

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E**  
**RECURSOS NATURAIS**

**ESTUDO LIMNOLÓGICO DE UM TRECHO DO MÉDIO RIO MADEIRA**  
**(REGIÃO DE PORTO VELHO - RO), COM ÊNFASE NA COMUNIDADE**  
**ZOOPLANCTÔNICA.**

**JOÃO DURVAL ARANTES JUNIOR**

**São Carlos - SP**

**2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E**  
**RECURSOS NATURAIS**

**ESTUDO LIMNOLÓGICO DE UM TRECHO DO MÉDIO RIO MADEIRA**  
**(REGIÃO DE PORTO VELHO - RO), COM ÊNFASE NA COMUNIDADE**  
**ZOOPLANCTÔNICA**

**JOÃO DURVAL ARANTES JUNIOR**

**Orientador: Profa. Dra. Odete Rocha**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Ciências, Área de concentração em Ecologia e Recursos Naturais.

**São Carlos – SP**

**2011**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

A662eL

Arantes Junior, João Durval.

Estudo limnológico de um trecho do médio rio Madeira (região de Porto Velho - RO), com ênfase na comunidade Zooplanctônica / João Durval Arantes Junior. -- São Carlos : UFSCar, 2011.

152 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Limnologia. 2. Monitoramento ambiental. 3. Telemetria. 4. Monitoramento em tempo real. 5. Água - qualidade. 6. Zooplâncton. I. Título.

CDD: 574.52632 (20<sup>a</sup>)

**João Durval Arantes Júnior**

**“Estudo limnológico de um trecho do Médio Rio Madeira (Região de Porto Velho – RO), com ênfase na comunidade zooplanctônica.”**

Tese apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

**Aprovada** em 29 de junho de 2011

**BANCA EXAMINADORA**

Presidente   
Prof. Dra. Odete Rocha  
(Orientadora)

1º Examinador   
Prof. Dra. Maria da Graça Gama Melão  
PPGERN/UFSCar

2º Examinador   
Prof. Dra. Mirna Helena Regali Selegim  
PPGERN/UFSCar

3º Examinador   
Prof. Dr. Donato Seiji Abe  
IIE

4º Examinador   
Prof. Dra. Maria José dos Santos Wisniewski  
UNIFAL

## Lista de Figuras

Figura 1 Mapa da trecho estudado do Rio madeira, indicando os pontos estabelecidos para as medidas pontuais de variáveis físicas e químicas e para as coletas de amostras de zooplâncton realizadas trimestralmente no período de junho de 2009 a janeiro de 2011 .....	8
Figura 2 – Mapa indicando o posicionamento das estações de monitoramento em tempo real (quadrados verdes) e as estações de monitoramento trimestrais mais próximas (triângulos amarelos).....	14
Figura 3- Leituras do limnógrafo do rio Madeira na altura de Porto Velho (curva em azul escuro) com indicação das datas em que foram realizadas as campanhas relativas aos distintos períodos hidrológicos (barras em barras azul claro). .....	15
Figura 4 - Curvas hipotéticas de $k$ -dominância para a biomassa e o número de espécies, com (A) representando condições não poluídas; (B) representando condições moderadamente poluídas e (C) condições fortemente poluídas. <i>Fonte: França, 2010, modificado de Magurran, 2007.</i> .....	21
Figura 5 Variações da temperatura do ar na região de Porto Velho no período de 01/06/09 a 22/03/11.....	24
Figura 6 - Variações da Precipitação pluviométrica em Porto Velho no período de 01/06/09 a 22/03/11.....	25
Figura 7 Variações no nível fluviométrico (acima) e na vazão (abaixo) do rio Madeira no período de 01/06/09 a 22/03/11, em Porto Velho, RO.....	26
Figura 8 - Variação da temperatura no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11.....	30
Figura 9 - Variações da turbidez no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11.....	30
Figura 10 -- Variação da condutividade no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11.....	31
Figura 11 -Variação do pH no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11. ....	31
Figura 12 –Variações na concentração de oxigênio dissolvido na água no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11. ....	32
Figura 13 -- Variação na concentração de sólidos totais dissolvidos na água no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11. ....	32
Figura 16 - Variação do oxigênio dissolvido no rio Madeira nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 1 a 4 de abril de 2010.....	34
Figura 14 - Variações da temperatura da água no rio Madeira durante três ciclos nictimerais nos pontos de monitoramento contínuo em sistema em tempo real em trecho a montante (em azul) e a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 1 a 4 de abril de 2010.....	34
Figura 15 - Variações da condutividade elétrica da água no rio Madeira durante três ciclos nictimerais nos pontos de monitoramento contínuo em sistema em tempo real em trecho a montante (em azul) e a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 1 a 4 de abril de 2010.....	34
Figura 17 - Variação do pH no rio Madeira nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 1 a 4 de abril de 2010. ....	35

Figura 18 - Variação de sólidos dissolvidos no rio Madeira nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 1 a 4 de abril de 2010.....	36
Figura 19 - Variações da turbidez da água do rio Madeira registradas nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 1 a 4 de abril de 2010.....	36
Figura 20 – Variações da temperatura da água do rio Madeira registradas nos sistemas de monitoramento em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) de 8 a 10 de outubro de 2010.....	37
Figura 21 - Variações da condutividade elétrica da água no rio Madeira registradas nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 8 a 10 de outubro de 2010.....	38
Figura 22 – Variações do pH na água do rio Madeira registradas nos sistemas de monitoramento em tempo real nas estações de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 8 a 10 de outubro de 2010.....	38
Figura 23 - Variação dos sólidos dissolvidos no rio Madeira nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 8 a 10 de outubro de 2010.....	39
Figura 24 - Variação da turbidez no rio Madeira nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 8 a 10 de outubro de 2010.....	40
Figura 25 - Variações na transparência da coluna d'água no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	41
Figura 26 - Variações nos valores do coeficiente de atenuação vertical na coluna d'água do rio Madeira nos períodos hidrológicos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	42
Figura 27 - Variações na extensão da zona eufótica no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	43
Figura 28.....	43
Figura 29 - Variações da cor da água no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	44
Figura 30 - Variações na temperatura da água no rio Madeira para os diferentes períodos hidrológicos s entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	45
Figura 31- Variações da turbidez na coluna d'água do rio Madeira nos períodos hidrológicos avaliados entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	46
Figura 32- Variações na concentração de sólidos totais dissolvidos no rio Madeira nos períodos avaliados entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	47
Figura 33- Variações da concentração de sólidos em suspensão no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	48
Figura 34- Variação nas concentrações de sólidos totais no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	49
Figura 35 - Variações nas concentrações da fração inorgânica do material em suspensão ( sólidos fixos) na água do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	50
Figura 36 - Variações nas concentrações da fração orgânica do material em suspensão ( sólidos voláteis) na água do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	51
Figura 37- Variação nos valores de condutividade elétrica da água no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	52
Figura 38- Variações do pH da água no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	53
Figura 39- Variações na porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido na água do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	54

Figura 40 - Variações na concentração de oxigênio dissolvido na água do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	55
Figura 41- Variações nos valores de demanda bioquímica de oxigênio – DBO5 no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	56
Figura 42- Variações nos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	57
Figura 43- Variações no valor médio de carbono bioquimicamente oxidado (C.DBO) no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	58
Figura 44- Resultados de carbono inorgânico no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	59
Figura 45- Resultados de carbono orgânico total (quimicamente oxidado) no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	60
Figura 46- Resultados de carbono total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	61
Figura 47- Resultados de carbono orgânico refratário no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	62
Figura 48- Resultados de gás carbônico livre no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	63
Figura 49- Resultados de gás carbônico total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	64
Figura 50- Variações na alcalinidade da água do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	65
Figura 51- Resultados de alcalinidade de bicarbonatos no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	66
Figura 52- Resultados de sódio no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	67
Figura 53- Resultados de potássio no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	68
Figura 54- Resultados de cálcio no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	69
Figura 55 - Resultados de magnésio no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	70
Figura 56- Resultados de bicarbonatos no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	71
Figura 57- Resultados de nitrogênio amoniacal no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	72
Figura 58- Resultados de nitrito no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	73
Figura 59- Resultados de nitrato no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	74
Figura 60 - Resultados de nitrogênio inorgânico dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	75
Figura 61- Resultados de nitrogênio total dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	76
Figura 62- Resultados de nitrogênio total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	77
Figura 63- Resultados de nitrogênio orgânico dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	78

Figura 64- Resultados de nitrogênio orgânico total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	79
Figura 65 - Resultados de nitrogênio particulado no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	80
Figura 66- Resultados de ortofosfato no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	81
Figura 67- Resultados de fósforo total dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	82
Figura 68- Resultados de fósforo total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	83
Figura 69- Resultados de fósforo orgânico dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	84
Figura 70- Resultados de fósforo orgânico total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	85
Figura 71- Resultados de fósforo particulado no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	86
Figura 72- Resultados de silicatos reativos no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	87
Figura 73 - Resultados de ferro dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	88
Figura 74- Resultados de ferro total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	89
Figura 75- Resultados de Clorofila a no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	90
Figura 76- Resultados de Pigmentos totais no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	91
Figura 77- Resultados de Coliformes totais no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	92
Figura 78- Resultados de Coliformes fecais no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	93
Figura 79 – Índice de estado trófico para o Fósforo total nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	94
Figura 80 – Variações na riqueza de táxons da comunidade zooplânctônica do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	98
Figura 81- Variações na densidade total da comunidade zooplânctônica no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	99
Figura 82 – Variações da Biomassa zooplânctônica no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	100
Figura 83 –Curvas de dominância (Gráfico Whittaker) para a comunidade zooplânctônica do rio Madeira, em sete períodos hidrológicos amostrados no período de junho de 2009 a janeiro de 2011.....	102
Figura 84- Resultados de dominância no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	104
Figura 85 – Variação nos índices de equidade da comunidade zooplânctônica amostrada no trecho médio do rio Madeira amostrada trimestralmente no período entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	105

Figura 86 – Curva de Rarefação dos táxons registrados para a comunidade zooplânctônica do rio Madeira em sete períodos hidrológicos amostrados em 8 estações amostrais durante o período de junho de 2009 a janeiro de 2011. ....	106
Figura 87 –Valores de diversidade máxima esperada para a a riqueza de táxons da comunidade zooplânctônica do rio madeira por meio dos estimadores Chao, Jackknife 1 e 2 e Bootstrap, de acordo com os modelos propostos por Magurran, 2004. ....	107
Figura 88 - Curvas Abundancia Biomassa (ABC curve) para a comunidade zooplânctônica do rio Madeira amostrada nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	109
Figura 89 - Curvas Abundancia Biomassa (ABC curve) para a comunidade zooplânctônica do rio Madeira amostrada nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.....	111
Figura 90 – Diferença entre as temperaturas superficiais de cada período observadas no oceano e as temperaturas médias históricas, indicando os eventos de El Niño (em vermelho) e La Niña (em azul), na altura de Porto Velho – RO, entre os anos de 1968 e março de 2011, e meses de janeiro a dezembro (mês 1 a 12).....	115
Figura 91- Variação do nível do rio Madeira, na altura de Porto Velho – RO, entre os anos de 1968 e março de 2011, e meses de janeiro a dezembro (mês 1 a 12).....	115
Figura 92- Temperatura do ar medida na estação SBPV de Porto Velho e a temperatura da água no rio Madeira em gráficos sobrepostos. ....	117
Figura 93 – Regressão linear entre a cota do rio Madeira e a concentração de oxigênio.....	117
Figura 94- Regressão linear entre a cota e o pH. ....	119
Figura 95- Regressão linear entre cota e a condutividade elétrica da água do rio Madeira. ....	120
Figura 96— Sobreposição dos valores normalizados de cota e turbidez no Rio Madeira indicando os dias de ocorrência dos picos de nível seguidos dos picos de condutividade, no período de monitoramento em tempo real.....	120
Figura 97- Regressão linear entre cota do rio Madeira e a turbidez.....	123
Figura 98 – Sobreposição dos resultados normalizados de cota e turbidez, indicando os dias de ocorrência dos picos de nível seguidos dos picos de turbidez, com atraso de 1 a 6 dias. ....	123
Figura 99- Análise de Componentes Principais das variáveis de qualidade de água (temp: temperatura da água, cond:condutividade, od: oxigênio dissolvido, turb: turbidez, climatológicas(tar: temperatura do ar, vel: velocidade do vento), e hidrológicas (cota).....	124
Figura 100 – Representação do contexto hidrológico e limnológico no qual foram realizadas as campanhas de campo a partir de janeiro de 2010. As barras indicam o período em que foram realizadas as coletas e a linha azul mostra os resultados normalizados do nível do rio Madeira. Os resultados normalizados do monitoramento em tempo real são plotados em vermelho:turbidez, verde:condutividade, amarelo: oxigênio dissolvido e magenta:pH .....	126
Figura 101- Regressão linear entre os sólidos suspensos e o fósforo total. ....	133
Figura 102 -- Posição das estações de coleta no rio Madeira (azul), ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da PCA durante os períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011. ....	135

## Sumário

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	6
2.1 - Objetivos gerais.....	6
2.2 - Objetivos específicos.....	6
3. Material e Métodos.....	7
3.1 - Área de Estudo .....	7
3.2 - Climatologia e Hidrologia.....	13
3.2.1 - Temperatura do ar e Precipitação Pluviométrica.....	13
3.2.2 - Cota e Vazão .....	13
3.3 - Monitoramento de Variáveis Físicas e Químicas da Água em Tempo Real.....	13
3.4 - Periodicidade das Coletas.....	15
3.5 - Coleta e preservação das amostras.....	16
3.6 - Variáveis físicas e químicas .....	17
3.6.1 - Transparência.....	17
3.6.2 - Potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, concentração de oxigênio dissolvido e temperatura da água.....	17
3.6.3 - Concentração de nutrientes .....	18
3.6.4 - Concentração de material em suspensão.....	18
3.7 - Variáveis biológicas.....	19
3.7.1 - Comunidade zooplanctônica .....	19
3.8 - Índice de Estado Trófico .....	19
3.8.1 - Biomassa Zooplanctônica .....	20
3.8.2 - Curva ABC ou curva de comparação Abundância/Biomassa.....	21
3.9 - Análise dos dados.....	22
3.9.1 - Índice de diversidade.....	22
3.9.2 - Análise estatística.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 - Climatologia.....	24

4.1.1 - Temperatura do Ar .....	24
4.1.2 - Precipitação Pluviométrica:.....	25
4.2 - Hidrologia .....	25
4.3 - Monitoramento em tempo real das variáveis Físicas e Químicas da Água.....	27
4.3.1 - Temperatura da Água .....	27
4.3.2 - Turbidez .....	28
4.3.3 - Condutividade Elétrica da Água e pH.....	28
4.3.4 - Concentração de Oxigênio Dissolvido na Água.....	29
4.3.5 - Sólidos Totais Dissolvidos .....	29
4.3.6 - Variações Nictimerais .....	33
4.4 - Variações Trimestrais das Variáveis Físicas e Químicas na Água do rio Madeira....	41
4.5 - Zooplâncton.....	94
4.5.1 - Composição taxonômica, frequência de ocorrência e abundância relativa .....	94
4.5.2 - Riqueza taxonômica dos Grupos Componentes.....	98
4.5.3 - Densidade e Biomassa da Comunidade Zooplanctônica do rio Madeira .....	99
4.5.4 - Diversidade da Comunidade Zooplanctônica do rio Madeira.....	101
4.5.5 - Curvas Abundância Biomassa (Curvas ABC) como Indicadora de Distúrbios	107
5. DISCUSSÃO .....	112
5.1 - Climatologia e hidrologia.....	112
5.2 - Monitoramento em tempo real .....	116
5.3 - Monitoramento Sistemático das Variáveis Físicas e Químicas .....	126
5.4 - Zooplâncton.....	136
6. Conclusões.....	142
7. Referências Bibliográficas.....	144

## LISTA DE ABRIVIAÇÕES

- ACP – Análise de Componentes Principais
- ANA – Agência Nacional das Águas
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- APHA – American Public Health Association
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente
- EIA – Estudo de Impacto Ambiental
- HPLC – High Performance Liquid Chromatography
- INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
- NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez
- OD – Oxigênio Dissolvido
- PBA – Plano Básico Ambiental
- pH – Potencial Hidrogeniônico
- TDS – Total de sólidos dissolvidos
- UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora
- UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
- UFSCar – Universidade Federal de São Carlos
- UHE – Usina Hidrelétrica

## RESUMO

O rio Madeira graças às características geomorfológicas e climáticas de sua bacia hidrográfica apresenta uma intensa atividade hidrológica e biogeoquímica sendo o 4º maior rio do planeta em termos de vazão. Em adição a sua reconhecida relevância ecológica e social, o rio Madeira ganhou também proeminência econômica a partir dos empreendimentos hidrelétricos planejados para o aproveitamento dessas elevadas vazões. Foram utilizadas duas abordagens distintas para a caracterização limnológica espacial e temporal do rio Madeira: (i) o monitoramento sistemático de um conjunto de 51 variáveis físicas e químicas e zooplâncton amostrados trimestralmente e, (ii) o monitoramento de seis variáveis físicas e químicas em tempo real e curtos intervalos de tempo. Para o monitoramento sistemático foram realizadas sete campanhas de campo trimestrais representativas dos períodos de vazante, águas baixas, enchente, águas altas em oito estações distribuídas ao longo de 300 Km no rio Madeira com amostragem de variáveis físicas, químicas e da comunidade zooplanctônica para posterior análise em laboratório. No monitoramento em tempo real as medidas foram realizadas a cada 30 minutos durante 423 dias, no período de 23/01/10 a 22/03/11, preenchendo uma importante lacuna no conhecimento limnológico da dinâmica do rio Madeira combinando medições contínuas e acuradas em curtos intervalos de tempo durante um período superior a um ciclo sazonal completo. Os resultados obtidos evidenciaram a forte influência da sazonalidade e do ciclo hidrológico sobre a turbidez, condutividade, oxigênio dissolvido, pH e sólidos dissolvidos. Pulsos de curta duração iniciados por oscilações repentinas nas vazões e níveis do rio Madeira determinaram variações rápidas e expressivas na turbidez, condutividade e sólidos dissolvidos. A comunidade zooplanctônica foi constituída por 101 táxons, sendo o grupo Rotifera o de maior riqueza (45 espécies). Os Copepoda foram representados por 15 espécies entre as quais se destacaram espécies endêmicas amazônicas. A densidade média do zooplâncton foi de  $9.714 \text{ ind.m}^{-3}$  e a biomassa apresentou valor médio de  $14,22 \times 10^3 \mu\text{g. m}^{-3}$ , considerado baixo. A comunidade zooplanctônica é provavelmente limitada pelas altas vazões e baixa produtividade primária, e assim como outros parâmetros analisados, responde com amplas flutuações à principal função de força do sistema, as variações sazonais e interanuais no nível de água do rio.

**Palavras-chave:** Rio Madeira, Limnologia, Monitoramento em tempo real, Qualidade da água, Zooplâncton

## ABSTRACT

Madeira River is the fourth major river of the planet considering its discharge, only behind the Amazonas, Congo and Orinoco rivers. It is the main affluent contributing with half of the suspended solids transported by the Amazon River. In the present work a limnological research was carried out in a 300 Km stretch of Middle Madeira River. Two different approaches were adopted in order to characterize physically and chemically the system: A real time monitoring of physical and chemical variables at short time intervals and trimestrally punctual surveys. Seven field expeditions were carried out corresponding to different hydrological periods: decreasing water level, low water, rising water level and high waters. Eight sampling stations were distributed along the 300 km of River Madeira stretch for measurements of physical and chemical variables, plus water and plankton samples collection. Some variables were measured in situ by the Yellow Springs multiparameter probe and water was taken for laboratory suspended matter, nutrient and ion concentration measurements. In the real time monitoring the measurements were taken each 30 minutes along 423 days in the period between 23/01/2010 and 22/03/2011. The results obtained evidenced the strong influence of the hydrological cycle on the water turbidity, electrical conductivity, dissolved oxygen concentration and pH. Short time pulses starting with abrupt changes in the water level and discharge of River Madeira greatly influenced water turbidity and electrical conductivity. The zooplankton community was composed by 101 taxa, being Rotifera the group of highest species richness (45 species). Copepoda was a group with noticeably high richness of species, being represented by fifteen species, among which some Amazon endemic taxa. Total diversity is moderate compared to other fluvial systems in Brazil. Protozoa was the group that contributed most to the zooplankton biomass particularly in the periods of decreasing water and low water levels of the year 2010. Mean density of zooplankton was  $9,714 \text{ ind. m}^{-3}$  and mean biomass was relatively low with a mean value of  $14.22 \times 10^3 \mu\text{g.m}^{-3}$ . The zooplankton community is probably limited by the low primary productivity of this white water river and primarily responds to the wide fluctuations of the main driving forces of the system, both the seasonal and interannual changes in the river water level.

**Key words:** Madeira River, Limnology, Real time monitoring, Water quality; Zooplankton.

## AGRADECIMENTOS

*À Professora Odete Rocha pela orientação, pelo exemplo e dedicação.*

*À Gina Boemer por todo o apoio e companheirismo, e pela direção que deu ao trabalho desenvolvido. À Ecology Brasil, sobretudo aos membros da Equipe da Limnologia, Rafael Marques, Michele Lima, Dario e Luiz Evaristo.*

*À Santo Antonio Energia, especialmente na pessoa de Aloísio Ferreira.*

*À CAPES pela bolsa inicialmente concedida.*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais pela formação recebida;*

*Aos funcionários do Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva, em especial aos técnicos José Valdecir de Lucca e Alcídio Custódio Filho pelo apoio nas coletas e nas análises em laboratório.*

*Às colegas Natália, Renata e Lidiane pelo apoio nas análises e identificação do zooplâncton.*

*Aos meus pais, João Durval e Ana Lucia por tudo.*

## 1. INTRODUÇÃO

As características geomorfológicas e climáticas da bacia hidrográfica do rio Madeira são refletidas em sua intensa dinâmica e diversidade ecológica, sendo o 4º maior rio do planeta em termos de vazão, atrás somente dos rios Amazonas, Congo e Orinoco. Apesar de sua reconhecida relevância ecológica e social, o rio Madeira ganhou também proeminência econômica a partir dos empreendimentos hidrelétricos planejados para o aproveitamento dessas elevadas vazões. Esse trabalho foi desenvolvido com parte dos resultados obtidos no “Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas” realizado pela Ecology Brasil como contrapartida ambiental da Santo Antônio Energia para a construção da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio. Esse Programa de Monitoramento Limnológico do rio Madeira contou com a participação pesquisadores de diversas instituições, dentre eles, Prof. Wanderley Bastos da UNIR; Prof. Vera Huszar, Prof. Lucia Helena e Msc. Eleonora Apel do Museu Nacional de Fisiologia da UFRJ; Prof. Odete Rocha e Dr. José Valdecir da UFScar; Prof. Fábio Roland e Msc. Nathan Barros da UFJF; e coordenação da Dra. Gina Boemer da Ecology Brasil.

No presente trabalho, duas abordagens distintas foram utilizadas para a caracterização espacial e temporal da limnologia do rio Madeira:

- (i) monitoramento sistemático e espacial de um conjunto expressivo de 51 variáveis físicas, químicas e zooplâncton amostrados trimestralmente
- (ii) monitoramento em tempo real de duas estações mensurando seis variáveis físicas e químicas em curtos intervalos de tempo

No monitoramento sistemático foram realizadas sete campanhas de campo trimestrais representativas dos períodos de vazante, águas baixas, enchente, águas altas em oito estações distribuídas ao longo de 300 Km no rio Madeira com amostragem de variáveis físicas, químicas e da comunidade zooplanctônica para posterior análise em laboratório. O monitoramento tradicional da qualidade da água envolve dentre outros procedimentos, o deslocamento de uma equipe para coleta de material em campo, o transporte das amostras em tempo hábil, e as análises posteriores em laboratório. Para o atendimento dos prazos de análise é necessário um laboratório equipado na localidade para os parâmetros sensíveis como a demanda bioquímica de oxigênio, alcalinidade e coliformes, cuja determinação perde o sentido no caso de necessidade de transporte da

amostra para laboratórios em outros estados. Este tipo de monitoramento demanda um empenho intensivo de mão de obra especializada em cada análise e consome muito tempo e dinheiro para a obtenção dos resultados. Os dados obtidos representam apenas uma “foto” momentânea de um dado instante do corpo de água e permite apreender somente os processos que perduram por períodos de tempo maiores que a frequência das amostragens.

O monitoramento automático da qualidade da água proporciona uma importante contribuição ao conhecimento limnológico combinando horizontes de longo prazo amostrado em intervalos de tempo curtos e regulares. Uma das vantagens dessa abordagem é que ela captura variações dinâmicas que somente as leituras em curtos intervalos de tempo poderiam fornecer. Um de seus atributos é a investigação de mudanças repentinas nos parâmetros da qualidade da água determinadas por processos rápidos como precipitação, oscilações na vazão e ventos fortes. As condições climatológicas, a entrada de frentes frias ou a ocorrência de precipitações nas sub-bacias dos tributários, ainda que em áreas distantes podem exercer influencia na qualidade da água (TUNDISI *et al*, 2004).

O monitoramento de rios em tempo-real tem diversas aplicações relevantes. Ele pode funcionar como um sistema de alerta precoce (early warning system), permitindo por exemplo, o diagnóstico e a tomada de decisões preventivas. Já foram relatados exemplos como o aviso em relação às inundações repentinas em regiões subglaciais que apresentam atividade geotérmica ou erupções (ELEFSEN *et al.*, 2002); o acompanhamento da dinâmica dos nutrientes e o florescimentos de algas em águas costeiras ou de abastecimento (COMEAU *et al.*, 2007), ou a detecção de incidentes envolvendo eventos pontuais de poluição, como em minas de níquel e cobre (KHAN *et al.*, 2008), por meio das alterações no nível da água, na concentração de oxigênio dissolvido ou na condutividade elétrica da água.

Na bacia Amazônica fatores hidrológicos exercem controle sobre a maioria dos processos biogeoquímicos e ecológicos. O pulso de inundação, definido como o padrão sazonal de oscilação do nível da água constitui a principal força determinante da dinâmica dos ecossistemas lóticos. Uma vez que no rio Madeira as mudanças anuais no nível do rio são cíclicas, intensas e previsíveis, pode-se estabelecer inferências determinísticas sobre as relações entre o hidrograma e os processos biogeoquímicos e ecológicos (Lewis *et al*, 2000).

De forma mais geral, os pulsos são alterações sofridas pelas variáveis do sistema, com frequências e amplitudes bastante variáveis, podendo ser de curta ou longa duração, frequentes, espaçados ou intermitentes. Os fatores ou funções de força determinantes dos pulsos podem ser naturais e intrínsecos ao sistema, ou ter natureza extrínseca, induzidos por fatores externos ao sistema, tanto naturais como de origem antropogênica (JUNK & WANTZEN, 2010).

Os sistemas lóticos são altamente dependentes dos sistemas terrestres por onde atravessam (SIOLI, 1975) e as trocas laterais entre as áreas inundáveis e o canal do rio atuam como moduladores do fluxo de energia, da proporção entre componentes suspensos e dissolvidos na água da reciclagem de nutrientes, das características físico-químicas, e por consequência, do funcionamento das teias alimentares tanto no rio como nas áreas inundáveis.

O rio Madeira é o principal afluente do rio Amazonas e o 4º maior rio do planeta em termos de vazão, atrás somente do próprio rio Amazonas, Congo e Orinoco (LATRUBESSE *et al*, 2005). A bacia hidrográfica do rio Madeira, abrange uma área de 1,5 milhões de km nos territórios do Peru, Bolívia e Brasil e contribui com cerca de 50% do sólidos em suspensão transportados pelo rio Amazonas, algo entre 600 e 248 Mt/ano. Esta enorme carga de sedimentos regula toda a dinâmica biológica das grandes áreas alagadas de várzea ao longo dos rios Madeira e Amazonas.

Os pulsos de inundação são determinados pelo regime climático e geomorfológicos (HAMILTON *et al*, 2002) que apresentam marcante dinâmica sazonal refletida em uma ampla variabilidade na altura do nível d'água. Nas áreas tropicais a precipitação pluviométrica é principal fator determinante da sazonalidade e provavelmente o elemento mais variável (McGREGOR & NIEUWOLT, 1998). Já a dinâmica sazonal e o regime hidrológico do rio Madeira são determinados também pelo degelo das geleiras nos contrafortes andinos da Bolívia e Peru. Considerando-se a extensão das áreas tropicais conclui-se que ainda é limitado o grau de conhecimento sobre os rios tropicais e a informação produzida sobre o assunto (LATRUBESSE *et al.*, 2005).

O rio Amazonas é o maior rio do planeta com uma bacia de aproximadamente 6 milhões de Km<sup>2</sup> e uma vazão média de 209.000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (MOLINIER *et al.*, 1993). O rio Madeira é o principal tributário da margem direita (parte sul) da bacia amazônica. Com a nascente na parte leste da cordilheira dos Andes, no Peru e na Bolívia, ele drena 1,4 milhões de Km<sup>2</sup> e tem uma vazão média de 31.200 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (MOLINIER *et al.*, 1993). O

rio Madeira apresenta uma morfologia complexa, alternando trechos rápidos com trechos de planície é um dos sistemas sobre o qual empreendimentos hidroenergéticos estão sendo planejados e implementados.

Com os crescentes problemas envolvidos com a qualidade e quantidade de recursos hídricos, sobretudo para abastecimento público, geração de energia hidroelétrica e manutenção das comunidades, torna-se cada vez mais necessário o gerenciamento integrado e otimizado dos recursos. As demandas crescentes de água para os usos múltiplos conflitantes torna indispensável a utilização de ferramentas adequadas para lidar com problemas complexos, grandes e não estruturados. A tomada de decisões a respeito de sistemas de recursos hídricos deve considerar para sua efetividade aspectos hidrológicos, ambientais e sociais, mutáveis no tempo e associados a incertezas de difícil quantificação.

A minimização de impactos e o manejo adequado de recursos hídricos depende de um conhecimento aprofundado sobre as variáveis de estado, sobre os processos funcionais e as multifacetadas interações entre os componentes bióticos e abióticos. Na bacia Amazônica, alguns estudos abrangentes tem sido realizados principalmente no rio Solimões/Amazonas (MEADE R. H., 1985), mas há também estudos relevantes nos tributários de maior porte, incluindo o rio Madeira (MARTINELLI *et al.*, 1993; GUYOT *et al.*, 1999).

A implantação de empreendimentos hidrelétricos depende da construção de barragens e da criação de reservatórios artificiais, necessários para manter um volume de água suficiente para gerar energia de forma contínua, atenuando os efeitos de variações naturais no nível d'água. Uma das principais conseqüências desse processo é a transformação da paisagem com a formação do reservatório, que causa a modificação das características ecológicas com a perda e criação de novos nichos. Este processo pode acarretar impactos sociais e ambientais. Dentre os impactos ambientais previstos, um dos mais enfocados é a perda potencial de biodiversidade, devido ao alagamento de áreas naturais, introdução de novas espécies oportunistas e a conseqüente modificação nas características dos habitats resultantes. Desta forma os estudos prévios das condições limnológicas e da diversidade biológica local permitem avaliar as modificações decorrentes da alteração do ecossistema.

O estudo das comunidades planctônicas também é de fundamental importância para o entendimento da dinâmica limnológica. O zooplâncton é formado por uma

diversidade de grupos taxonômicos com morfologia, estratégias reprodutivas e hábitos alimentares diversificados (PENNAK, 1957) e desempenham um importante papel com elo entre os produtores primários e os níveis tróficos superiores.

Informações sobre a distribuição da biomassa através de organismos de diferentes classes de tamanho permitem unificar atributos estruturais e funcionais das comunidades planctônicas. Dessa maneira a distribuição da biomassa em classes de tamanho é uma forma de combinar a informação de toda a comunidade planctônica de maneira padronizada permitindo comparações temporais, espaciais e entre diferentes ecossistemas, mesmo quando a composição taxonômica difere notadamente entre os sistemas (GAEDKE, 2004).

Um fundamento da implicação do tamanho do organismo nas taxas de uso de energia, produtividade e ciclagem de nutrientes, ao nível de população, comunidades e ecossistemas vem da Teoria Alométrica (CYR & PACE, 1993). As relações alométricas descrevem interdependência do tamanho dos organismos com as características e funções biológicas que já estão bem estabelecidas na literatura fisiológica e ecológica. Como os pequenos organismos têm uma maior taxa metabólica por unidade de massa do que os grandes, as taxas fisiológicas de organismos de diferentes tamanhos são acumuladas para determinar as taxas ecológicas da população, das comunidades e dos ecossistemas. Tanto o tamanho, como a abundância dos organismos, afetam as taxas da comunidade. Comunidades com baixa biomassa devem ter menores taxas ecológicas, mas essas taxas podem ser afetadas pelo tamanho dos organismos nas diferentes comunidades (CYR & PACE, 1993).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 - Objetivos gerais**

- Avaliar em tempo real as alterações da qualidade da água, a montante e a jusante cachoeira de Santo Antonio durante um ciclo hidrológico completo.
- Analisar 51 variáveis físicas e químicas do rio Madeira, nos 7 períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.
- Analisar a estrutura da comunidade zooplanctônica do rio Madeira em relação à composição taxonômica, abundância e diversidade.

### **2.2 - Objetivos específicos**

- Avaliar as em curtos intervalos de tempo as alterações na temperatura, condutividade, pH, oxigênio, turbidez e sólidos dissolvidos durante um ciclo hidrológico completo em duas estações de monitoramento
- Estudar o ciclo nictemeral de variáveis físicas e químicas da água dos períodos de águas altas e águas baixas.
- Analisar as alterações temporais de 51 variáveis físicas e químicas do rio Madeira, nos 7 períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.
- Identificar ocorrência de gradientes espaciais em oito estações de coleta distribuídas em um trecho de 300 km do médio e baixo rio Madeira,
- Avaliar a durante sete períodos hidrológicos e alterações espaciais e temporais da estrutura da comunidade planctônica ao longo do rio Madeira.
- Relacionar as variações na diversidade, abundância e distribuição da comunidade zooplanctônica em relação às variáveis físicas e químicas da água.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Área de Estudo

O trecho de estudo se estende por cerca de 300 Km no rio Madeira, no Estado de Rondônia, compreendido abaixo da cachoeira de Jirau até cerca de 20 Km a jusante da foz do rio Jamarí. A cachoeira de Santo Antonio localiza-se na porção média deste trecho e é o local selecionado para a construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio do Madeira, nas proximidades da cidade de Porto Velho.

Para execução dos trabalhos de campo foram estabelecidas 8 estações distribuídas ao longo do rio Madeira sendo cinco localizadas a montante da Cachoeira de Santo Antonio e três a jusante ( Figura 1).

Pelas suas características físicas, pode-se dividir o curso total do sistema hidrográfico do Madeira em três trechos distintos (FURNAS, 2005):

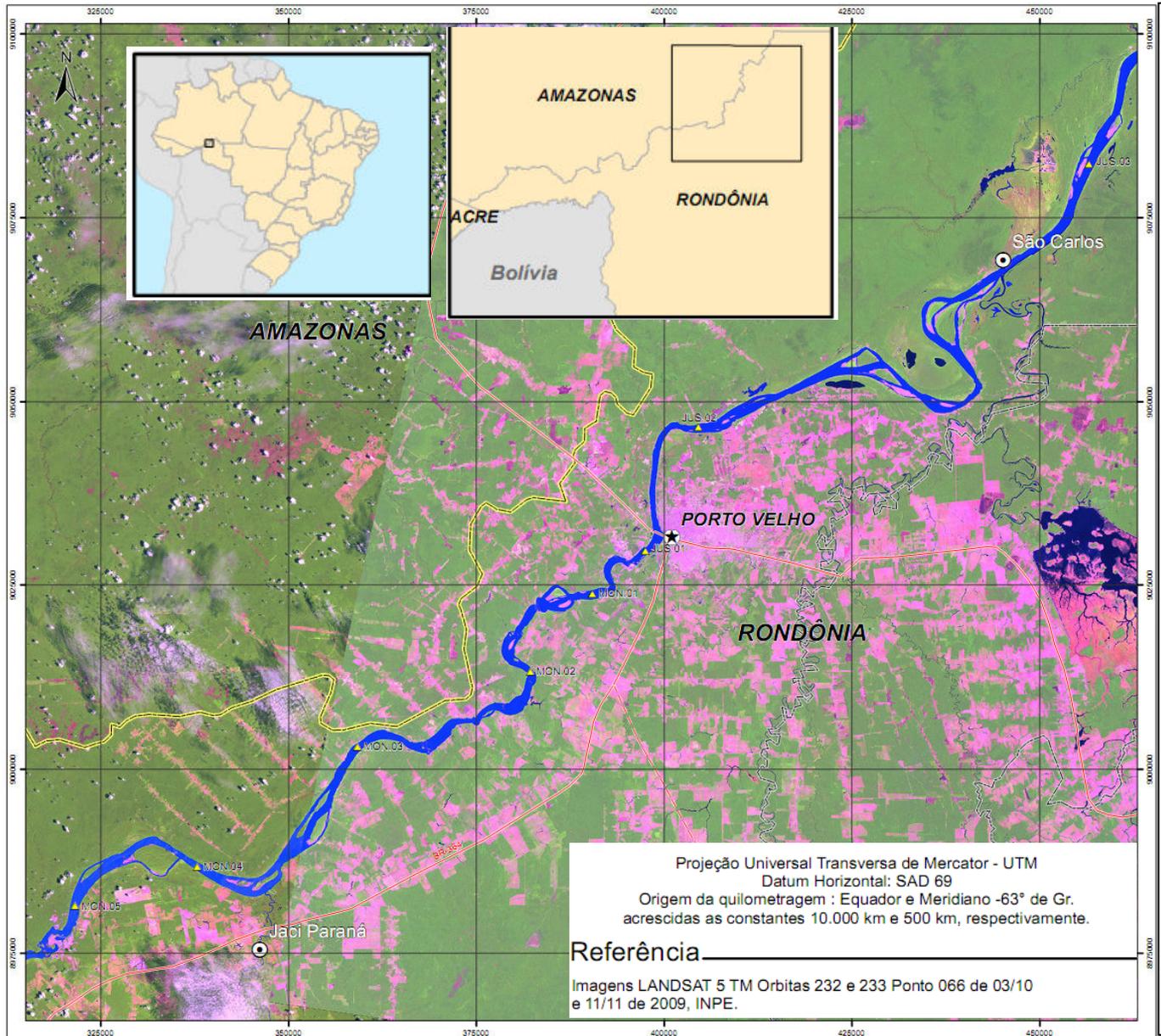
- Alto Madeira, constituído praticamente pelos formadores;
- Médio Madeira, incluindo o trecho das cachoeiras, entre Guajará Mirim e a cachoeira de Santo Antônio;
- Baixo Madeira, da cachoeira de Santo Antônio até a foz

Denomina-se Alto Madeira a grande ramificação dos seus formadores, sendo difícil determinar qual destes pode ser considerado como o tronco principal do rio Madeira. O maior em comprimento é o rio Mamoré, porém o mais caudaloso é o rio Beni. Todos eles nascem em altitudes elevadas e correm inicialmente com acentuada declividade em leitos encachoeirados. Descendo aos terrenos planos, tornam-se tortuosos, com aumentos locais de declividade decorrentes da presença de pequenas corredeiras, bancos de areia e ilhas de aluvião que diminuem as suas seções transversais.

O Médio Madeira, no trecho das cachoeiras inicia-se logo a jusante da cidade de Guajará-Mirim e termina a montante de Porto Velho, na cachoeira de Santo Antônio. O comprimento deste trecho, é da ordem de 360 km, com um desnível total de 70 m, ao longo do qual apresenta 18 cachoeiras ou corredeiras. O trecho do médio Madeira monitorado no presente trabalho, que vai de jusante da cachoeira de Jirau à cachoeira de Santo Antônio apresenta cachoeiras importantes como a de Morrinhos e o Salto do Teotônio.

O Baixo Madeira inicia-se na cachoeira de Santo Antônio e estende-se até sua foz, no

rio Amazonas. A extensão desse trecho é da ordem de 1.100 km, com um desnível total aproximado de 19 m.



**Figura 1** Mapa da trecho estudado do Rio Madeira, indicando os pontos estabelecidos para as medidas pontuais de variáveis físicas e químicas e para as coletas de amostras de zooplâncton realizadas trimestralmente no período de junho de 2009 a janeiro de 2011

O código, uma descrição sucinta e as coordenadas geográficas de cada uma das estações - ordenadas de montante a jusante - são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Vista geral e descrição da localização das estações de coleta, com os códigos de identificação e as coordenadas geográficas

	Descrição	
<b>MON.05</b>	Rio Madeira, cerca de 20 km a jusante da cachoeira Jirau 9°12'39.10" S 64°37'15.97" W	
<b>MON.04</b>	Rio Madeira, cerca de 10 km à montante da foz do rio Jaci-Paraná 9°10'25.40" S 64°28'39.60" W	

<b>MON.03</b>	Rio Madeira, 24 km a jusante da desembocadura do rio Jaci-Paraná 9°01'39.20" S 64°16'44.10" W	
<b>MON.02</b>	Rio Madeira, cerca de 10 km a montante da Cachoeira de Santo Antônio 8°55'36.10" S 64°04'56.90" W	
<b>MON.01</b>	Rio Madeira, cerca de 8,5 km a montante da Cachoeira de Santo Antônio 8°50'31.50" S 63°59'42.30" W	

<p><b>JUS.01</b></p>	<p>Rio Madeira, cerca de 3 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio        8°47'17.50" S 63°55'53.70" W</p>	
<p><b>JUS.02</b></p>	<p>Rio Madeira, cerca de 25 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio        8°38'34.95" S 63°51'00.98" W</p>	
<p><b>JUS.03</b></p>	<p>Rio Madeira, cerca de 20 km à jusante da desembocadura do rio Jamari        8°18'33.22" S 63°23'32.77" W</p>	

Predomina na região o Clima Tropical Chuvoso (Aw de acordo com a classificação de Köppen) com média de temperatura do ar superior a 18°C durante o mês mais frio, e um período seco bem definido durante a estação de inverno. O clima caracteriza-se por apresentar uma homogeneidade espacial e sazonal da temperatura

média do ar, e uma variabilidade temporal em relação à precipitação pluviométrica (Gama da Silva M.J., 2009).

Ocasionalmente nos meses de junho, julho e/ou agosto pode-se observar o fenômeno denominado de "Friagem" que ocorre sob a influência de anticiclones formados em altas latitudes e atravessam a Cordilheira dos Andes em direção ao sul do Chile. Alguns destes anticiclones são excepcionalmente intensos, condicionando a formação de aglomerados convectivos que intensificam a formação dos sistemas frontais na região Sul do País. Durante estes meses as temperaturas mínimas do ar podem atingir valores inferiores à 10 °C.

Os principais fenômenos atmosféricos que atuam na região são: as Altas Convecções diurnas (água evaporada no local e a evapotranspiração resultante do aquecimento das superfícies das águas, florestas e vegetação), associadas aos fenômenos atmosféricos de larga escala: a Alta da Bolívia - AB (anticiclone que se forma nos altos níveis da atmosfera (200 hPa) durante os meses de verão e situa-se sobre o altiplano boliviano), a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e as Linhas de Instabilidade - LIs (conglomerados de nuvens cumulonimbus que se forma na costa norte – nordeste do oceano Atlântico, devido a circulação da brisa marítima).

O regime hidrológico do rio Madeira, fortemente influenciado pelo clima da região Andina do leste da Bolívia, é caracterizado por uma sazonalidade bem definida. A variação entre o pico de água alta e água baixa oscila entre 15,4 e 21,8 metros (Goulding et al., 2003). O volume de água do Madeira é elevado com descarga anual média foi estimada em 29.000 m<sup>3</sup>/s na foz, com valores máximos de 40.000 m<sup>3</sup>/s na cheia e mínimos de 4.000 m<sup>3</sup>/s na vazante (Ferreira et al., 1988). Segundo FURNAS (2005), o regime fluvial e sedimentológico do rio Madeira é uma síntese do regimes de seus formadores. O rio Beni e o rio Madre de Dios (seu principal tributário), são considerados os principais controladores da geoquímica do rio Madeira, pois carregam as maiores cargas de sedimentos. O rio Guaporé, caracterizado como um rio de água clara por drenar a porção sul do Escudo Brasileiro e as terras baixas bolivianas (leste), não apresenta elevada carga de material em suspensão; portanto, perfaz a menor contribuição (53-161 toneladas/dia) (De Paula, 1990).

As chuvas torrenciais e intensas que ocorrem nos contrafortes andinos determinam a ocorrência de ondas de cheia localizadas, um fenômeno pouco relatado e conhecido regionalmente como “repiquete”. Tanto nos períodos de vazante como nos

de enchente ocorrem inversões rápidas nas tendências de subida ou de baixa do nível do rio Madeira com duração de 1 a 6 dias após os quais as águas voltam a seguir a tendência natural. Esses fenômenos provocam oscilações na cota de até 1 metro.

## **3.2 - Climatologia e Hidrologia**

### **3.2.1 - Temperatura do ar e Precipitação Pluviométrica**

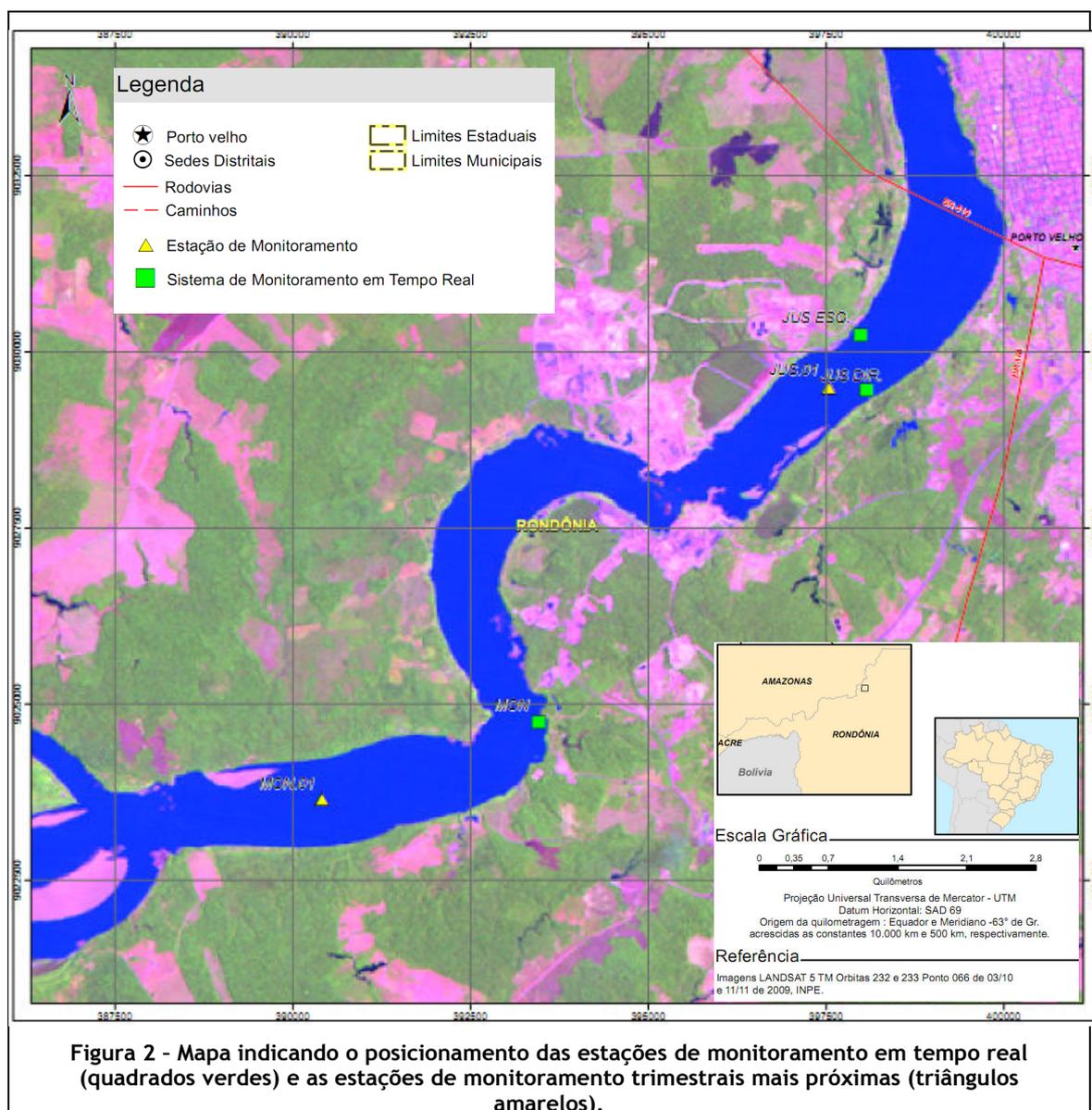
Os resultados de temperatura do ar foram obtidos na estação climatológica de Porto Velho Synop ("Surface Synoptic Observations", ou Observações Sinóticas à Superfície"), estação SBPV, com os dados obtidos a partir do portal do CPTEC/INPE(BDM- Banco de dados meteorológicos).

### **3.2.2 - Cota e Vazão**

Os dados de cota e de vazão do rio Madeira foram obtidos junto à Agência Nacional da Água (ANA) na estação de Porto Velho (Estação 15400000).

## **3.3 - Monitoramento de Variáveis Físicas e Químicas da Água em Tempo Real**

Duas estações de registro contínuo de variáveis físicas e químicas da água em tempo real foram instaladas próximas às margens do rio Madeira a montante e a jusante da Cachoeira de Santo Antonio, atualmente local do canteiro de obras da Usina Hidroelétrica de Santo Antônio. A estação de montante fica baseada em uma plataforma localizada próxima à margem direita, no limite do canteiro de obras (UTM 394148 L 902688 S), e a de jusante fica na plataforma de captação de estação de tratamento de água do canteiro próximo à margem esquerda (UTM 397974 L e 902924 S, Figura 2).



As variáveis analisadas na subsuperfície, a 30 cm de profundidade, foram: temperatura, condutividade, pH, oxigênio dissolvido e turbidez. Os registros foram realizados a cada 30 minutos e armazenados em “datalogger” e acessados por telefonia celular a partir de um computador portátil.

Foram utilizadas alternadamente quatro sondas multiparâmetros nas estações de montante e jusante, sendo duas utilizadas no monitoramento e duas em manutenção e calibração. As sondas utilizadas foram da marca Yellow Springs, modelos YSI 6820 v2 e YSI 6920 v2 com sensor ótico de oxigênio dissolvido e YSI 6820 v1 e YSI 6600 com sensor de oxigênio polarográfico de pulso rápido. As aferições e calibrações foram feitas com frequência quinzenal, em média.

Os dados foram processados utilizando rotinas desenvolvidas no presente trabalho em ambiente de programação MATLAB (Mathworks). Os ruídos das leituras de condutividade elétrica da água, concentração de oxigênio dissolvido, pH e turbidez foram suprimidos com base no critério de apresentar variações superiores a 4 vezes o desvio padrão dos resultados apresentados no período (“outliers”), eliminando assim dados espúrios, provenientes de mau funcionamento e deriva dos sensores, sem que se elimine resultados extremos que realmente ocorreram no rio Madeira. Para as variáveis que mesmo após a remoção dos “outliers” continuaram apresentando ruído elevado durante alguns períodos foi aplicado um filtro da média móvel de 2 horas para supressão dos sinais não relacionados às leituras reais.

### 3.4 - Periodicidade das Coletas

As campanhas de campo representativas dos períodos de vazante, águas baixas, enchente, águas altas e assim sucessivamente foram realizadas entre os dias 1 a 7 de junho, 2 a 6 de outubro de 2009; 13 a 18 de janeiro; 9 a 18 de abril; 16 a 20 de julho e 4 a 29 de setembro de 2010; e 11 a 16 janeiro de 2011, respectivamente (Figura 3-).

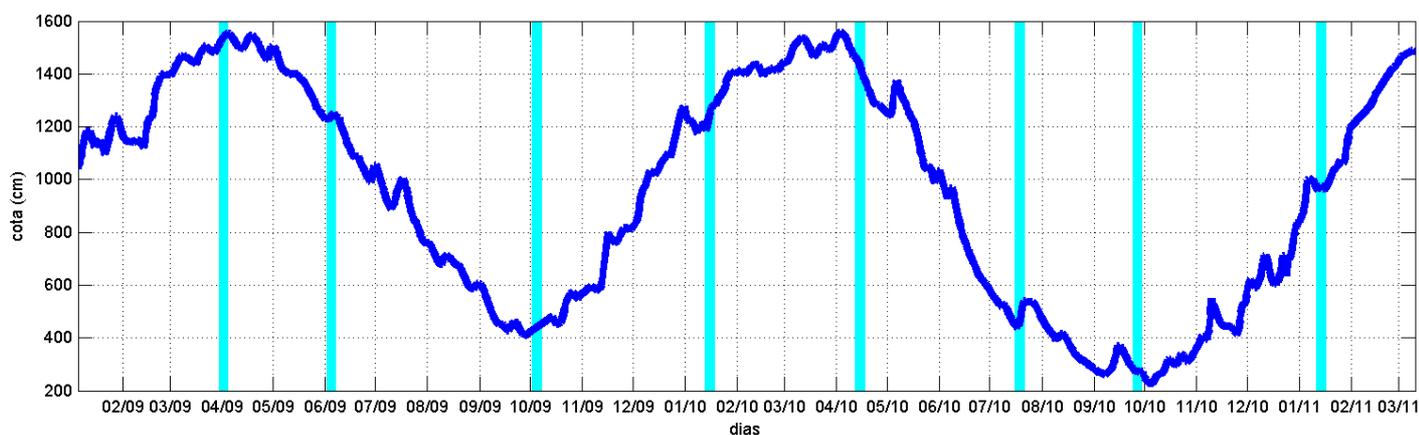


Figura 3- Leituras do limnógrafo do rio Madeira na altura de Porto Velho (curva em azul escuro) com indicação das datas em que foram realizadas as campanhas relativas aos distintos períodos hidrológicos (barras em barras azul claro).

### 3.5 - Coleta e preservação das amostras

As técnicas de coleta e preservação de amostras de água para análises físicas e químicas seguiram os protocolos padronizados e internacionalmente reconhecidos, contidos no “STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER” da APHA (1998) 21ª edição. As técnicas analíticas foram baseadas nas recomendações originárias do Programa Biológico Internacional (IBP) para ambientes aquáticos (GOLTERMAN et al. 1978). Foram considerados, entre outros, os fundamentos técnicos descritos por STRICKLAND & PARSONS (1972), MACKERETH et al. (1978) e WETZEL & LIKENS (2000).

Na Tabela 2 é apresentada uma síntese dos métodos e ou respectivos equipamentos utilizados para a realização das análises, assim como a unidade de medida e limite de detecção do método para cada variável analisada.

**Tabela 2 - Grupos de variáveis limnológicas, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção.**

VARIÁVEIS	Unidade	Método/Equipamento	Limite det.
<b>Físicas</b>			
Temperatura do ar	°C	termômetro comum de Hg	0,1
Profundidade	m	profundímetro	0,1
Transparência	m	disco de Secchi	0,05
Coefficiente atenuação vertical	m <sup>-1</sup>	radiômetro LI-COR / calculado	0,01
Zona eufótica	m	calculado	0,01
Cor	mg Pt/L	espectrofotométrico	0,1
Velocidade de corrente	m/s	fluxômetro	0,1
<b>Físico-químicas</b>			
Temperatura da água	°C	potenciométrico	0,1
Condutividade elétrica	µS/cm	potenciométrico	0,1
Potencial hidrogeniônico (pH)	und	potenciométrico	0,001
Oxigênio	mg/L	potenciométrico	0,01
Turbidez	NTU	Nefelométrico turbidímetro	0,01
<b>Sólidos</b>			
Sólidos em suspensão	mg/L	Gravimétrico entre 103- 105 ° C	0,1
Sólidos totais dissolvidos	mg/L	Gravimétrico a 180° C	0,1
Sólidos totais	mg/L	calculado	0,1
Sólidos fixos	mg/L	evaporação / gravimétrico	0,1
Sólidos voláteis	mg/L	evaporação / gravimétrico	0,1
<b>Químicas</b>			
Demanda bioquímica de oxigênio -DBO <sub>5</sub>	mg/L	Incubação por 5 dias	0,05
Demanda química de oxigênio -DQO	mg/L	método do refluxo fechado /oxidação	0,05
Carbono bioquimicamente oxidado	mg/L	calculado a partir da DBO	0,05
Carbono inorgânico	mg/L	calculado a partir do CO <sub>2</sub> total	0,05
Carbono orgânico total (quimicamente)	mg/L	calculado a partir da DQO	0,05
Carbono total	mg/L	calculado a partir do C orgânico e	0,05
Carbono orgânico refratário	mg/L	C orgânico subtraído do C	0,05
<b>Sistema tampão</b>			
Gás carbônico total	mg/L	titulação potenciométrica com HCl	0,05
Alcalinidade	meq	titulação potenciométrica com NaOH e	0,001
Alcalinidade de bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	titulação potenciométrica com NaOH e	0,05

VARIÁVEIS	Unidade	Método / Equipamento	Limite det.
Dureza	CaCO <sub>3</sub> mg/	titulação	0,05
<b>Íons principais</b>			
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	mg/L	espectroscopia / absorção atômica	0,01
Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	espectroscopia / absorção atômica	0,01
<b>Nutrientes e suas frações</b>			
Nitrogênio amoniacal	µg/L	Espectrofotometria por Nessler	5,0
Nitrito	µg/L	Espectrofotométrico por Diazotação	5,0
Nitrato	µg/L	coluna Cd/espectrofotométrico	5,0
Nitrogênio inorgânico dissolvido	µg/L	espectrofotométrico	5,0
Nitrogênio total dissolvido	µg/L	digestão com persulfato /	5,0
Nitrogênio total	µg/L	digestão com persulfato /	5,0
Nitrogênio orgânico dissolvido	µg/L	espectrofotométrico	5,0
Nitrogênio orgânico total	µg/L	digestão com persulfato /	5,0
Nitrogênio particulado	µg/L	digestão com persulfato /	5,0
Ortofosfato	µg/L	espectrofotométrico	5,0
Fósforo total dissolvido	µg/L	digestão com persulfato /	5,0
Fósforo total	µg/L	digestão com persulfato /	5,0
Fósforo orgânico dissolvido	µg/L	espectrofotométrico	5,0
Fósforo orgânico total	µg/L	espectrofotométrico	5,0
Fósforo particulado	µg/L	digestão com persulfato /	5,0
Silicatos reativos		molibdato de Na / espectrofotométrico	0,05
Ferro dissolvido	mg/L	fenantrolina / espectrofotométrico	0,05
Ferro total	mg/L	fenantrolina / espectrofotométrico	0,05

### 3.6 - Variáveis físicas e químicas

#### 3.6.1 - Transparência

A transparência da água foi determinada pela leitura do desaparecimento visual do Disco de Secchi, utilizando-se um Disco padrão, branco, com 0,30 m de diâmetro e cabo com calibrações métricas. Para se calcular a extensão da zona eufótica (aproximadamente 1% da luz incidente na superfície), multiplicou-se o valor médio da transparência da água, obtido pela visibilidade do Disco de Secchi, pelo coeficiente empírico igual a 2,7 (MARGALEF, 1983).

#### 3.6.2 - Potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, concentração de oxigênio dissolvido e temperatura da água

A medida das variáveis físicas e químicas: pH, condutividade elétrica da água, concentração de oxigênio dissolvido, turbidez e temperatura da água foram realizadas “in situ” em toda a coluna d’água, utilizando-se uma sonda multi-parâmetros marca Yellow Springs, modelo YSI-6920.

### **3.6.3 - Concentração de nutrientes**

As amostras de água para as análises das formas de fósforo e de nitrogênio (totais e dissolvidos) foram coletadas utilizando-se uma garrafa vertical, de cinco litros, do tipo Van Dorn, para coleta na superfície, meio e fundo da coluna d'água. Essas amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno e congeladas até a análise. No laboratório uma parte de cada amostra foi filtrada em filtro de microfibras de vidro da marca GF/C Whatman, com 47 mm de diâmetro e 1,2 µm de porosidade, para reter o material particulado. As concentrações dos principais nutrientes presentes na água foram determinadas através de espectrofotometria segundo as metodologias descritas por Golterman et al. (1978) e Mackereth et al. (1978).

### **3.6.4 - Concentração de material em suspensão**

Para as determinações da concentração do material em suspensão foi utilizada a técnica gravimétrica descrita em Teixeira et al. (1965). Logo após a coleta foi filtrado um volume determinado da amostra, com o auxílio de uma bomba de sucção a vácuo, em filtros de microfibras de vidro, GF/C previamente calcinados em mufla a 450°C, por ½ hora, e pesados em seguida para determinação do peso inicial do filtro. Os filtros foram secos em estufa por 24 horas a 60°C, até atingirem pesos constantes, transferidos para dessecador e posteriormente pesados em balança analítica da marca KERN – modelo: 410 (precisão de 10<sup>-4</sup> g), determinando-se assim o peso final. Para determinação da quantidade de material suspenso foi calculada a diferença entre o peso final do material particulado suspenso e o peso inicial do filtro. Os filtros foram novamente calcinados em mufla a 450°C durante 1 hora, resfriados e transferidos para um dessecador por no mínimo uma hora e pesados novamente para determinação do peso das cinzas. A diferença entre os pesos do material suspenso e o das cinzas representa o conteúdo de matéria orgânica. A matéria inorgânica então foi calculada pela diferença entre os pesos do material em suspensão total e o peso da matéria orgânica.

### **3.7 - Variáveis biológicas**

#### **3.7.1 - Comunidade zooplanctônica**

Para a análise da comunidade zooplanctônica as amostras foram obtidas com o auxílio de uma bomba elétrica, coletando-se cerca de 200 litros de água na sub-superfície e nas profundidades determinadas. Os organismos foram filtrados em uma rede de plâncton de 68 µm de abertura de malha. O material coletado foi mantido em frascos de polietileno e fixado em solução de formaldeído a 4%, tamponada com carbonato de cálcio. No laboratório as amostras foram concentradas em um volume conhecido (75 mL).

A composição taxonômica da comunidade zooplanctônica foi analisada sob microscópio estereoscópico e microscópio óptico. As densidades das espécies foram estimadas (em indivíduos.m<sup>-3</sup>) por meio da contagem, da densidade numérica em câmaras de Sedgewick-Rafter (Protozoa e Rotifera) e de contagens de sub-amostras de volumes variáveis em placas de acrílico sob microscópio estereoscópico para náuplios e táxons mais abundantes e a contagem da amostra total para os táxons mais raros. Assim, em cada amostra, sub-amostras foram analisadas até que nenhuma nova espécie fosse encontrada. A riqueza de espécies foi obtida pelo número de espécies presentes em cada amostra.

As identificações taxonômicas foram feitas de acordo com bibliografia especializada (SANTOS-SILVA, 1998; SANTOS-WISNIEWSKI et al., 2001; ELMOOR-LOUREIRO, 1998; ELMOOR-LOUREIRO, L.M.A. e SOARES, 2010; SUÁREZ-MORALES et al. 2005; SEGERS, 2007; NEGREIROS et al. 2011; GOMES e SOUZA, 2008).

### **3.8 - Índice de Estado Trófico**

O cálculo do índice de estado trófico (IET) foi calculado por dois modelos, o primeiro com base nas concentrações de fósforo total, utilizando-se a fórmula proposta por LAMPARELLI (2004):

$$\text{IET} = 10 \cdot (6 - ((0,42 - 0,36 \cdot (\ln \cdot \text{PT}) / \ln 2))), \text{ onde o fósforo total (PT) é expresso em } \mu\text{g/L}.$$

O trecho analisado do rio Madeira foi classificado em diferentes classes de estado trófico de acordo com as pontuações estabelecidas para este índice nos diferentes períodos hidrológicos juntamente com as características gerais dos corpos de água Tabela 3.

