístico analítico. Apesar de não ter sido realizada essa especificação no material particulado e dissolvido nessas águas, supõe-se de acordo com a Figura 5.4 que a matéria orgânica devido a influência da precipitação predominou na forma dissolvida. Já no período seco, a contribuição no material particulado provavelmente foi maior.

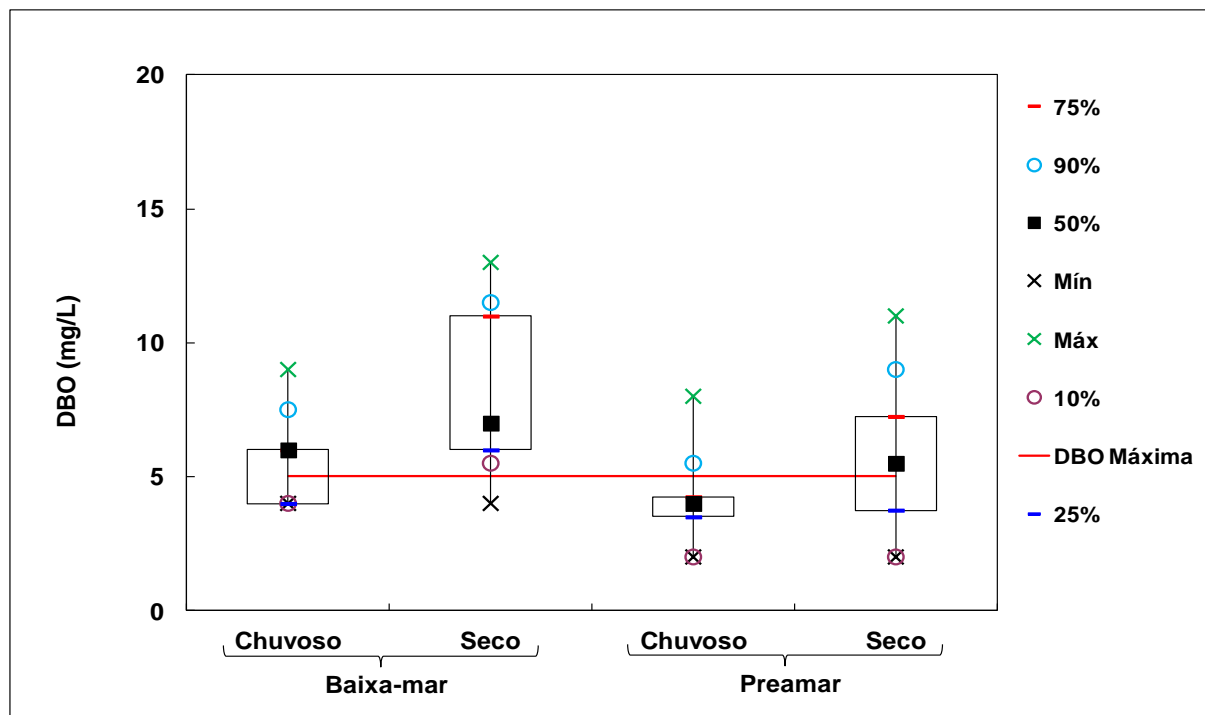


Figura 5.4: Comparação sazonal dos valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** DBO Máxima é o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

Outro fato, é que os resultados de DBO vêm a corroborar com os fatores mencionados em relação ao oxigênio dissolvido, de que nos períodos chuvoso e seco, a dinâmica de oxigenação ou desoxigenação desse corpo d'água sofre realmente influência de fatores como: carga orgânica e nitrogenada autóctone, lançamento de efluente doméstico, contribuições de drenagens tributáveis, e etc, os quais acabam por alterar a produção e o consumo de OD no rio, ocasionando comportamentos distintos e iguais para a DBO dependendo da sazonalidade e alterações no regime de maré.

5.1.1.5. Coliformes Termotolerantes

De acordo com as Tabelas 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11, 5.13 e 5.15, houve variações nos valores de *Coliformes Termotolerantes* determinados nas quatro campanhas de amostragem no rio Arapiranga, isto é, aumento e decréscimo dos valores ao longo dos pontos de amostragem, com valores maiores registrados na baixa-mar de abril e outubro de 2009.

Os valores de *Coliformes Termotolerantes* foram comparados com os valores

estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05/MMA, para águas doces classes 2 (1.000 NMP/100mL, conforme Art. 15 II) e 3 (4.000 NMP/100 mL, conforme Art. I g)). Dos valores de *coliformes termotolerantes* determinados no rio Arapiranga, 6,25% dos valores estiveram de acordo com o padrão classe 2 e 93,75% em desacordo.

E para o padrão classe 3, 35,94% estão dentro do valor de referência enquanto 64,06% estiveram em desacordo. O rio Arapiranga apresentou valores que variaram de 1,32 a 64,9 e 1,03 a 16,23 vezes acima dos padrões classes 2 e 3 respectivamente.

Fazendo a comparação sazonal para esta variável, durante o período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados na maré baixa-mar valores mínimos e máximos de $3,26 \times 10^3$ e $2,01 \times 10^4$ NMP/100mL respectivamente, já maré na preamar esses valores variaram de $2,69 \times 10^3$ a $1,2 \times 10^4$ NMP/100mL. No período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 980 e $6,49 \times 10^4$ NMP/100mL na maré baixa-mar e na maré preamar entre $1,6 \times 10^2$ e $7,22 \times 10^3$ NMP/100mL (Tabelas 5.17 e 5.18). No período chuvoso, os valores médios (convertidos para \log_{10}) registrados na maré baixa-mar foram de $3,88 \times 10 \pm 0,26$ NMP/100mL e na maré preamar de $3,75 \times 10 \pm 0,22$ NMP/100mL, já no período seco, os valores médios foram de $3,88 \times 10 \pm 0,93$ NMP/100mL e $3,33 \times 10 \pm 0,41$ NMP/100mL respectivamente.

Santos (2001) em seu estudo sazonal nos anos de 1999 e 2000 no rio Murubira em Mosqueiro na região metropolitana de Belém/PA, encontrou variações médias de *Coliformes Termotolerantes* 350 a 593 NMP/100 mL no período chuvoso e no período seco houve um aumento com variações médias de 700 a 2575 NMP/100 mL. Ribeiro (2004), encontrou valores médios de *Coliformes Termotolerantes* no igarapé Combú localizado na margem esquerda do rio Guamá em Belém/PA de $7,1 \times 10^2$ UFC/100mL no período chuvoso e de $9,0 \times 10^2$ UFC/100mL na estiagem.

Em decorrência de se ter valores de *Coliformes Termotolerantes* fora da referência estabelecida pela resolução CONAMA 357/05 para rios de classe 2 e 3, o uso da água desse manancial para fins de abastecimento doméstico e de irrigação exige que se tenha adoção de medidas de tratamento da água, haja vista a presença desses esta associada a transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Ao se comparar os dados de *Coliformes Termotolerantes* entre os períodos chuvoso e seco, os testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H_0 rejeitada) quanto a qualidade da água. Para os dados da maré baixa-mar, o teste t ($p=0,025$)

mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste t ($p=0,0007$) também demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Esses resultados demonstram de forma clara que a condição de qualidade sanitária desse manancial é alterada de forma marcante pelas contribuições pluviométricas na região, que acabam por exercerem efeito de diluição quanto a presença de patógenos, conforme observa-se na Figura 5.5 menor amplitude de variação entre os valores máximo e mínimo de *Coliformes Termotolerantes* principalmente no período chuvoso.

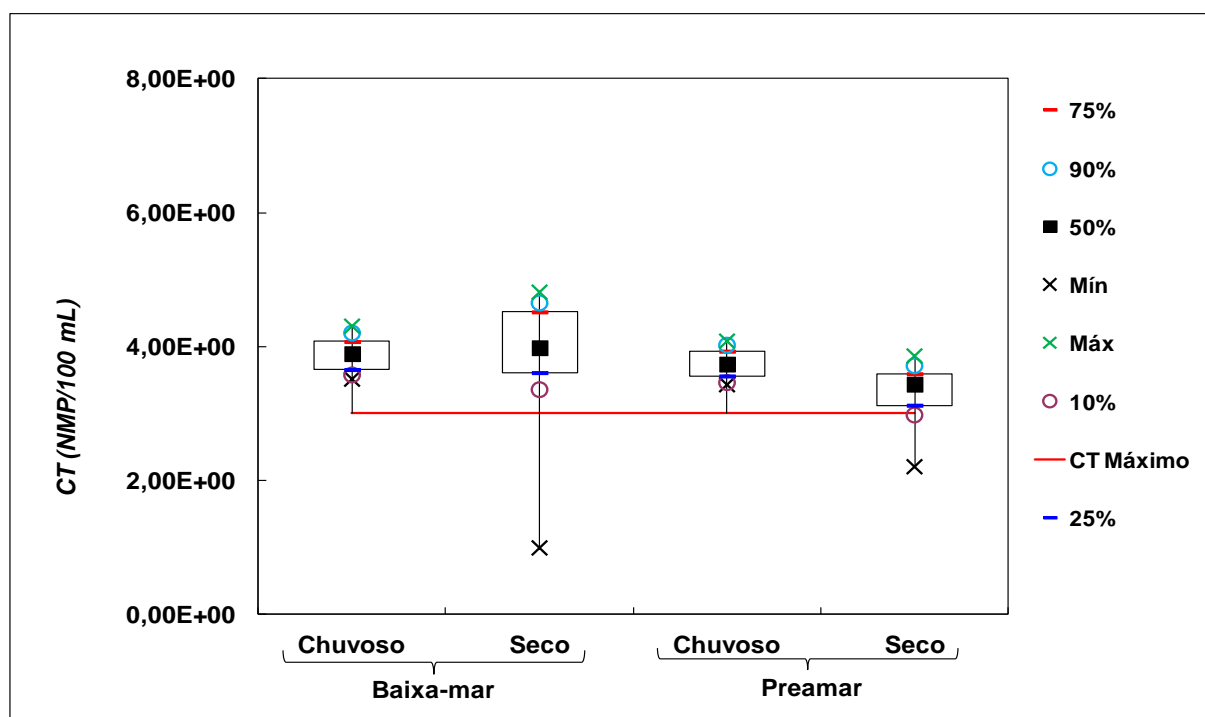


Figura 5.5: Comparação sazonal dos valores de *Coliformes Termotolerantes* no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** CT Máximo é o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2. Estes valores foram convertidos para \log_{10} .

5.1.1.6. Nitrogênio Total

Como pode ser visto nas Tabelas 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11, 5.13 e 5.15, ao longo dos pontos de amostragem, o rio Arapiranga manteve homogeneidade nos valores de nitrogênio total, com destaque para o período chuvoso (Tabelas 4.5 e 4.7) onde esses valores foram mais elevados.

No período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 0,2 e 0,6 mg/L na maré baixa-mar e 0,1 e 0,5 mg/L na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 0,1 e 0,3 mg/L na

maré baixa-mar e 0,1 e 0,3 mg/L na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $0,3 \pm 0,15$ mg/L e na maré preamar de $0,3 \pm 0,13$ mg/L, já no período seco, os valores médios foram de $0,2 \pm 0,05$ mg/L e $0,2 \pm 0,06$ mg/L respectivamente.

Em avaliação de corpos hídricos impactados por efluentes industriais no ano de 2007 denominados de Curuperê e Dendê em Barcarena/PA, Lima *et al.* (2011) encontraram valores de nitrogênio no igarapé Curuperê com variações 0,01 a 0,13 mg/L (N-NO₃); 0,001 a 0,034 mg/L (N-NO₂) e 0,105 a 0,510 mg/L (N-NH₄). No igarapé Dendê, essas variações foram de 0,01 a 0,112 mg/L (N-NO₃); 0,001 a 0,014 mg/L (N-NO₂) e 0,074 a 0,380 mg/L (N-NH₄).

Os testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H₀ rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste de Wilcoxon ($p=0,017$) revelou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste de Wilcoxon ($p=0,011$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Esses resultados demonstram que os valores de Nitrogênio Total oscilaram entre ambos os períodos tanto na maré baixa-mar quanto na preamar. Essa diferença pode ser observada na Figura 5.6.

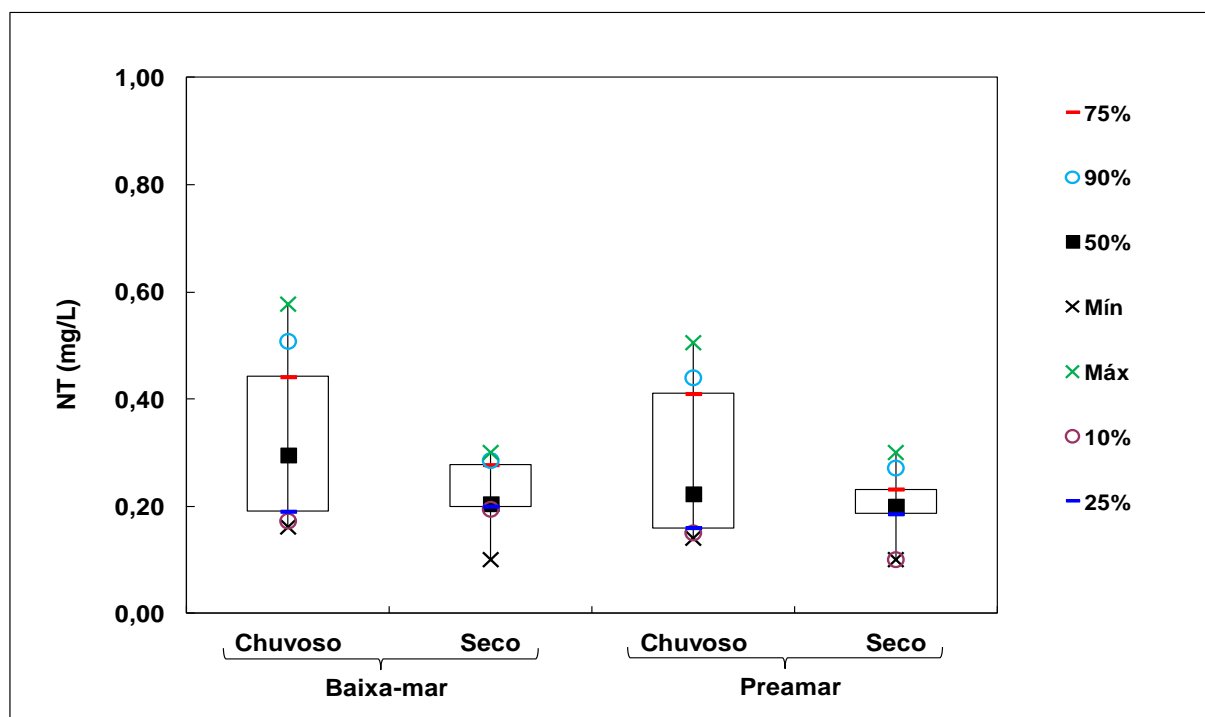


Figura 5.6: Comparação sazonal dos valores de Nitrogênio Total no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.

Segundo Tundisi e Tundisi (2008), os rios transportam o nitrogênio sob as formas de nitrato, nitrito ou amônia e podem ser liberados por processos bioquímicos ou físicos. Os autores dizem que as variações do nitrogênio são dependentes e controladas pelas bacias hidrográficas e por outros fatores, como por exemplo, fixação por plantas aquáticas, erosão, decomposição da vegetação e retenção pela camada de húmus no sedimento.

Observa-se na Figura 5.6 que o aporte de nitrogênio para o rio Arapiranga foi maior no período chuvoso provavelmente pela lixiviação de material orgânico e incrementos da matéria nitrogenada autóctone em decorrência da maior precipitação neste período.

5.1.1.7. Fósforo Total

Os valores de fósforo total foram mais elevados no período chuvoso (janeiro e abril) com incremento desses valores no sentido nascente-foz conforme Tabelas 5.1, 5.3, 5.5 e 5.7. A legislação pertinente estabelece limites para as concentrações de fósforo total em ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários. Esses valores conforme Art. 15 e 14 II-Tabela I e Art. 16 II-Tabela III, são: 0,1 mg/L e 0,15 mg/L para águas doces classes 2 e 3. 100% dos valores de fósforo total determinados no rio Arapiranga obedeceram ao enquadramento para as duas classes.

Fazendo a comparação sazonal para esta variável, durante o período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 0,04 e 0,09 mg/L na maré baixa-mar e 0,03 e 0,07 mg/L na preamar. No período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 0,02 e 0,08 mg/L na maré baixa-mar e 0,01 e 0,04 mg/L na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $0,06 \pm 0,02$ mg/L e na maré preamar de $0,05 \pm 0,02$ mg/L. No período seco, os valores médios registrados foram de $0,03 \pm 0,01$ mg/L na maré baixa-mar e $0,04 \pm 0,02$ mg/L na preamar.

Em avaliação de corpos hídricos impactados por efluentes industriais no ano de 2007 denominados de Curuperê e Dendê em Barcarena/PA, Lima *et al.* (2011) encontraram valores de fósforo com variações 0,062 a 0,43 mg/L no Curucuperê e de 0,01 a 0,180 mg/L no Dendê. Moura (2007), encontrou na Baía do Guajará no trecho

entre o bairro de Val-de-Cães e o Distrito de Icoaraci em Belém/PA valores de fósforo total com variações de 0,05 a 0,21 mg/L no período chuvoso, no período seco essa variação foi de 0,01 a 0,08 mg/L e no mês considerado pela autora como transição entre o período chuvoso e seco os valores voltaram a subir, isto é, a variação foi de 0,02 a 0,19 mg/L.

Os testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste t ($p=0,003$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste t ($p=0,036$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Essa diferença pode ser observada na Figura 5.7.

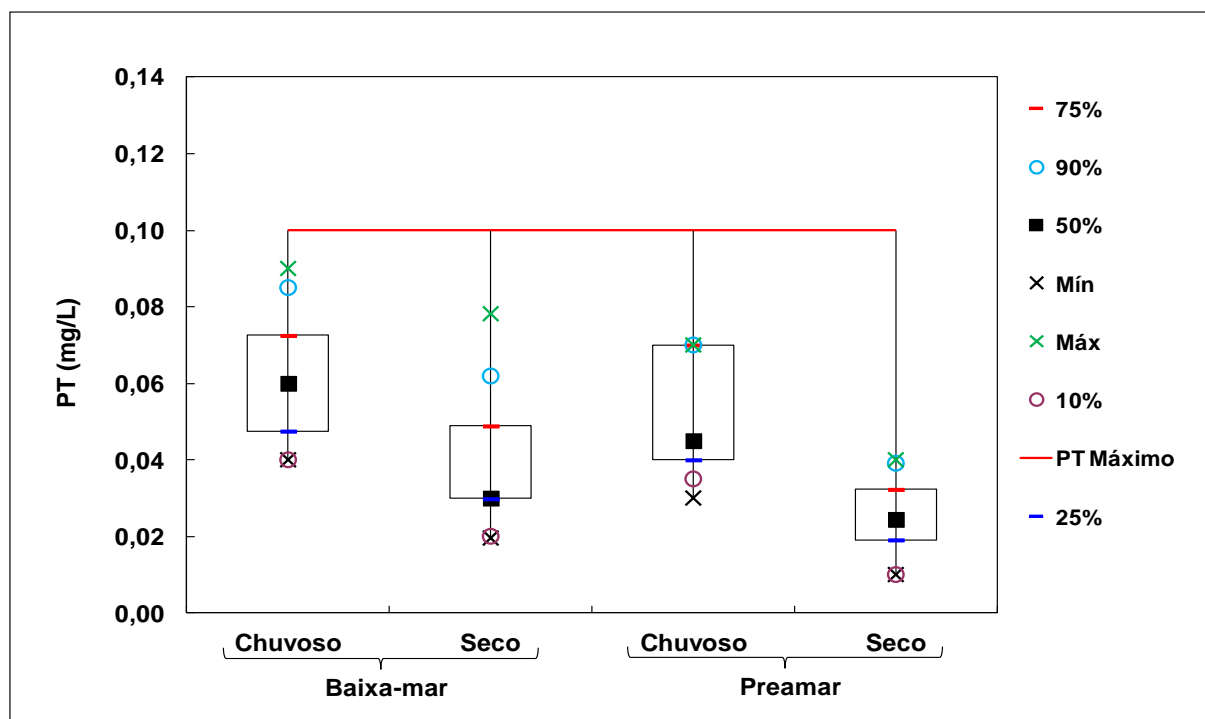


Figura 5.7: Comparação sazonal dos valores de Fósforo Total no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** PT Máximo é o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

Ao avaliar-se os resultados de fósforo da Figura 5.7 a partir da representação gráfica das formas de ácido fosfórico em função do pH (modificado de ATLAS, 1975 *apud* JAHNKE, 1992 e FERREIRA *et al.*, 2005), utilizando-se os dados de pH dos períodos chuvoso e seco, pode-se inferir que a respeito do grupo dos ortofosfatos ($H_2PO_4^-$; HPO_4^{2-} e PO_4^{3-}) que a forma iônica predominante foi a do hidrogenofosfato ($H_2PO_4^-$), a qual é uma das formas inorgânicas dissolvidas mais significativas e

utilizada no metabolismo.

Apesar de não terem sido determinadas especificamente as frações do fósforo no material dissolvido e no particulado, na Figura 5.8 referente aos dados dos resíduos totais dos períodos chuvoso e seco, observa-se que provavelmente o fósforo no período chuvoso esteve predominantemente no material dissolvido em decorrência da diluição pluviométrica, já no período seco houve boa contribuição do material particulado quando a concentração de sólidos suspensos foi maior.

Conforme informações de Tundisi e Tundisi (2008), o transporte de fósforo para o Rio Arapiranga no período chuvoso provavelmente deve-se ao escoamento superficial (lixiviação) e no período seco às contribuições de entrada de material particulado oriundas de drenagens tributáveis e das variações de maré que acabam por erodir as margens desse manancial e assim aportando a liberação de solo que contribui com o fósforo (orgânico e inorgânico) e sólidos.

5.1.1.8. Resíduo Total

De acordo com as Tabelas 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11, 5.13 e 5.15, no rio Arapiranga, 64,06% dos valores de resíduos totais estiveram compreendidos entre 6 e 20 mg/L e 35,94% entre 21 e 40 mg/L. As concentrações de resíduos totais tiveram incremento no sentido nascente-foz, com valores mais elevados no mês de outubro (Tabelas 5.13 e 5.15).

No período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 12 e 33 mg/L na maré baixa-mar e 6 e 29 mg/L na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 11 e 40 mg/L na maré baixa-mar e 10 e 39 mg/L na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $19 \pm 6,03$ mg/L e na maré preamar de $14 \pm 6,61$ mg/L. No período seco, os valores médios registrados foram de $23 \pm 10,17$ mg/L na maré baixa-mar e $20 \pm 9,74$ mg/L na preamar.

Após impactos ocasionados por efluentes industriais no ano de 2007 nos corpos hídricos denominados de Curuperê e Dendê em Barcarena/PA, foram determinados valores de sólidos totais dissolvidos e de sólidos suspensos totais que variaram de 38 a 804 mg/L e de 6 a 30 mg/L respectivamente no igarapé Curucuperê, já no igarapé Dendê os valores de sólidos totais dissolvidos variaram de 28,8 a 145,5

mg/L e para os sólidos suspensos totais houve variação de 11 a 33 mg/L (LIMA *et al.*, 2011).

Para outras condições em corpos hídricos sem grandes interferentes de origem antrópica, como por exemplo, no estudo realizado por Mendonça *et al.* (2004) no rio Pará (Ilha Grande) e no igarapé Combú por Ribeiro (2004), ambos na região metropolitana de Belém/PA. Foram registrados valores médios de sólidos totais dissolvidos e sólidos suspensos totais no rio Pará com variações de 7 a 9 mg/L e de 21 a 41 mg/L respectivamente. No igarapé Combú essas variações na época chuvosa foram de 13,1 a 43,4 mg/L para sólidos totais dissolvidos e de 4 a 23 mg/L para sólidos suspensos totais, já na época de estiagem, os valores de sólidos totais dissolvidos variaram de 8,7 a 35,4 mg/L e de 5 a 81 mg/L para sólidos suspensos totais. Essas informações demonstram que em condições naturais, muitos rios do Estado do Pará ou pelo menos trechos destes, apresentam níveis de sólidos relativamente baixos.

Os testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste t ($p=0,007$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste t ($p=0,048$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Esses resultados demonstram que os valores de resíduo total nas marés baixa-mar e preamar oscilaram entre ambos os períodos. Essa diferença pode ser observada na Figura 5.8.

O transporte de materiais em estuários sujeitos à influência de marés, em uma escala de tempo maior, se deve principalmente ao movimento cíclico das marés caracterizando-se um movimento considerado como difusão em decorrência da turbulência no meio a partir do movimento aleatório (VON SPERLING, 2007). Na Figura 5.8, observa-se que houve uma concentração maior de sólidos no período seco, este fato pode estar associado à diluição pluviométrica ocorrida no período chuvoso conforme observado na Figura 3.5 do subitem 3.2.3 do capítulo 3.

