

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais  
Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE IGARAPÉS INFLUENCIADOS PELA  
CRIAÇÃO DE MATRINXÃ (*Brycon amazonicus*) E POR PEIXES  
ORNAMENTAIS EM MANAUS – AM**

**VANESSA PERESSONI WALTRICK**

Manaus, Amazonas

Abril, 2007

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais  
Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE IGARAPÉS INFLUENCIADOS PELA  
CRIAÇÃO DE MATRINXÃ (*Brycon amazonicus*) E POR PEIXES  
ORNAMENTAIS EM MANAUS – AM**

ALUNO: VANESSA PERESSONI WALTRICK

ORIENTADORA: DRA. ELIZABETH GUSMÃO AFFONSO

Co-orientadora: Dra. Neusa Hamada

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, área de concentração em Agricultura no Trópico Úmido.

Manaus, Amazonas

Abril, 2007

Waltrick, Vanessa Peressoni

Avaliação ambiental de igarapés influenciados pela criação de matrinxã (*Brycon amazonicus*) e por peixes ornamentais em Manaus – AM / Vanessa Peressoni Waltrick. – Manaus: INPA/UFAM, 2007.

pp. 76

Dissertação de Mestrado - Área de concentração Agronomia.

1. Impacto Ambiental 2. Piscicultura 3. Igarapés 4. Qualidade da água 5. Indicadores Biológicos

CDD ed.

**Sinopse:**

Variáveis de qualidade da água e a composição de macroinvertebrados aquáticos foram utilizados para verificar a ocorrência de impactos causados pela piscicultura realizada em 3 canais de igarapés na zona rural de Manaus.

**Palavras-chave:** Impacto ambiental, piscicultura, qualidade da água, indicadores biológicos.

<b>SUMÁRIO</b>	<b>páginas</b>
FICHA CATALOGRÁFICA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
INTRODUÇÃO	1
Meio Ambiente e Recursos Hídricos	1
Peixe: Pesca e Cultivo	3
Aqüicultura do ponto de vista ambiental	4
Piscicultura na Amazônia	6
Sistemas de Produção de Peixes na Amazônia	7
Igarapés de terra-firme da Amazônia Central	10
OBJETIVOS	12
Objetivo Geral	12
Objetivos Específicos	12
MATERIAIS E MÉTODOS	13
Caracterização das áreas de estudo	13
Qualidade da água	18
Indicadores biológicos	19
Análise estatística	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
Qualidade da água	22
Indicadores biológicos	46
Interação entre as variáveis da qualidade da água e os indicadores biológicos	62
CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66



## AGRADECIMENTOS

Á Dra. Elizabeth Gusmão Affonso, pela sua disposição para novos conhecimentos, pela orientação e pelo empenho e determinação em melhorar a si e a todos ao seu redor.

Á Dra. Neusa Hamada, pela sua orientação, dedicação ao trabalho e preocupação.

Ao MSc. Eduardo A. Ono, pela orientação e participação em todas as situações que envolveram esse trabalho.

Á Dra. Maria do Socorro Rocha da Silva e a todos do laboratório de química ambiental, em especial a Dra. Antônia, ao Luis e a Cíntia.

Ao Dr. Jorge Daniel Indrusiak Fim e ao Gabriel pela disponibilidade, conversas descontraídas e colaboração no trabalho de campo.

Ao Dr. Manuel Pereira Filho, por sempre tentar ajudar.

A Elenice Brasil e Jaqueline Inês, pelo carinho, momentos de desabafo etc. e ao Rondon, pelo apoio nas coletas e momentos de descontração.

A Patrícia, por seu carinho e apoios fundamentais e espontâneos nas horas mais difíceis.

A todos os colegas do ATU, Suzi, Darci, Márcio, Adriana, Wilson, Júnior, Karina, Socorro, Cajueiro, Estefânia,

Aos colegas do Laboratório de Fisiologia Aplicada a Piscicultura: Érica, Sarah, Mariana, Cristian, Ednael, Márcio, Andréia, Dryelli, Daniel Umeza, Fred e a Dona Fatinha, sempre alegre.

A todo o pessoal do laboratório de citotaxonomia e insetos aquáticos, principalmente Gilcélcio, Jéferson, Ana, Aline, Sunny, Ulisses, Ísis, Daiane...

Ao Dr. José Assad Darwish e ao técnico José Carlos, pela assistência, dicas e empréstimo do material.

Ao Coordenador do curso PPG-ATU/INPA, Dr. Rogério de Jesus e as secretárias Licianne, Simone e Elaine.

A Dra. Joana D'arc Ribeiro (*in memoriam*), que sempre estava disposta a nos orientar e melhorar o PPG-ATU.

A dona Ana e a Susana, pela simpatia e prestatividade.

Aos Drs. Noemia e Takeshi, por terem permitido o acesso aos seus laboratórios de microbiologia do INPA e da UFAM.

Ao Sr. Carlos (Ceará), por permitir a realização do trabalho em sua propriedade, sítio São Carlos, e por sua disposição em colaborar durante as coletas.

Ao Sr. Ademir Ferreira Marques, por permitir a realização do trabalho em sua propriedade,

sítio do Borrachinha, e pela sua simplicidade em colaborar.

Ao Sr. Loureiro, por permitir a realização do trabalho em sua propriedade, Tabatinga Aquário.

A CAPES e ao convênio INPA/Banco Real pela concessão da bolsa.

Em especial a minha família, Romeu, Sofia, Tani e Mário por sempre estarem ao meu lado.

E a todos que me ajudaram, de uma maneira ou de outra, na realização da dissertação.