Tabela 3 - Pontuações para o Índice de estado Trófico de rios, Classe de trófia e características principais dos corpos de água. Fontes: CETESB (2007); LAMPARELLI (2004)

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características
= 47	Ultraoligotrófico	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
47 < IET = 52	Oligotrófico	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
52 < IET = 59	Mesotrófico	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
59 < IET = 63	Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
63 < IET = 67	Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos
> 67	Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com conseqüências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

### 3.8.1 - Biomassa Zooplanctônica

A biomassa zooplanctônica foi estimada utilizando-se equações previamente estabelecidas para a relação peso/comprimento dos indivíduos de acordo com as fórmulas disponíveis na literatura para cada grupo planctônico (DUMONT et al., 1975; BOTTRELL et al., 1976), ou a partir de medidas das dimensões lineares dos organismos e cálculo de seus biovolumes.

### 3.8.2 - Curva ABC ou curva de comparação Abundância/Biomassa

Os padrões de dominância em peso (biomassa) ou abundância das espécies zooplancônicas no rio Madeira foram analisados com base nas curvas de k-dominância (curvas ABC), utilizando os valores de abundância e biomassa cumulativos de cada espécie para os sete períodos hidrológicos amostrados de acordo com a metodologia proposta por Warwick (1986, apud MAGURRAN, 2007).

Segundo Warwick (1986), em ambientes não perturbados uma ou duas espécies podem ser dominantes em termos de biomassa, e este fato tem o efeito de elevar a curva de biomassa em relação à curva de abundância (A). Por outro lado, em comunidades fortemente perturbadas são geralmente encontradas poucas espécies, contudo com elevado número de indivíduos. Essas espécies têm geralmente pequeno tamanho de corpo, não sendo assim dominantes em biomassa (C). Em tais circunstâncias a curva de abundância fica acima da curva de biomassa. Condições intermediárias são caracterizadas por curvas que se sobrepõem e podem se cruzar várias vezes (B) (Figura 4).

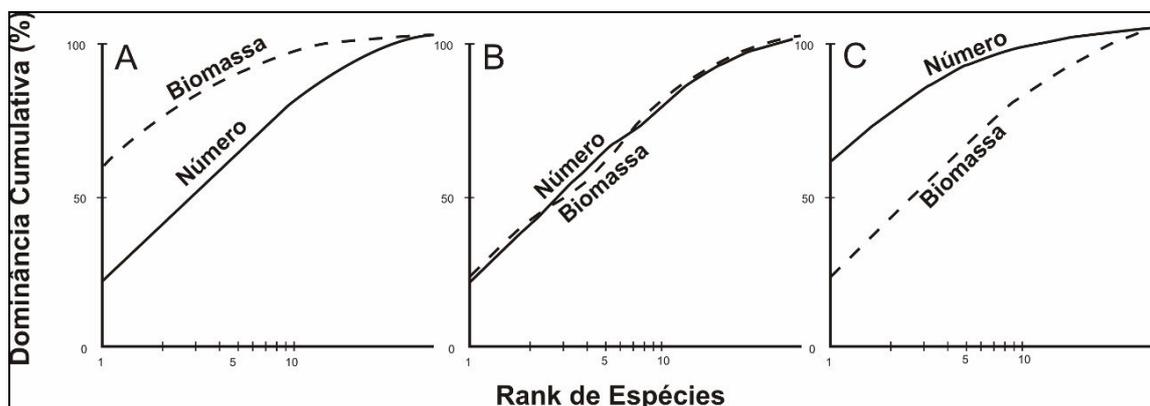


Figura 4 - Curvas hipotéticas de k-dominância para a biomassa e o número de espécies, com (A) representando condições não poluídas; (B) representando condições moderadamente poluídas e (C) condições fortemente poluídas. Fonte: França, 2010, modificado de Magurran, 2007.

A estatística W é geralmente utilizada para simplificar a interpretação dos resultados obtidos com base nas curvas ABC. De acordo com o modelo proposto quando há dominância em biomassa os valores de W são positivos, e quando ocorre dominância do número de indivíduos, os valores são negativos (CLARKE, 1990 apud MAGURRAN, 2007). O modelo proposto é apresentado a seguir:

$$W = \Sigma (B_i - A_i) / [50(S-1)]$$

onde:  $B_i$  = valor de biomassa de cada seqüência de espécies ( $i$ ) na curva ABC;  $A_i$  = valor da abundância de cada seqüência da espécies ( $i$ ) na curva ABC e  $S = n^\circ$  de espécies.

Interpretação: Se a curva da biomassa situa-se consistentemente acima da curva de abundância o valor de  $W$  será positivo e corresponderia a uma comunidade não perturbada. Em contraste, se o valor é negativo isto indicaria a existência de uma comunidade fortemente perturbada, onde a curva do número de indivíduos situa-se acima daquela de biomassa. Curvas que se sobrepõem resultam em valores de  $W$  próximos a zero e indicam a ocorrência de distúrbio moderado. O valor de  $W$  varia de -1 a 1.

### 3.9 - Análise dos dados

#### 3.9.1 - Índice de diversidade

Para comparação da diversidade de espécies da comunidade zooplanctônica entre as estações de coleta no rio Madeira e entre os períodos hidrológicos amostrados foram calculados os Índices de Diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e o índice de Simpson (Magurran, 2007), de acordo com as seguintes fórmulas:

1. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ):

$$H = -\sum_i \frac{n_i}{N} \log\left(\frac{n_i}{N}\right), \text{ onde:}$$

$n_i$  = valor de importância de cada espécie;

$N$  = total dos valores de importância.

2. Índice de Dominância ( $D'$ ):

$$H = 1 - \sum_i \left(\frac{n_i}{N}\right)^2, \text{ onde:}$$

$n_i$  = valor de importância de cada espécie (números, biomassa, etc.);

$N$  = total de valores de importância.

3. Índice de Uniformidade de Pielou ( $J'$ ):

$$J = H' * H'_{\text{máx}}^{-1}, \text{ onde:}$$

$H'$  = índice de diversidade de Shannon-Wiener

$H'_{\text{máx}} = \text{Log}S$

### **3.9.2 - Análise estatística**

O índice de agrupamento do tipo Cluster foi aplicado para comparar a similaridade na composição taxonômica da comunidade zooplanctônica entre os oito pontos amostrados no rio Madeira, com a medida de similaridade de Bray-Curtis (MAGURRAN, 1989) como coeficiente de associação e método do tipo UPGMA (média de grupo).

A distribuição das variáveis físicas, químicas e da variável biológica clorofila foi avaliada por meio de Análise de Componentes Principais (PCA). A análise de Correspondência Canônica (CCA) foi aplicada para verificar a correspondência espacial entre os parâmetros ambientais e a densidade e biomassa da comunidade zooplanctônica.

O nível de significância das relações obtidas entre os parâmetros ambientais e a densidade dos grupos zooplanctônicos foi avaliado utilizando-se o Teste de Monte Carlo, com 999 permutações randômicas, e valor de p menor ou igual a 0,5 ( $p \leq 0,5$ ). As análises de componentes principais (PCA) e Correspondência Canônica (CCA) foram realizadas pelo programa R.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Climatologia

#### 4.1.1 - Temperatura do Ar

Durante o período de estudo as temperaturas média do ar foi de  $25,5 \pm 3,62$  °C. A temperatura variou entre o valor mínimo de 13,6 °C registrado em 18/07/10, e o valor máximo de 37,2 °C registrado nos dias 20/08/10 e 29/09/10 (Figura 5).

No período analisado, fenômenos do tipo “friagem” foram observados em seis ocasiões, nos dias: 25/07/2009 e 26/07/2009; 12/05/2010 e 13/05/2010; 03/07/2010; 17/07/2010, 18/07/2010 e 19/07/10; 07/08/2010 e 16/08/2010. Durante estes 6 eventos as temperaturas atingiram valores inferiores a 18 °C. Observa-se que as friagens ocorreram com maior frequência no mês de julho. Considerando-se os dados de temperatura do ar registrados nos 21 meses (junho de 2009 a março de 2011) observa-se uma amplitude de variação sazonal de cerca de 7 °C e de variação interanual de cerca de 12 °C (Figura 5).

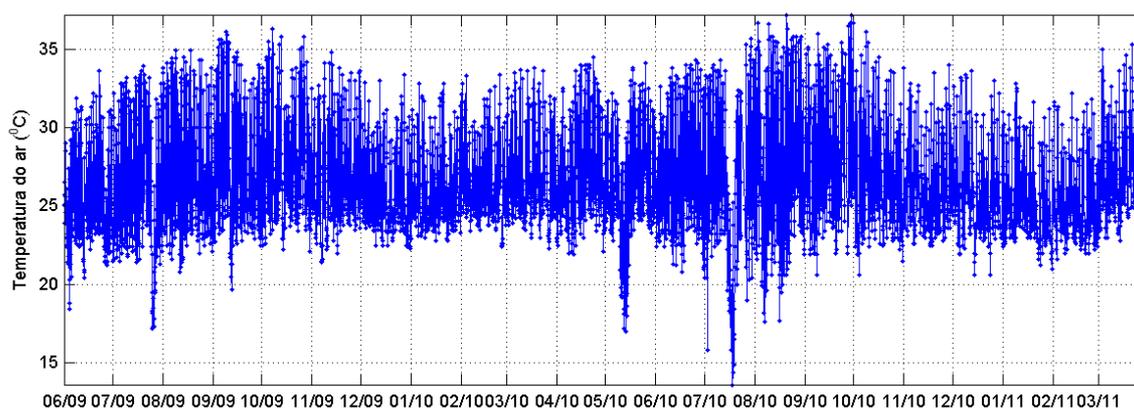


Figura 5 Variações da temperatura do ar na região de Porto Velho no período de 01/06/09 a 22/03/11.

Fonte: BDM - Base de dados meteorológicos- Synop - CPTEC - INPE.

#### 4.1.2 - Precipitação Pluviométrica:

As variações na precipitação pluviométrica no município de Porto Velho são apresentadas na Figura 6. Nesta área a pluviosidade máxima registrada foi de 151 mm no dia 09/06/10. Dentre os 667 dias analisados, em mais de um terço destes (278 dias) não ocorreram chuvas, sendo que os meses de julho, agosto e setembro, os de menor pluviosidade. Ao longo do período estudado foram observadas apenas 10 ocasiões (26/06/2009; 18/10/2009; 07/11/ 2009; 17/12/2009; 31/12/2009; 16/01/2010; 09/06/2010; 07/01/2011; 27/01/2011; 25/03/2011) em que a precipitação pluviométrica foi superior a 60 mm sendo que 7 destas ocorreram no período de dezembro a março, denotando ser este o período de maior pluviosidade.

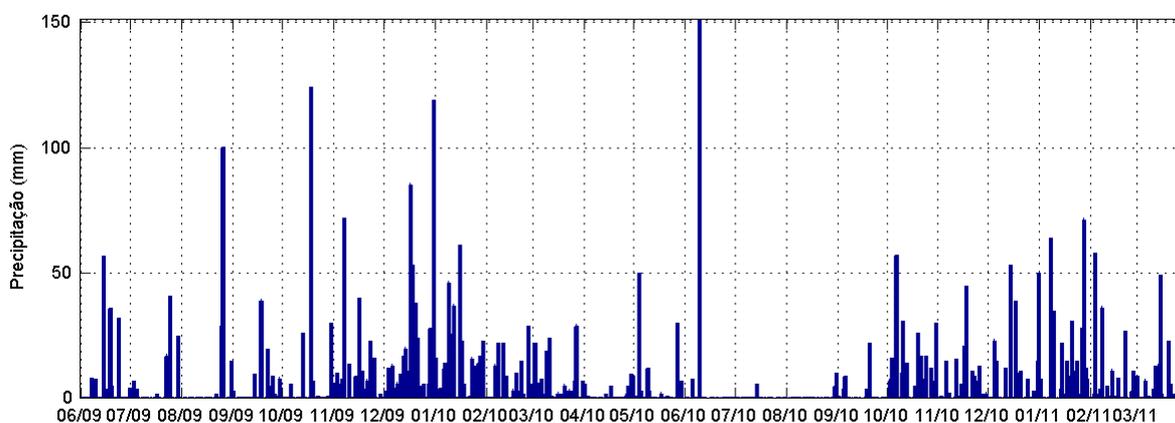


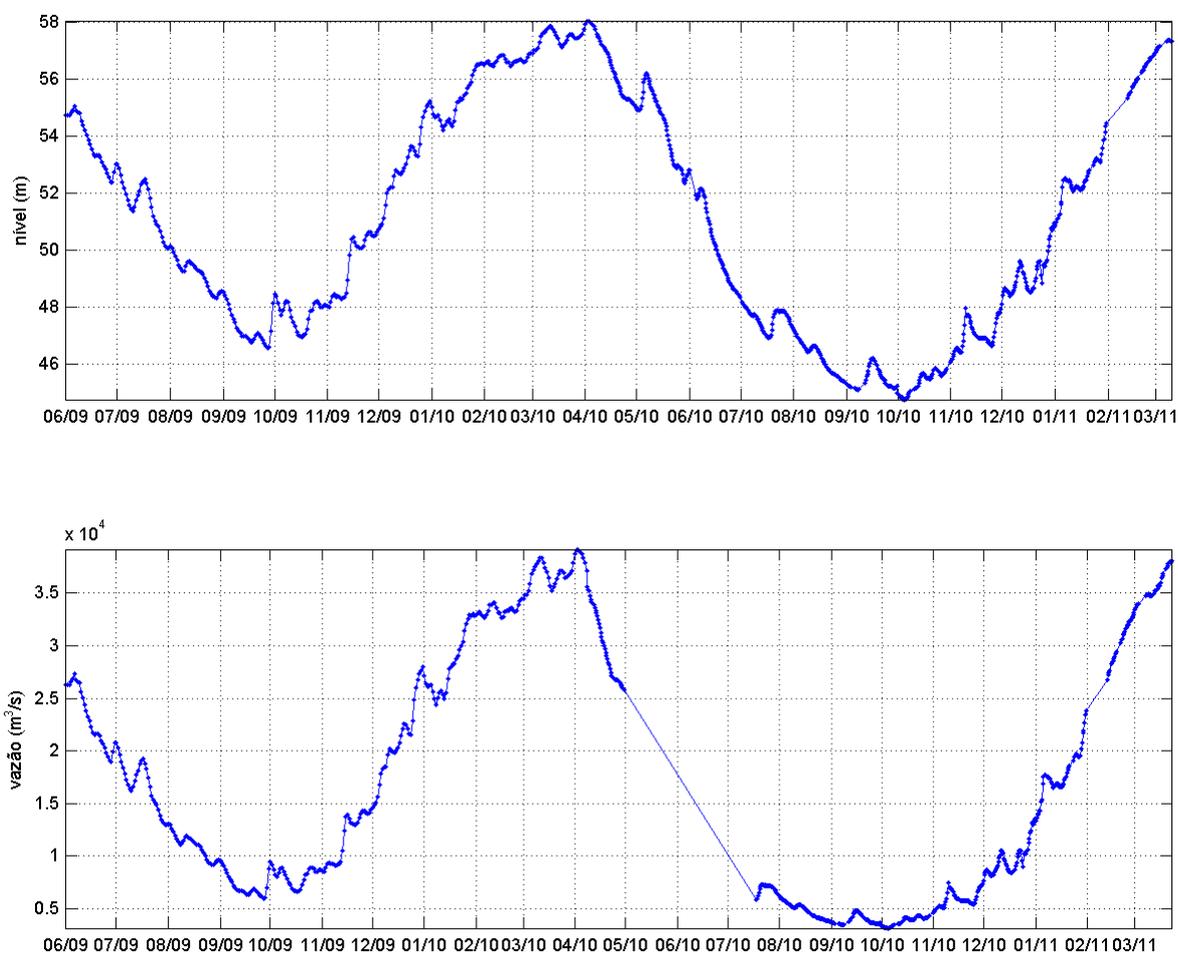
Figura 6 - Variações da Precipitação pluviométrica em Porto Velho no período de 01/06/09 a 22/03/11.

Fonte: BDM - Base de dados meteorológicos- Synop - CPTEC - INPE.

#### 4.2 - Hidrologia

As variações fluviométricas do rio Madeira durante o período de estudo estão representadas na Figura 7. O rio Madeira atingiu o nível máximo em 03/04/10 com a cota de 58 m. O nível mínimo no período analisado foi de 44,7m em 04/10/10. A variação entre o nível máximo e mínimo do rio Madeira foi de 13,3 m. No período de águas baixas de 2009 o nível do rio Madeira chegou aos 46,59 m em 27/09/09, 1,9 m mais alto que no ano de 2010.

A vazão máxima do rio Madeira no período analisado foi de 39172 m<sup>3</sup>/s registrada em 03/04/10 e a mínima foi de 3124 m<sup>3</sup>/s em 04/10/10 (Figura 7B).



**Figura 7** Variações no nível fluviométrico (acima) e na vazão (abaixo) do rio Madeira no período de 01/06/09 a 22/03/11, em Porto Velho, RO.

Fonte: HIDROWEB/ANA, estação 15400000 de Porto Velho).

### **4.3 - Monitoramento em tempo real das variáveis Físicas e Químicas da Água.**

#### **4.3.1 - Temperatura da Água**

Na Figura 8 são apresentados os valores da temperatura da água medidos durante 423 dias de monitoramento em tempo real, compreendendo o período de 23/01/10 a 22/03/11.

A temperatura média da água na estação de montante foi de  $28,05 \pm 1,38$  °C, com máxima de 32,72 °C em 06/07/10 às 13:30 h e mínima de 24,16 observada em 26/07/10 às 06:31 h; Na estação de jusante o valor médio da temperatura da água foi de  $27,91 \pm 1,53$  °C, com valor máximo de 31,67 °C em 08/10/10 às 12:00 h e valor mínimo de 24,23 °C em 26/07/10 às 07:00 h da manhã. Observa-se que as temperaturas máximas e mínimas ocorreram no início e final do mês de julho de 2010, respectivamente, e que a temperatura máxima da estação de montante excedeu em quase 1°C a temperatura da água na estação de monitoramento real a jusante. Instantaneamente não houve variação significativa entre as temperaturas da água medidas nestas duas estações.

#### 4.3.2 - Turbidez

Os registros contínuos e os valores médios diários de turbidez estão representados na Figura 9. O valor médio na estação de montante foi de  $346,9 \pm 266$  NTU, com valor máximo de 1411,0 NTU em 17/02/2010 e mínimo de 16,5 NTU em 12/09/2010, enquanto o valor médio da estação de jusante foi de  $378,2 \pm 271$  NTU com valor máximo de 1497,0 NTU em 17/02/10 e mínimo de 16,8 NTU em 16/09/10. Os valores mais elevados de turbidez ocorreram nos períodos hidrológicos de enchente e de águas altas (janeiro a abril) e valores menores nos meses de águas baixas (agosto a outubro). Pelo menos doze picos consistentes de turbidez foram observados simultaneamente em ambas as estações no período amostrado, sendo que os ocorridos em 17/02/10 e 04/03/10 foram os de maior intensidade, com um aumento de até 600 NTU e duração de cerca de 8 dias. Esses picos de turbidez ocorrem com um pequeno atraso em relação aos pulsos de inundação no rio Madeira, caracterizados por uma queda e aumento repentino do nível do rio em pelo menos 0,5m. Os picos ocorridos em 09/05/10 (395 NTU), 05/06/10 (434 NTU) e 12/06/10 (461 NTU) sugerem que as variações de turbidez encontram-se sincronizadas à variação da cota.

#### 4.3.3 - Condutividade Elétrica da Água e pH

O valor médio de condutividade elétrica da água do rio Madeira na estação de montante foi de  $93,9 \pm 30,1$   $\mu\text{S/cm}$ , com máximo de  $183\mu\text{S/cm}$  em 12/10/10 a partir das 14:30 h e mínimo de  $58 \mu\text{S/cm}$  ao longo do dia 28/01/10; O valor médio na estação de jusante foi de  $87,9 \pm 26$   $\mu\text{S/cm}$ , com valor máximo de  $155 \mu\text{S/cm}$  em 14/08/10 e mínimo de  $58 \mu\text{S/cm}$  em 28/01/10 (Figura 10) .

O valor médio do pH da água do rio Madeira na estação de montante foi de  $7,26 \pm 0,4$ , com valor máximo de 8,4 em 17/10/10 às 15:00 h e mínimo de 6,5 em 21/03/11 às 19:00 h, enquanto que na estação de jusante o valor médio registrado foi de  $7,19 \pm 0,4$ , com máximo de 8,05 em 15/10/10 às 17:00 h e mínimo de 6,54 em 21/03/10 às 22:30 h (Figura 11). O pH da água registrado continuamente no rio Madeira em ambas as estações foi ligeiramente básico e apresentou variações relativamente significativas durante o período de monitoramento, de cerca de duas unidades na escala logarítmica de pH. O pH da água foi mais elevado durante os períodos de águas baixas e mais baixo durante o período de águas altas.

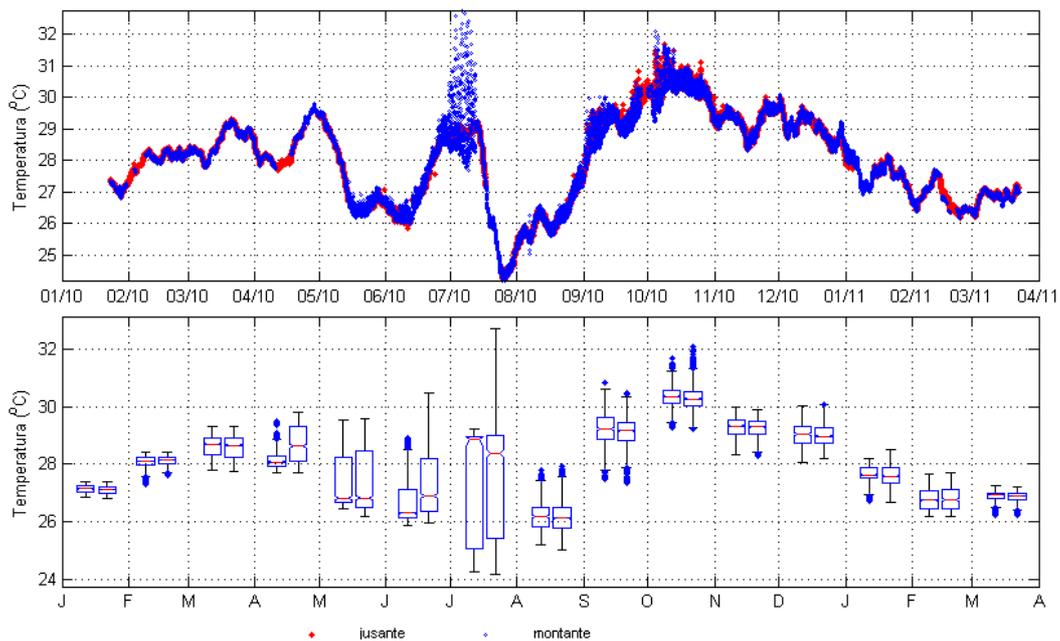
#### **4.3.4 - Concentração de Oxigênio Dissolvido na Água**

A concentração média de oxigênio dissolvido na água do rio Madeira, na estação de monitoramento automático localizada a montante da Cachoeira de Santo Antônio foi de  $7,45 \pm 1,4$  mg/L, com valor máximo de 10,23 mg/L em 29/07/2010 e mínimo de 4,3 mg/L em 19/03/2011. Para a estação de monitoramento automático localizada a jusante da Cachoeira, a concentração média foi de  $7,46 \pm 1,5$  mg/L, com valor máximo de 10,2 mg/L em 31/7/10 às 13:30 h e valor mínimo de 4,3 mg/L em 21/03/10 às 18:30 h (Figura 12).

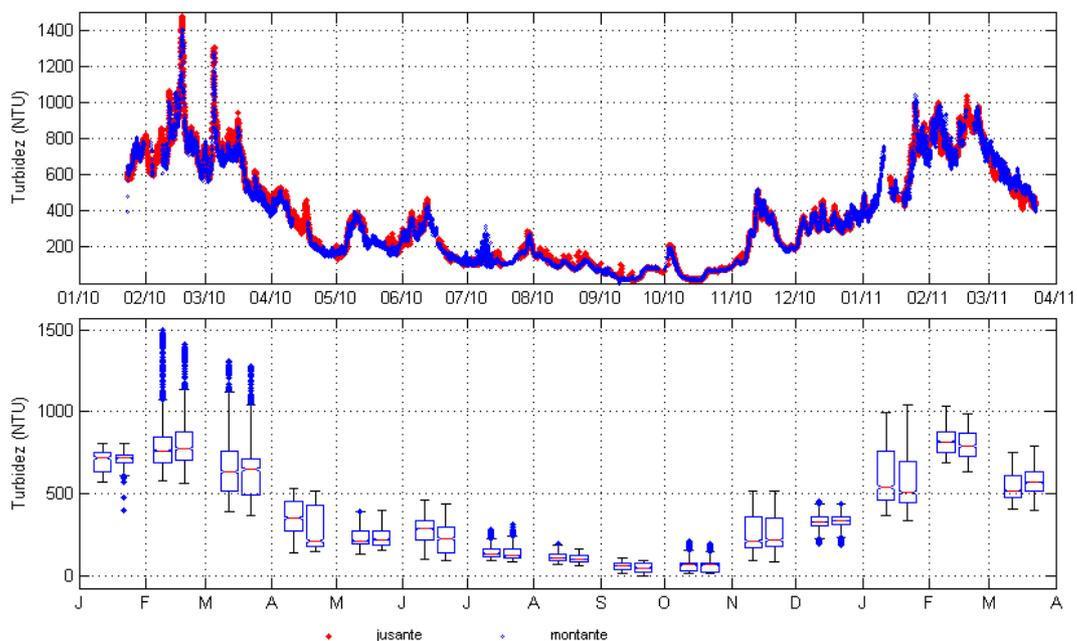
A concentração de oxigênio dissolvido seguiu uma tendência de aumento durante os meses de abril a agosto de 2010 período de vazante foi elevada, próxima aproximadamente à saturação máxima nos meses de outubro a dezembro (período de águas baixas) ocorrendo diminuição a partir de janeiro de 2011, no período de enchente. Foram observadas pequenas diferenças entre as concentrações de oxigênio dissolvido registradas pelas estações de montante e de jusante na maior parte do período de monitoramento, sendo que ora em uma ora em outra foram registradas concentrações ligeiramente mais elevadas. Contudo, nos meses de agosto a novembro, correspondentes aos períodos de águas baixas e enchente ocorreram diferenças mais amplas.

#### **4.3.5 - Sólidos Totais Dissolvidos**

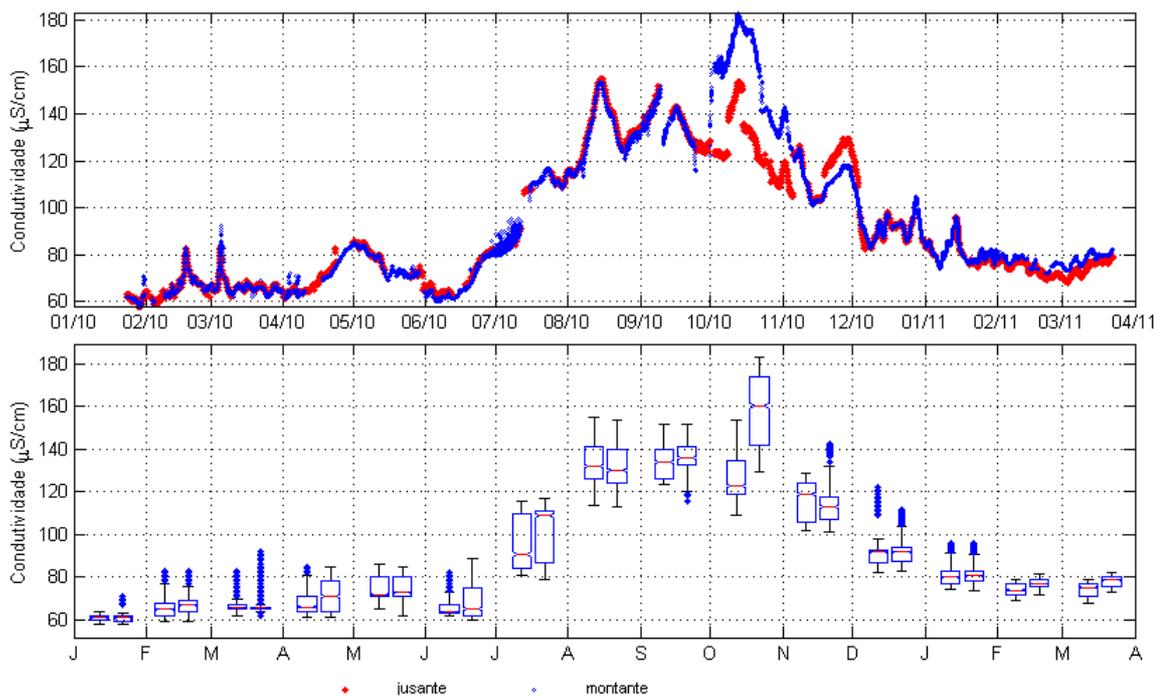
As variações na concentração de sólidos dissolvidos registrada continuamente no período de janeiro de 2010 a março de 2011 são apresentadas na Figura 13. A concentração média na estação de montante foi de  $84,5 \pm 27$  mg/L, com valor máximo de 164,4 mg/L em 12/10/10 às 14:30 h e mínimo de 52,2 mg/L em 28/01/10. Na estação de jusante a concentração média foi de  $79,1 \pm 23,8$  mg/L, com valor máximo de 139,5 mg/L em 14/08/10 e mínima de 52,2 mg/L em 28/01/10.



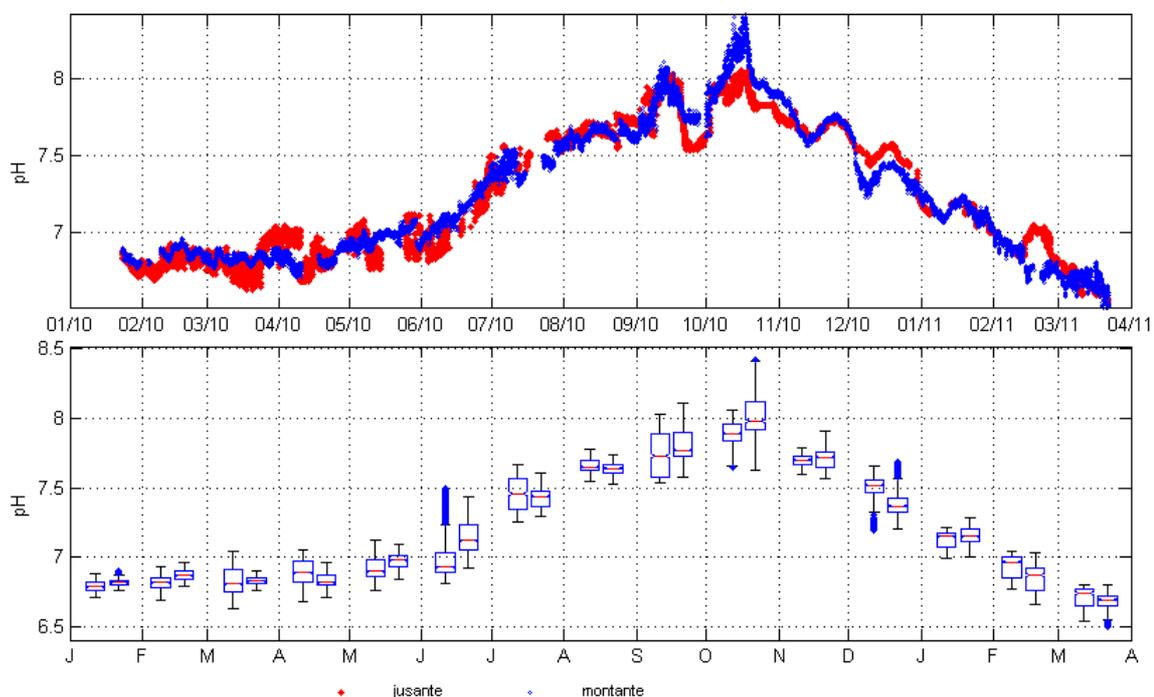
**Figura 8 - Variação da temperatura no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11. Acima as variações contínuas registradas em tempo real e abaixo os boxplots dos valores mensais com as medianas e quartis, obtidos pelas sondas instaladas jusante e a montante respectivamente.**



**Figura 9 - Variações da turbidez no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11. Acima as variações contínuas registradas em tempo real e abaixo os boxplots dos valores mensais com as medianas e quartis, obtidos pelas sondas instaladas jusante e a montante respectivamente.**



**Figura 10 --** Variação da condutividade no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11. *Acima as variações contínuas registradas em tempo real e abaixo os boxplots dos valores mensais com as medianas e quartis, obtidos pelas sondas instaladas jusante e a montante respectivamente.*



**Figura 11 -**Variação do pH no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11. *Acima as variações contínuas registradas em tempo real e abaixo os boxplots dos valores mensais com as medianas e quartis, obtidos pelas sondas instaladas jusante e a montante respectivamente.*

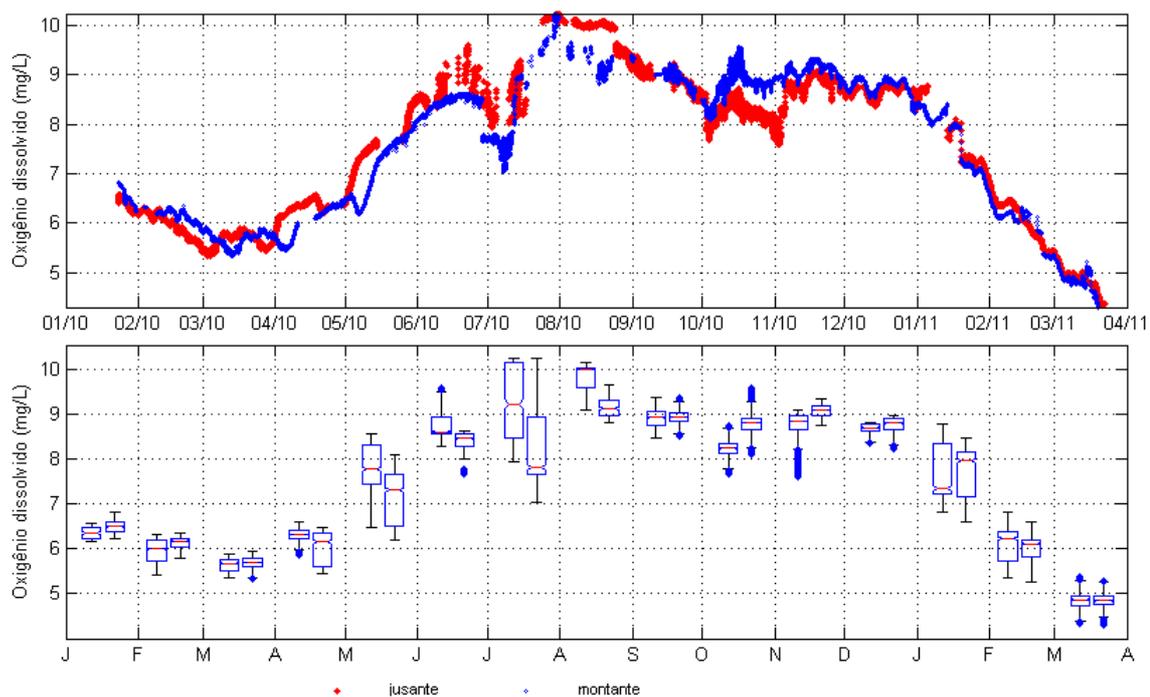


Figura 12 -Variações na concentração de oxigênio dissolvido na água no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11. Acima as variações contínuas registradas em tempo real e abaixo os boxplots dos valores mensais com as medianas e quartis, obtidos pelas sondas instaladas jusante e a montante respectivamente.

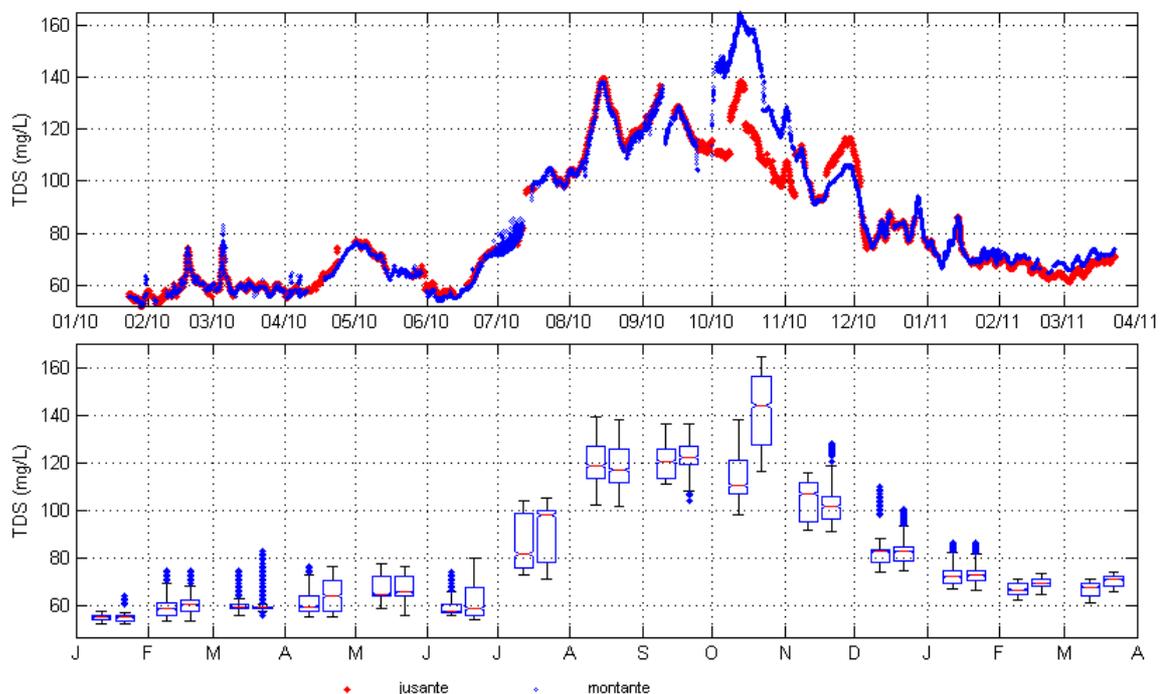


Figura 13 -- Variação na concentração de sólidos totais dissolvidos na água no rio Madeira medidas no ponto a montante (em azul) e no ponto a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 23/01/10 a 22/03/11. Acima as variações contínuas registradas em tempo real e abaixo os boxplots dos valores mensais com as medianas e quartis, obtidos pelas sondas instaladas jusante e a montante respectivamente.

#### 4.3.6 - Variações Nictimerais

##### Período de Águas Altas

A temperatura média na estação de montante foi de  $28,09 \pm 0,13$  ° C, com mínima de  $27,82$  ° C observada em 03/04/10 às 07:00 h e máxima de  $28,34$  ° C em 01/04/10 às 00:30 h. Na estação de jusante a temperatura média foi de  $28,11 \pm 0,13$  ° C, com mínima de  $27,84$  ° C observada em 03/04/10 às 08:30 h e máxima de  $28,36$  ° C em 01/04/10 às 00:30 h. Durante esse período foi registrada uma queda da temperatura da água, que acompanhou a diminuição da temperatura do ar mensurada em Porto Velho. Nos dias 1 e 2/04/10 as amplitudes térmicas não ultrapassaram  $0,1$ ° C, mas no dia 3/04/10 a diferença das temperaturas mensuradas às 7:00h e 16:00h chegaram a  $0,22$ ° C (Figura 14). As variações da temperatura da água em três ciclos nictimerais neste período de águas altas foram pequenas, não ultrapassando  $0,5$  ° C.

A estação de montante apresentou uma elevação súbita da condutividade em duas ocasiões e durante curtos períodos no dia 03/04/10, provavelmente relacionada à criação de micro ambientes ao redor da estação de monitoramento; entretanto as diferenças de condutividade da água entre as estações em todo o período monitorado não foram significativas.

O valor médio da concentração de oxigênio dissolvido na estação de montante foi de  $5,58 \pm 0,05$  mg/L, com valor mínimo de  $5,48$  mg/L observado em 02/04/10 e máximo de  $5,69$  mg/L em 01/04/10. Na estação de jusante o valor médio da concentração de oxigênio dissolvido foi de  $6,04 \pm 0,10$  mg/L, com mínimo de  $5,84$  mg/L observado em 01/04/10 00:30 e máximo de  $6,16$  mg/L em 03/04/10 (Figura 16). As variações de oxigênio dissolvido apresentaram tendências divergentes, principalmente a partir do dia 02/04/10, quando na estação de montante foi registrado um decréscimo enquanto na estação de jusante as concentrações de oxigênio dissolvido continuaram aumentando.

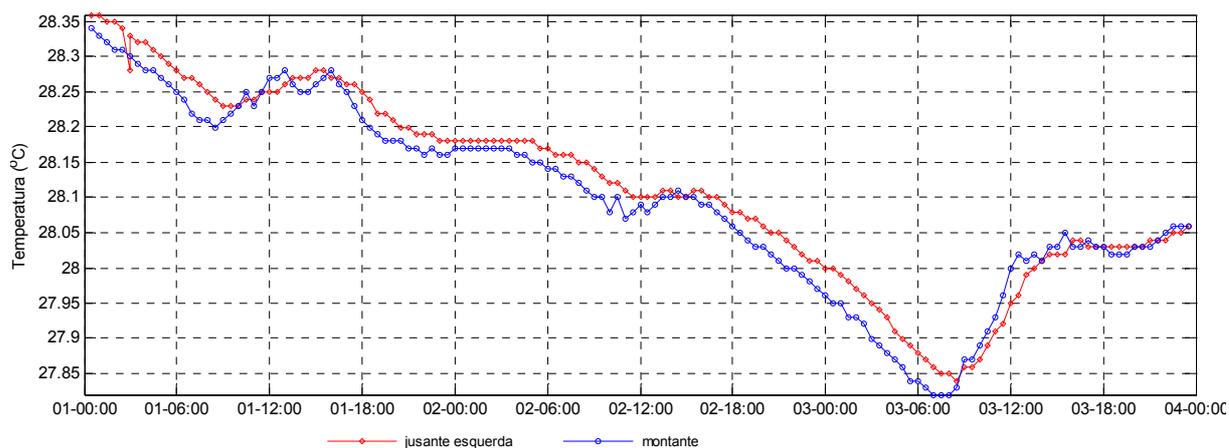


Figura 14 - Variações da temperatura da água no rio Madeira durante três ciclos nictimerais nos pontos de monitoramento contínuo em sistema em tempo real em trecho a montante (em azul) e a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 1 a 4 de abril de 2010.

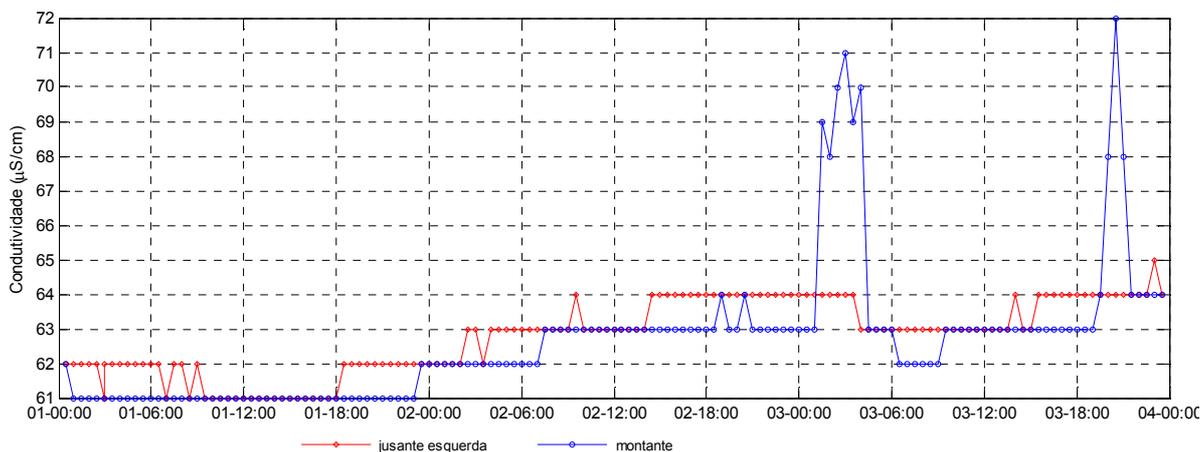


Figura 15 - Variações da condutividade elétrica da água no rio Madeira durante três ciclos nictimerais nos pontos de monitoramento contínuo em sistema em tempo real em trecho a montante (em azul) e a jusante da Cachoeira de Santo Antônio (em vermelho), no período de 1 a 4 de abril de 2010.

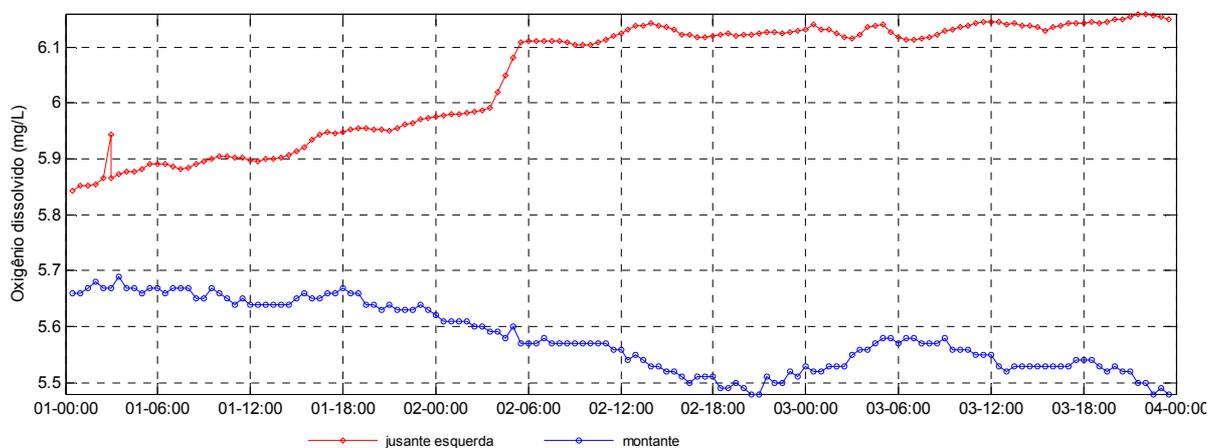
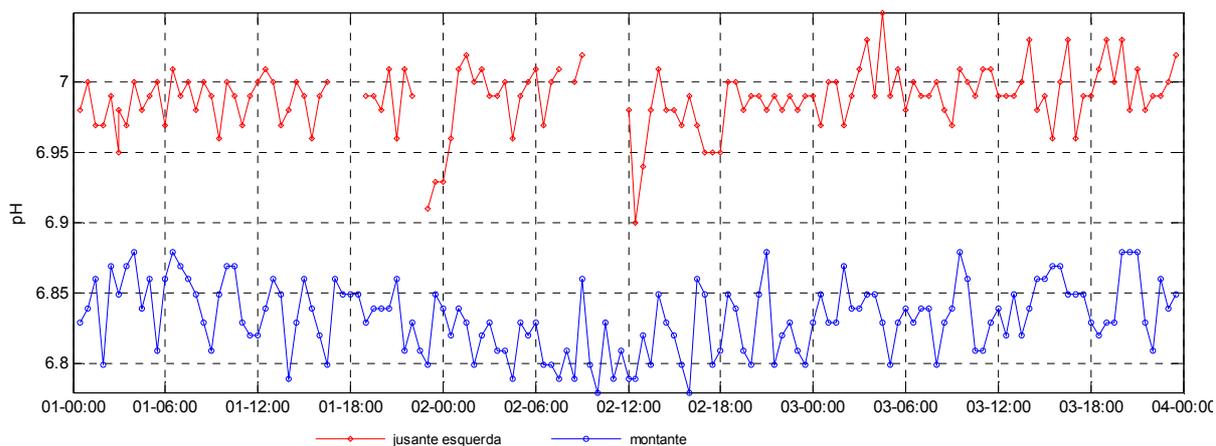


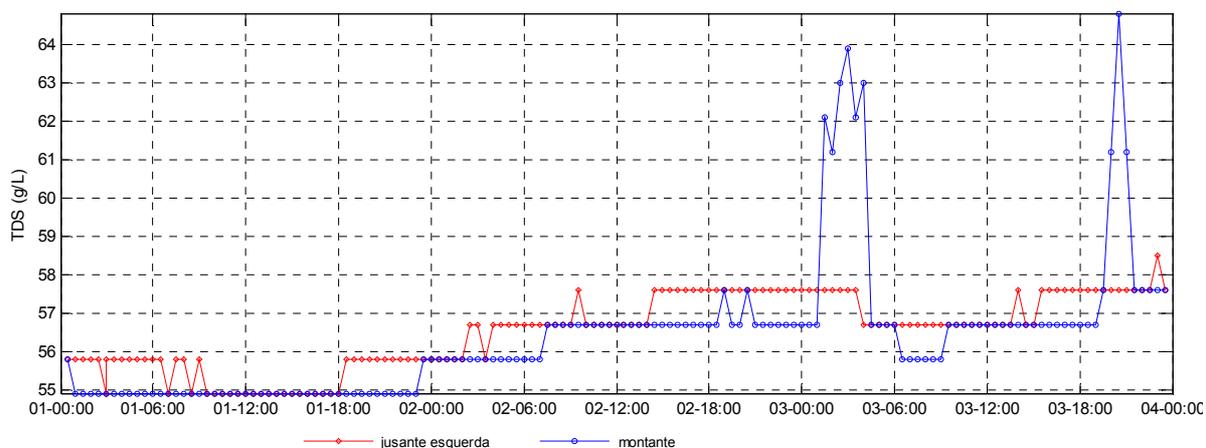
Figura 16 - Variação do oxigênio dissolvido no rio Madeira nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 1 a 4 de abril de 2010.

O valor médio de pH para a água do rio Madeira nos três ciclos nictimerais monitorados no ponto a montante foi de  $6,83 \pm 0,02$ , com valor mínimo de 6,78 registrado em 02/04/10 às 10:00 h e máximo de 6,88 em 7 ocasiões durante os 3 dias de análise. Na estação de jusante o pH médio foi de  $6,98 \pm 0,02$ , com mínima de 6,90 observada em 02/04/10 e máxima de 7,05 em 03/04/10 (Figura 11). As diferenças entre as estações, apesar de significativas foram pequenas, de apenas 0,15 unidades de pH.

A concentração média dos sólidos dissolvidos na estação de montante foi de  $56,40 \pm 1,82$  mg/L, com mínima de 54,9 mg/L observada em 01/04/10 e máxima de 64,8 mg/L em 03/04/10. Na estação de jusante a concentração média de sólidos dissolvidos foi de  $56,52 \pm 0,95$  mg/L, com mínima de 54,9 mg/L observada em 01/04/10 e máxima de 58,50 mg/L em 03/04/10 (Figura 18).

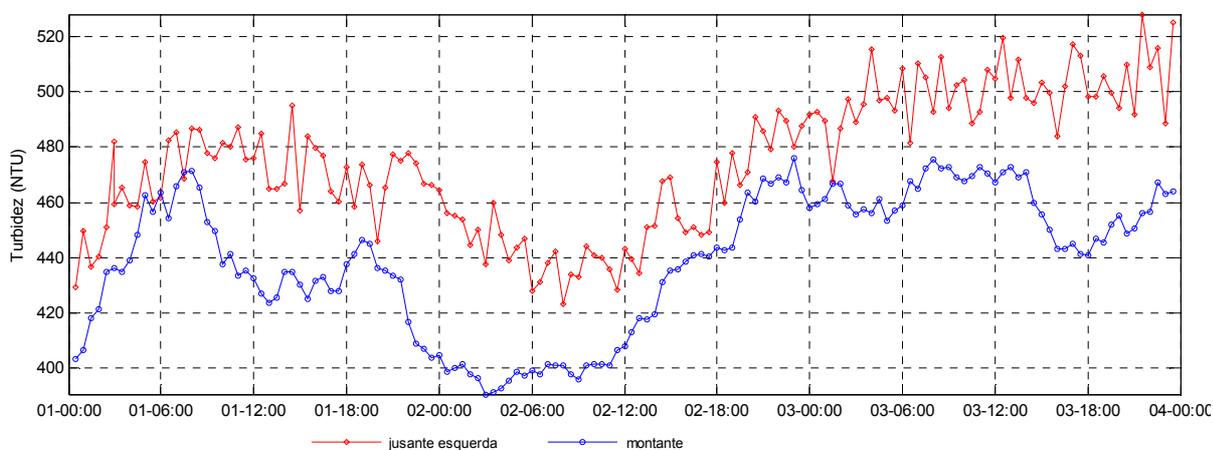


**Figura 17 - Variação do pH no rio Madeira nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 1 a 4 de abril de 2010.**



**Figura 18 - Variação de sólidos dissolvidos no rio Madeira nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 1 a 4 de abril de 2010.**

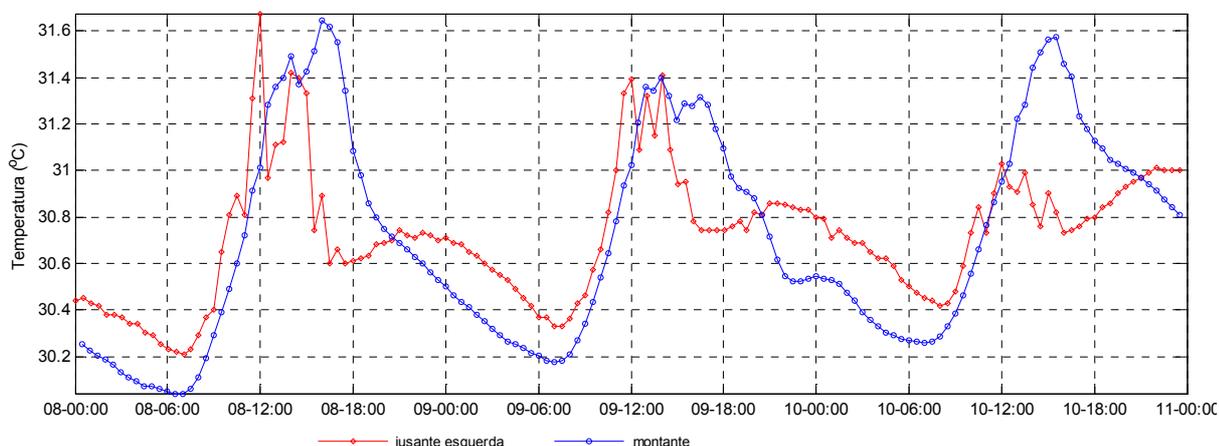
O valor médio de turbidez calculado para a estação de montante foi de  $439,2 \pm 24,9$  NTU, com valor mínimo de 390 NTU registrado em 02/04/10 e máximo de 476,18 NTU em 02/04/10. Na estação de jusante o valor médio de turbidez foi de  $474,4 \pm 24,5$  NTU, com mínimo de 423,4 NTU observada em 02/04/10 e máximo de 527,7 NTU em 03/04/10 (Figura 19). As flutuações na turbidez foram detectadas pelas duas estações de monitoramento, embora na estação de montante as flutuações de turbidez tenham tido menor amplitude variação.



**Figura 19 - Variações da turbidez da água do rio Madeira registradas nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 1 a 4 de abril de 2010.**

## Período de Águas Baixas

O valor médio da temperatura da água do rio Madeira na estação de montante foi de  $30,71 \pm 0,45$  °C, com valor mínimo de 30,03 °C registrado em 08/10/10 às 06:30 h e máximo de 31,64 °C em 08/10/10 às 16:00 h. Na estação de jusante o valor médio de temperatura foi de  $30,72 \pm 0,28$  °C, com mínimo de 30,2 °C registrado em 08/10/10 às 07:01h e máximo de 31,67 °C em 08/10/10 às 12:00 h (Figura 20). As amplitudes térmicas chegaram a 1,6 °C no dia 08/10 e diminuíram nos dias seguintes.



**Figura 20 - Variações da temperatura da água do rio Madeira registradas nos sistemas de monitoramento em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) de 8 a 10 de outubro de 2010.**

Os valor médio de condutividade elétrica da água obtido no período de águas baixas para a estação de montante foi de  $167,1 \pm 3,8$   $\mu\text{S/cm}$ , com valor mínimo de 160  $\mu\text{S/cm}$  registrado em 08/10/10 e máximo de 174  $\mu\text{S/cm}$  em 10/10/10. O valor médio obtido para a condutividade na estação de jusante foi de  $138,73 \pm 6,6$   $\mu\text{S/cm}$ , com mínimo de 123  $\mu\text{S/cm}$  observada em 08/10/10 e máximo de 146  $\mu\text{S/cm}$  em 10/10/10 (Figura 21). Os valores de condutividade registrados nesse período evidenciaram valores mais elevados na estação de montante do que na de jusante, com diferenças de cerca de 25  $\mu\text{S/cm}$ .

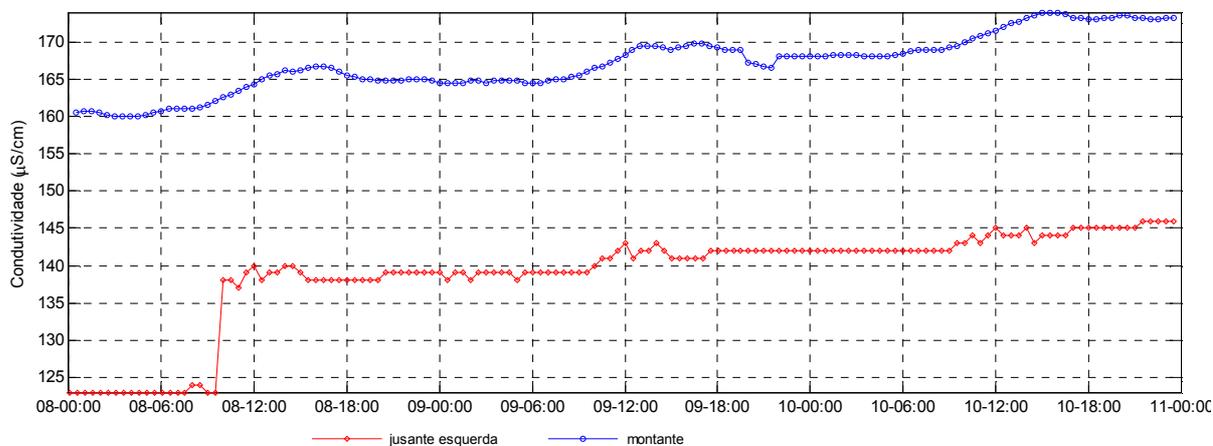


Figura 21 - Variações da condutividade elétrica da água no rio Madeira registradas nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 8 a 10 de outubro de 2010.

Na estação de jusante as variações diurnas não foram tão altas, mas as tendências foram semelhantes e com um atraso de cerca de 4 horas.

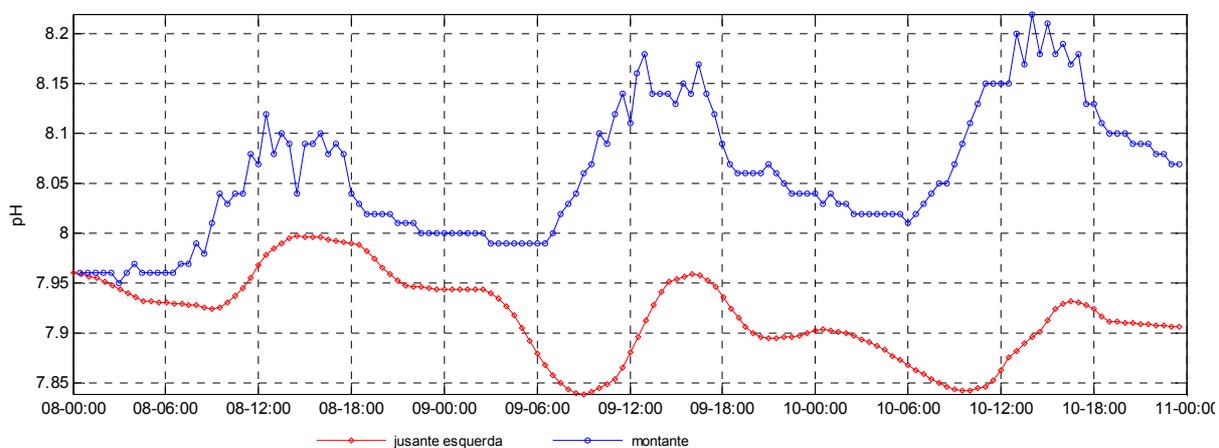


Figura 22 - Variações do pH na água do rio Madeira registradas nos sistemas de monitoramento em tempo real nas estações de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 8 a 10 de outubro de 2010.

Nestes três ciclos nictimerais avaliados no período de águas baixas o valor médio de pH da água do rio Madeira obtido para a estação de montante foi de  $8,05 \pm 0,06$ , com valor mínimo de 7,95 registrado em 08/10/10 às 03:00 h e máximo de 8,22 em 10/10/10 às 14:00 h. Na estação de jusante o valor médio obtido foi de  $7,91 \pm 0,04$ , com valor mínimo de 7,83 registrado em 09/10/10 às 09:01 e máximo de 7,99 em 08/10/10 às 14:31

h

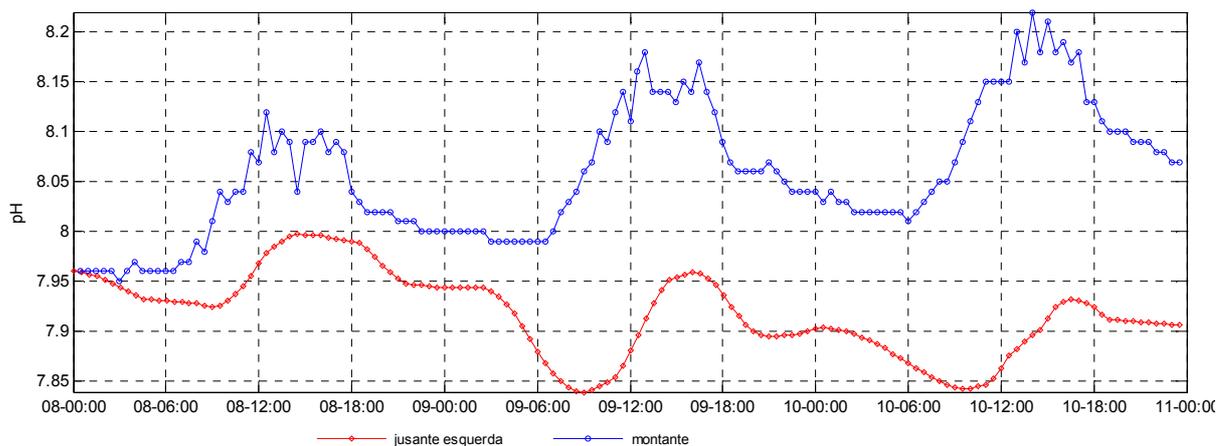


Figura 22).

A concentração média de sólidos dissolvidos na água do rio Madeira registradas na estação de montante foi de  $150,39 \pm 3,46$  mg/L, com valor mínimo registrado de 144 mg/L registrado em 08/10/10 e máximo de 156,6000 em 10/10/10. Na estação de jusante a concentração média de sólidos dissolvidos foi de  $124,86 \pm 6,01$  mg/L, com valor mínimo de 110,7 mg/L registrado em 08/10/10 e máximo de 131,4 mg/L em 10/10/10 às 21:31 h (Figura 23).