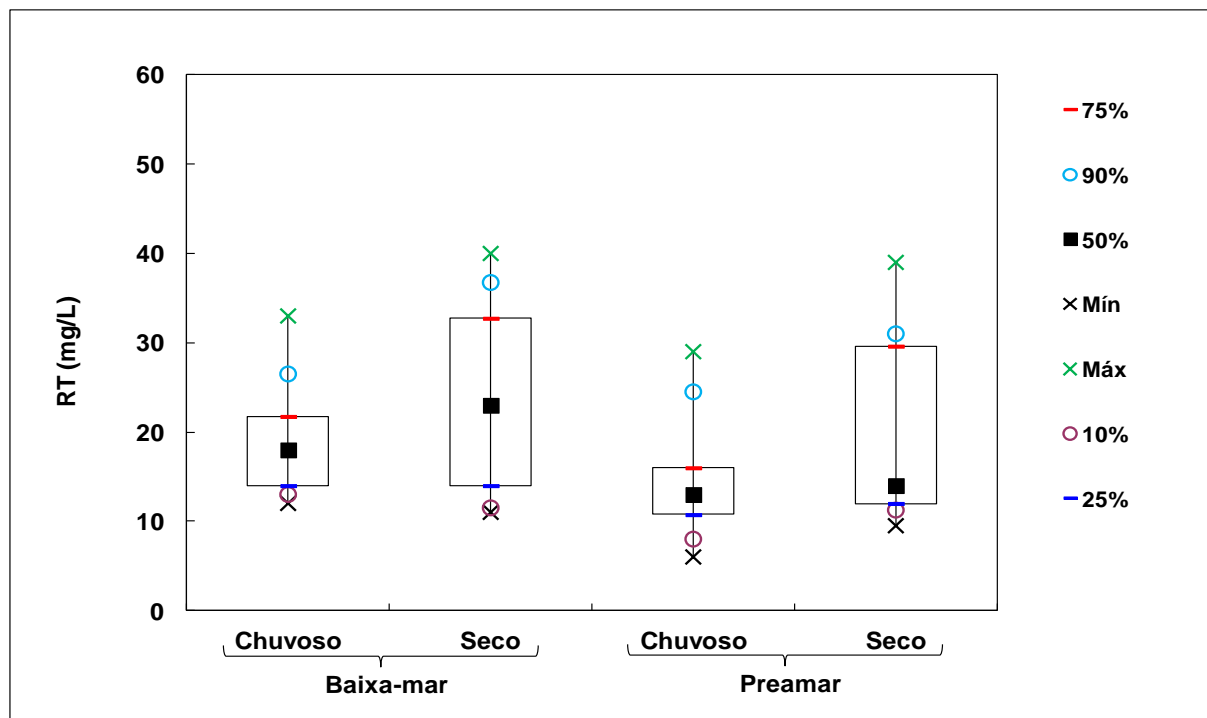


Figura 5.8: Comparação sazonal dos valores de Resíduo Total no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009.

A partir de algumas informações de Von Sperling (2005), supõe-se que este rio apresenta baixas concentrações de sólidos suspensos provavelmente por estar em uma área de maior cobertura vegetal e conseqüentemente a infiltração no solo da água precipitada é maior, reduzindo o escoamento superficial. Essas baixas concentrações também podem estar associadas a outros fatores, como por exemplo, menor ocupação e uso do solo no entorno deste rio (urbanização) e conseqüentemente menor área impermeável e também por estar em uma bacia hidrográfica com relevo relativamente plano e regular, apresentando assim, baixo nível de erosão.

5.1.1.9. Turbidez

De acordo com as Tabelas 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11, 5.13 e 5.15, no rio Arapiranga, 62,5% dos valores de turbidez estiveram entre 8 e 20 UNT e 37,5% entre 21 e 38 UNT. Pode-se inferir que a maioria dos valores estiveram em níveis de turbidez mais elevados na foz (ARA 07 e ARA 08) do rio Arapiranga com destaque para a maré baixa-mar dos meses de abril e outubro (Tabelas 5.5 e 5.13) por apresentarem valores mais elevados na maioria dos pontos de amostragem. A

legislação estabelece o limite de 100 UNT para turbidez nas águas doces classes 2 e 3 (Art. 15 IV e Art. 16 I I)). Todos os valores de turbidez determinados no rio Arapiranga estiveram de acordo com os valores máximos estabelecidos para corpos hídricos classes 2 e 3.

Fazendo a comparação sazonal para esta variável, durante o período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 15 e 38 UNT na maré baixa-mar e 7,5 e 24,5 UNT na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 11 e 25 UNT na maré baixa-mar e 13 e 32 UNT na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $24 \pm 7,69$ mg/L e na maré preamar de $16 \pm 5,47$ mg/L. No período seco, os valores médios registrados foram de $19 \pm 4,75$ mg/L na maré baixa-mar e $18 \pm 5,00$ mg/L na preamar.

No estudo de Lima *et al.* (2011), foram determinados valores de turbidez nos igarapés Curuperê e Dendê em Barcarena/PA, onde ocorreram variações de 9 a 31 UNT e de 22 a 41 UNT respectivamente. Moura (2007), determinou na Baía do Guajará no trecho entre o bairro de Val-de-Cães e o Distrito de Icoaraci em Belém/PA valores de turbidez com variações de 35 a 74 UNT no período chuvoso e no período seco essa variação foi de 14 a 22 UNT.

Os testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados da maré baixa-mar entre os períodos chuvoso e seco. O teste t ($p=0,000$) sobre os dados da maré baixa-mar demonstrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Para a maré preamar o teste de Wilcoxon ($p=0,796$) demonstrou baixa significância para $\alpha=0,05$, revelando semelhança (hipótese H_1 rejeitada) entre os dados desta variável para a mesma comparação sazonal. Essas diferenças e semelhanças são observadas na Figura 5.9.

Os baixos valores de turbidez neste rio possivelmente estão associados aos baixos níveis de sólidos suspensos, portanto, supõe-se que os valores de turbidez registrados nos dois períodos avaliados (chuvoso e seco) conforme observado na Figura 5.9 se devem predominantemente à presença dos sólidos dissolvidos no meio, com destaque para a maré baixa-mar do período chuvoso onde possivelmente concentrou mais sólidos neste rio em decorrência da intensidade pluviométrica e conseqüentemente do maior escoamento superficial de sólidos.

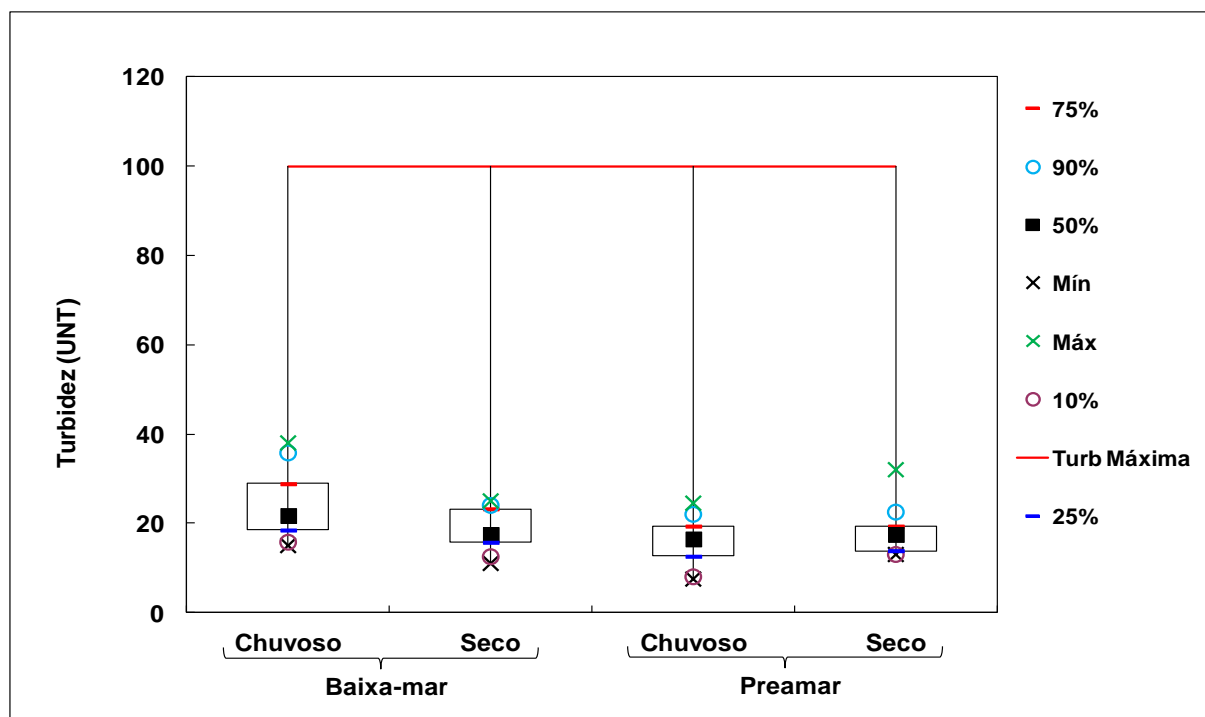


Figura 5.9: Comparação sazonal dos valores de Turbidez no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** Turb. Máxima é o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

5.1.1.10. IQA

Conforme a CETESB e a partir dos dados registrados nas Tabelas 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11, 5.13 e 5.15, dos valores de IQA determinados nas águas do rio Arapiranga, 48,44% representaram condições de qualidade **regular** e 51,56% com qualidade **boa**, mas grande parte desses valores determinados nas quatro campanhas de amostragem de 2009 revelou melhoria de qualidade no sentido nascente-foz. Em comparação com o IQA modelo determinado (**48**) baseado em valores estabelecidos pela legislação CONAMA 357/05/MMA para águas classe 2, 17,19% dos IQAs obtidos no rio Arapiranga estiveram abaixo deste valor. De modo geral, a condição de qualidade mais desfavorável nas águas do rio Arapiranga foi determinada nos pontos de amostragem próximos de suas nascentes.

Fazendo a comparação sazonal para esta variável, durante o período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 43 e 57 na maré baixa-mar e 45 e 62 na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 42 e 59 na maré baixa-mar e 47 e 65 na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $48 \pm 3,7$

mg/L e na maré preamar de $51 \pm 5,6$ mg/L. No período seco, os valores médios registrados foram de $48 \pm 4,6$ mg/L na maré baixa-mar e $55 \pm 5,7$ mg/L na preamar.

Mendonça (2004), em seu estudo de caracterização limnológica e físico-química das águas superficiais na área insular do município de Belém-PA, baseado em estudos realizados pela CETESB, avaliou as condições das águas estudadas e constatou que os valores dos IQAs obtidos variaram entre 41 e 49 (Ilha Grande) e 33 a 53 (Ilha Murutucu), classificando essas águas em situações de qualidade ruim, regular e boa.

O testes de hipóteses revelaram semelhanças (hipótese H_1 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados da maré baixa-mar entre os períodos chuvoso e seco, pois o teste t ($p=0,913$) mostrou um baixo nível de significância para $\alpha=0,05$. Para a maré preamar o teste t ($p=0,003$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$, revelando diferença entre os IQAs para esta comparação sazonal (hipótese H_0 rejeitada). Essas semelhanças e diferenças são observadas na Figura 5.10.

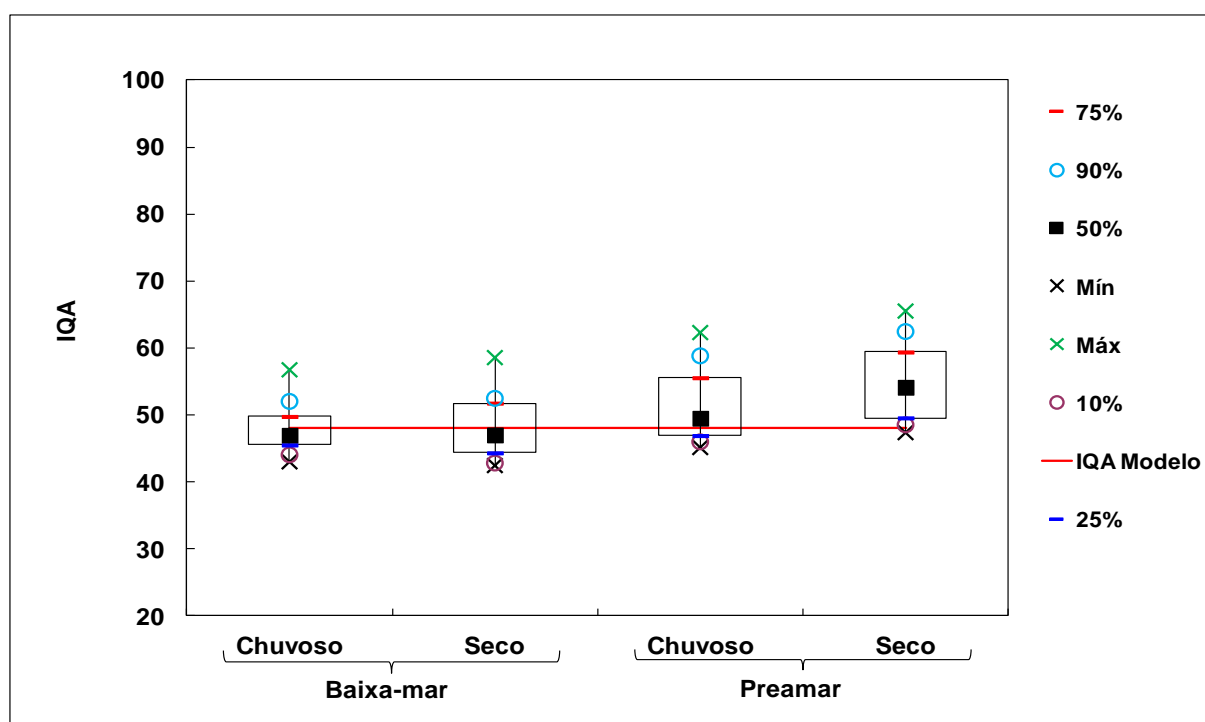


Figura 5.10: Comparação sazonal dos valores dos IQAs no rio Arapiranga na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** IQA Modelo é o valor determinado a partir dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

5.1.2. Caracterização Rio Murucupi

5.1.2.1. Temperatura

Avaliando-se os dados de todas as campanhas de amostragem os valores de temperatura no rio Murucupi variaram no sentido nascente-foz de 26 a 30 °C, esses valores tiveram oscilações de ± 1 e 2 °C entre os pontos de amostragem, com incremento no sentido nascente-foz. Na maré baixa-mar de janeiro, abril e julho e preamar de julho, os valores de temperatura estiveram compreendidos entre 27 e 29 °C, já na preamar de janeiro e abril, os valores registrados estiveram entre 26 e 29 °C, contudo, os valores mais elevados foram registrados no mês de outubro, onde tais valores, variaram de 29 a 30 °C na maré baixamar e 28 a 30 °C na preamar.

Fazendo a comparação sazonal, durante o período chuvoso (janeiro e abril) foram registradas temperaturas médias de $28 \pm 0,94$ °C e $28 \pm 1,16$ °C para baixa-mar e preamar, respectivamente, enquanto no período seco (julho e outubro) as temperaturas médias subiram para $29 \pm 1,10$ °C, na baixa-mar, e $29 \pm 0,94$ °C, na preamar. Pereira *et al.* (2007) em seu estudo químico ambiental realizado no próprio rio Murucupi, a partir de treze (13) pontos de amostragem monitorados, encontrou valores de temperatura que variaram de 27 a 29,5 °C, isto é, valores semelhantes aos determinados neste estudo. Outros estudos em corpos hídricos diferentes na região amazônica também apresentaram valores médios de temperatura com características semelhantes, como por exemplo: Canal Norte (28 °C), Canal Sul (26 °C), Rio Pará (29 °C), Rio Xingú (28,8 °C) e Rio Tapajós (29,7 °C) (PEREIRA, 2000; PEREIRA *et al.*, 2005 *apud* MIRANDA *et al.*, 2009 e MIRANDA *et al.*, 2009).

Os testes de hipóteses revelaram diferenças (H_0 rejeitado) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste t ($p=0,028$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste de Wilcoxon ($p=0,006$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Esses resultados demonstram que as temperaturas da baixa-mar e preamar sofrem variações entre ambos os períodos. Essas diferenças podem ser observadas na Figura 5.11.

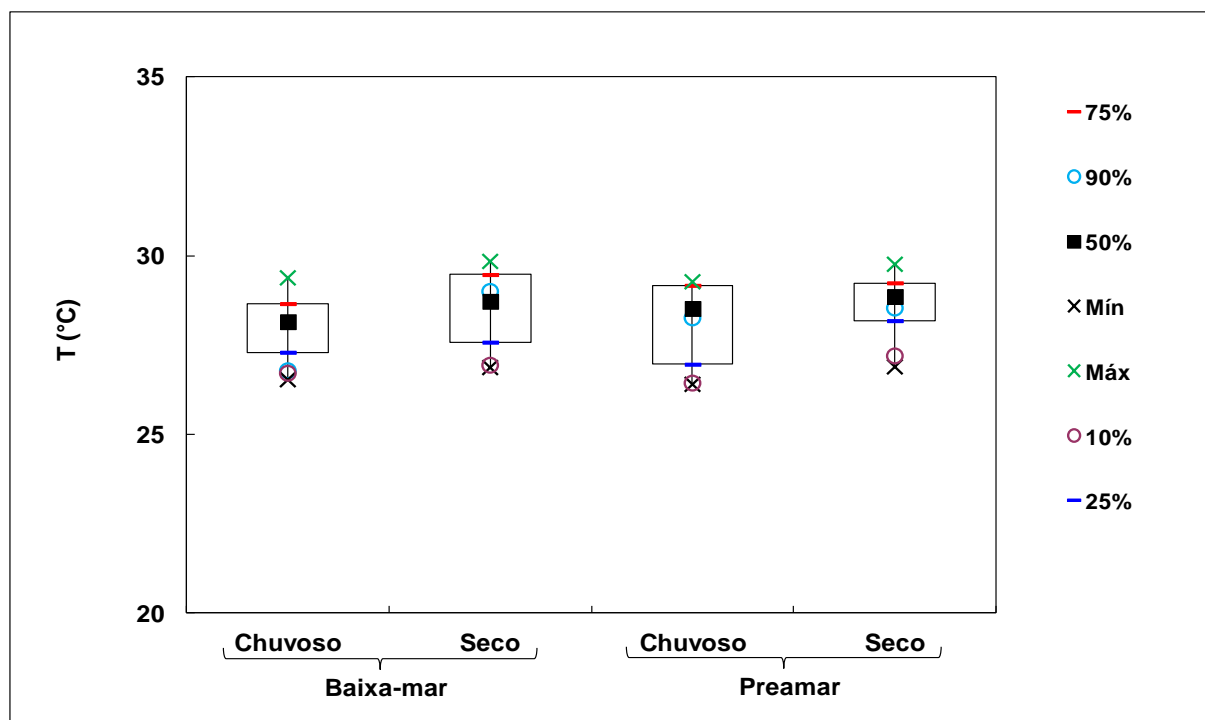


Figura 5.11: Comparação sazonal dos valores de temperatura no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.

5.1.2.2. pH

Para os valores de pH determinados nas quatro campanhas de amostragem no rio Murucupi, 85,94% estiveram em condição ácida ($\text{pH} < 7$), 6,25% em condição neutra ($\text{pH} > 7$) e 7,81% em condição alcalina ($\text{pH} > 7$). A legislação Brasileira estabelece em seus Art. 14 n e 15 e Art. 16 n para águas doces classes 2 e 3 os valores de pH entre a 6 e 9. Para águas classes 2 e 3, 68,75% dos valores de pH no rio Murucupi se enquadraram de acordo com a faixa de pH estabelecida pela Resolução CONAMA 357/05/MMA e 31,25% estiveram em desacordo. A maioria dos valores de pH que estiveram em desacordo com a legislação foram registrados nos pontos de amostragem mais próximos da nascente do rio Murucupi, contudo, na maré baixa-mar de julho, a maioria dos valores estiveram em desacordo com a legislação.

O pH neste no rio Murucupi é característico de águas claras conforme Sioli e Klinge (1962) *apud* Horbe e Santos (2009), Furch (1984); Walker (1987); Forti *et al.* (1991) *apud* Queiroz *et al.* (2009), Sioli (1985) *apud* Zeidemann (2001) e Sioli (1984) *apud* Cunha e Pascoaloto (2006) sobre a classificação dos rios na Amazônia. Essas águas apresentam um pH ácido, contudo, mais elevado em relação ao pH do rio

Arapiranga. Essas condições de pH provavelmente estão relacionadas a quantidade de sólidos em suspensão relativamente pequena e pela formação litológica com característica mais argilosa classificada como latossolo com baixos níveis de material orgânico e capazes de reter substâncias húmicas nas partículas de argila (LEENHEER, 1980; JUNK e FURCH, 1985 *apud* DA NOBREGA, 2005). Neste rio o pH também sofre alteração em decorrência da grande quantidade de esgoto lançada sem tratamento, proveniente da produção no município de Barcarena/PA na área urbana em seu entorno. Pereira *et al.* (2007) em seu estudo, apresenta algumas fontes de lançamento de esgoto doméstico no rio Murucupi.

Fazendo a comparação sazonal desta variável, durante o período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 6,1 e 7,2 na maré baixa-mar e 5,7 e 7,2 na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 5,6 e 6,6 na maré baixa-mar e 5,6 e 7,1 na preamar.

Pereira *et al.* (2007) encontrou valores de pH que variaram de 4,4 a 6,2 no rio Murucupi. Em estudo realizado em vários corpos hídricos localizados nos Estados do Pará e Maranhão, no âmbito da porção continental da Folha Belém SA.22-X-D, foram encontrados valores de pH que variaram de 3,6 a 6,2 com média de 5,28, onde dentre os corpos d'água avaliados, ocorreram vários núcleos com valores mais ácidos (pH abaixo de 4,5) nos municípios de Vigia, entre Acará e Bujará e perto de Barcarena, ambos no Estado do Pará (VIGLIO, 2008). Ribeiro (2004) em seu estudo sobre os igarapés Combú e Paracuri na região metropolitana de Belém/PA, encontrou valores de pH que variaram de 4,0 a 6,0.

O testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste t ($p=0,0003$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste de Wilcoxon ($p=0,001$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Esses resultados demonstram que o pH tanto na maré baixa-mar quanto na preamar oscilam entre ambos os períodos. Essas diferenças podem ser observadas na Figura 5.12.

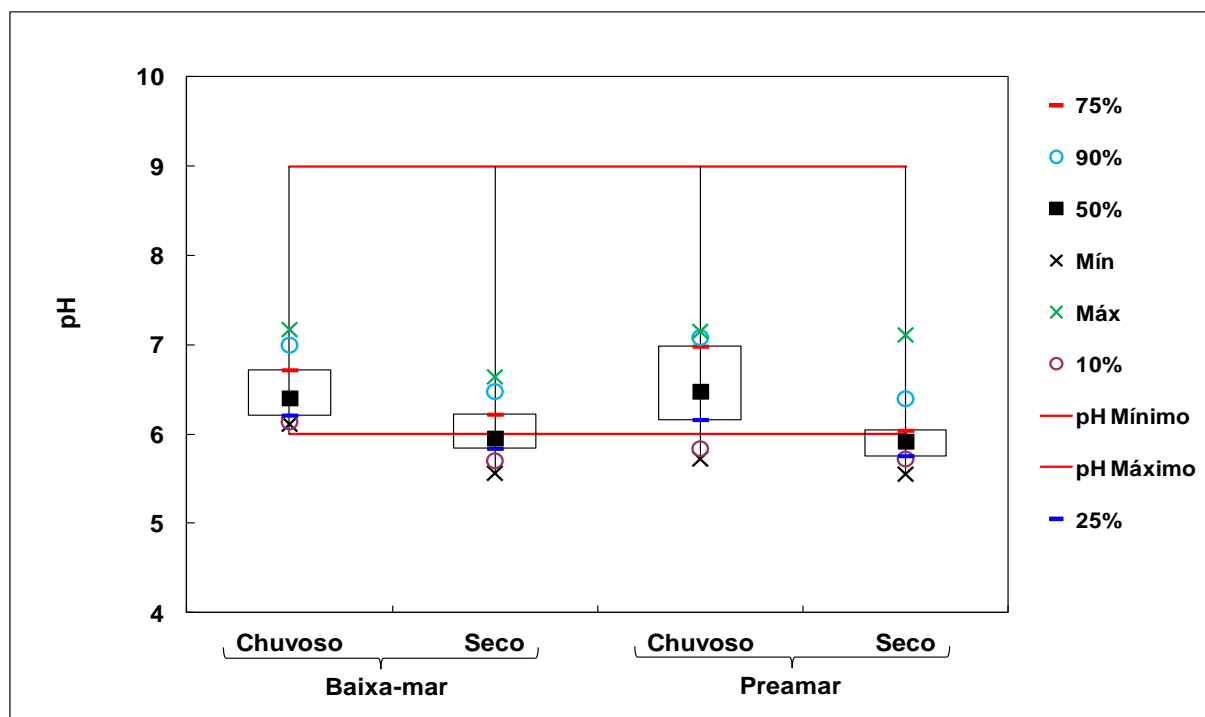


Figura 5.12: Comparação sazonal dos valores de pH no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** pH Mínimo e pH Máximo são valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

Conforme a Figura 5.12, o pH no rio Murucupi apresentou-se mais elevado chegando às condições alcalinas nos pontos próximos à sua foz possivelmente pela influência das águas do rio Pará e Furo do Arrozal (tributário do rio Pará e afluente do rio Murucupi).