## RESUMO

A atividade piscicultura é muito visada ambientalmente por gerar impactos, principalmente efluentes, ricos em nutrientes lançados nos corpos d'água. Por outro lado, são vários os benefícios gerados pela criação de peixes. No Amazonas, a criação em canal de igarapé, tem chamado atenção por vários fatores de ordem econômica e social. Com o intuito de averiguar os impactos na qualidade da água dos igarapés com esse sistema de criação foram feitas coletas de água em duas propriedades de criação de matrinxãs, Sítio São Carlos e Sítio do Borrachinha, e em um Aquário Exportador de peixes ornamentais, situados em Manaus. Os parâmetros físico-químicos avaliados foram: amônia, nitrito, fosfato, alcalinidade, dureza, condutividade elétrica, íons sódio e potássio, gás carbônico, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura da água e pH. Simultaneamente, foram coletados como indicadores biológicos os macroinvertebrados aquáticos, nas mesmas propriedades. Foram feitas duas coletas no período chuvoso e duas na estiagem. Os igarapés foram separados em três pontos: montante, criação e jusante. A análise de variância com medidas repetidas no tempo, o teste de Tukey ao nível de significância de 5% e a análise de ordenação PCA foram usados para avaliar os parâmetros físico-químicos. A comunidade de macroinvertebrados foi ordenada pela análise NMDS. Por fim, foram relacionados o eixo mais significativo da PCA e o eixo bidimensional da NMDS, englobando as duas vertentes analisadas. Os resultados obtidos no igarapé do Sítio São Carlos mostraram que a criação de peixes pode prejudicar o ambiente. A ANOVA não apontou diferenças entre os pontos amostrados e os períodos ( $p > 0,05$ ), exceto para OD, alcalinidade e potássio. Porém, a PCA ordenou os pontos discriminando em função das variáveis indicadoras de eutrofização. Da mesma forma, a ordenação em NMDS sugere uma influência da piscicultura no transcurso do igarapé. No Aquário Exportador, a análise de variância também não verificou diferenças entre os pontos e os períodos ( $p > 0,05$ ). Somente a alcalinidade e a condutividade apresentaram uma diferença sazonal. Já as análises de ordenação agruparam os pontos em função da atividade piscicultura, entretanto indicando uma melhoria subsequente do igarapé. No Sítio do Borrachinha, as análises baseadas nos parâmetros físico-químicos e químicos não constatarem diferenças estatísticas ( $p > 0,05$ ). A PCA distinguiu os pontos pela sazonalidade. A comunidade dos macroinvertebrados se mostrou bastante influenciada pela criação, sendo verificado um distúrbio pontual e não persistente no transcurso do igarapé, sugerindo uma boa resiliência. O sistema de criação de peixes em canal de igarapés tem se mostrado uma alternativa econômica promissora. A criação realizada nos moldes do Sítio do Borrachinha mostrou-se adequada a região pelo baixo nível de impacto na qualidade da água e na hidrologia do igarapé. Entretanto, há uma carência de estudos de impacto da piscicultura na região e, cada vez mais, torna-se necessário um zoneamento econômico-ecológico no intuito de diminuir a degradação ambiental e ao mesmo tempo, orientar o produtor rural sobre as melhores opções para o uso da terra.



## ABSTRACT

Fish culture is an activity closely monitored concerning its environmental impact, mainly due to its effluents, rich in nutrients that are discharged into natural water bodies. On the other hand, there are many benefits resulting from fish production. In the Amazonas State, the production using igarape (perennial stream) channels has gotten attention due to its economical and social positive aspects. In order to evaluate the environmental impacts of fish production on the igarape water quality, water samples from three properties were collected: Sítio São Carlos and Sítio do Borrachinha, and an ornamental-fish exporter facility (aquarium), located in Manaus. The water physicochemical parameters assessed were: total ammonium, nitrite, phosphate, total alkalinity, hardness, electric conductivity, sodium and potassium ions, carbon dioxide, dissolved oxygen, chemical oxygen demands, biochemical oxygen demand, temperature and pH. Simultaneously, as biological indicators aquatic macroinvertebrates were collected at the same sites. Four collections were made, two in the rainy season and two in the dry season. Three collection points in each of the igarapes were used: upstream, in the fish production area and downstream. In order to evaluate the physicochemical parameters, the analyses of variance with repeated measures in time, the Tukey test at 5% level of significance and the ordination analysis PCA were applied. The macro invertebrate community was itemized applying NMDS analysis. Finally, an interaction was made among the most significant PCA axis and the bidimensional NMDS axis, including the two kind of analysis. The results obtained from the igarape at Sítio São Carlos showed that the production of fish could be harmful to the environment. ANOVA analyses did not point out differences between the sampled points and the collection seasons ( $p>0.05$ ), except for dissolved oxygen, alkalinity and potassium. However, PCA grouped the points discriminating the variables that indicate eutrophization. Accordingly, the NMDS ordination suggested an influence of fish farming in the course of the igarape. In the aquarium, the variance analysis did not show difference among the collection points and season ( $p>0.05$ ). Only alkalinity and conductivity presented a seasonal difference. On the other hand, the ordination analyses grouped the points in accordance with the fish farming, although it indicated a subsequent improvement in the igarape water quality. At the Sítio do Borrachinha, analyses based on water physical and chemical variables did not show statistical differences ( $p>0.05$ ). PCA distinguished the points according to the season. The macro invertebrate community showed to be influenced by fish production, a punctual and non-persistent disturbance was found along the igarape, suggesting its good resilience. The fish production using igarape channels has shown to be a promising economical alternative. The production system adopted at the Sítio do Borrachinha indicated to be an appropriate set up for that area due to its low-level of impact on the water quality and on the hydrology of the igarape. However, there is a lack of information on the impact of fish farming on this kind of environment. The establishment of an economical-ecological zoning of these areas become necessary in order to reduce the environmental degradation and to guide the rural producers on the best options for land use.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Tipos de cursos d'águas mais comuns na Amazônia e os fatores limitantes para a piscicultura segundo Sioli (1985), Araújo-Lima & Goulding (1998) e Ono (2005). 8
- Tabela 2.** Análise estatística dos parâmetros de qualidade da água dos quatro pontos de amostragem do igarapé do Sítio São Carlos. Os valores foram separados pela época de coleta (estiagem e chuvosa). Mesma letra indica médias iguais pelo teste de Tukey no nível de significância de 5%. P0 = 1 km a montante da criação, P1 = montante da criação, P2 = ponto da criação e P3 = jusante da criação. Os dados em evidência sinalizam os parâmetros diferentes. 23
- Tabela 3.** Análise estatística dos parâmetros de qualidade da água dos quatro pontos de amostragem do igarapé do Aquário Exportador. Os valores foram separados pela época de coleta (estiagem e chuvosa). Mesma letra indica médias iguais pelo teste de Tukey no nível de significância de 5%. P1 = montante da criação, P2 = ponto da criação e P3 = jusante da criação. Os dados em evidência sinalizam os parâmetros diferentes. 24
- Tabela 4:** Análise estatística dos parâmetros de qualidade da água dos quatro pontos de amostragem do igarapé do Sítio do Borrachinha. Os valores foram separados pela época de coleta (estiagem e chuvosa). Mesma letra indica médias iguais pelo teste de Tukey no nível de significância de 5%. P1 = montante da criação, P2 = ponto da criação e P3 = jusante da criação. Os dados em evidência sinalizam os parâmetros diferentes. 24
- Tabela 5.** Abundância absoluta dos táxons coletados em cada ponto de coleta, entre as épocas de estiagem e chuvosa, do igarapé do Aquário Exportador. Os pontos estão representados por P 0 = ponto 0, a 1km da criação, P 1 = ponto 1, barragem acima da criação, P 2 = ponto 2, referente a criação e P 3 = ponto 3, localizado a jusante da criação. 48
- Tabela 6.** Táxons mais abundantes (>5%), frequência relativa (%) e somatória das frequências (%) nos pontos de coleta no igarapé do Sítio São Carlos, entre as épocas de estiagem e chuvosa. C = época chuvosa e E = época de estiagem. 51
- Tabela 7.** Abundância absoluta dos táxons coletados em cada ponto de coleta, entre as épocas de estiagem e chuvosa, do igarapé do Aquário Exportador. Os pontos estão representados por P 1 = ponto 1, nascente localizada acima da criação, P 2 = ponto 2, referente à criação e P 3 = ponto 3, localizado a jusante da criação. 52