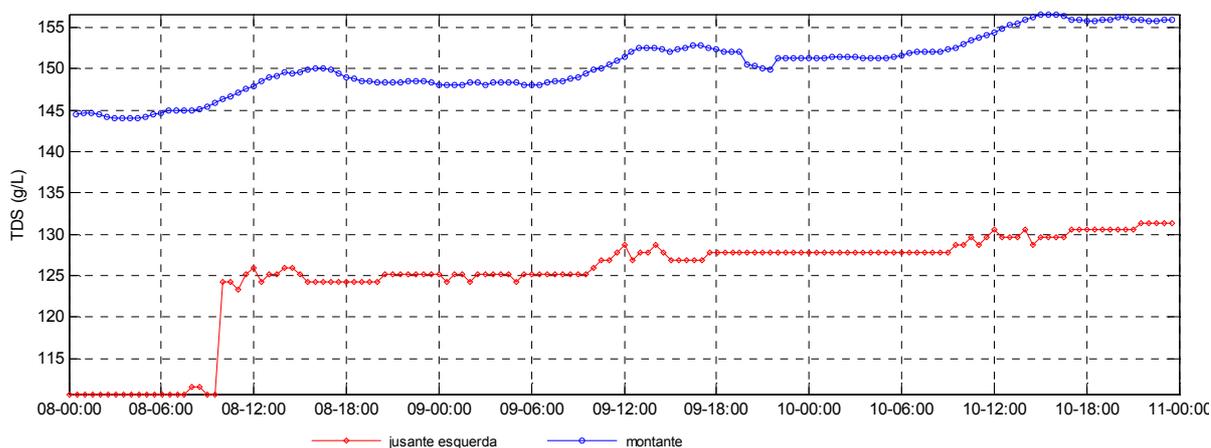
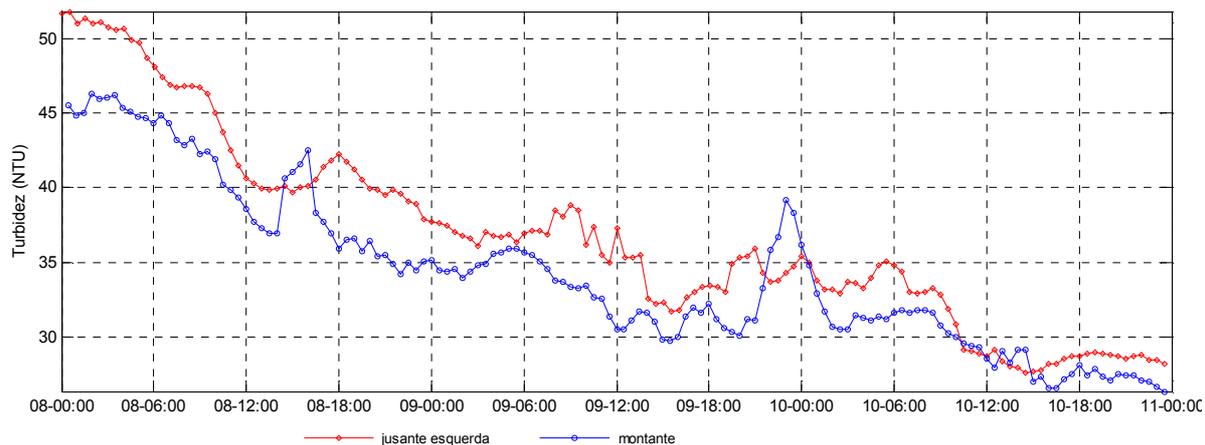


Figura 23 - Variação dos sólidos dissolvidos no rio Madeira nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 8 a 10 de outubro de 2010.

O valor médio da turbidez obtido para a estação de montante foi de  $34,33 \pm 5,4$  NTU, com valor mínimo de 26,3 NTU registrado em 10/10/10 às 23:30 e máximo de 46,27 NTU em 08/10/10 às 02:00 h. Na estação de jusante o valor médio da turbidez

foi de  $36,8 \pm 6,4$  NTU, com mínimo de 27,6 NTU registrado em 10/10/10 às 14:31 h e máximo de 51,8 NTU em 08/10/10 às 00:30 h (Figura 24).

A turbidez decresceu significativamente durante esse período em ambas as estações, processo que ocorreu logo após o auge do período de águas baixas.



**Figura 24 - Variação da turbidez no rio Madeira nos sistemas em tempo real de montante (em azul) e jusante (em vermelho) no período de 8 a 10 de outubro de 2010.**

#### 4.4 - Variações Trimestrais das Variáveis Físicas e Químicas na Água do rio Madeira

O valor médio das variações trimestrais na transparência da água do rio Madeira foi de  $0.10 \pm 0.05$  m (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.52. O valor mínimo registrado foi de 0.05 m em todas as estações em abril/10, janeiro/10 e janeiro/11 e o máximo de 0.25 m registrado na estação JUS.03 em setembro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, no de águas baixas em 2010 foram observados os maiores valores de transparência com mediana de 0.19 m, enquanto os menores valores ocorreram no período de enchente de 2011 e de águas altas de 2010 com mediana de 0.05 m (Figura 25).

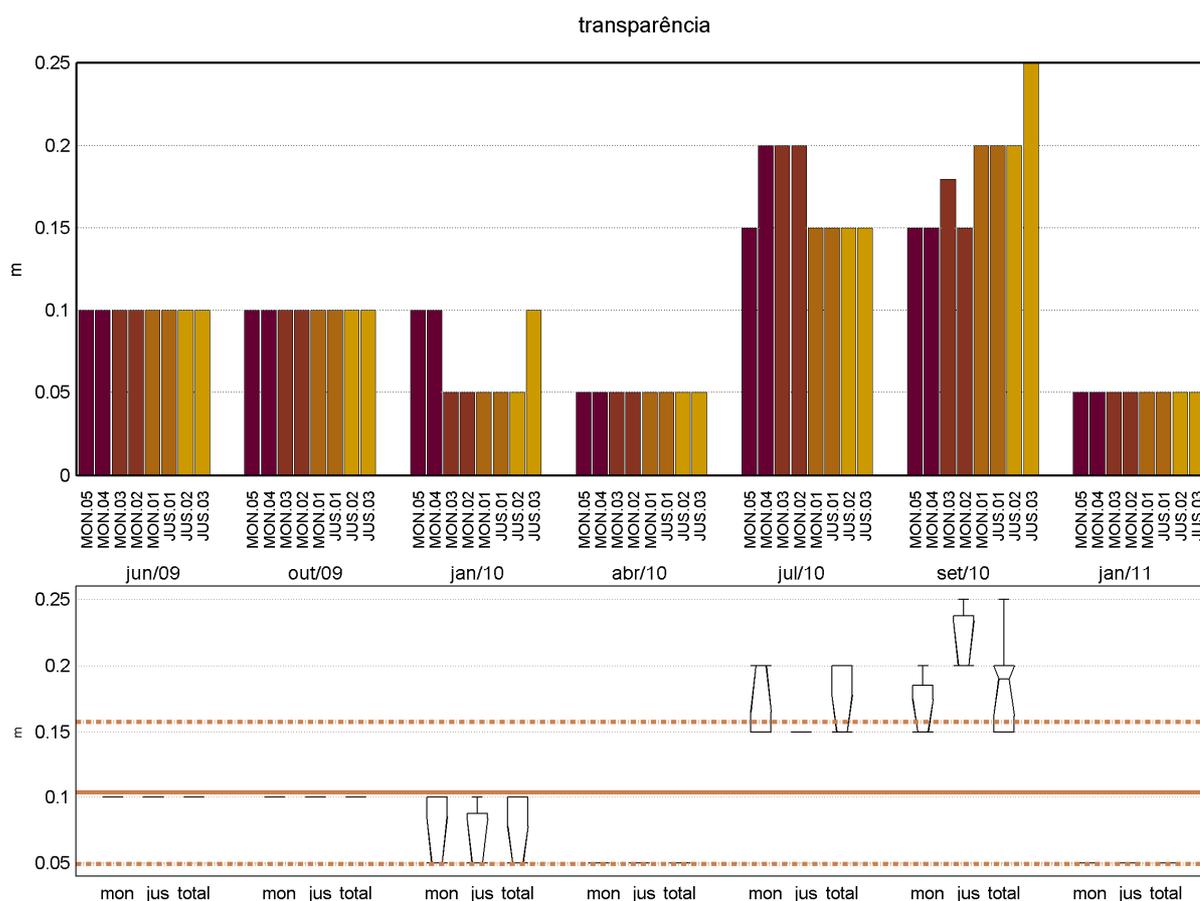
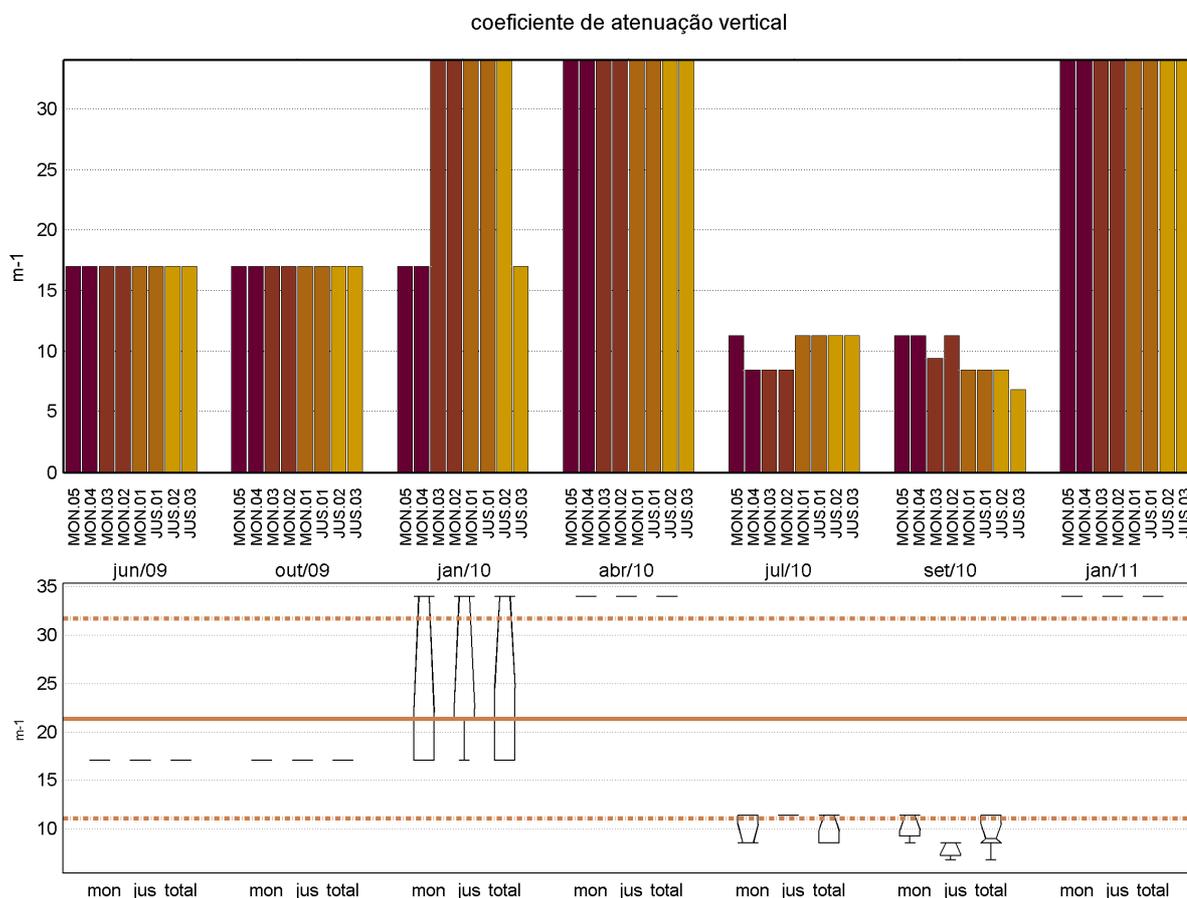


Figura 25 - Variações na transparência da coluna d'água no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.

O valor médio do coeficiente de atenuação vertical da radiação solar no rio Madeira foi de  $21,34 \pm 10,33 \text{ m}^{-1}$  (média±DP), com coeficiente de variação de 0,48.

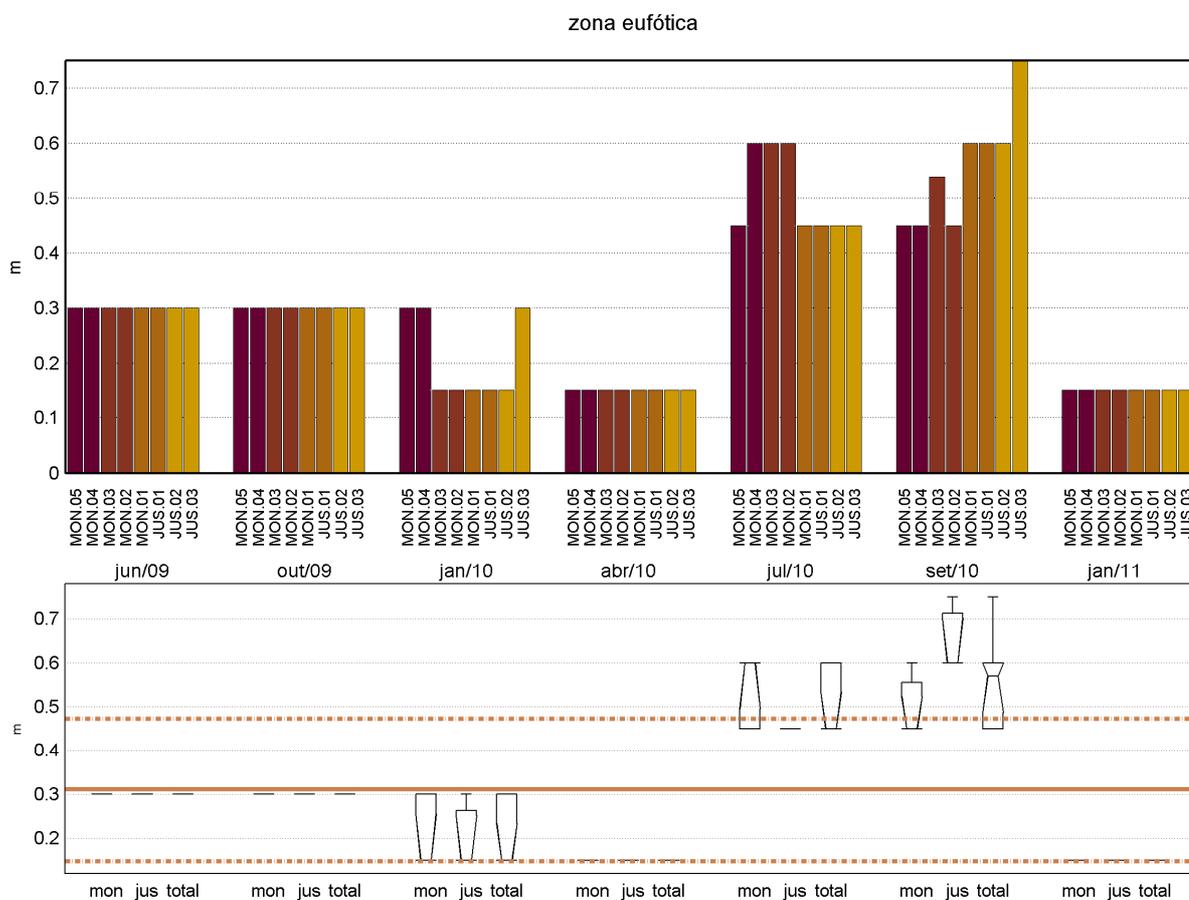
O valor mínimo do coeficiente de atenuação vertical da luz registrado foi de  $6,80 \text{ m}^{-1}$  na estação JUS.03 em setembro/10 e a máxima de  $34,00 \text{ m}^{-1}$  obtido para todas as estações em abril de 2010. , janeiro de 2010 e janeiro de 2011 (Figura 26). Dentre os períodos hidrológicos analisados, no de enchente em 2011 e no de águas altas em 2010 ocorreram os maiores valores de coeficiente de atenuação vertical com mediana de  $34,00 \text{ m}^{-1}$  , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de  $8,97 \text{ m}^{-1}$ .



**Figura 26 - Variações nos valores do coeficiente de atenuação vertical na coluna d'água do rio Madeira nos períodos hidrológicos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio da extensão da zona eufótica no rio Madeira foi de  $0,31 \pm 0,16 \text{ m}$  (média±DP), com coeficiente de variação de 0,52. O valor mínimo registrado foi de

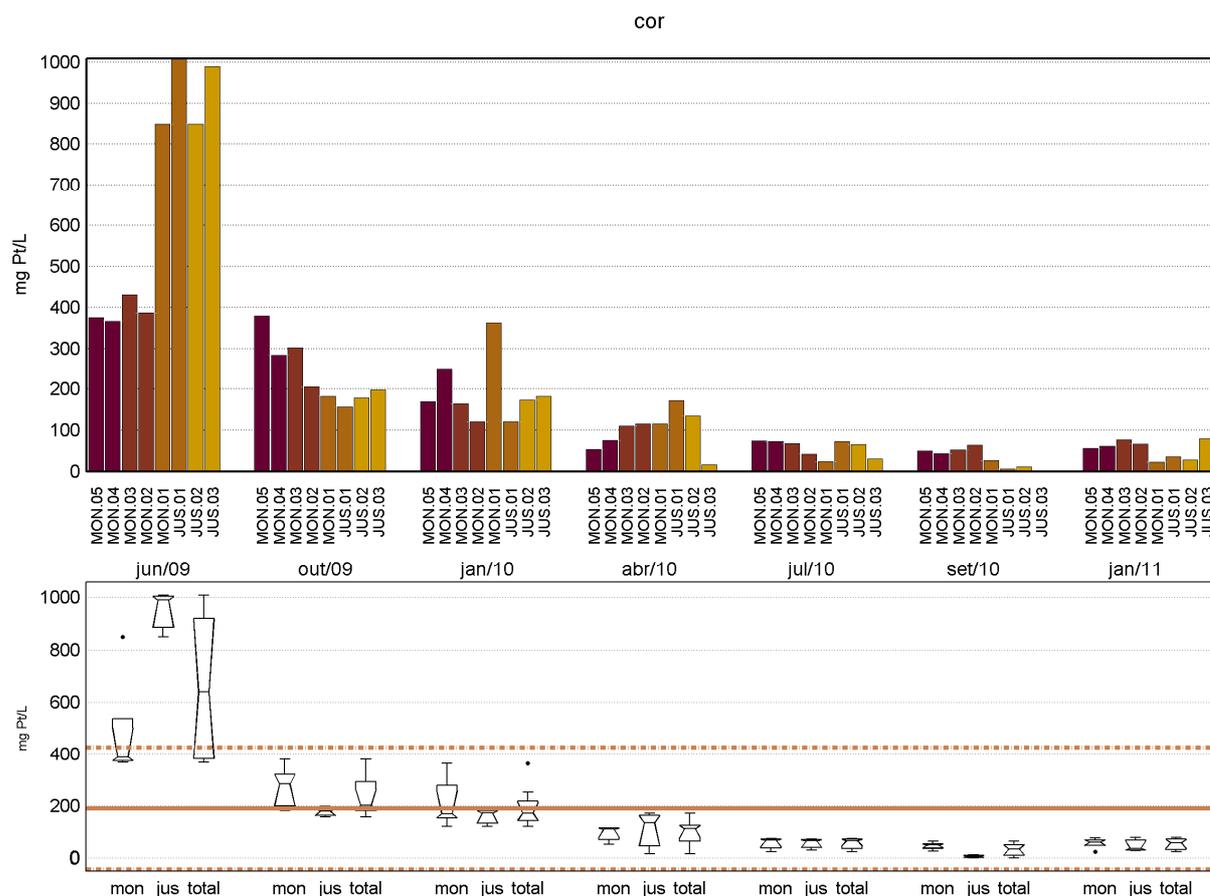
0,15 m em todas as estações em abril de 2010, janeiro de 2010 e janeiro de 2011 e o máximo de 0,75 m obtido para a estação JUS.03 em setembro de 2010 (Figura 27). Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas em 2010 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de extensão da zona eufótica com mediana de 0,57m, enquanto os menores valores ocorreram no período de enchente de 2011 e de águas altas em 2010 com mediana de 0,15 m.



**Figura 27 - Variações na extensão da zona eufótica no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

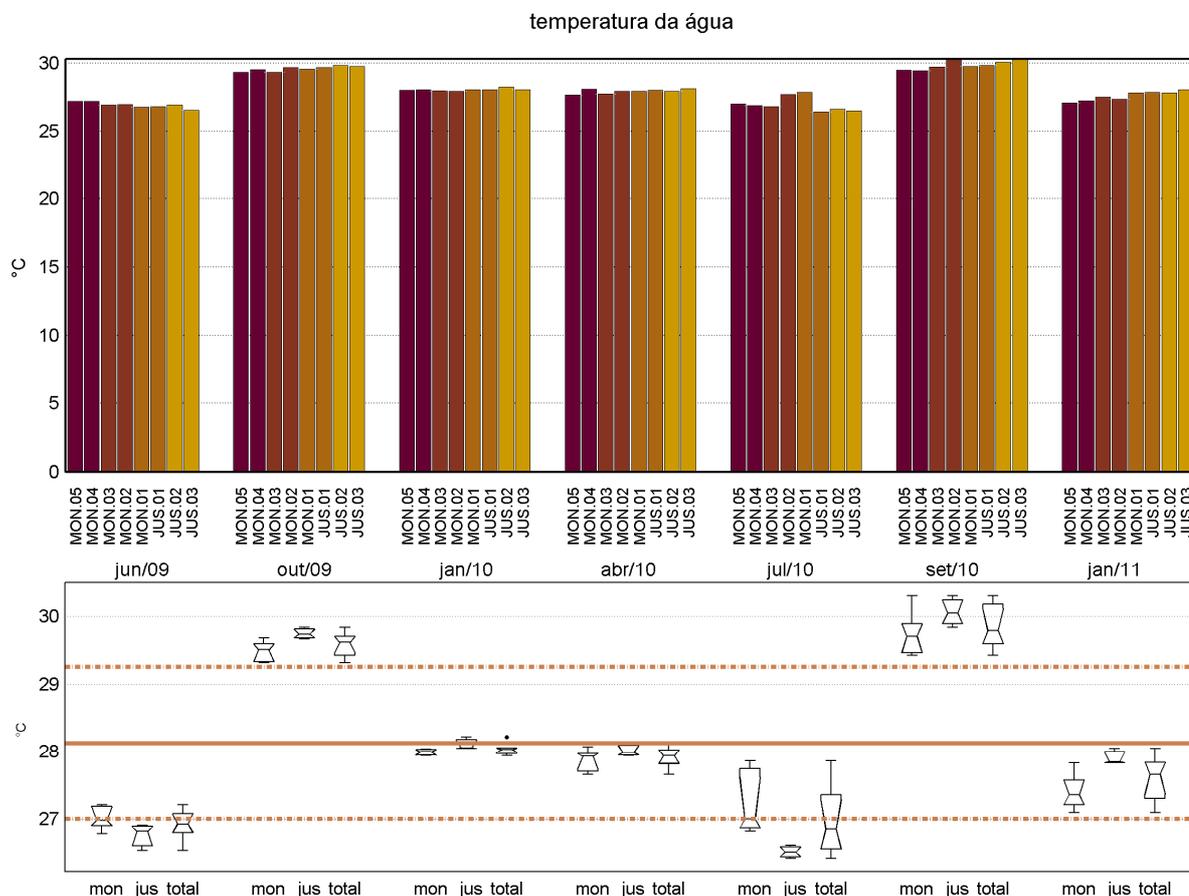
O valor médio da cor da água no rio Madeira foi de  $189,54 \pm 235,03$  mg Pt/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 1,24. O valor mínimo registrado foi de 0,0 mg Pt/L na estação JUS.03 em setembro de 2010 e o máximo de 1010,00 mg Pt/L obtido para a estação MON.03 em junho de 2009 (Figura 29). Dentre os períodos

hidrológicos analisados, os maiores valores de cor com mediana de 640,50 mg Pt/L ocorreram no período de vazante em 2009, enquanto os menores valores ocorreram no período de águas baixas em 2010 com mediana de 34,30 mg Pt/L.



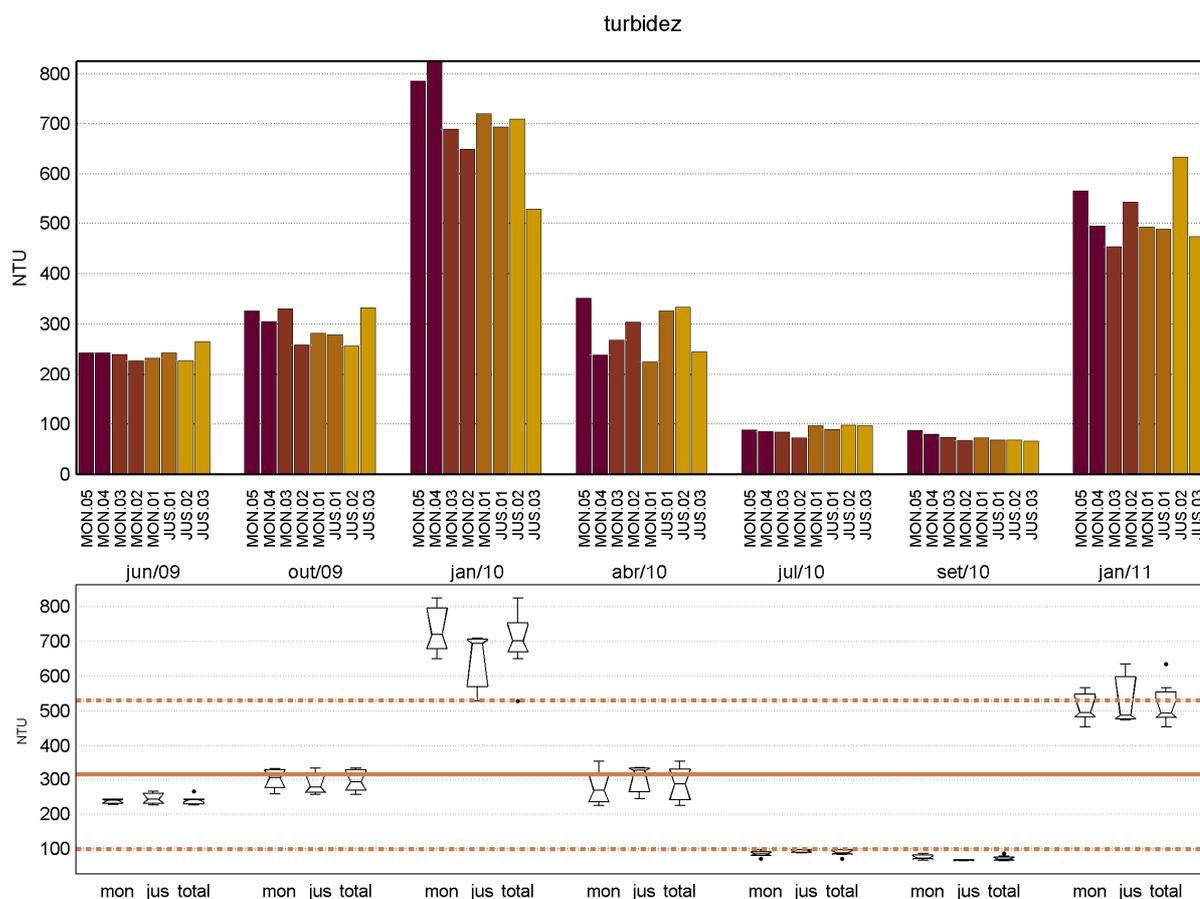
**Figura 29 - Variações da cor da água no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio da temperatura da água no rio Madeira foi de  $28,13 \pm 1,13$  °C (média±DP), com coeficiente de variação de 0,04. O valor mínimo registrado foi de 26,42 °C na estação MON.03 em julho de 2010 e o máximo de 30,31 °C registrado na estação JUS.01 JUS.03 em setembro de 2010 (Figura 30). Dentre os períodos hidrológicos analisados, os maiores valores de temperatura da água ocorreram no período de águas baixas de 2010 com mediana de 29,80 °C enquanto os menores valores ocorreram no período de vazante em 2009 com mediana de 26,93 °C .



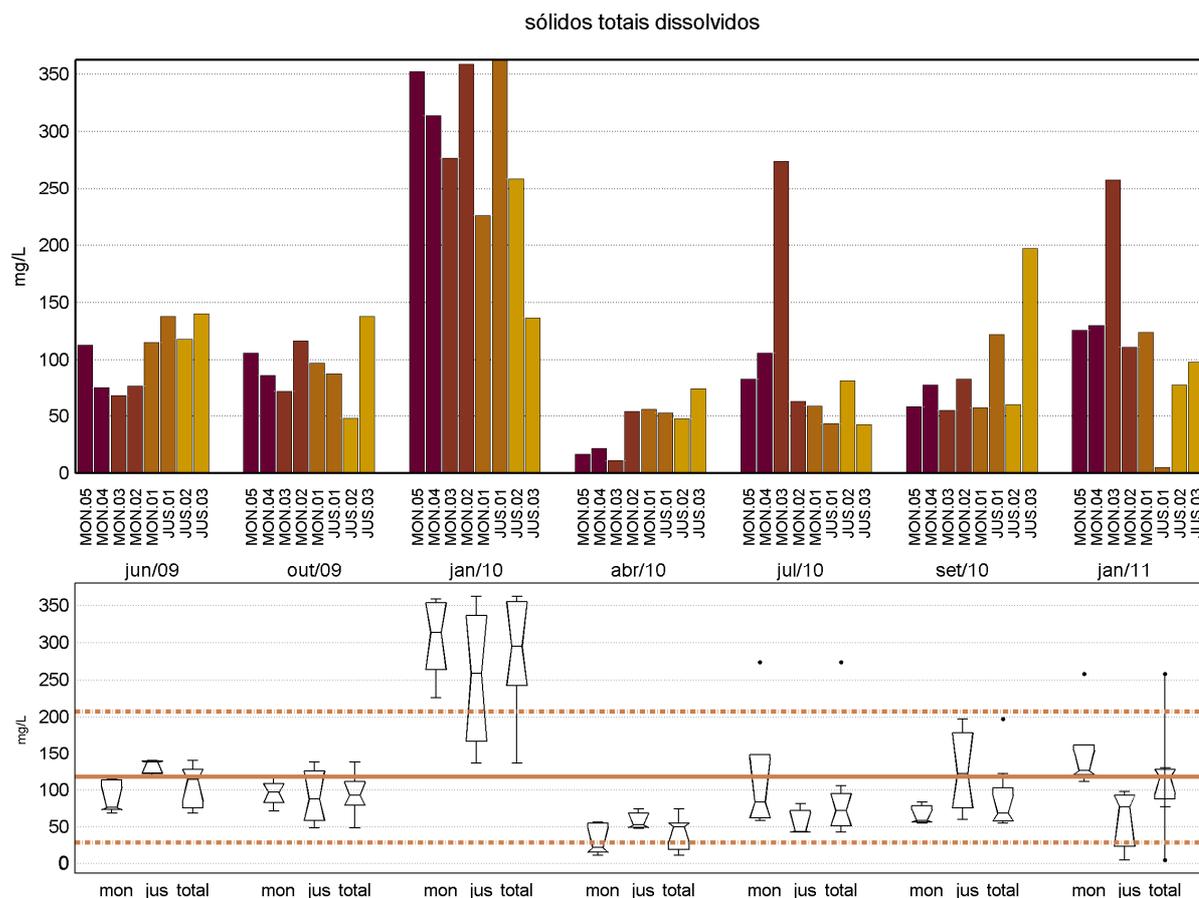
**Figura 30 - Variações na temperatura da água no rio Madeira para os diferentes períodos hidrológicos s entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio de turbidez na coluna d'água do rio Madeira foi de  $314,71 \pm 215,68$  NTU (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,69. O valor mínimo registrado foi de 66,10 NTU na estação JUS.03 em setembro de 2010 e o máximo de 825,40 NTU registrado na estação MON.05 em janeiro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente em 2010 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de turbidez com mediana de 702,00 NTU, enquanto os menores valores ocorreram no período de águas baixas de 2010 com mediana de 70,05 NTU (Figura 31).



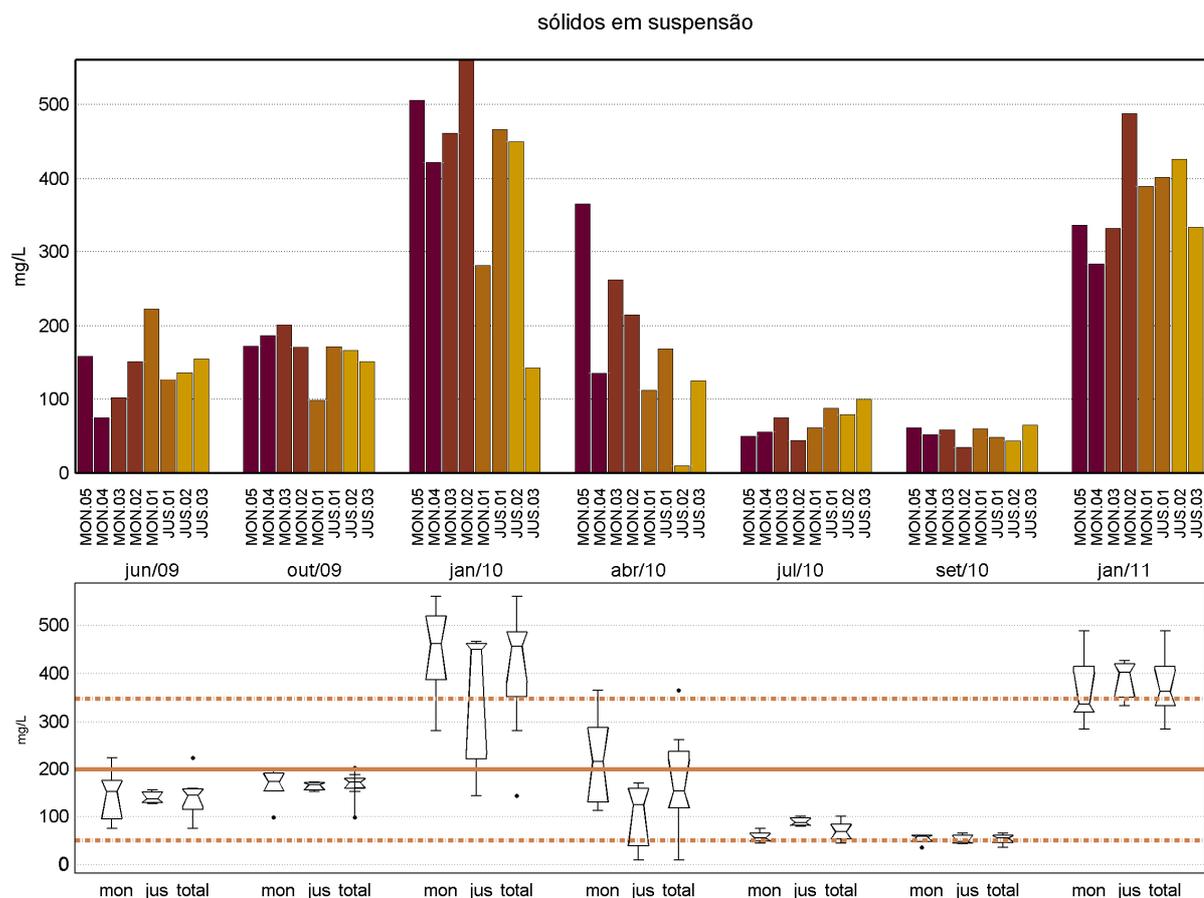
**Figura 31- Variações da turbidez na coluna d' água do rio Madeira nos períodos hidrológicos avaliados entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio de sólidos totais dissolvidos no rio Madeira foi de  $117,90 \pm 89,32$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,76. O mínimo registrado foi de 5,00 mg/L na estação MON.03 em janeiro de 2011 e o máximo de 362,78 mg/L observado na estação MON.03 em janeiro de 2010. Para os períodos hidrológicos analisados, os maiores valores de sólidos totais dissolvidos com mediana de 295,35 mg/L ocorreram no período de enchente de 2010 enquanto os menores valores ocorreram no período de águas altas em 2010 com mediana de 50,00 mg/L (Figura 32).



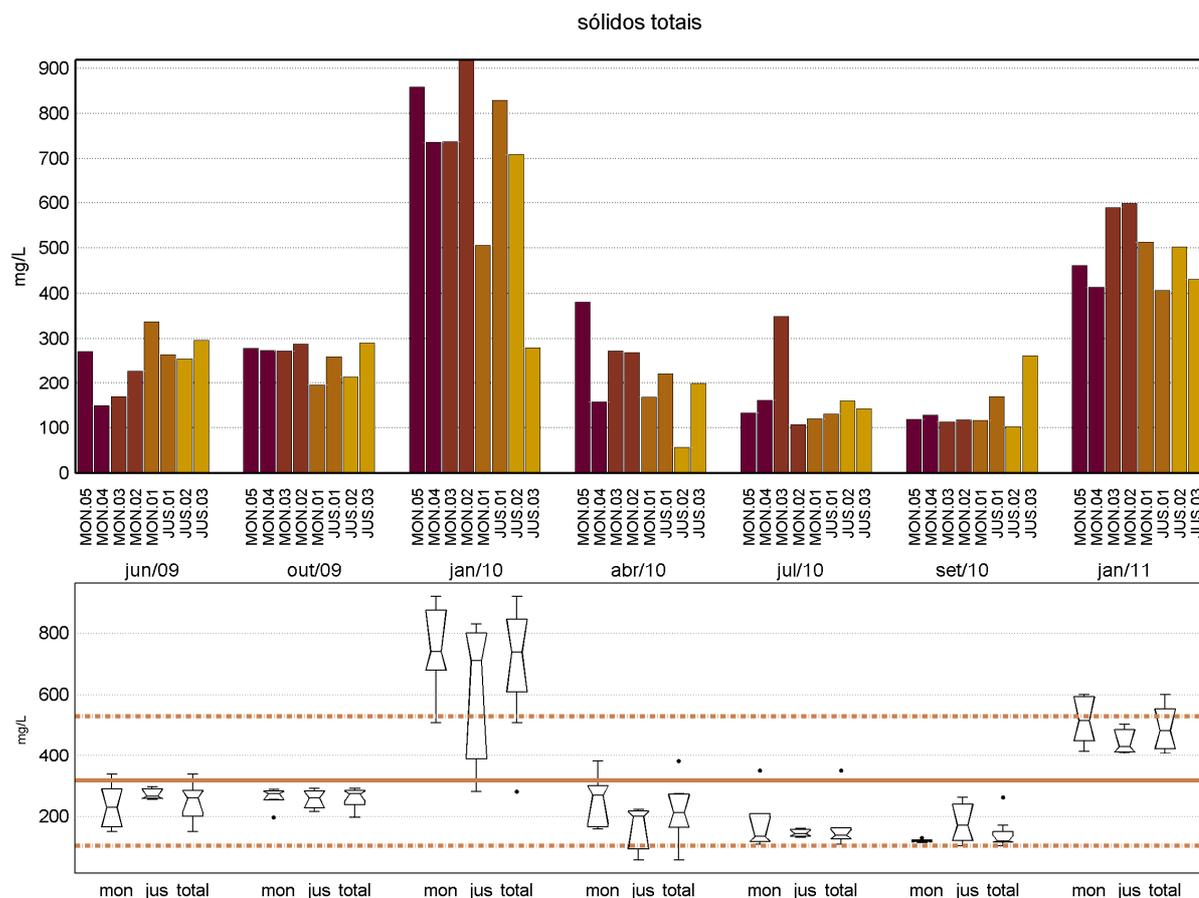
**Figura 32- Variações na concentração de sólidos totais dissolvidos no rio Madeira nos períodos avaliados entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de sólidos em suspensão no rio Madeira foi de  $198,27 \pm 148,48$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,75. A mínima registrada foi de 9,50 mg/L na estação JUS.03 em abril de 2010 e a máxima de 560,38 mg/L registrada na estação MON.04 em janeiro de 2010 (Figura 33). Dentre os períodos hidrológicos analisados, foi no período de enchente em 2010 que ocorreram os maiores valores de sólidos em suspensão com mediana de 455,73 mg/L, ao passo que os menores valores ocorreram no período de águas baixas em 2010 com mediana de 55,00 mg/L.



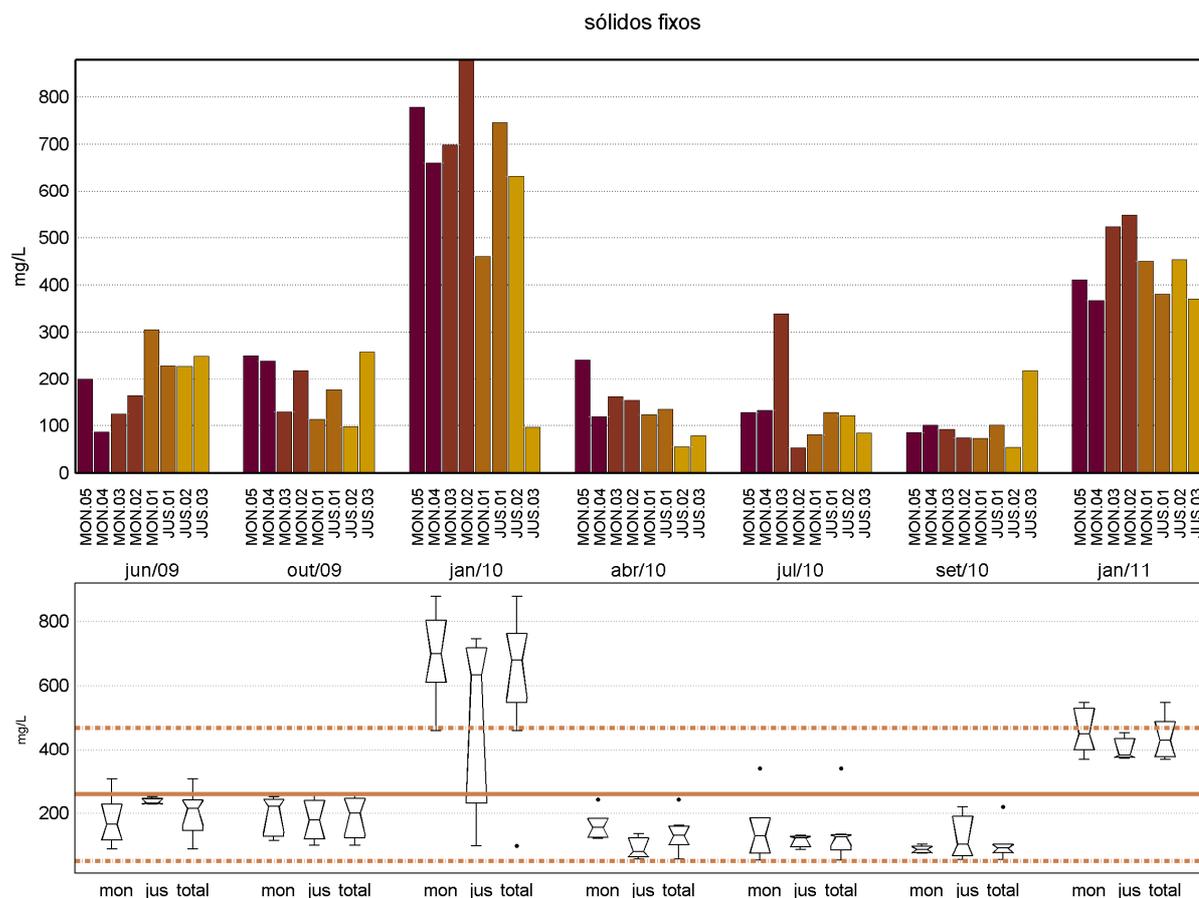
**Figura 33- Variações da concentração de sólidos em suspensão no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de sólidos totais na água do rio Madeira foi de  $316,15 \pm 212,65$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,67. A mínima registrada foi de 57,00 mg/L na estação JUS.03 em abril de 2010 e a máxima de 919,00 mg/L registrada na estação MON.04 em janeiro de 2010. Para os períodos hidrológicos analisados, os maiores valores de sólidos totais ocorreram no período de enchente de 2010 com mediana de 737,00 mg/L ao passo que os menores valores ocorreram no período de águas baixas de 2010 com mediana de 118,50 mg/L (Figura 34).



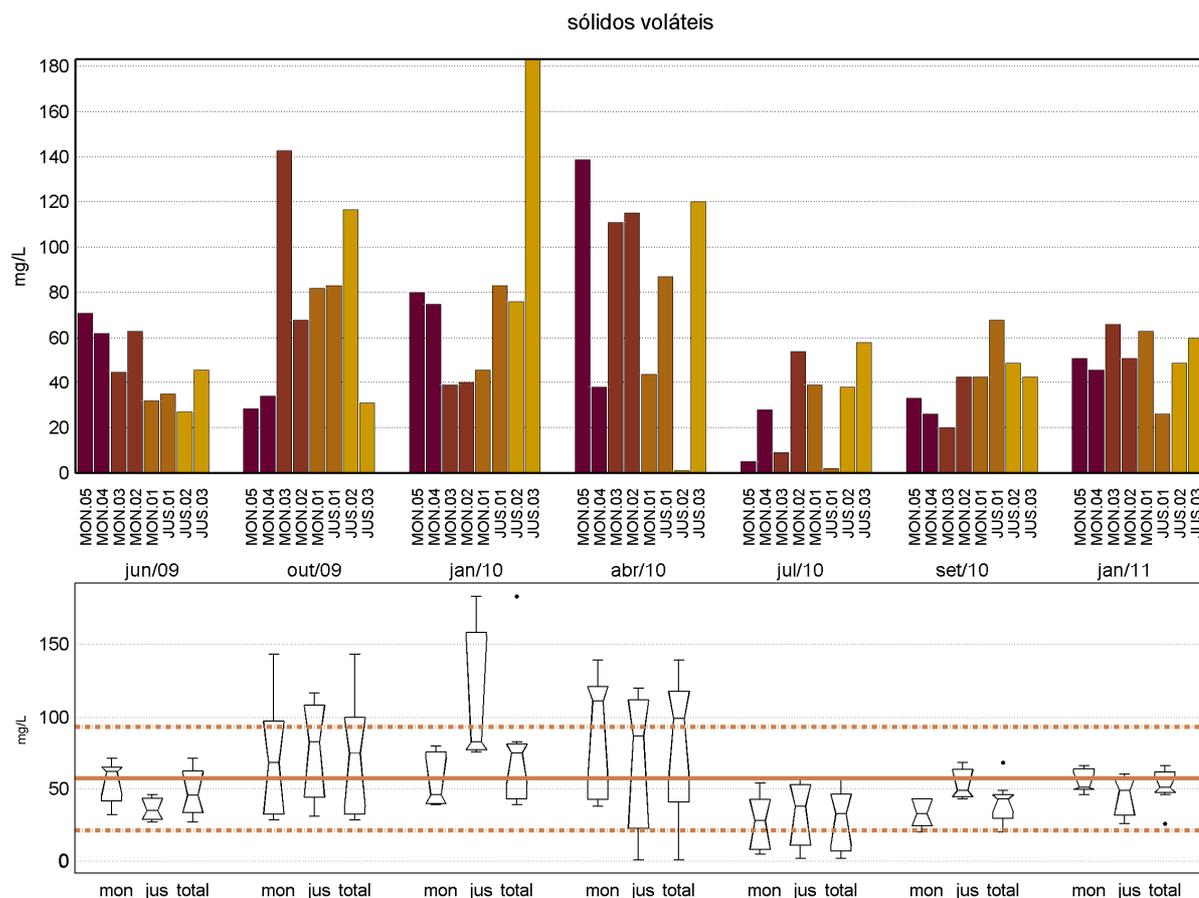
**Figura 34- Variação nas concentrações de sólidos totais no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de sólidos inorgânicos (fixos) na água do rio Madeira foi de  $258,74 \pm 210,01$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,81. A mínima registrada foi de 53,00 mg/L na estação MON.04 em julho/10 e a máxima de 879,00 mg/L observada na estação MON.04 em janeiro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente em 2010 foi aquele em que ocorreram as maiores concentrações de sólidos fixos, com mediana de 680,00 mg/L, enquanto os menores valores ocorreram no período de águas baixas de 2010 com mediana de 89,50 mg/L (Figura 35).



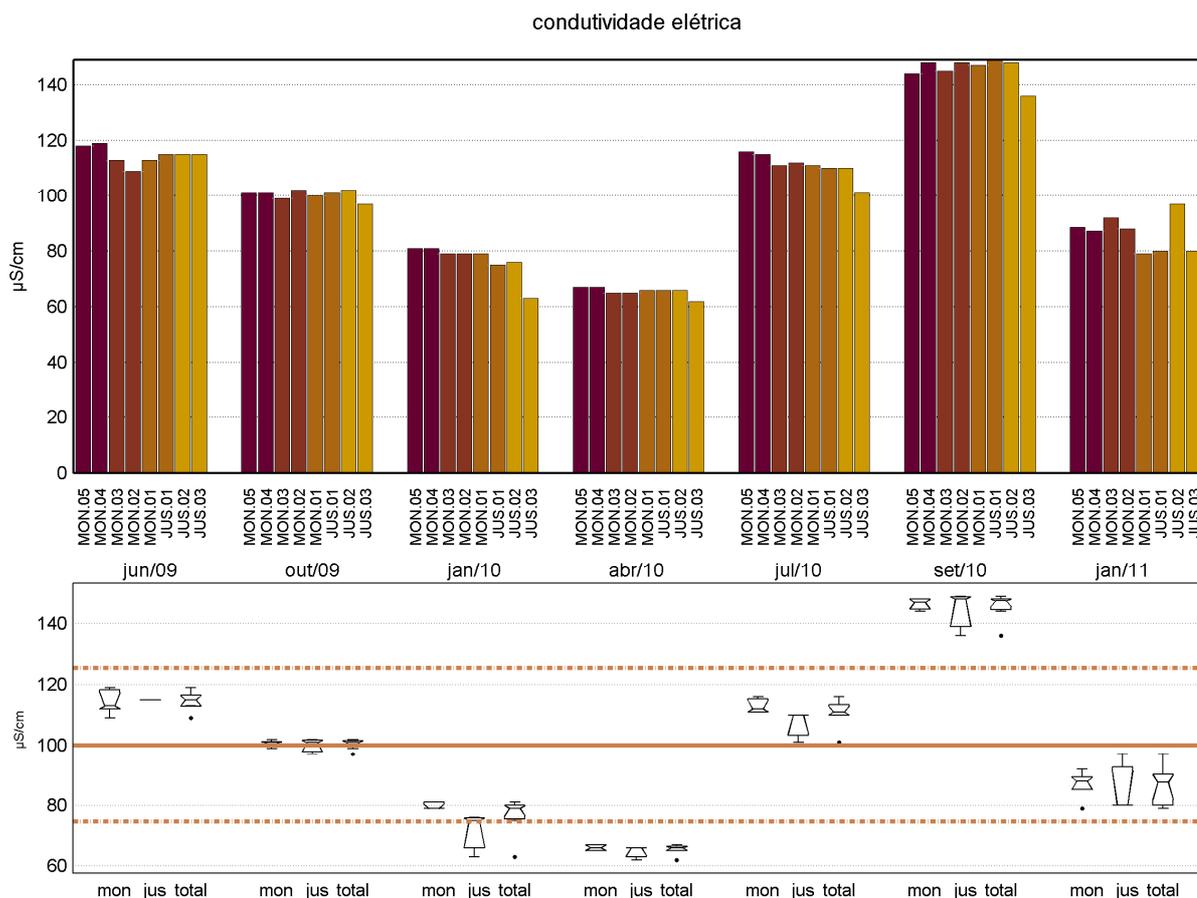
**Figura 35 - Variações nas concentrações da fração inorgânica do material em suspensão ( sólidos fixos) na água do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de sólidos voláteis no rio Madeira foi de  $57,39 \pm 36,06$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,63. A mínima registrada foi de 1,00 mg/L na estação JUS.03 em abril de 2010 e a máxima de 183,00 mg/L registrada na estação MON.02 em janeiro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas altas em 2010 foi aquele com ocorrência dos maiores valores de sólidos voláteis com mediana de 99,00 mg/L, enquanto os menores valores ocorreram no período de vazante de 2010 com mediana de 33,00 mg/L (Figura 36).



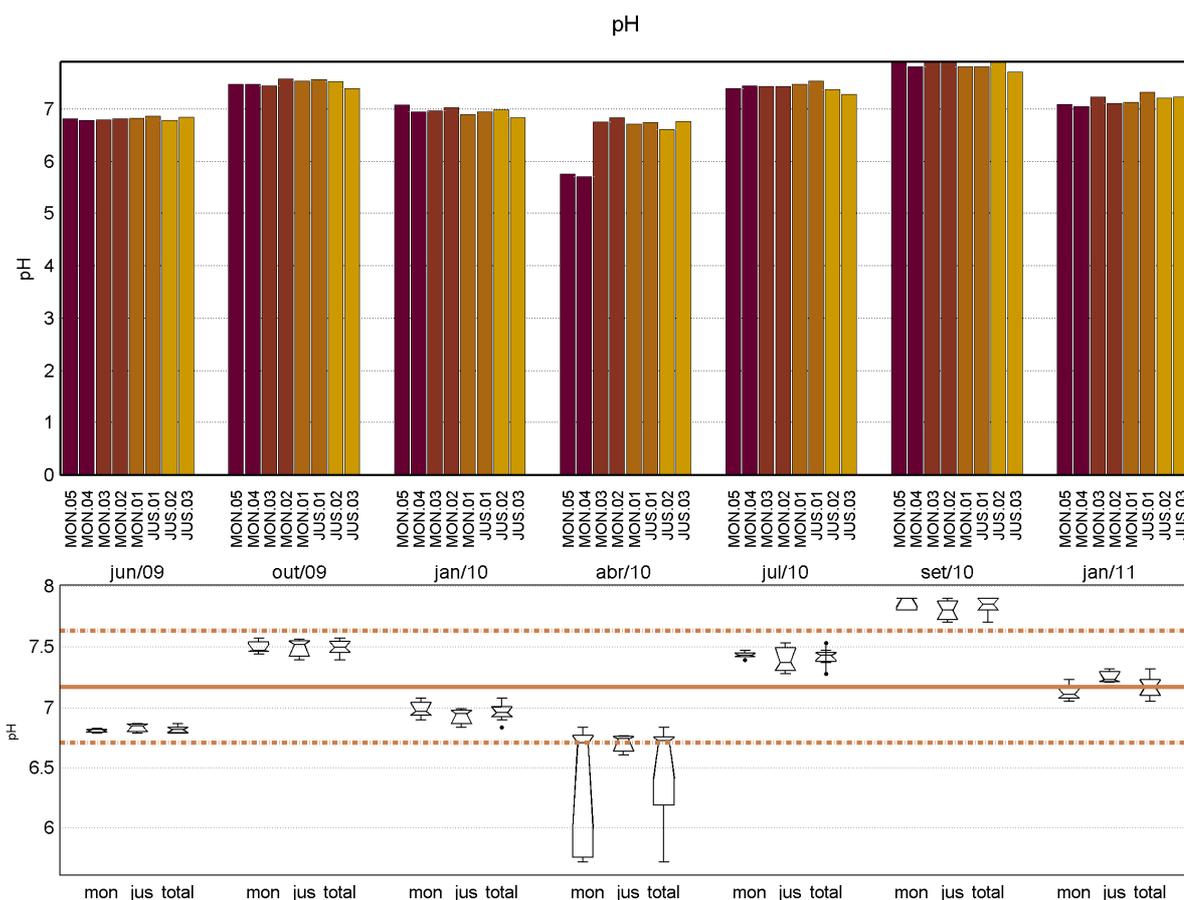
**Figura 36 - Variações nas concentrações da fração orgânica do material em suspensão ( sólidos voláteis) na água do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio de condutividade elétrica da água no rio Madeira foi de  $100,00 \pm 25,42$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,25. A mínima registrada foi de  $62,00$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  na estação JUS.03 em abril de 2010 e a máxima de  $149,00$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  observada na estação JUS.02 em setembro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas em 2010 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de condutividade elétrica da água com mediana de  $147,50$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ , enquanto os menores valores ocorreram no período de águas altas de 2010 com mediana de  $66,00$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 37).



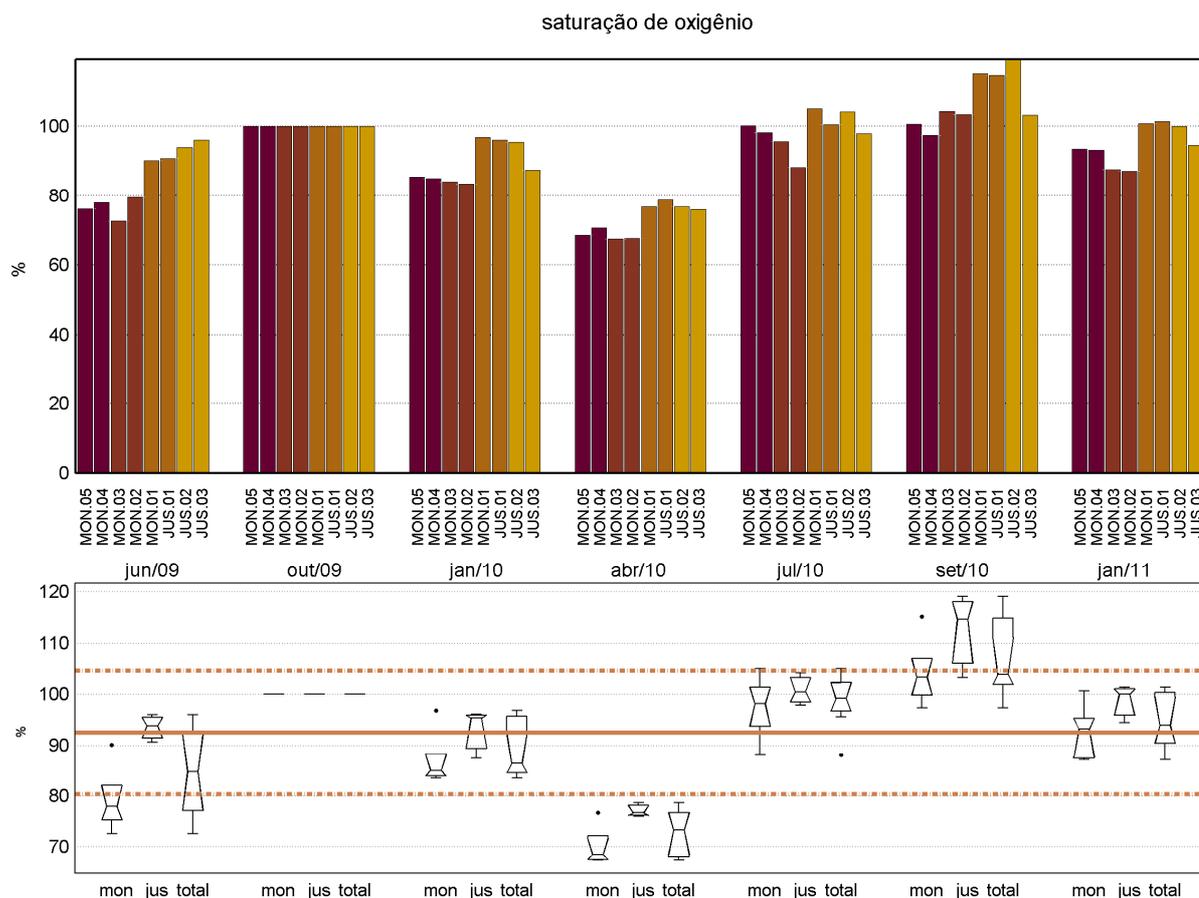
**Figura 37- Variação nos valores de condutividade elétrica da água no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio de pH da água do rio Madeira foi de  $7,17 \pm 0,46$  pH (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,06. O valor mínimo registrado foi de 5,72 na estação MON.01 em abril de 2010 e o máximo de 7,90 o observado nas estações JUS.01 e JUS.03 MON.01 em setembro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas em 2010 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de pH com mediana de 7,85 pH, enquanto os menores valores ocorreram no período de águas altas de 2010 com mediana de 6,73 pH (Figura 38).



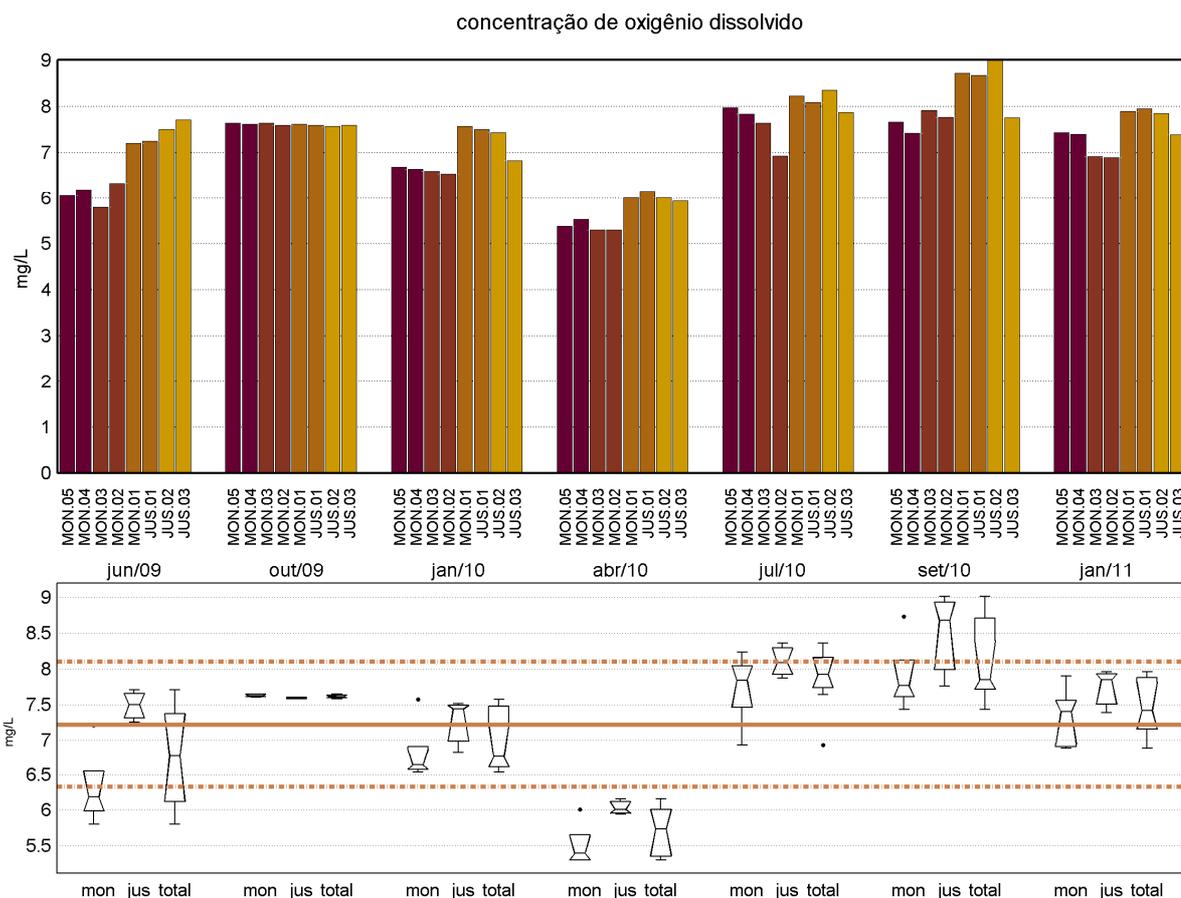
**Figura 38- Variações do pH da água no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio da porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido no rio Madeira foi de  $92,47 \pm 12,09$  % (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,13. A porcentagem mínima registrada foi de 67,47 % na estação JUS.01 em abril de 2010 e a máxima de 119,10 % obtida para a estação JUS.03 em setembro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas em 2010 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de saturação de oxigênio com mediana de 103,85 % , ao passo que os menores valores ocorreram no período de águas altas de 2010 com mediana de 73.30 % .(Figura 39)



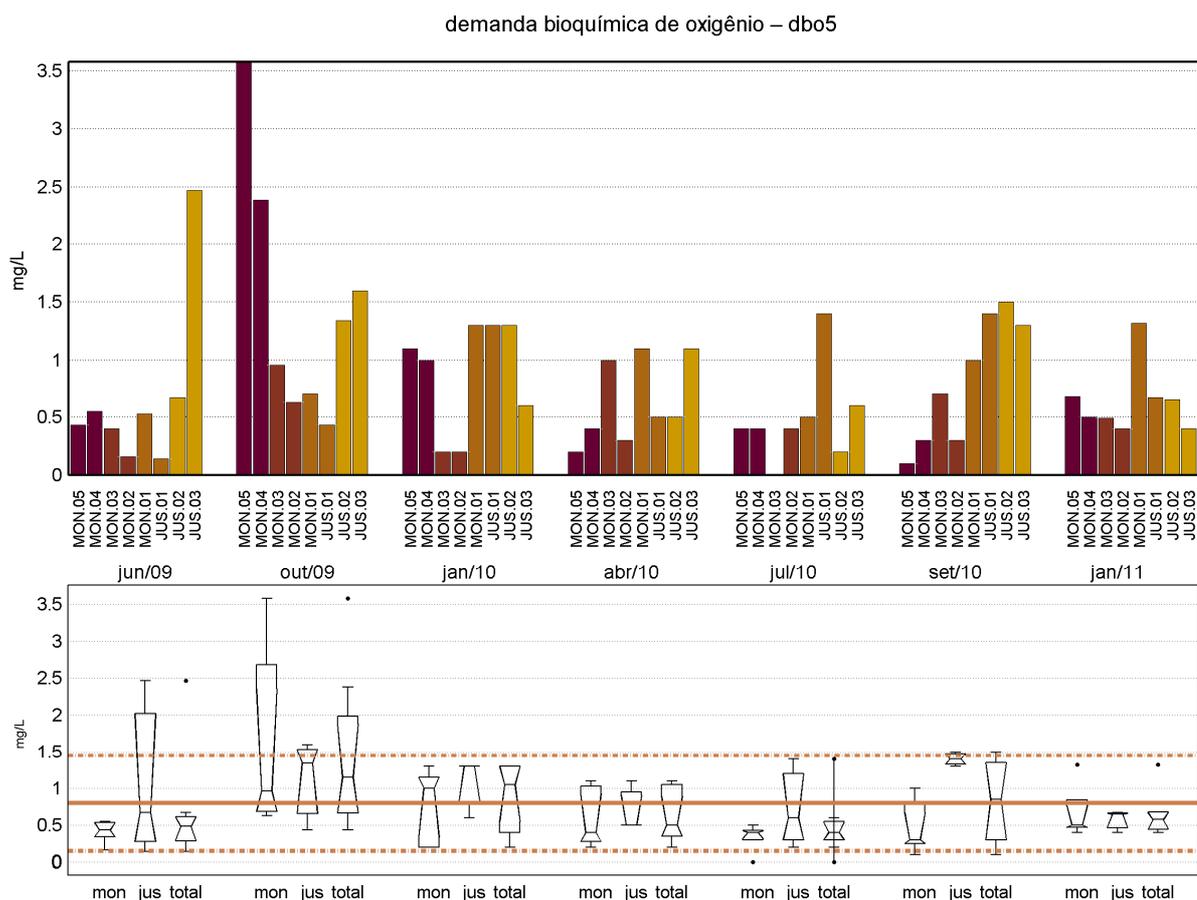
**Figura 39- Variações na porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido na água do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de oxigênio dissolvido na água do rio Madeira foi de  $7,22 \pm 0,89$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,12. A mínima registrada foi de 5,30 mg/L na estação JUS.01 em abril de 2010 e a máxima de 9,02 mg/L observada na estação JUS.03 em setembro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, os maiores valores de concentração de oxigênio dissolvido ocorreram no período de águas baixas em 2010, com mediana de 7,84 mg/L, enquanto os menores valores ocorreram no período de águas altas de 2010 com mediana de 5,74 mg/L (Figura 40).