5.1.2.3. OD

De acordo com os dados obtidos em todas as campanhas de amostragem, o comportamento do OD no rio Murucupi foi semelhante ao OD determinado no rio Arapiranga, isto é, também houve um aumento das concentrações dessa variável no sentido da nascente até a foz. Os valores de OD mais baixos foram registrados nos meses de janeiro e abril nos pontos mais próximos da nascente do rio Murucupi (MUR 01, MUR 02 e MUR 03). A legislação Brasileira estabelece em seus Art. 15 VI e Art. 16 j) para águas doces classes 2 e 3, valores de OD não inferiores a 5 e 4 mg/L respectivamente. No rio Arapiranga, 81,25% dos valores estiveram de acordo com o padrão estabelecido pela legislação para águas doces classes 2 e 18,75% em desacordo. Considerando-se o padrão classe 3, 90,63% dos dados estiveram de

acordo e 9,37 % em desacordo. Os valores de OD no rio Arapiranga que estiveram abaixo do mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classes 2 e 3 foram determinados nos pontos de amostragem MUR 01, MUR 02 e MUR 03 em janeiro e abril de 2009.

No período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 1,4 e 6,8 mg/L na maré baixa-mar e 3,1 e 6,9 mg/L na preamar, com valores médios de $5,0 \pm 1,50$ e $6,0 \pm 1,32$ mg/L respectivamente. No período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 5,3 e 7,5 mg/L na maré baixa-mar e 6,0 e 7,9 mg/L na preamar e as médias foram de $6,0 \pm 0,74$ mg/L e $7,0 \pm 0,69$ mg/L respectivamente. Esses resultados demonstram que neste rio ocorreram grandes variações de OD entre os períodos chuvoso e seco.

Em seu estudo químico ambiental com avaliação em 13 pontos de amostragem, Pereira *et al.* (2007) determinou no rio Murucupi valores de OD que variaram de 2,6 a 6,3 mg/L, valores semelhantes aos obtidos neste estudo. Em 7 pontos de amostragem avaliados no rio Tapajós na orla de Santarém/PA, onde certamente, este rio recebe uma boa contribuição de esgoto doméstico, Miranda *et al.* (2009) determinou valores de OD que tiveram variação de 4,5 a 6,1 mg/L. Na Baía do Guajará no trecho entre o bairro de Val-de-Cães e o Distrito de Icoaraci em Belém/PA, Moura (2007) em três campanhas de amostragem no ano de 2005, registrou valores de OD que tiveram variações de 2,66 a 4,41 mg/L no mês de maio, 3,01 a 7,16 mg/L em novembro e de 3,2 a 5,7 mg/L no mês de dezembro.

Os testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste t ($p=0,0001$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo diferenças significativas também foi observado na preamar cujo teste t ($p=0,0000$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Esses resultados demonstram que o OD da baixa-mar e preamar tiveram oscilações entre ambos os períodos, diferenças observadas na Figura 5.13.

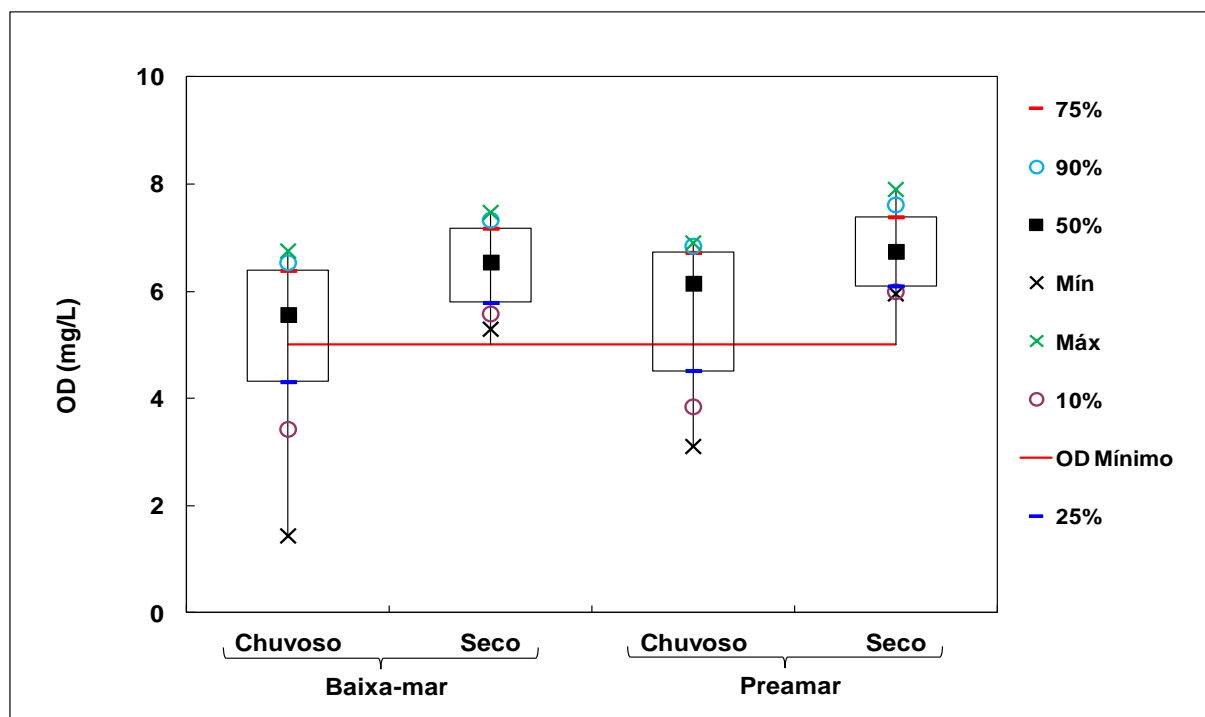


Figura 5.13: Comparação sazonal dos valores de Oxigênio Dissolvido no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** OD Mínimo é o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

Esse comportamento distinto quanto ao oxigênio dissolvido entre os períodos chuvoso e seco, pode ser atribuído a alterações nas fontes de produção e de consumo de OD. Haja vista que no período chuvoso, se teve provavelmente maiores incrementos da carga orgânica e nitrogenada autóctone devido à lixiação, além de do lançamento de efluente doméstico proveniente da área urbana no entorno deste rio. No período seco os valores de OD apresentam-se menos concentrados, contudo, os valores são mais elevados em relação ao período chuvoso, mostrando que o consumo de OD no período chuvoso foi maior que a produção.

A partir de algumas informações de Von sperling (2007), provavelmente os valores mais elevados de OD no período seco podem estar associados à maior turbulência neste rio no decorrente período através do processo de difusão acarretando o espalhamento das partículas devido à agitação.

No final do ano de 2008, observou-se o início de um grande desmatamento na área de preservação ambiental na estrada da praia do Caripi em Barcarena/PA, este fato ocorreu em função da área invadida neste período. Portanto, além do esgoto lançado por bairros adjacentes a este rio, este desmatamento também pode ter sido um agravante para o arraste de material orgânico devido à intensidade

pluviométrica ocorrida no início de 2009, reduzindo-se assim, os níveis de OD nos pontos próximos das nascentes deste rio, haja vista que esta área invadida também fica próxima do rio Murucupi.

5.1.2.4. DBO

Os resultados de DBO no rio Murucupi revelaram concentrações elevadas ao longo nos pontos de amostragem mais próximos da nascente, tanto na maré baixa-mar como na preamar. De acordo com as Tabelas 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12, 5.14 e 5.16, as concentrações mais elevadas foram registradas nos meses de abril e julho. A resolução CONAMA 357/05/MMA em seus Art. 15 V e Art. 16 I i), estabelece para águas doces classes 2 e 3 valores de DBO não superiores a 5 e 10 mg/L respectivamente, portanto, 4,69% dos valores de DBO no rio Murucupi estiveram de acordo com a legislação e 95,31% em desacordo, ambos em relação ao padrão classe 2. Comparando-se os dados com o padrão classe 3, 54,69% atenderam e 45,31% estiveram em desacordo. A maioria dos valores de DBO determinados e que não atenderam a legislação para águas doces classes 2 e 3, foi correspondente aos meses de janeiro e abril de 2009, principalmente nos pontos de amostragem próximos às nascentes do rio Murucupi.

Os valores de DBO durante o período chuvoso (janeiro e abril) variaram de 6,0 a 18,0 mg/L na maré baixa-mar e 6,0 a 14,0 mg/L na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 6,0 e 14,0 mg/L na maré baixa-mar e 5,0 e 13,0 mg/L na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $13,0 \pm 4,01$ mg/L e na maré preamar de $10,0 \pm 2,49$ mg/L, já no período seco, os valores médios foram de $10,0 \pm 2,31$ mg/L e $8,0 \pm 2,17$ mg/L respectivamente.

Mendonça *et al.* (2004) e Gomes *et al.* (2007) encontraram nos rios Rio Pará (Ilha do Combú) e Piraíba (Distrito de Icoaraci), ambos na região metropolitana de Belém/PA, valores médios de DBO que variaram de 11,3 a 18 mg/L e 5 a 24 mg/L respectivamente.

O testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste t ($p=0,003$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$.

Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste t ($p=0,001$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Esses resultados demonstram que a DBO de ambos os períodos foram diferentes, onde tais diferenças são observadas na Figura 5.14.

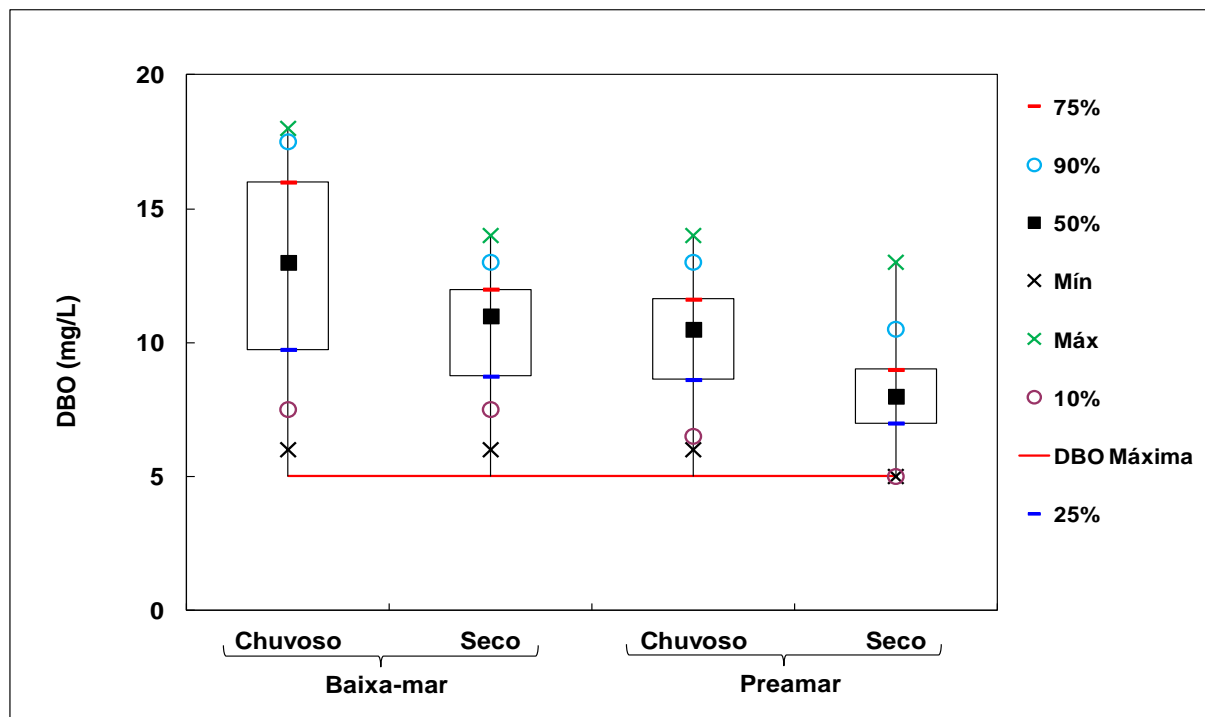


Figura 5.14: Comparação sazonal dos valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** DBO Máxima é o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

As concentrações mais elevadas de DBO da maré baixa-mar no período chuvoso podem estar associadas ao grande aporte de material orgânico devido à precipitação e ao esgoto lançado pelas comunidades adjacentes a este rio e também por ser uma área mais habitada e mais desprotegida pela cobertura vegetal em função de desmatamentos em decorrência de áreas invadidas e vias públicas pavimentadas, conseqüentemente, essa grande área impermeável possibilita maior escoamento superficial de material orgânico para este rio.

Outro fato, é que os resultados de DBO vêm a corroborar com os fatores mencionados em relação ao oxigênio dissolvido, de que nos períodos chuvoso e seco, a dinâmica de oxigenação ou desoxigenação desse corpo d'água sofre realmente influência de fatores como: carga orgânica e nitrogenada autóctone em decorrência principalmente do lançamento de efluente doméstico, os quais acabam por alterar a produção e o consumo de OD no rio, ocasionando comportamentos

distintos e iguais para a DBO dependendo da sazonalidade e alterações no regime de maré.

5.1.2.5. Coliformes Termotolerantes

De acordo as informações obtidas, houve variações nos valores de *coliformes termotolerantes* na campanha de amostragem no rio Murucupi, contudo, os valores mais elevados foram registrados próximos a nascente deste rio. Os valores de *coliformes termotolerantes* foram comparados com os valores estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05/MMA, para águas doces classes 2 (1.000 NMP/100mL, conforme Art. 15 II) e 3 (4.000 NMP/100 mL, conforme Art. I g)). Dos valores de *coliformes termotolerantes* determinados no rio Murucupi, 12,5% dos valores determinados estiveram de acordo com o padrão classe 2 e 87,5% em desacordo. Avaliando-se de acordo com padrão classe 3, 32,81% desses valores se enquadraram e 67,19% estiveram em desacordo. O rio Murucupi apresentou valores elevados em comparação à legislação, pois para o padrão classe 2, os valores determinados variaram de 1,2 a 242 vezes e classe 3 de 1,08 a 60,5 vezes.

Em decorrência de se ter valores de *Coliformes Termotolerantes* fora da referência estabelecida pela resolução CONAMA 357/05 para rios de classe 2 e 3 (87,5% e 67,19% dos valores respectivamente), o uso da água desse manancial para fins de abastecimento doméstico e de irrigação exige que se tenha adoção de medidas de tratamento da água, haja vista a presença desses esta associada a transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Em rios estuarinos próximos de áreas urbanas e periurbanas de Macapá e Santana no Estado do Amapá, Da Cunha *et al.* (2004) em estudo realizado no período de 1999 a 2002, após avaliar a distribuição estatística sobre todos os valores de *Coliformes Termotolerantes* obtidos, a partir de observação em uma curva de probabilidade partindo de $Y \approx 3$ (valor da legislação em escala logarítmica para rios classe 2) em direção à curva ajustada e ao eixo X, concluíram que há a probabilidade de pelo 55% da concentração média global de *Coliformes Termotolerantes* ser igual ou superior a 1000 NMP/100 mL nessas águas. Essa informação indica que em áreas urbanizadas, os corpos hídricos mais próximos tendem para condições de qualidade sanitárias inferiores.

No período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados na maré baixa-mar valores mínimos e máximos de $1,48 \times 10^3$ e $2,42 \times 10^5$ NMP/100mL respectivamente. Na maré preamar esses valores variaram de $7,76 \times 10^2$ a $4,35 \times 10^4$ NMP/100mL. No período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre $4,10 \times 10^2$ e $1,73 \times 10^5$ NMP/100mL na maré baixa-mar e na maré preamar entre $8,40 \times 10^2$ e $2,42 \times 10^5$ NMP/100mL (Tabelas 5.17 e 5.18). No período chuvoso, os valores médios (convertidos para \log_{10}) registrados na maré baixa-mar foram de $4,43 \times 10^{\pm 0,67}$ NMP/100mL e na maré preamar de $3,68 \times 10^{\pm 0,66}$ NMP/100mL, já no período seco, os valores médios foram de $3,95 \times 10^{\pm 0,79}$ NMP/100mL e $4,00 \times 10^{\pm 0,81}$ NMP/100mL respectivamente.

No igarapé Paracuri localizado no Distrito de Icoaraci em Belém/PA, considerado como um corpo hídrico que apresenta elevados índices de indicadores sanitários, foram registrados valores médios de *Coliformes Termotolerantes* de $2,5 \times 10^3$ UFC/100mL no período chuvoso e de $2,8 \times 10^3$ UFC/100mL na estiagem Ribeiro (2004). Outros estudos realizados em corpos hídricos que sofrem maior influência antropogênica também apresentaram baixa condição de qualidade sanitária, como por exemplo, as pesquisas não sazonais realizadas por Bezerra e Lopes (2001 *apud* Ribeiro, 2004) e O'brien (2002 *apud* Ribeiro, 2004) no igarapé do Tucunduba, onde foram determinados valores de *Coliformes Termotolerantes* que variaram de $2,27 \times 10^5$ a $1,13 \times 10^6$ UFC/100mL e de $1,9 \times 10^3$ a $9,5 \times 10^3$ NMP/100mL respectivamente. Estas informações mostram que a baixa qualidade sanitária das águas nesses mananciais se deve principalmente aos grandes aglomerados urbanos próximos dos mesmos, característica observada na área no entorno do rio Murucupi.

O teste de hipótese revelou semelhança (hipótese H_1 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados da maré baixa-mar entre os períodos chuvoso e seco, o teste de Wilcoxon ($p=0,187$) mostrou um baixo nível de significância para $\alpha=0,05$, contudo, essa semelhança foi observada apenas nos valores máximos e em 90% nos box-plots. Na maré preamar o teste de Wilcoxon ($p=0,019$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$, demonstrando que houve diferença (hipótese H_0 rejeitada) na comparação sazonal para esta condição de maré. Essas semelhanças e diferenças são observadas na Figura 5.15.

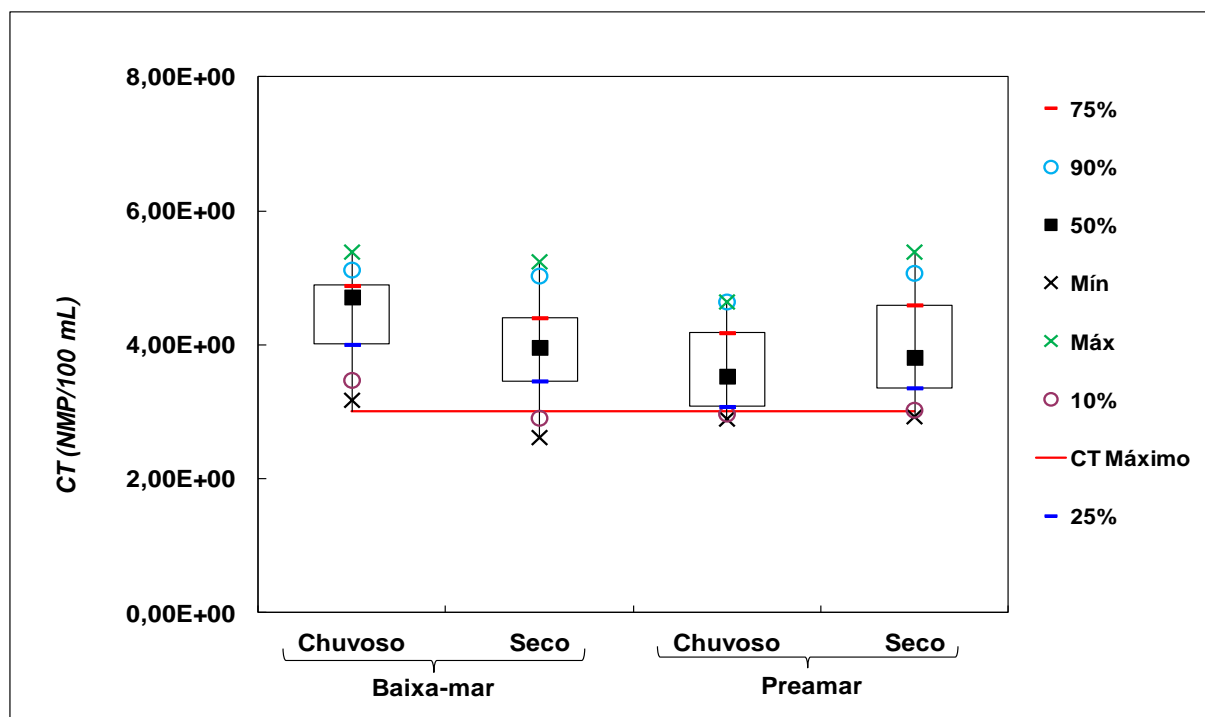


Figura 5.15: Comparação sazonal dos valores de *Coliformes Termotolerantes* no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** CT Máximo é o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2. Estes valores foram convertidos para \log_{10} .

Ao se comparar os dados de *Coliformes Termotolerantes* entre os períodos chuvoso e seco, os testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H_0 rejeitada) quanto a qualidade da água. Para os dados da maré baixa-mar, o teste t ($p=0,025$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste t ($p=0,0007$) também demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Esses resultados demonstram de forma clara que a condição de qualidade sanitária desse manancial é alterada de forma marcante pelo lançamento de esgoto doméstico provenientes das comunidades adjacentes a este rio contribuindo com a presença considerável de patógenos, conforme observa-se na Figura 5.15.

5.1.2.6. Nitrogênio Total

As formas nitrogenadas mais estudadas em ecossistemas aquáticos são: N-orgânico particulado e dissolvido, amônia, íon amônio, óxido nitroso, nitrito e nitrato (ENRICH-PRAST, 2005). As variações do nitrogênio são dependentes e controladas pelas bacias hidrográficas e por outros fatores, como por exemplo, fixação por

plantas aquáticas, erosão, decomposição da vegetação e retenção pela camada de húmus no sedimento (TUNDISI E TUNDISI, 2008).

Como pode ser visto nas Tabelas 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12, 5.14 e 5.16, ao longo dos pontos de amostragem, no rio Murucupi determinou-se valores de nitrogênio total mais elevados nos meses de janeiro e abril de 2009. Os valores de nitrogênio total determinados no rio Murucupi foram mais elevados próximos das nascentes, com decréscimo desses valores no sentido da foz.

No período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 0,4 e 3,5 mg/L na maré baixa-mar e 0,3 e 2,1 mg/L na preamar. No período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 0,2 e 1,1 mg/L na maré baixa-mar e 0,2 e 1,2 mg/L na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $1,1 \pm 1,00$ mg/L e na maré preamar de $0,8 \pm 0,49$ mg/L. No período seco os valores médios foram de $0,5 \pm 0,30$ mg/L na maré baixa-mar e $0,5 \pm 0,29$ mg/L na preamar. Esses resultados demonstram que neste rio ocorreram grandes variações de Nitrogênio Total entre os períodos chuvoso e seco.

Ribeiro (2004) registrou valores de nitrogênio nos igarapés Combú e Paracuri, ambos localizados no município de Belém/PA. Nos igarapés Combú e Paracuri, os valores médios obtidos no período chuvoso foram respectivamente de 0,07 e 0,15 mg/L (N-NO₃); 0,0005 e 0,0006 mg/L (N-NO₂) e 0,09 e 0,35 mg/L (N-NH₃).

Os testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H₀ rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste de Wilcoxon ($p=0,001$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste de Wilcoxon ($p=0,001$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Essas diferenças pode ser observadas na Figura 5.16.