**Tabela 8.** Táxons mais abundantes (>5%), frequência relativa (%) e somatória de frequências (%) nos pontos de coleta no igarapé do Aquário Exportador, entre as épocas de estiagem e chuvosa. C = época chuvosa e E = época de estiagem. 54

**Tabela 9.** Abundância absoluta dos táxons coletados em cada ponto de coleta do igarapé do Sítio do Borrachinha, entre as épocas de estiagem e chuvosa. Os pontos estão representados por P 1 = ponto 1, nascente localizada acima da criação, P 2 = ponto 2, referente à criação e P 3 = ponto 3, localizado a jusante da criação. 55

**Tabela 10.** Táxons mais abundantes (>5%), frequência relativa (%) e somatória de frequências (%) nos pontos de coleta entre as épocas de estiagem e chuvosa, no igarapé do Sítio do Borrachinha. C = época chuvosa e E = época de estiagem. 58

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa das bacias hidrográficas dos rios Puraquequara, Tarumã-Açu e Tarumã-Mirim e a localização do Sítio São Carlos (A), do Aquário Exportador (B) e do Sítio do Borrachinha (C). 13
- Figura 2.** Esquema da área de estudo do Sítio São Carlos, localizado no Puraquequara, município de Manaus, AM. O esquema superior caracteriza a área de estudo, sendo que o P1 está situado na represa a montante da criação, o P2, localiza-se no canal da criação e o P3 está a jusante da criação. O perfil faz uma comparação entre o nível da água em cada ponto em relação ao seguinte, tendo o P1 cerca de 2 m de profundidade, o P2, 1,5m e o P3 apresentando 0,5 m. 14
- Figura 3.** Esquema geral da área de estudo do Aquário Exportador, situado na bacia do rio Tarumã-Açu. Estão representados os pontos do primeiro igarapé: P1, referente à nascente a montante da criação, P2, referente aos tanques de madeira da criação, P3, localizado a jusante da criação. E no segundo igarapé: P4, localizado a montante da confluência do primeiro igarapé, P5, situado no local de criação em tanques-rede e P6, localizado a jusante do P5. 15
- Figura 4.** Esquema da área de estudo do primeiro igarapé do Aquário Exportador. Esse esquema mostra os pontos 1 e 2 referentes a nascente a montante da criação e aos tanques de madeira da criação, respectivamente. O ponto 3 está representado na figura 4 abaixo. 16
- Figura 5.** Esquema da área de estudo do segundo igarapé do Aquário Exportador. O P4 está localizado a montante da entrada do primeiro igarapé, o P5 está situado a jusante da entrada do primeiro igarapé e onde se localizam os tanques-rede e o P6 está localizado a jusante do P5. O P3 é o último ponto do primeiro igarapé, a jusante da criação. 17
- Figura 6.** Esquema da área de estudo do Sítio do Borrachinha, localizado na bacia do Tarumã-Mirim. O P1 refere-se ao ponto localizado a montante da criação, o P2 está situado na área da criação e o P3, está localizado a jusante da criação. O perfil indica o desnível entre os pontos de coleta, sendo que a criação tem cerca de 1 m de profundidade e o igarapé a montante e a jusante tem aproximadamente 0,3 m. 18

**Figura 7.** Valores médios, mínimos e máximos de temperatura da água dos diferentes pontos de amostragem, nos dois meses de coleta no período chuvoso e dois meses no período de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 25

**Figura 8.** Valores médios, mínimos e máximos do potencial hidrogeniônico da água encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 27

**Figura 9.** Valores médios, mínimos e máximos de oxigênio dissolvido na água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 29

**Figura 10.** Valores médios, mínimos e máximos de demanda bioquímica de oxigênio na água encontrados, em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 31

**Figura 11.** Valores médios, mínimos e máximos de demanda bioquímica de oxigênio na água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 32

**Figura 12:** Valores médios, mínimos e máximos de alcalinidade da água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 34

**Figura 13.** Valores médios, mínimos e máximos de dureza da água encontrados, em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos e B = Aquário exportador. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 35

**Figura 14.** Valores médios, mínimos e máximos de gás carbônico da água encontrados, em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos e B = Aquário exportador. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 37

**Figura 15.** Valores médios, mínimos e máximos de condutividade elétrica da água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos e B = Aquário exportador. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 38

**Figura 16.** Valores médios, mínimos e máximos de amônia total da água, encontrados, em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos e B = Aquário exportador. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 40

**Figura 17.** Valores médios, mínimos e máximos de nitrito da água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos e B = Aquário exportador. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 40

**Figura 18.** Valores médios, mínimos e máximos de fosfato da água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos e B = Aquário exportador. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 42

**Figura 19.** Valores médios, mínimos e máximos de sódio na água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos e B = Aquário exportador. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 43

**Figura 20.** Valores médios, mínimos e máximos de potássio da água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos e B = Aquário exportador. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). 44

**Figura 21.** Análise de componentes principais dos pontos de amostragem dos três igarapés avaliados. Os eixos foram baseados nos parâmetros de qualidade da água. Os quadrados representam parcelas e estão classificados pelos pontos de amostragem nas épocas de coleta: 0 (1km a montante) 1 (montante), 2 (criação) e 3 (jusante), E (estiagem) e C (chuvosa). A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha. 46

**Figura 22.** Freqüências relativas (A) de cada ponto de amostragem do Sítio São Carlos em cada período de coleta e riqueza de táxons (B). P0 (a 1 km da criação), P1 (a montante), P2 (criação) e P3 (a jusante). 50

**Figura 23.** Freqüências relativas (A) de cada ponto de amostragem do Aquário Exportador em cada período de coleta e riqueza de táxons (B). P1 (a montante), P2 (criação) e P3 (a jusante). 53