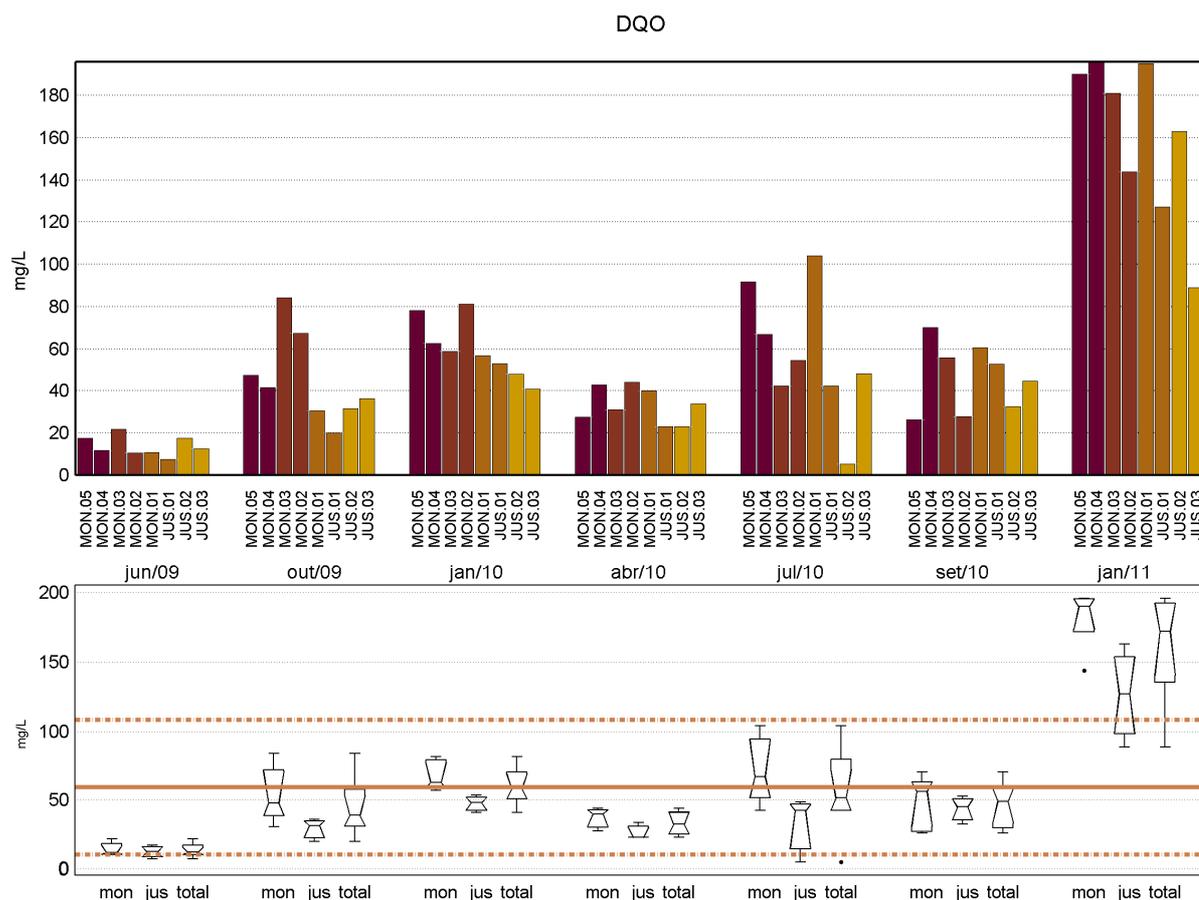
**Figura 40 - Variações na concentração de oxigênio dissolvido na água do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio da demanda bioquímica de oxigênio – DBO5 na água do rio Madeira foi de  $0,80 \pm 0,5$  mg/L (média±DP), com coeficiente de variação de 0,81. O valor mínimo registrado foi de 0,00 mg/L registrado na estação MON.04 em julho de 2010 e o máximo de 3,58 mg/L observado na estação MON.01 em outubro 2009. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas em 2010 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de demanda bioquímica de oxigênio – DBO5 com mediana de 1,15 mg/L, enquanto os menores valores ocorreram no período de vazante de 2010 com mediana de 0,40 mg/L (Figura 41).



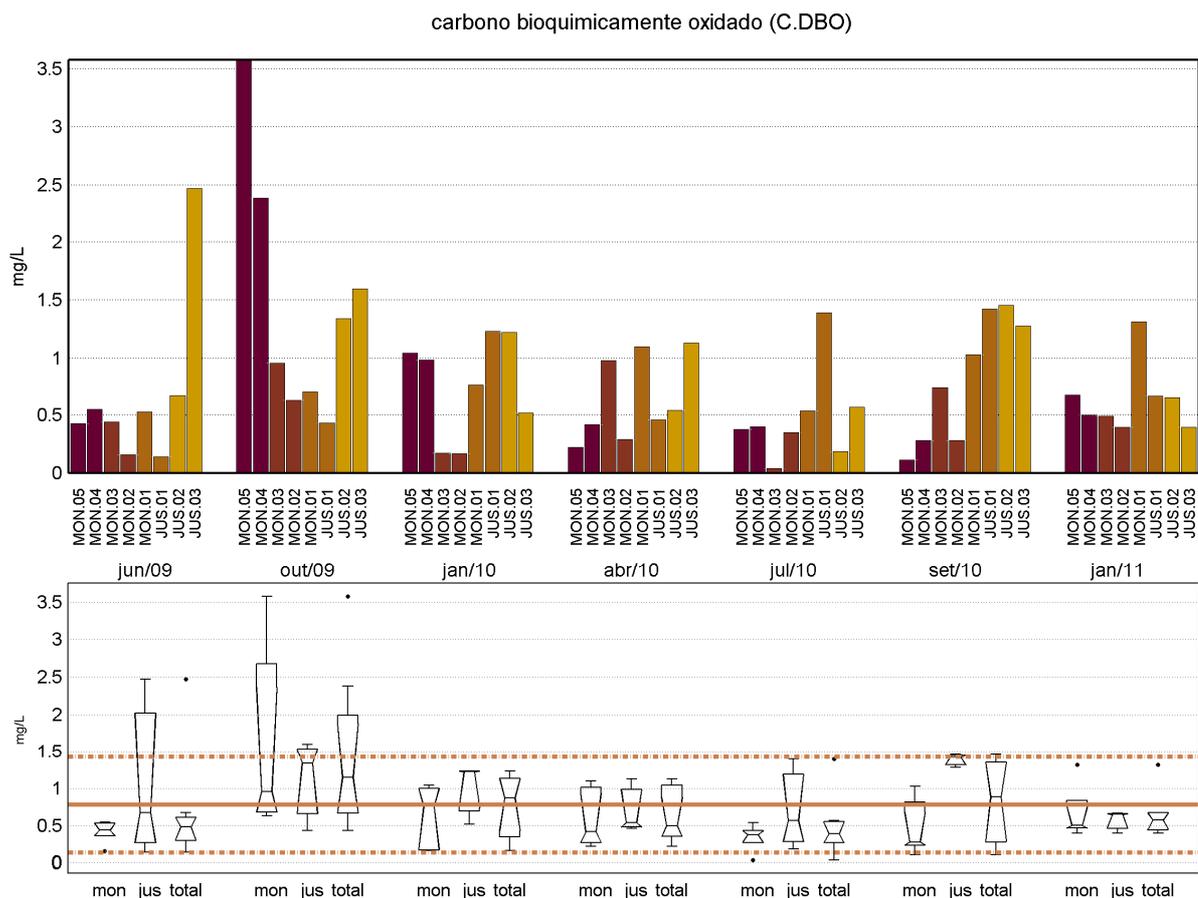
**Figura 41- Variações nos valores de demanda bioquímica de oxigênio - DBO5 no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio de DQO na água do rio Madeira foi de  $59,36 \pm 48,88$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,82. O valor mínima registrado foi de 5,20 mg/L na estação MON.02 em julho de 2010 e o máximo de 196,00 mg/L obtido na estação MON.05 em janeiro de 2011. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente de 2011 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de DQO com mediana de 172,00 mg/L, ao passo que os menores valores ocorreram no período de vazante de 2009 com mediana de 12,10 mg/L .



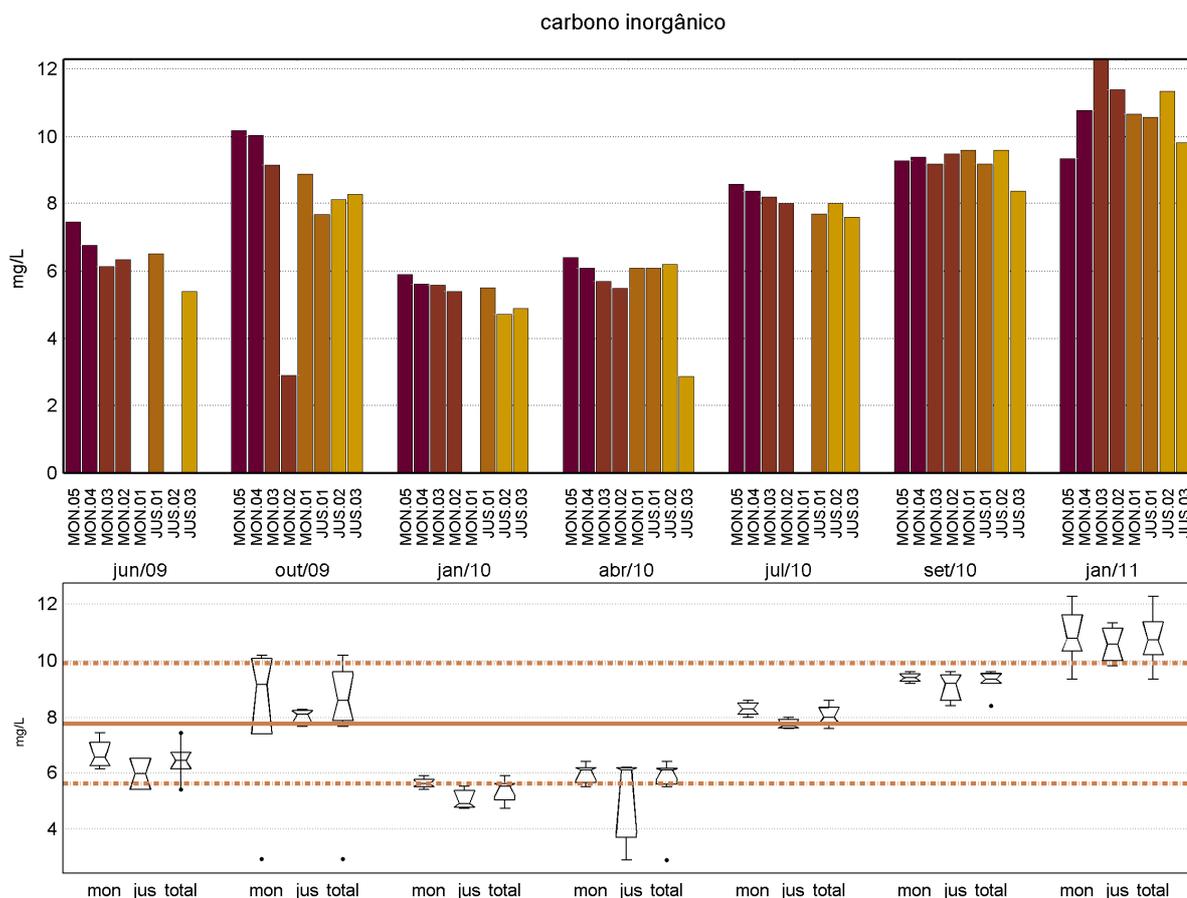
**Figura 42- Variações nos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de carbono bioquimicamente oxidado (C.DBO) no rio Madeira foi de  $0,78 \pm 0,64$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,82. A mínima registrada foi de 0,04 mg/L na estação MON.04 em julho de 2010 e a máxima de 3,58 mg/L registrada na estação MON.01 em outubro de 2009. Dentre os períodos hidrológicos analisados, os maiores valores de carbono bioquimicamente oxidado (C.DBO) ocorreram no período de águas baixas de 2010 com mediana de 1,15 mg/L, enquanto os menores valores ocorreram no período de vazante de 2010 com mediana de 0,39 mg/L.(Figura 43).



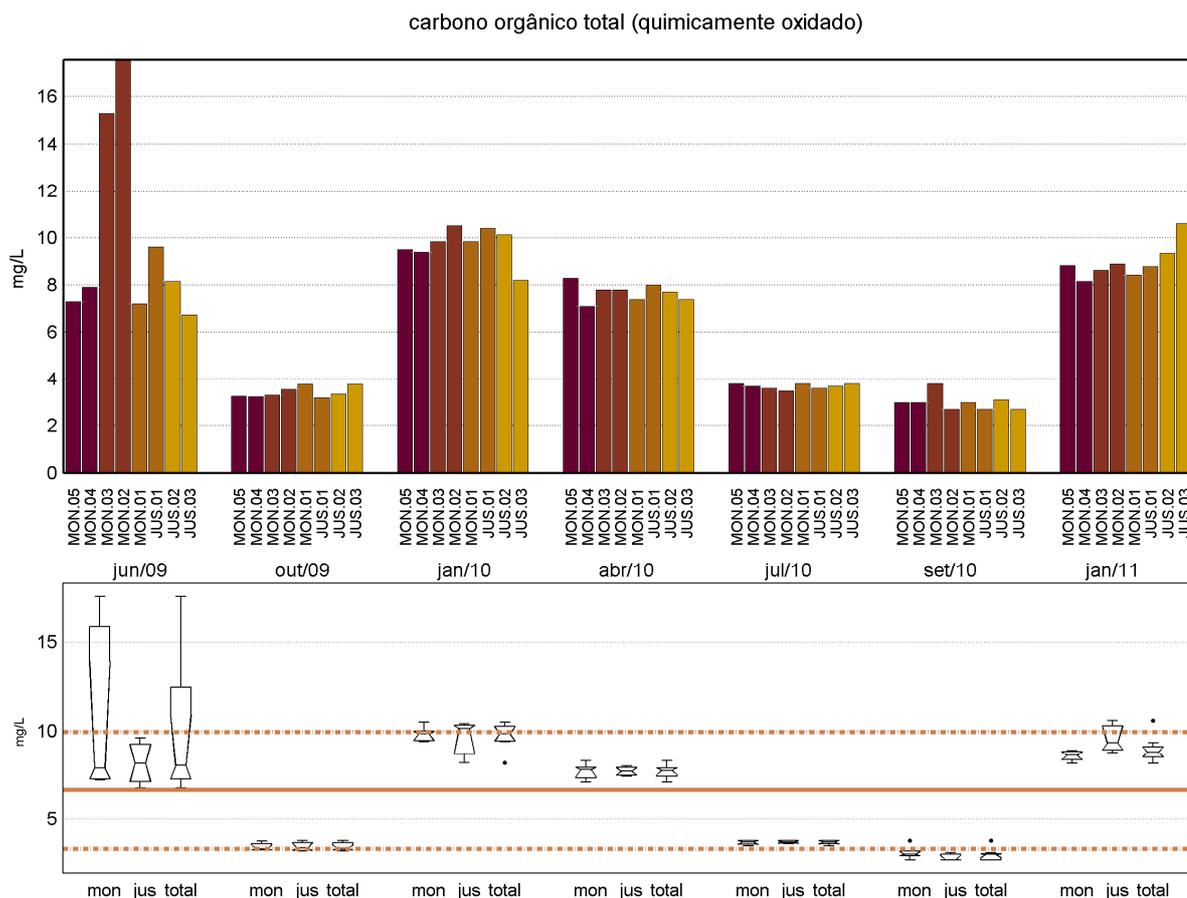
**Figura 43- Variações no valor médio de carbono bioquimicamente oxidado (C.DBO) no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de carbono inorgânico no rio Madeira foi de  $7.76 \pm 2.15$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.28. A mínima registrada foi de 2.90 mg/L na estação JUS.03 em abril/10 e a máxima de 12.28 mg/L observada na estação MON.04 em janeiro/11. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de carbono inorgânico com mediana de 10.73 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de enchente/10 com mediana de 6.10 mg/L.



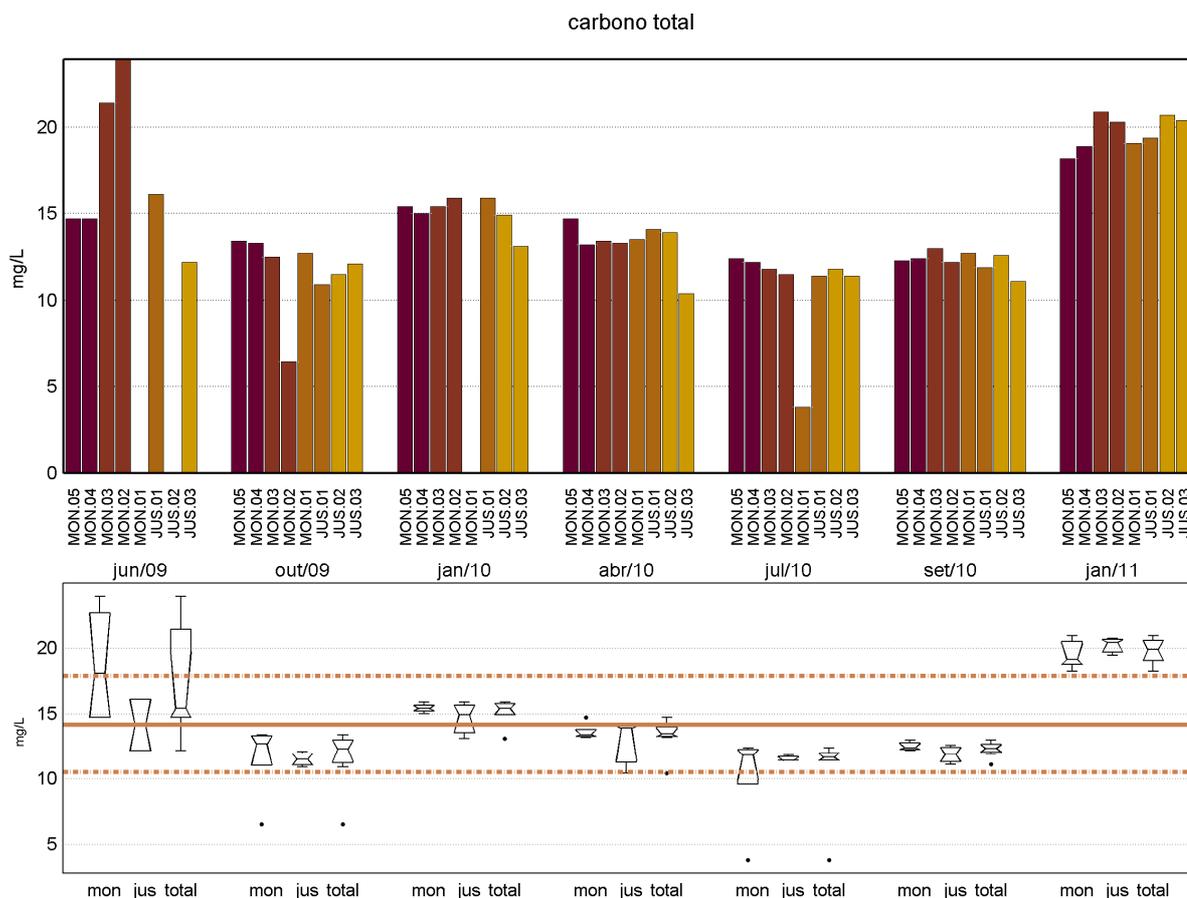
**Figura 44- Resultados de carbono inorgânico no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de carbono orgânico total (quimicamente oxidado) no rio Madeira foi de  $6.64 \pm 3.31$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.50. A mínima registrada foi de 2.70 mg/L nas estações JUS.01 e JUS.03 em setembro/10 e a máxima de 17.57 mg/L observada na estação MON.04 em junho/09. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de vazante/09 apresentou os maiores valores de carbono orgânico total (quimicamente oxidado) com mediana de 8.03 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 3.00 mg/L.



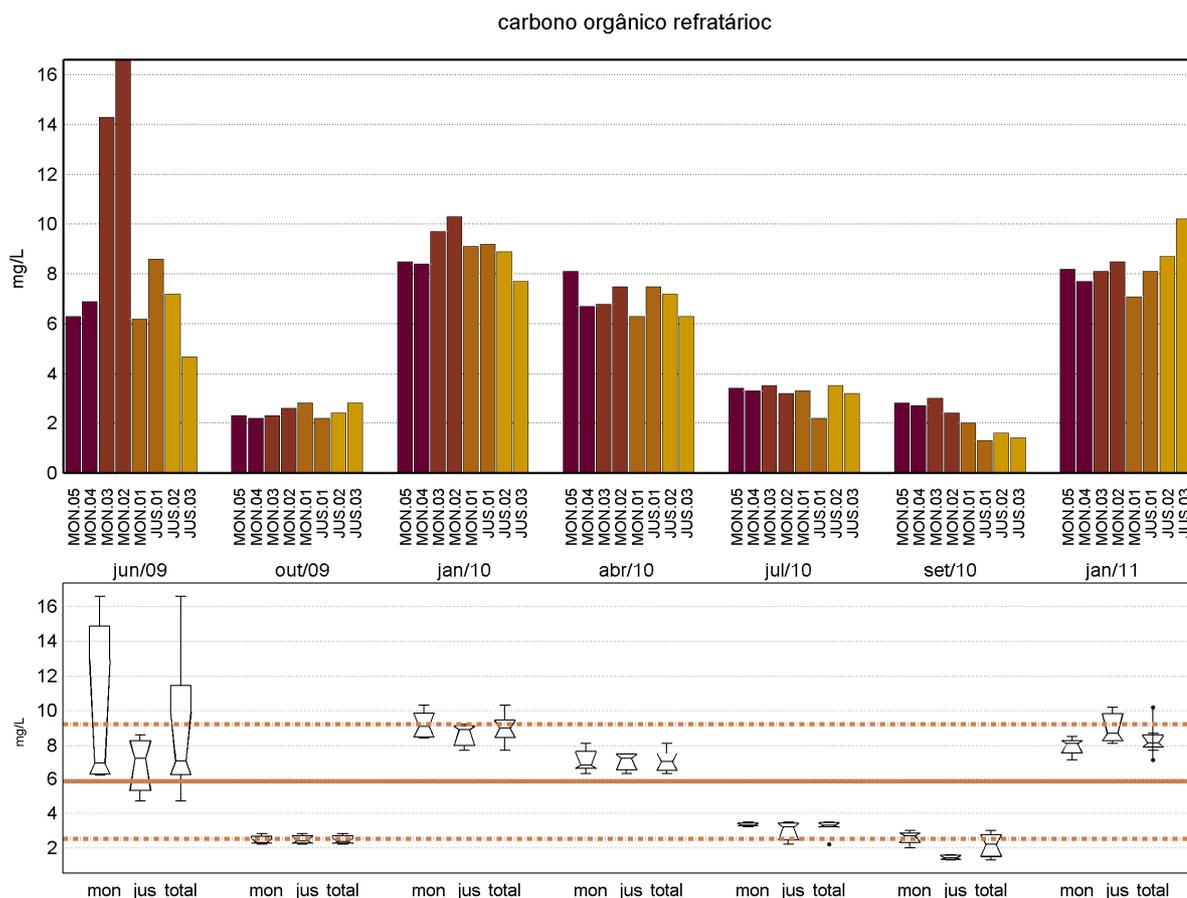
**Figura 45- Resultados de carbono orgânico total (quimicamente oxidado) no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de carbono total no rio Madeira foi de  $14.16 \pm 3.68$  mg/L (média±DP), com coeficiente de variação de 0.26. A mínima registrada foi de 3.80 mg/L na estação MON.03 em julho/10 e a máxima de 23.90 mg/L observada na estação MON.04 em junho/09. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de carbono total com mediana de 19.85 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de vazante/10 com mediana de 11.65 mg/L.



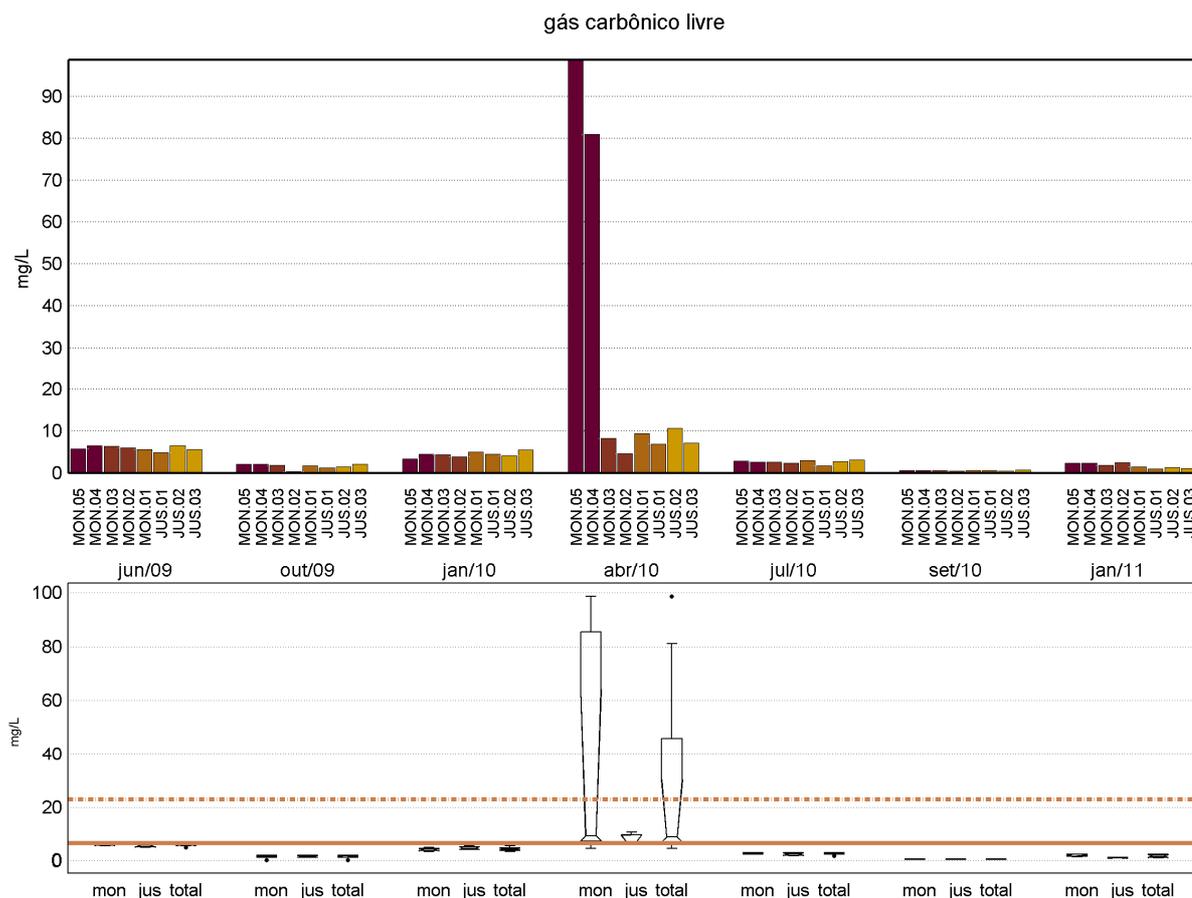
**Figura 46- Resultados de carbono total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de carbono orgânico refratário no rio Madeira foi de  $5.86 \pm 3.34$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.57. A mínima registrada foi de 1.30 mg/L na estação JUS.02 em setembro/10 e a máxima de 16.60 mg/L observada na estação MON.04 em junho/09. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/10 apresentou os maiores valores de carbono orgânico refratário com mediana de 9.00 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 2.20 mg/L.



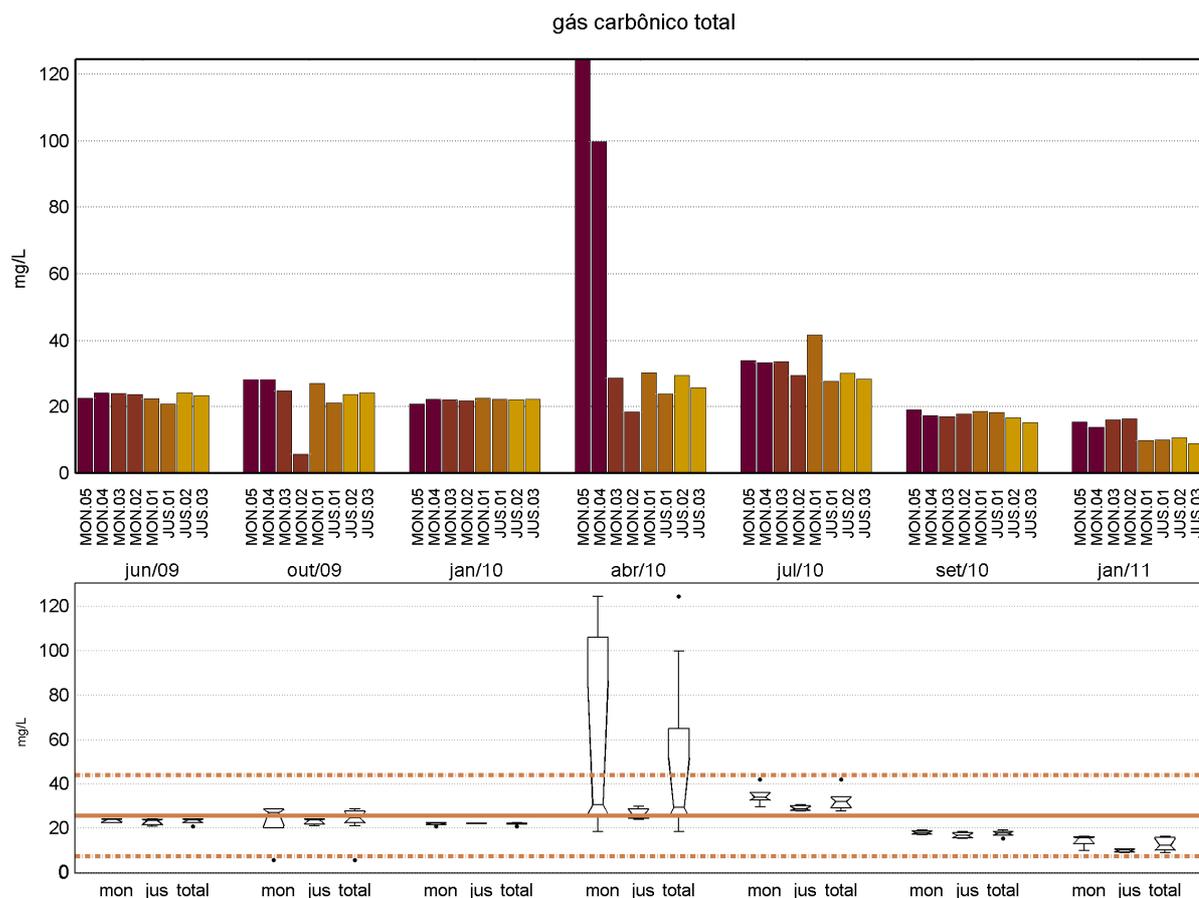
**Figura 47- Resultados de carbono orgânico refratário no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de gás carbônico livre no rio Madeira foi de  $6.44 \pm 16.47$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 2.56. A mínima registrada foi de 0.32 mg/L na estação JUS.01 em outubro de 2009 e a máxima de 98.73 mg/L observada na estação MON.01 em abril de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas altas/10 apresentou os maiores valores de gás carbônico livre com mediana de 8.82 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 0.55 mg/L .



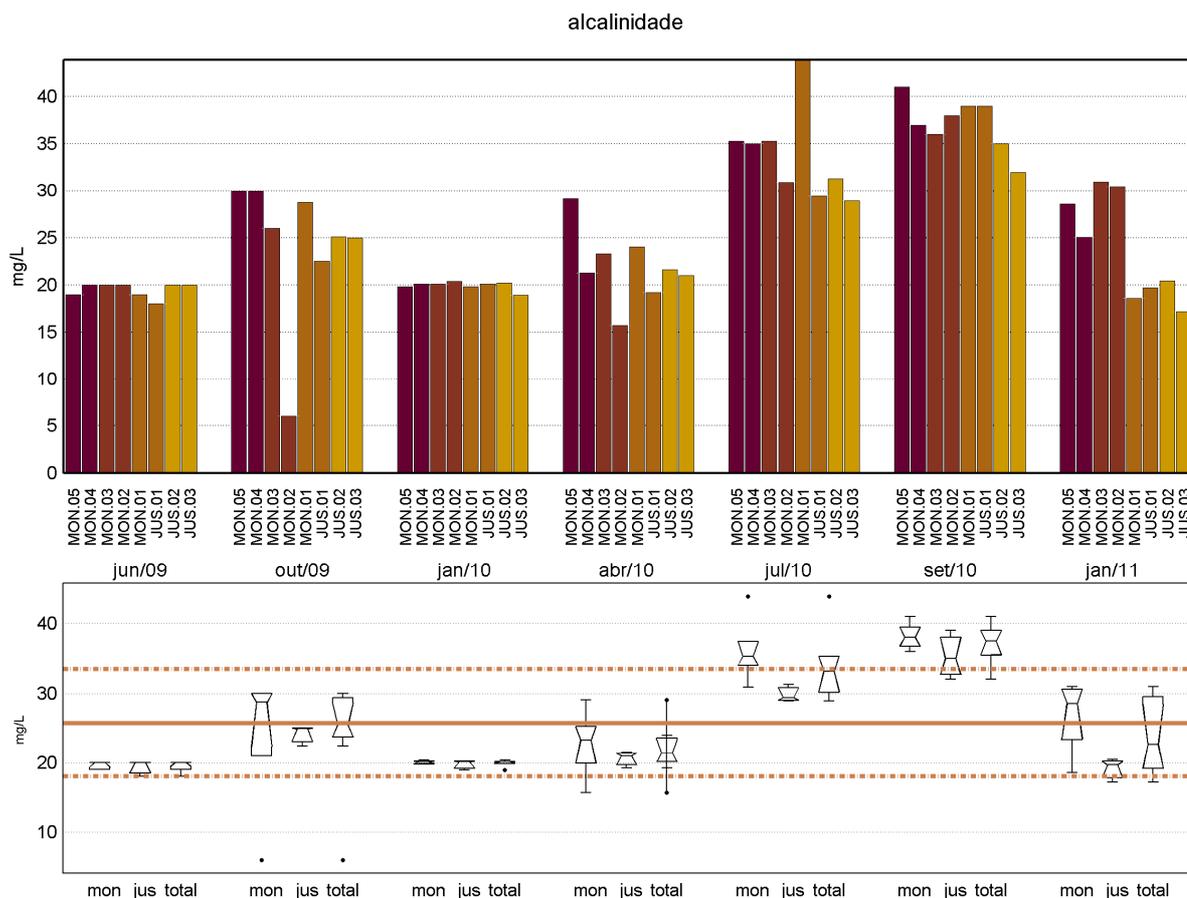
**Figura 48- Resultados de gás carbônico livre no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de gás carbônico total no rio Madeira foi de  $25.37 \pm 18.32$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.72. A mínima registrada foi de 5.58 mg/L na estação JUS.01 em outubro/09 e a máxima de 124.31 mg/L observada na estação MON.01 em abril/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas altas/10 apresentou os maiores valores de gás carbônico total com mediana de 29.20 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de enchente/11 com mediana de 12.11 mg/L.



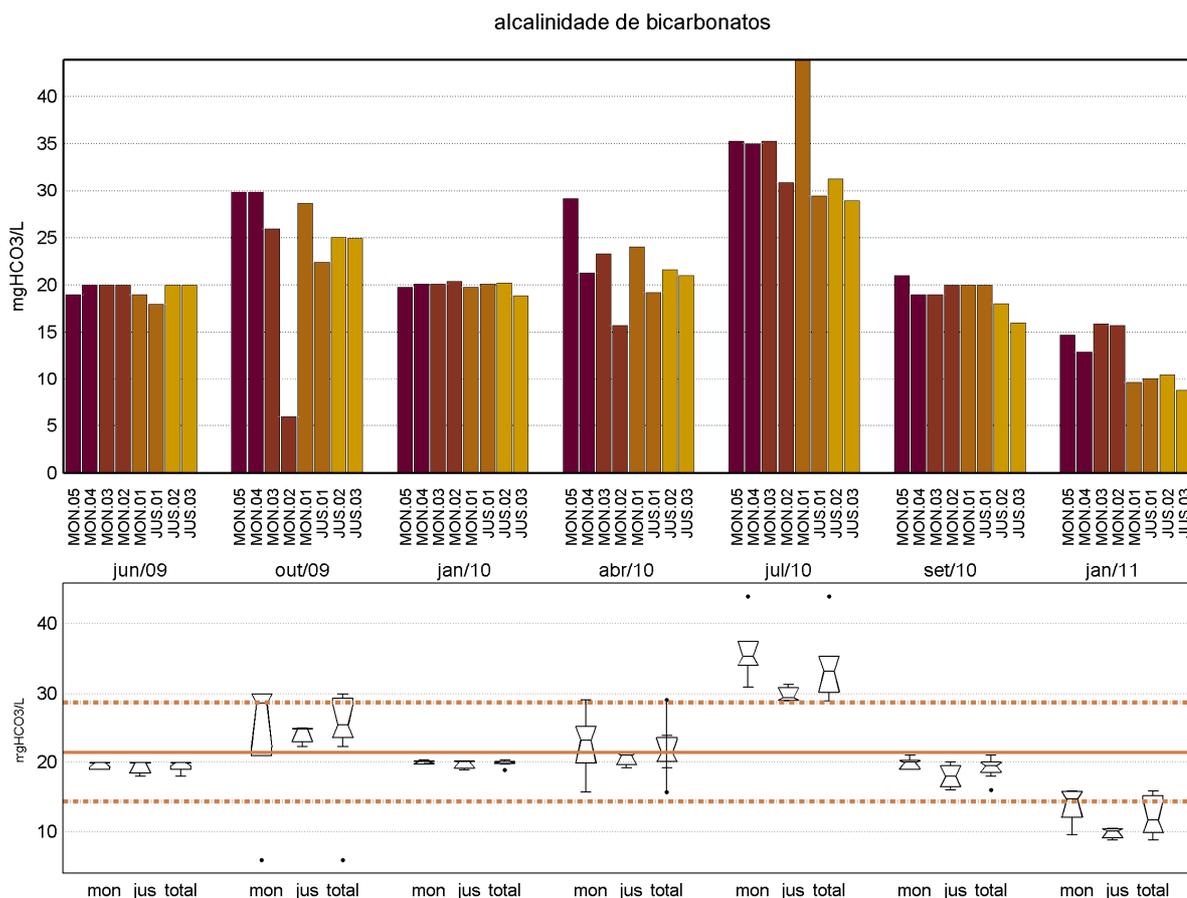
**Figura 49- Resultados de gás carbônico total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio de alcalinidade no rio Madeira foi de  $25,75 \pm 7,72$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,30. O valor mínimo registrado foi de 6,00 mg/L na estação JUS.01 em outubro/09 e a máxima de 43,90 mg/L observada na estação MON.03 em julho de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas em 2010 apresentou os maiores valores de alcalinidade com mediana de 37,50 mg/L, enquanto os menores valores ocorreram no período de vazante de 2009 com mediana de 20,00 mg/L.



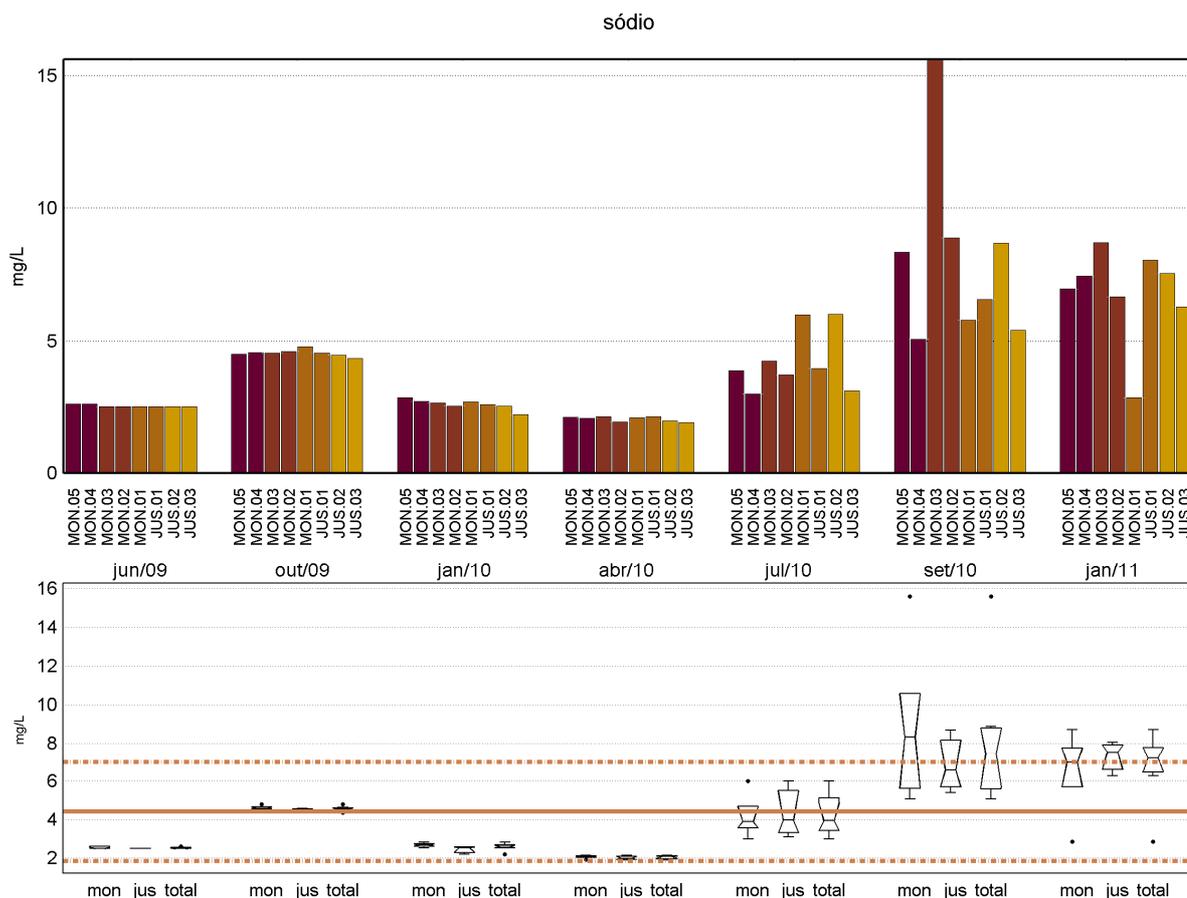
**Figura 50- Variações na alcalinidade da água do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio de alcalinidade de bicarbonatos no rio Madeira foi de  $21,50 \pm 7,15$   $\text{mgHCO}_3/\text{L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,33. O valor mínimo registrado foi de  $5,96 \text{ mgHCO}_3/\text{L}$  na estação JUS.01 em outubro de 2009 e o máximo de  $43,90 \text{ mgHCO}_3/\text{L}$  registrado na estação MON.03 em julho de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de vazante de 2010 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de alcalinidade de bicarbonatos com mediana de  $33,15 \text{ mgHCO}_3/\text{L}$ , ao passo que os menores valores ocorreram no período de enchente de 2011 com mediana de  $11,70 \text{ mgHCO}_3/\text{L}$ .



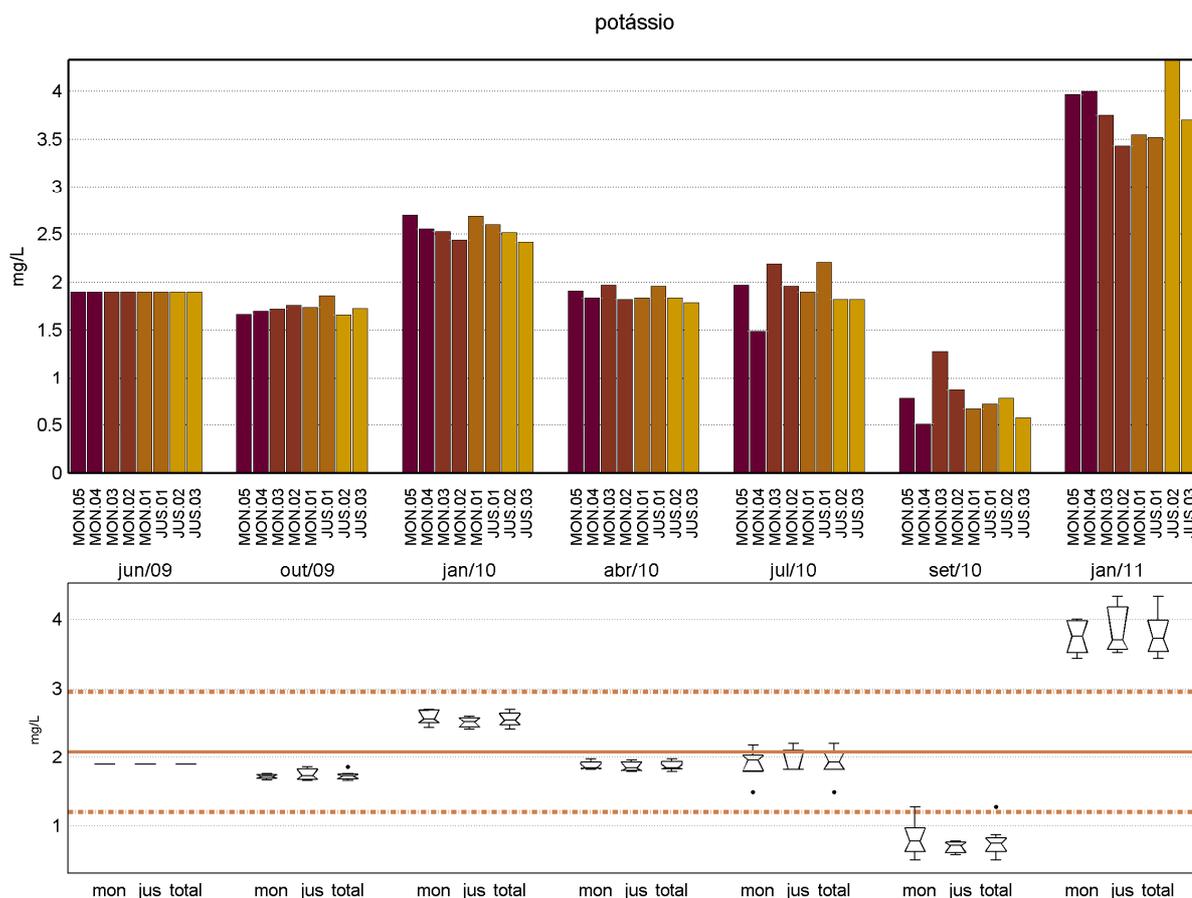
**Figura 51- Resultados de alcalinidade de bicarbonatos no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de sódio no rio Madeira foi de  $4.40 \pm 2.58$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.59. A mínima registrada foi de 1.90 mg/L na estação JUS.03 em abril/10 e a máxima de 15.60 mg/L observada na estação JUS.01 em setembro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas/10 apresentou os maiores valores de sódio com mediana de 7.45 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas altas/10 com mediana de 2.08 mg/L (Figura 52).



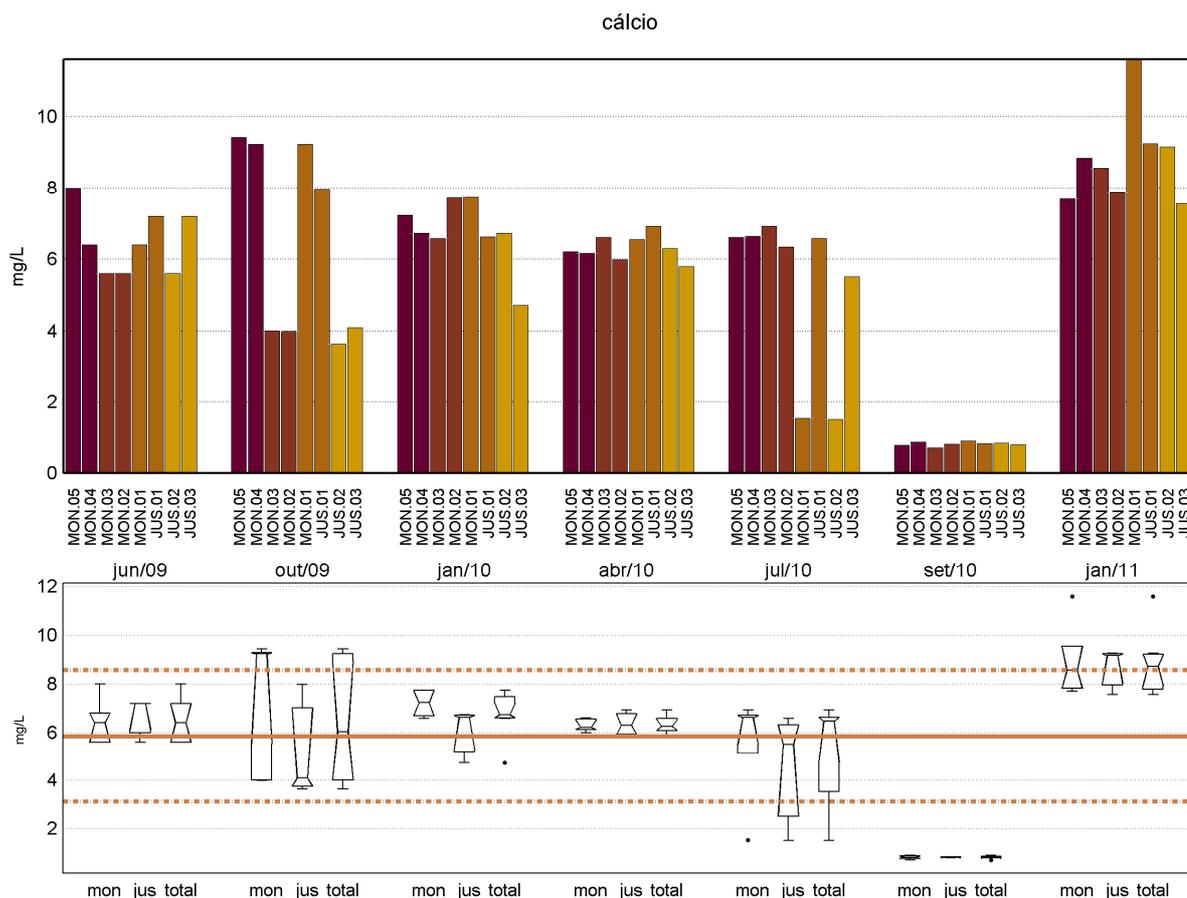
**Figura 52- Resultados de sódio no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de potássio no rio Madeira foi de  $2.08 \pm 0.87$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.42. A mínima registrada foi de 0.51 mg/L na estação MON.01 em setembro/10 e a máxima de 4.33 mg/L observada na estação MON.02 em janeiro/11. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de potássio com mediana de 3.73 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 0.75 mg/L ( ).



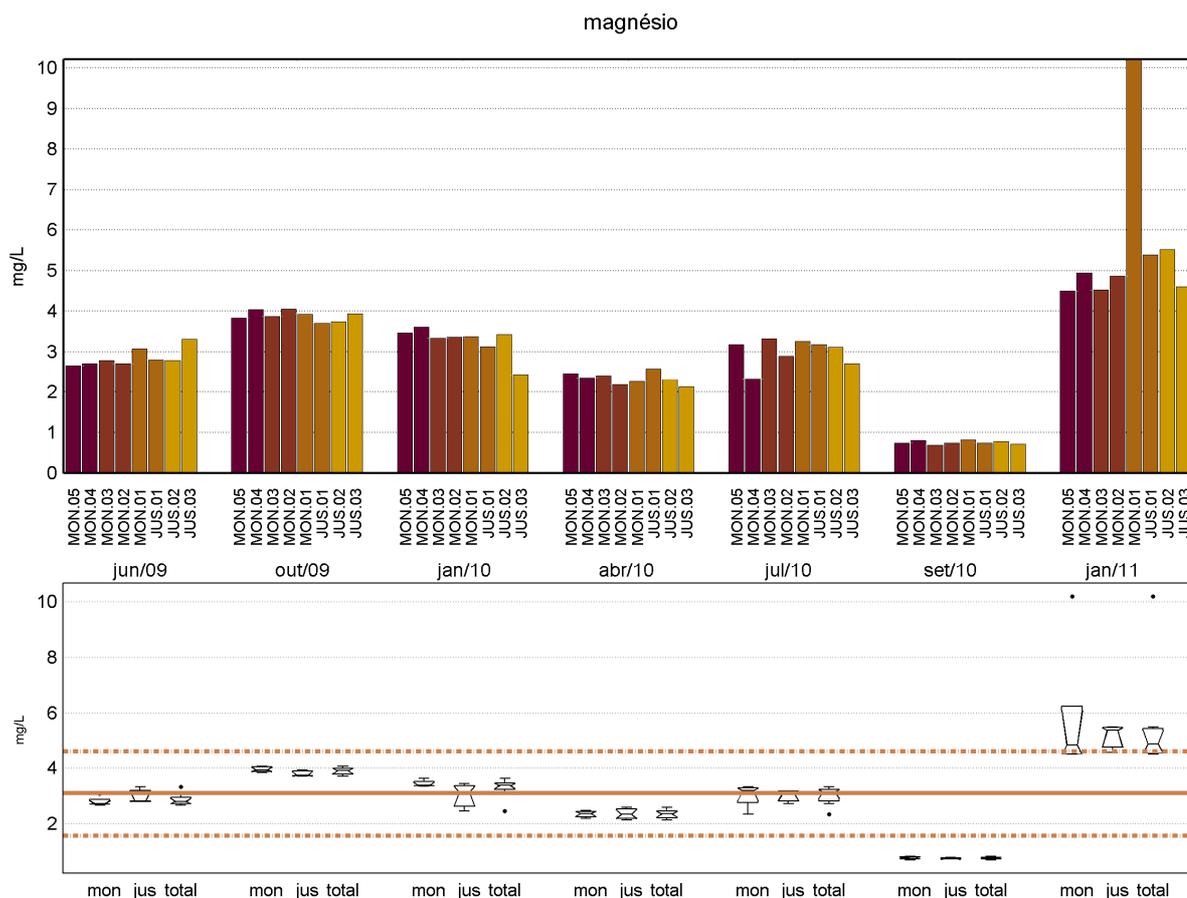
**Figura 53- Resultados de potássio no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de cálcio no rio Madeira foi de  $5.84 \pm 2.72$  mg/L (média±DP), com coeficiente de variação de 0.47. A mínima registrada foi de 0.71 mg/L na estação JUS.01 em setembro/10 e a máxima de 11.60 mg/L observada na estação MON.03 em janeiro/11. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de cálcio com mediana de 8.71 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 0.81 mg/L.



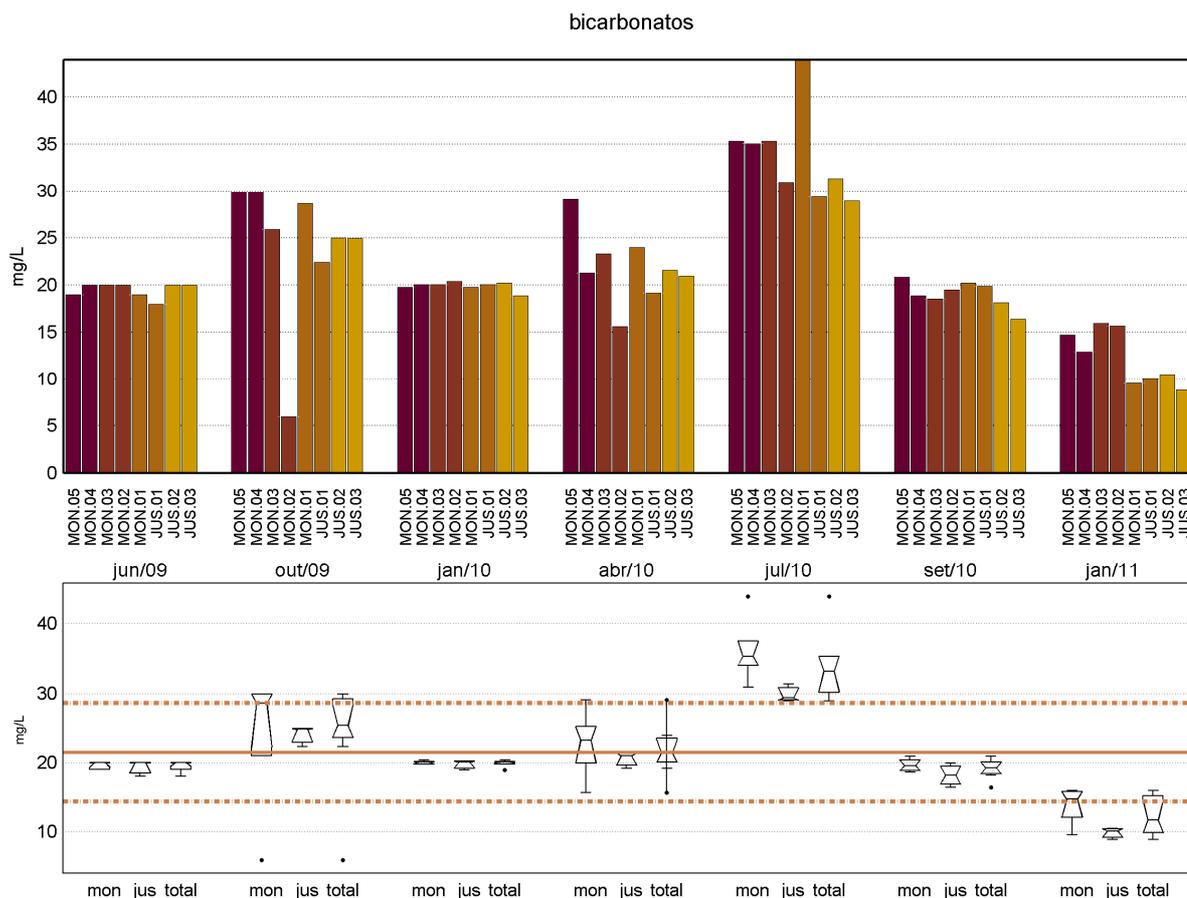
**Figura 54- Resultados de cálcio no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de magnésio no rio Madeira foi de  $3.10 \pm 1.55$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.50. A mínima registrada foi de 0.69 mg/L na estação JUS.01 em setembro/10 e a máxima de 10.20 mg/L observada na estação MON.03 em janeiro/11. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de magnésio com mediana de 4.91 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 0.74 mg/L.



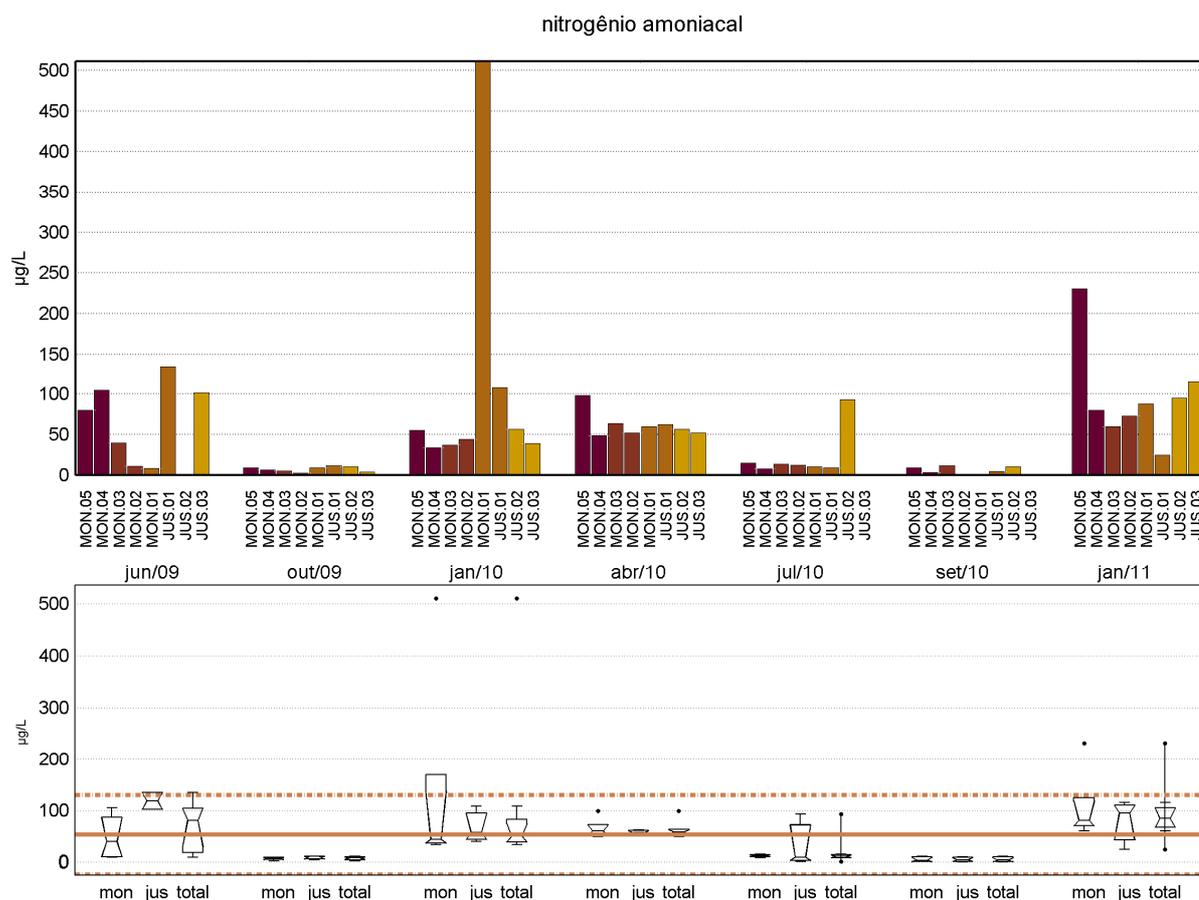
**Figura 55 - Resultados de magnésio no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de bicarbonatos no rio Madeira foi de  $21.50 \pm 7.15$  mg/L (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.33. A mínima registrada foi de 5.96 mg/L na estação JUS.01 em outubro/09 e a máxima de 43.93 mg/L observada na estação MON.03 em julho/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de vazante/10 apresentou os maiores valores de bicarbonatos com mediana de 33.20 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de enchente/11 com mediana de 11.71 mg/L.