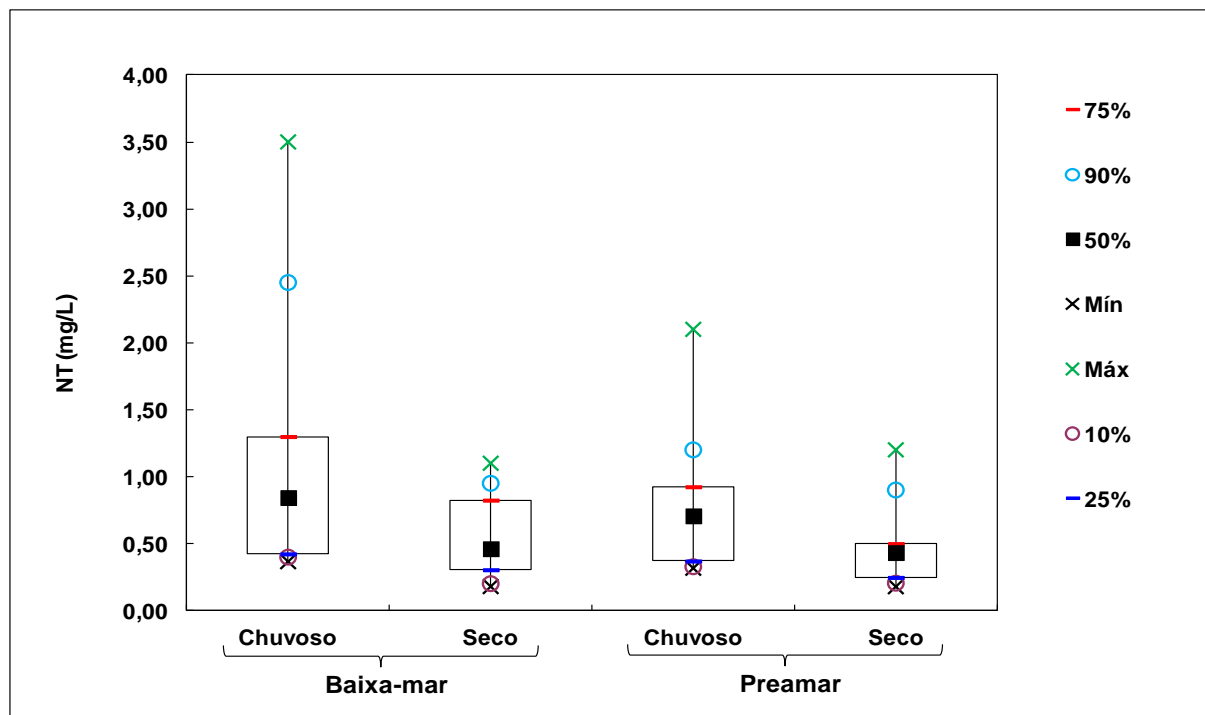


Figura 5.16: Comparação sazonal dos valores de Nitrogênio Total no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.

Observa-se na Figura 5.16 que o aporte de nitrogênio para o rio Murucupi foi maior no período chuvoso provavelmente pela lixiviação de material orgânico e incrementos da matéria nitrogenada autóctone em decorrência da maior precipitação neste período e também pelo lançamento de esgoto doméstico proveniente da área urbana no entorno deste rio.

5.1.2.7. Fósforo Total

Os valores de fósforo total no rio Murucupi foram mais elevados no mês de janeiro com variações de 0,2 a 0,5 mg/L para as duas condições de maré. Em abril e julho esses valores decresceram, isto é, houve variações de 0,04 a 0,1 mg/L e 0,01 a 0,08 mg/L respectivamente. Em outubro esses valores reduziram ainda mais e estiveram compreendidos entre 0,01 e 0,04 mg/L. Pode-se observar que os valores de fósforo total no rio Murucupi também foram mais elevados nos pontos de amostragem próximos de suas nascentes. A legislação pertinente estabelece limites para as concentrações de fósforo total em ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários. Esses valores conforme Art. 15 e 14 II-Tabela I e Art. 16 II-Tabela III, são: 0,1 mg/L e 0,15 mg/L para águas doces classes 2 e 3. 75% dos

valores de fósforo total determinados no rio Murucupi obedeceram ao enquadramento para as duas classes e 25% estiveram em desacordo. Os valores de fósforo total que estiveram em desacordo com a legislação foram referentes à campanha de amostragem de janeiro de 2009.

No período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 0,05 e 0,5 mg/L na maré baixa-mar e 0,04 e 0,5 mg/L na preamar. No período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 0,01 e 0,07 mg/L na maré baixa-mar e 0,03 e 0,08 mg/L na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $0,22 \pm 0,17$ mg/L e na maré preamar de $0,16 \pm 0,13$ mg/L. No período seco, os valores médios registrados foram de $0,03 \pm 0,02$ mg/L na maré baixa-mar e $0,03 \pm 0,02$ mg/L na preamar. Esses resultados demonstram que neste rio ocorreram grandes variações de Fósforo Total entre os períodos chuvoso e seco.

Ribeiro (2004), apresenta em seu estudo realizado em dois corpos hídricos na região metropolitana de Belém/PA. Foram registrados valores médios de fósforo de 0,14 mg/L no período chuvoso e 0,20 mg/L na estiagem no igarapé Paracuri, já no igarapé Combú os valores médios foram de 0,16 mg/L e 0,17 mg/L na época chuvosa e de estiagem reaspectivamente. No rio Piraíba os valores médios de fósforo determinados variaram de 0,10 a 0,23 mg/L (GOMES *et al.*, 2007).

O testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste t ($p=0,0001$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste de Wilcoxon ($p=0,001$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Essas diferenças são observadas na Figura 5.17.

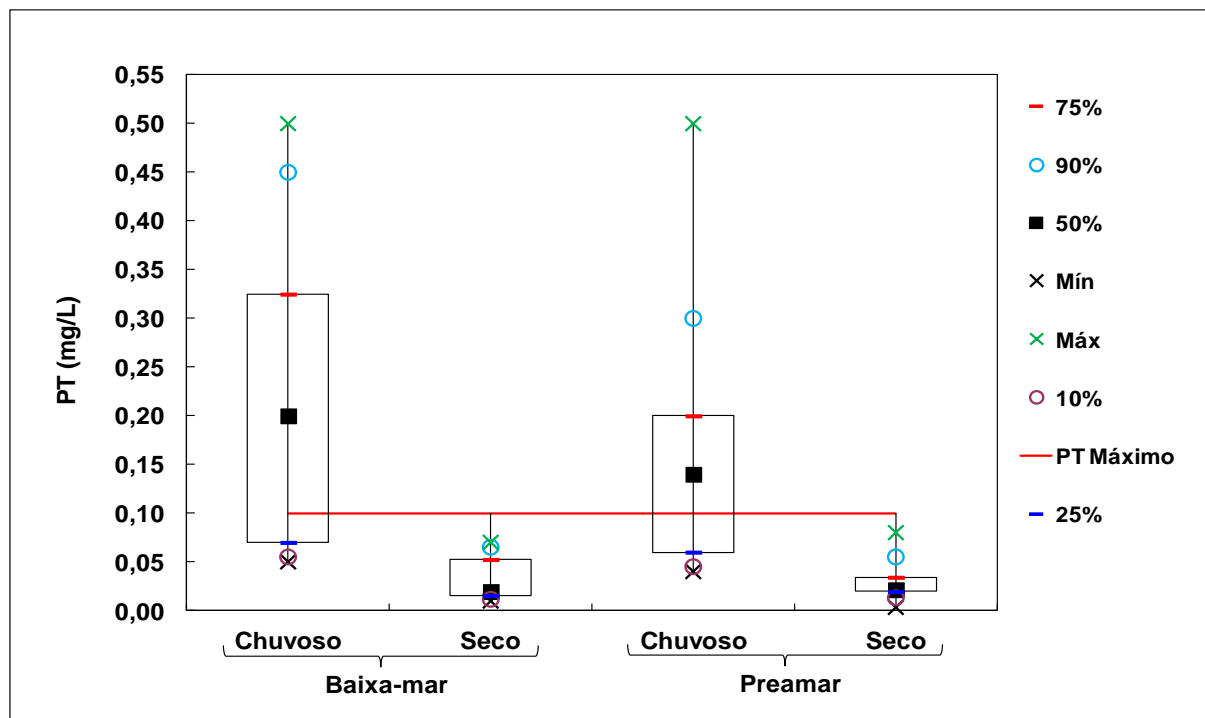


Figura 5.17: Comparação sazonal dos valores de Fósforo Total no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** PT Máximo é o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

Ao avaliar-se os resultados de fósforo da Figura 5.17 a partir da representação gráfica das formas de ácido fosfórico em função do pH (modificado de ATLAS, 1975 *apud* JAHNKE, 1992 e FERREIRA *et al.*, 2005), utilizando-se os dados de pH dos períodos chuvoso e seco, pode-se inferir que a respeito do grupo dos ortofosfatos (H_2PO_4^- ; HPO_4^{2-} e PO_4^{3-}) que a forma iônica predominante foi a do hidrogenofosfato (H_2PO_4^-), a qual é uma das formas inorgânicas dissolvidas mais significativas e utilizada no metabolismo.

Segundo informações de Tundisi e Tundisi (2008), o transporte de fósforo para o Rio Murucupi no período chuvoso provavelmente deve-se ao escoamento superficial e no período seco às contribuições de entrada de material particulado oriundas de drenagens tributáveis e das variações de maré que acabam por erodir as margens desse manancial e assim aportando a liberação de solo que contribui com o fósforo (orgânico e inorgânico) e sólidos e principalmente pela contribuição do esgoto doméstico lançado pela população local sem o devido tratamento.

5.1.2.8. Resíduo Total

De acordo com as Tabelas 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12, 5.14 e 5.16, no rio Murucupi ocorreu certa homogeneidade nos valores de resíduo total determinados nos pontos de amostragem avaliados no ano de 2009, sendo que, 57,81% desses valores estiveram compreendidos entre 25 e 40 mg/L e 42,19% entre 41 e 57 mg/L.

No período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 26 e 53 mg/L na maré baixa-mar e 30 e 49 mg/L na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 26 e 57 mg/L na maré baixa-mar e 25 e 50 mg/L na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $43 \pm 7,19$ mg/L e na maré preamar de $39 \pm 5,78$ mg/L. No período seco, os valores médios registrados foram de $41 \pm 9,28$ mg/L na maré baixa-mar e $37 \pm 7,72$ mg/L na preamar.

No estudo de Gomes *et al.* (2007) no rio Piraíba foram registrados valores médios de sólidos totais dissolvidos e sólidos suspensos totais com variações de 0,55 a 1,08 mg/L e de 26 a 41 mg/L respectivamente. No igarapé Paracuri, Ribeiro (2004) encontrou valores na época chuvosa com variação de 18,6 a 84,7 mg/L para sólidos totais dissolvidos e de 3 a 25 mg/L para sólidos suspensos totais, já na época de estiagem, os níveis de sólidos totais dissolvidos variaram de 20,8 a 100,8 mg/L e de 9 a 62 mg/L para sólidos suspensos totais.

Os testes de hipóteses revelaram semelhanças (hipótese H_1 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, o teste t ($p=0,456$) mostrou um baixo nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento indicativo de diferenças também foi observado na preamar cujo teste t ($p=0,363$) demonstrou baixa significância para $\alpha=0,05$. Na Figura 5.18 é confirmada visualmente essas semelhanças.

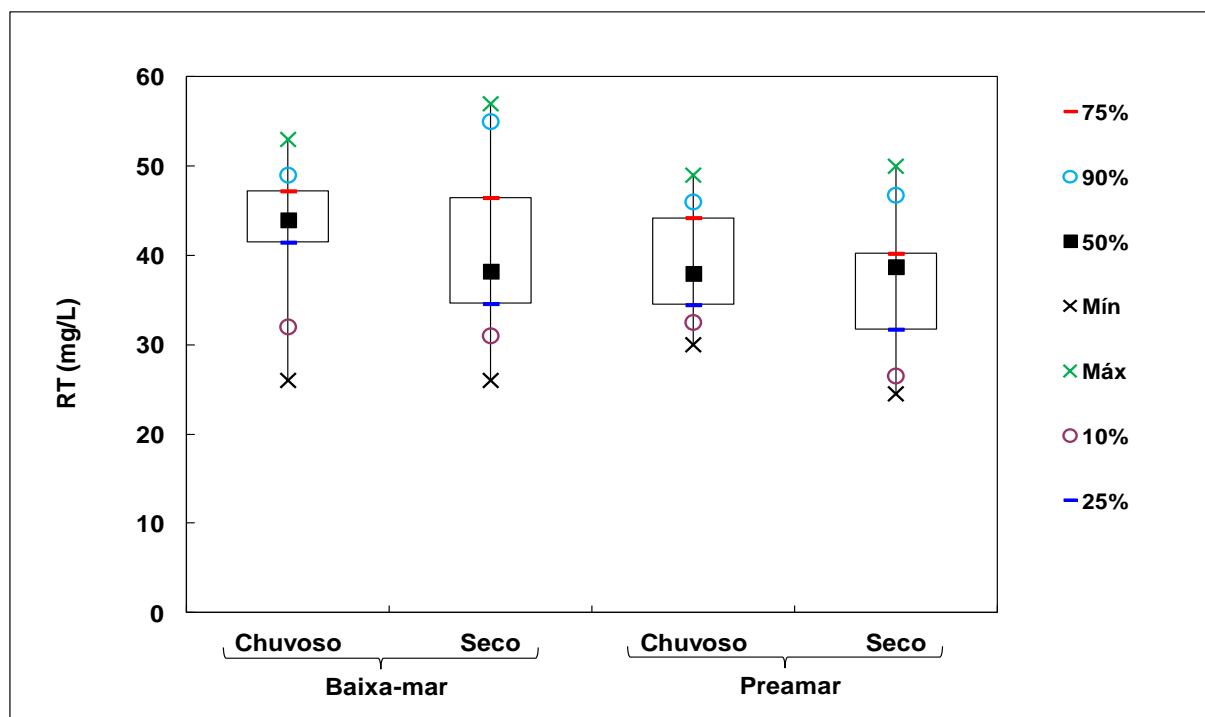


Figura 5.18: Comparação sazonal dos valores de Resíduo Total no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009.

O transporte de materiais em estuários sujeitos à influência de marés, em uma escala de tempo maior, se deve principalmente ao movimento cíclico das marés caracterizando-se um movimento considerado como difusão em decorrência da turbulência no meio a partir do movimento aleatório (VON SPERLING, 2007). Na Figura 5.18, observa-se que há uma concentração maior de sólidos presentes no rio Murucupi. A partir de algumas informações de Von Sperling (2005), supõe-se que este rio apresenta maiores concentrações de sólidos suspensos comparado ao rio Arapiranga, provavelmente por estar em uma área de menor cobertura vegetal e conseqüentemente o escoamento superficial da água precipitada é maior, reduzindo a infiltração no solo. A ocupação e uso do solo no entorno deste rio (urbanização) e conseqüentemente maior área impermeável acarreta maior aporte de material, seja de origem natural ou antropogênica.

5.1.2.9. Turbidez

De acordo com as Tabelas 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12, 5.14 e 5.16, no rio Arapiranga, 68,75% dos valores de turbidez estiveram entre 18 e 30 UNT e 31,25% entre 31 e 47 UNT. Os valores de turbidez mais elevados no rio Murucupi foram

registrados em abril de 2009. A legislação estabelece o limite de 100 UNT para turbidez nas águas doces classes 2 e 3 (Art. 15 IV e Art. 16 I I)). Todos os valores de turbidez determinados no rio Murucupi estiveram de acordo com a legislação.

Fazendo a comparação sazonal para esta variável, durante o período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 18 e 47 UNT na maré baixa-mar e 18 e 44 UNT na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 22 e 34 UNT na maré baixa-mar e 20 e 27 UNT na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $33 \pm 8,20$ mg/L e na maré preamar de $29 \pm 8,03$ mg/L. No período seco, os valores médios registrados foram de $28 \pm 3,43$ mg/L na maré baixa-mar e $23 \pm 2,02$ mg/L na preamar.

Pereira *et al.* (2007) registrou no rio Murucupi valores de turbidez que variaram de 17 a 34 UNT, valores em intervalos semelhantes aos obtidos neste estudo. No rio Tapajós em Santarém/PA, na orla da cidade, Miranda *et al.* (2009) em avaliação de 7 pontos de amostragem, registrou valores de turbidez que variaram de 70 a 85 UNT.

Os testes de hipóteses revelaram diferenças (hipótese H_0 rejeitada) para esta variável na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco. Para a baixa-mar, pois o teste t ($p=0,018$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Esse comportamento também foi observado na preamar cujo teste t ($p=0,003$) demonstrou boa significância para $\alpha=0,05$. Essas diferenças podem ser observadas na Figura 5.19.

Os valores de turbidez mais elevados neste rio em relação aos dados do rio Arapiranga, possivelmente estão associados aos níveis mais elevados de sólidos suspensos, portanto, provavelmente os valores de turbidez registrados nos dois períodos avaliados (chuvoso e seco) conforme observado na Figura 5.19 se devem principalmente às drenagens dos esgotos lançados pela população local e pela grande área impermeabilizada em função da urbanização no entorno deste rio proporcionando maior arraste de material através da precipitação. O destaque foi para o período chuvoso quando ocorreu maior arraste de sólidos para este rio em decorrência da intensidade pluviométrica e conseqüentemente maior escoamento superficial.

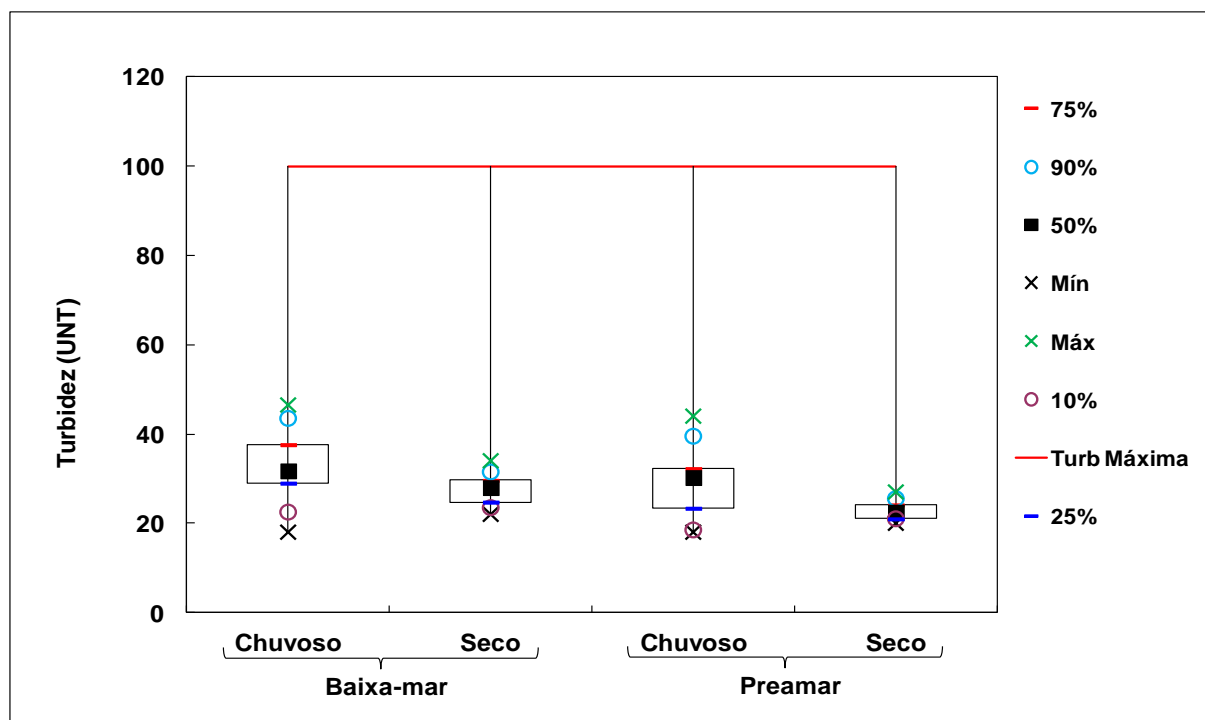


Figura 5.19: Comparação sazonal dos valores de Turbidez no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** Turb Máxima é o valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

5.1.2.10. IQA

Considerando-se os procedimentos utilizados pela CETESB para o cálculo do IQA e conforme dos dados registrados nas Tabelas 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12, 5.14 e 5.16, pode-se dizer que os IQA obtidos nas águas do rio Murucupi revelaram condições diferentes de qualidade nas quatro campanhas de amostragem de 2009, principalmente nos meses de janeiro e abril. 7,81% representaram condições de qualidade **ruim**, 50% qualidade **regular** e 42,19% qualidade **boa**. Os valores dos IQAs determinados nas quatro campanhas de amostragem de 2009 indicaram melhoria de qualidade no sentido nascente-foz deste rio. Os valores registrados em condição de qualidade **ruim** foram determinados na maré baixa-mar dos meses de janeiro e abril nos pontos de amostragem MUR01 e MUR02. Em comparação com o IQA modelo determinado (**48**) baseado em valores estabelecidos pela legislação CONAMA 357/05/MMA para águas classe 2, 40,63% dos IQAs obtidos no rio Murucupi estiveram abaixo deste valor. No geral, a condição de qualidade mais desfavorável nas águas deste corpo hídrico foi determinada nos pontos de amostragem próximos das nascentes.

Fazendo a comparação sazonal para esta variável, durante o período chuvoso (janeiro e abril) foram registrados valores mínimos e máximos de 29 e 60 na maré baixa-mar e 37 e 63 na preamar, enquanto no período seco (julho e outubro) estes valores estiveram entre 39 e 66 na maré baixa-mar e 41 e 67 na preamar. No período chuvoso, os valores médios registrados na maré baixa-mar foram de $44 \pm 9,4$ e na maré preamar de $51 \pm 10,3$. No período seco, os valores médios registrados foram de $51 \pm 8,3$ na maré baixa-mar e $52 \pm 8,6$ na preamar.

O teste de hipóteses revelou diferenças (hipótese H_0 rejeitada) para os IQAs na comparação dos dados entre os períodos chuvoso e seco para a condição de maré baixa-mar, pois o teste de Wilcoxon ($p=0,000$) mostrou um bom nível de significância para $\alpha=0,05$. Na preamar o teste t ($p=0,260$) demonstrou baixo nível de significância para $\alpha=0,05$, indicando semelhança entre os IQAs para esta condição de maré. Essas diferenças e semelhanças são observadas na Figura 5.20.

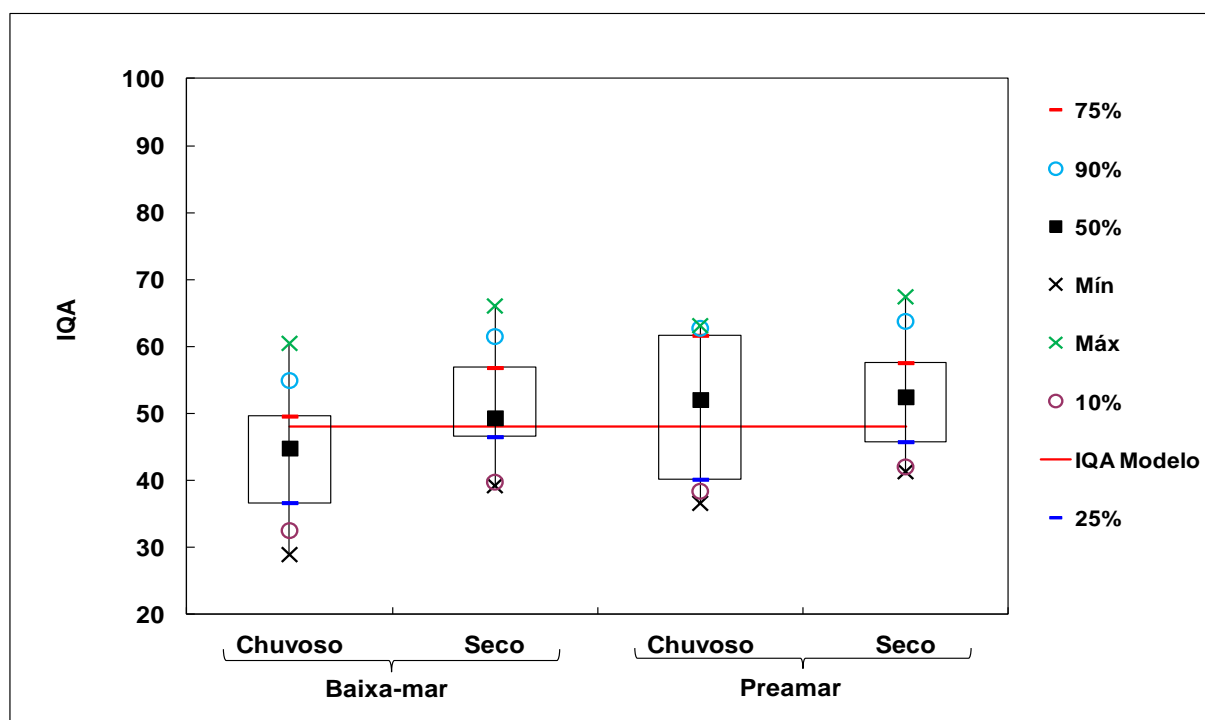


Figura 5.20: Comparação sazonal dos valores dos IQAs determinados no rio Murucupi na baixa-mar e preamar de 2009. **Obs:** IQA Modelo é o valor determinado a partir dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05/MMA para águas doces classe 2.

Mendonça (2009), após avaliação técnica sobre a qualidade da água no Rio Pará no entorno do píer do Porto de Vila do Conde em Barcarena/PA, determinou o IQA em três (03) pontos de amostragem cujo os valores foram de 73, 76 e 77 indicando para essas águas (pontualmente) segundo a CETESB qualidade boa.

5.1.3. Análise Multivariada

Para uma análise mais refinada, os resultados dos valores das variáveis analisadas, assim como, dos IQAs obtidos, foram avaliados por meio de análise multivariada. Nos itens 5.2.3.1 e 5.2.3.2 podem ser observadas as avaliações por meio de Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH) e Análise de Componentes Principais (ACP).