**Figura 24.** Freqüências relativas (A) de cada ponto de amostragem do Sítio do Borrachinha em cada período de coleta e riqueza de táxons (B). P1 (a montante), P2 (criação) e P3 (a jusante). 57

**Figura 25.** Ordenação com NMDS em duas dimensões para dados de freqüência absoluta dos macroinvertebrados aquáticos. Os eixos representam dissimilaridades em composição e riqueza de táxons. Os quadrados representam as parcelas e estão classificados pelos pontos de amostragem nos períodos de coleta: 0 (1 km a montante) 1 (a montante), 2 (criação) e 3 (a jusante), E (estiagem) e C (chuvoso). A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha. 60

**Figura 26.** Relação entre o primeiro eixo da PCA e o eixo bidimensional da NMDS. O primeiro eixo representa a ordenação em função dos parâmetros de qualidade da água e o segundo eixo representa dissimilaridades em riqueza e composição de táxons. Os quadrados representam parcelas e estão classificados pelos pontos de amostragem nos períodos de coleta: 0 (1 km a montante); 1 (a montante); 2 (criação) e 3 (a jusante); E (estiagem) e C (chuvoso). A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha. **62**

\ \ \ \



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Meio ambiente e recursos hídricos

Desde a revolução industrial no século XIX e, posteriormente a descoberta do petróleo, a humanidade tem gerado poluição de uma forma vertiginosa. Na década de 70, houve o primeiro evento internacional, a Conferência de Estocolmo, cujo objetivo era estabelecer normas e metas para o controle da poluição e a preservação do meio ambiente. Foi a partir daí que as nações mundiais perceberam que os fenômenos ambientais locais afetariam, cedo ou tarde, não somente as regiões vizinhas como também o globo.

Duas décadas depois houve a Conferência Rio-92, com a participação de 175 países que se comprometeram em instituir normas de preservação e conservação do meio ambiente. Desse debate surgiu o termo “desenvolvimento sustentável” que prega a utilização do ambiente sem ultrapassar a capacidade de suporte do mesmo, assegurando uma boa qualidade de vida no presente e, principalmente, no futuro. Ainda nesse encontro foi redigido o documento Agenda 21 Global que estabeleceu várias metas, dentre elas os próximos passos que o mundo deveria seguir para conseguir a sustentabilidade.

Em 2002, foi realizada em Johannesburg, na África do Sul, a Conferência Rio +10 que teve como objetivo realizar um balanço da última década, no qual se constatou que a preocupação com o meio ambiente ainda é uma realidade distante para a maioria dos países. Porém, a questão ambiental já é uma exigência das grandes agências de fomento, comitês e organizações internacionais. Capítulos e pautas relacionados à conservação e a preservação ambiental já fazem parte de suas agendas, relatórios e documentos.

Muitos países possuem legislação ambiental baseada nas convenções e tratados internacionais, além de suas próprias necessidades nacionais. O Brasil elaborou um dos melhores repertórios de leis ambientais do mundo, como as que tratam do Código Florestal, da Política Nacional de Meio Ambiente e da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 4.771/1965, Lei 6.938/1981 e Lei 9.433/1997, respectivamente).

A água é essencial à vida e a quantidade da água disponível, embora variável no tempo e no espaço, é continuamente renovada pela ação do ciclo hidrológico (Tundisi, 2003).

Níveis insustentáveis de extração de água para o uso humano deprimem a disponibilidade total necessária para manter a integridade dos ecossistemas. Esses, por sua vez, são essenciais para a manutenção da quantidade de água de uma região e, conseqüentemente, do ciclo hidrológico. Além disso, também são a fonte de muitos recursos alimentares (agricultura, pesca e pecuária) e materiais de origem florestal. Atualmente,

metade da população de países em desenvolvimento vive com deficiência de água. Algumas previsões sugerem que no ano de 2050 ao menos uma, em cada quatro pessoas, viverá em países com falta ou escassez crônica de água doce (Gardner-Outlaw & Engelman, 1997 *apud* UNESCO, 2005).

Outra preocupação mundial é a poluição. Todos os dias, 2 milhões de toneladas de lixo são lançados em cursos d'água. Estima-se que metade da população dos países em desenvolvimento está exposta à água contaminada. A água é um recurso que, embora possa ser utilizado diversas vezes, sofrerá um declínio progressivo na sua qualidade, a não ser que haja algum tipo de tratamento, seja esse natural ou industrial (UNESCO, 2005).

Além da poluição orgânica oriunda dos efluentes domésticos, há aquela relacionada à entrada de metais pesados vindos, principalmente, da indústria. Esta situação é agravada pela falta de processos de eliminação natural dos metais (degradação). Como resultado, os metais mudam de compartimento dentro de um sistema aquático para outro, incluindo a biota (bioacumulação), através da cadeia alimentar. Isso implica em risco toxicológico e de saúde pública (Santos *et al.*, 2006).

Fontes adequadas de água são fundamentais para o consumo, para a higiene e para a produção de alimentos. O manejo adequado da água reduz a ocorrência de doenças infecciosas, diarreia e verminoses. A dificuldade no acesso à água tem relação direta com a pobreza, afetando as necessidades básicas, a saúde, a segurança alimentar e o meio de vida do ser humano. Apesar do acesso à água ser um direito internacionalmente reconhecido, atualmente, cerca de 1/6 da população mundial não tem acesso à água e 2/5 vivem sem condições adequadas de higiene (UNESCO, 2005).

Portanto, quando a qualidade da água é degradada e os ecossistemas naturais são modificados, configura-se de um risco para a sobrevivência humana. (UNESCO, 2005). A amplitude de usos e transformações antrópicas, em ecossistemas terrestres e aquáticos, tem o potencial de alterar, às vezes irreversivelmente, a integridade desses sistemas. A multiplicidade de usos muitas vezes resulta em alterações tanto de quantidade como de qualidade da água (Tundisi, 2003).

Dentro deste contexto, os organismos aquáticos, em particular os peixes, têm sofrido com a pressão causada por tais modificações.

## **1.2 Peixe: pesca e cultivo**

Os peixes representam uma valiosa fonte de proteínas, ácidos graxos essenciais, minerais e outros micronutrientes na dieta de muitos países. Nos últimos anos, a participação

do pescado no montante do consumo de proteína animal tem crescimento vertiginosamente (FAO, 2004).

Em 2004, a produção de pescado oriunda da pesca comercial foi responsável por 57% do fornecimento mundial de peixes para o consumo sendo que o restante foi proveniente da aquicultura. Com exceção da China, o suprimento de peixes per capita, advindos da pesca, diminuiu de 11,5kg (1997) para 10,8 kg (2002) e a contribuição da aquicultura cresceu de 27,1% (2000) para 32,4% (2004); um crescimento anual médio de 8,8% (FAO, 2006).