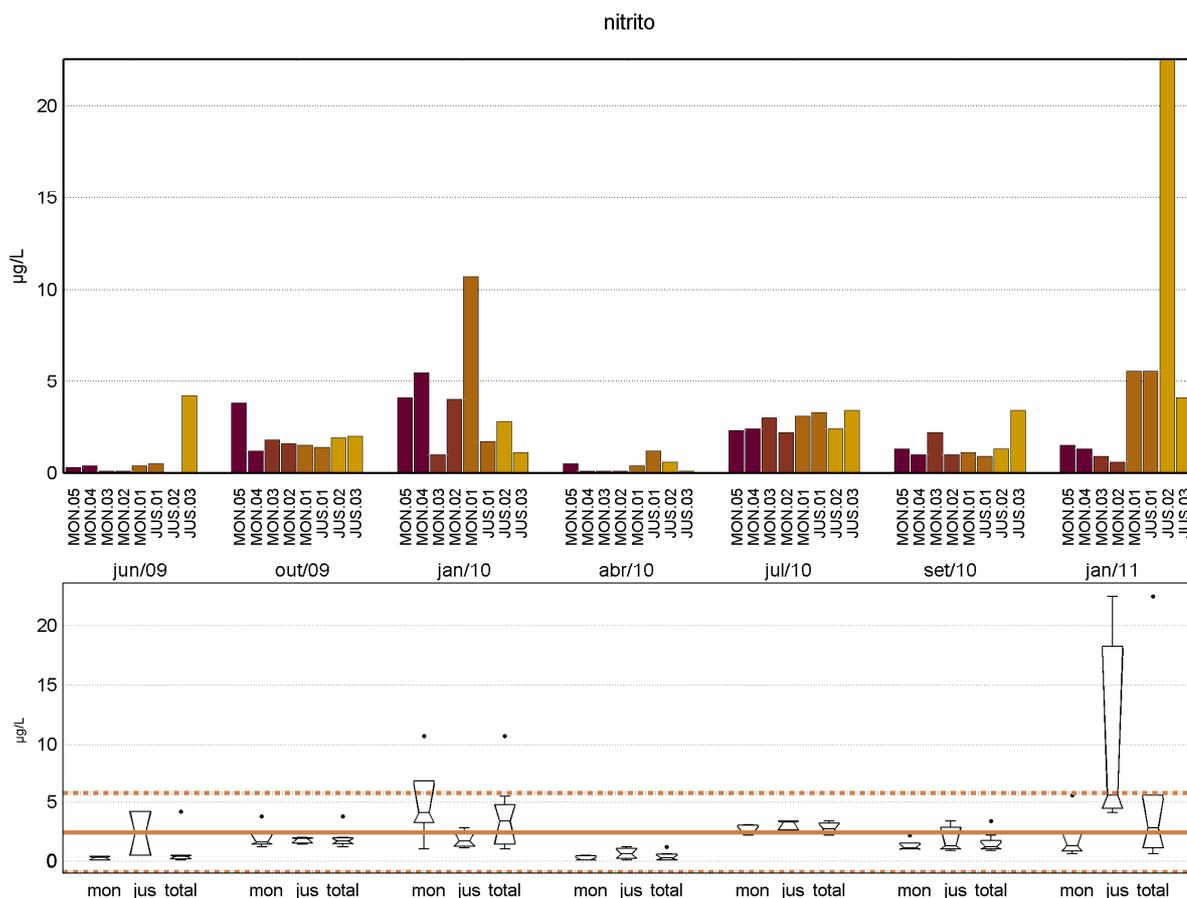
**Figura 56- Resultados de bicarbonatos no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de nitrogênio amoniacal no rio Madeira foi de  $52.24 \pm 77.39$   $\mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 1.48. A mínima registrada foi de 0.00  $\mu\text{g/L}$  na estação JUS.03 em setembro/10 e a máxima de 510.80  $\mu\text{g/L}$  observada na estação MON.03 em janeiro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/10 apresentou os maiores valores de nitrogênio amoniacal com mediana de 49.50  $\mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 3.50  $\mu\text{g/L}$ .



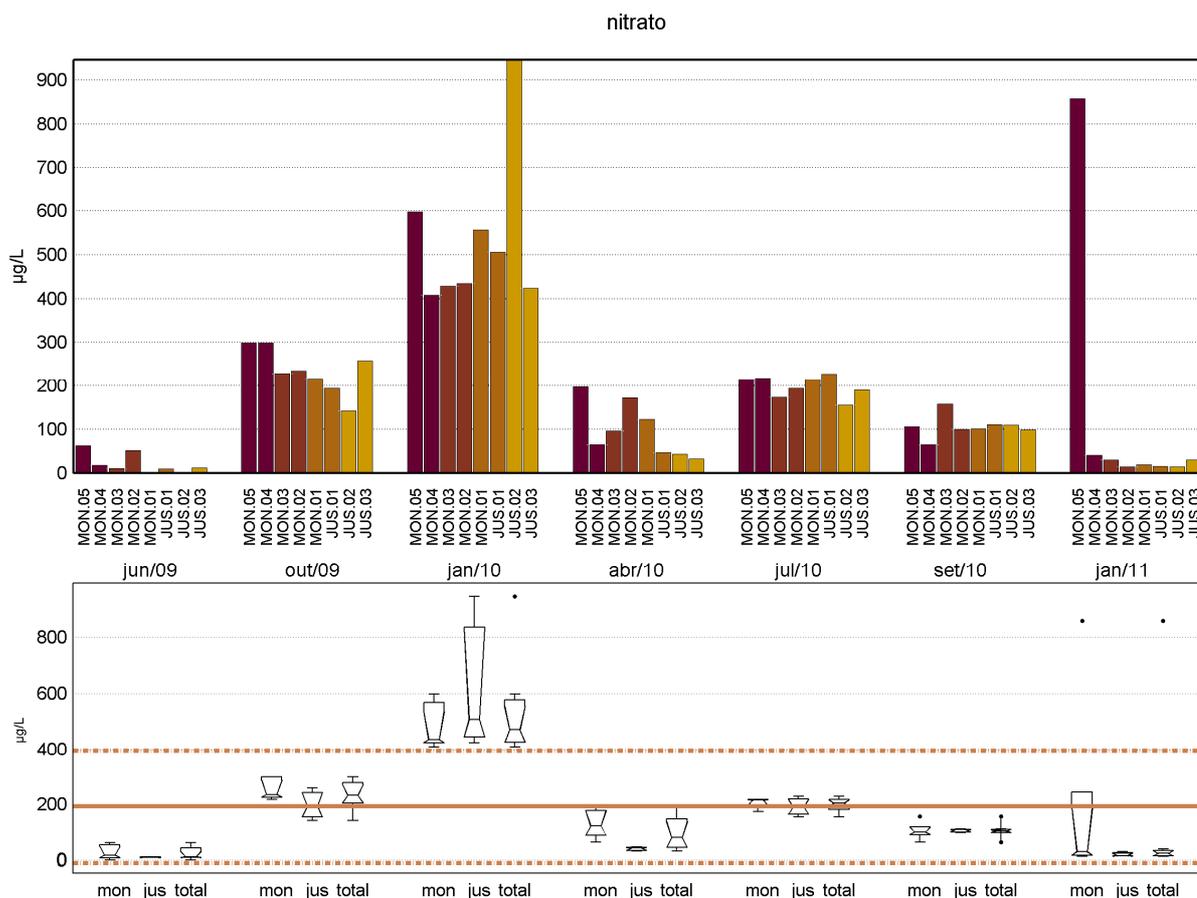
**Figura 57- Resultados de nitrogênio amoniacal no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de nitrito no rio Madeira foi de  $2.39 \pm 3.35 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 1.40. A mínima registrada foi de  $0.10 \mu\text{g/L}$  na estação JUS.01 JUS.03 MON.01 MON.04 em abril/10 junho/09 e a máxima de  $22.50 \mu\text{g/L}$  observada na estação MON.02 em janeiro/11. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de nitrito com mediana de  $2.80 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas altas/10 com mediana de  $0.25 \mu\text{g/L}$ .



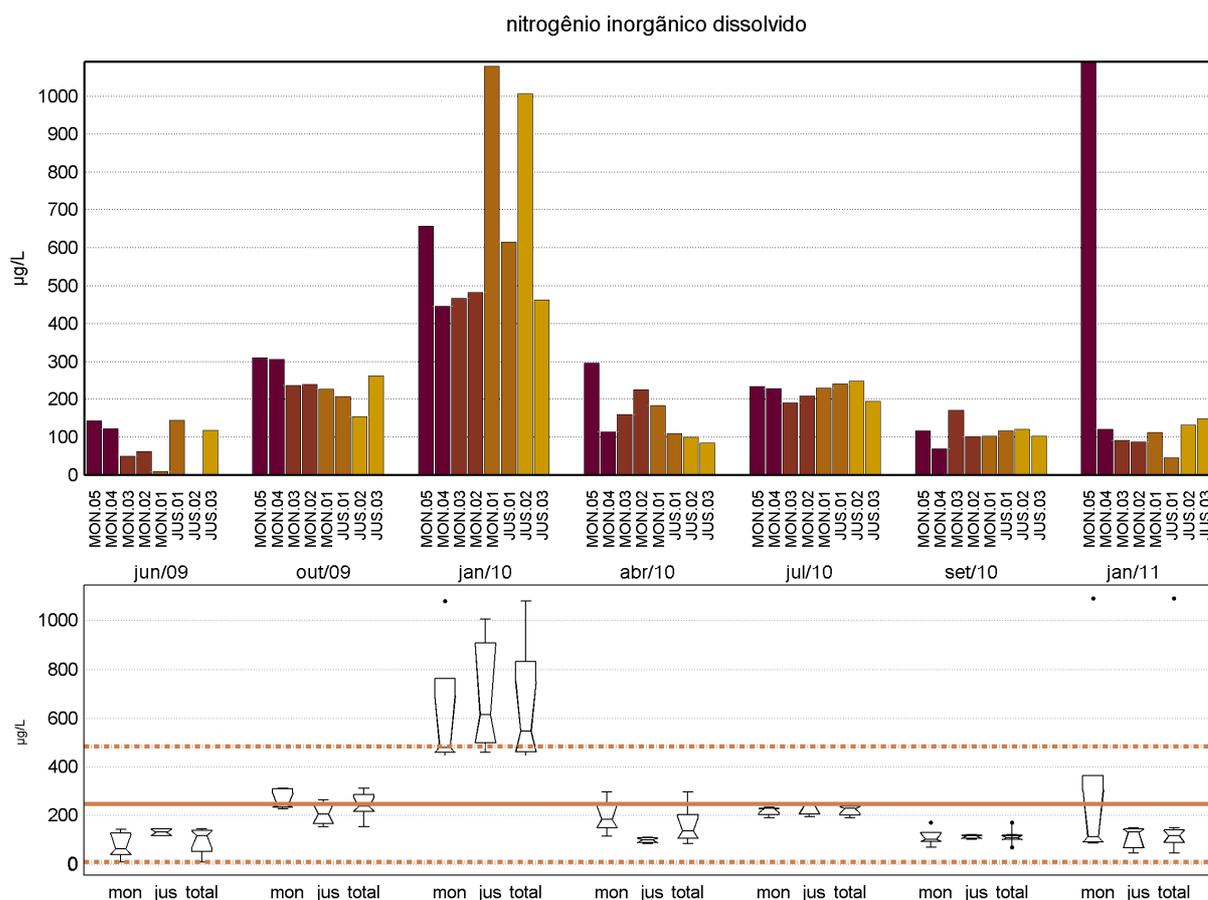
**Figura 58- Resultados de nitrito no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de nitrato no rio Madeira foi de  $192.30 \pm 203.21 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 1.06. A mínima registrada foi de  $1.00 \mu\text{g/L}$  na estação MON.03 em junho/09 e a máxima de  $946.60 \mu\text{g/L}$  observada na estação MON.02 em janeiro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/10 apresentou os maiores valores de nitrato com mediana de  $470.60 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de vazante/09 com mediana de  $80.95 \mu\text{g/L}$ .



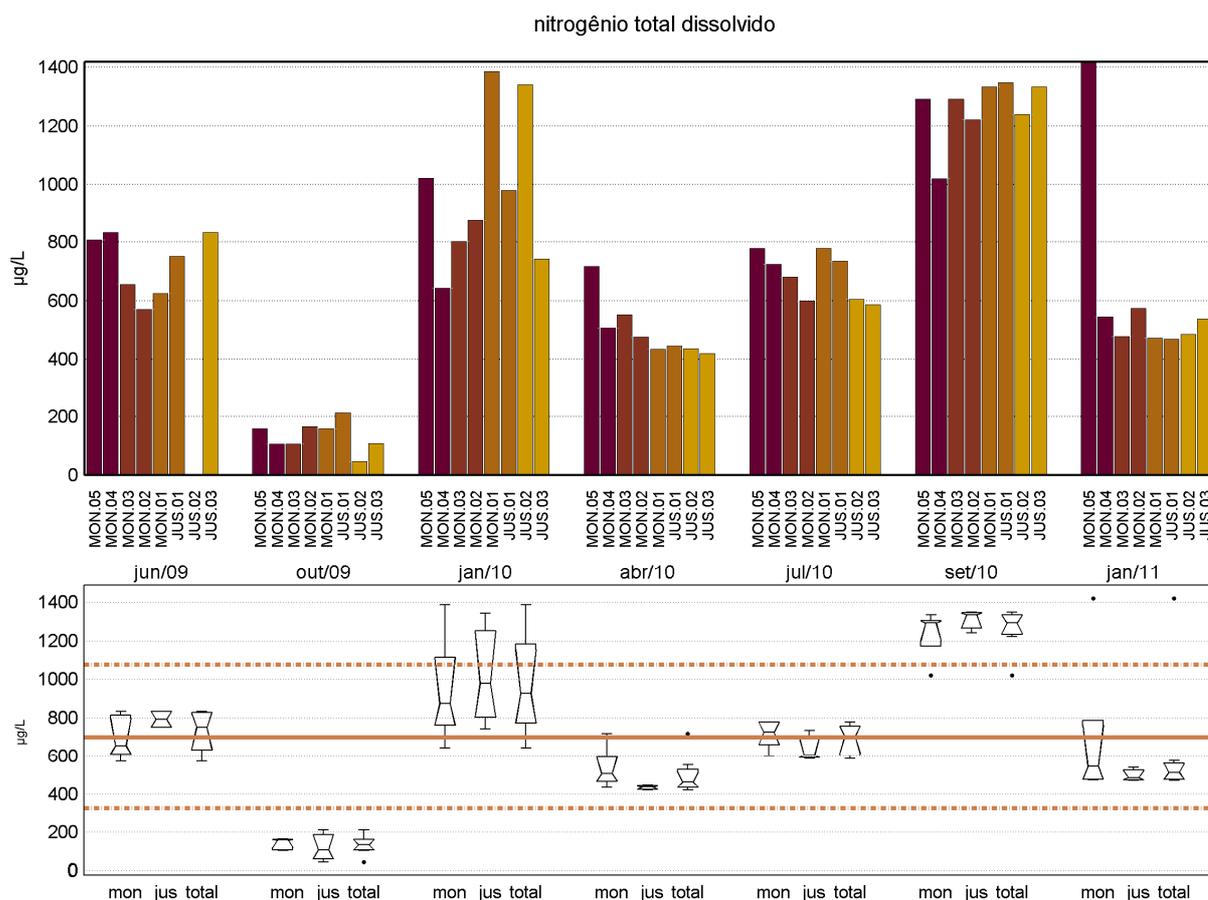
**Figura 59- Resultados de nitrato no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de nitrogênio inorgânico dissolvido no rio Madeira foi de  $246.94 \pm 238.95 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.97. A mínima registrada foi de  $9.60 \mu\text{g/L}$  na estação MON.03 em junho/09 e a máxima de  $1090.80 \mu\text{g/L}$  observada na estação MON.05 em janeiro/11. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/10 apresentou os maiores valores de nitrogênio inorgânico dissolvido com mediana de  $549.25 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de vazante/09 com mediana de  $108.75 \mu\text{g/L}$ .



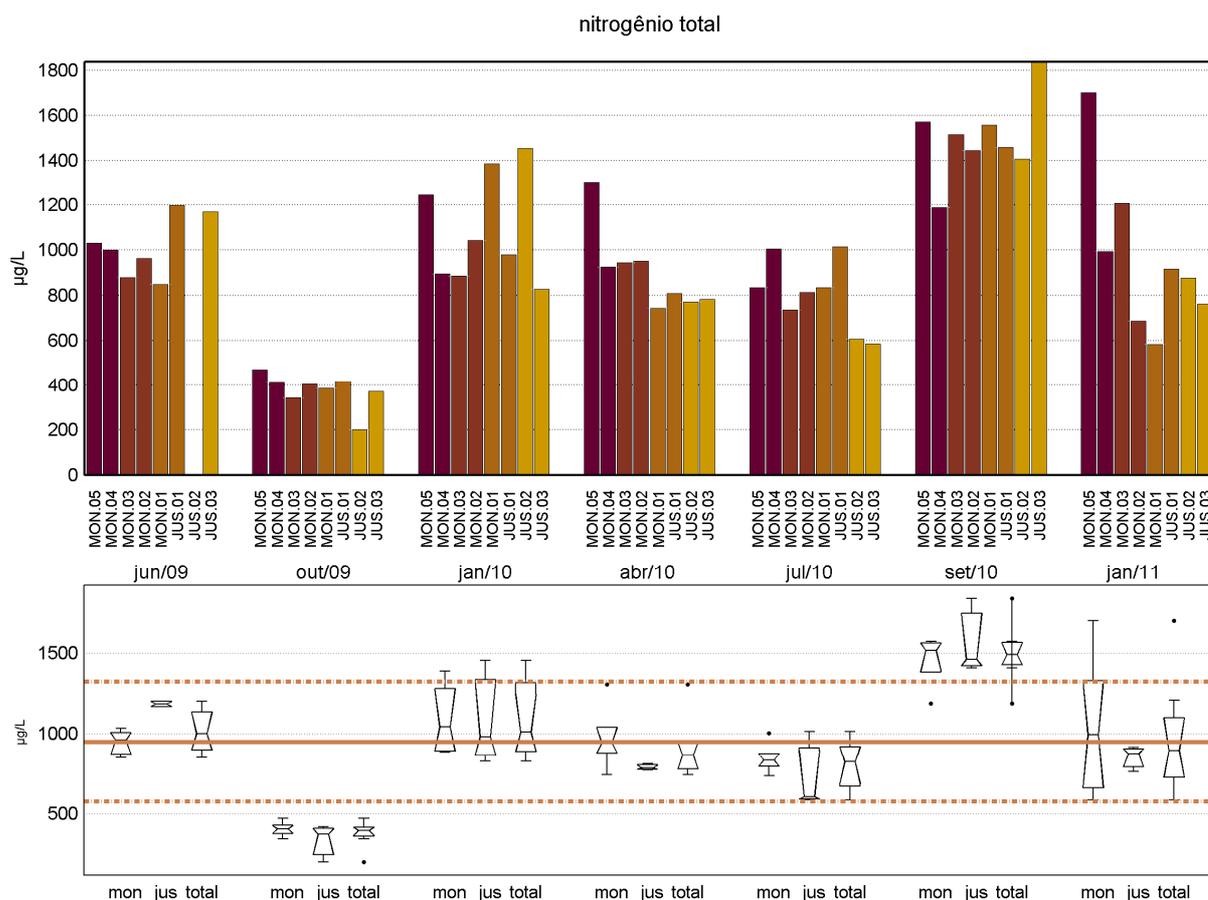
**Figura 60 - Resultados de nitrogênio inorgânico dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de nitrogênio total dissolvido no rio Madeira foi de  $699.53 \pm 374.87 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.54. A mínima registrada foi de  $45.60 \mu\text{g/L}$  na estação JUS.03 em outubro/09 e a máxima de  $1419.90 \mu\text{g/L}$  observada na estação MON.05 em janeiro/11. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas/10 apresentou os maiores valores de nitrogênio total dissolvido com mediana de  $1291.70 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de  $134.00 \mu\text{g/L}$ .



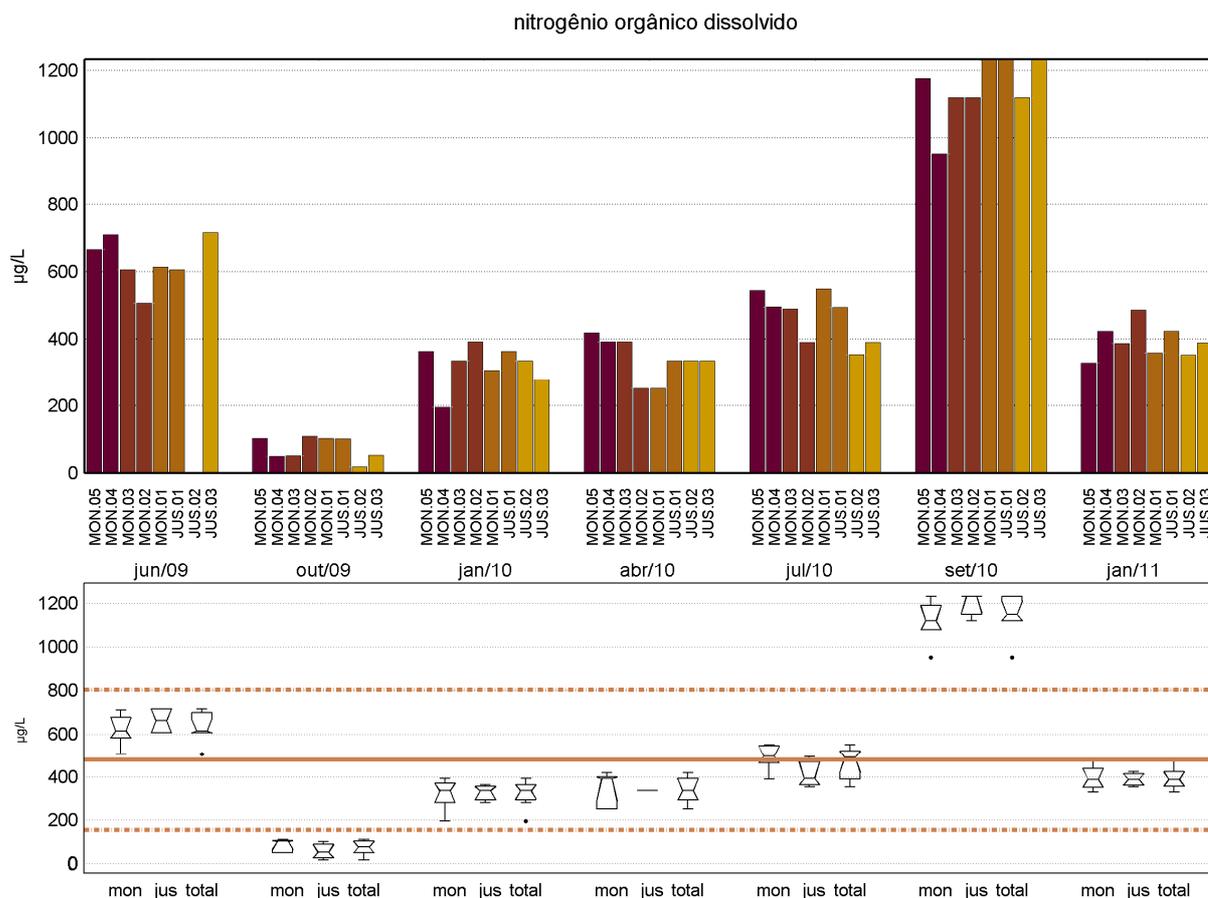
**Figura 61- Resultados de nitrogênio total dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de nitrogênio total no rio Madeira foi de  $949.02 \pm 372.34 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.39. A mínima registrada foi de 200.00  $\mu\text{g/L}$  na estação JUS.03 em outubro/09 e a máxima de 1837.80  $\mu\text{g/L}$  observada na estação JUS.03 em setembro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas/10 apresentou os maiores valores de nitrogênio total com mediana de 1487.50  $\mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 395.55  $\mu\text{g/L}$ .



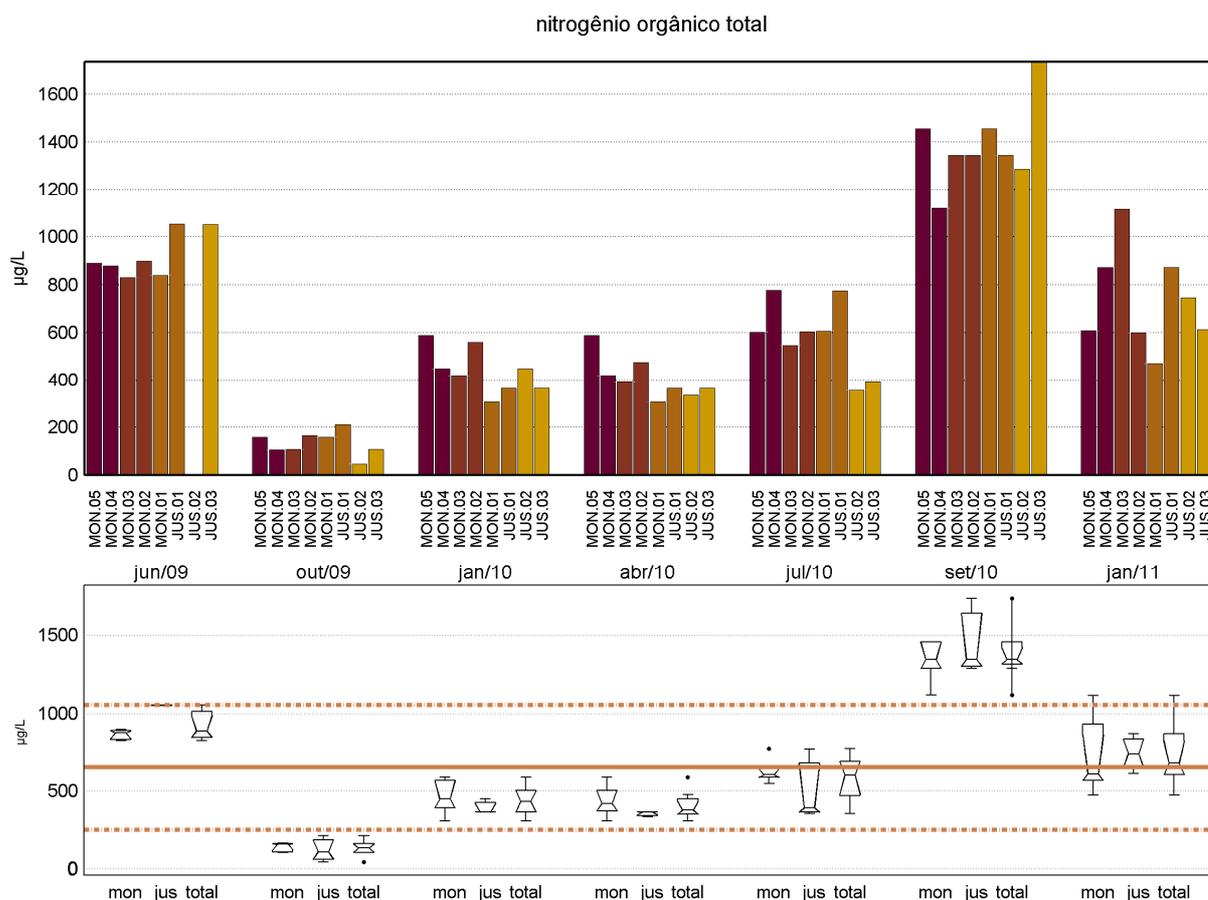
**Figura 62- Resultados de nitrogênio total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de nitrogênio orgânico dissolvido no rio Madeira foi de  $479.31 \pm 324.49 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.68. A mínima registrada foi de  $17.60 \mu\text{g/L}$  na estação JUS.03 em outubro/09 e a máxima de  $1232.00 \mu\text{g/L}$  observada na estação JUS.02 JUS.03 em setembro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas/10 apresentou os maiores valores de nitrogênio orgânico dissolvido com mediana de  $1148.00 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de  $76.70 \mu\text{g/L}$ .



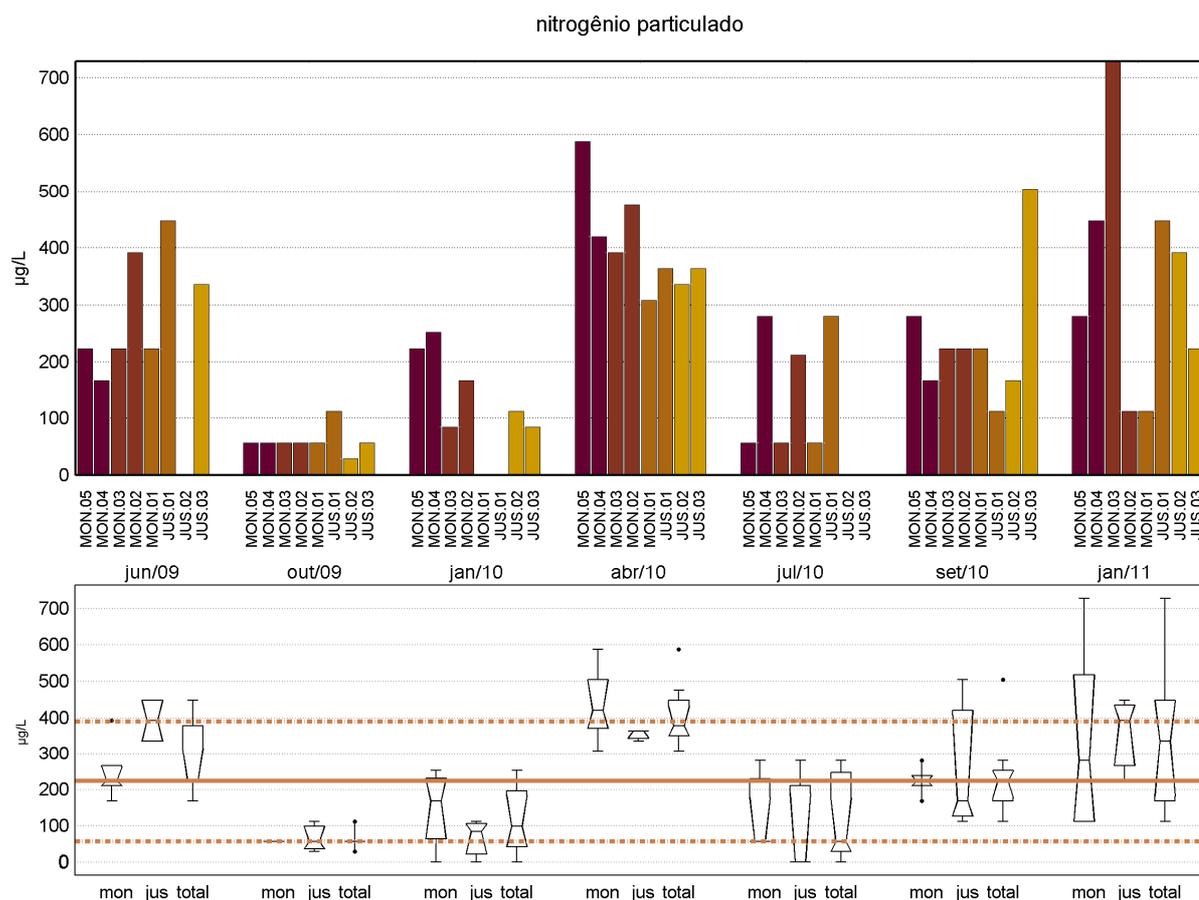
**Figura 63- Resultados de nitrogênio orgânico dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de nitrogênio orgânico total no rio Madeira foi de  $652.70 \pm 403.64 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.62. A mínima registrada foi de  $45.60 \mu\text{g/L}$  na estação JUS.03 em outubro/09 e a máxima de  $1736.00 \mu\text{g/L}$  observada na estação JUS.03 em setembro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas/10 apresentou os maiores valores de nitrogênio orgânico total com mediana de  $1344.00 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de  $134.00 \mu\text{g/L}$ .



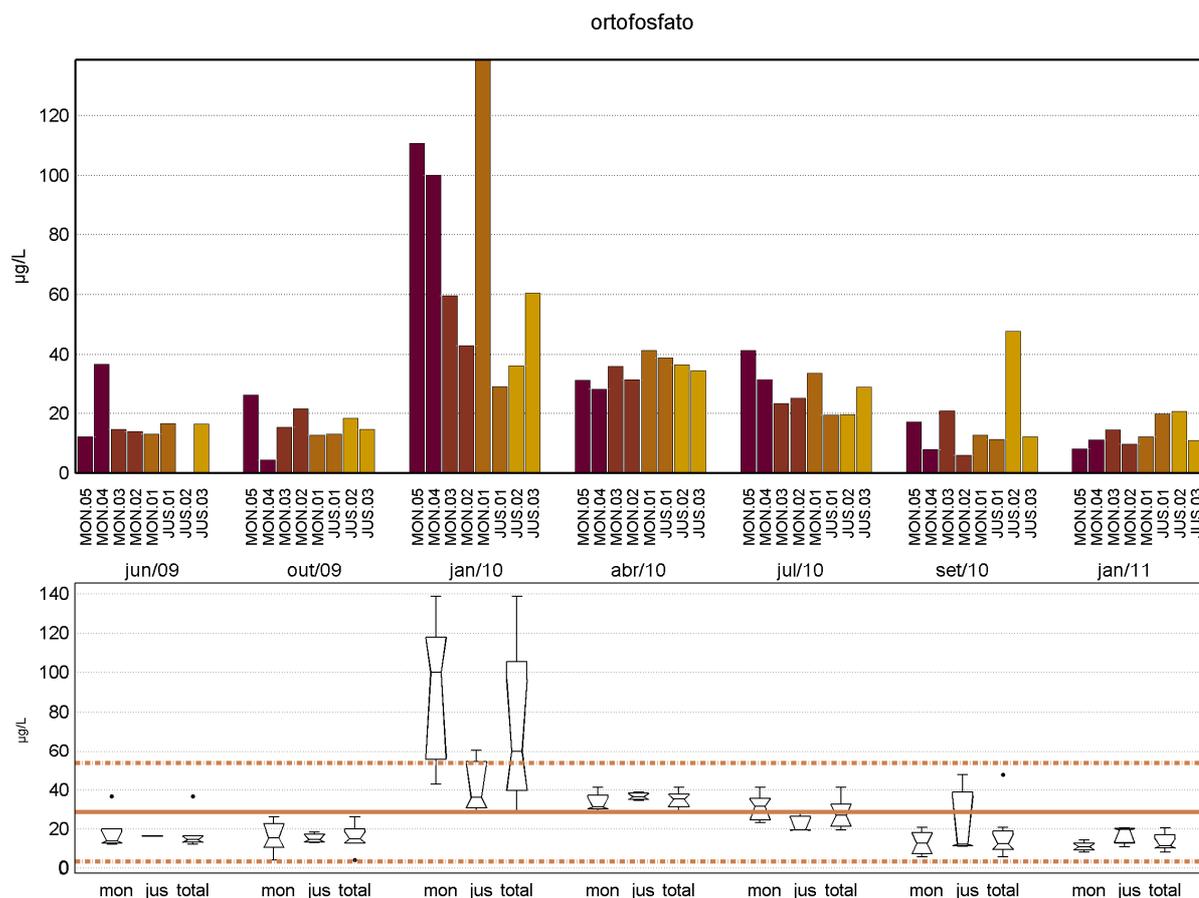
**Figura 64- Resultados de nitrogênio orgânico total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de nitrogênio particulado no rio Madeira foi de  $222.78 \pm 166.35$   $\mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.75. A mínima registrada foi de 0.00  $\mu\text{g/L}$  na estação MON.02 MON.03 em janeiro/10 julho/10 e a máxima de 728.00  $\mu\text{g/L}$  observada na estação MON.04 em janeiro/11. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas altas/10 apresentou os maiores valores de nitrogênio particulado com mediana de 378.00  $\mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 56.00  $\mu\text{g/L}$ .



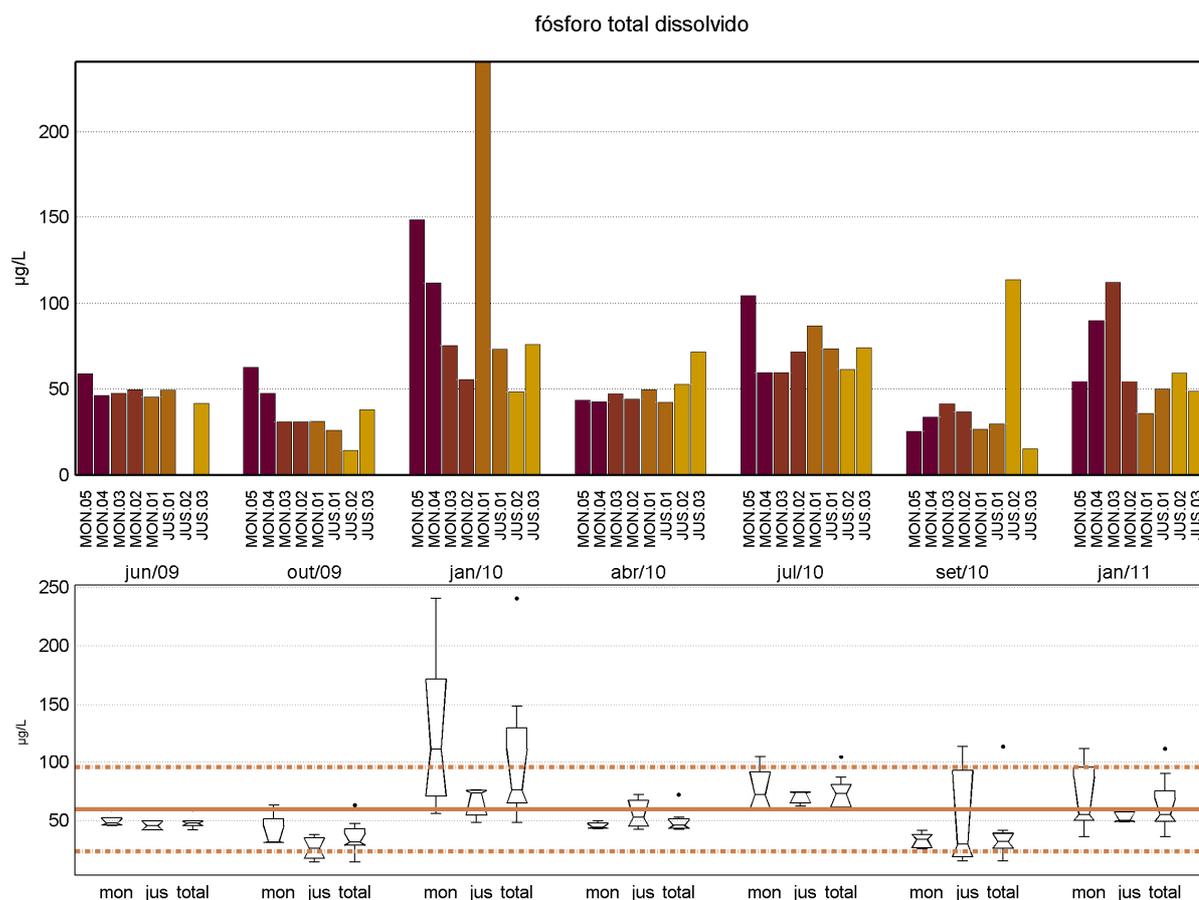
**Figura 65 - Resultados de nitrogênio particulado no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de ortofosfato no rio Madeira foi de  $28.54 \pm 25.22 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.88. A mínima registrada foi de  $4.30 \mu\text{g/L}$  na estação MON.01 em outubro/09 e a máxima de  $138.70 \mu\text{g/L}$  observada na estação MON.03 em janeiro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/10 apresentou os maiores valores de ortofosfato com mediana de  $60.05 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de enchente/11 com mediana de  $11.55 \mu\text{g/L}$ .



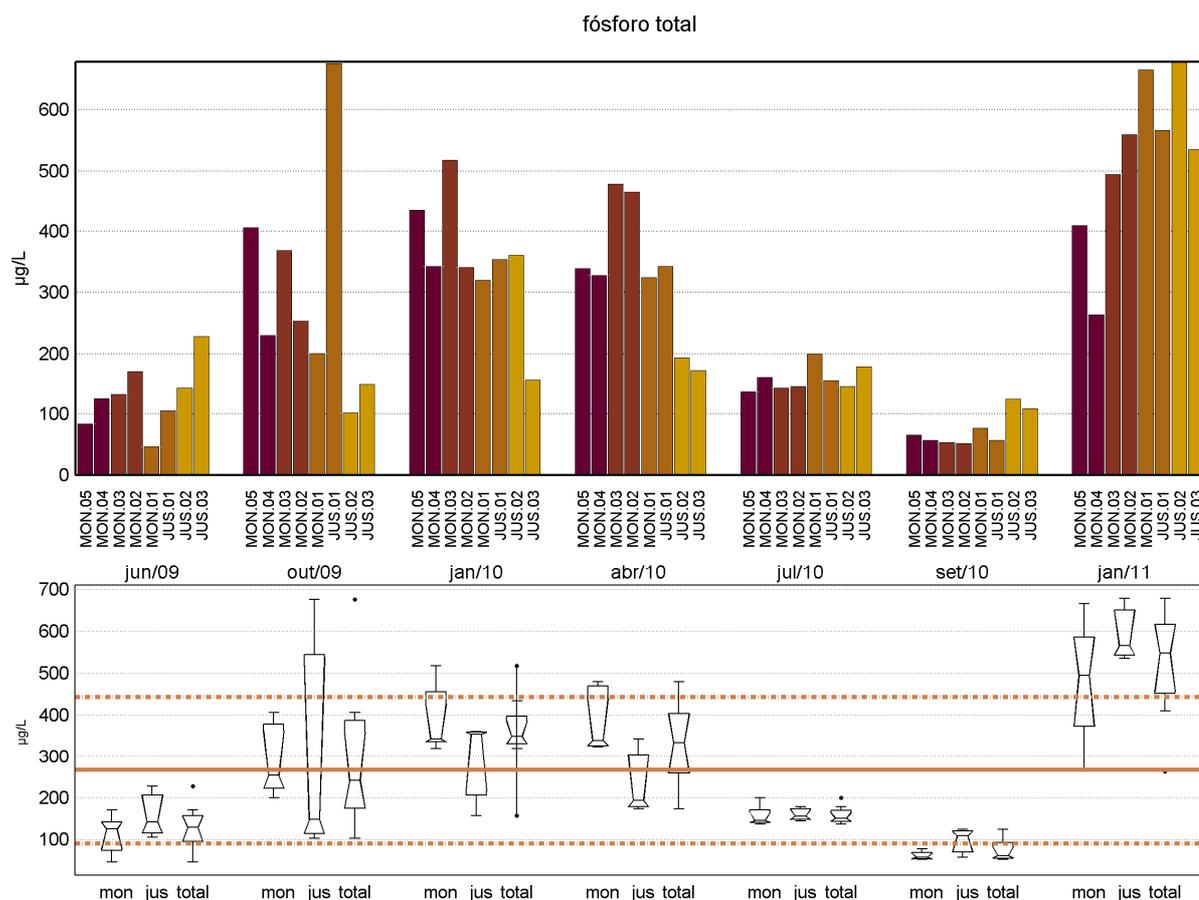
**Figura 66- Resultados de ortofosfato no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de fósforo total dissolvido no rio Madeira foi de  $59.42 \pm 36.17$  µg/L (média±DP), com coeficiente de variação de 0.61. A mínima registrada foi de 14.40 µg/L na estação JUS.03 em outubro/09 e a máxima de 240.60 µg/L observada na estação MON.03 em janeiro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/10 apresentou os maiores valores de fósforo total dissolvido com mediana de 75.95 µg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 31.15 µg/L.



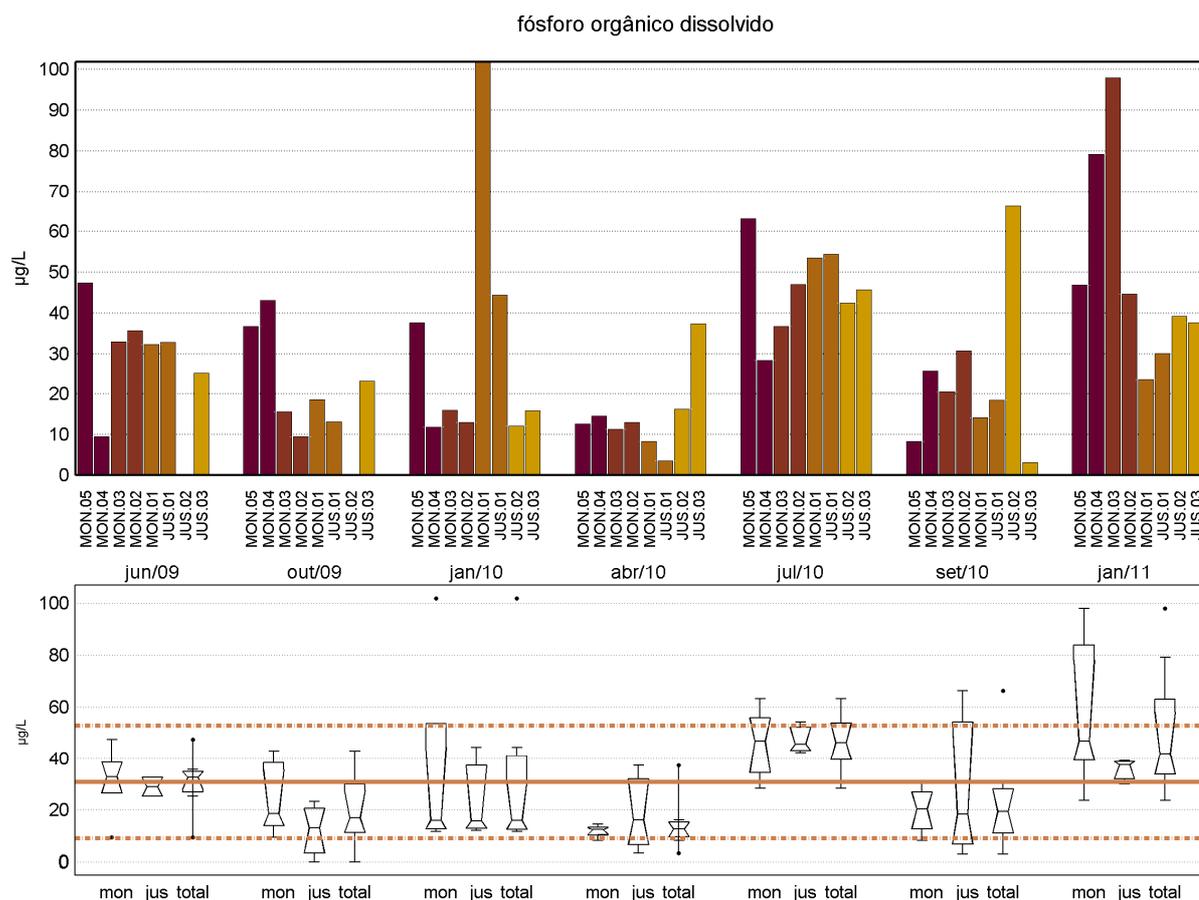
**Figura 67- Resultados de fósforo total dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de fósforo total no rio Madeira foi de  $266.65 \pm 176.63 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.66. A mínima registrada foi de  $46.40 \mu\text{g/L}$  na estação MON.03 em junho/09 e a máxima de  $678.90 \mu\text{g/L}$  observada na estação MON.02 em janeiro/11. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de fósforo total com mediana de  $547.70 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de  $61.50 \mu\text{g/L}$ .



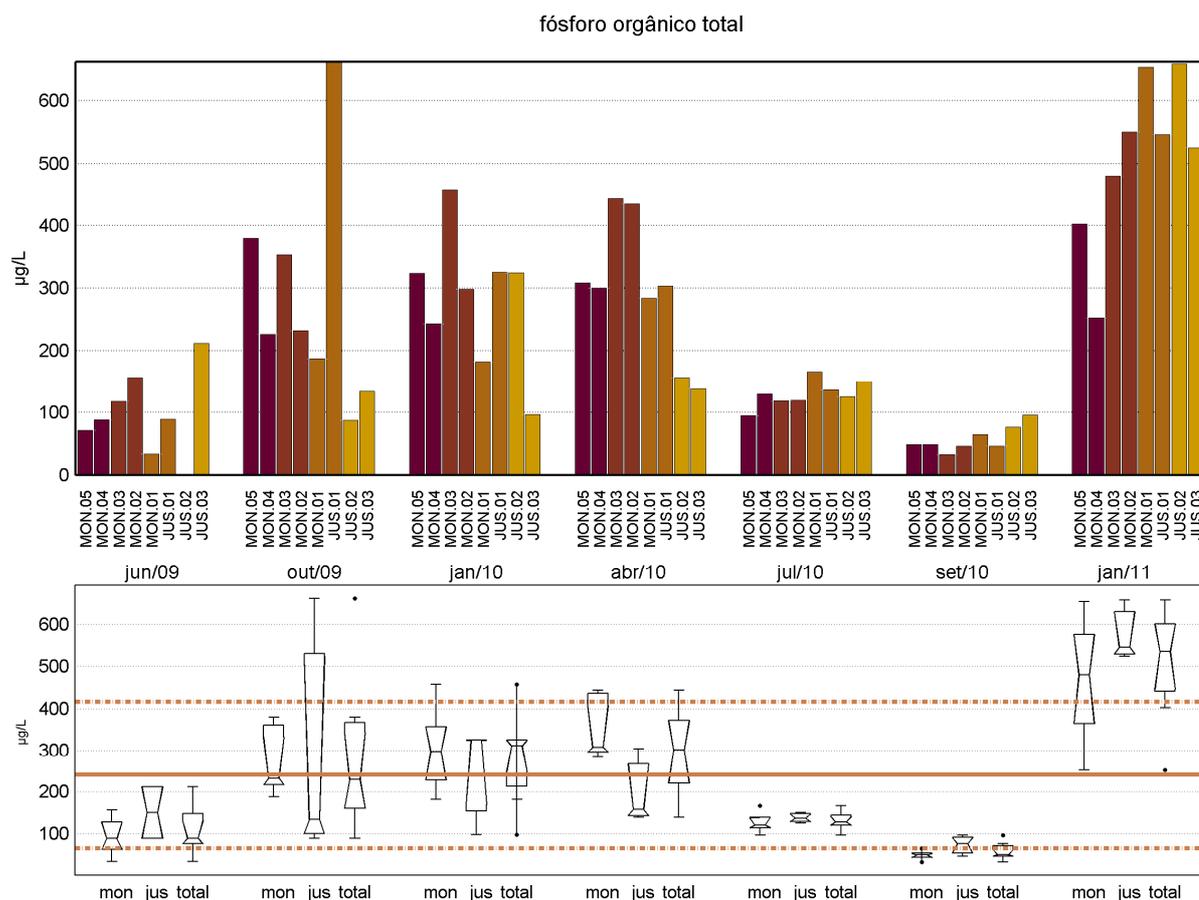
**Figura 68- Resultados de fósforo total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de fósforo orgânico dissolvido no rio Madeira foi de  $30.97 \pm 21.98 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.71. A mínima registrada foi de  $0.00 \mu\text{g/L}$  na estação JUS.03 em outubro/09 e a máxima de  $101.90 \mu\text{g/L}$  observada na estação MON.03 em janeiro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de fósforo orgânico dissolvido com mediana de  $42.00 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas altas/10 com mediana de  $12.70 \mu\text{g/L}$ .



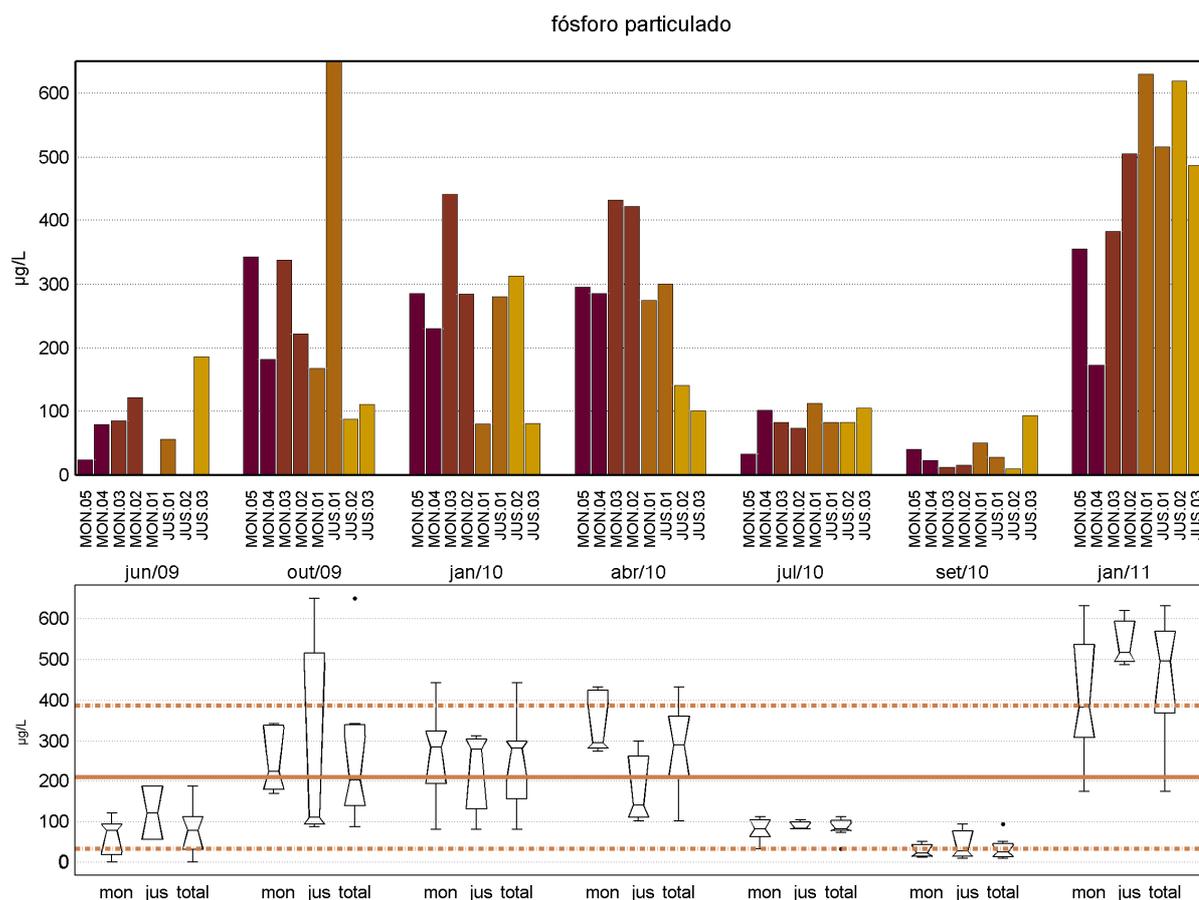
**Figura 69- Resultados de fósforo orgânico dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de fósforo orgânico total no rio Madeira foi de  $240.45 \pm 175.62$  µg/L (média±DP), com coeficiente de variação de 0.73. A mínima registrada foi de 32.30 µg/L na estação JUS.01 em setembro/10 e a máxima de 662.50 µg/L observada na estação JUS.02 em outubro/09. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de fósforo orgânico total com mediana de 535.60 µg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 48.75 µg/L.



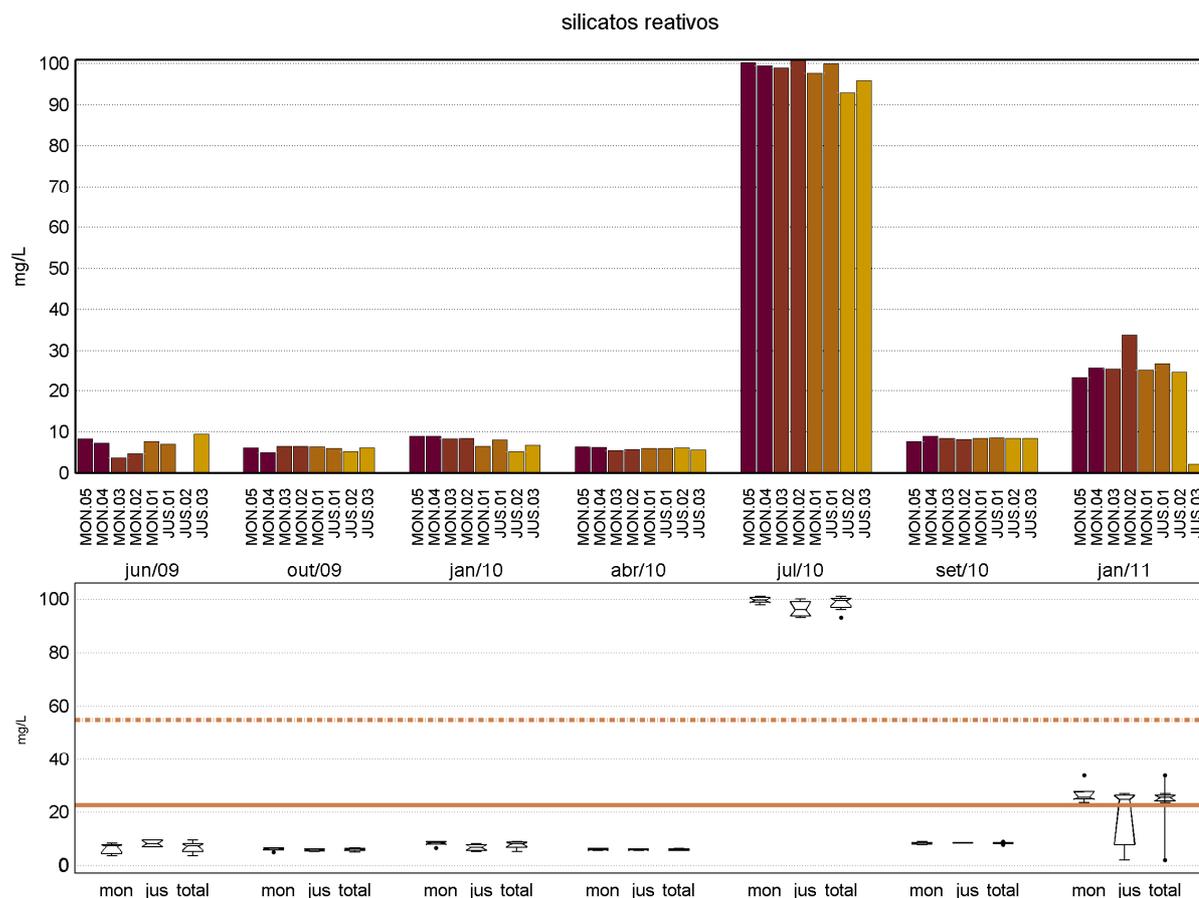
**Figura 70- Resultados de fósforo orgânico total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de fósforo particulado no rio Madeira foi de  $209.49 \pm 176.77$  µg/L (média±DP), com coeficiente de variação de 0.84. A mínima registrada foi de 1.10 µg/L na estação MON.03 em junho/09 e a máxima de 649.40 µg/L observada na estação JUS.02 em outubro/09. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de fósforo particulado com mediana de 496.15 µg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 25.25 µg/L.



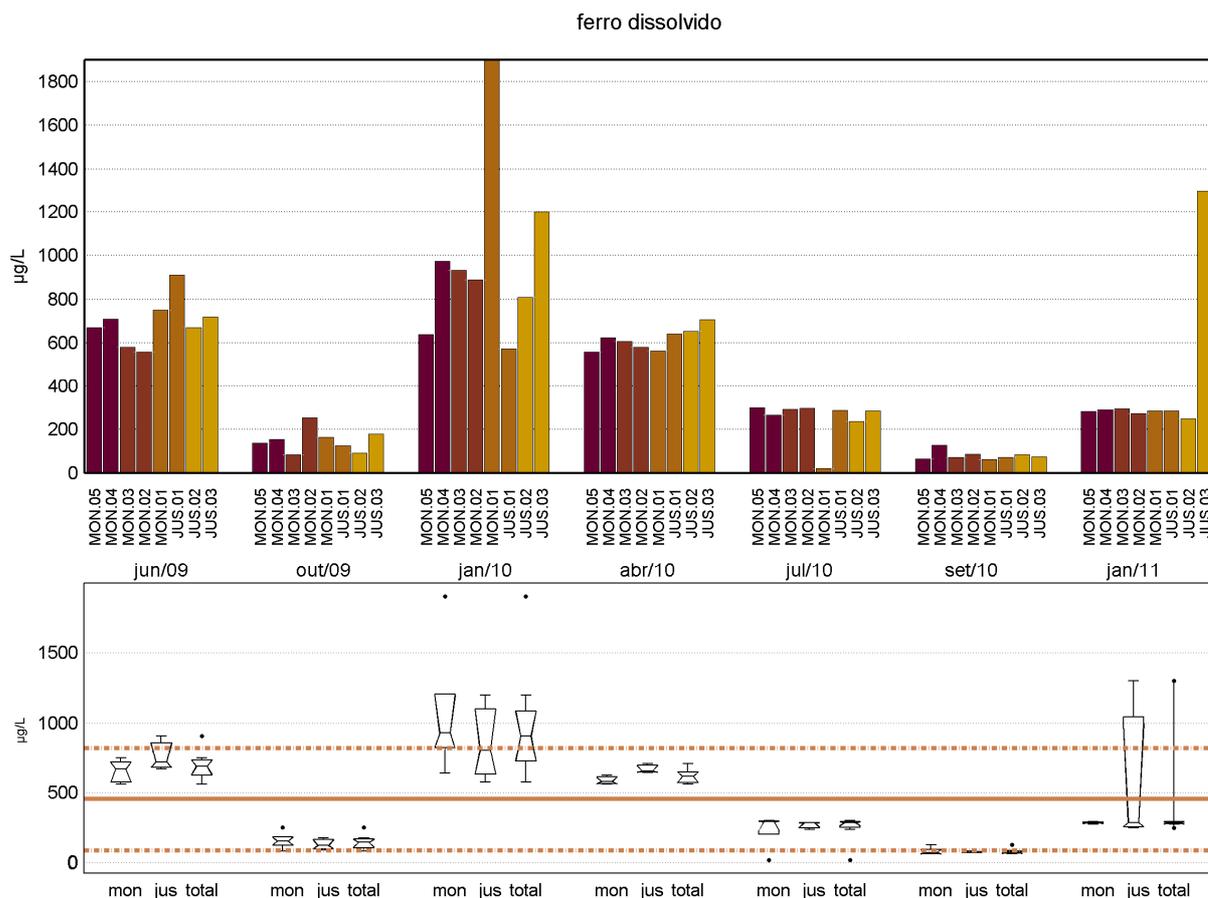
**Figura 71- Resultados de fósforo particulado no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de silicatos reativos no rio Madeira foi de  $22.66 \pm 32.22$  mg/L (média±DP), com coeficiente de variação de 1.42. A mínima registrada foi de 2.10 mg/L na estação MON.02 em janeiro/11 e a máxima de 101.00 mg/L observada na estação MON.04 em julho/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de vazante/10 apresentou os maiores valores de silicatos reativos com mediana de 99.25 mg/L, já os menores valores ocorreram no período de águas altas/10 com mediana de 6.00 mg/L.