5.1.3.1. Análises de agrupamentos hierárquicos, componentes principais e correlação de Pearson sobre os dados das variáveis determinadas nos rios Arapiranga e Murucupi nos períodos chuvoso e seco em condições de maré baixa-mar e preamar

A Figura 5.21 representa a avaliação sobre os dados das variáveis determinadas no **período chuvoso** em condições de marés baixa-mar e preamar nos **rios Arapiranga e Murucupi**, aplicando-se análise de agrupamento hierárquico utilizando-se a distância euclidiana por ligação completa para a formação de grupos.

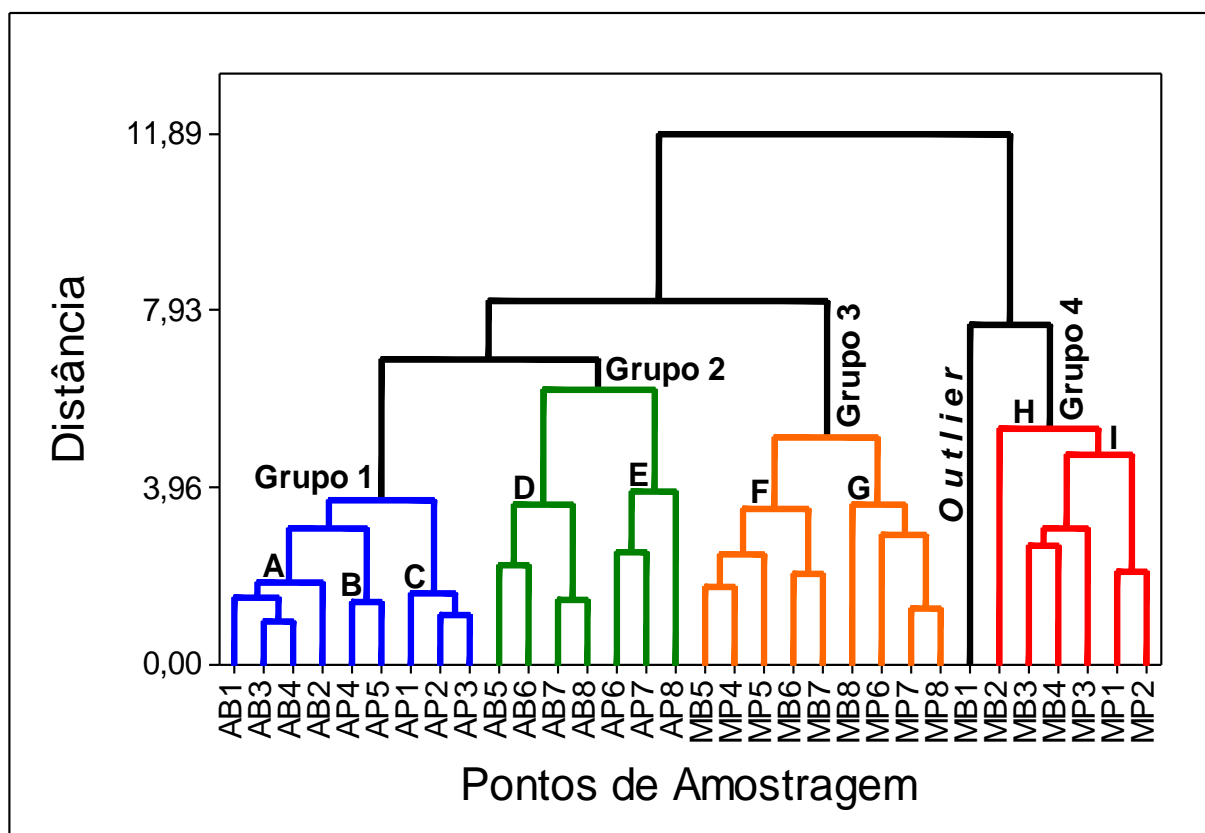


Figura 5.21: Análise de agrupamento hierárquico (distância euclidiana) sobre os dados das variáveis determinadas no período chuvoso em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.

Os resultados referentes ao período chuvoso conforme o dendograma da Figura 5.21, demonstram a formação de quatro grupos (1, 2, 3 e 4) e dois *outliers*, sendo um deles, existente dentro do grupo 4. Os Grupos 1 (AB1 a AB4 e AP1 a AP5), 2 (AB5 a AB8 e AP6 a AP8) e 3 (MB5 a MB8 e MP4 a MP8) possuem uma melhor aproximação e se distanciam 11,89 em relação ao grupo 4 (MB2 a MB4 e MP1 a MP3). Houve maior aproximação na formação dos grupos 1 e 2 com distância entre os mesmos de 6,86, o grupo 3 distanciou 8,18 em relação a estes dois grupos. O ponto de amostragem MB1 foi considerado *outlier* porque apresentou no dendograma um distanciamento maior em relação ao grupo 4 (7,61) e mateve-se isolado conforme a figura 5.21. No período chuvoso, os grupos 1 e 2 foram formados exclusivamente pelos pontos de amostragem do rio Arapiranga, já os grupos 3 e 4 pelos pontos de amostragem do rio Murucupi, o outlier aponta unicamente o ponto de amostragem (MB1) mais próximo das nascentes do rio Murucupi. O grupo 1 apresentou três subgrupos formados (A, B e C) com mais semelhança e melhor aproximação entre A (AB1 a AB4) e B (AP4 e AP5) com distância de 3,08, estes dois subgrupos se distanciam em 3,70 em relação ao subgrupo C (AP1 a AP3), mostrando que apesar deste pequeno afastamento entre esses três subgrupos, as características físico-químicas e microbiológicas no período chuvoso para estes subgrupos foram muito semelhantes. Estes três subgrupos do grupo 1, são referentes aos pontos de amostragem alocados mais próximos das nascentes do rio Arapiranga. No grupo 2 formaram-se dois subgrupos (D e E) com distanciamento entre eles de 6,17, estes subgrupos representam uma transição indicando mudança nas características físico-químicas e microbiológicas do rio Arapiranga, isto é, os pontos de amostragem dos subgrupos D (AB5 a AB8) e E (AP6 a AP8) localizados mais próximos da foz do rio Arapiranga apresentaram características físico-químicas e microbiológicas diferentes em relação aos subgrupos A, B e C do grupo 1 mais próximos das nascentes deste rio. No grupo 3 conforme o dendograma (figura 5.21), formaram-se os subgrupos F (MB5 a MB8) e G (MP4 a MP8) com distanciamento entre eles de 5,12. Estes dois grupos (F e G) referem-se aos pontos de amostragem do rio Murucupi alocados mais próximos da sua foz. No grupo 4 pode ser observada a formação dos dois subgrupos H (MB2) e I (MB3 e MB4 e MP1 a MP3), sendo o grupo H também considerado um *outlier* dentro do grupo 4 por apresentar um certo isolamento dentro deste grupo e distância de 5,29 em relação aos pontos de

amostragem mais agregados do grupo 4 (MB3 e MB4 e MP1 a MP3), estes subgrupos localizam-se próximos às nascentes do rio Murucupi. O *outlier* formado pelo ponto de amostragem MB1 refere-se ao ponto mais próximo das nascentes do rio Murucupi. Observa-se que os dois *outliers* referentes aos pontos de amostragem MB1 e MB2 alocados mais próximos das nascentes do rio Murucupi, apresentaram características físico-químicas e microbiológicas muito parecidas, pois os mesmos se mantiveram isolados, mas ao mesmo tempo próximos. O que pode ser observado é que o rio Murucupi no período chuvoso apresentou características físico-químicas e microbiológicas muito diferentes em toda a extensão avaliada, ou seja, três situações diferentes de qualidade para essas águas. Considerando-se as condições de marés baixa-mar e preamar, nota-se que os rios Arapiranga e Murucupi no período chuvoso, apresentaram características físico-químicas e microbiológicas semelhantes próximos as suas fozes que têm como afluentes o rio Pará e Furo do Arrozal-rio Pará respectivamente. Estas características podem ser observadas na figura 5.21, conforme a aproximação dos grupos 2 e 3 formados pelos pontos de amostragem mais próximos das fozes desses dois rios.

Na Figura 5.22-A, referente à análise de componentes principais dos tipos score plot e loading plot, foi possível identificar os mesmos grupos formados no dendograma da Figura 5.21. Através da PC1 (46.6%) ocorreu ótima separação entre os Grupos 1 e 2 no segundo e terceiro quadrante respectivamente, nos quais estão alocados os pontos de amostragem no rio Arapiranga, e Grupos 3 e 4, no primeiro e quarto quadrante respectivamente, nos quais estão alocados os pontos de amostragem no rio Murucupi. Também ficaram mais evidenciados como pontos isolados os MB1 e MB2, confirmando que os mesmos podem ser entendidos como *outliers*. Nesse panorama geral, pode-se destacar de imediato que as características das águas são diferenciadas. Através da PC2 (25.9%) foi possível estabelecer uma separação satisfatória entre os Grupos 1 e 4 no primeiro e segundo quadrante e entre os Grupos 2 e 3 no terceiro e quarto quadrante. Na PC1 (42.5%) e PC2 (23.5%) os pontos de amostragem AB5 e AB6 do rio Arapiranga, aproximaram-se do grupo 1 no segundo quadrante.

No Gráfico da Figura 5.22-B, referente a análises de componentes principais do tipo Loading Plot, ficou delineado que os níveis de oxigênio dissolvido (OD) representam o principal fator que influencia na formação do Grupo 2 no rio

Arapiranga, ou seja, os níveis de OD próximo a foz do rio Pará são diferenciados dos níveis de OD próximo às nascentes. Esses resultados são coerentes, pois os níveis de OD aumentam próximo da foz do rio Pará devido a maior área de aeração e miscegenação entre as águas.

Acerca da formação do Grupo 3, localizados mais próximos da foz do Furo do Arrozal, o mesmo apresentou influência direta das variáveis pH e temperatura, enquanto pode-se perceber que os níveis de *coliformes termotolerantes* (CT), DBO, Turbidez (TURB), Nitrogênio Total (NT) e Fósforo Total (PT) influenciam diretamente na formação do Grupo 4 e ambos os outliers (MB1 e MB2). Esses resultados são coerentes com as observações de campo, as quais descrevem o contínuo lançamento no rio Murucupi de esgotos de Vila dos Cabanos e Comunidade Laranjal, fato que pode estar diretamente associado com as alterações dos níveis de Turbidez, *Coliformes Termotolerantes* e carga de nutrientes como Nitrogênio e Fósforo.

Conforme os dados destacados em vermelho nas Tabelas 5.17, 5.18, 5.19 e 5.20, em alguns casos, ocorreram baixas significâncias entre algumas variáveis levando-se em consideração um nível de significância $\alpha=0,05$, apesar deste fato, observa-se boas correlações (em negrito) entre essas variáveis e que condicionaram as principais mudanças observadas nas características das águas destes dois rios, sejam elas naturais ou antrópicas.

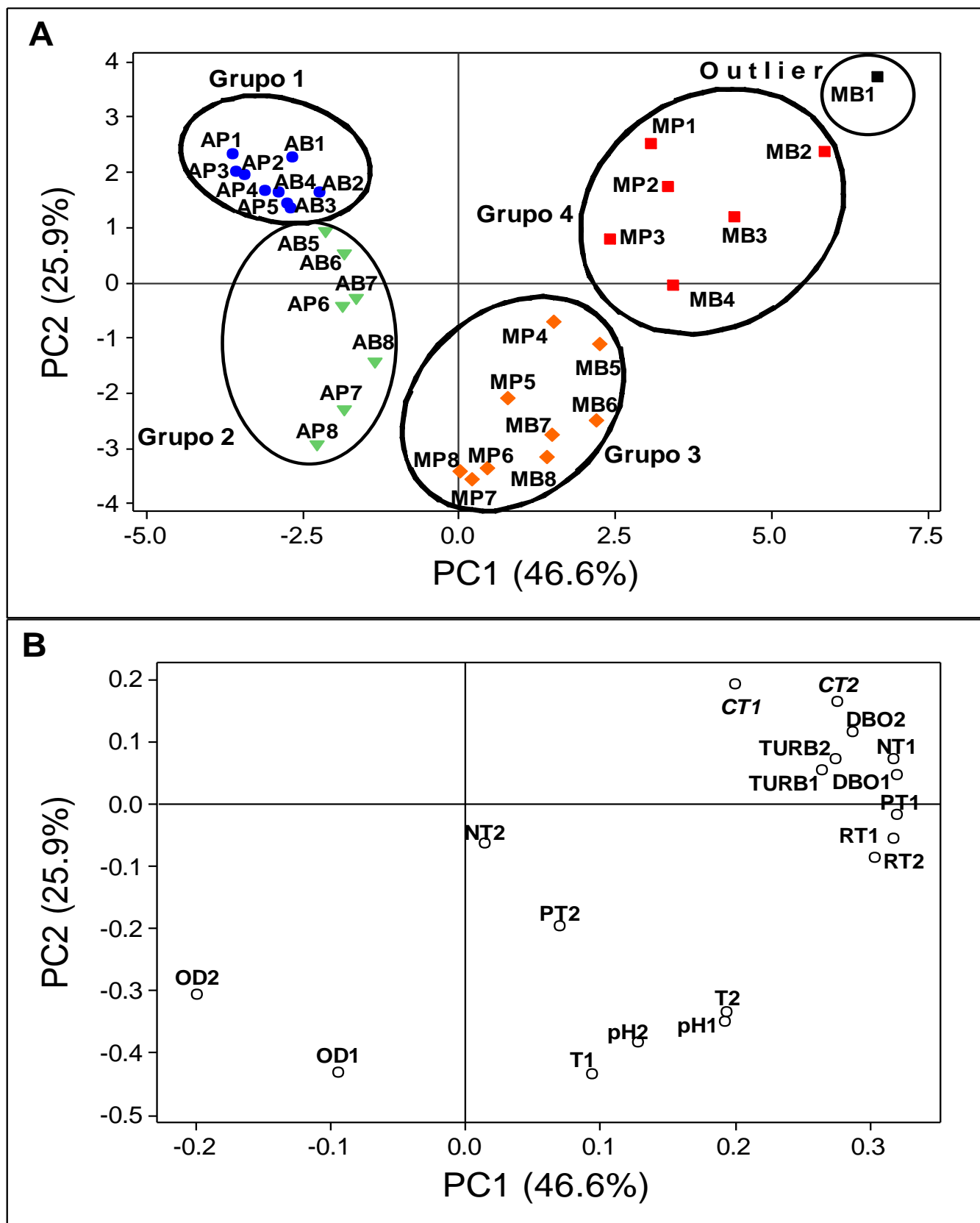


Figura 5.22: Análise de componentes principais do tipo score plot (A) e loading plot (B) sobre os dados das variáveis determinadas no período chuvoso em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.

Tabela 5.17: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Arapiranga no período chuvoso em condição de maré baixa-mar.

Var1	T1	pH1	OD1	DBO1	CT1	NT1	PT1	RT1	RT2	PT2	NT2	CT2	DBO2	OD2	pH2	T2	Var2
pH1	0,99															0,91	pH2
<i>p</i>	0,00															0,00	<i>p</i>
OD1	0,93	0,96													0,90	0,94	OD2
<i>p</i>	0,00	0,00													0,00	0,00	<i>p</i>
DBO1	-0,50	-0,45	-0,60											-0,75	-0,69	-0,73	DBO2
<i>p</i>	0,21	0,26	0,12											0,03	0,06	0,04	<i>p</i>
CT1	0,05	-0,05	0,00	-0,58									-0,50	0,68	0,58	0,64	CT2
<i>p</i>	0,91	0,90	1,00	0,13									0,21	0,07	0,14	0,09	<i>p</i>
NT1	0,34	0,35	0,39	-0,08	-0,26							0,47	-0,21	0,70	0,73	0,69	NT2
<i>p</i>	0,41	0,40	0,34	0,86	0,53							0,24	0,62	0,05	0,04	0,06	<i>p</i>
PT1	0,86	0,87	0,88	-0,40	0,02	0,48					0,46	0,85	-0,69	0,79	0,62	0,75	PT2
<i>p</i>	0,01	0,01	0,00	0,33	0,97	0,23					0,26	0,01	0,06	0,02	0,10	0,03	<i>p</i>
RT1	0,89	0,92	0,98	-0,59	0,00	0,39	0,92			0,80	0,60	0,67	-0,75	0,95	0,90	0,98	RT2
<i>p</i>	0,00	0,00	0,00	0,12	1,00	0,34	0,00			0,02	0,11	0,07	0,03	0,00	0,00	0,00	<i>p</i>
Turb1	0,43	0,50	0,55	0,09	-0,42	0,62	0,73	0,64	0,91	0,92	0,63	0,80	-0,82	0,93	0,86	0,90	Turb2
<i>p</i>	0,28	0,21	0,16	0,84	0,31	0,10	0,04	0,09	0,00	0,00	0,09	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	<i>p</i>

p: *p*-valor ou nível descritivo de significância; Var1: Variáveis determinadas em janeiro de 2009; Var2: Variáveis determinadas em abril de 2009.

Tabela 5.18: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Arapiranga no período chuvoso em condição de maré preamar.

Var1	T1	pH1	OD1	DBO1	CT1	NT1	PT1	RT1	RT2	PT2	NT2	CT2	DBO2	OD2	pH2	T2	Var2	
pH1	0,97															0,45	pH2	
<i>p</i>	0,00															0,26	<i>p</i>	
OD1	0,97	0,90													0,94	0,38	OD2	
<i>p</i>	0,00	0,00													0,00	0,35	<i>p</i>	
DBO1	0,03	0,11	-0,11											-0,56	-0,68	-0,12	DBO2	
<i>p</i>	0,94	0,81	0,80											0,15	0,06	0,78	<i>p</i>	
CT1	-0,48	-0,62	-0,39	0,26									-0,71	0,14	0,33	-0,25	CT2	
<i>p</i>	0,22	0,10	0,35	0,54									0,05	0,75	0,43	0,56	<i>p</i>	
NT1	0,42	0,25	0,58	-0,34	0,26							0,49	-0,35	0,26	0,51	0,22	NT2	
<i>p</i>	0,30	0,55	0,14	0,41	0,53							0,22	0,40	0,54	0,20	0,60	<i>p</i>	
PT1	0,83	0,91	0,75	0,21	-0,50	0,21						0,35	0,14	-0,59	0,83	0,86	0,63	PT2
<i>p</i>	0,01	0,00	0,03	0,62	0,21	0,62						0,40	0,74	0,12	0,01	0,01	0,09	<i>p</i>
RT1	0,97	0,97	0,94	0,01	-0,53	0,46	0,88											RT2
<i>p</i>	0,00	0,00	0,00	0,98	0,18	0,26	0,00											<i>p</i>
Turb1	0,24	0,40	0,22	-0,31	-0,71	-0,06	0,47	0,43	0,84	-0,32	0,48	0,19	-0,06	-0,52	-0,31	-0,25	Turb2	
<i>p</i>	0,57	0,32	0,60	0,46	0,05	0,88	0,24	0,28	0,01	0,44	0,23	0,65	0,89	0,19	0,46	0,55	<i>p</i>	

p: *p*-valor ou nível descritivo de significância; Var1: Variáveis determinadas em janeiro de 2009; Var2: Variáveis determinadas em abril de 2009.

Tabela 5.19: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Murucupi no período chuvoso em condição de maré baixa-mar.

Var1	T1	pH1	OD1	DBO1	CT1	NT1	PT1	RT1	RT2	PT2	NT2	CT2	DBO2	OD2	pH2	T2	Var2	
pH1	0,94															0,94	pH2	
<i>p</i>	0,00															0,00	<i>p</i>	
OD1	0,96	0,88													0,89	0,94	OD2	
<i>p</i>	0,00	0,00													0,00	0,00	<i>p</i>	
DBO1	-0,96	-0,92	-0,92											-0,53	-0,62	-0,42	DBO2	
<i>p</i>	0,00	0,00	0,00											0,17	0,10	0,30	<i>p</i>	
CT1	-0,71	-0,56	-0,82	0,67									0,54	-0,84	-0,87	-0,85	CT2	
<i>p</i>	0,05	0,15	0,01	0,07									0,17	0,01	0,01	0,01	<i>p</i>	
NT1	-0,77	-0,59	-0,79	0,74	0,76							0,32	0,79	-0,22	-0,29	-0,15	NT2	
<i>p</i>	0,03	0,12	0,02	0,04	0,03							0,45	0,02	0,59	0,49	0,72	<i>p</i>	
PT1	-0,39	-0,12	-0,47	0,34	0,62	0,86						-0,76	-0,04	-0,46	-0,05	0,05	0,02	PT2
<i>p</i>	0,35	0,78	0,24	0,41	0,10	0,01						0,03	0,92	0,26	0,91	0,90	0,97	<i>p</i>
RT1	-0,91	-0,83	-0,90	0,80	0,61	0,62	0,34			-0,19	0,38	-0,26	0,12	-0,11	0,18	0,08	RT2	
<i>p</i>	0,00	0,01	0,00	0,02	0,11	0,11	0,41			0,65	0,36	0,53	0,78	0,80	0,67	0,86	<i>p</i>	
Turb1	-0,74	-0,90	-0,65	0,68	0,22	0,27	-0,19	0,73	0,67	-0,29	0,65	0,40	0,68	-0,69	-0,52	-0,52	Turb2	
<i>p</i>	0,04	0,00	0,08	0,06	0,61	0,52	0,65	0,04	0,07	0,48	0,08	0,32	0,06	0,06	0,19	0,19	<i>p</i>	

p: *p*-valor ou nível descritivo de significância; Var1: Variáveis determinadas em janeiro de 2009; Var2: Variáveis determinadas em abril de 2009.

Tabela 5.20: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Murucupi no período chuvoso em condição de maré preamar.

Var1	T1	pH1	OD1	DBO1	CT1	NT1	PT1	RT1	RT2	PT2	NT2	CT2	DBO2	OD2	pH2	T2	Var2
pH1	0,95															0,97	pH2
<i>p</i>	0,00															0,00	<i>p</i>
OD1	0,98	0,91													0,97	1,00	OD2
<i>p</i>	0,00	0,00													0,00	0,00	<i>p</i>
DBO1	-0,88	-0,95	-0,88											-0,78	-0,91	-0,79	DBO2
<i>p</i>	0,00	0,00	0,00											0,02	0,00	0,02	<i>p</i>
CT1	-0,84	-0,77	-0,81	0,71									0,80	-0,96	-0,96	-0,96	CT2
<i>p</i>	0,01	0,03	0,02	0,05									0,02	0,00	0,00	0,00	<i>p</i>
NT1	-0,68	-0,56	-0,80	0,66	0,49							-0,49	-0,25	0,50	0,45	0,50	NT2
<i>p</i>	0,06	0,15	0,02	0,08	0,21							0,22	0,55	0,20	0,27	0,20	<i>p</i>
PT1	-0,72	-0,60	-0,77	0,64	0,83	0,77					0,41	-0,34	-0,58	0,43	0,49	0,46	PT2
<i>p</i>	0,05	0,12	0,03	0,09	0,01	0,03					0,31	0,42	0,14	0,28	0,22	0,25	<i>p</i>
RT1	-0,98	-0,89	-0,99	0,81	0,80	0,75	0,73			-0,26	-0,26	0,70	0,83	-0,55	-0,71	-0,56	RT2
<i>p</i>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04			0,54	0,54	0,06	0,01	0,16	0,05	0,15	<i>p</i>
Turb1	-0,96	-0,97	-0,91	0,87	0,71	0,54	0,53	0,92	0,90	-0,42	-0,33	0,88	0,97	-0,82	-0,93	-0,83	Turb2
<i>p</i>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,17	0,18	0,00	0,00	0,30	0,42	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	<i>p</i>

p: *p*-valor ou nível descritivo de significância; Var1: Variáveis determinadas em janeiro de 2009; Var2: Variáveis determinadas em abril de 2009.

A Figura 5.23 representa a avaliação sobre os dados das variáveis determinadas no **período seco** em condições de marés baixa-mar e preamar nos **rios Arapiranga e Murucupi**, aplicando-se análise de agrupamento hierárquico utilizando-se a distância euclidiana por ligação completa para a formação de grupos.