Dados levantados pela FAO (2004), entre os anos de 1999 e 2002, apontam uma produção da pesca comercial anual mundial de 93,2milhões de toneladas (84,5milhões de toneladas de peixes marinhos e 8,7milhões de toneladas de peixes de água doce) que se manteve estável nestes quatro anos. Em 2006, a FAO reafirmou a estabilidade da pesca e avaliou que pelo menos um quarto dos estoques pesqueiros de regiões marinhas, monitorados pela Organização já estavam no limite de exploração ou já haviam ultrapassado esse limite.

Em relação à pesca continental faltam informações tanto de quantidades como da composição das espécies capturadas. São poucos os países que têm levantamentos detalhados sobre a pesca nos rios, lagos, açudes e represas em seus territórios. Apesar disso, os peixes de água doce têm sido considerados um dos grupos de vertebrados mais ameaçado pelo ser humano (FAO, 2004).

O maior produtor de pesca continental é a Ásia, seguido da África e da América do Sul. O crescimento da pesca continental na América do Sul foi de 9% entre 2000 e 2002. O Brasil é o décimo país do mundo em produção pesqueira de captura continental (FAO, 2004). Essa Organização alerta que a produção pesqueira de água doce também está comprometida devido à degradação ambiental, a utilização dos recursos hídricos para outros fins, e a superexploração dos estoques naturais.

A região amazônica se destaca em relação às demais regiões do Brasil pelo consumo de 60kg de peixe/pessoa/ano (SUFRAMA, 2003). Segundo Bayley & Petrere Jr. (1989) *apud* Freitas & Rivas (2006), o potencial pesqueiro da bacia amazônica situa-se em torno de 200mil toneladas/ano. Porém, já é possível observar uma diminuição de alguns estoques pesqueiros, tanto pela redução da quantidade, quanto pelo tamanho de algumas espécies como, por exemplo, o pirarucu e o tambaqui (Santos & Santos, 2005).

Esta preocupação tornou a aquicultura uma atividade econômica produtiva em expansão, com grande projeção mundial, e uma das atividades de produção de alimento mais importantes para o futuro imediato, pois esta já é responsável por quase 2/3 da produção aquícola mundial (FAO, 2004).

A produção global de pescado, por meio da aquicultura, tem sido crescente. Exemplo disto é o crescimento médio anual de 10,2% desde 1970, na produção dos países em desenvolvimento, que respondem por 91,4%. Essa produção provém principalmente de pescado de água doce (FAO, 2006). O Brasil aparece em 4º lugar entre os dez países que mais cresceram em produção através da aquicultura entre 2000 e 2002, com aumento de 18,1% (FAO, 2004).

### **1.3 Aquicultura do ponto de vista ambiental**

A aquicultura é a criação de organismos aquáticos em condições controladas ou semicontroladas, principalmente de animais que podem ser utilizados para alimentação humana. Um das modalidades da aquicultura é a piscicultura, que se refere à criação de peixes de água doce ou piscicultura de águas interiores.

Como todas as outras atividades produtivas, a aquicultura é impactante ao meio, principalmente quando executada de maneira irresponsável e sem considerar os princípios básicos de respeito ao ambiente, de planejamento de seu uso e de estratégias de desenvolvimento. O principal problema de poluição atribuído à aquicultura está relacionado à qualidade da água, pois, um dos maiores problemas associados ao cultivo de organismos aquáticos é o despejo de efluentes não tratados, os quais são ricos em matéria orgânica.

Os efluentes da aquicultura freqüentemente são liberados diretamente nos corpos d'água. Os principais impactos ambientais negativos que os efluentes da aquicultura podem causar sobre a qualidade da água provém das sobras de ração ou matéria orgânica da alimentação dos peixes, assim como seus próprios excrementos, que são fontes de nutrientes, como o carbono, o nitrogênio e o fósforo. A alta concentração destes nutrientes pode estimular o crescimento exagerado de fitoplâncton ou população de algas. Com a morte e degradação de uma grande quantidade de algas há uma redução drástica do nível de oxigênio disponível na água, matando peixes e outros organismos. Além disso, o estímulo ao crescimento do fitoplâncton por nutrientes pode desenvolver o crescimento de espécies de algas tóxicas, que podem provocar a morte dos peixes, contaminar moluscos e, até mesmo, colocar em risco a saúde humana.

Além da poluição das águas, a aquicultura pode ser responsabilizada também por uma série de outros impactos ambientais. Por exemplo: pelo desmatamento das margens dos rios, por criar situações de risco de inundação, por facilitar a transmissão de doenças para humanos e animais, pela transmissão de doenças para os peixes nativos e por colocar em risco a biodiversidade com a introdução de espécies exóticas, por descarregar pesticidas e

antibióticos, por provocar danos à paisagem e contribuir para o desequilíbrio ecológico.

No entanto, os impactos da atividade aquícola sobre o meio ambiente nem sempre são negativos. Segundo Barg et al. (1997), a "Agenda 21" da UNCED reconheceu que diversas modalidades de produção aquícola podem contribuir de maneira positiva para melhorar as condições do meio ambiente, através de sistemas integrados nos quais os nutrientes e a matéria orgânica são reciclados, podendo assim criar um ambiente sadio. Em alguns casos, a aquíicultura pode ajudar a diminuir alguns dos impactos negativos da agricultura. Como exemplo, o manejo integrado de pragas através da criação de peixes consorciada à cultura de arroz, a qual pode contribuir para a redução do uso de pesticidas. O cultivo de algumas espécies de moluscos também pode ajudar a reduzir os excessos de nutrientes dissolvidos na água, bem como a criação de espécies selvagens de peixes tem sido utilizada para repovoamento nos antigos habitats. Uma outra contribuição é dada pelo fato da expansão da aquíicultura, mesmo considerando seu potencial para causar impactos ambientais negativos, ao suprir parcialmente a demanda pelo pescado, diminui as pressões sobre a captura, contribuindo, desta forma, para a preservação dos estoques naturais.