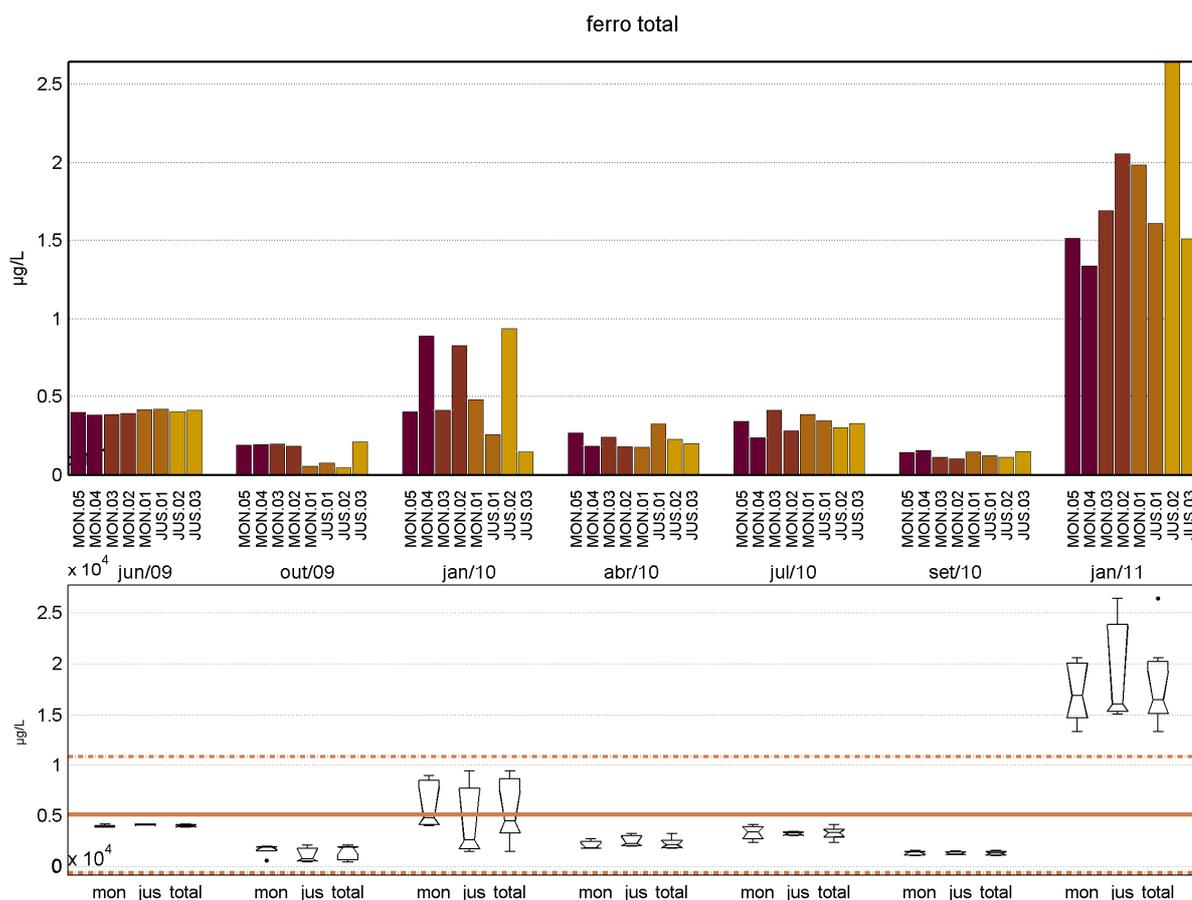
**Figura 72- Resultados de silicatos reativos no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de ferro dissolvido no rio Madeira foi de  $455.61 \pm 369.70 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.81. A mínima registrada foi de 21.50  $\mu\text{g/L}$  na estação MON.03 em julho/10 e a máxima de 1900.00  $\mu\text{g/L}$  observada na estação MON.03 em janeiro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/10 apresentou os maiores valores de ferro dissolvido com mediana de 911.50  $\mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 73.65  $\mu\text{g/L}$ .



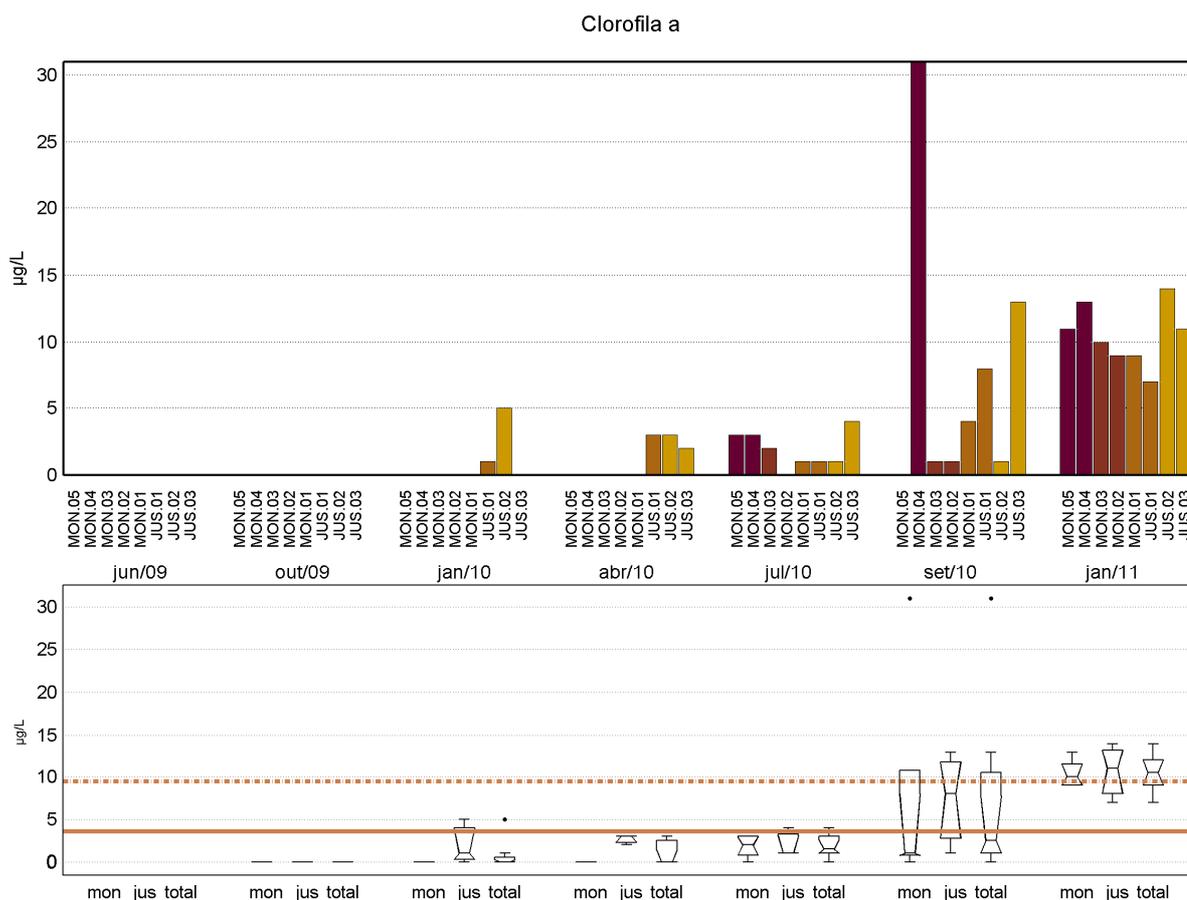
**Figura 73 - Resultados de ferro dissolvido no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de ferro total no rio Madeira foi de  $5105.57 \pm 5781.70 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 1.13. A mínima registrada foi de  $459.00 \mu\text{g/L}$  na estação JUS.03 em outubro/09 e a máxima de  $26442.00 \mu\text{g/L}$  observada na estação MON.02 em janeiro/11. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de ferro total com mediana de  $16490.00 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de  $1331.50 \mu\text{g/L}$ .



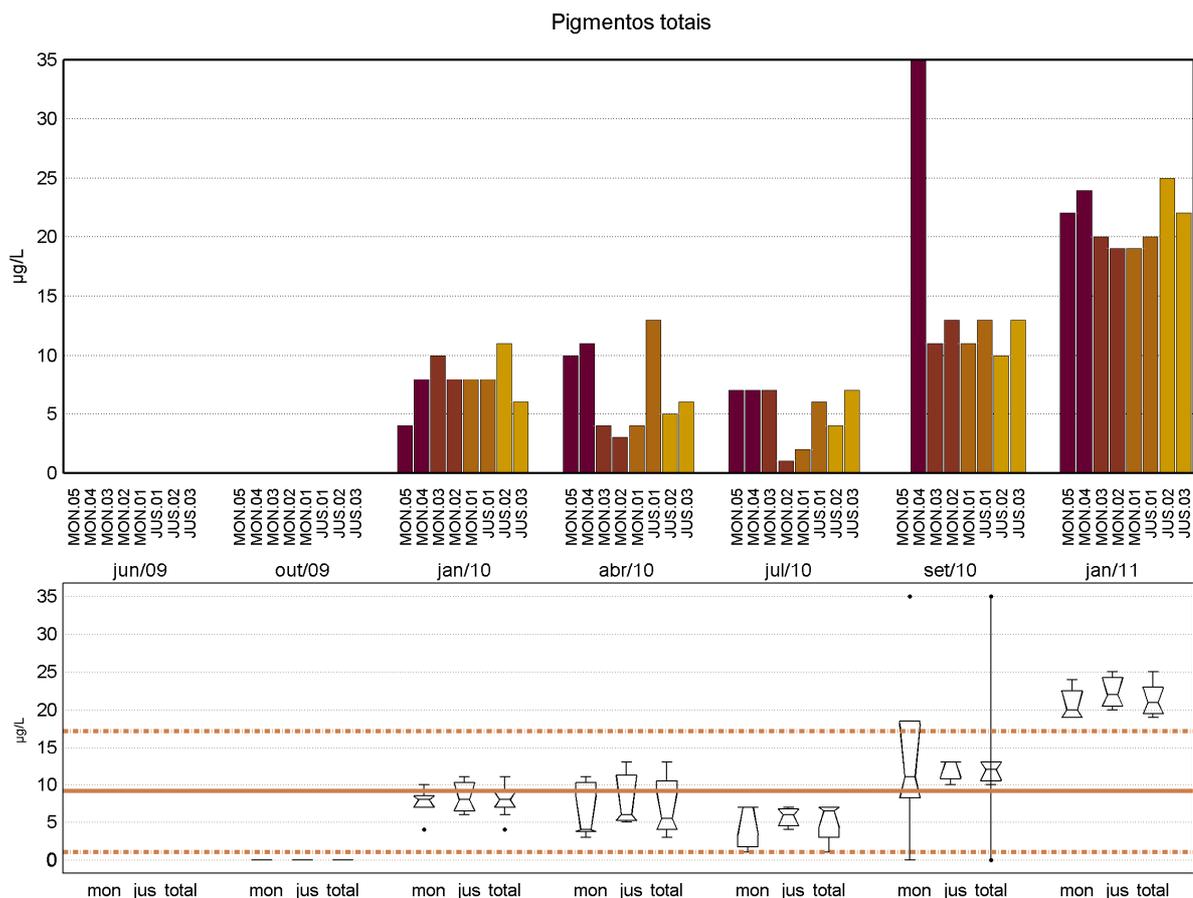
**Figura 74- Resultados de ferro total no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de Clorofila a no rio Madeira foi de  $3.58 \pm 5.84 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 1.63. A mínima registrada foi de  $0.00 \mu\text{g/L}$  na estação JUS.01 JUS.02 JUS.03 MON.01 MON.02 MON.03 MON.04 MON.05 em abril/10 janeiro/10 julho/10 outubro/09 setembro/10 e a máxima de  $31.00 \mu\text{g/L}$  observada na estação MON.01 em setembro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de Clorofila a com mediana de  $10.50 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de  $0.00 \mu\text{g/L}$ .



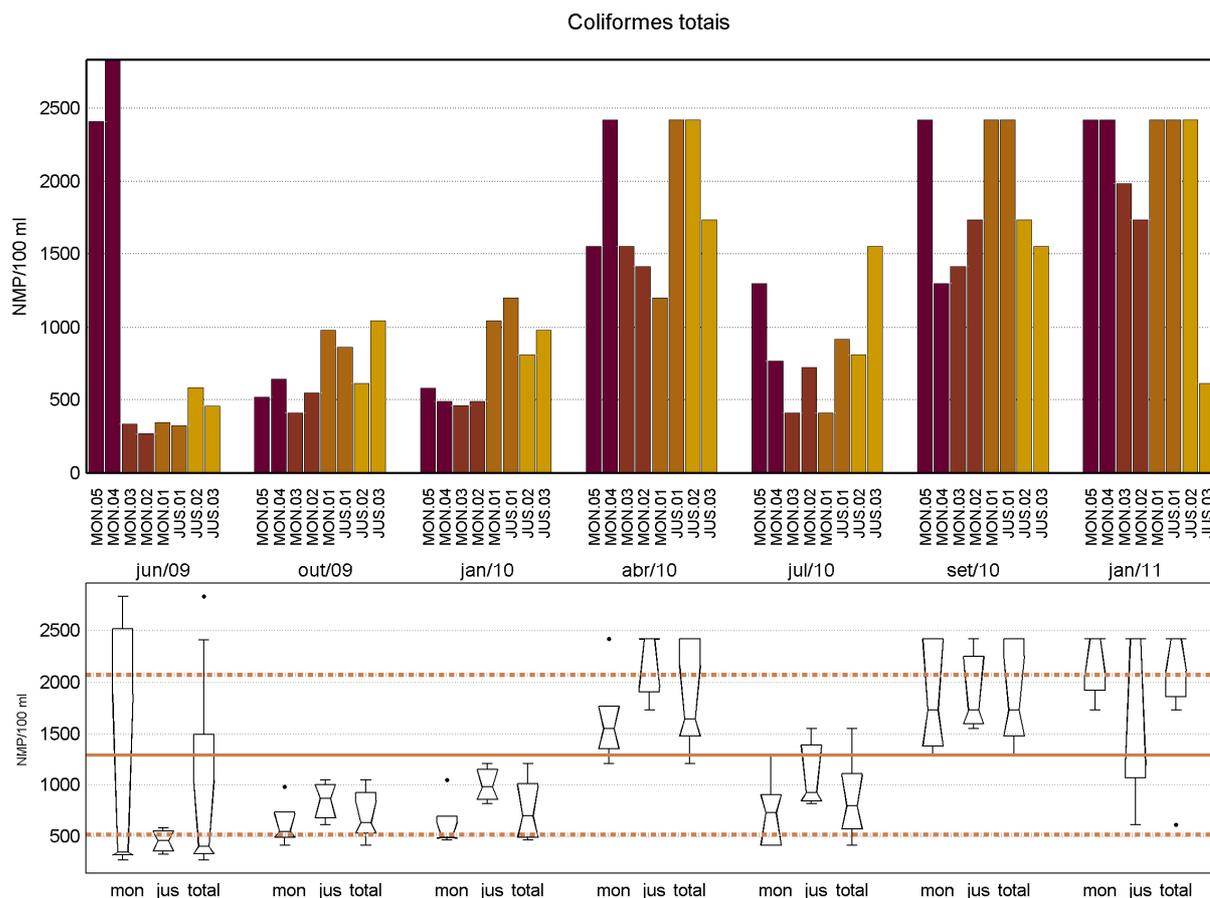
**Figura 75- Resultados de Clorofila a no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de Pigmentos totais no rio Madeira foi de  $9.10 \pm 8.07 \mu\text{g/L}$  (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.89. A mínima registrada foi de  $0.00 \mu\text{g/L}$  na estação JUS.01 JUS.02 JUS.03 MON.01 em outubro/09 setembro/10 e a máxima de  $35.00 \mu\text{g/L}$  observada na estação MON.01 em setembro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de Pigmentos totais com mediana de  $21.00 \mu\text{g/L}$ , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de  $0.00 \mu\text{g/L}$ .



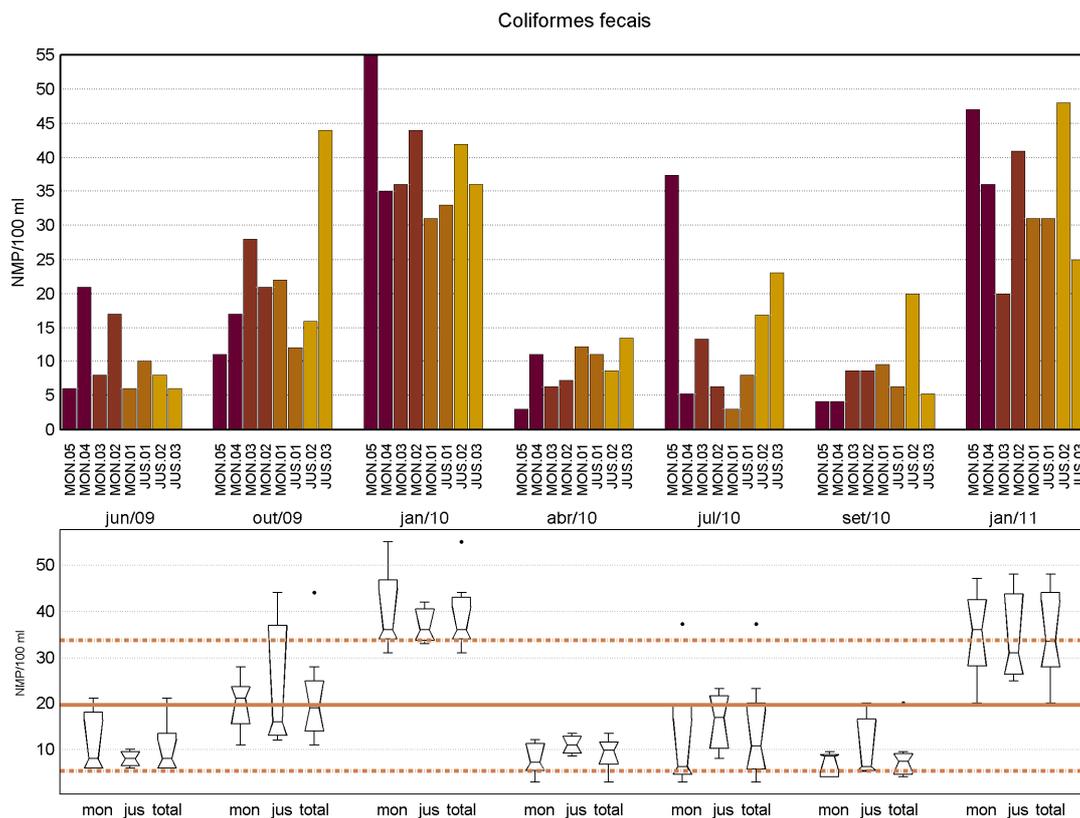
**Figura 76- Resultados de Pigmentos totais no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de Coliformes totais no rio Madeira foi de  $1290.83 \pm 776.68$  NMP/100 ml (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.60. A mínima registrada foi de 271.00 NMP/100 ml na estação MON.04 em junho/09 e a máxima de 2830.00 NMP/100 ml observada na estação MON.05 em junho/09. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/11 apresentou os maiores valores de Coliformes totais com mediana de 2420.00 NMP/100 ml, já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 631.00 NMP/100 ml.



**Figura 77- Resultados de Coliformes totais no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

A concentração média de Coliformes fecais no rio Madeira foi de  $19.58 \pm 14.21$  NMP/100 ml (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0.73. A mínima registrada foi de 3.00 NMP/100 ml na estação MON.01 MON.03 em abril/10 julho/10 e a máxima de 55.00 NMP/100 ml observada na estação MON.05 em janeiro/10. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de enchente/10 apresentou os maiores valores de Coliformes fecais com mediana de 36.00 NMP/100 ml , já os menores valores ocorreram no período de águas baixas/10 com mediana de 7.45 NMP/100 ml.



**Figura 78- Resultados de Coliformes fecais no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O índice de estado trófico calculado para o fósforo total evidenciou que as condições de trofia no trecho estudado do rio Madeira variaram entre eutrófico e hipereutrófico. ao longo dos períodos hidrológicos citados. Para os dois primeiros ciclos hidrológicos, os de vazante e de águas baixas, em 2009, o sistema foi classificado como eutrófico, No terceiro e quarto períodos, de enchente e de águas altas em 2010 o grau de trofia aumentou, passando a hiper- eutrófico. Nos dois períodos subsequentes, de vazante e de águas baixas em 2010, grau de trofia do sistema decresce marcantemente passando por eutrófico no período de vazante, similarmente ao observado no ciclo hidrológico anterior e atingindo a condição de mesotrófia no período de águas baixas. No período de enchente de 2011 o sistema retorna abruptamente à condição hipereutrófica (Figura 79).

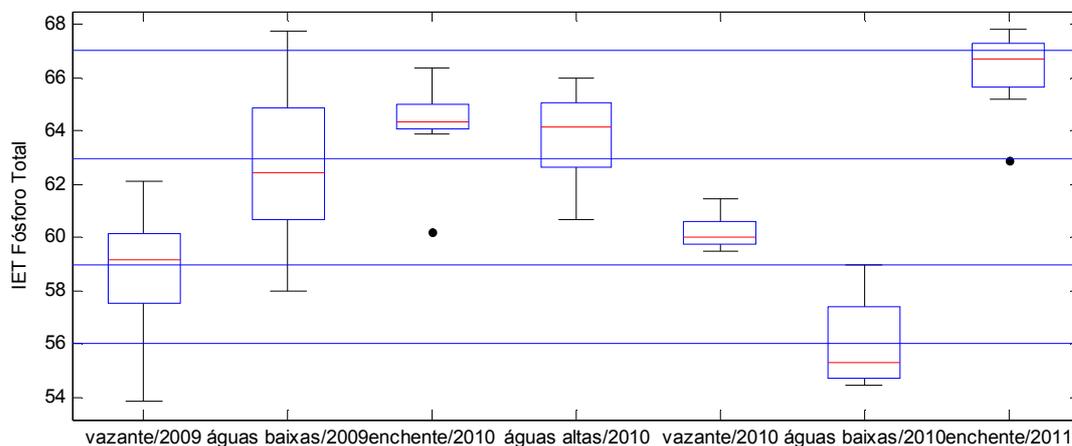


Figura 79 - Índice de estado trófico para o Fósforo total nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011

## 4.5 - Zooplâncton

### 4.5.1 - Composição taxonômica, frequência de ocorrência e abundância relativa

A composição taxonômica, a abundância relativa e a frequência de ocorrência das populações da comunidade zooplantônica amostradas no trecho estudado do Rio Madeira em sete períodos hidrológicos (vazante e águas baixas em 2009; enchente, águas altas, vazante e águas baixas em 2010; e de enchente em 2011) são apresentados na Tabela 4. Observa-se que o zooplâncton deste rio foi constituído principalmente por organismos holoplanctônicos, sendo estes os representantes dos filos Rotifera e Protozoa e pelos microcrustáceos das Ordens Cladocera e Copepoda (das sub-ordens Calanoida, Cyclopoida e Harpacticoida). Também ocorreram com representatividade menor os microcrustáceos da Ordem Ostracoda.

Considerando-se todos os organismos amostrados na coluna d'água do rio Madeira, em todos os pontos e períodos amostrados foram registrados 101 táxons.

Tabela 4 - Composição taxonômica, frequência de ocorrência(FR) abundância relativa (AR) dos táxons zooplantônicos amostrados trimestralmente no rio Madeira entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.

Táxons /e ou estágios	vazante/09		águas baixas/10		enchente/10		águas altas/10		vazante/10		águas baixas/10		enchente/11	
	jun-09		out-09		jan-10		abr-10		jul-10		set-10		jan-11	
	AR	FR	AR	FR	AR	FR	AR	FR	AR	FR	AR	FR	AR	FR
<i>Alona cf. setigera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	12.5	0	0
<i>Alonella cf. acutirostris</i>	0.4	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Alonella dadayi</i>	0	0	0	0	0	0	0.0	25.0	0	0	0	0	0	0
<i>Bosmina freyi</i>	0.2	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bosmina hagmanni</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	62.5	0.3	75.0	0	0
<i>Bosmina tubicen</i>	0	0	0.0	25.0	0	0	0	0	0.2	12.5	0.0	12.5	0	0
<i>Bosminopsis deitersi</i>	3.3	37.5	0.0	12.5	0.0	12.5	0.0	12.5	0.0	25.0	0.0	12.5	0	0
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	0.2	12.5	0	0	0.0	12.5	0.0	12.5	0.0	12.5	0.0	12.5	0.0	12.5
<i>Ceriodaphnia rigaudi</i>	0	0	0	0	0.0	12.5	0.0	12.5	0	0	0	0	0	0
<i>Ceriodaphnia silvestrii</i>	0	0	0.0	25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chydorus parvireticulatus</i>	0.6	25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chydorus pubescens</i>	0.2	12.5	0	0	0	0	0.0	12.5	0	0	0	0	0	0
<i>Daphnia gessneri</i>	0.2	12.5	0.1	12.5	0	0	0.1	12.5	0.1	12.5	0	0	0	0
<i>Diaphanosoma birgei</i>	0	0	0.2	37.5	0	0	0.0	12.5	0	0	0.0	25.0	0.0	12.5
<i>Diaphanosoma brevireme</i>	1.8	62.5	0	0	0	0	0.1	37.5	0	0	0	0	0	0
<i>Diaphanosoma fluviatile</i>	0	0	0	0	0.1	12.5	0	0	0	0	0.0	12.5	0	0
<i>Diaphanosoma polypspina</i>	0	0	0	0	0	0	0.0	12.5	0	0	0	0	0	0
<i>Diaphanosoma spinulosum</i>	1.0	37.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>efípio Cladocera</i>	0.4	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ilyocryptus spinifer</i>	0	0	0	0	0.0	12.5	0.1	50.0	0	0	0.0	25.0	0	0
<i>Ilyocryptus verrucosus</i>	1.2	50.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Macrothrix sioli</i>	0	0	0	0	0.0	25.0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Macrothrix squamosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	12.5
<i>Moina micrura</i>	2.5	37.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Moina minuta</i>	0	0	0.3	12.5	0	0	0.1	62.5	2.4	87.5	0.1	50.0	0.1	37.5
<i>Moina reticulata</i>	1.0	37.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	12.5
<i>Argyrodiaptomus azevedoi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	37.5	0	0	0	0
<i>copepoditos cal</i>	5.1	100.0	0.9	100.0	0.2	87.5	0.1	62.5	0.8	100.0	0.3	75.0	0.3	62.5
<i>Dactyloidiptomus pearsei</i>	0	0	0	0	0	0	0.3	12.5	0	0	0	0	0	0
<i>Notodiaptomus coronatus</i>	0	0	0.0	12.5	0	0	0	0	0	0	0.0	12.5	0	0
<i>Nauplios cal</i>	5.3	75.0	7.9	25.0	0.1	12.5	0	0	12.5	62.5	1.5	50.0	0	0
<i>Notodiaptomus amazonicus</i>	0.4	12.5	0.3	62.5	0	0	0	0	0.1	25.0	0.0	12.5	0	0

Táxons /e ou estágios	vazante/09		águas baixas/10		enchente/10		águas altas/10		vazante/10		águas baixas/10		enchente/11	
	<i>Notodiaptomus deitersi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
<i>Notodiaptomus spinuliferus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	25.0	0	0	0	0
<i>Rhacodiaptomus insolitus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	12.5	0	0	0	0
<b>Ciclopoida</b>														
<i>copepoditos cyc</i>	6.8	87.5	0.6	87.5	0.5	75.0	0.4	87.5	0.8	100.0	0.8	87.5	0.2	50.0
<i>Macrocyclus albidus</i>	0	0	0	0	0	0	0.0	12.5	0	0	0	0	0	0
<i>Mesocyclops ellipticus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	12.5	0	0	0	0
<i>Mesocyclops meridianus</i>	0.8	12.5	0	0	0	0	0	0	0.0	25.0	0	0	0	0
<i>Mesocyclops ogunnus</i>	0.2	12.5	0	0	0	0	0	0	0.0	12.5	0	0	0	0
<i>Microcyclops anceps</i>	0.4	12.5	0	0	0	0	0	0	0.0	25.0	0	0	0	0
<i>Nauplios cyc</i>	10.5	75.0	8.4	25.0	4.2	50.0	9.4	37.5	7.0	50.0	7.4	87.5	0	0
<i>Thermocyclops decipiens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	75.0	0	0	0	0
<i>Thermocyclops minutus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	87.5	0.0	12.5	0.0	12.5
<b>Harpacticoida</b>														
<i>Harpacticoida</i>	0.4	12.5	0.0	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Ostracoda</b>														
<i>Ostracoda</i>	0.4	12.5	0.0	12.5	0.0	25.0	0.0	25.0	0.0	25.0	0.0	12.5	0	0
<b>Rotifera</b>														
<i>Asplanchna sieboldi</i>	0.4	25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	12.5	0	0
<i>Beauchamphiella eudactyolata</i>	0.2	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brachionus bidentata</i>	0	0	0	0	0	0	1.1	12.5	0	0	0	0	0	0
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0.2	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brachionus caudatus</i>	0	0	0	0	0	0	0.9	12.5	0.8	12.5	0	0	0	0
<i>Brachionus falcatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	12.5	0	0
<i>Brachionus havanaensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	12.5
<i>Brachionus mirus f. angustus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	12.5	0	0
<i>Brachionus quadridentata</i>	0	0	0	0	0	0	5.5	37.5	0	0	0	0	0	0
<i>Brachionus quadridentatus</i>	0	0	0.0	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brachionus zahniseri</i>	0	0	11.5	12.5	0	0	0	0	1.1	12.5	0	0	0	0
<i>Conochilus coenobasis</i>	0	0	0	0	0	0	1.1	12.5	0	0	0	0	0	0
<i>Conochilus unicornis</i>	0	0	0	0	1.9	12.5	0	0	0	0	0.6	12.5	0	0
<i>Dipleuchlanis propatula</i>	1.2	25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Euchlanis dilatata</i>	0.2	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Filinia longiseta</i>	1.2	25.0	0	0	0	0	2.8	12.5	0	0	0	0	0	0
<i>Filinia pejer</i>	0	0	3.8	12.5	0	0	0	0	1.1	12.5	0	0	0	0
<i>Keratella americana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	12.5	0.5	12.5	0	0
<i>Keratella tropica reducta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.6	12.5	0	0
<i>Keratella tropica tropica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	12.5	0	0
<i>Lecane bulla</i>	0.2	12.5	3.9	12.5	1.9	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane cornuta</i>	0.4	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane curvicornis</i>	4.9	37.5	8.3	25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Táxons /e ou estágios	vazante/09		águas baixas/10		enchente/10		águas altas/10		vazante/10		águas baixas/10		enchente/11	
	<i>Lecane depressa</i>	1.2	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane elsa</i>	0.8	25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane leontina</i>	1.0	37.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane luna</i>	0	0	0	0	0	0	2.3	25.0	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane lunaris</i>	5.3	25.0	3.6	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane proiecta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	31.0	100.0	0	0	0	0
<i>Monommata sp.</i>	0.2	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Phylodina cf. roseola</i>	1.4	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Platytias quadricornis</i>	0.2	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Polyarthra aff. vulgaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	12.5	0	0
<i>Ptygura libera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.0	25.0	0	0
<i>Rotaria cf. neptunia</i>	1.4	50.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sinantherina cf. procera</i>	0.8	25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sinantherina semibullata</i>	0	0	0	0	0	0	1.8	25.0	0	0	0	0	0	0
<i>Testudinella mucronata hauerensis</i>	1.4	25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Testudinella patina</i>	0.2	12.5	0	0	0	0	1.8	25.0	0	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca chattoni</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	12.5	0	0	0	0
<i>Trichocerca pusilla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	12.5	0	0
<i>Trichocerca similis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	12.5	0	0
<i>Trichotria tetractis</i>	1.8	37.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trochosphaera aequatorialis</i>	0.8	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Protista</b>														
<i>Arcella discoides</i>	8.4	75.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Arcella hemiphaerica</i>	4.3	50.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Arcella megastoma</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	12.5
<i>Arcella sp.</i>	0	0	12.7	37.5	21.7	87.5	12.6	75.0	11.2	100.0	2.5	37.5	0	0
<i>Arcella vulgaris</i>	2.9	62.5	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	37.5	10.8	50.0
<i>Astramoeba sp.</i>	0	0	29.5	75.0	48.7	87.5	35.6	87.5	17.3	100.0	1.2	25.0	38.0	87.5
<i>Centropix aculeata</i>	3.3	62.5	7.6	37.5	4.1	37.5	7.5	25.0	4.1	25.0	1.1	12.5	1.2	12.5
<i>Centropyxis discoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	12.5	0	0
<i>Centropyxis marsupiformes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	12.5	0	0
<i>Ciliata</i>	0	0	0	0	7.9	25.0	0	0	3.0	37.5	19.8	37.5	1.0	12.5
<i>Cyphoderia ampulla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	25.0
<i>Diffflugia acuminata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47.2	25.0	0	0
<i>Diffflugia oblonga</i>	0	0	0	0	2.1	12.5	0	0	0	0	0	0	10.1	50.0
<i>Difflugia lobostoma</i>	0	0	0	0	4.2	12.5	0	0	0	0	1.7	12.5	0	0
<i>Difflugia sp.</i>	0.8	25.0	0.2	12.5	2.2	25.0	10.4	75.0	3.8	50.0	1.9	50.0	30.8	50.0
<i>Netzelia sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	12.5	1.4	12.5
<i>Vorticella sp.</i>	10.9	37.5	0	0	0	0	5.9	25.0	0	0	0	0	0	0

#### 4.5.2 - Riqueza taxonômica dos Grupos Componentes

Em percentuais relativos, a riqueza de táxons da comunidade zooplânctonica do rio Madeira foi composta em ordem decrescente por: 39,64% de táxons de Rotifera; 26,62% de táxons de Cladocera; 15,32% de táxons de Protozoa e 13,51% de táxons de Copepoda ( Figura 80 ).

A maior contribuição relativa para a riqueza de táxons zooplancctônicos foi registrada para o grupo dos Rotifera (45 táxons) seguidos por riqueza muito menor pelos grupos Cladocera (24), Protozoa (17) e Copepoda (15).

Considerando-se cada ponto amostral isoladamente o número total de táxons em um único ponto variou entre 2 táxons registrado na estação MON.05 em janeiro de 2010, a 28 táxons observado na estação MON.03 em junho de 2009. no período de vazante. O valor médio do número de táxons por ponto no rio Madeira foi de  $9,73 \pm 5,23$  táxons (média $\pm$ DP), com coeficiente de variação de 0,54 (Figura 81). O padrão de variação na riqueza de táxons varia entre os grupos. Os Rotifera tiveram grande redução de riqueza no período de águas baixas, ao contrário dos Cladocera que tiveram maior riqueza neste período.

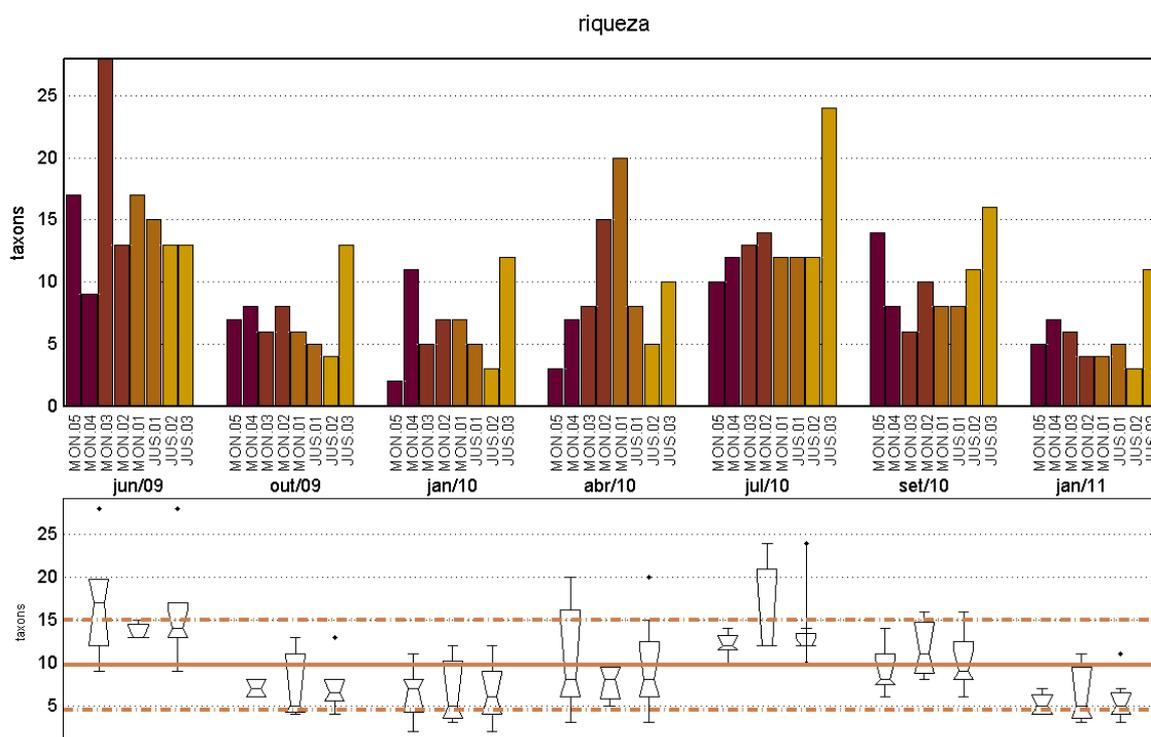


Figura 80 - Variações na riqueza de táxons da comunidade zooplancctônica do rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.

### 4.5.3 - Densidade e Biomassa da Comunidade Zooplancônica do rio Madeira

O valor médio de densidade da comunidade zooplancônica no rio Madeira foi de  $9713,95 \pm 13819,31$  ind.m<sup>-3</sup> (média±DP), com coeficiente de variação de 1,42. O valor mínimo registrado foi de 40,00 ind.m<sup>-3</sup> na estação MON.05 em janeiro de 2010 e o valor máximo, de 98889,00 ind.m<sup>-3</sup>, foi registrado na estação MON.05, em setembro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o período de vazante em 2009 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de densidade com mediana de 12104,00 ind.m<sup>-3</sup>, enquanto os menores valores ocorreram no período de vazante de 2010 com mediana de 225,00 ind.m<sup>-3</sup>.(Figura 81).

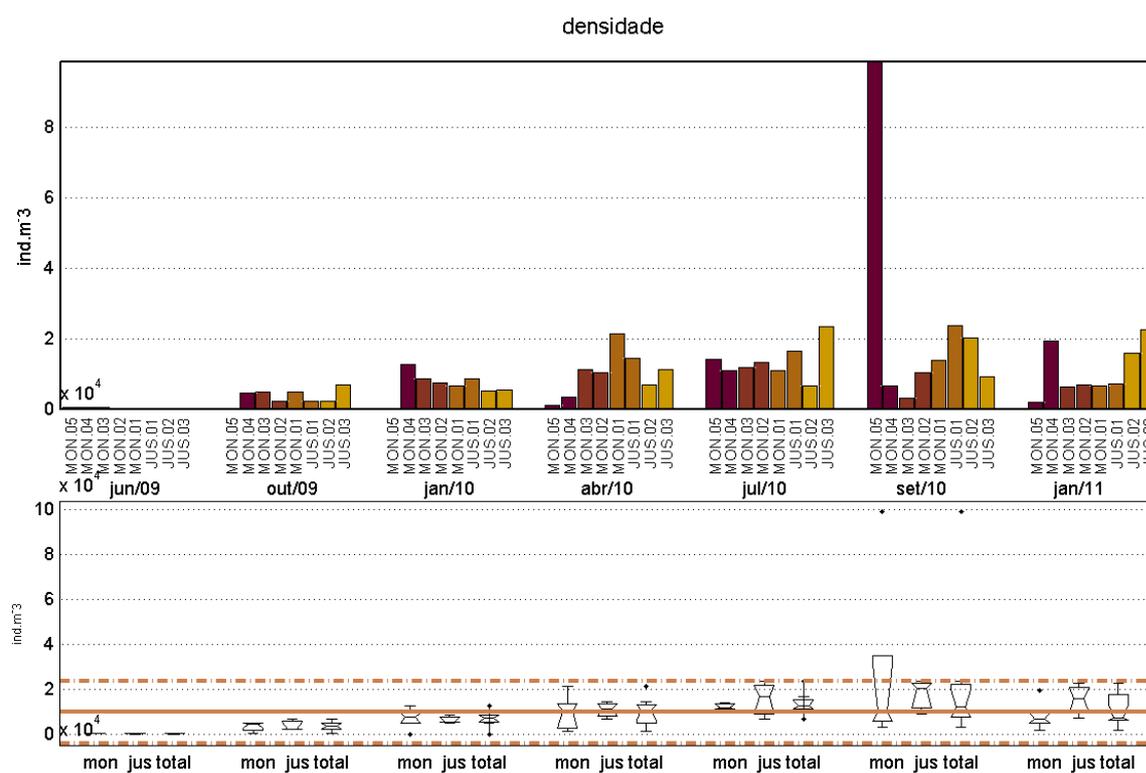
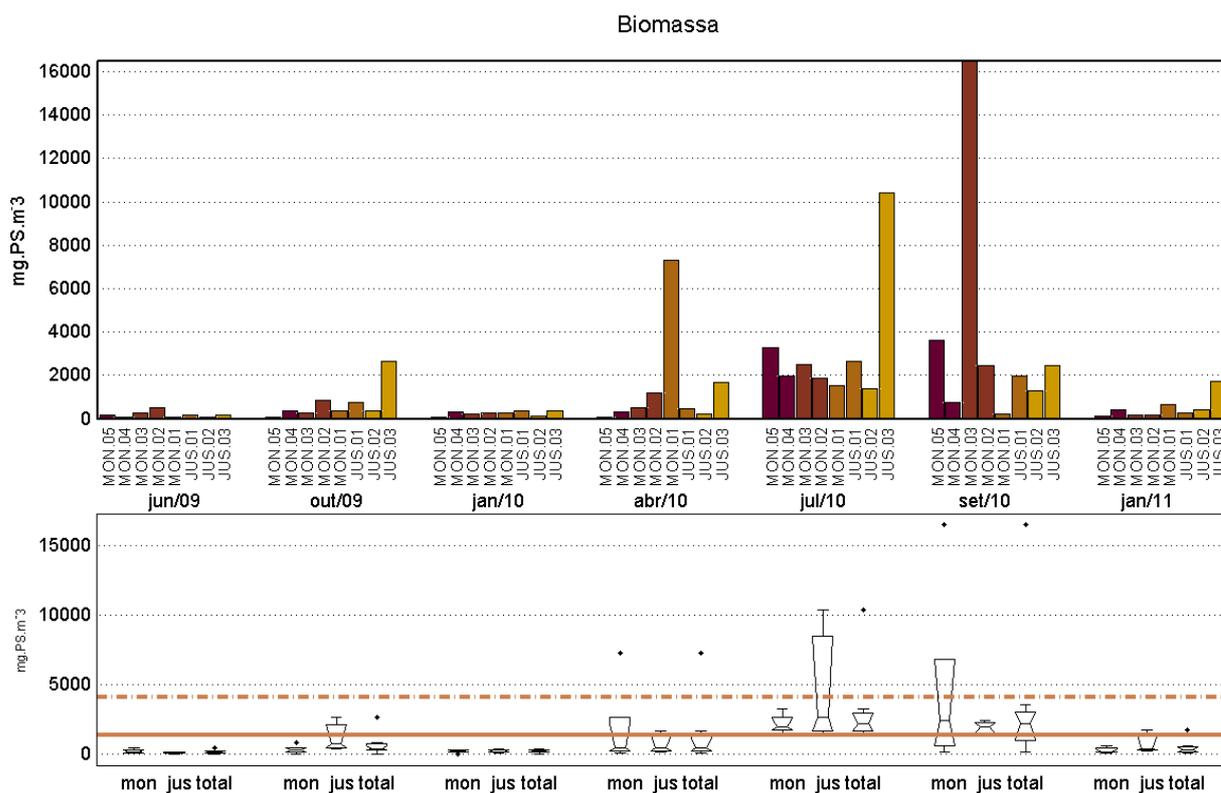


Figura 81- Variações na densidade total da comunidade zooplancônica no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.

O valor médio da biomassa do zooplâncton no rio Madeira foi de  $1422,51 \pm 2719,74$  mg.PS.m<sup>-3</sup> (média±DP), com coeficiente de variação de 1,91. O valor mínimo registrado foi de 54,08 mg.PS.m<sup>-3</sup> na estação MON.05 em janeiro de 2010 e o máximo

de 16517,09 mg.PS.m<sup>-3</sup> registrado na estação MON.03 em setembro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de águas baixas de 2010 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de biomassa com mediana de 2212,35 mg.PS.m<sup>-3</sup>, enquanto os menores valores ocorreram no período de vazante de 2009, com mediana de 158,84 mg.PS.m<sup>-3</sup> ( Figura 82 ).



**Figura 82 - Variações da Biomassa zooplancônica no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

Dentre as espécies zooplancônicas, as maiores contribuições em biomassa foram representadas pelas espécies *Dactyloidiaptomus pearsei* (5.000,39 µgPS. m<sup>-3</sup>) no ponto MON.01 no período de águas altas em 2010. Nos pontos MON.02, MON.03 e MON.04 os maiores valores de biomassa ocorreram no período de vazante em 2010. Os protozoários, representados principalmente por *Astramoeba* sp. contribuíram com a maior fração para a biomassa da comunidade zooplancônica (8255 µgPS. m<sup>-3</sup>, no ponto MON.02) comparados aos demais grupos. No ponto MON.05 o rotífero *Lecane proiecta* apresentou elevada biomassa (2.106,0 µgPS. m<sup>-3</sup>). Os maiores valores de

biomassa obtidos nos pontos a jusante da barragem no rio Madeira foram de representantes do grupo Protozoa, com exceção do ponto JUS.03 no período de vazante em 2010, em que os Copepoda, principalmente representados pela espécie *Notodiaptomus amazonicus* (2.498,32  $\mu\text{gPS. m}^{-3}$ ) contribuíram com a maior parcela da biomassa, seguidos pelos Protozoa e Cladocera, com 4.640,0 e 4.384,12  $\mu\text{gPS.m}^{-3}$ , respectivamente .

Em geral, Cladocera foi o grupo menos representativo em termos de biomassa. Os Copepoda juntamente com os Protozoa foram os grupos mais importantes para a biomassa do rio Madeira, com contribuições elevadas na maioria dos pontos.

#### **4.5.4 - Diversidade da Comunidade Zooplanctônica do rio Madeira**

A diversidade da comunidade zooplanctônica foi avaliada no presente estudo por meio das curvas de dominância (Figura 83) para os sete períodos hidrológicos amostrados e por meio de índices de diversidade (Tabela 5). As curvas de rank-abundância evidenciaram grande similaridade quanto à riqueza de táxons da comunidade zooplanctônica entre os pontos situados a montante e aqueles situados a jusante da Cachoeira de Santo Antonio no rio Madeira. A elevação das curvas a montante é ligeiramente maior em quase todos os períodos, e bastante mais elevada no período de vazante amostrado em junho de 2009, o que evidencia uma maior equitatividade entre as populações.

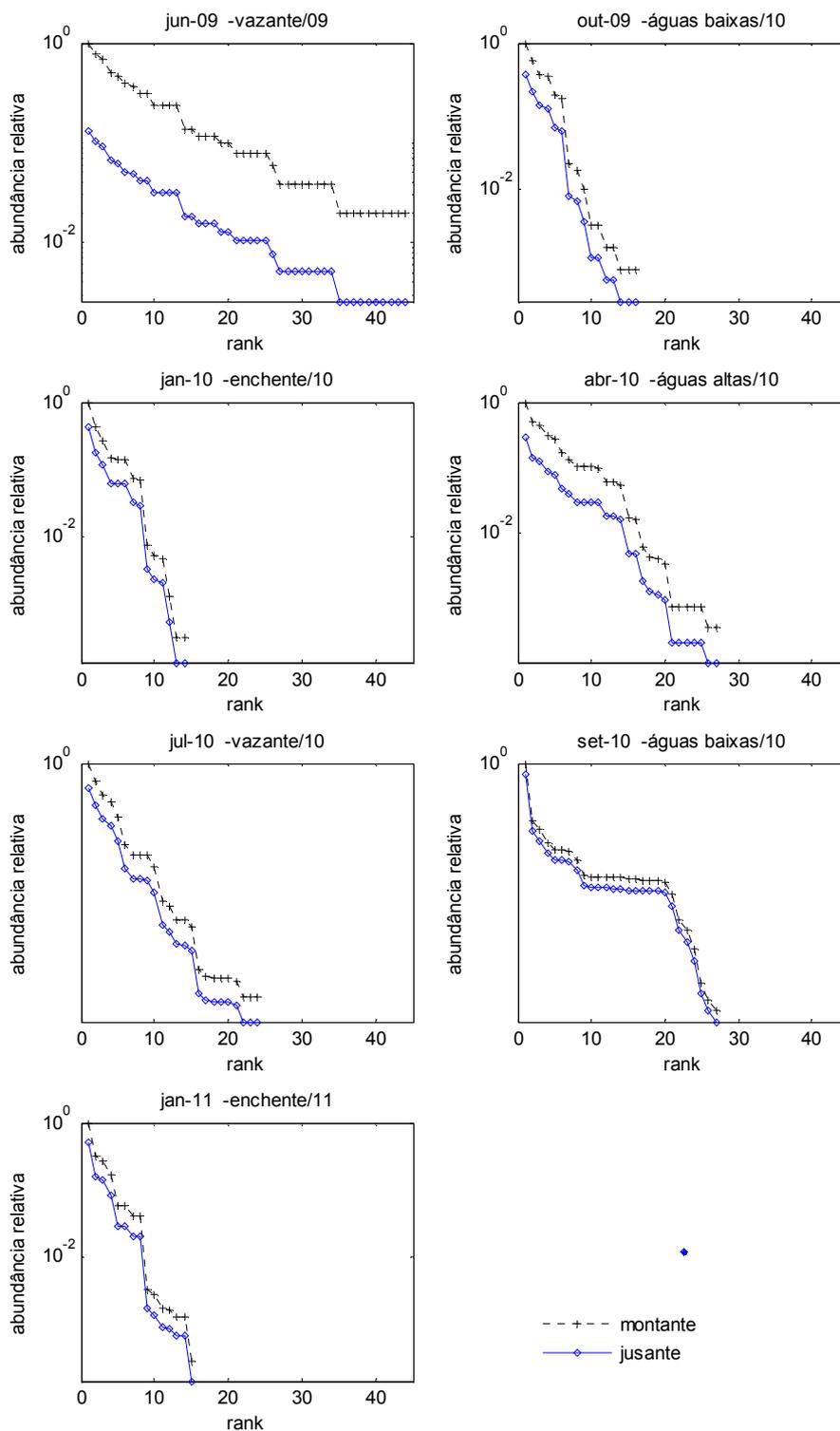
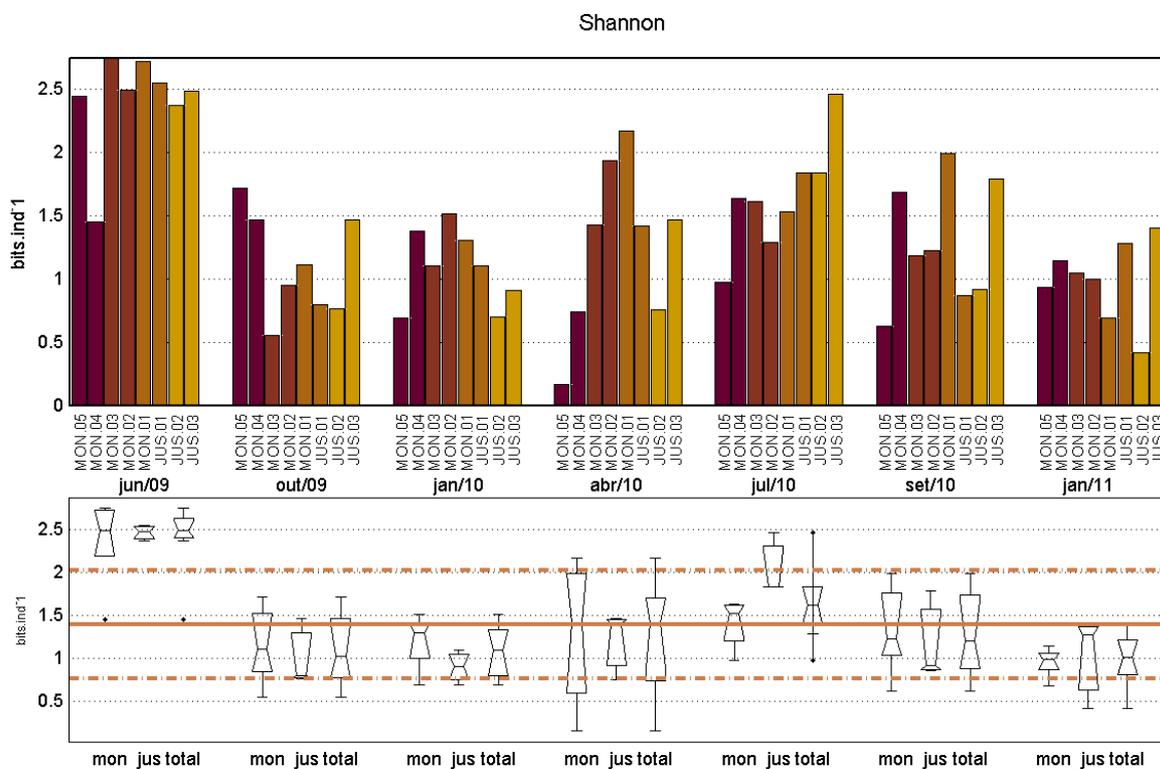


Figura 83 -Curvas de dominância (Gráfico Whittaker) para a comunidade zooplancônica do rio Madeira, em sete períodos hidrológicos amostrados no período de junho de 2009 a janeiro de 2011.

O valor médio do índice de diversidade de Shannon- Wiener para a comunidade zooplancônica do rio Madeira foi de  $1,40 \pm 0,62$  bits.ind<sup>-1</sup> (média±DP), com coeficiente de variação de 0,45. Este índice variou entre o valor mínimo de 0,17 bits.ind<sup>-1</sup> na

estação MON.05 em abril de 2010 e o valor máximo de 2,74 bits.ind<sup>-1</sup> obtido para a estação MON.03 em junho de 2009 (Figura 86).

Dentre os períodos hidrológicos analisados o maior valor do Índice de Diversidade foi obtido para o período de vazante de 2009 com mediana de 2,49 bits.ind<sup>-1</sup>, enquanto o menor valor foi obtido no período de vazante de 2009, com mediana de 1,02 bits.ind<sup>-1</sup>.



**Figura 86- Variações do Índice de diversidade de Shannon-Wiener obtidos para a comunidade zooplânctônica no trecho médio e baixo do rio Madeira, analisada em diferentes períodos hidrológicos no período entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.**

O valor médio do índice de dominância para a comunidade zooplanctônica no rio Madeira foi de  $0,36 \pm 0,21$  (média±DP), com coeficiente de variação de 0,57. O valor mínimo registrado foi de 0,08 no período de vazante de 2009 (em junho de 2009) e o valor máximo foi de 0,94 obtido para o período de águas altas, em abril de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o período de vazante em 2009 foi aquele em que ocorreram os maiores valores de dominância com mediana de 0,40, enquanto os menores valores ocorreram no período de vazante/09 com mediana de 0,09 (Figura 87).

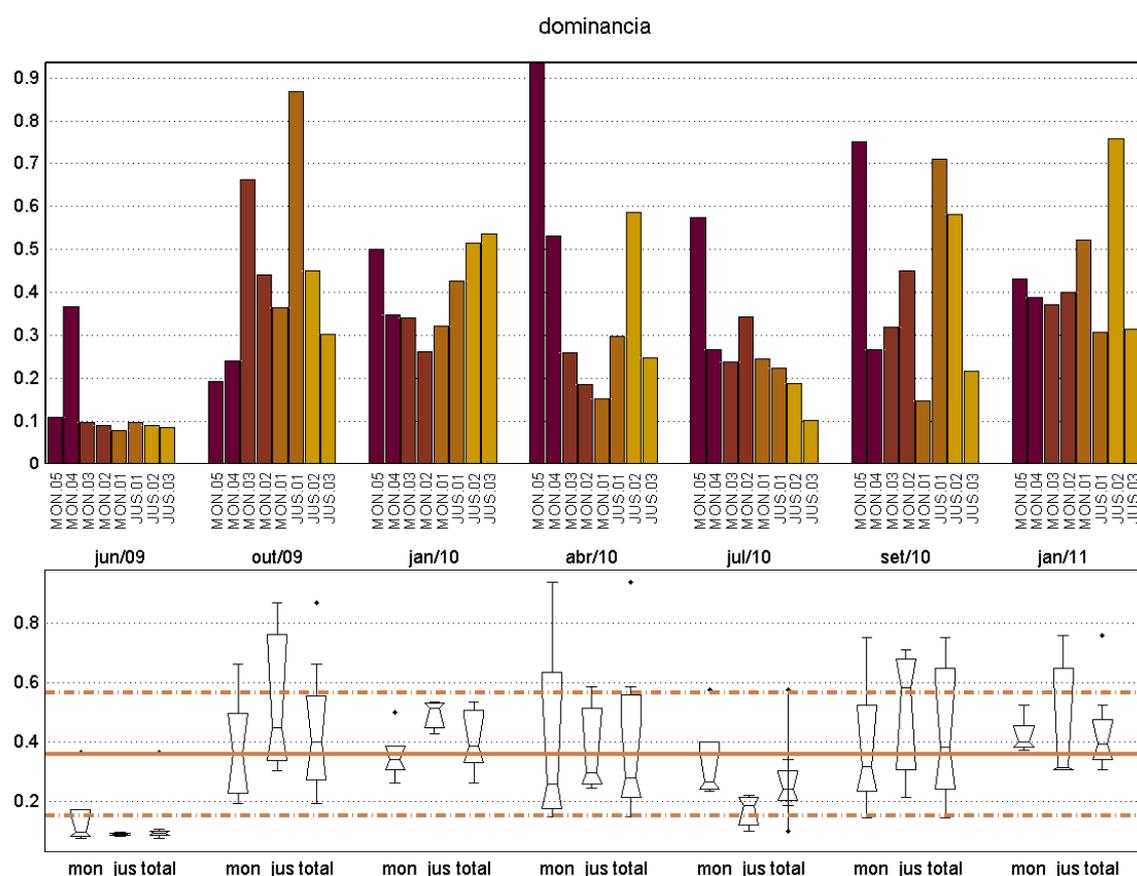


Figura 84- Resultados de dominância no rio Madeira nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.

O valor médio do índice de equidade para a comunidade zooplânctônica do rio Madeira foi de  $0,47 \pm 0,22$  (média±DP), com coeficiente de variação de 0,46. O valor mínimo registrado foi de 0,13 no período águas baixas em setembro de 2010 e o máximo de 1,00 observado no período de enchente em janeiro de 2010. Dentre os períodos hidrológicos analisados, o de vazante de 2009 foi aquele em que ocorreram os

maiores valores de equidade com mediana de 0,85, enquanto os menores valores ocorreram no período de vazante/09 com mediana de 0.39 (Figura 88). Os maiores valores de equidade e menores valores de dominância ocorreram ambos no período de de vazante em junho de 2009 (Figura 87 e 88). Nos períodos subseqüentes ambos índices tiveram menor variabilidade e alternância de valores .

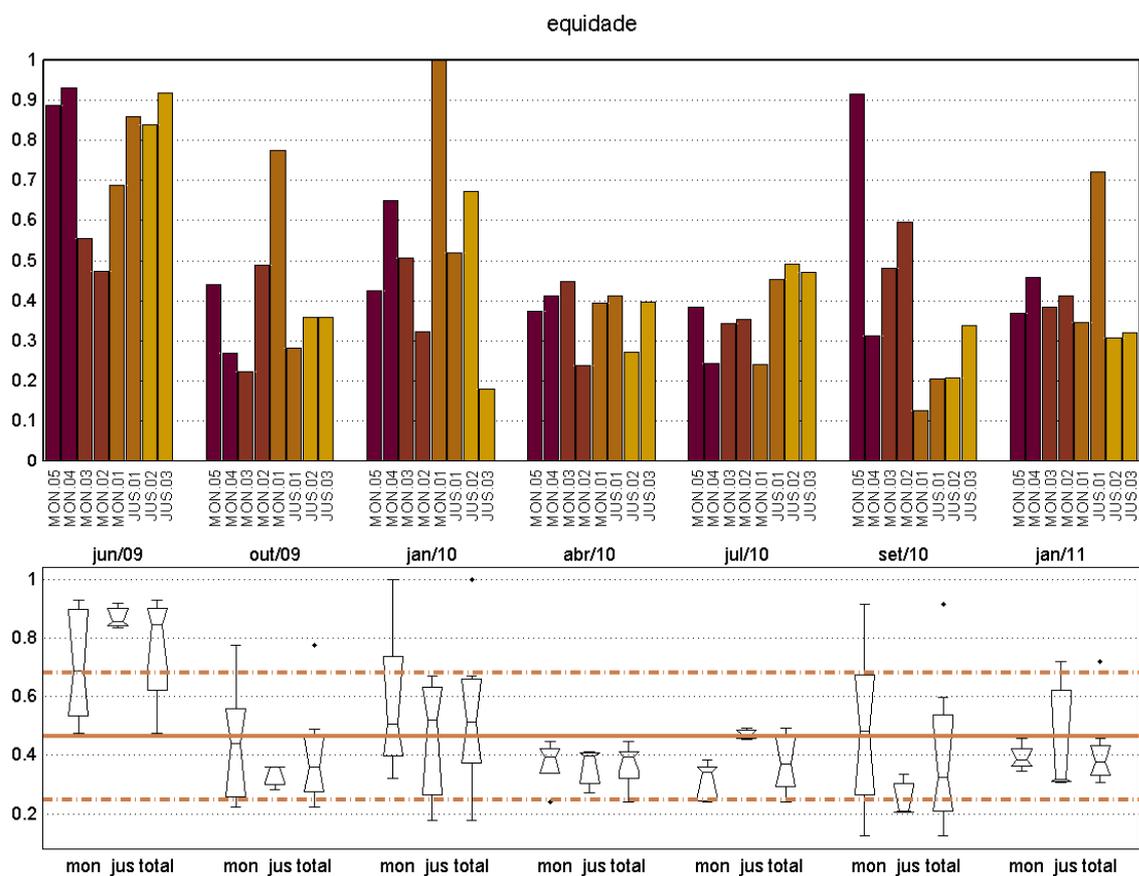
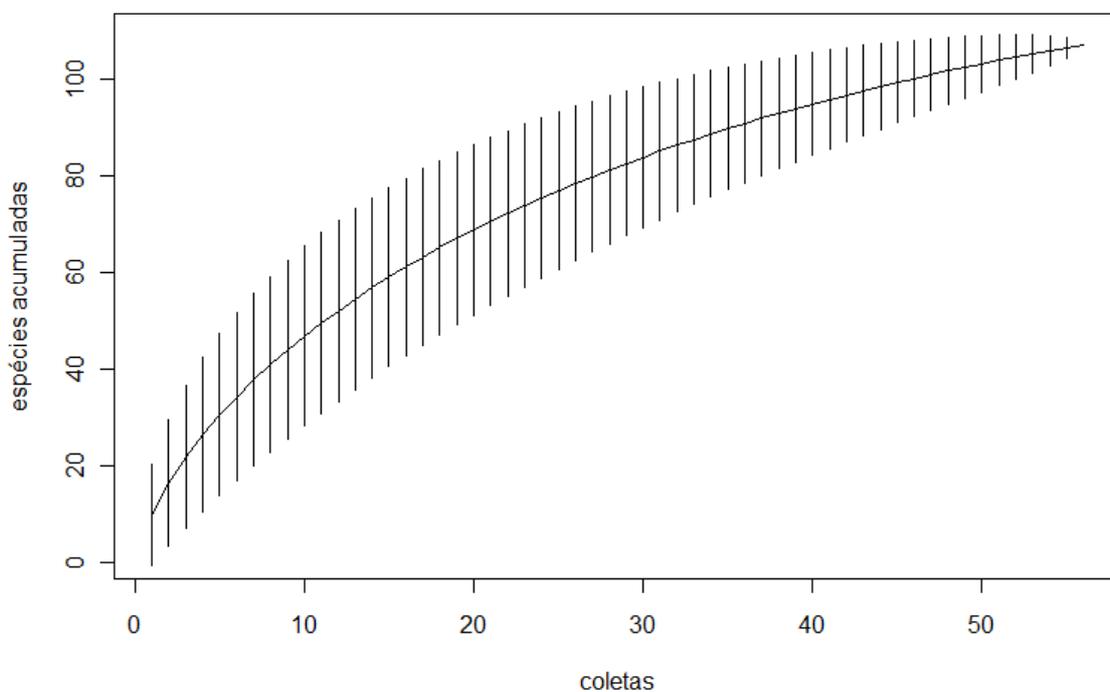


Figura 85 - Variação nos índices de equidade da comunidade zooplanctônica amostrada no trecho médio do rio Madeira amostrada trimestralmente no período entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.