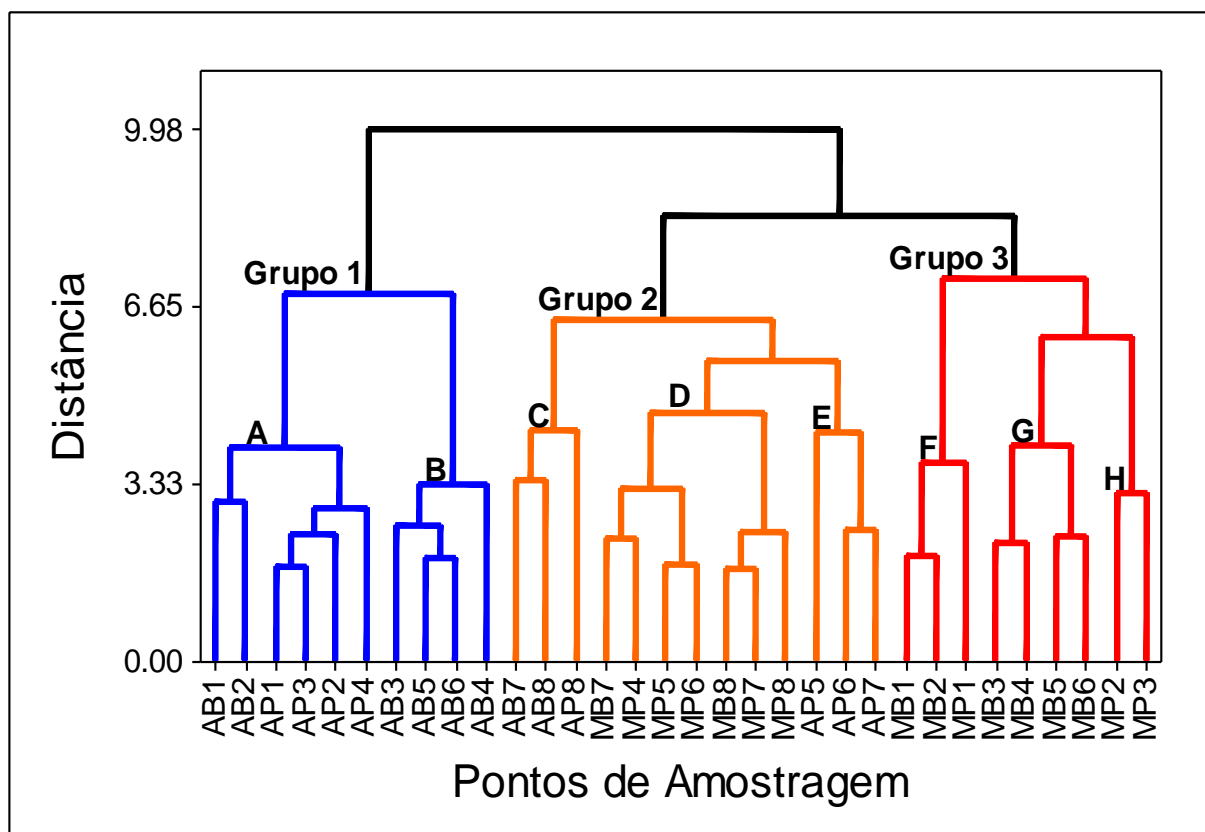


Figura 5.23: Análise de agrupamento hierárquico (distância euclidiana) sobre os dados das variáveis determinadas no período seco em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.

Neste dendrograma referente ao período seco foram formados três grupos denominados de 1,2 e 3. O Grupo 1 apresentou um distanciamento de 9,98 em relação aos Grupos 2 e 3 enquanto entre os Grupos 2 e 3 esse distanciamento diminui para 8,36. No Grupo 1, ocorreu a formação de dois subgrupos denominados A e B cujo distanciamento entre os mesmos é de 6,89. No subgrupo A encontram-se os pontos mais próximos das nascentes na baixa-mar (AB1 e AB2) e preamar (AP1 a AP4), demonstrando que as características físico-químicas e microbiológicas são muito semelhantes nestes pontos de amostragem, com distanciamento de 4,01. Esses resultados alocados no subgrupo A são indicativos que no período seco as características das águas superficiais em pontos mais próximos das nascentes não sofrem uma variação significativa com o regime de marés da região, fato que pode estar associado a diminuição significativa neste período das cotas das águas dessas

drenagens e conseqüentemente concentrando mais as variáveis. No subgrupo B, no qual estão alocados os pontos da baixa-mar AB3 a AB6, ocorreu um pequeno distanciamento em relação aos pontos do subgrupo A. Esses resultados demonstram que as características físico-químicas e microbiológicas no rio Arapiranga apresentaram-se gradativamente alteradas com a proximidade da foz do rio Pará. No entanto, ainda existem semelhanças com os resultados do subgrupo A devido ao pequeno distanciamento registrado entre ambos (6,89). Diferente do período chuvoso no qual formaram-se quatro grupos nos dois rios estudados e onde houve isolamento e separação total das características físico-químicas e microbiológicas nos rios Arapiranga e Murucupi, no período seco, mais especificamente no grupo 2, onde houve a formação de três subgrupos denominados C (AB7, AB8 e AP8), D (MB7 e MB8 e MP4 a MP8) e E (AP5 a AP7), existe certa semelhança nos pontos de amostragem próximos as fozes dos dois rios como pode ser observado na Figura 5.23. No subgrupo C houve um distanciamento de 6,40 em relação aos subgrupos D e E, mostrando que neste subgrupo existe uma gradativa mudança de característica transitória do grupo 1. O subgrupo D formado exclusivamente pelos pontos de amostragem alocados próximos a foz do rio Murucupi, distante 5,61 do subgrupo E e intercalado entre os subgrupos C e E, possui características físico-químicas e microbiológicas semelhantes às destes dois grupos. O subgrupo E referentes aos pontos de amostragem AP5 a AP7 da maré preamar assemelha-se ainda mais com o subgrupo D, pois apresenta-se mais próximo do grupo D como pode ser no dendograma da Figura 5.23. No subgrupo F (MB1, MB2 e MP1) houve uma boa aproximação dos pontos de amostragem mais próximos da nascente, diferente do período chuvoso, em que estes pontos de amostragem na maré baixa-mar e considerados *outliers* apresentaram certa separação, talvez devido a ação diluidora das chuvas neste período. O subgrupo F conforme a Figura 5.23, apresentou um distanciamento de 7,18 em relação aos subgrupos G e H. Os subgrupos G (MB3 a MB6) e H (MP2 e MP3) distanciados em 6,07, representam a mudança gradativa nas características físico-químicas e microbiológicas nas águas do rio Murucupi no período seco.

Na Figura 5.24-A, referente à análise de componentes principais dos tipos score plot e loading plot, foi possível identificar os mesmos grupos formados no dendograma da Figura 5.23. Na PC1 (42.5%) ocorreu uma ótima separação dos

grupos 1 e 3 no segundo e primeiro quadrantes respectivamente, assim como, os subgrupos E no terceiro quadrante e C e D no quarto quadrante, ambos do grupo 2. Pode-se dizer que no período seco, as características das águas destes dois rios foram diferenciadas nos pontos de amostragem próximos às suas nascentes, contudo, apresentaram semelhança em suas fozes. Através da PC2 (23.5%) foi possível estabelecer uma separação satisfatória entre os Grupos 1 e 3 nos rios Arapiranga e Murucupi respectivamente e entre os Grupos 3 e 4 no rio Murucupi. Tanto na PC1 (42.5%) quanto na PC2 (23.5%) a exceção foi para os pontos de amostragem AP2 do grupo 1 e AB5 e AB6 do grupo 3, pois os mesmos estiveram mais deslocados para os quadrantes 3 e 4 onde formou-se o grupo 2.

No Gráfico da Figura 5.24-B, referente a análises de componentes principais do tipo Loading Plot, pode ser observado que as variáveis fósforo total (PT) e *coliformes termotolerantes* (CT) representam os principais fatores que influenciaram para a formação do Grupo 1 no rio Arapiranga, este fato possivelmente esteja associado aos níveis mais elevados destas variáveis registrados na maré baixa-mar de outubro de 2009. Na Figura 5.24-B, observa-se que o grupo 2 referente aos pontos de amostragem próximos às fozes dos rios Arapiranga e Murucupi, teve como fortes indicadores para a sua formação as variáveis temperatura (T), pH e oxigênio dissolvido (OD), no período do seco, estas variáveis apresentaram incremento gradativo no sentido nascente-foz nos dois rios avaliados, estas variáveis nestes pontos de amostragem apresentaram características semelhantes, possivelmente pela forte influência do afluente direto e indireto dos rios Arapiranga e Murucupi, isto é, o rio Pará. Percebe-se que os níveis de *Coliformes Termotolerantes* (CT), DBO, Turbidez (TURB), Resíduo Total (RT), Nitrogênio Total (NT) e Fósforo Total (PT) influenciaram diretamente na formação do Grupo 3. Conforme comentado na discussão do período chuvoso, esses níveis podem estar associados ao lançamento contínuo de esgoto sem qualquer tipo de tratamento no rio Murucupi provenientes da Vila dos Cabanos e Comunidade Laranjal conforme observações de campo. Estas variáveis sempre apresentaram níveis elevados nos pontos de amostragem mais próximos das nascentes do rio Murucupi, o que é característico de esgoto doméstico.

Esses resultados são coerentes com os dados das Tabelas 5.21, 5.22, 5.23 e 5.24, onde podem ser observadas boas correlações destacadas em negrito entre essas variáveis e que condicionam as principais mudanças observadas nas

características das águas destes dois rios, o que são decorrentes de ações naturais ou antrópicas. Apesar das boas correlações entre algumas variáveis, conforme destacado em vermelho, houve casos de baixa significância para um nível $\alpha=0,05$.

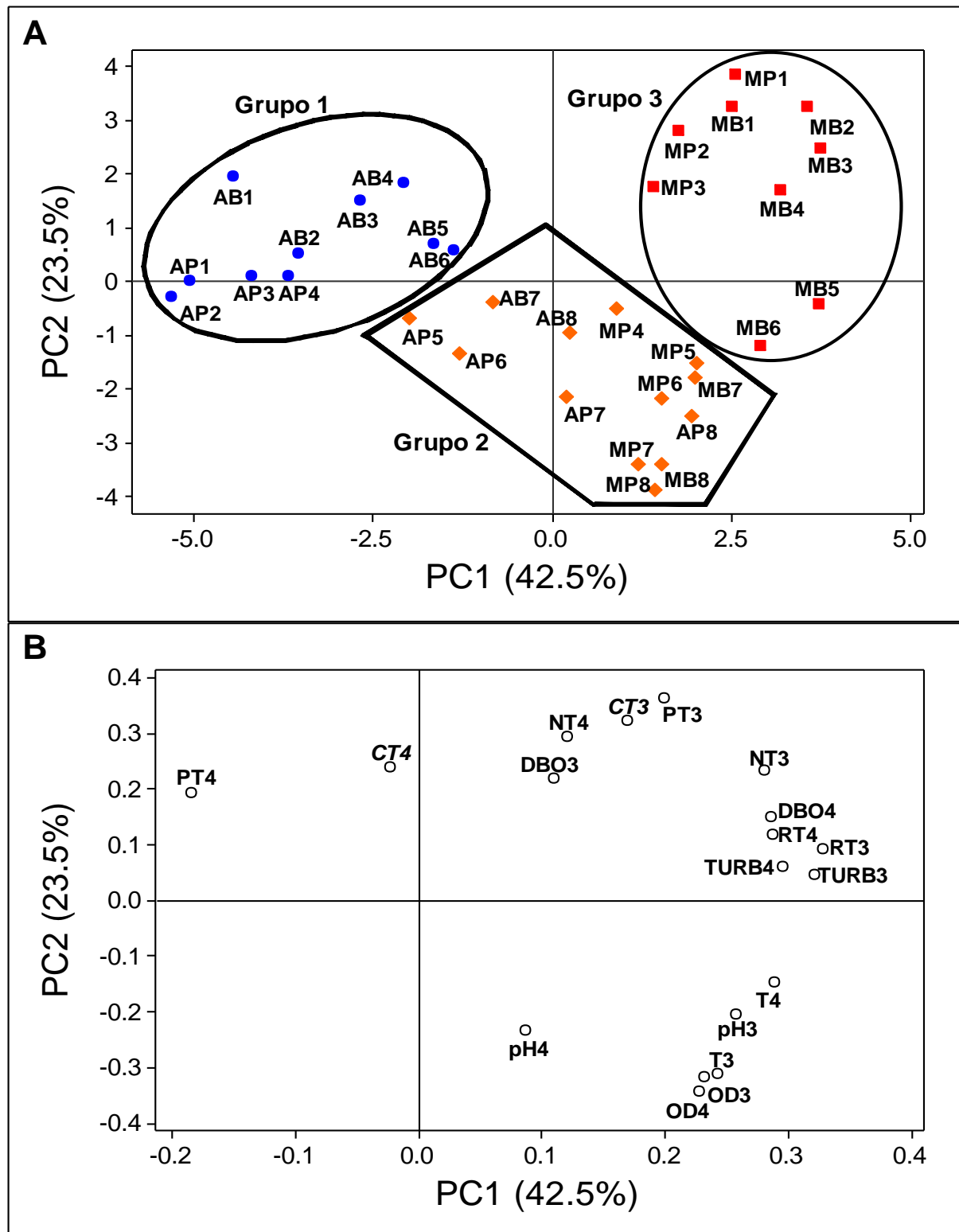


Figura 5.24: Análise de componentes principais do tipo score plot (A) e loading plot (B) sobre os dados das variáveis determinadas no período seco em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.

Tabela 5.21: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Arapiranga no período seco em condição de maré baixa-mar.

Var3	T3	pH3	OD3	DBO3	CT3	NT3	PT3	RT3	RT4	PT4	NT4	CT4	DBO4	OD4	pH4	T4	Var4
pH3	0,97															0,75	pH4
<i>p</i>	0,00															0,03	<i>p</i>
OD3	0,92	0,95													0,84	0,56	OD4
<i>p</i>	0,00	0,00													0,01	0,15	<i>p</i>
DBO3	0,57	0,55	0,54											0,25	0,55	0,66	DBO4
<i>p</i>	0,14	0,16	0,17											0,56	0,16	0,07	<i>p</i>
CT3	0,29	0,15	0,19	0,24									0,35	-0,52	-0,33	0,11	CT4
<i>p</i>	0,49	0,73	0,65	0,57									0,40	0,18	0,43	0,80	<i>p</i>
NT3	0,76	0,79	0,77	0,80	-0,01							0,53	0,18	-0,50	-0,61	-0,07	NT4
<i>p</i>	0,03	0,02	0,03	0,02	0,98							0,17	0,67	0,21	0,11	0,87	<i>p</i>
PT3	0,12	0,23	0,27	-0,07	-0,42	0,42					0,34	0,79	0,22	-0,15	-0,05	0,42	PT4
<i>p</i>	0,78	0,58	0,51	0,87	0,30	0,30					0,40	0,02	0,59	0,73	0,91	0,30	<i>p</i>
RT3	0,79	0,82	0,87	0,49	0,41	0,60	0,28			0,02	-0,30	-0,13	0,63	0,85	0,84	0,71	RT4
<i>p</i>	0,02	0,01	0,01	0,22	0,31	0,12	0,50			0,97	0,47	0,76	0,10	0,01	0,01	0,05	<i>p</i>
Turb3	0,62	0,70	0,87	0,34	-0,02	0,61	0,46	0,76	0,90	0,12	-0,08	0,13	0,88	0,60	0,76	0,74	Turb4
<i>p</i>	0,10	0,06	0,01	0,41	0,96	0,11	0,26	0,03	0,00	0,77	0,84	0,76	0,00	0,12	0,03	0,04	<i>p</i>

p: *p*-valor ou nível descritivo de significância; Var3: Variáveis determinadas em julho de 2009; Var4: Variáveis determinadas em outubro de 2009.

Tabela 5.22: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Arapiranga no período seco em condição de maré preamar.

Var3	T3	pH3	OD3	DBO3	CT3	NT3	PT3	RT3	RT4	PT4	NT4	CT4	DBO4	OD4	pH4	T4	Var4
pH3	0,94															0,99	pH4
<i>p</i>	0,00															0,00	<i>p</i>
OD3	0,87	0,91													0,92	0,93	OD4
<i>p</i>	0,01	0,00													0,00	0,00	<i>p</i>
DBO3	0,38	0,26	0,33											0,70	0,52	0,56	DBO4
<i>p</i>	0,35	0,53	0,43											0,05	0,19	0,15	<i>p</i>
CT3	-0,30	-0,26	-0,03	-0,46									0,27	0,02	0,03	0,14	CT4
<i>p</i>	0,47	0,53	0,95	0,25									0,53	0,97	0,94	0,75	<i>p</i>
NT3	0,08	-0,06	0,17	0,15	-0,12							0,47	0,91	0,63	0,54	0,59	NT4
<i>p</i>	0,85	0,89	0,70	0,73	0,77							0,24	0,00	0,10	0,17	0,13	<i>p</i>
PT3	0,30	0,43	0,59	0,17	0,06	0,40					-0,43	0,39	-0,50	-0,28	-0,25	-0,21	PT4
<i>p</i>	0,46	0,29	0,13	0,69	0,89	0,32					0,28	0,34	0,21	0,50	0,55	0,62	<i>p</i>
RT3	0,98	0,92	0,81	0,36	-0,40	0,14	0,32			-0,39	0,70	0,04	0,74	0,99	0,93	0,94	RT4
<i>p</i>	0,00	0,00	0,02	0,38	0,33	0,73	0,44			0,34	0,05	0,93	0,04	0,00	0,00	0,00	<i>p</i>
Turb3	0,88	0,92	0,94	0,42	-0,29	0,26	0,68	0,88	0,92	-0,33	0,51	-0,11	0,51	0,89	0,98	0,95	Turb4
<i>p</i>	0,00	0,00	0,00	0,30	0,49	0,53	0,06	0,00	0,00	0,42	0,20	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	<i>p</i>

p: *p*-valor ou nível descritivo de significância; Var3: Variáveis determinadas em julho de 2009; Var4: Variáveis determinadas em outubro de 2009.

Tabela 5.23: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Murucupi no período seco em condição de maré baixa-mar.

Var3	T3	pH3	OD3	DBO3	CT3	NT3	PT3	RT3	RT4	PT4	NT4	CT4	DBO4	OD4	pH4	T4	Var4	
pH3	0,64															0,54	pH4	
<i>p</i>	0,09															0,17	<i>p</i>	
OD3	0,90	0,26													0,65	0,97	OD4	
<i>p</i>	0,00	0,53													0,08	0,00	<i>p</i>	
DBO3	-0,88	-0,45	-0,85											-0,45	-0,54	-0,21	DBO4	
<i>p</i>	0,00	0,27	0,01											0,26	0,17	0,61	<i>p</i>	
CT3	-0,80	-0,53	-0,73	0,68									0,27	-0,93	-0,49	-0,93	CT4	
<i>p</i>	0,02	0,18	0,04	0,07									0,51	0,00	0,22	0,00	<i>p</i>	
NT3	-0,95	-0,62	-0,84	0,74	0,88							0,78	-0,11	-0,76	-0,47	-0,84	NT4	
<i>p</i>	0,00	0,10	0,01	0,04	0,00							0,02	0,80	0,03	0,25	0,01	<i>p</i>	
PT3	-0,95	-0,57	-0,87	0,73	0,67	0,93					0,41	0,62	0,64	-0,82	-0,70	-0,72	PT4	
<i>p</i>	0,00	0,14	0,01	0,04	0,07	0,00					0,32	0,11	0,09	0,01	0,05	0,04	<i>p</i>	
RT3	-0,90	-0,71	-0,68	0,82	0,67	0,86	0,83				0,84	0,06	0,35	0,69	-0,54	-0,33	-0,39	RT4
<i>p</i>	0,00	0,05	0,06	0,01	0,07	0,01	0,01				0,01	0,88	0,39	0,06	0,17	0,43	0,33	<i>p</i>
Turb3	-0,33	-0,22	-0,16	0,45	-0,09	0,22	0,30	0,62	0,77	0,68	0,05	0,18	0,78	-0,46	-0,37	-0,29	Turb4	
<i>p</i>	0,43	0,60	0,70	0,27	0,83	0,60	0,48	0,10	0,02	0,07	0,92	0,67	0,02	0,25	0,36	0,49	<i>p</i>	

p: *p*-valor ou nível descritivo de significância; Var3: Variáveis determinadas em julho de 2009; Var4: Variáveis determinadas em outubro de 2009.

Tabela 5.24: Matriz de Correlação de Pearson aplicada aos dados das variáveis determinadas no rio Murucupi no período seco em condição de maré preamar.

Var3	T3	pH3	OD3	DBO3	CT3	NT3	PT3	RT3	RT4	PT4	NT4	CT4	DBO4	OD4	pH4	T4	Var4		
pH3	0,87															0,61	pH4		
<i>P</i>	0,01															0,11	<i>p</i>		
OD3	0,90	0,89													0,88	0,88	OD4		
<i>p</i>	0,00	0,00													0,00	0,00	<i>p</i>		
DBO3	-0,29	-0,27	-0,38											-0,63	-0,74	-0,42	DBO4		
<i>p</i>	0,49	0,52	0,36											0,10	0,04	0,30	<i>p</i>		
CT3	-0,76	-0,60	-0,67	-0,08									0,22	-0,71	-0,60	-0,65	CT4		
<i>p</i>	0,03	0,12	0,07	0,85									0,61	0,05	0,12	0,08	<i>p</i>		
NT3	-0,96	-0,76	-0,81	0,18	0,90							0,07	0,26	-0,59	-0,36	-0,62	NT4		
<i>p</i>	0,00	0,03	0,02	0,68	0,00							0,86	0,54	0,12	0,38	0,10	<i>p</i>		
PT3	-0,95	-0,78	-0,80	0,23	0,87	0,97					0,47	0,50	0,61	-0,88	-0,73	-0,85	PT4		
<i>p</i>	0,00	0,02	0,02	0,58	0,01	0,00					0,24	0,21	0,11	0,00	0,04	0,01	<i>p</i>		
RT3	-0,59	-0,21	-0,28	0,26	0,61	0,73	0,68					0,91	0,68	0,58	0,48	-0,91	-0,70	-0,96	RT4
<i>p</i>	0,12	0,62	0,50	0,54	0,11	0,04	0,06				0,00	0,06	0,14	0,23	0,00	0,05	0,00	<i>p</i>	
Turb3	-0,55	-0,47	-0,52	0,87	-0,02	0,38	0,41	0,38	0,70	0,54	0,70	0,42	0,23	-0,71	-0,66	-0,53	Turb4		
<i>p</i>	0,16	0,24	0,19	0,01	0,97	0,35	0,31	0,36	0,06	0,17	0,05	0,30	0,59	0,05	0,08	0,17	<i>p</i>		

p: *p*-valor ou nível descritivo de significância; Var3: Variáveis determinadas em julho de 2009; Var4: Variáveis determinadas em outubro de 2009.

5.1.3.2. Análises de agrupamentos hierárquicos e componentes principais sobre os dados dos IQAs determinados nos rios Arapiranga e Murucupi nos períodos chuvoso e seco em condições de maré baixa-mar e preamar

A Figura 5.25 representa a avaliação sobre os dados dos IQAs determinados no **período chuvoso** em condições de marés baixa-mar e preamar nos **rios Arapiranga e Murucupi**, aplicando-se análise de agrupamento hierárquico utilizando-se a distância euclidiana por ligação completa para a formação de grupos.

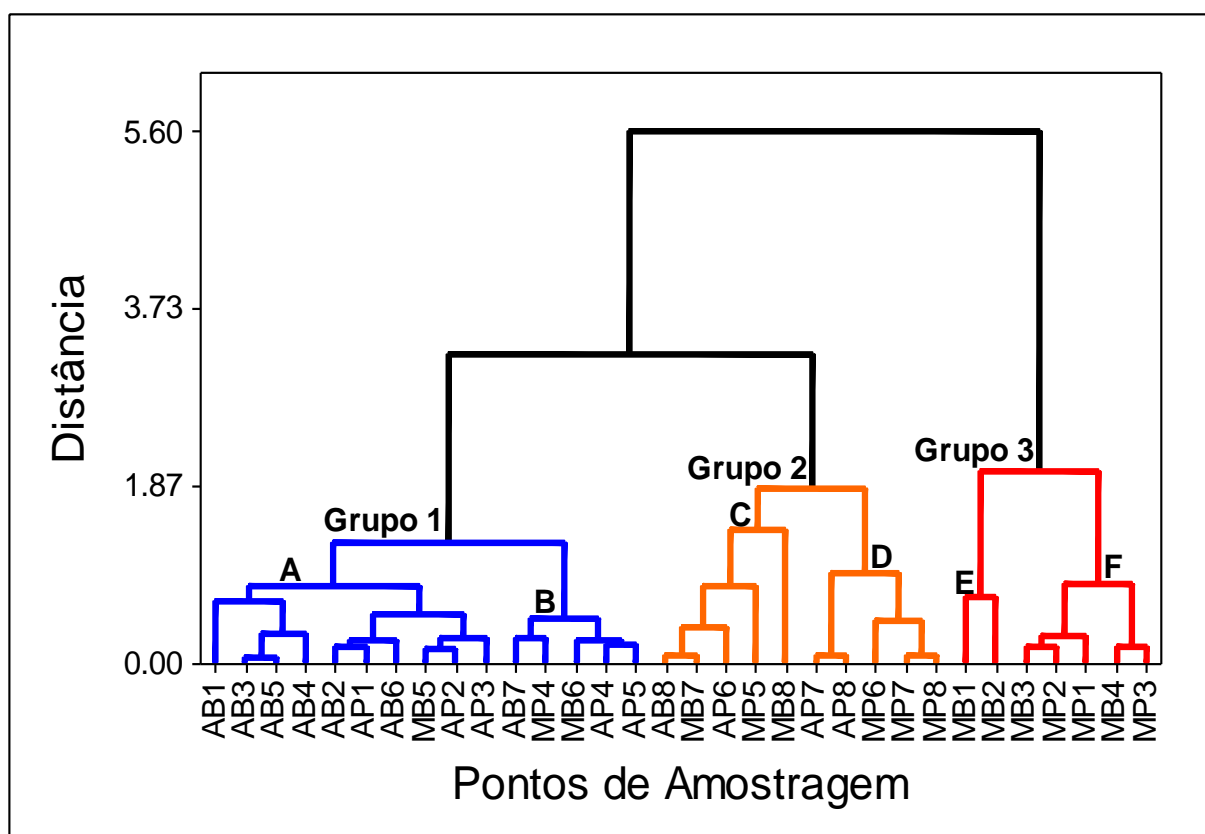


Figura 5.25: Análise de agrupamento hierárquico (distância euclidiana) sobre os dados dos IQAs determinados no período chuvoso em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.