Por outro lado, a aquíicultura sofre impactos do meio ambiente externo, os quais também podem ser negativos ou positivos. Por exemplo, o enriquecimento de nutrientes nos corpos d'água pode ser benéfico para alguns tipos de cultivo (como em sistemas extensivos abertos), mas o seu excesso, principalmente pelas descargas de efluentes urbanos e industriais, pode trazer sérias conseqüências negativas quando as operações de produção aquícola são expostas à contaminação por produtos tóxicos e patógenos. O crescimento urbano e industrial, quando implica no crescimento da poluição e na degradação física dos ambientes aquáticos, pode colocar em risco a produção e a qualidade dos produtos aquícola. A produção, porque esta necessita de recursos naturais, particularmente água de boa qualidade. A aceitação dos produtos, porque cada vez mais aumentam as exigências no que se refere à sanidade dos alimentos. Todas as atividades aquícolas são diretamente dependentes do meio ambiente, principalmente do meio aquático.

De maneira geral, a aquíicultura é mais sensível a impactos externos oriundos do resultado da ação tanto do homem, quanto da natureza, do que outras atividades produtivas (Muir, 1995). Portanto, a aquíicultura necessita de um meio ambiente limpo ou ecologicamente equilibrado, capaz de dar sustentabilidade à atividade. As melhorias tecnológicas, a engenharia genética e os avanços na redução de passivos ambientais, como o tratamento de efluentes e a melhoria da qualidade das rações, são pré-requisitos adotados, atualmente, por grandes indústrias da aquíicultura mundial (FAO, 2004).

#### 1.4 Piscicultura na Amazônia

Na região amazônica, a piscicultura iniciou-se na década de 80, com a implantação do Programa de Desenvolvimento da Aqüicultura pelo governo do Amazonas. Desde então esta atividade vem crescendo e se expandindo em toda a região Norte (Roubach et al., 2003; Ono, 2005).

Três características são fundamentais para fazer desta região um grande potencial para piscicultura: a grande extensão da Bacia Amazônica Brasileira; o clima quente o ano todo, com amplitude de 3 a 4°C nos corpos d'água; e a ampla variedade de espécies de peixes nela existente.

Apesar da sua diversidade ictíica, são poucas as espécies nativas que têm grande importância para a piscicultura na região, como: o tambaqui (*Colossoma macropomum*), o matrinxã (*Brycon amazonicus*) e o pirarucu (*Arapaima gigas*) (Saint-Paul, 1986; Graef, 1995; Honczaryk, 2000; Roubach et al., 2003; Ono, 2005). O tambaqui é uma das espécies cuja biologia e cultivo mais têm sido estudadas, não só no Brasil como também no exterior, e cuja cadeia produtiva está praticamente completa (IBAMA, 1999). O pirarucu, apesar do grande interesse para seu cultivo, apresenta entraves importantes que dificultam a sua criação (reprodução, produção de alevinos, manejo em cativeiro, técnicas de cultivo, aspectos sanitários relacionados ao cultivo; alimentação e etc.) e que ainda precisam ser superados (Guimarães & Graef, 2001).

O matrinxã tem despertado grande interesse para o cultivo, especialmente por parte dos pequenos criadores. Sua cadeia produtiva ainda não atingiu o mesmo patamar do tambaqui devido à existência de lacunas tecnológicas que dificultam sua criação, especialmente no que concerne à reprodução e à larvicultura. Isto faz com que a oferta de alevinos de matrinxã seja limitada e os preços cheguem a ser três vezes maiores do que os de tambaqui (Fim et al., 2001; Fim & Honczaryk, 2001).

Segundo Ono (2005) as principais dificuldades ao desenvolvimento da piscicultura na região são: relativa abundância nos estoques pesqueiros naturais; carência de informações sobre as cadeias produtivas; descontinuidade das políticas públicas; isolamento regional que dificulta o transporte e comercialização em muitas regiões do interior; deficiência de assistência técnica e extensão para os produtores rurais desde a produção até a comercialização; falta de caracterização de microrregiões nos estados com potencial para a piscicultura, entre outros.

Entretanto, os altos preços de peixes de grande consumo popular na Amazônia, a falta de padronização na qualidade dos peixes capturados, a forte sazonalidade da pesca extrativa, a diminuição dos estoques das principais espécies comerciais etc, fazem da aquicultura a única opção para o fornecimento de pescado de qualidade superior, padronizado, com oferta mais uniforme de peixes durante todo o ano e preços equilibrados (SUFRAMA, 2003). Conseqüentemente, a aquicultura pode vir a ser um dos setores com grandes possibilidades de se tornar um agente de desenvolvimento sustentável da Amazônia (Ono, 2005).

### **1.5 Sistemas de produção de peixes na Amazônia**

O tipo de sistema de produção de peixes na Amazônia tem sido definido de acordo com as características das microrregiões, levando em consideração o tipo de água a serem utilizadas para a piscicultura (Tabela 1). Barragens e viveiros escavados são os sistemas de criação intensiva mais utilizados na região. Atualmente, existem muitas restrições quanto às questões ambientais relacionadas a estes sistemas, o que tem estimulado o emprego de outros sistemas mais intensivos de produção, tais como tanques-rede e canais de igarapé de terra firme (Ono, 2005).

Nos últimos anos, os governos dos estados da região Norte têm incentivado a utilização de tanques-rede na criação de peixes, em função das vantagens que este sistema apresenta e pelos resultados de estudos pilotos feitos com matrinxã, pirarucu e tambaqui (Cavero et al., 2003; Brandão et al., 2004; 2005; Chagas et al., 2007). Entretanto, o grande entrave para o desenvolvimento deste sistema na região é a escolha de uma área apropriada, o que exige um estudo prévio criterioso das características ambientais (Ono, 2005). O sistema de criação em canais de igarapés é uma outra opção, que tem demonstrado grandes perspectivas para a produção de peixe, particularmente no estado do Amazonas e que é objeto do presente estudo.

**Tabela 1.** Tipos de cursos d'águas mais comuns na Amazônia e os fatores limitantes para a piscicultura segundo Sioli (1985), Araújo-Lima & Goulding (1998) e Ono (2005).

Tipos de cursos d' água	Características	Fatores limitantes à piscicultura
Águas Brancas	Água barrenta; rica em nutrientes, pH próximo ao neutro, altos níveis de O <sub>2</sub> , baixa transparência.	Forte velocidade do rio e alta carga de nutrientes em suspensão obstruem as brânquias e provocam escoriações nos peixes.
Águas Claras	Água levemente esverdeada; pH neutro ou próximo ao alcalino; O <sub>2</sub> próximo a saturação; pobres em nutrientes, grande transparência.	Há escassez de rios com essas características no estado do Amazonas.
Águas Pretas	Água escura com tonalidade de café; pH muito baixo em torno de 4,5; pobre em nutriente; baixa alcalinidade e dureza; transparência variável ao longo do ano.	Oscilações nos níveis de oxigênio tornando o tempo de cultivo insuficiente até o peso de abate e as instalações ficam ociosas alguns meses.
Igarapés de água preta	Corpos d'água relativamente frios (24° C), transparentes e livres de patógenos, possuindo água potável, menos minerais que a água da chuva e com um pH ácido (3,5 a 5,0).	Grande e repentina variação da vazão da água durante o período chuvoso e pode apresentar baixas concentrações de oxigênio dissolvido (< 3,0 mg/L) em alguns períodos do ano.