Na Figura 86 é apresentada a curva de rarefação ou curva acumulativa do aumento do número de espécies à medida que se amplia a área amostrada com a inclusão de amostras de outros pontos ou de outros períodos de amostragem. Observa-se que a curva inicia a estabilização (tende à assíntota), após o centésimo táxon.



**Figura 86 - Curva de Rarefação dos táxons registrados para a comunidade zooplânctônica do rio Madeira em sete períodos hidrológicos amostrados em 8 estações amostrais durante o período de junho de 2009 a janeiro de 2011.**

Na Figura 87 são apresentados os resultados obtidos para a diversidade máxima prevista para os estimadores de riqueza para o zooplâncton do rio Madeira. O número de táxons registrado (S) de 101, foi ligeiramente inferior ao estimador Chao (121) e muito inferior aos obtidos por meio dos estimadores Jackknife 1 (145 táxons) e Jackknife 2 (150 táxons).

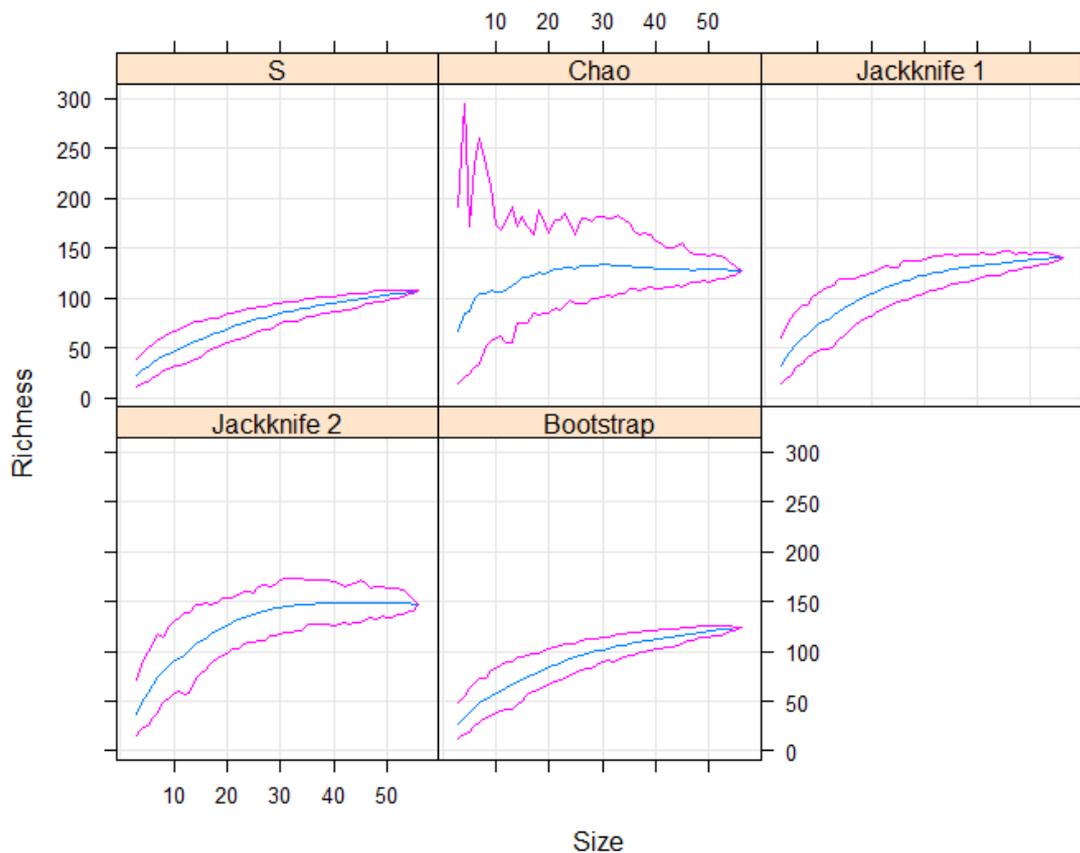


Figura 87 -Valores de diversidade máxima esperada para a a riqueza de táxons da comunidade zooplancônica do rio madeira por meio dos estimadores Chao, Jacknife 1 e 2 e Bootstrap, de acordo com os modelos propostos por Magurran, 2004.

#### 4.5.5 - Curvas Abundância Biomassa (Curvas ABC) como Indicadora de Distúrbios

Na Figura 89 são apresentadas as curvas de abundância biomassa ABC para a comunidade zooplancônica nas estações de montante e de jusante nos diferentes períodos hidrológicos amostrados.

Quando a curva de biomassa localiza-se acima da curva de abundância, significa que uma ou duas espécies são dominantes em termos de biomassa, o que é característico de comunidades em ambientes não perturbados. Este fato pode ser observado no presente estudo, apesar da tendência de sobreposição das curvas, que sugere um distúrbio moderado, caracterizando condições intermediárias entre ambientes perturbados e não perturbados.

No período de vazante, (junho de 2009) as curvas cumulativas indicaram maiores biomassas do que abundância numérica para a comunidade zooplancônica, indicando ausência de distúrbio ou perturbação.

No período de águas baixas (outubro de 2009) uma situação diferente foi observada, com a curva de abundância numérica no trecho a montante da Cachoeira mais elevada

do que a curva de biomassa revelando a ocorrência de distúrbio. No trecho a jusante houve inter cruzamento das curvas o que indica a ocorrência de distúrbio moderado.

No período de enchente (janeiro de 2010) tanto as curvas do trecho a montante quanto as do trecho a jusante evidenciaram maior abundância numérica do que biomassa, indicando forte distúrbio na comunidade zooplanctônica.

No período de águas altas (em abril de 2010) as curvas ABC para a comunidade zooplanctônica no trecho a montante indicaram ausência de distúrbio, com a curva de biomassa mais elevada que a curva de abundância numérica. No entanto, as curvas para a comunidade zooplanctônica no trecho a jusante se entrecruzaram indicando a existência de distúrbio moderado.

No período de vazante (julho de 2010) as curvas de biomassa e abundância numérica da comunidade zooplanctônica de ambos os trechos, montante e jusante, se entrecruzaram indicando a existência de distúrbio moderado.

Para o período de vazante (setembro de 2010) as curvas do trecho a montante retornaram ao padrão normal indicando ausência de distúrbio, contudo no trecho a jusante no trecho a jusante o padrão foi oposto com a curva de abundância numérica muito mais elevada que a curva de biomassa indicando forte distúrbio na comunidade zooplanctônica.

No último período hidrológico avaliado, o período de enchente em janeiro de 2011, as curvas ABC em ambos os trechos do rio Madeira, a montante e jusante da cachoeira tem a curva de abundância numérica mais elevada que a curva de biomassa indicando a ocorrência de forte distúrbio na comunidade.

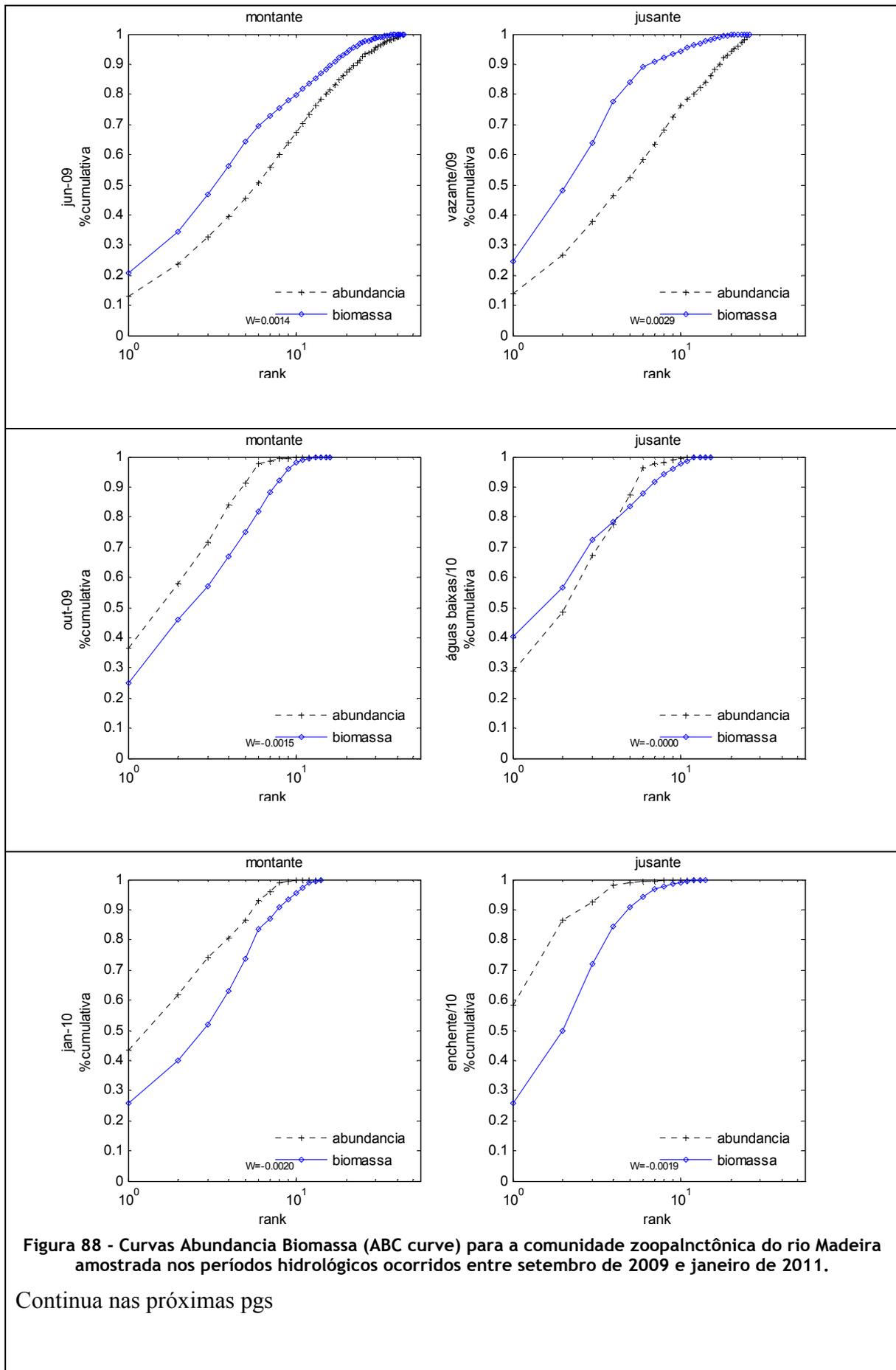
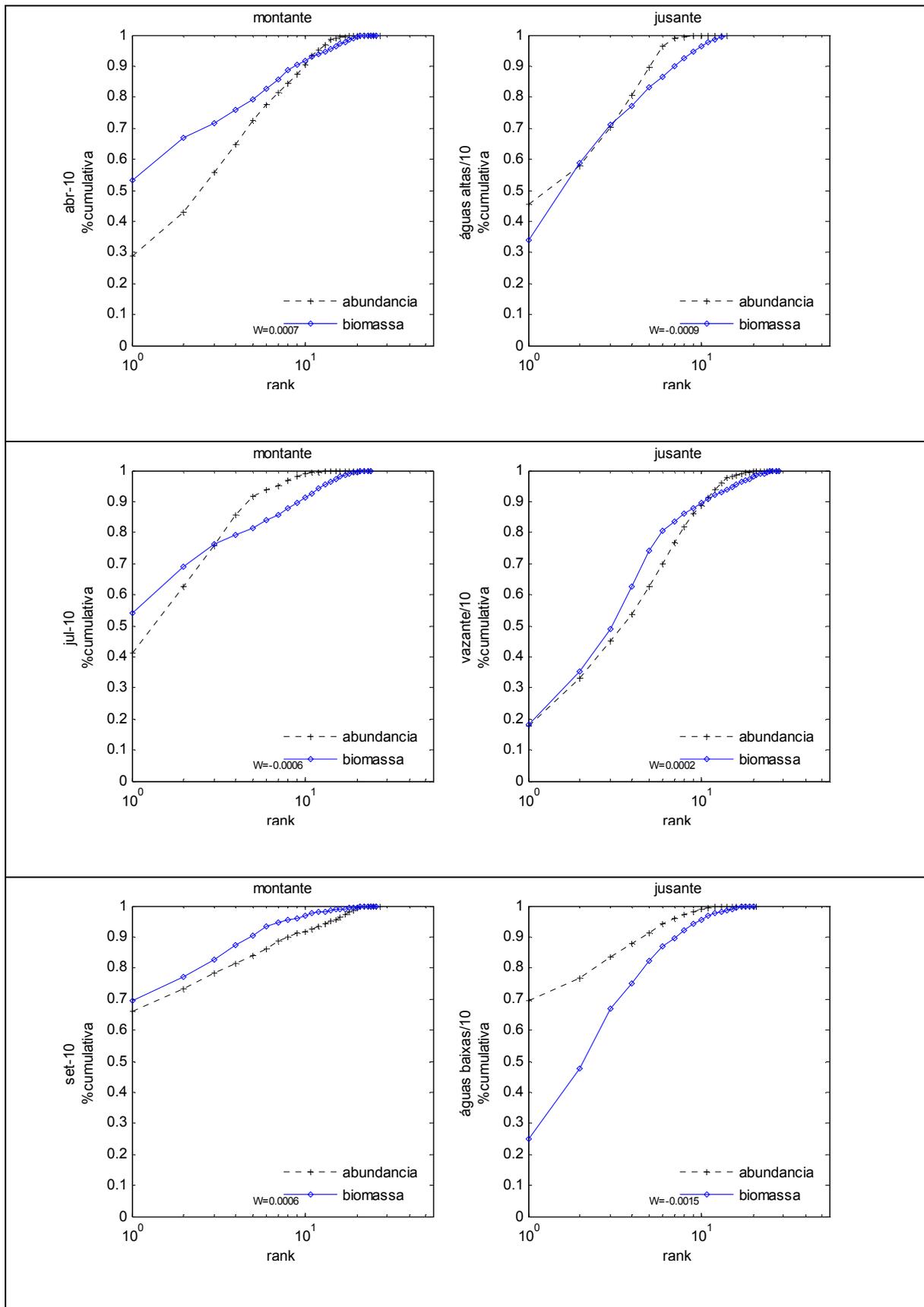


Figura 88 - Curvas Abundancia Biomassa (ABC curve) para a comunidade zooplânctônica do rio Madeira amostrada nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.

Continua nas próximas pgs



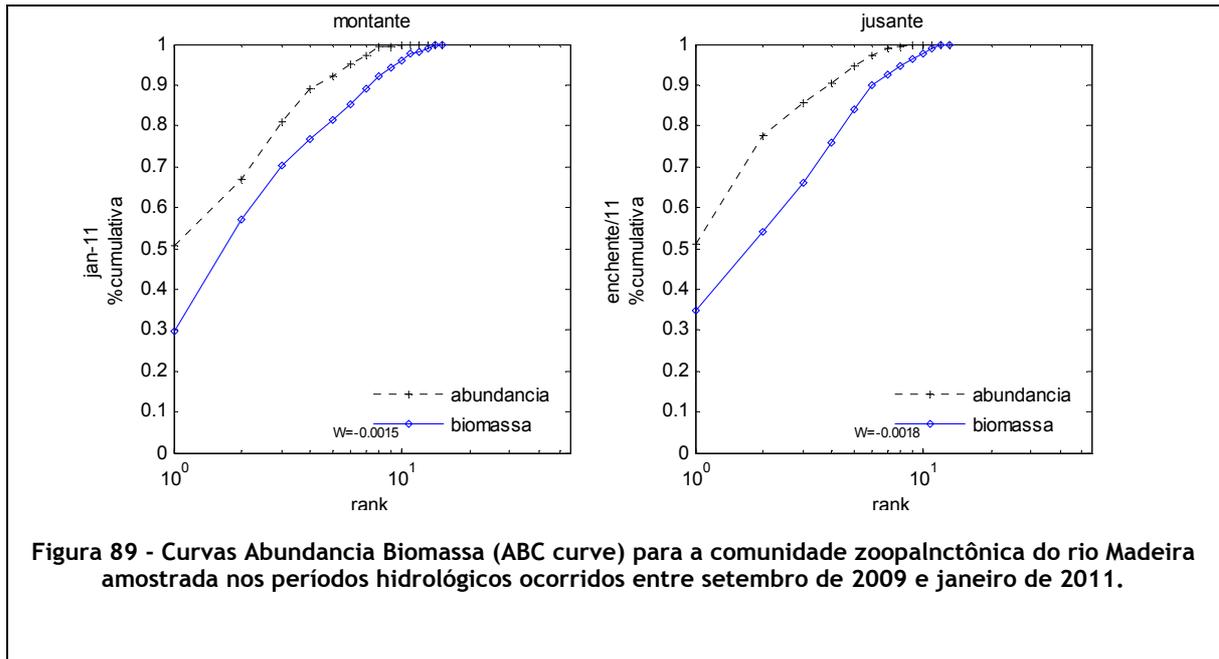


Figura 89 - Curvas Abundancia Biomassa (ABC curve) para a comunidade zooplânctônica do rio Madeira amostrada nos períodos hidrológicos ocorridos entre setembro de 2009 e janeiro de 2011.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 - Climatologia e hidrologia

O clima da bacia do rio Madeira é equatorial, com transição tropical, úmido (SCOTT, 1989) e caracterizado por forte decréscimo de precipitação no inverno. Três meses são considerados secos em geral (junho, julho e agosto). O clima é no entanto sujeito a fortes desvios pluviométricos estacionais ao longo dos anos, principalmente condicionados por eventos como o El Niño e La Niña.

Em relação à temperatura, a região de Porto Velho, RO, onde o presente estudo no rio Madeira foi realizado caracteriza-se por baixa amplitude de variação térmica anual. A região é classificada como sendo de clima quente, durante todo o ano. As elevadas temperaturas do ar durante o período avaliado refletem o regime climático regional com temperaturas médias de  $26,5 \pm 3,6$ .

De acordo com Payne (1975) uma afirmação freqüentemente encontrada em livros texto sobre as condições climáticas nos trópicos é a de que as variações sazonais são pequenas ou ausentes.

Os registros de temperaturas máximas e mínimas diárias, obtidas junto à Estação Meteorológica de Porto Velho evidenciaram no entanto, amplas variações diárias de temperatura, particularmente nos meses de julho a agosto, em decorrência da chegada das frentes frias ou “friagens” como são localmente denominadas. Heide (1982) adequadamente esclarece que as afirmações de que as variações de temperatura na região equatorial são mínimas ou ausentes decorrem na realidade do fato de que os dados meteorológicos publicados geralmente se referem às médias aritméticas de registros diários em horários de leitura padronizados às 8:00, 14:00, e 18:00 h, e por isso desconsideram as menores temperaturas que ocorrem entre as 18:00 e 8:00 h no período noturno. Por esta razão alguns autores (KOK, 1980, WATER QUALITY, 1981, apud VAN der HEIDE, 1982) utilizam uma correção de  $-1,75$  °C nos registros de temperaturas médias diárias reportadas. No presente estudo este problema não ocorreu pelo fato dos dados meteorológicos terem sido obtidos da estação meteorológica do aeroporto de Porto Velho onde também são feitos registros de temperatura no período noturno.

A análise das variações nictimerais de temperatura do ar evidencia que nos dias de ocorrência das friagens ocorreram variações de temperatura de até 16,0 °C. Variações de temperatura desta magnitude em ambientes caracterizados pela constância térmica podem ser ecologicamente importantes e suas relações com a temperatura da água devem ser consideradas.

Para o rio Suriname, na região do reservatório de Brokopondo (4° 26' - 5° 00'N e 54° 45' - 55° 21'W), Van der Heide reporta uma amplitude de variação térmica máxima do ar de 11,0 °C, valor similar à amplitude diversas vezes registrada quando da entrada de friagens na região de Porto Velho durante este período de estudo.

Embora flutuações na temperatura possam ser pequenas, a existência de pelo menos uma estação chuvosa definida nos trópicos pode gerar amplas flutuações nas características limnológicas em lagos e rios das regiões tropicais. (PAYNE, 1975).

A precipitação pluviométrica na bacia Amazônica é elevada, com valor médio de cerca de 2.300 mm anuais (MARENGO, 2007). Na região estudada os dados de precipitação pluviométrica resultaram em totais anuais de 2.821,4 mm em 2009 e 1.705,5 mm em 2010, resultando em uma diferença de precipitação entre os dois ciclos hidrológicos estudados de mais de 1.000,00 mm.

Estudos das variações na precipitação pluviométrica nas últimas décadas tem evidenciado que durante os ciclos da Oscilação Sul (ENSO) ocorrem grandes impactos sobre o clima da bacia amazônica, especialmente em relação à precipitação pluviométrica (MARENGO, 2007; BOOKHAGEN & STRECKER, 2010).

Segundo Marengo (2010), uma das características mais importantes das regiões tropicais são as variações das precipitações em escalas interanuais (de ano para ano) e interdecadais (na escala de décadas), processos que tem sido bastante estudados (RONCHAIL *et al.* 2002, MARENGO 2004). Estes estudos mostram que a parte norte da bacia amazônica é muito afetada pelo aquecimento ou resfriamento anômalo da temperatura da superfície do mar no Pacífico tropical, fenômenos conhecidos respectivamente como El Niño e La Niña. Episódios quentes no Pacífico tropical (El Niño), tendem a provocar déficits de chuva na parte norte e central da bacia (como por exemplo as secas de 1926, 1983 e 1998); episódios frios estão geralmente associados com chuvas em excesso na parte norte da bacia. Entretanto, há eventos extremos na Amazônia que não estão associados com El Niño ou La Niña, como por exemplo a seca

de 2005. Marengo *et al.* (2008 a, b) e Tomasella *et al.* (2010) mostraram que a parte sul da bacia é afetada por reduções nas chuvas como consequência do aquecimento anômalo do Atlântico tropical Norte. Foi esse o principal fenômeno responsável pelas secas extremas de 1963 e 2005.

A ocorrência do fenômeno El Niño, somado ao aquecimento do Atlântico tropical Norte no início de 2010, teve como consequência a diminuição drástica das precipitações (MARENGO *et al.* 2008), afetando as vazões dos tributários da calha sul, inclusive dos grandes rios como o rio Madeira. O déficit de chuva em 2010 evidenciado no presente estudo foi muito grande, superior a 1000mm, tendo influência direta sobre o regime hidrológico, não apenas no que tange à magnitude das cheias do período chuvoso, mas também sobre as vazões no período seco pela menor recarga dos aquíferos.

Durante o outono do hemisfério sul, o Atlântico tropical continuou se aquecendo entretanto no Pacífico tropical o fenômeno El Niño foi substituído pela fase fria, o fenômeno La Niña. Esta situação climática favoreceu a ocorrência de estiagens severas nos tributários da calha sul do Rio Amazonas como é o caso do rio Madeira em 2010 (TOMASELLA *et al.*, 2010). Os ciclos da Oscilação Sul (ENSO) que caracterizam os fenômenos do El Niño e La Niña por meio da diferença entre a temperatura média e a temperatura observada no oceano são apresentados na Figura 90. A

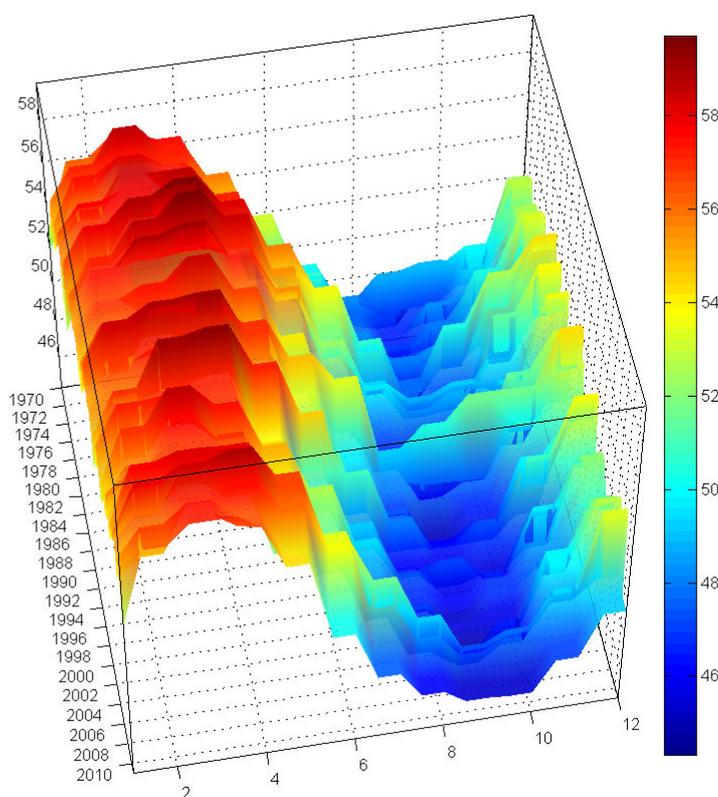
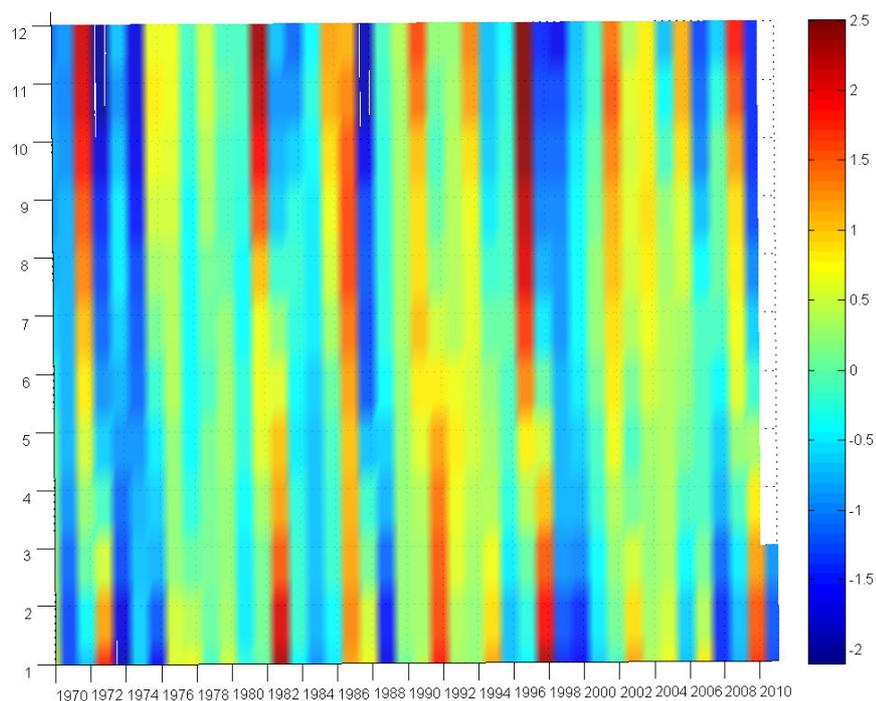
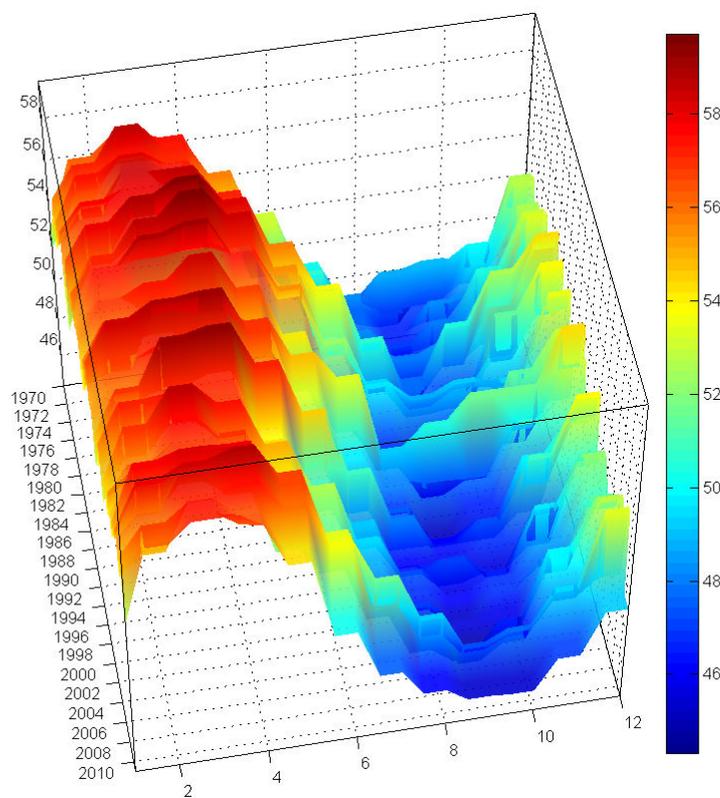


Figura 91 mostra os níveis hidrométricos durante o período de 1968 a 2011, comparando-os com as médias históricas. Ela evidencia que em 2010 estes estiveram muito abaixo das médias históricas, atingindo um valor mínimo apenas ligeiramente acima dos mínimos históricos registrados em 2005. O fenômeno La Niña ocasionou a redução do fluxo de diversos tributários do rio Amazonas, sendo que para o rio Madeira a diminuição da vazão foi da ordem de 2 metros.

Esses resultados mostram a importância dos fenômenos climáticos globais e sua influência determinante sobre os principais processos de ocorrência sobre os ecossistemas aquáticos amazônicos.



**Figura 90 - Diferença entre as temperaturas superficiais de cada período observadas no oceano e as temperaturas médias históricas, indicando os eventos de El Niño (em vermelho) e La Niña (em azul), na altura de Porto Velho - RO, entre os anos de 1968 e março de 2011, e meses de janeiro a dezembro (mês 1 a 12).**



**Figura 91- Variação do nível do rio Madeira, na altura de Porto Velho - RO, entre os anos de 1968 e março de 2011, e meses de janeiro a dezembro (mês 1 a 12).**

## 5.2 - Monitoramento em tempo real

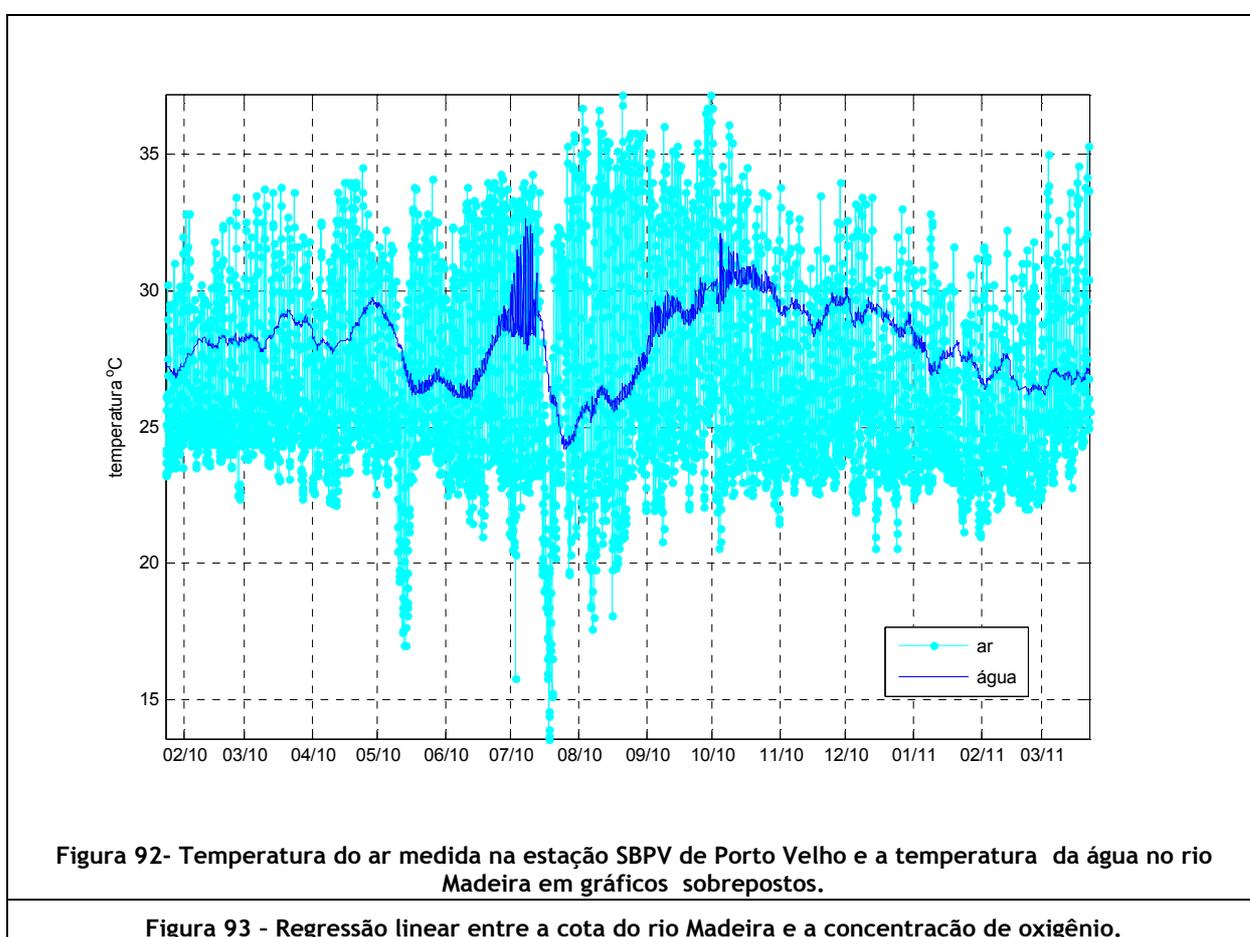
Os resultados obtidos por meio do monitoramento em tempo real mostram que na maioria dos casos, as variações observadas nos parâmetros mensurados no rio Madeira foram coincidentes e detectadas nas estações de montante e jusante, com poucos minutos de diferença entre as observações.

As elevadas temperaturas durante todo o período avaliado refletem o regime climático regional, com temperaturas médias próximas a 27 °C, durante todo o ano. As amplitudes térmicas diárias máximas no período estudado foram de 4,5° C na estação de montante no dia 07/07/10 e raramente ultrapassaram 0,8 °C na estação de jusante. Essa diferença entre as estações pode ter ocorrido em função do posicionamento da estação de montante que permaneceu em local raso com a redução do nível do rio Madeira ocorrida no início de julho. As amplitudes térmicas em todo o período estudado chegaram a 8,3 °C e 6,0 °C nas estações de montante e jusante, respectivamente. Esses resultados indicam que as amplitudes sazonais superam muito as amplitudes diárias.

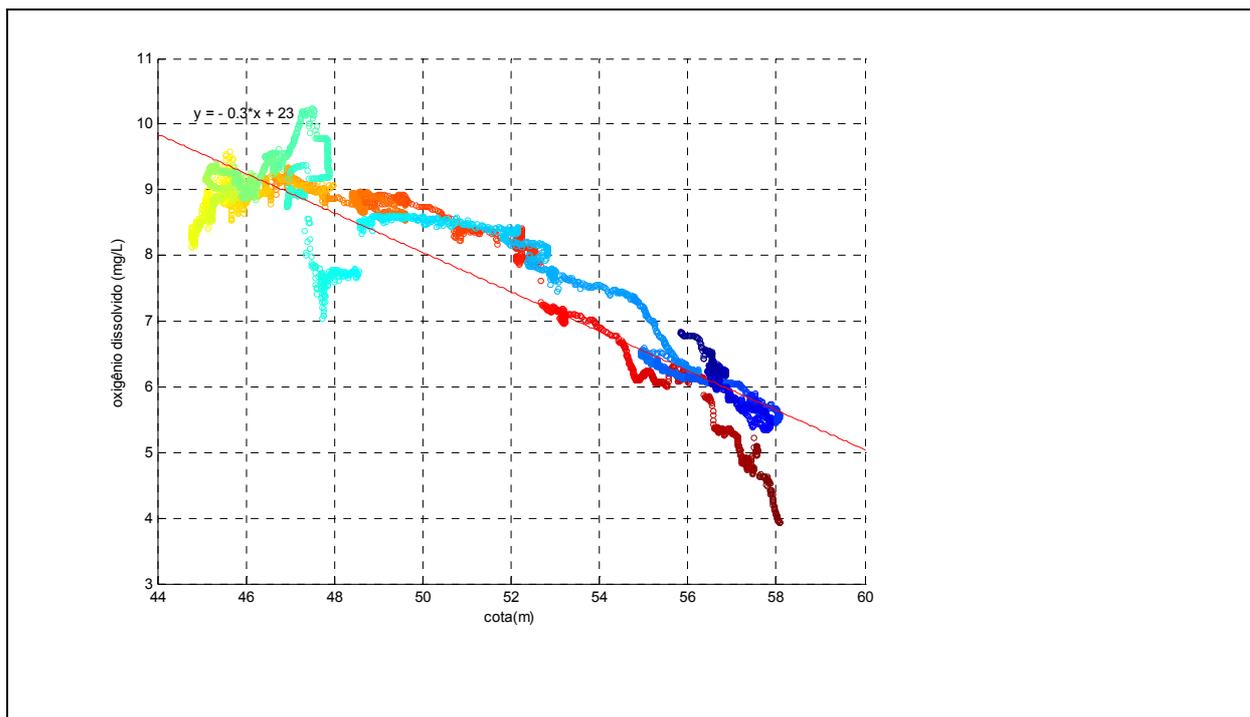
Os efeitos da chegada de frentes frias na temperatura da água são visíveis em pelo menos duas ocasiões, em março e julho de 2010 como mostra a

Figura 92 com as variações da temperatura do ar e da água. Como se espera as amplitudes térmicas do ar são muito superiores às da água.

O rio Madeira apresentou águas bem oxigenadas com valores próximos à saturação completa de oxigênio dissolvido durante todo o período de monitoramento. As altas concentrações de oxigênio dissolvido ocorrem em função da intensa turbulência e constantes trocas gasosas com a atmosfera. As pequenas diferenças entre as estações de montante e jusante se justificam pela presença da cachoeira de Santo Antonio a qual promove intensa oxigenação da água. A regressão linear entre os valores de oxigênio dissolvido e o nível do rio Madeira apresentaram boa correlação ( $r$  de -0,93 e  $r^2$  de



0,86).



Uma explicação para a redução do oxigênio no período de águas altas se embasa no aporte de matéria orgânica que o rio Madeira recebe nesse período, através do alagamento das planícies de inundação. A decomposição da matéria orgânica, juntamente com a formação de áreas estagnadas ao longo das margens do rio são suficientes para promover esse declínio. O aumento do oxigênio no período de águas baixas, por sua vez, pode ser explicado pelo aumento do desnível das cachoeiras, o que provoca a queda d'água de forma mais intensa e reoxigenação da coluna. Apesar das baixas densidades e biovolumes do fitoplâncton observados no rio Madeira, insuficientes para explicar o grande aumento do oxigênio dissolvido no período de águas baixas, é possível que a produção primária desempenhe um papel importante. No período de águas baixas, além de do rio não receber o aporte das áreas alagáveis, ocorrem os mais baixos valores de turbidez, o que favorece o desenvolvimento do fitoplâncton e da produção primária. As concentrações de clorofila, biovolume e densidade fitoplanctônicas apresentaram resultados visivelmente superiores nesse período (Ecology Brasil, 2011).

Outro fato que sustenta o papel da produção primária são as variações nictimerais, onde se pode observar aumentos do oxigênio durante o dia e diminuição durante a noite. É possível que o picofitoplâncton (não analisado nas campanhas de monitoramento) seja o responsável por esse aumento, uma vez que seu metabolismo intenso e alta taxa de

crescimento podem ter sido favorecidas em um período curto de tempo, no auge da seca, quando a turbidez no rio Madeira chegou a 16 NTU e a transparência a 0,5m.

O pH de ambas as estações foi próximo ao neutro, apresentando variação no período amostrado de quase 2 unidades logarítmicas de pH entre os máximos observados na seca e mínimos na cheia. As águas do rio Madeira são ricas em bicarbonato e a hipótese mais provável é a de que um pH relativamente alto, entre 7,5 e 8,0, ocorre naturalmente nos períodos mais secos; e durante a enchente e a cheia, com a decomposição de matéria orgânica das áreas recém alagadas, a respiração e liberação de CO<sub>2</sub> forçam o equilíbrio do tamponamento para um pH mais ácido. É possível que a ocorrência de valores superiores a 8,0 durante os períodos de seca sejam influenciados pela produção primária, que ao capturar o CO<sub>2</sub> da água, desloca o equilíbrio do tamponamento para um estado mais básico. Essa hipótese é corroborada pelos resultados de oxigênio dissolvido, que estiveram acima da saturação simultaneamente aos valores elevados de pH. Fortalece ainda essa hipótese o fato de que a regressão linear entre cota e pH assumiu uma feição de curva de tamponamento e indicou uma relação negativa entre essas variáveis, com coeficiente de correlação de -0,95 , e alto coeficiente de determinação observado de 0,9, com potencial para se fazer previsões. A alta capacidade de tamponamento e valores relativamente altos de pH são características dos rios de águas brancas.

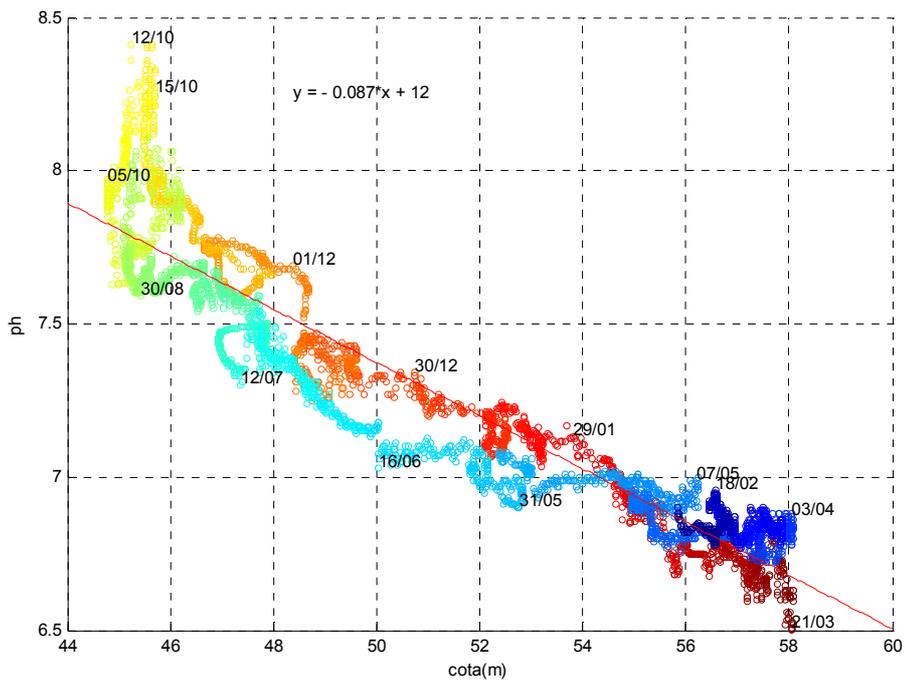


Figura 94- Regressão linear entre a cota e o pH.

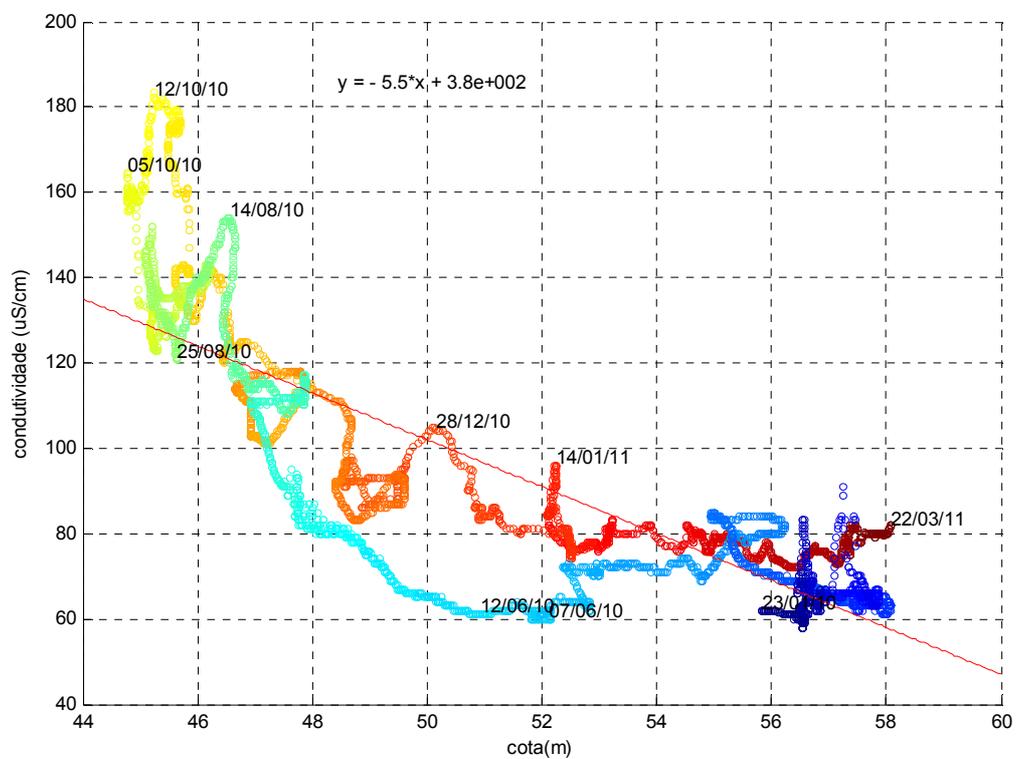
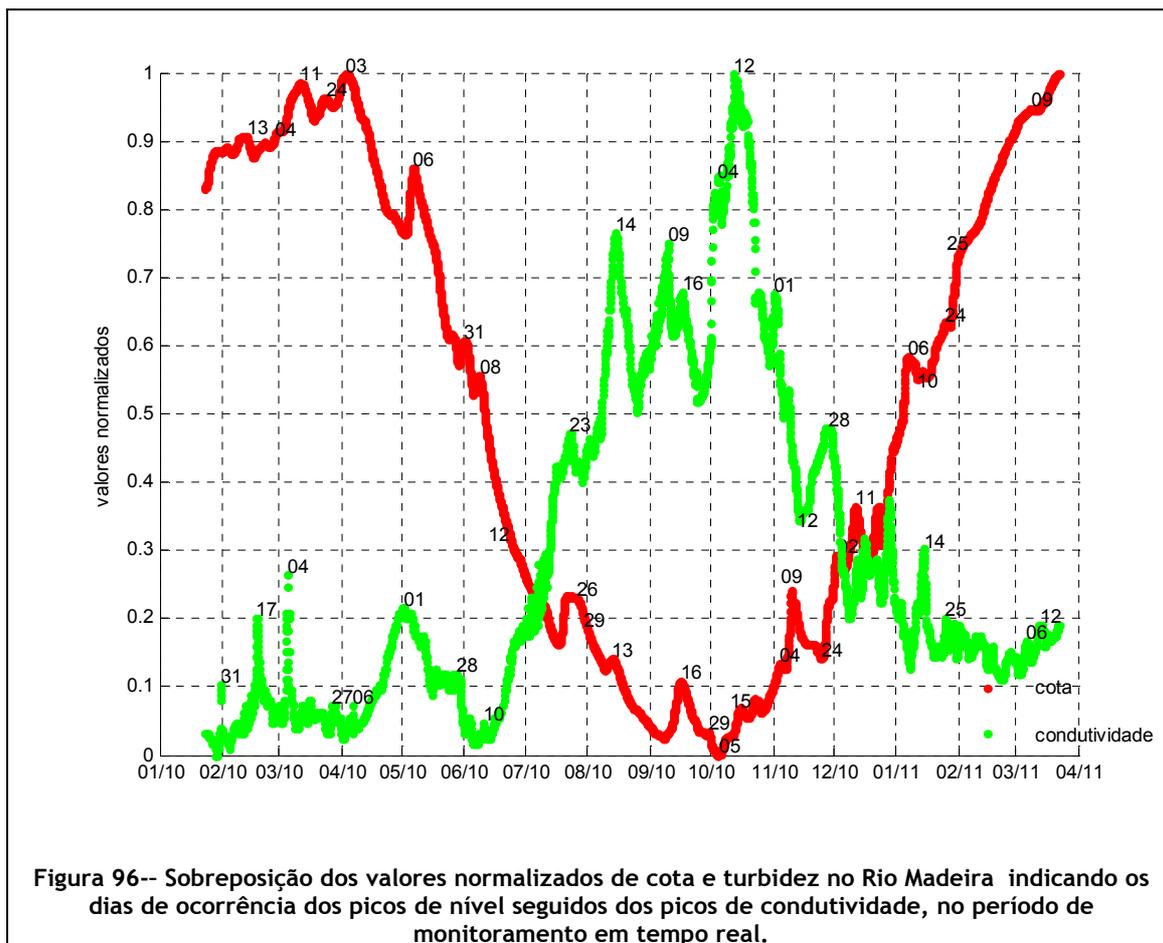


Figura 95- Regressão linear entre cota e a condutividade elétrica da água do rio Madeira.



Os aumentos súbitos de condutividade ocorreram logo no início da subida do nível durante o repiquete, atingindo os máximos com atraso e até 4 dias com relação à cota, e em alguns casos o pico de condutividade chegou a anteceder o da cota em 1 dia.

A turbidez apresentou valores mais elevados no período de enchente com máximos simultâneos de cerca de 1400 NTU no dia 17/02/10 nas estações de montante e jusante. No período de cheia os valores diminuíram continuamente até atingirem o mínimo no período da seca com valores inferiores a 20 NTU em ambas as estações. A regressão entre os valores de cota e turbidez separaram claramente os períodos de enchente (acima da reta) e vazante (abaixo da reta) no rio Madeira, com coeficiente de correlação de 0,77 e coeficiente de determinação de 0,59 ( $P < 0,0001$ ).

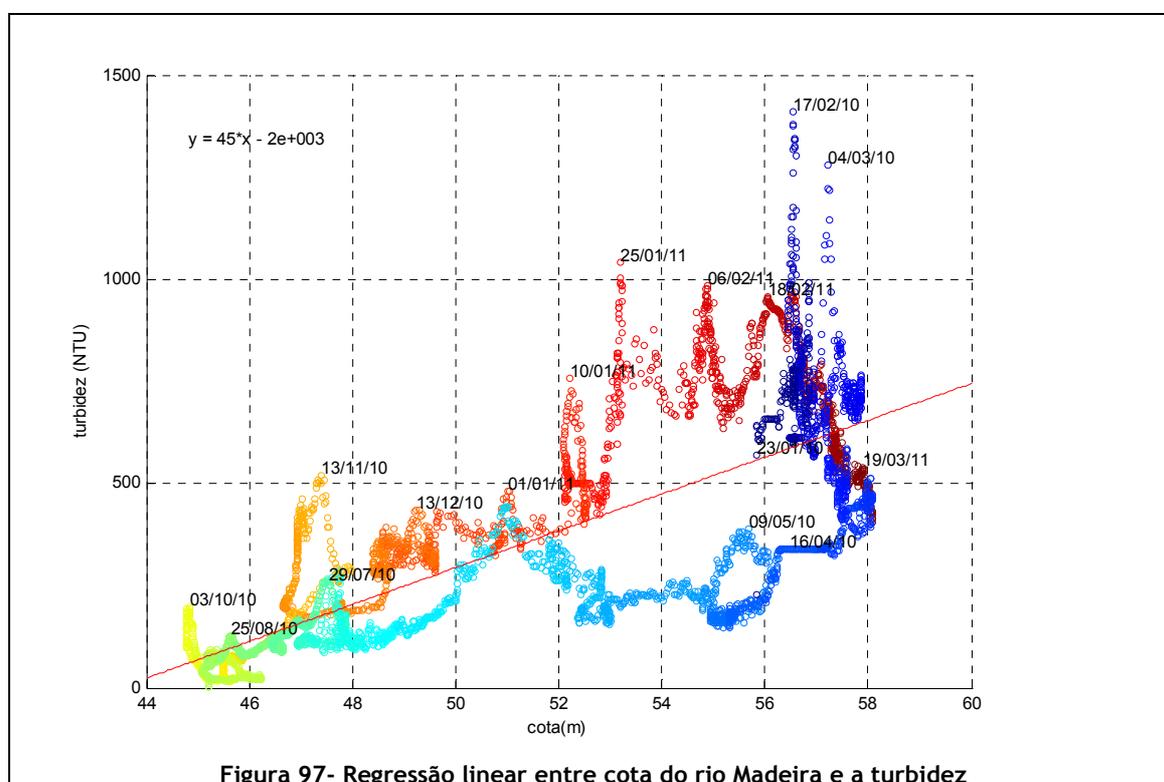
Aumentos repentinos da turbidez parecem estar relacionados aos pulsos de inundação do rio Madeira, cujo nível apresentou variações visíveis que antecederam esses picos de turbidez. A oscilação súbita na cota de até 1m com conseqüente alagamento das margens antes expostas faz com que o rio o transporte de grande quantidade de sedimentos com a continuidade do pulso. São particularmente reveladores desse padrão

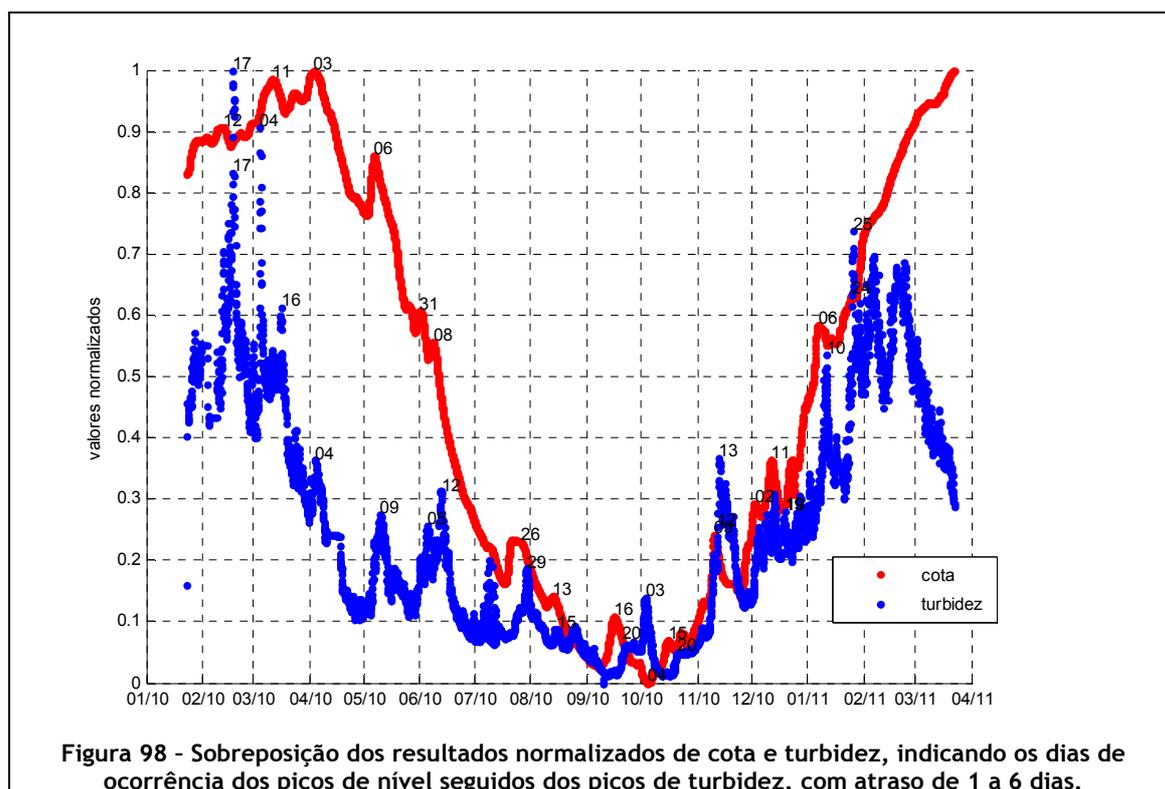
os picos ocorridos em 17/02/10 (1497 NTU), 09/05/10 (395 NTU), 05/06/10 (434 NTU) e 12/06/10 (461 NTU), cuja variação acompanhou o rebaixamento e aumento rápido do nível do rio Madeira. Foram identificados pelo menos 12 picos de cota seguidos de picos de turbidez com atraso de 1 a 6 dias (Figura 98).

Segundo FURNAS (2005), o rio Madeira apresenta um regime fluvial e sedimentológico que é uma síntese dos regimes de seus formadores: enquanto o rio Beni apresenta águas carregadas de sedimentos resultantes da erosão da Cadeia Andina e de transporte de sedimento, provocada por seu regime fluvial mais torrencial e sujeito a repiquetes (ondas de cheia localizadas), o rio Mamoré possui extensas áreas deprimidas que sedimentam o material oriundo dos Andes, apresentando assim um hidrograma amortecido e águas menos barrentas.

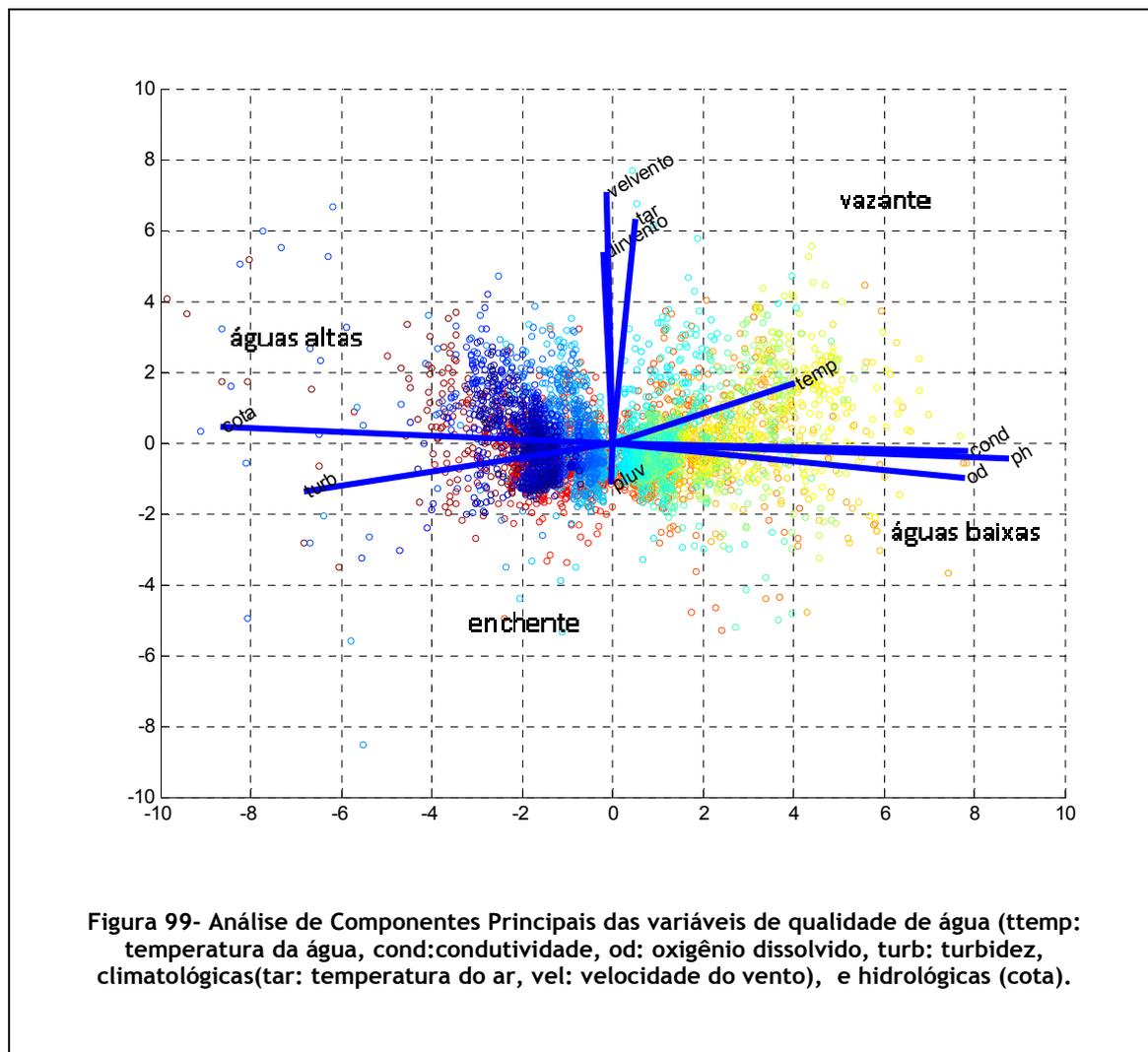
O Madeira é um rio dinâmico, em plena atividade de erosão dos seus antigos depósitos sedimentares e geração de depósitos atuais. A cada ciclo hidrológico, os sedimentos mais antigos são parcialmente cobertos pelos sedimentos atuais constituídos por argila, silte, areia fina e matéria orgânica, depositados pelo rio sobretudo na fase de águas altas. Durante o período enchente, esses sedimentos são submetidos a processos erosivos e eventualmente acabam deslizando de volta ao para o rio Madeira (FURNAS, 2005). Esse processo conhecido por solifluxão consiste no escorregamento dos barrancos por ação da gravidade após seu fundamento ter sido erodido pela água. A hidratação dos sedimentos argilo-siltosos e arenosos facilita o processo de escorregamento deles (solifluxão) para dentro do corpo de água do rio, pela falta de uma barreira natural que impeça o seu movimento encosta abaixo. Os processos de dismantelamento e escorregamento dos barrancos se acentua na enchente quando a ação erosiva e de transporte dos sedimentos. Ainda segundo FURNAS, esses sedimentos são facilmente dismantelados, e depositados juntamente com os sedimentos em suspensão transportados pelo rio, sobretudo no período das chuvas amazônicas, a partir de fontes localizadas a montante, principalmente aqueles derivados da bacia do rio Beni (Bolívia). Durante a cheia ocorre a deposição de sedimentos mais grossos, arenosos (barras de canais) associados a sedimentos mais finos (argila e silte) e matéria orgânica nas margens dos barrancos. Durante o período de seca as margens desbarrancadas ficam expostas mostrando a ação dos processos erosivos ocorridos no ciclo anterior.

Os igarapés afluentes do rio Madeira também atuam como agentes erosivos na sua desembocadura, desmoronando as camadas de sedimentos recentes depositadas pelo rio Madeira no início do período de vazante. Segundo FURNAS, 2005, no trecho Morrinhos-Teotônio, segundo o proprietário do sítio local, o rio já recuou cerca de 50 metros nos últimos 16 anos, o que dá uma taxa de erosão do barranco de cerca de 3 metros/ano. O rio Madeira, na sua margem direita junto à foz do rio Jaci-Paraná, erodiu o barranco em torno de 200 metros (30 hectares) durante o período de 30 anos, ou seja, uma erosão de 6 a 7 metros lineares ao ano ou aproximadamente  $0,01 \text{ Km}^2 / \text{ano}$  (FURNAS, 2005). Quando o rio está na fase de enchente carrega uma quantidade maior de sedimentos, os quais se depositam logo no início da vazante. Com a retomada do ciclo das chuvas e a conseqüente subida do nível das águas do rio, esses sedimentos depositados no ciclo anterior são parcialmente erodidos e carregados pelas águas do rio, depositando-se em outras áreas de quebra de energia. Portanto, é um processo cíclico que acontece com os depósitos sedimentares do rio Madeira, restando poucas áreas com sedimentos estáveis que perduram por longos períodos.





A ACP feita com as variáveis de qualidade de água, climatológicas e hidrológicas explicaram 57,4 % da variação observada nos dois primeiros eixos. O eixo horizontal é composto pelo pH, oxigênio e condutividade agrupados à direita com as observações do período de águas baixas (em amarelo), e cota e turbidez à esquerda do gráfico. O eixo vertical é composto pelas variáveis climatológicas, com velocidade e direção do vento e temperatura do ar agrupados na parte superior, e pluviosidade na parte inferior. Foi possível observar forte sazonalidade nesses resultados.