No dendrograma da Figura 5.25 observa-se a formação de três grupos denominados de 1, 2 e 3. Os grupos 1 e 2 se distanciaram 5,60 do grupo 3, sendo a distância entre os grupos 1 e 2 de 3,24. No grupo 1 formaram-se os subgrupos A (AB1 a AB6, AP1 a AP3 e MB5) e B (AB7, AP4 e AP5, MP4 e MB6) com distância entre os mesmos de 1,25, no grupo 2 observa-se a formação dos subgrupos C (AB8, AP6, MB7 e MB8 e MP5) e D (AP7 e AP8 e MP6 a MP8) com distância de 1,83. No grupo 3 houve a formação de dois subgrupos denominados de E (MB1 e MB2) e F (MB3, MB4 e MP1 a MP3). No subgrupo A os valores dos IQAs determinados

variaram de 43 a 50 (AB1 a AB6), 45 a 48 (AP1 a AP3) e 46 e 49 (MB5), indicando para estes pontos de amostragem segundo a faixa de valores da CETESB condições de qualidade **regular**. No subgrupo B constam os valores dos IQAs que estiveram compreendidos no intervalo de 46 a 53, indicando condições de qualidade **regular** e **boa**, sendo que, os valores obtidos nos pontos de amostragem do subgrupo B que estiveram em condição de qualidade **boa** foram determinados em janeiro de 2009 e os valores dos IQAs determinados no mês de abril deste grupo, representaram condições de qualidade **regular**. Nos pontos de amostragem do subgrupo C referentes ao rio Arapiranga foram encontrados valores dos IQAs variando entre 52 e 57, indicando qualidade **boa**. Nos pontos de amostragem do subgrupo C referentes ao o rio Murucupi, encontrou-se valores de IQA no intervalo de 52 a 60, representando condições de qualidade **boa**, contudo, no ponto de amostragem MB8 da maré baixa-mar de abril de 2009, o valor do IQA determinado foi de 48, isto é, condição de qualidade **regular**. O subgrupo D apresentou situação de qualidade **boa**, com valores de IQA determinados variando entre 55 a 62 nos pontos de amostragem do rio Arapiranga (AP7 e AP8) e de 59 a 63 nos pontos de amostragem do rio Murucupi (MP6 a MP8). O subgrupo E representa os pontos de amostragem mais próximos das nascentes do rio Murucupi e conseqüentemente, neste período, os mais críticos em termos de qualidade, fato que pode estar associado ao lançamento de esgoto sem tratamento à montante destes pontos, conforme comentário anterior sobre a avaliação das variáveis. Neste subgrupo E, na baixa-mar de janeiro e abril de 2009 os valores dos IQAs variaram de 29 a 36 apresentado condições de qualidade **ruim** para estes pontos de amostragem, já na maré preamar essa condição mudou para **regular** os IQAs variando de 37 a 40. No subgrupo F composto pelos pontos de amostragem MB3, MB4, MP1, MP2 e MP3 observa-se a transição crescente nos valores dos IQAs, mudando a qualidade das águas do rio Murucupi para a condição **regular**, onde os IQAs tiveram variação de 37 a 40. Essa melhoria de qualidade no sentido nascente-foz deste rio pode estar associada à ação diluidora do regime de marés na região e também pela intensidade pluviométrica no período.

Na Figura 5.26, referente à análise de componentes principais do tipo score plot, foi possível identificar os mesmos grupos formados no dendograma da Figura 5.25. Na PC1 (94.7%) ocorreu a melhor separação entre os Grupos 1, 2 e 3, com separação completa entre os grupos 2 e 3. No grupo 1 conforme a Figura 5.26 pode

ser observado que a maioria dos IQAs são referentes aos pontos de amostragem alocados no rio Arapiranga, incluindo-se apenas os pontos MB5, MP4 e MP6 do rio Murucupi, mostrando que houve semelhança de qualidade nessas águas entre pontos de amostragem próximos à foz do rio Murucupi e a maioria dos pontos do rio Arapiranga. No grupo 2 observa-se que há grande semelhança de qualidade nas águas destes dois rios, pois os pontos de amostragem próximos às suas fozes possuem características semelhantes, ou seja, condições de qualidade **boa**. No grupo 3 ocorreu o isolamento dos pontos de amostragem do rio Murucupi mais próximos das nascentes, nestes pontos foram encontrados as piores condições de qualidade variando de **ruim** a **regular**, sendo que a condição **ruim** foi registrada na maré baixa-mar dos pontos de amostragem 1 e 2 deste rio. O cenário geral deste período chuvoso aponta grande influência pluviométrica nos dois rios estudados, influenciando através da diluição das águas na concentração das variáveis determinadas neste período e consequentemente nos IQAs. No grupo 3 ocorreu o isolamento dos pontos de amostragem alocados próximos das nascentes do rio Murucupi e a maioria dos pontos de amostragem do rio Arapiranga agregaram-se no grupo 1, mostrando que a qualidade das águas destes dois rios foi diferenciada nos pontos de amostragem mais próximos de suas nascentes. A semelhança de qualidade entre os dois rios foi particularmente nos pontos de amostragem próximos às suas fozes conforme pode ser observado no círculo correspondente ao grupo 2 da Figura 5.26.

Na Figura 5.26 referente à análise de componentes principais dos tipos score plot e loading plot, observa-se os grupos formados a partir dos dados dos IQAs determinados no **período chuvoso** em condições de marés baixa-mar e preamar nos **rios Arapiranga e Murucupi**.

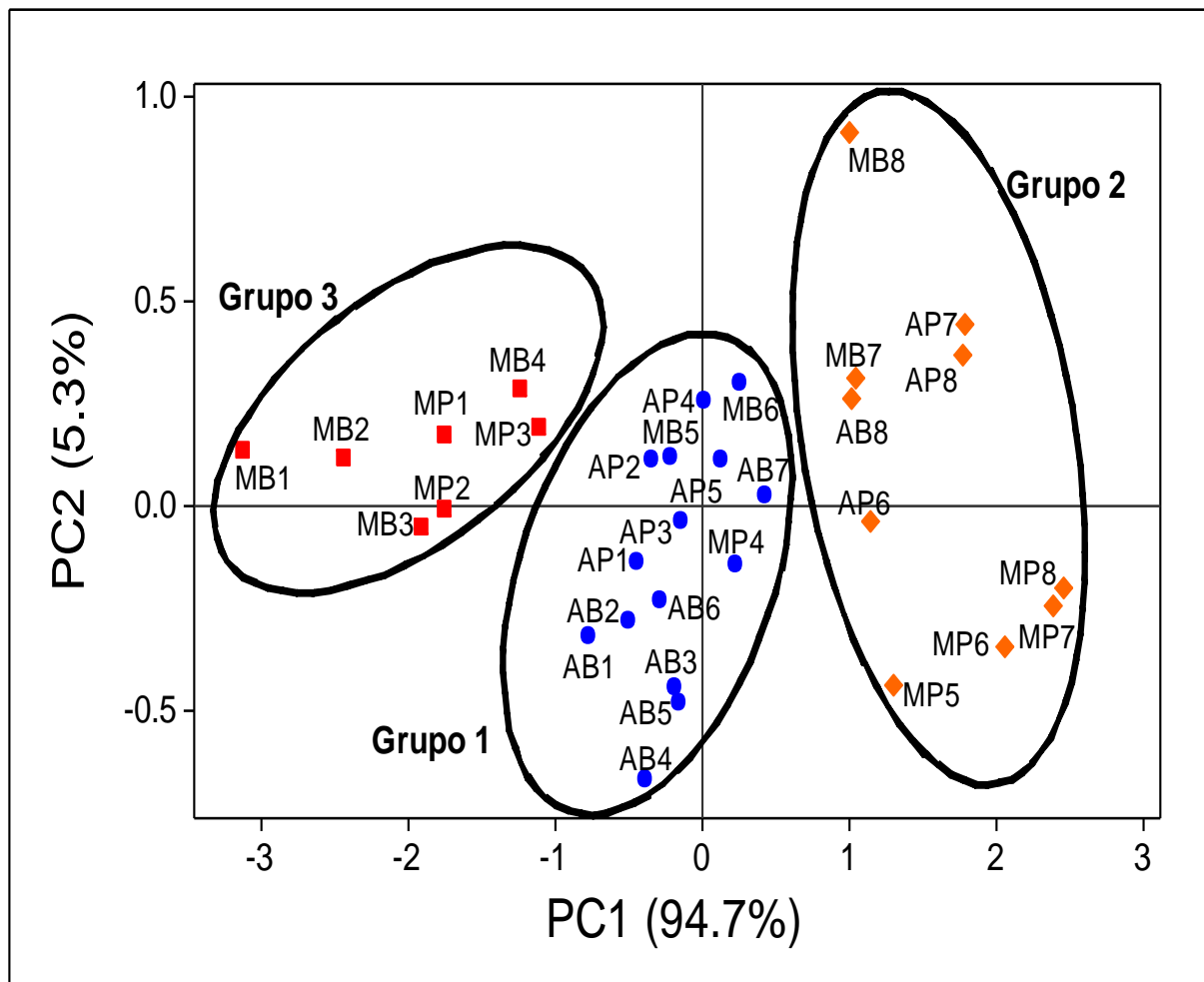


Figura 5.26: Análise de componentes principais do tipo score plot sobre os dados dos IQAs determinados no período chuvoso em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.

A Figura 5.27 representa a avaliação sobre os dados dos IQAs determinados no **período seco** em condições de marés baixa-mar e preamar nos **rios Arapiranga e Murucupi**, aplicando-se análise de agrupamento hierárquico utilizando-se a distância euclidiana por ligação completa para a formação de grupos.

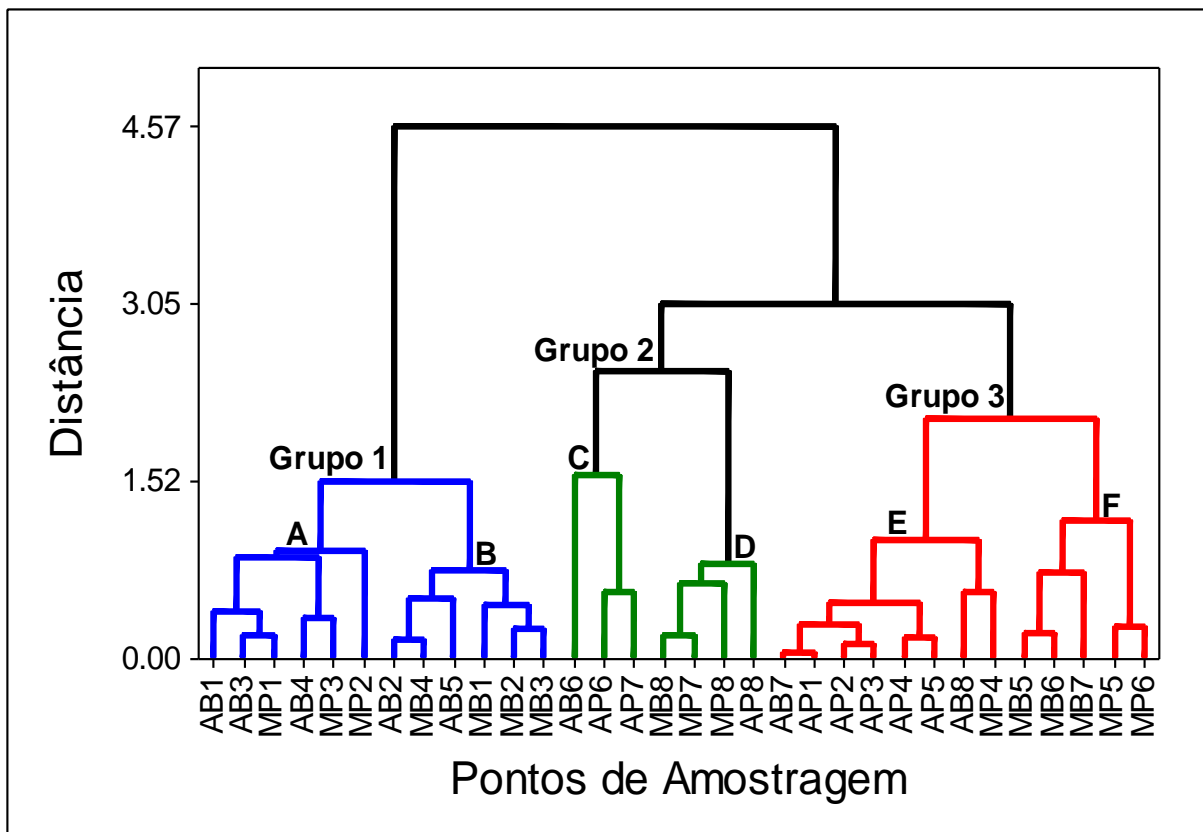


Figura 5.27: Análise de agrupamento hierárquico (distância euclidiana) sobre os dados dos IQAs determinados no período seco em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.

No dendrograma da Figura 5.27 ocorreu a formação de três grupos denominados de 1, 2 e 3. O grupo 1 distancia 4,57 dos grupos 2 e 3, sendo a distância entre os grupos 2 e 3 de 3,05. No grupo 1 formaram-se os subgrupos A (AB1, AB3 e AB4 e MP1 a MP3) e B (AB2, AB5 e MB1 a MB4) com distância entre os mesmos de 1,50, no grupo 2 observa-se a formação dos subgrupos C (AB6, AP6 e AP7) e D (AP8, MB8, MP7 e MP8) com distância de 2,47. No grupo 3 houve a formação de dois subgrupos denominados de E (AB7, AB8, AP1 a AP5 e MP4) e F (MB5 a MB7 e MP5 e MP6). No subgrupo A os valores dos IQAs determinados variaram de 42 a 47 (AB1, AB3 e AB4) e 41 e 47 (MP1, MP2 e MP3), indicando para estes pontos de amostragem segundo a faixa de valores da CETESB condições de qualidade **regular**. No subgrupo B os valores dos IQAs nos pontos de amostragem AB2 e AB5 foi de 43, já nos pontos MB1 a MB4 variou de 39 a 51, definindo-se para o grupo B condições de qualidade idêntica ao subgrupo A. No subgrupo C correspondente aos pontos de amostragem alocados no rio Arapiranga, os valores dos IQAs em AB6 foi de 50 e 59 indicando condições de qualidade **regular** e **boa** respectivamente, já em AP6 e AP7 os valores variaram de 57 a 65 com qualidade

boa. O subgrupo D agregou pontos de amostragem em predominância do rio Murucupi, ouseja, MB8, MP7 e MP8 e apenas o pontos de amostragem AP8 do rio Arapiranga, os valores do IQA nesse subgrupo variaram de 56 a 67 indicando condição **boa** de qualidade. No subgrupo E na maré baixa-mar de julho de 2009 em AB7 e maré preamar de julho em AP1 a AP5, assim como, em MP4, os valores dos IQAs tiveram variação de 47 a 50 apresentando qualidade **regular**, já em outubro, na maré baixa-mar de AB7 e maré preamar de AP1 a AP5, esses valores variaram de 52 a 55, ou seja, enquadrados em condições de qualidade **boa**, em julho e outubro o ponto de amostragem AB8 apresentou esta mesma condição com IQA igual a 52. No subgrupo F correspondente aos pontos de amostragem mais próximos da foz do rio Murucupi, em julho de 2009, os valores de IQA em MB5 e MB6 foram de 48 e 49 respectivamente, inferindo-se condição de qualidade **regular** na maré baixa-mar destes pontos. Em julho, nos pontos de amostragem MB7, MP5 e MP6, assim como, em outubro nos pontos MB5 a MB7 e MP5 e Mp6, os valores dos IQAs variaram de 52 a 63 apresentando condições de qualidade **boa**.

Na Figura 5.28, referente à análise de componentes principais do tipo score plot, foi possível identificar os mesmos grupos formados no dendograma da Figura 5.27. Na PC1 85.2%) ocorreu a melhor separação entre os Grupos 1, 2 e 3, nos quais existem uma mistura entre os pontos de amostragem dos rios Arapiranga e Murucupi, no grupo 1 e 2, a separação foi completa. Nos grupos 1, 2 e 3 conforme a Figura 5.28 pode ser observado que houve um certo equilíbrio nos IQAs dos rios Arapiranga e Murucupi, inferindo-se que houve grande semelhança dos IQAs determinados nos pontos de amostragem mais próximos das nascentes, assim como em suas fozes, onde os mesmos apresentaram condições de qualidade **regular** e **boa**. Apesar dessa mistura dentro dos grupos, os mesmos mantêm-se isolados em cada grupo, isto é, na Figura 5.28 observa-se nos grupos 1 e 2, a partir dos IQAs determinados, no rio Arapiranga, os pontos de amostragem agregaram-se mais ao centro do círculo e polígono, já os pontos de amostragem do rio Murucupi situaram-se nas extremidades. No grupo 3 os pontos de amostragem dos rios Arapiranga e Murucupi se distanciaram para as extremidades do polígono, contudo, o ponto de amostragem do rio Arapiranga AP8, alocou-se mais ao centro. Resumindo-se a avaliação sobre o período seco, no panorama geral os rios apresentaram características muito semelhantes tanto em suas nascentes como em suas fozes, mostrando que no

período seco, as chuvas ou condições de marés não tiveram grande influência na qualidade das águas destes dois rios como foi observado no período chuvoso.

Na Figura 5.28 referente à análise de componentes principais dos tipos score plot e loading plot, observa-se os grupos formados a partir dos dados dos IQAs determinados no **período chuvoso** em condições de marés baixa-mar e preamar nos rios **Arapiranga e Murucupi**.

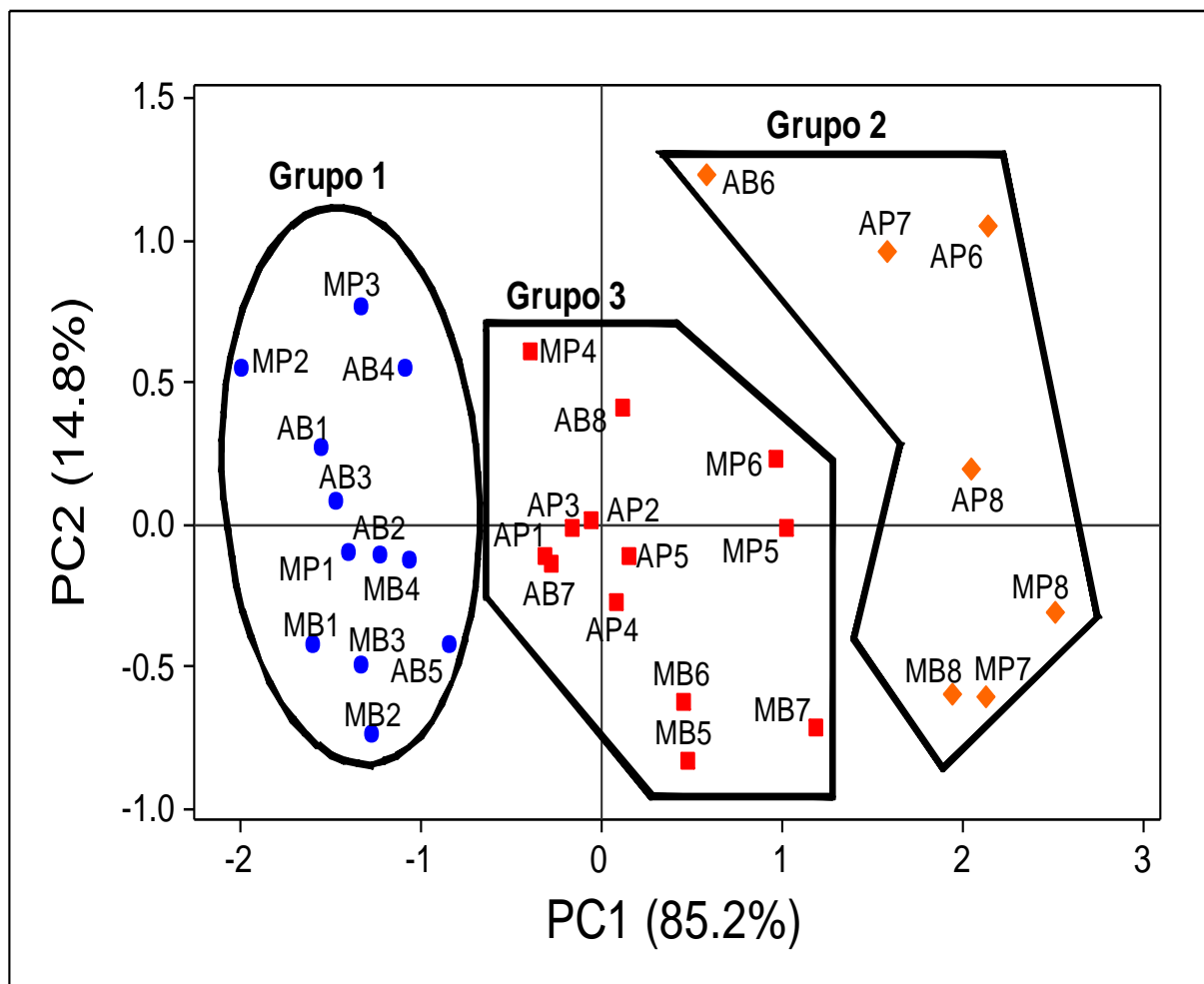


Figura 5.28: Análise de componentes principais do tipo score plot sobre os dados dos IQAs determinados no período seco em condições de marés baixa-mar e preamar em 2009.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos ao longo do período experimental deste trabalho no ano de 2009, são definidas algumas conclusões:

- O índice de qualidade da água médio para o Rio Arapiranga no período chuvoso variou de $48 \pm 3,7$ a $51 \pm 5,6$ na maré baixa-mar e na preamar respectivamente, enquanto no período seco obtiveram-se valores médios de $48 \pm 4,6$ na baixa-mar e de $55 \pm 5,7$ para preamar, os quais denotaram para esse corpo hídrico características de qualidade regular e boa;
- O rio Mucurupi teve no período chuvoso valores médios de IQA de $44 \pm 9,4$ a $51 \pm 10,3$ na maré baixa-mar e na preamar respectivamente, enquanto no período seco obtiveram-se valores médios de $51 \pm 8,3$ na baixa-mar e $52 \pm 8,6$ na preamar, indicando assim qualidade da água variando de ruim a boa;
- A análise multivariada aplicada sobre os valores dos IQAs durante o período chuvoso (maré baixa-mar e preamar) indicou a formação de três (03) grupos de qualidade da água envolvendo os rios Arapiranga e Murucupi, apresentando água com qualidade regular a boa (IQAs de 43 a 53) em quinze (15) pontos de amostragem, regular a boa (IQAs de 48 a 63) em dez (10) pontos de amostragem e ruim a regular (IQAs de 29 a 50) em sete (07) pontos de amostragens;
- No período seco (maré baixa-mar e preamar) também houve a formação de três (03) grupos de qualidade da água envolvendo os rios Arapiranga e Murucupi, onde a partir da aplicação de análise multivariada, obteve-se a formação de três (03) grupos que indicaram qualidade regular a boa (IQAs de 39 a 52) em doze (12) pontos de amostragem, qualidade regular a boa (IQAs de 50 a 67) em sete (07) pontos de amostragem e regular a boa (IQAs de 47 a 63) em treze (13) pontos de amostragens;
- O rio Arapiranga teve no período chuvoso valores mínimo e máximo de pH variando de 4,6 a 6,2 na maré baixa-mar e de 4,8 a 8,1 na preamar. Os valores médios obtidos para as variáveis temperatura, OD, DBO, turbidez, resíduo total, NT, PT e *Coliformes Termotolerantes* (em escala logarítmica), nas marés baixa-mar e preamar, foram respectivamente: $26 \pm 0,47^\circ\text{C}$ e $26 \pm 1,13^\circ\text{C}$; $6,0 \pm 0,70$ mg/L e $6,0 \pm 0,55$ mg/L; $6,0 \pm 1,50$ mg/L e $4,0 \pm 1,59$ mg/L; $24 \pm 7,69$ UNT e $16 \pm 5,47$ UNT;