### 1.5.1. Produção de peixes em canais de igarapé

O sistema de cultivo em igarapé se assemelha ao sistema do tipo “raceway”, porém é feito no leito do igarapé utilizando a declividade e a vazão natural do corpo d'água. São dispostas telas plásticas ou metálicas a montante e a jusante, e as margens do igarapé são reforçadas e elevadas (Ono, 2005), criando um pequeno reservatório de água. Se comparado aos sistemas tradicionais de cultivo em viveiros, este sistema apresenta algumas vantagens, tais como: permitir maiores taxas de estocagem e maior produção de biomassa por unidade de volume; ocupar menor espaço; facilitar as operações de despesca, alimentação e observação dos peixes e propiciar menores custos de mão-de-obra no manejo do sistema (Arbeláez-Rojas *et al.*, 2002).

Outro aspecto interessante é a qualidade do produto em termos de conteúdo de gordura e proteína. O aumento em peso corporal dos peixes avaliados por Arbeláez-Rojas *et al.* (2002) foi devido ao crescimento da massa muscular, decorrente do esforço da natação, e não pelo incremento no conteúdo de água e/ou gordura corporal.

Do ponto de vista econômico, o sistema de cultivo intensivo em canais de igarapés



apresenta-se mais atrativo para os investidores e com maiores taxas internas de retorno (Rissato, 1995 *apud* Abelález-Rojas *et al.*, 2002).

Além das vantagens do manejo e da economia, esse sistema tem sido implantado, desde 2003, em pequenas propriedades rurais no estado do Amazonas, através do PROCIMA/INPA (“Programa de criação intensiva de matrinxã em canal de igarapés de terra firme: Aplicação em nível de subsistência e empresarial”), com o intuito de melhorar a qualidade da alimentação (piscicultura familiar) e, principalmente, como alternativa econômica, fixando o homem no campo e evitando a derrubada da floresta.

Os resultados obtidos até o momento têm revelado que o cultivo intensivo de matrinxã em canais de igarapés é uma alternativa promissora para a região, principalmente em pequenas propriedades. (Fim *et al.*, 2001; Arbelález-Rojas *et al.*, 2002). Segundo estes autores,

Este sistema de criação requer mão-de-obra especializada e domínio da tecnologia de produção, principalmente por exigir estrito monitoramento da qualidade da água. Apesar das vantagens, a maior preocupação quanto a expansão deste sistema é a emissão dos efluentes que são carreados à jusante dos empreendimentos, o que pode prejudicar outros usuários do corpo d’água tais como outros criadores de peixes, balneários turísticos e consumo humano. Dentre as espécies exploradas na piscicultura, o matrinxã mostrou-se bem adaptado ao sistema de canais de igarapés (Arbelález-Rojas *et al.*, 2002).

A espécie *Brycon amazonicus*, conhecida como matrinxã, pertence à classe Actinopterygii, ordem Characiformes, família Characidae e sub-família Bryconinae. O gênero *Brycon* se destaca dentro da ordem Characiformes por possuir várias espécies com elevado potencial zootécnico (Lima, 2003). De acordo com Howes (1982), a distribuição da espécie *B. amazonicus* é restrita a Bacia Hidrográfica Amazônica, que utiliza diversos *habitats* conforme a época do ano. Na vazante, o matrinxã encontra-se nos igapós e igarapés de águas pretas e, durante a enchente, forma grandes cardumes no canal dos grandes rios de águas brancas para a reprodução (Zaniboni-Filho e Resende, 1988).

O matrinxã é a segunda espécie mais cultivada na região Amazônica, por apresentar rápido crescimento em cativeiro e alcançar bons preços no mercado (Brandão *et al.*, 2005). Segundo Zaniboni Filho *et al.* (2006), a crescente utilização de espécies do gênero *Brycon* na piscicultura se deve a fácil adaptação ao cativeiro, a fácil aceitação de alimentos tanto de origem animal quanto vegetal, dado que as principais espécies são onívoras; ao rápido crescimento para alcançar peso comercial; a fácil comercialização e apreciação para o consumo e o potencial para o cultivo intensivo.

### **1.5.2. Produção de peixes ornamentais no Estado do Amazonas**

A maior parte dos peixes ornamentais cultivados no mundo provém de ecossistemas de água doce e cerca de 90% são capturados da natureza (Dawes, 1998 *apud* Tlustly, 2002). O principal exportador do Brasil é o estado do Amazonas (Chao, 2001). Os principais peixes exportados são o cardinal tetra (*Paracheirodon axelrodi*), respondendo por 80% das exportações (Chao, 1998), as coridoras (*Corydoras sp*) e o discus (*Symphysodon sp*), todos provenientes da Bacia do rio Negro (Chao, 2001), gerando cerca de US\$ 3 milhões anuais em divisas para o Amazonas. É a principal atividade econômica do município de Barcelos, contribuindo com, aproximadamente, 60% da renda desse município (Prang, 1996) e envolvendo, direta e indiretamente, 80% dos residentes da região (Chao *et al.*, 2001).

Por outro lado, a reprodução destas espécies ornamentais, em cativeiro, pode ter um impacto sócio-econômico e ambiental negativo, pois, apesar da captura ser uma atividade predatória, esta evita o desmatamento para a exploração agrícola ou mineral (Dowd & Tlustly, 2000) e gera emprego e renda para a população ribeirinha, contribuindo com a redução do êxodo rural (Chao & Prang, 1997).

Apesar disso, nos últimos anos, os exportadores do estado do Amazonas têm registrado uma queda entre 40 e 50% na venda desses peixes. Vários fatores têm contribuído para esta redução de mercado, dentre eles a criação em outras partes do mundo, gerando produtos de melhor qualidade, as altas taxas de mortalidade dos peixes capturados na natureza, e a baixa qualidade dos peixes exportados. Esses dados são contestados por Waichman *et al.* (2001), que descrevem as diferentes etapas da comercialização dos peixes ornamentais no Amazonas. Segundo estes autores, a utilização de medicamentos veterinários é uma prática comum durante o transporte e a manutenção, que assegura a sanidade dos peixes. Nas dependências dos aquários exportadores, durante a quarentena, os peixes são continuamente tratados com os mais variados produtos (anestésicos, antibióticos, fungicidas, etc.). Localizados próximos ao perímetro urbano da cidade de Manaus, os grandes entreposto de peixes ornamentais do Amazonas se beneficiam dos igarapés que atravessam suas propriedades, levando seus efluentes para balneários e outros locais a jusante.