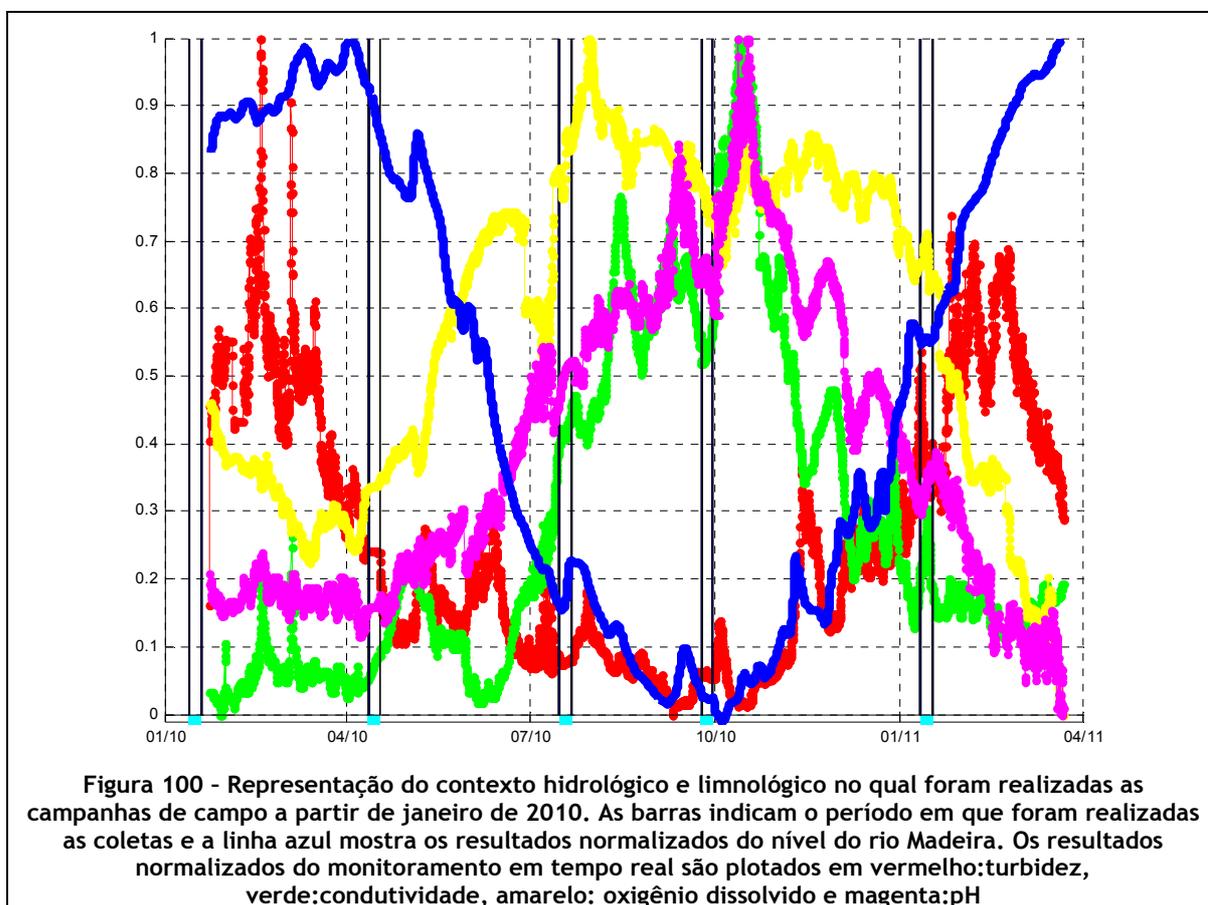
Os resultados obtidos evidenciaram a forte influência do pulso hidrológico sobre a turbidez, condutividade, oxigênio dissolvido e pH. Pulsos de curta duração, como as variações súbitas nos níveis e vazões do rio Madeira também exercem influência significativa, sobretudo na turbidez e na condutividade. As variáveis monitoradas a montante e jusante da cachoeira de Santo Antônio apresentaram, na maioria das vezes, resultados coincidentes e simultâneos.

Apesar da grande importância do conjunto de parâmetros analisados e do enfoque espacial mais amplo, um monitoramento trimestral ou mesmo mensal não é próprio para detectar as variações efêmeras dos parâmetros físicos e químicos da água resultantes de processos rápidos e ocasionais como a chegada das frentes frias ou variações súbitas na vazão. Esse tipo de monitoramento também apresenta limitações para detectar os nuances mais sutis das variações sazonais, já que o intervalo entre as amostragens

aumenta muito o peso das circunstâncias de coleta, como hora do dia, ocorrência de chuvas e diversos outros contingentes.

### 5.3 - Monitoramento Sistemático das Variáveis Físicas e Químicas

Para a melhor compreensão dos resultados obtidos no monitoramento sistemático é importante situa-lo dentro do contexto hidrológico e da dinâmica sazonal das variáveis físicas e químicas mostradas pelo monitoramento em tempo real. Foi possível perceber pela Figura 100 que as campanhas de vazante e de águas baixas de 2010 e enchente de 2011 foram realizadas sob influência de um “repique”.



A dinâmica fluvial do rio Madeira, caracterizada por elevada turbulência, promove uma distribuição homogênea do calor ao longo da coluna d'água, não permitindo o fenômeno da estratificação térmica neste rio.

Os rios de água branca, como o rio Madeira, apresentam elevado teor de sólidos em suspensão (MCCLAIN & NAIMAN, 2008). As elevadas concentrações de sólidos são

provenientes do material alóctone que é carregado na parte andina da bacia de captação. Os sólidos são geralmente classificados quanto ao tamanho das partículas (dissolvidos e suspensos) e quanto à volatilidade (fixos e voláteis).

No rio Madeira, o teor de sólidos totais foi semelhante entre os períodos de vazante, águas baixas e águas altas. Em contrapartida, os valores foram mais elevados na enchente de 2010 e 2011, quando a concentração média foi, respectivamente, de  $697 \pm 209$  mg/L e  $490 \pm 75$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os maiores valores na enchente são corroborados pelos maiores valores de turbidez nesse período. A regressão linear simples entre estas duas variáveis aponta que 77% da variabilidade da turbidez é devida ao total de sólidos em suspensão. A fração suspensa foi a mais frequente no rio Madeira, tendo respondido por 63% do total. Os maiores valores na enchente são corroborados pelos maiores valores de turbidez nesse período. A regressão linear simples entre estas duas variáveis aponta que 77% da variabilidade da turbidez é devida ao total de sólidos em suspensão. A fração suspensa foi a mais frequente no rio Madeira, tendo respondido por 63% do total.

Utilizando da rede telemétrica FUNAs (2005) que a concentração média de sólidos em suspensão em Porto Velho é cerca de 1,7 vezes maior que a de Guajará-Mirim quando utilizados os dados da ANA e de 1,5 vezes maior quando considerados os dados de FURNAS, o que indica um aporte significativo da carga de sedimentos entre Guajará-Mirim e Porto Velho, oriundos do rio Beni.

A turbidez dos rios está relacionada com o material em suspensão nas águas como descreve Galvão et al. (2009) que no período de cheia o Rio Madeira apresentou maior concentração de sólidos em suspensão que no período de seca e associaram essa maior turbidez com características que são condicionadas por fatores tais como o regime pluviométrico, por este exercer influência no transporte e acréscimo de sólidos, além de metais-traço que são carregados ao rio. Esses autores observaram que a menor concentração média de material em suspensão nesses períodos estaria associada, provavelmente, ao fato de que na cheia grande parte do sedimento encontrar-se em suspensão, enquanto na vazante ocorre maior deposição de sedimentos no fundo do rio.

Ao penetrar na coluna d'água, a radiação solar sofre profundas alterações na intensidade, na qualidade e na direção, que são influenciadas principalmente pela concentração de materiais dissolvidos e em suspensão na água. A elevada carga de sólidos dissolvidos e suspensos no rio Madeira faz com que haja, por um lado, baixa

penetração da luz e, por outro, alta refletância e atenuação vertical da luz (MUNTZ, 1978).

A cor da água é determinada principalmente pelas substâncias que nela estão dissolvidas. Os dados de cor da água do rio Madeira decresceram no sentido vazante-águas altas no primeiro ano amostrado. Entretanto o mesmo padrão não foi observado entre o período de vazante de 2010 e enchente de 2011. O limite de cor de 75 mg Pt/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2 não foi atendido na maior parte das estações amostradas no rio Madeira entre a vazante de 2009 e as águas baixas de 2010. Contudo, valores elevados de cor são comuns em ambiente que possuem elevada turbidez inorgânica.

As principais fontes de oxigênio para ecossistemas aquáticos são a atmosfera e a fotossíntese realizada por algas e macrófitas. No caso de rios, a atmosfera recebe maior destaque, uma vez que a dinâmica fluvial é caracterizada por elevada turbulência e constante troca de gases na interface água-atmosfera (WETZEL, 2001). O oxigênio dissolvido no rio Madeira apresentou valores altos, próximos à saturação durante todo o período amostrado.

A demanda bioquímica de oxigênio ( $DBO_5$ ) informa a quantidade de matéria orgânica e inorgânica em um corpo d'água susceptível à oxidação por via biológica (APHA, 1998). No rio Madeira, a  $DBO_5$  foi baixa durante todo o período de monitoramento, o que é considerado normal para rios de águas brancas da Amazônia. Já a demanda química de oxigênio (DQO) corresponde à medida da quantidade de matéria orgânica e inorgânica susceptível à oxidação química em um corpo d'água. A DQO é geralmente superior à  $DBO_5$ , uma vez que compostos biodegradáveis também são oxidados nesta análise (APHA, 1998). Os resultados obtidos neste monitoramento sugerem a existência de um déficit de oxigênio no rio Madeira. Todavia, as águas do rio Madeira encontram-se sempre bem oxigenadas, o que é consequência da intensa turbulência na interface água-atmosfera, responsável por promover a constante oxigenação da coluna d'água por meio da difusão. Sistemas amazônicos comumente apresentam déficit potencial de oxigênio devido ao intenso aporte de material terrestre (MELACK & FISHER, 1983). Os resultados estatísticos das relações de demanda e consumo de oxigênio estão em concordância com o que foi relatado por FURNAS (2005), relatando que o oxigênio presente é suficiente para atender à  $DBO_5$ , mas não à DQO, assim como no presente estudo. Além disso, o mesmo estudo relata que a  $DBO_5$  é somente 3% da DQO, ao

passo que os resultados encontrados no atual estudo mostraram um valor praticamente idêntico (3,4%).

A alcalinidade, que mede a capacidade tamponante do sistema, variou pouco ao longo do período de estudo, tendo apresentado valores bastante similares. As principais substâncias responsáveis por conferir alcalinidade aos ecossistemas aquáticos são os bicarbonatos, os carbonatos e os hidróxidos. A distribuição entre as três formas ocorre em função do pH:  $4,4 < \text{pH} < 8,3$  (bicarbonatos);  $8,3 < \text{pH} < 9,4$  (carbonatos);  $\text{pH} > 9,4$  (hidróxidos e carbonatos). Como o pH do rio Madeira esteve sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade deveu-se aos bicarbonatos. Desta forma, a alcalinidade de bicarbonatos foi igual à alcalinidade total. A dureza da água é consequência de cátions como o cálcio e o magnésio. A dureza média do rio Madeira oscilou entre  $5,1 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $45,0 \pm 10,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média global de  $26,1 \pm 12,6$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores de dureza permitem classificar as águas do rio Madeira como sendo “moles”. Os resultados de gás carbônico mostram que o  $\text{CO}_2$  no rio Madeira esteve mais complexado ao íon bicarbonato do que na forma dissolvida.

A composição iônica de rios e lagos é regida pelos quatro principais cátions (cálcio, magnésio, sódio e potássio) e pelos quatro principais ânions (bicarbonato, carbonato, cloreto e sulfato) (WETZEL, 2001). Os ecossistemas de água doce são marcados por possuírem baixa concentração iônica. A precipitação atmosférica e a composição das rochas da bacia de drenagem são as principais variáveis que determinam a concentração iônica do ambiente aquático (ESTEVES, 1998). Segundo Esteves (1998), a principal fonte de íons para águas amazônicas é o intemperismo das rochas da cordilheira dos Andes, que por ser uma cadeia montanhosa recente, fornece grande quantidade de cátions e ânions.

Nos pontos amostrados no rio Madeira, o cátion e o ânion mais abundante foi o cálcio e o bicarbonato, respectivamente. Em média, os cátions mais abundantes foram o cálcio (36%), o sódio (30%), o magnésio (20%) e o potássio (13%), ao passo que os ânions foram o bicarbonato (70%), o sulfato (27%) e o cloreto (3%).

De acordo com Irion (1976, apud SCHAFFER, 1985) o teor de eletrólitos medidos no rio Madeira foi de  $6,5 \text{ mgL}^{-1}$  de cálcio,  $2,3 \text{ mgL}^{-1}$  de sódio,  $1,4 \text{ mgL}^{-1}$  de potássio e  $2,1 \text{ mgL}^{-1}$  de magnésio. Estes valores são muito mais próximos aos do rio

Amazonas e aos rios do estado do Acre do que aos dos rios nos Andes ou na região pré-andina como pode ser observado na Tabela 5.

O nitrogênio é um elemento importante para assegurar a produtividade de ambientes aquáticos e, em baixas concentrações, pode tornar-se um fator limitante (ESTEVES, 1998). O nitrogênio amoniacal (amônia), o nitrato e o nitrito constituem as principais formas inorgânicas de nitrogênio presentes na água. No rio Madeira, o nitrato foi a fração que mais contribuiu para o estoque de nitrogênio inorgânico. O nitrogênio inorgânico dissolvido representou, em média, 29% do nitrogênio total presente no rio Madeira. O nitrogênio total dissolvido foi mais abundante do que o nitrogênio particulado, com média de  $687 \pm 366 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). Os baixos valores de nitrogênio total nas águas baixas são justificados pelas mais baixas concentrações de NOD, NOT, NP e NTD.

Para efeito de comparação, um trabalho realizado por Forsberg *et al* (1988) relatam concentrações de nitrogênio total (nitrogênio orgânico total + nitrogênio inorgânico dissolvido) de  $314 \mu\text{g/L}$  no rio Madeira, valor muito abaixo do encontrado para nitrogênio orgânico total relatado por FURNAS (2005) e mais condizente com os valores aqui apresentados.

Uma comparação entre a composição química do rio Madeira obtida no presente estudo e aquela esperada para os rios de alguns dos continentes evidencia que as características do rio Madeira estão para a maior parte destes constituintes, dentro da faixa esperada para a América do Sul.

**Tabela 4 - comparação entre a composição química do rio Madeira obtida no presente estudo e aquela esperada para os rios**

	Madeira	Purus	Juruá
pH	6.7	6.9	7.1
Condutividade	56.8	34.3	97.4
cor	18	19	17
Ca	7.8	4.6	14.2
Mg	1.5	0.9	2.2
Na	6.8	1.4	5.2

K	3.6	2.4	3.9
SO4	4.1	2.8	2.9
Cl-	1	1.1	2.8
Fe	3	1.2	2.4
Mn	0.1	0	0.1
P total	0.1	0	0.11
N total	0.7	0.6	0.53
Si	5.6	6.4	5.09

Fonte: SANTOS, U.; RIBEIRO, M.N.G. A hidroquímica do rio Solimões - Amazonas. Acta Amazônica, Manaus, v. 18, n. 3-4, p. 145-172, 1988.

**Tabela 5 - Teor de eletrólitos nos rios da Amazônia, em mg.L<sup>-1</sup>, segundo Irion, (1976, apud Schaffer, 1985).**

	Ca	Na	K	Mg
Andes	54	25	4,4	6,6
Região pré-andina	30	10	1,4	3,3
Solimões	12	3,4	1,0	1,7
Amazonas	6,5	3.1	1,0	1,0
Estado do Acre	9,6	2,3	1,4	1,3
Madeira	6,8	2,3	1,4	2,1
Rios de várzea pleistocênica	1,0	0,8	0,4	0,2
Águas brancas caulíníticas	1,5	1,6	0,8	0,8
Águas claras e pretas	0,5	0,6	0,2	0,2

O fósforo é indispensável para a produção primária em ambientes aquáticos e, devido às baixas concentrações em que geralmente é encontrado, pode tornar-se um fator limitante para a produtividade primária (ESTEVES, 1998). Em alguns períodos hidrológicos houve diferenças nas concentrações de fósforo total entre à montante e a jusante da cachoeira de Santo Antônio, com valores mais elevados a montante. À montante da

futura barragem, o rio Madeira tem características geomorfológicas de rios de planalto, com muitas corredeiras. Já à jusante, o rio apresenta características de rios de planície, com menor velocidade da água. Como a maior parte do PT esteve na forma de partículas, é possível presumir que as menores concentrações à jusante estejam ligadas à sedimentação do fósforo particulado devido à diminuição da velocidade da água. Isso é corroborado pelo fato de que a concentração média de sólidos em suspensão foi menor nas estações de jusante do que nas estações de montante, além de ter havido um excelente ajuste linear entre essas duas variáveis no rio Madeira ( $r^2=0,61$  e  $p<0,0001$ ).

Em um estudo sobre os fatores que controlam as concentrações de nutrientes em alguns ambientes amazônicos, Forsberg et al. (1988) registraram concentrações de ortofosfato de  $18,6 \mu\text{g.L}^{-1}$ , valor condizente com o valor médio de ortofosfato encontrado no presente estudo, o qual foi de  $28,54 \pm 25,22 \mu\text{g.L}^{-1}$ . Variações anuais nos teores de nutrientes estão relacionados com a amplitude do pulso de inundação em cada ano.

Elevadas concentrações de fósforo total (PT) foram registradas durante o período estudado ( $267 \pm 172 \mu\text{g/L}$ ), sendo o máximo nas águas altas. Em média, 79% do PT foi encontrado na forma particulada ( $211 \pm 169 \mu\text{g/L}$ ), resultando em uma correlação positiva com os sólidos suspensos ( $r^2=0,58$  e  $p<0,0001$ , Figura 101) e com o ferro ( $r^2=0,33$  e  $p<0,0001$  sugerindo que o P pode estar adsorvido a esses elementos. A fração dissolvida foi 21% do PT, sendo 10% encontrado na forma solúvel reativa ( $27,2 \pm 21,7 \mu\text{g/L}$ ) e 11% na forma orgânica dissolvida ( $29,4 \pm 21,4 \mu\text{g/L}$ ). Apesar da alta disponibilidade de nutrientes, a clorofila foi baixa ( $3,9 \pm 5,2 \mu\text{g/L}$ ), resultado da alta velocidade de corrente do rio ( $5,9 \pm 0,4 \text{ km/h}$ ), da baixa transparência da água ( $0,10 \pm 0,05 \text{ m}$ ) e da indisponibilidade do fósforo para a biota, dada sua potencial adsorção a partículas minerais.

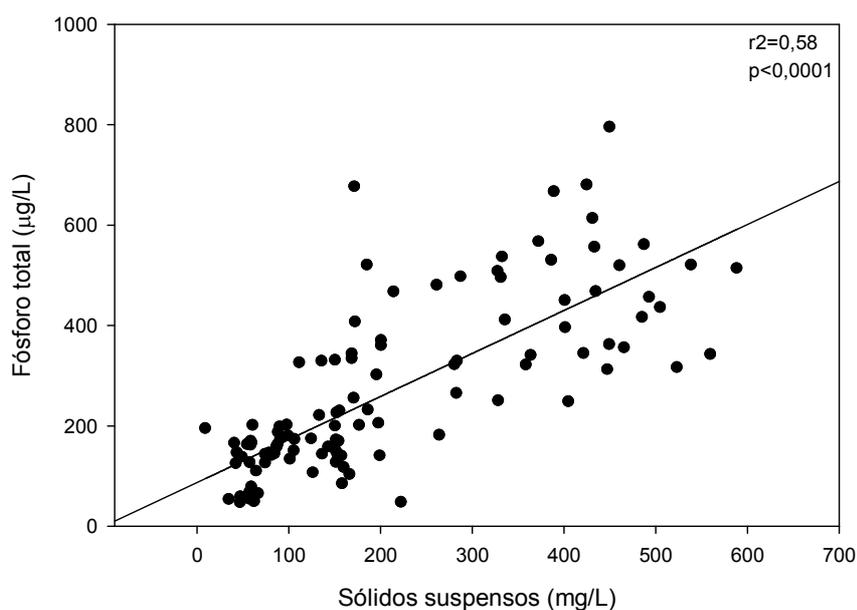


Figura 101- Regressão linear entre os sólidos suspensos e o fósforo total.

O fósforo orgânico total (POT) no rio Madeira ocorre principalmente na forma particulada. Segundo McClain & Naiman (2008), grande parte do material suspenso carregado por rios amazônicos de água branca encontra-se na forma orgânica, corroborando o que foi observado no rio Madeira.

Contudo, rios de águas brancas e de origem andina, como é o caso do rio Madeira, carregam elevada carga de fósforo, que é formado devido à alta tendência de alguns compostos fosfatados aderirem a metais como ferro e alumínio (MCCLAIN & NAIMAN, 2008). Grande parte desses compostos estão na forma particulada, sendo carregada para os rios formadores do rio Madeira a partir dos flancos altamente erosíveis da região andina. Isso é evidenciado, também, pelo fato de 70% do fósforo total do rio Madeira ter sido encontrado na forma particulada. Desta forma, apesar de o rio Madeira não ter atendido ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 no que diz respeito ao fósforo total, trata-se de uma característica natural desse rio.

O elevado teor de fósforo na água do rio Madeira faz com que sua classificação pelo índice de estado trófico seja de rio eutrófico ou hiper eutrófico. No entanto a elevada turbidez deste rio impede a penetração de luz na água e faz com que a produção primária seja baixa, com valores de clorofila muito baixos. Há desta forma uma inconsistência na aplicação deste índice para o rio Madeira, o que sugere a necessidade

de desenvolvimento de uma tipologia regional própria para a classificação do estado trófico dos rios amazônicos.

Do ponto de vista bacteriológico, a maior parte dos microorganismos presentes no rio Madeira, nos rios tributários e nos lagos e canais é de vida livre. A presença de microorganismos habitantes do sistema digestivo de animais de sangue quente foi pequena em relação ao total, indicando que o aporte de dejetos de origem antrópica não foi relevante.

Foi utilizada a Análise de Componente Principal (ACP) para caracterizar e identificar as estações de coleta de acordo com as variáveis limnológicas, nos sete períodos hidrológicos analisados. As variáveis mais importantes e que se correlacionaram positivamente ao eixo 1 foram: Zeu (0,85), Th2o (0,57), Cond (0,85) pH (0,81) e Na (0,63). Por outro lado as variáveis mais importantes e que se correlacionaram negativamente ao eixo 1 foram: Turb. (-0,83), CO<sub>2</sub> (-0,65), K (-0,80), Ca (-0,87), Mg (-0,71), PT (-0,72), FeD (-0,80). As variáveis mais importantes e que se correlacionaram negativamente ao eixo 2 foram: no rio Madeira- DQO (-0,83) e Chla (-0,70). Não houve variáveis positivamente correlacionadas ao eixo 2 ( $d \geq 0,34$ ). Pode-se notar ainda que a maior porcentagem, de explicação acumulou-se no eixo positivo no Rio Madeira (42,2%). Esse resultado explica a forte sazonalidade marcada no rio Madeira o que caracteriza diferenciadamente cada período hidrológico. Os quatro primeiros eixos da análise de componentes principais, usando 17 variáveis abióticas foram significativos (autovetores  $> 1,0$ ) e explicaram 77,2 %, da variabilidade dos dados no rio Madeira. No rio Madeira, a ACP separou os períodos do ciclo hidrológico de maneira muito clara (Figura 99). A variabilidade temporal foi o fator determinante na ordenação da ACP, sendo o pulso de inundação o fator direcionador dessa variabilidade. No período de águas altas de 2010 e vazante de 2009, as estações estiveram fortemente ligadas às concentrações de CO<sub>2</sub> e ferro dissolvido. Na vazante de 2010 as estações se agruparam por maiores valores de zona eufótica e condutividade. Já na enchente de 2011 e enchente de 2010 as estações apresentaram maiores valores de Ca, Turbidez, Magnésio, fósforo total, sólidos dissolvidos totais e DQO. Apesar de ter havido certa homogeneidade na distribuição das estações, o período de vazante de 2010 foi o que apresentou maior heterogeneidade entre as estações.

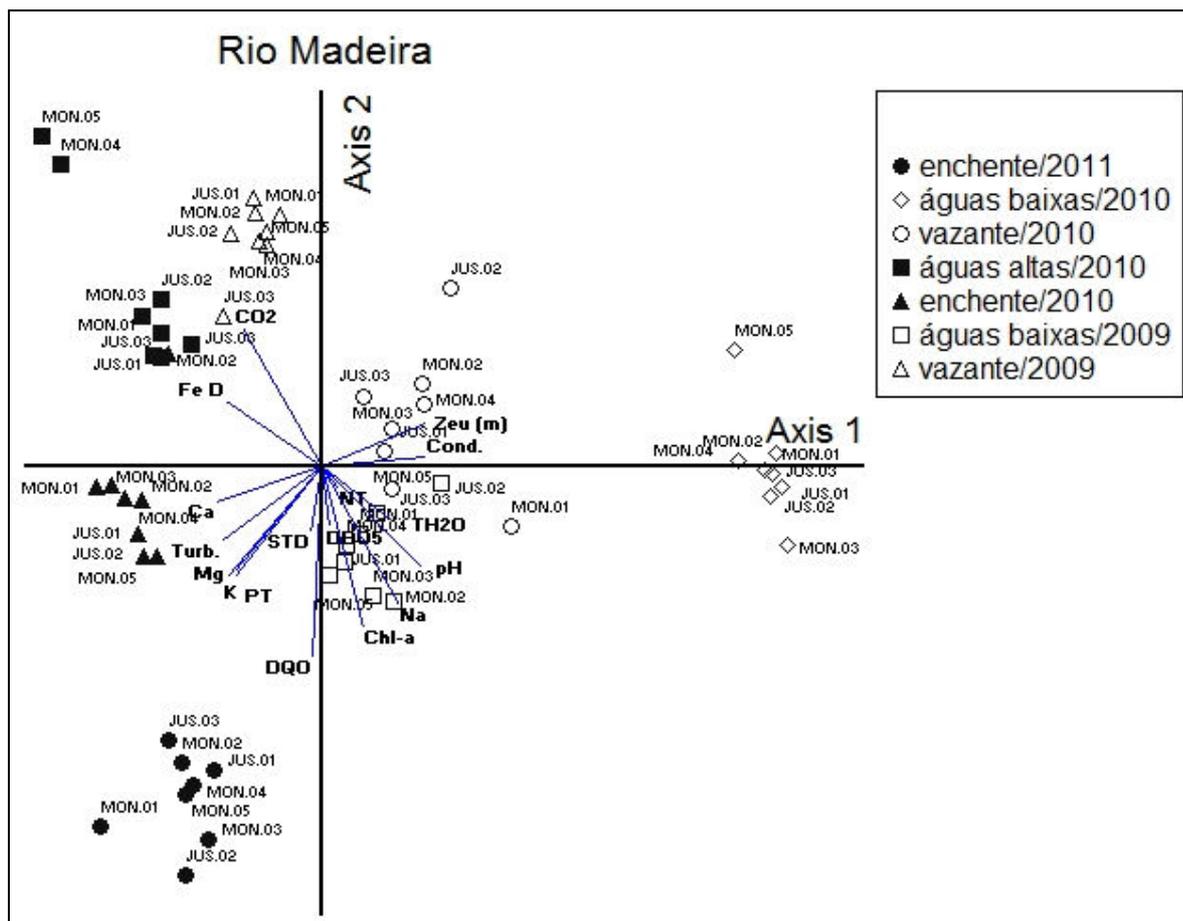


Figura 102 -- Posição das estações de coleta no rio Madeira (azul), ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da PCA durante os períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011. A explicabilidade dos quatro primeiros eixos foi de 77%. As siglas significas: (Zeu) para Zona eufótica; (T. água) Temperatura da água, (turb.) turbidez, (Cond) condutividade, pH, (CO<sub>2</sub>) dióxido de carbono livre, (STD) sólidos totais dissolvidos, (DBO<sub>5</sub>) demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias, (DQO) demanda química de oxigênio, (Na) Sódio, (K) Potássio, (Ca) Cálcio, (Mg) Magnésio, (NT) nitrogênio total, (PT) fósforo total, (FeD) ferro dissolvido e (Chl-a) clorofila-a foram as variáveis consideradas nessas análises.

## 5.4 - Zooplâncton

O estudo da diversidade das comunidades zooplanctônicas abrange o estudo das relações quantitativas entre a riqueza de espécies e a abundância das populações de cada espécie dentro da comunidade e pode revelar tendências temporais ou padrões característicos de cada sistema ou subsistema em uma bacia hidrográfica.

Os rios amazônicos de água branca, como o rio Madeira, são considerados rios pobres em espécies planctônicas (GESSNER, 1960, SIOLI, 1969, apud HEIDE, 1982), a principal razão para isso é a limitação de luz, tendo em vista que a turbidez é elevada e a penetração de luz na água é reduzida. Nestas condições o desenvolvimento do fitoplâncton é restrito e a cadeia trófica principal é a de detritivoria com fontes de energia alóctones para os níveis tróficos superiores, o que restringe desta forma a ocorrência de muitas espécies de espécies zooplanctônicas herbívoras filtradoras de pequenas algas, típicas de sistemas fluviais mais produtivos. Estudos simultâneos da comunidade fitoplanctônica neste trecho do rio Madeira tem evidenciado que a densidade e biomassa fitoplanctônica é muito baixa em virtude da limitação pela luz e não por nutrientes (HUSZAR, 2011, dados não publicados, Ecology Brasil 2011).

Neste trecho do rio Madeira a riqueza de espécies zooplanctônicas (45 espécies de Rotifera, 25 de Cladocera, 15 de Copepoda e 17 de Protozoa) foi relativamente baixa, especialmente em relação aos Rotifera, quando comparada à riqueza de táxons registrada em outros rios da Amazônia, como: rio Nhamundá (BRANDORFF *et al.*, 1982): 141 Rotifera; 6 Cladocera, 4 Copepoda; rio Trombetas (BOZELLI, 1992): 97 Rotifera, 12 Cladocera, 6 Copepoda; ou de outras regiões como o rio Cuiabá (NEVES, 2002): 156 espécies de Rotifera, 44 de Cladocera e 5 de Copepoda, ou do Alto Rio Paraná (Lansac-Toha *et al.*, 1997): (105 de Rotifera, 36 de Cladocera e 12 de Copepoda. Esta riqueza é no entanto maior do que aquela reportada para o Rio Suriname (HEIDE, 1982), rio Acre (SENDACZ e MELO COSTA, 1991), similar à riqueza registrada para o rio São Francisco (NEUMANN-LEITÃO *et al.*, 1989); 50 Rotifera, 5 Cladocera e 2 Copepoda. Apesar do número de espécies de Rotifera e de Cladocera o rio Madeira ser menor do que o de vários sistemas fluviais, o número de espécies de Copepoda é o mais elevado, uma característica importante considerando-se que devido ao tamanho dos organismos este grupo tem geralmente elevada biomassa.

Em relação ao ciclo hidrológico, observou-se que no rio Madeira, a maior riqueza de táxons ocorreu nos períodos de vazante de ambos ciclos avaliados, nos anos de 2009 e 2010. Após o período de águas altas, o retorno das águas para o leito do rio principal no período de vazante traz grande quantidade de plancton que se desenvolveu nos remansos e pântanos (HEIDE, 1982). Este fenômeno tem sido observado em vários rios de planície e evidencia a importância do pulso de inundação para os rios da planície amazônica (JUNK et al., 1989).

Quanto à composição de espécies a maior parte os táxons encontrados é típica dos sistemas lóticos neotropicais (PAGGI J., 1980; NEVES, 2002). Os cladóceros *Chydorus parvireticulatus* e *Macrothrix sioli* têm distribuição geográfica no Brasil, ocorrendo na região Norte, principalmente nos estados da Amazônia e do Pará (ELMOOR-LOUREIRO, L.M.A., 1998). Entre os copépodes Calanoida, *Dactylodiatomus pearsei* tem sua ocorrência na Venezuela e no Brasil, nos estados Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima; *Notodiatomus amazonicus* ocorre nos países: Argentina, Guyana, Peru e no Brasil, Amazonas, Pará, Pernambuco, Rio Grande do Sul, enquanto *Rhacodiatomus insolitus* ocorre no Amazonas e Rondônia (SUÁREZ-MORALES et al. 2005). O microzooplâncton como os rotíferos e protozoários, registrados no presente estudo, têm ocorrência Neotropical (SEGERS, 2007; NEGREIROS et al. 2011; GOMES e SOUZA, 2008).

Os Rotifera constituíram o grupo holoplanctônico de maior riqueza de espécies com predominância de espécies das famílias Brachionidae, Lecanidae e Trichocercidae, um fato reconhecido como uma característica distintiva para as regiões tropicais (LEWIS, 1979; KOSTE & ROBERTSON, 1983). No rio Paraná Médio José de Paggi (1980) verificou que os Rotifera representaram em média 71% do total dos organismos zooplancônicos. Embora os Protozoa tenham sido abundantes nos pontos avaliados sua riqueza de táxons (avaliada na maior parte ainda em nível de gênero) foi menor que a dos Rotifera. Embora a identificação mais refinada possa alterar este quadro, e os Protozoa (particularmente os Rhizopoda tecados) Lansac-Toha et al (1997) registraram números de táxons similares para o Alto rio Paraná (rio principal), onde foram registrados 30 táxons.

Os Cladocera, o segundo grupo mais diversificado no zooplâncton, foi constituído na maioria por espécies da família Chydoridae, a qual abrange cerca de 50% de todas as espécies conhecidas de Cladocera. Os Cladocera os pertencentes à

família Chydoridae vivem principalmente associados a substratos, ocorrendo com maior frequência nas áreas rasas, marginais (ROCHA & GUNTZEL, 1999; ROCHA *et al.*, 2011). No Rio Madeira as espécies desse grupo constituíram aproximadamente um terço do total, sendo que na maioria as espécies eram tipicamente planctônicas e pertencentes às famílias Bosminidae, Daphnidae e Sididae. Todas as espécies de Cladocera registradas são de ampla distribuição, nenhuma é endêmica da região Amazônica.

O gênero *Bosmina* da família Bosminidae foi representado por quatro espécies consideradas de ampla ocorrência nos sistemas lóticos amazônicos (ROBERTSON & HARDY, 1984; MORENO, 1996). As espécies *Daphnia gessneri* e *Moina reticulata* foram importantes nos sistemas avaliados, tanto em termos de densidade numérica como de biomassa. Estas espécies de Cladocera são consideradas componentes importantes do zooplâncton em diversos sistemas lacustres amazônicos (BRANDORFF & ANDRADE, 1978; ROBERTSON, 1980; BOZELLI, 1991; MORENO, 1996).

No rio Madeira os Copepoda estiveram também bem representados, com elevada riqueza de espécies em ambas ordens principais, os Calanoida e Cyclopoida. Os Calanoida com ocorrência no rio Madeira incluíram espécies típicas e endêmicas da região amazônica como *Notodiaptomus amazonicus* e *Rhacodiaptomus insolitus*, além de espécies como *Argyrodiaptomus azevedoi* e *Notodiaptomus spinuliferus* que são espécies de mais ampla distribuição (ROBERTSON & HARDY, 1984; MATSUMURA-TUNDISI, 1986, SANTOS-SILVA, 1998).

Em relação à densidade numérica do zooplâncton no rio Madeira, RO, observaram-se variações amplas, de uma ordem de magnitude. O valor médio de 9.714 ind.m<sup>-3</sup> foi próximo ao valor médio de 8.773 ind.m<sup>-3</sup> reportado para o zooplâncton do rio Cuiabá, MT (NEVES, 2002) e ligeiramente inferior ao valor aproximado de 12.000 ind.m<sup>-3</sup> obtido com base nos dados reportados por Lansac-Toha et al (1997) para os diferentes grupos componente do zooplâncton do Alto rio Paraná, PR.

Geralmente a biomassa é uma variável mais adequada para se descrever a comunidade zooplanctônica devido às grandes diferenças de tamanho entre os diferentes grupos zooplanctônicos, especialmente quando se avalia a importância dos organismos zooplanctônicos como elo de transferência de energia através das cadeias tróficas. Os Protozoa e Rotifera embora numericamente dominantes podem às vezes não contribuir

com uma fração equivalente à dos organismos de maior tamanho como os microcrustáceos (Cladocera e Copepoda) para a biomassa zooplanctônica.

No rio Madeira, para o trecho e período estudado, os Protozoa e Rotifera foram os grupos com maior biomassa média na comunidade zooplanctônica, especialmente nos períodos de vazante e água baixas de 2010, períodos que representaram um grande distúrbio no sistema, e que favoreceram as espécies r-estrategistas como os Protozoa e Rotifera. Dados de biomassa do zooplâncton para sistemas fluviais tropicais são escassos. A biomassa média ( $14,22 \times 10^3 \mu\text{g. m}^{-3}$ ) do zooplâncton no rio Madeira obtida neste estudo foi cerca de 100 vezes menor do que o valor médio da biomassa zooplanctônica ( $1400,0 \times 10^3 \mu\text{g. m}^{-3}$ ) obtida para o rio Paraná por José-de-Paggi (1980).

As variáveis que estiveram correlacionadas positivamente com a abundância dos organismos zooplanctônicos como condutividade, nutrientes e clorofila refletem um maior grau de trofia e provavelmente maior disponibilidade de alimento no rio Madeira, especialmente nos períodos de baixo nível de água (vazante e águas baixas) quando são provavelmente intensificados os processos de decomposição e ressuspensão.

Combinando-se as informações de composição taxonômica, riqueza de espécies e abundância numérica, pode-se inferir avaliar a diversidade da comunidade (Magurran, 2007). A diversidade de espécies pode ser expressa com base em duas abordagens. A primeira emprega curvas de abundância relativa do componente dominância da diversidade e a segunda utiliza índices de diversidade, constituídos por proporções ou outras expressões matemáticas das relações de importância das espécies (ODUM, 1988; MAGURRAN, 2007).

Segundo Rosso (1996) o índice de Shannon-Wiener, já tradicionalmente designado como índice de Shannon, é a medida de diversidade mais consagrada. Odum (1988) menciona que este é o índice que atribui um maior peso a espécies raras, prevalecendo, desta forma, o componente de riqueza de espécies. O índice de Shannon-Wiener assume, também, que os indivíduos são amostrados ao acaso de uma população indefinidamente grande e que todas as espécies estão representadas na amostra coletada, sendo relativamente independente do tamanho da amostra (PIELOU, 1983).

Segundo Margalef (1983) os valores do Índice de Shannon variam normalmente de 1,5 a 3,5, raras vezes ultrapassando 4,5.

A análise da diversidade da comunidade zooplanctônica do rio Madeira indicou uma baixa diversidade tanto pela abordagem das curvas do componente dominância quanto pelos valores do índice de diversidade de Shannon os quais variaram entre 1,02 e 2,49 bits.ind<sup>-1</sup>. Esses valores são também baixos quando comparados aos obtidos para outros rios. José-De-Paggi (1980) registrou, ao longo dos 400 Km do rio Paraná Médio, índices de diversidade entre 1,5 e 3,8 bits.ind<sup>-1</sup>. No trecho inferior desse mesmo rio foram registradas diversidades mais elevadas, com valores variando de 2,67 a 3,09 bits.ind<sup>-1</sup>. No rio Araguari (MG) os valores de diversidade zooplanctônica variaram entre 2,99 bits.ind<sup>-1</sup> e 4,3 bits.ind<sup>-1</sup> com valor médio de 3,4 bits.ind<sup>-1</sup> durante o período seco e 3,9 bits.ind<sup>-1</sup> para o período chuvoso (VALADARES, 2007). Este é um dos valores de diversidade mais elevados para o zooplâncton fluvial.

Os valores de Equidade entre as populações zooplanctônicas do rio Madeira variaram de 0,13 a 1,00, sendo similares aos valores registrados para outros autores sistemas lóticos da região neotropical. No rio Paraná Médio, ao longo do trecho de 400 Km, os valores de equidade variaram entre 0,22 a 1,00 e no trecho inferior de 0,42 a 0,67 (DE-PAGGI, 1980). No rio Araguari, os valores de equidade foram mais elevados variando 0,72 a 0,84 (VALADARES, 2007).

As curvas do componente dominância não evidenciaram diferenças significativas entre os pontos designados a montante ou a jusante do futuro empreendimento hidroelétrico Santo Antônio do Madeira.

Os diversos modelos estatísticos utilizados para estimar a riqueza máxima de espécies esperada para o trecho estudado do rio Madeira apontaram valores entre 110 (S e Bootstrap) e 150 espécies (Chao, Bootstrap). O valor 107 observado é ligeiramente inferior ou inferior de acordo com o modelo adotado. Butturi-Gomes (2011) concluiu que para os índices que refletem mais a riqueza de espécies o estimador Jackknife é mais preciso que o método Bootstrap, ao passo que para aqueles que refletem a dominância na comunidade o bootstrap é o método mais indicado. Assim apesar da maior distância entre os valores máximos de riqueza previstos pelo método Jackknife, em se tratando do índice de Diversidade de Shannon-Wiener, que atribui maior peso à riqueza de espécies raras, sugerem que o esforço amostral deve ainda ser ampliado.

As relações entre a densidade numérica e a biomassa das espécies zooplanctônicas, podem ser utilizados de forma combinada para indicar alterações nas populações, decorrentes de distúrbios no sistema. As curvas ABC representam essa

abordagem. No presente estudo elas foram eficazes para evidenciar os distúrbios naturais sobre a comunidade zooplânctônica desencadeados pelo ciclo hidrológico, representado pelos períodos de vazante, águas baixas, enchente e águas altas. Os maiores distúrbios ocorreram nos períodos de enchente (janeiro de 2010 e janeiro de 2011), quando a curva de números se superpõe à curva de biomassa. Nestes períodos há elevação crescente do nível de água de enchente, há grande transporte de material em suspensão, baixa penetração de luz na coluna d'água tornando as condições desfavoráveis ao desenvolvimento da maioria das espécies zooplânctônicas. No início da enchente há quase total desaparecimento das espécies herbívoras filtradoras de maior porte permanecendo apenas espécies r-estrategistas como os Protozoa Rhizopoda e algumas poucas espécies de Rotifera. Apenas após o impacto inicial da enchente e a decantação deste material (VAN DER HEIDE, 1982) as condições se tornam favoráveis para o desenvolvimento sazonal do plâncton como observado para a parte superior do rio Solimões e o Orinoco. Fato similar ocorre com a entrada da água nos lagos amazônicos (BRANDORFF & ANDRADE, 1978; BOZELLI, 1994). A ampla variação no nível dos rios é um fator preponderante para a composição e dinâmica das comunidades planctônicas em grandes rios tropicais.

## 6. CONCLUSÕES

- Os resultados obtidos no indicam condições relativamente preservadas no rio Madeira e evidenciam a forte influência do pulso hidrológico nas características físicas e químicas da água.
- Os parâmetros analisados monitoramento em tempo real da qualidade da água indicaram uma forte sazonalidade relacionada ao ciclo hidrológico, com a turbidez apresentando maiores valores no período de águas altas e oxigênio dissolvido, pH, condutividade e sólidos dissolvidos no período de águas baixas.
- Oscilações naturais bruscas na cota do rio Madeira exercem forte influencia sobre a condutividade elétrica, turbidez e sólidos dissolvidos, que apresentaram picos de variação relacionados aos períodos hidrológicos nas mesmas ocasiões dos pulsos de inundação do rio Madeira.
- No monitoramento sistemático trimestral foi constatada homogeneidade entre os parâmetros das variáveis físicas e químicas monitoradas a montante e jusante, e grande heterogeneidade temporal entre os períodos analisados
- O rio Madeira apresentou características típicas de rios amazônicos de águas brancas, com pH de neutro a levemente básico, alta condutividade, elevados teores de sólidos totais, turbidez, fósforo e ferro, além de pequena transparência da água.
- Os resultados de turbidez, cor, fósforo total, sólidos e ferro dissolvido do rio Madeira foram muito elevados e não foram compatíveis, em grande parte das ocasiões, com a Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.
- As elevadas concentrações de nutrientes observadas durante todo o período não se refletiram em aumentos das produções primária e secundária, possivelmente em virtude das altas vazões e baixa penetração de luz.
- A classificação do estado trófico com base o fosforo é inconsistente com a biomassa fitoplanctonica estimada pela clorofila a apontando para a necessidade de estabelecimento de uma tipologia de estado trofico regional para os rios amazônicos.

- A frequência amostral é determinante na detecção de variações efêmeras dos parâmetros físicos e químicos da água resultantes de processos rápidos e ocasionais como a chegada das frentes frias ou variações súbitas na vazão.
- A comunidade zooplantônica do Rio Madeira no trecho estudado é predominantemente composta pelo microzooplâncton formado por grupos com espécies do r-estrategistas como Rotifera e Protozoa.
- A riqueza de táxons do zooplâncton do rio Madeira com 101 táxons é moderada quando comparada com aquela reportada na literatura para outros sistemas fluviais do Brasil e da América do Sul.
- A riqueza de espécies de Copepoda é notavelmente elevada se comparada a de outros sistemas fluviais no Brasil.
- A biomassa zooplânctônica do rio Madeira é muito baixa se comparada a de outros rios de grande porte como o Médio Rio Paraná, provavelmente em consequência da baixa produtividade primária deste rio Amazônico.
- As variações na densidade e biomassa da comunidade zooplânctônica são amplas tanto entre períodos hidrológicos caracterizando uma variação sazonal, e entre os anos, caracterizando uma variação interanual.
- Os Protozoa, dominantes nos períodos de vazante, adquirem grande importância na comunidade zooplantônica em períodos de maior estresse ambiental como os eventos de diminuição extrema do nível de água do rio
- As curvas ABC são uma ferramenta adequada para evidenciar que as variações no nível d'água são um forte distúrbio para a comunidade zooplânctônica a qual ela responde com alterações nas proporções entre densidades numéricas e biomassa.
- A variação hidrológica estacional (períodos secos e chuvosos) acarreta grandes alterações nas características físicas e químicas do rio Madeira e também amplas alterações na composição taxonômica e flutuações na densidade dos organismos zooplantônicos;
- Fenômenos de escala global, como circulação atmosférica e eventos de El Niño e La Niña ao atuar sobre as cabeceiras dos principais formadores do rio Madeira determinam variações sazonais e de curto prazo na hidrologia e biogeoquímica que por sua vez exercem grande influência sobre as características ecológicas observadas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. APHA–**Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition.** New York, 1998.
- BOOKHAGEN, B.; STRECKER, M.R. (2010): Modern Andean rainfall variation during ENSO cycles and its impact on the Amazon Basin, in *Neogene history of Western Amazonia and its significance for modern diversity*, eds. C. Hoorn, H. Vonhof, F. Wesselingh, Blackwell Publishing, Oxford.
- BOTTRELL, H. H.; DUNCAN, A. GLIWICZ, M.Z. HERZIG, A.; HILLBRICHT-ILKOWSKA, A.; KURASAWA, H.; LARSSON, P. and WEGLENSKA, T. A review of some problems in zooplankton production studies. **Norwegian Journal of Zoology**, vol. 24 p. 419-456, 1976.
- BOZELLI, R. 1992. Composition of zooplankton community of Batata and Mussurá Lakes and of the Trombetas River, State of Pará, Brazil. **Amazoniana**, 12 (2): 239 – 261.
- BOZELLI, R. L. & ESTEVES, F. A. 1991. Influência da Flutuação do Nível d'água Sobre a comunidade zooplanctônica da densidade do Mussurá lago e rio Trombetas, Oriximiná, PA, Brasil. **An. Sem. Reg. Ecol.**, 6, 47-66
- BRANDORFF, G. O. & ANDRADE, E. R. 1978. The relationship between the water level of the Amazon River and the fate of the zooplankton population in Lago Jacaretinga, a varzea lake in the Central Amazon. **Stud. Neotrop. Fauna and Environ.** 13: 63-70.
- BRANDORFF, G. O., KOSTE, W. SMIRNOV, N.V. 1982. The composition and structure of Rotifera and Crustacean communities of the lower Rio Nhamundá, Amazonas, Brazil. **Stud. Neotrop. Fauna Environ.** 17:69-121.
- CLARKE, M.R. 1990. Behavioral development and socialiation of infants in a freeranging group of howling monkeys. **Folia primatol.** 54:1-15.
- CONNELL, J.H. Diversity in tropical forests and coral reefs. **Scien.**, v. 199, p. 1302-1310, 1978.
- CYR, H, M. L. PACE., "Allometric Theory - Extrapolations from Individuals to Communities 1062." **Ecology**, vol. 74.4, p.1234-45,1993.
- DUMONT, H.J.; VAN DE VELDE, I.; DUMONT, S. The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton na benthos of continental waters. **Oecol.**, Berlim, p. 75-97, 1975.

- Ecology Brasil. 2011. Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio, no rio Madeira – Relatório 8 - Abril de 2011. Rio de Janeiro – RJ.
- ELEFSEN, A. S., HARALDSSON, H. 2002. Real-time monitoring of glacial rivers in Iceland. In: The extremes of the extremes: extraordinary floods. Árni Snorrason, Helga P. Finnsdóttir, Marshall E. Moss, IAHS International Commission on Water Resources Systems.
- ELMOOR-LOUREIRO, L.M.A. and Soares, C. E. A. **Cladocerans from gut content of fishes from Guaporé River Basin, MT, Brazil.** *Acta Limnologica Brasiliensia*, 2010, vol. 22, no. 1, p. 46-49.
- ELMOOR-LOUREIRO, L.M.A., 1998. Branchiopoda. Freshwater Cladocera. In: YOUNG, P.S. (ed.). *Catalogue of Crustacea of Brazil*. Rio de Janeiro: Museu Nacional. p. 15-41. (Série Livros n. 6).
- FURNAS, 2005. “Estudo de Impacto Ambiental das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio .”. Rio de Janeiro.
- GAEDKE, U., SEIFRIED A., ; ADRIAN R. "Biomass size spectra and plankton diversity in a shallow eutrophic lake." **International Review of Hydrobiology** 89.1 (2004): 1-20.90
- GALVAO 2009. Variação sazonal de elementos-traço associados aos sólidos em suspensão no alto rio Madeira, Amazônia ocidental, **Geochimica Brasiliensis**, 23(1) 067-078, 2009.
- GESSNER, F. 1960. The opening of flowers of *Victoria regia* in dependence of light. *Planta*, 54: 453-463 (in German).
- GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. **Methods for chemical analysis of freshwater.** (IBP Handbook, n. 8 2nd ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978. 213 p.
- GOMES E SOUZA, M.B. Guia das tecamebas: Bacia do Rio Peruaçu. Subsídio para a conservação e monitoramento da Bacia do Rio São Francisco. Belo Horizonte. Editora UFMG. 2008.159p.
- GOULDING, M.R; R. BARTHEM; E. FERREIRA. 2003. The Smithsonian atlas of the Amazon. Smithsonian Books, Washington.
- GUYOT J. L., JOUANNEAU, J.M. & WASSON, J. G., 1999. Characterisation of river bed and suspended sediments in the Rio Madeira drainage basin (Bolivian Amazonia). **Journal of South American Earth Science**, 12: 401-410.
- HAMILTON, J.G., DELUCIA, E.H., GEORGE, K., NAIDU, S.L., FINZI, A.C. and SCHLESINGER, W.H. 2002. Forest carbon balance under elevated CO<sub>2</sub>. *Oecologia* 131: 250-260.

- JOSÉ DE PAGGI S. 1980. – Campaña limnológica Keratella I en el río Paraná Medio : zooplancton de ambientes lóticos. *Ecología*, 4, 69-75.
- JUNK, W. J., WANTZEN, K. M., 2010. The flood pulse concept: New aspects, Approaches and Applications - An update. [www.floridarivers.ifas.ufl.edu/Papers/Junk](http://www.floridarivers.ifas.ufl.edu/Papers/Junk) acessado em setembro de 2010.
- JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fishers and Aquatic*, 106: 110-127.
- KHAN A.M., KHAN H., BONNELL B., SWEENEY J., 2008. Real-time water quality monitoring as a regulatory tool for mining sites – the Newfoundland and Labrador experience. **WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS 2008**.
- KOSTE, W.; B. ROBERTSON. 1983. Taxonomic studies of the Rotifera (Phylum Aschelminthes) from a Central Amazonian varzea lake, Lago Camaleão (Ilha de Marchantaria, Rio Solimões, Amazonas, Brazil). *Amazoniana*, Kiel, 8 (2): 225-254.
- LANSAC-TÔHA, F. A; BONECKER, C.C.; VELHO, L.F.M.; LIMA, A F. Comunidade zooplantônica do Reservatório de Segredo, pp. 115-153. In: Agostinho, A. A; Gomes, L. C. (orgs.), Reservatório de Segredo: Bases Ecológicas para o Manejo, EDUEM, Maringá., 1997.
- LATRUBESSE, E.M., STEVAUX, J.C., SINHA, R., 2005. Tropical rivers. **Geomorphology**, 70: 187- 206.
- LEITE , N. K., KRUSCHE, A. V., BALLESTER, M. V.R., VICTORIA, R. L., RICHEY, J. E., GOMES B. M.. (2011) Intra and interannual variability in the Madeira River water chemistry and sediment load. **Biogeochemistry** DOI 10.1007/10533-010-9568-5.
- LEWIS JR. W. M., HAMILTON S K., LASI M A., RODRÍGUEZ M., SAUNDERS J; F.2000. Ecological Determinism on the Orinoco Floodplain. *BioScience*, 50(8):681-692. 2000.
- LEWIS, W.M. 1979. Zooplankton community analysis. Springer.
- MACKERETH, F.J.H; HERON, J.; TAILING, J.F. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. (Freshwat. Biol. Assoc. Scientific Publication, n.36). Kendal: Titus Wilson & Sons. Ltda, 1978, 117 p.
- MAGURRAN, A.N. 2007. Species abundance distributions over time. *Ecology Letters* 10: 347-354.
- MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona: Omega, 1983, 1010p.
- MARENGO, J.A. 2004. Interdecadal variability and trends in rainfall in the Amazon basin. *Theoretical And Applied Climatology* 78: 79-96.

- MARENGO J.A.; NOBRE C.A.; TOMASELLA J.; OYAMA M.; SAMPAIO G. ; CAMARGO H.; ALVES, L.M. 2008. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate* 21: 495-516.
- MARENGO J.A., NOBRE A., NOBRE, C.A., TOMASELLA J.; CARDOSO M., OYAMA M. 2008. Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences* 21: 1-6
- MARENGO, J. A. Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI. 2 ed. (Series Biodiversidade No. 26, MMA, 2007). 212p.
- MARTINELLI, L.A., FORSBERG, B.R., VICTORIA, R.L., DEVOL, A.H., MORTATTI, J., FERREIRA, J.R., BONASSI, J. & DE OLIVEIRA, E., 1993. Suspended sediment load in the Madeira River. **Mitt.Geol. Paanont.**, 74: 41-54.
- MATSUMURA-TUNDISI T.; TUNDISI, J.G. Biomass and zooplankton community structure of three lakes of River Doce Valley (MG, Brazil). In. Watanabe S (org.). 5th Japan-Brazil Symp. Sci. Technol. (Supplement), 1986, Tokyo, Japão, p. 35-43, 1986.
- McCLAIN, M.E. & NAIMAN, R.J., (2008). Andean Influences on the Biogeochemistry and Ecology of the Amazon River. **BioScience**, v. 58, nº 4, p. 325-338.
- MCGREGOR, GR, NIEUWOLT, S., 1998. Tropical climatology: an introduction to the climates of the low latitudes. **Ed. 2. Publisher, John Wiley and Sons Ltda.**
- MEADE, R.H., DUNNE, T., RICHEY, J.E., SANTOS, U.M. & SALATI, E., 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. **Science**, 228: 488-490.
- MELACK, J. M.; FISHER, T. R. Diel oxygen variations and their ecological implications in Amazon Floodplain Lakes. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 98, no.4, p.422-442, 1983.
- MOLINIER, M., GUYOT, J. L., de OLIVEIRA, E., GUIMARÃES, V., CUDO, K. J., de AQUINO, M., 1993. Hidrologia de la cuenca amazónica brasileira: HIBAM. Primeros resultados sobre la cuenca Del Rio Madeira. **In: Seminario sobre el PHICAB**, 155-164, La Paz.
- MORENO, I.H. 1996. Estrutura da comunidade planctônica do reservatório da UHE-Balbina (Floresta tropical úmida – Amazonas) e sua relação com as condições limnológicas apresentadas na fase de enchimento e pós-enchimento (1987-1990). Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos. 237p.
- MUNTZ, W.R.A. 1978. The penetration of light into Amazonian waters. *Acta Amazonica*, 8: 613-619.
- NEGREIROS, NF., SANTOS, RM., SILVA, LC., ROCHA, O.; SANTOS-WISNIEWSKI, MJ. First record of *Synchaeta jollyae* (Shiel and Koste, 1993) (Rotifera) in th. e

Neotropical region: Furnas Reservoir, MG, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 2011, vol. 71, no. 1, p. 227-228.

NEUMANN-LEITÃO, S., NOGUEIRA-PARANHOS, J.D. & SOUZA, F.B.V.A. 1989. Zooplâncton do Açude de Apipucos, Recife - PE (Brasil). *Arq. Biol. Tecnol. (Braz. arch. biol. technol.)* 32(4):803-821.

NEVES, I.F. 2002. Diversidade da comunidade zooplanctônica em trechos do Rio Cuiabá impactados por atividades antropogênicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 434 p., 1988.

PAGGI J.C. 1980. – Campaña Limnológica “Keratella I” en el río Paraná Medio (Argentina) : Zooplâncton de ambientes leníticos. *Ecología*, 4, 77-88.

De Paula, 1990. **PARECER TÉCNICO Nº 014/2007 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA**. Brasília, (EIA-Tomo B 1/8, p. II-16). Disponível em:<[www.abce.locaweb.com.br/downloads/Rio%20Madeira\\_parecer\\_tecnico\\_IBAMA.pdf](http://www.abce.locaweb.com.br/downloads/Rio%20Madeira_parecer_tecnico_IBAMA.pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2011.

PAYNE, A. I. 1975. *The ecology of Tropical Lakes and Rivers*. 1<sup>st</sup>. Ed. John Wiley & Sons, Chichester, 301p.

PENNAK, R. W., 1957. Species composition of limnetic zooplankton communities. *Limnol. Oceanogr.* 2: 222-232.

PIELOU, E.C. **Population and community ecology.-principles and methods**. 1983.

ROBERTSON, B.A. & HARDY, E. R. 1984. Zooplankton of Amazonia lakes and rivers. In: Sioli, H. (Ed.). **The Amazon**. Springer Verlag, Dordrecht, 337- 352.

ROCHA, O.; GÜNTZEL, A.M. Crustáceos branquiópodos. In: Ismael, D; Valenti, W.C.; Matsumura-Tundisi, T.; Rocha, O. Biodiversidade do estado de São Paulo, Brasil. Invertebrados de Água doce- FAPESP, vol. 4, p. 107-120, 1999.

ROCHA, O.; SANTOS-WISNIEWSKI, M.J.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Checklist de Cladocera de água doce do Estado de São Paulo. *Biota Neotrop.*, vol. 11, no. 1<sup>a</sup>. 2011.

RONCHAIL, J., et al. (2002), Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans, *Int. J. Climatol.*, 22, 1663 – 1686.

ROSSO, S. Amostragem, repartição espacial e diversidade/dominância de comunidades de costões rochosos: uma abordagem metodológica. Laboratório de Ecologia Marinha/USP. 30 p., 1996.

SANTOS-SILVA, E.N., 1998. Maxillopoda - Copepoda. Freshwater Calanoida, 201-220pp. In: **Catalogue of Crustacea of Brasil**. (P.S. Young, Ed.). Museu Nacional, Rio de Janeiro, Série Livros 6, 717p.

- SANTOS, U.; RIBEIRO, M.N.G. A hidroquímica do rio Solimões - Amazonas. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 18, n. 3-4, p. 145-172, 1988.
- SANTOS-WISNIEWSKI, M. J. ROCHA, O. and MATSUMURA-TUNDISI, T. FIRST RECORD OF *Alona setigera* BREHM (CLADOCERA, CHYDORIDAE) IN THE NEOTROPICAL REGION. *Braz. J. Biol.*, 61(4): 701-702. 2001.
- SCHAFFER, J.D., 1985. Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms. Proceedings of 1st International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications, July 24-26, Lawrence, Mahwah, New Jersey, pp: 93-100.
- SCOTT, R. C. **Physical Geography**. [S.I.]: West Publishing Company, 542p, 1989.
- SEGERS, H. & DUMONT H. J., 1995, 102 + rotifer species (Rotifera: Monogonanta) in Broa reservoir (SP., Brazil) on 26 August 1994, with the description of three new species. *Hydrobiologia*, 316: 183-197.
- SEGERS, H., SANTOS-SILVA, E. N., OLIVEIRA-NETO, A. L. New and rare species of Lecane and Lepadella (Rotifera: Lecanidae; Corurellidae) from Brazil. **Belg. J. Zool.**, 123(2):113-121. 1993.
- SEGERS, H. 2007. Annotated checklist of the rotifers (Phylum Rotifera), with notes on nomenclature, taxonomy and distribution. (Zootaxa 1564).104 pp. ISBN 978-1-86977-129-4 (paperback).ISBN 978-1-86977-130-0 (Online edition).
- SENDACZ, S. & MELO COSTA, S. S. 1991. Caracterização do zooplankton do rio Acree lagos Lua Nova, Novo Andirá, e Amapá (Amazonia, Brasil). *Rev. Bras. Biol.*, 51 (2): 463-470.
- SILVA, M.J.G. M., <http://www.sedam.ro.gov.br/web/guest/Meteorologia/Climatologia>).
- SIOLI, H. 1969. Okologie im brasilianischen Amazonasgebiet, Arbeiten der Abt. Tropenökologie des Max Planck Instituts für Limnologie. *Naturwissenschaften* 56 Jgg. H. 5,: 248–255.
- SIOLI, H. 1975. Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. In: *Tropical ecological systems trends in terrestrial and aquatic research*. (Golley, F.B.& E.Medina, eds.). Springer, Berlin.
- STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. 1960 . A manual of seawater analysis. **Bull. Fish. Res. Board Can.**, v. 125, p. 1-18, 1960.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J.G.; KUTNER, M.B. Plankton studies in a magrove.IV: size fraction of phytoplankton. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, v.26, p. 39-42,1965.
- TOMASELLA, J.; BORMA, L. S.; MARENGO, J. A. ; RODRIGUEZ, D. A.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, C.A.; PRADO, M.C.R. . The droughts of 1996-97 and 2004-05 in Amazonia: Hydrological response in the river main-stem. *Hydrological Processes* (Print), 2010.

- TUNDISI, J.G., MATSUMURA-TUNDISI, T., ARANTES JUNIOR, J.D., TUNDISI, J.E.M., MANZINI, N.F. & DUCROT, R. 2004. The response of Carlos Botelho (Lobo/Broa) reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical and biological variables. **Braz.J. Biol.** Vol. 64(1): 177-186.
- VALADARES, C.F. Alterações nas Características Limnológicas e na Comunidade Zooplancônica do Rio Araguari (MG) em Função das obras hidráulicas da UHE Capim Branco I. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG. 2007.
- VAN DER HEIDE, J. 1982. Lake Brokopondo. Filling phase limnology of a man-made lake in the humid tropics. Offsetdrukkerij Kanters B.V., Alblaserdam. 428p.
- WARWICK R. M., 1986. A new method for detecting pollution effects on marinebmacrobenthic communities. **Mar. Biol.**, 92, 557–562.
- WETZEL, R.G. **Limnology**. Toronto, Philadelphia, England: W.B. Saunders Company, 1975. 743 p.
- WETZEL, R.G. 2001. **Limnology**. Lake and River Ecosystems. Third Ed. Academic Press, San Diego. xvi, 1006 pp. ISBN 0-12-744760-1
- WETZEL, R.G., and LIKENS, G.E. 2000. **Limnological Analyses**. 3rd Ed. Springer, New York. xv, 429 pp.