- 19±6,03 mg/L e 14±6,61 mg/L; 0,3±0,15 mg/L e 0,3±0,13 mg/L; 0,06±0,02 mg/L e 0,05±0,02 mg/L e 3,88±0,26 NMP/100mL e 3,75±0,22 NMP/100mL;
- No período seco foram registrados no rio Arapiranga, valores máximo e mínimo de pH variando de 4,7 a 7,3 na maré baixa-mar e de 4,8 a 7,6 na preamar. Os valores médios obtidos para as variáveis temperatura, OD, DBO, turbidez, residuo total, NT, PT e *Coliformes Termotolerantes* (em escala logarítmica), nas marés baixa-mar e preamar, foram respectivamente: 27±1,15°C e 27±1,06°C; 5,0±0,76 mg/L e 6,0±0,65 mg/L; 8,0±2,78 mg/L e 6,0±2,73 mg/L; 19±4,75 UNT e 18±5,00 UNT; 23±10,17 mg/L e 20±9,74 mg/L; 0,2±0,05 mg/L e 0,2±0,06 mg/L; 0,04±0,02 mg/L e 0,03±0,01 mg/L e 3,88±0,93 NMP/100mL e 3,33±0,41 NMP/100mL;
 - No rio Murucupi registrou-se no período chuvoso valores mínimo e máximo de pH variando de 6,1 a 7,2 na maré baixa-mar e de 5,7 a 7,2 na preamar. Os valores médios obtidos para as variáveis temperatura, OD, DBO, turbidez, residuo total, NT, PT e *Coliformes Termotolerantes* (em escala logarítmica), nas marés baixa-mar e preamar, foram respectivamente: 28±0,94°C e 28±1,16°C; 5,0±1,50 mg/L e 6,0±1,32 mg/L; 13,0±4,01 mg/L e 10,0±2,49 mg/L; 33±8,20 UNT e 29±8,03 UNT; 43±7,19 mg/L e 39±5,78 mg/L; 1,1±1,00 mg/L e 0,8±0,49 mg/L; 0,22±0,17 mg/L e 0,16±0,13 mg/L e 4,43±0,67 NMP/100mL e 3,68±0,66 NMP/100mL;
 - No período seco foram registrados no rio Murucupi, valores máximo e mínimo de pH variando de 5,6 a 6,6 na maré baixa-mar e de 5,6 a 7,1 na preamar. Os valores médios obtidos para as variáveis temperatura, OD, DBO, turbidez, residuo total, NT, PT e *Coliformes Termotolerantes* (em escala logarítmica), nas marés baixa-mar e preamar, foram respectivamente: 29±1,10°C e 29±0,94°C; 6,0±0,74 mg/L e 7,0±0,69 mg/L; 10,0±2,31 mg/L e 8,0±2,17 mg/L; 28±3,43 UNT e 23±2,02 UNT; 41±9,28 mg/L e 37±7,72 mg/L; 0,5±0,3 mg/L e 0,5±0,29 mg/L; 0,03±0,02 mg/L e 0,03±0,02 mg/L e 3,95±0,79 NMP/100mL e 4,00±0,81 NMP/100mL;
 - No período chuvoso, os rios Arapiranga e Murucupi, para as condições de maré baixa-mar e preamar, mediante a aplicação de análise multivariada, indicou a formação de quatro (04) grupos de qualidade da água em termos físico-químicos e microbiológicos, constituídos por 9, 7, 9 e 6 pontos de amostragem;
 - No período seco, os rios Arapiranga e Murucupi, para as condições de marés baixa-mar e preamar, mediante a aplicação de análise multivariada, houve a

formação de três (03) grupos de qualidade da água em termos físico-químicos e microbiológicos, constituídos por 10, 13 e 9 pontos de amostragem;

- Observa-se no geral, a partir da análise multivariada, que os dois rios apresentaram características semelhantes na distribuição de algumas variáveis ao longo trecho avaliado, como por exemplo, temperatura, pH e OD, com principal associação nos pontos de amostragem próximos de suas fozes, este comportamento, possivelmente é atribuído, principalmente pela grande influência das águas do rio Pará. Observa-se nos pontos de amostragem próximos das nascentes do rio murucupi que houve associação principal entre *Coliforme termotolerantes*, DBO, turbidez, residuo total, NT, e PT na nascente do rio Murucupi devido ocorrência de incrementos da carga orgânica e nitrogenada autóctone devido à lixiação e lançamento de efluente doméstico. Próximo das nascentes do rio Arapiranga, ocorreu apenas no período seco uma associação mais visível entre as variáveis PT e *Coliformes Termotolerantes*, provavelmente pelo lançamento de esgoto doméstico em escala maior neste período;
- O rio Arapiranga pode ser indicado como candidato a possível área de controle, sob a visão das variáveis determinadas neste estudo e para situações de avaliação da qualidade das águas existentes nessa bacia hidrográfica, devido às condições hidrodinâmicas de variação de maré intrínsecas dessa região.
- Pelas informações geradas neste estudo, infere-se que o rio Murucupi sofre grande influência antropogênica, principalmente em decorrência dos esgotos domésticos lançados neste corpo hídrico, os quais proporcionam uma qualidade inferior para essas águas;
- A importância deste estudo indica que há cada vez mais a necessidade de gerar informações sobre a qualidade das águas na região amazônica, haja vista que, este é um bem utilizado pela população ribeirinha sem qualquer tipo tratamento. Portanto, observaram-se condições de qualidade nos rios estudados que variaram no espaço e no tempo e que são informações importantes para subsidiar tecnicamente os representantes locais quanto a possíveis captações e abastecimento público no futuro, servindo também de grande valia no meio técnico-científico. Essas informações indicam que há a necessidade de tratamento dos esgotos produzidos pela população local e que acarretam grandes impactos nestes corpos hídricos prejudicando o ecossistema aquático.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA), 2012. Intensidade pluviométrica no município de Barcarena/PA. [acervo].

APHA-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION/AWWA/ WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th*. Washington: APHA, 2005. 1100p

AYRES, Manuel *et al.*. Elementos de Bioestatística: A seiva do açazeiro. Belém-PA, 2011. 531 p.

BABAEI SEMIROMI, F; HASSANI, A H; TORABIAN, A; KARBASSI, A R e HOSSEINZADEH LOTFI, F. Water quality index development using fuzzy logic: A case study of the Karoon River of Iran. Afr. J. Biotechnol. [Internet], 2011 Set. [citado 2011 nov 24]; 10 (50): 10125-10133. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/ajb/PDF/pdf2011/5Sep/Babaei%20Semiromi%20et%20al.pdf>

BERNARDI, J V E; LACERDA, L D; DÓREA, J G; LANDIM, P M B; GOMES, J P O; ALMEIDA, R; MANZATTO, A G e BASTOS, W R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental . Geochimica Brasiliensis [Internet], 2009 ago. [citado 2011 dez 11]; 23 (1): 001-158. Disponível em: www.biogeoquimica.unir.br/classes/download.php?id=194... Similares

BORDALO, A A, NILSUMRANCHIT, W e CHALERMWAT, K. Water quality and uses of the Bangpakong River (Eastern Thailand). Wat. Res. [Internet], 2001 jan. [citado 2011 set 09]; 35 (15): 3635-3642. Disponível em: <http://144.206.159.178/FT/1092/43209/783341.pdf>

BRASIL (2005) RESOLUÇÃO DO CONAMA N. 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como

estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 23p.

BRAGLIA, M A G; RIBEIRO, T A, PIRES, G R; PACHECO, J J; PALHETA, M V O; COSTA JÚNIOR, R N F; COSTA, S V e TOSTES, W S. Estatística municipal de Abaetetuba/PA. Inst. Evand. Chagas [Internet]. 2011 [citado 2011 jan 30]; p. 48. Disponível em: <http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/georeferenciamento/abaetetuba.pdf>

BRAGLIA, M A G; RIBEIRO, T A, PIRES, G R; PACHECO, J J; PALHETA, M V O; COSTA JÚNIOR, R N F; COSTA, S V e TOSTES, W S. Estatística municipal de Barcarena/PA. Inst. Evand. Chagas [Internet]. 2011 [citado 2011 jan 30]; p. 48. Disponível em: <http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/georeferenciamento/barcarena.pdf>

BUFON, A G M e LANDIM, P M B. Análise da qualidade da água por metodologia estatística multivariada na represa velha (CEPTA/IBANA/PIRASSUNUNGA/SP). HOLOS Environment [Internet], 2007 [citado 2011 dez 04]; 7 (1): 42-59. Disponível em: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/holos/article/view/972/903>

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO-CETESB. Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo: CETESB, 2001. 150 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO-CETESB. Índice de Qualidade da Água (IQA). [Internet], 2011 [citado 2011 out 14]; Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/108-indices-de-qualidade-das-aguas>

CORDEIRO, Cleise Alves. Dissertação de Mestrado: Estudo da salinização no estuário do rio Pará no trecho Belém-Mosqueiro. Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. [acervo biblioteca], 1987 ago [citado 2012 maio 16]. 109p.

CUNHA, Hillândia Brandão da e PASCOALOTO, Domitila. Hidroquímica dos rios da Amazônia. Centro Cultural dos Povos da Amazônia-CCPA [Internet], 2006 [citado 2012 abr 19]. 147 p.. Disponível em:

http://www.povosamazonia.am.gov.br/pdf/res_hid_qui.pdf

DA CUNHA, A C; CUNHA, H F A; BRASIL JÚNIOR, A C P; DANIEL, L A e SCHULZ, H E. Qualidade microbiológica da qualidade em rios de áreas urbanas e periurbanas no Baixo Amazonas: O caso do Amapá. Eng. Sanit. Ambient. [Internet], 2004 dez [citado 2011 abr 17]; 9 (4): 322-328. ISSN: 1413-4152.

DA NOBREGA, Irene Wanderley da. Dissertação de Mestrado: Análise espectral de sistemas aquáticos da amazônia para a identificação de componentes opticamente ativos. Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto; São José dos Campos-SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. [Internet], 2002 [citado 2011 jun 13]. Disponível em:

<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13%4080/2005/09.08.16.41/doc/publicacao.pdf>.

DA SILVA, Flávia Adriane Oliveira e BORDALO, Carlos Alexandre Leão. Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos: Recursos hídricos, empresas de mineração e população local: estudo preliminar da micro bacia do rio Murucupi em Barcarena-PA. ENG Porto Alegre-RS [Internet], 2010 jul. [citado 2012 fev 05]; 978-85-99907-02-03. Disponível em: www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=2510

DE DEUS, A B S; DE LUCA, S J e CLARKE, R T. Índice de impacto dos resíduos sólidos urbanos na saúde pública (IIRSP): metodologia e aplicação. Eng. Sanit. Ambient. [Internet], 2004 [citado 2011 out 12]; 9 (4): 329-334. ISSN: 1413-4152.

DOQ-CGCRE-008. Coordenação Geral de Acreditação: Orientação sobre validação de métodos analíticos. INMETRO [Internet], 2011 jul [citado 2012 abr 02]; Revisão 04. Disponível em:

http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/Cgcre/DOQ/DOQ-Cgcre-8_04.pdf

DOTTO, S E; SANTOS, R F e SINGER, E M. Determinação de um índice de qualidade de água para algumas culturas irrigadas em São Paulo. *Bragantia*. [Internet], 1996 [citado 2010 out 18]; 55 (1): 0006-8705. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v55n1/25.pdf>

ENRICH-PRAST, Alex. Lições de Limnologia: Caminhos do nitrogênio em ecossistemas aquáticos continentais. Editores: Fábio Roland, Dionéia Cesar e Marcelo Marinho. São Carlos-SP: RiMA, 2005. 532 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-EPA U.S.: Water quality index application in Kansas River Basin. February 1974. 907/9-74-001, 236 p.

FERREIRA, Raphaela M.; BARROS, Nathan O.; DUQUE-ESTRADA, Carlos H. e ROLAND, Fábio. Lições de Limnologia: Caminhos do fósforo em ecossistemas aquáticos continentais. Editores: Fábio Roland, Dionéia Cesar e Marcelo Marinho. São Carlos-SP: RiMA, 2005. 532 p.

FERREIRA, W R; PAIVA, L T e CALLISTO, M. Development of a benthic multimetric index for biomonitoring of a neotropical watershed. *Braz. J. Biol.* [Internet], 2011 [citado 2011 set 09]; 71 (1): 15-25. Disponível em: http://www.sumarios.org/sites/default/files/pdfs/58373_6756.PDF

FINOTTI, Alexandra R.; FINKLER, Raquel; SILVA, Maurício D'Agostini; CEMIM, Gisele e Colaboradores: SCHNEIDER, Vânia Elisabete...[*et al.*]. *Gestão e Tecnologias Ambientais: Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas*. Caxias do Sul, RS: Educs, 2009, 272 p.

FLORES, J C. Comments to the use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquía river. *Wat. Res.* [Internet], 2002 fev. [citado 2011 mar 15]; 36: 4664-4666. Disponível em: <http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/comments-to-the-use-of-water-quality-indices-to-verify-the-impact-of-c-S0oCuzsGgv?key=elsevier>

- FRANÇA, Marianne Schaefer. Dissertação de Mestrado: Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná-UFPR. [Internet], 2009 [citado 2011 mar 03]; Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/23052/DissertaçãoMarianne%20Schaefer%20Franca.pdf?sequence=1>
- GILJANOVIC, N S. Water quality evaluation by index in Dalmatia. *Wat. Res.* [Internet], 1999 jan. [citado 2011 out 11]; 33 (16): 3423-3440. Disponível em: <http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/water-quality-evaluation-by-index-in-dalmatia-9b8HQeZJcP?key=elsevier>
- GOMES, Silvia; MENDONÇA, Neyson Martins; CUNHA, Márcia Valéria; SERRA, Ilka Sueli e COSTA, Robson. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. Aspectos da qualidade da água do rio Piraíba e o lançamento de efluentes da indústria de processamento de couro. João Pessoa-PB. [Internet], 2007. Disponível em: http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080212_092951_MEIO-032.pdf
- GOOGLE EARTH, 2012. Software utilizado para localização geográfica via satélite no globo terrestre. Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO. Image Terra Metrics.
- HACH COMPANY. DR 2000 SPECTROPHOTOMETER PROCEDURES MANUAL. [Internet], June 1990 Ed. 4. 655 p. Disponível em: <http://www.hach.com/quick.search-download.search.jsa?keywords=Manual%20DR%202000>
- HACH COMPANY. DR 2800 SPECTROPHOTOMETER PROCEDURES MANUAL. [Internet], June 2007 Ed. 2. 814 p. Disponível em: <http://www.hach.com/dr-2800-portable-spectrophotometer-with-lithium-ion-battery/product-downloads?id=7640439012>

HOFFMANN, Juliana Feliciati. Dissertação de Mestrado: Padrões alimentares na gestação e associação com características sócio-demográficas em mulheres atendidas em unidades básicas de saúde no sul do Brasil. Curso de Pós-Graduação em Epidemiologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRS. [Internet], 2008 [citado 2012 maio 12]; Disponível em:

<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15922/000689227.pdf?sequence=1>

HORBE, Adriana M. C. e SANTOS, Ana G. da Silva. Chemical composition of black-watered rivers in the western Amazon region (Brazil). J. Braz. Chem. Soc. [Internet], 2009 jun. [citado 2012 abr 19]; 20 (6): 1119-1126. Disponível em:

http://jbcs.sbq.org.br/jbcs/2009/vol20_n6/17-NEAMZ-09083AR.pdf

INSTITUTO EVANDRO CHAGAS (IEC). Relatório Técnico SAMAM 005: Atividades industriais no município de Barcarena, Pará: os impactos ambientais nos igarapés Curuperê e dendê a partir do lançamento de efluentes ácidos do processo de beneficiamento do caulim e avaliação das águas de consumo das comunidades do Bairro Industrial e Ilha São João. [Internet], 2007, 39 p. Disponível em:

<http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/pc/viagem/relatbse05mar07a22n10p46.pdf>

INSTITUTO EVANDRO CHAGAS (IEC). Relatório Técnico SAMAM 013: Relatório técnico sobre a avaliação de um possível dano ambiental ocorrido no Igarapé Altamira e Rio Xingu. [Internet], 2008, 10 p. Disponível em:

http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/pc/relatorios/altamira2008%20_8_.pdf

INSTITUTO EVANDRO CHAGAS (IEC). Relatório Técnico SAMAM 015: Relatório técnico sobre a avaliação da qualidade da água superficial dos igarapés do município de Redenção Estado do Pará. [Internet], 2008, 22 p. Disponível em:

<http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/pc/viagem/redencao012008.pdf>

INSTITUTO EVANDRO CHAGAS (IEC). Relatório Técnico SAMAM 001: Caracterização dos impactos ambientais, danos ao ecossistema e riscos a saúde decorrentes do lançamento no rio Murucupi de efluentes do processo de beneficiamento de bauxita, Barcarena-Pará. [Internet], 2009, 39 p. Disponível em:

<http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/pc/relatorios/barcarena2009.pdf>

KIPERSTOK, Asher; OLIVEIRA, Iara Brandão de; NEGRÃO, Francisco Inácio; SILVA, Alessandra Sampaio e ROCHA, Thelma Soares da. Construindo Produção Limpa na Bahia: Construção do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS) e sua aplicação aos sistemas aquíferos do Estado da Bahia. Rede de Tecnologias Limpas da Bahia-Teclim/Universidade Federal da Bahia 2008. 446p.; il.; 21cm.

LABORATÓRIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM MEIO AMBIENTE (LSCMAM). Sistema de Coordenadas Geográficas. Universidade Federal do Pará (UFPA). 2012. LEME, Edson José de Arruda. EdUFSCar: Manual prático de tratamento de águas residuárias. São Carlos, 2008. 595p.

LERMONTOV, A; YOKOYAMA, L; LERMONTOV, M e MACHADO, M A S. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. Ecol. Ind. [Internet], 2009 fev. [citado 2011 set 15]; 9: 1188-1197. Disponível em:
<http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/river-quality-analysis-using-fuzzy-water-quality-index-ribeira-do-iguape-river-watershed-brazil-1188-1197>

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água. 433 p. Campinas, SP: Editora Átomo, 2008, 2ª Edição.

LIMA, Antônio J B; COSTA, Gláucia R L X e SOARES, Lídia P C. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil: Avaliação do índice de qualidade da água (IQA) nos reservatórios com capacidade de acumulação de água acima de 5 milhões de metros cúbicos, monitorados pelo igarn na bacia hidrográfica apodí-mossoró/RN nos anos de 2005 e 2006. [Internet], 2007 [citado 2011 out 03]. Disponível em:
<http://www.seb-ecologia.org.br/viiiiceb/pdf/1387.pdf>.

LIMA, M O; SANTOS, E C O; DE JESUS, I M; MEDEIROS A C; DO CARMO, C F F e ALVES, C N. Assessment of Surface Water in Two Amazonian Rivers Impacted by

Industrial Wastewater, Barcarena City, Pará State (Brazil). J. Braz. Chem. Soc. [Internet], 2011 [citado 2011 out 26]; 22 (8): 1493-1504. Disponível em: http://www.sgponline.com.br/homo_jbcs/site/default.asp?ed=33

LOPES, V C e LIBÂNIO, M. Proposição de um índice de qualidade de Estações de Tratamento de Água (IQETA). Eng. Sant. Ambient. [Internet], 2005 [citado 2011 out 23]; 10 (4): 318-328. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n4/a08v10n4.pdf>

LUMB, A.; SHARMA, T. C. e FRANÇOIS BIBEALUT, J. A review of genesis and evolution of Water Quality Index (WQI) and some future directions. Water Qual Expo Health [Internet], 2011 mar. [citado 2011 set 15]; 33 (3): 11-24. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/808k1g1810736um1/fulltext.pdf>

MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio Pereira. Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: Realidades e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 688 p.: il.

MATTOS, Alcione Ribeiro de e VON SPERLING, Eduardo. 20º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária - ABES: Índice de qualidade de águas para a bacia do rio das velhas-aspectos metodológicos e avaliação qualitativa do meio ambiente. [Internet], 1999 [citado 2011 mar 08]. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/v-042.pdf>

MIRANDA, Rafaella Galvão; PEREIRA, Simone de Fátima Pinheiro; ALVES, Danila Teresa Valeriano e OLIVEIRA, Geiso Rafael Fonseca. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia-Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. Revista Ambiente e Água [Internet], 2009 [citado 2012 maio 10]; 4 (2): 75-92. Disponível em: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/.../210/356>

MENDONÇA, Neyson M *et al.* Relatório de atividades referente à bolsa de desenvolvimento científico regional (DCR-PROC. N.350427/2004-6): Caracterização

limnológica e físico-química das águas superficiais na área insular do município de Belém PA. INSTITUTO EVANDRO CHAGAS (IEC) [Acervo], 2004, 38 p.

MOURA, Elyana Melo. Dissertação de Mestrado: Mapeamento do halo de dispersão formado por efluentes industriais lançados na baía do guajará no trecho compreendido entre o bairro de Val-De-Cães e o distrito de Icoaraci. Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. [acervo biblioteca], 2007 jan [citado 2012 maio 23]. 73 p.

NASCIMENTO, J A; DIONÍSIO, A G G; DO NASCIMENTO, E C L; FREITAS, S K B e DE ARAÚJO, M C U. Análise screening de vinhos empregando um analisador fluxo-batelada, espectroscopia UV-VIS e quimiometria. *Quim. Nova* [Internet], 2010 ago [citado 2012 jan 05]; 33 (2): 351-357. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v33n2/22.pdf>

PEREIRA, S. F. P.; LIMA, M. A.; FREITAS, K. H.; MESCOUTO, C. S.; SARAIVA, A. F. Estudo químico ambiental do rio Murucupi – Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio. *Revista Ambi-Água* [Internet], 2007 maio [citado 2012 maio 10]; 2 (3): 62-82. Disponível em: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/.../72/269>

QUEIROZ, Maria M. A.; HORBE, Adriana M. C.; SEYLER, Patrick e MOURA, Candido A. V.. Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães-Amazonas-Brasil. *Acta Amaz.* [Internet], 2009 abr [citado 2012 abr 12]; 39 (4): 943-952. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/aa/v39n4/v39n4a22.pdf>

RIBEIRO, Karla Tereza Silva. Água e saúde humana em Belém. Cejup, 2004 (Coleção Megan/2). 280 p.

RICHTER, Carlos A. e AZEVEDO NETTO, José M. de. Tratamento de Água: Tecnologia atualizada. São Paulo: Blucher, 1991. 332p. 7ª reimpressão-2007.

SANTOS, Ivanilce Costa. Dissertação de Mestrado: Caracterização hidroquímica do rio Murubira, Mosqueiro/Pará. Curso de pós-graduação em Geologia e Geoquímica.

Universidade Federal do Pará-UFPA. [Internet], 2001 out [citado 2012 abr 15]; Disponível em:

<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/23052/DissertaçãoMarianne%20Schaefer%20Franca.pdf?sequence=1>

SIMÕES, F S; MOREIRA, A B; BISINOTI, M C; GIMENEZ, S M N e YABE, M J S. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies.

Ecol. Ind. [Internet], 2007 maio [citado 2011 set 22]; 8: 476-484. Disponível em:

<http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/water-quality-index-as-a-simple-indicator-of-aquaculture-effects-on-CwSQoV2BXU?key=elsevier>

TUNDISI, José Galizia e TUNDISI, Takako Matsumura. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.

VERONEZ, Brunella Pianna. Dissertação de Mestrado: Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em microbacias hidrográficas no nordeste paraense, Amazônia Oriental. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo-UFES. [Internet], 2011 ago [citado 2012 abr 07]; 173 p.. Disponível em: <http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/BRUNELLA%20PIANNA%20VERONEZ.pdf>

VICINI, Lorena. Dissertação de Mestrado: Análise multivariada da teoria à prática. Universidade Federal de Santa Maria-UFSC (RS), 215 p. [Internet], 2005 [citado 2011 nov 15]; Disponível em:

<http://w3.ufsm.br/adriano/livro/Caderno%20dedatico%20multivariada%20%20LIVRO%20FINAL%201.pdf>

VIGLIO, Eduardo Paim. Dissertação de Mestrado: Geoquímica regional multielementar aplicada aos campos da saúde humana e ambiental na porção continental da folha SA.22-X-D-Belém região nordeste do Pará volume I. Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. [acervo biblioteca], 2007 maio [citado 2012 maio 12]. 128 p.

VON SPERLING, Marcos. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. 452 p. v1. 3 ed. 4ª reimpressão-2009.

VON SPERLING, Marcos. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2007. 588 p. v7. 1ª reimpressão-2008.

VON SPERLING, Marcos. Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. Aspectos metodológicos/Carlos Augusto de Lemos Chernicharo (coordenador): Coliformes e pH-médias aritméticas, médias geométricas e medianas. [Internet], 2001 [citado 2011 abr 10]; Disponível em:
<http://www.finep.gov.br/prosab/produtos.htm>

ZEIDEMANN, Vivian Karina *et al.*. Coordenação: Drauzio Varella. Capítulo 2: O rio das águas negras. UNIP-SP [Internet], 2001 [citado 2011 nov 14]; ISBN: 85-359-0142-6. Disponível em:
<http://ecologia.ib.usp.br/guiaigapo/images/livro/RioNegro02.pdf>