### **1.6 Igarapés de terra-firme da Amazônia Central**

A Bacia Amazônica tem a maior densidade de igarapés da Terra, cuja área total ocupada pode ser maior que aquela ocupada pelos grandes rios. Exemplo disso é o entorno da cidade de Manaus, onde, em cada quilômetro quadrado, há aproximadamente 2km de cursos

d'água (Junk e Furch, 1985).

Em termos gerais, pode-se considerar que a composição química das águas dos igarapés e rios é a expressão das condições químicas das suas áreas de drenagem, resultantes dos processos biológicos e químicos que aí ocorrem (Junk e Furch, 1985).

Os igarapés de terra-firme nascem nas encostas dos platôs e correm por sobre baixios planos (Walker, 1990) e por isso, não são afetados pelas oscilações anuais sofridas pelos grandes rios. Esses corpos d'água reagem fortemente às chuvas locais e, devido a sua pequena área de drenagem, as descargas desses rios sofrem pequenas oscilações anuais (Fittkau, 1964; Junk e Furch, 1985; Walker, 1990), e são considerados ambientes biologicamente estáveis (Walker, 1990).

Os igarapés são caracterizados por apresentarem temperatura praticamente constante ao longo do ano, por estarem posicionados dentro da floresta e receberem pouca incidência de radiação solar (Fittkau, 1964). Suas águas são pobres em eletrólitos (íons), apresentam baixo pH, pequena capacidade de tamponamento, baixa produtividade primária e altas concentrações de matéria orgânica proveniente da entrada de material alóctone (principalmente flores, frutos e insetos) vindo do ambiente terrestre (Fittkau, 1964; Sioli, 1964; Schmidt, 1972).

Devido seu pequeno tamanho, os igarapés são considerados muito vulneráveis aos impactos antrópicos (Junk, 1983; Sioli, 1985).

A região norte é historicamente conhecida como um grande mercado consumidor de peixes e apresenta grande potencial para a criação. A introdução e adaptação de sistemas de criação de peixes compatíveis com a realidade local (como a criação em canais de igarapés e em tanques-rede) têm mostrado, sobretudo, bons resultados econômicos. Além disso, a piscicultura apresenta vantagens em relação à pesca como a capacidade de equilibrar a oferta e a demanda de pescado e fornecer um produto de maior qualidade. Futuramente, esses fatores, em conjunto, podem propiciar o crescimento da atividade piscicultura na região. Porém, a expansão dessa atividade pode ser vista de maneira negativa devido aos impactos provocados ao meio ambiente. Acreditando na expansão dessa atividade, buscou-se nesse trabalho verificar a ocorrência de impactos oriundos da piscicultura em canais de igarapés, sob o ponto de vista da qualidade da água e de bioindicadores como os macroinvertebrados aquáticos em três igarapés na zona rural de Manaus.

## **2 OBJETIVO**

Esse estudo teve como objetivo avaliar o impacto causado pela criação de matrinxã (*Brycon amazonicus*, Characidae) e de peixes ornamentais, realizada em canais de igarapés, sob o ponto de vista da qualidade da água e da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, em três propriedades localizadas no município de Manaus, AM.

### **2.1 Objetivos Específicos**

2.1.1 Avaliar os efeitos da criação de peixes sobre as características físico-químicas e químicas da água dos igarapés a montante, no local da criação e a jusante, em três sistemas de criação de peixes em canal de igarapé;

2.1.2 Avaliar as possíveis alterações na comunidade de macroinvertebrados bentônicos, decorrentes da criação de peixes nos mesmos locais listados acima;

2.1.3 Verificar possíveis diferenças, em cada ponto de amostragem no transcurso do igarapé, dos parâmetros de qualidade da água e a estrutura de comunidade de macroinvertebrados e;

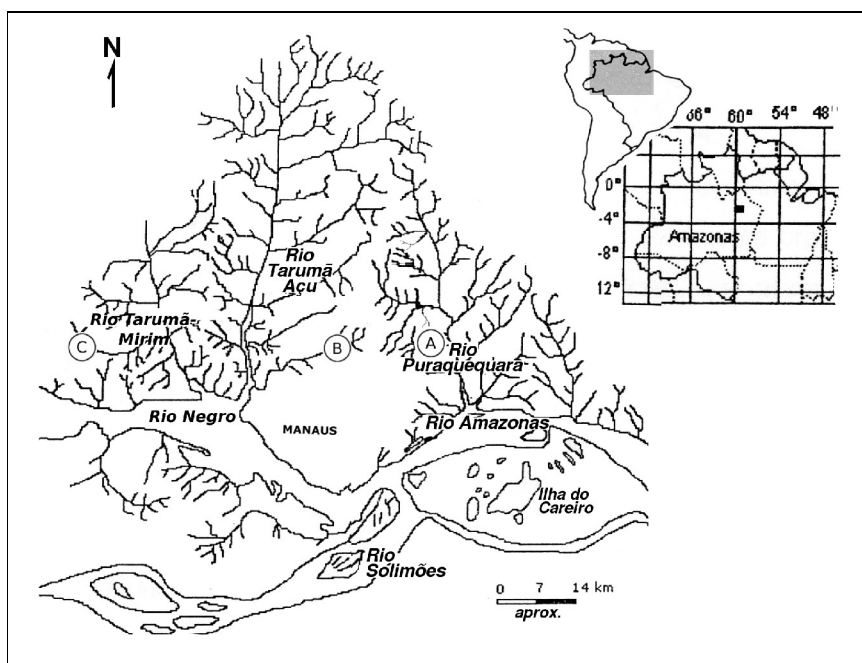
2.1.4. Verificar as possíveis variações sazonais sobre as características físico-químicas e químicas da água e sobre a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização das áreas de estudo

Foram selecionadas três propriedades para a avaliação de impacto da piscicultura em localidades distintas da zona rural do município de Manaus, AM. Os igarapés avaliados são de terra firme e classificados de acordo com Sioli (1985) como sendo de águas pretas.

As amostragens foram realizadas no período chuvoso (março e maio) e no período de estiagem (agosto e setembro) de 2006



**Figura 1:** Mapa das bacias hidrográficas dos rios Puraquequara, Tarumã-Açu e Tarumã-Mirim e a localização do Sítio São Carlos (A), do Aquário Exportador (B) e do Sítio do Borrachinha (C).

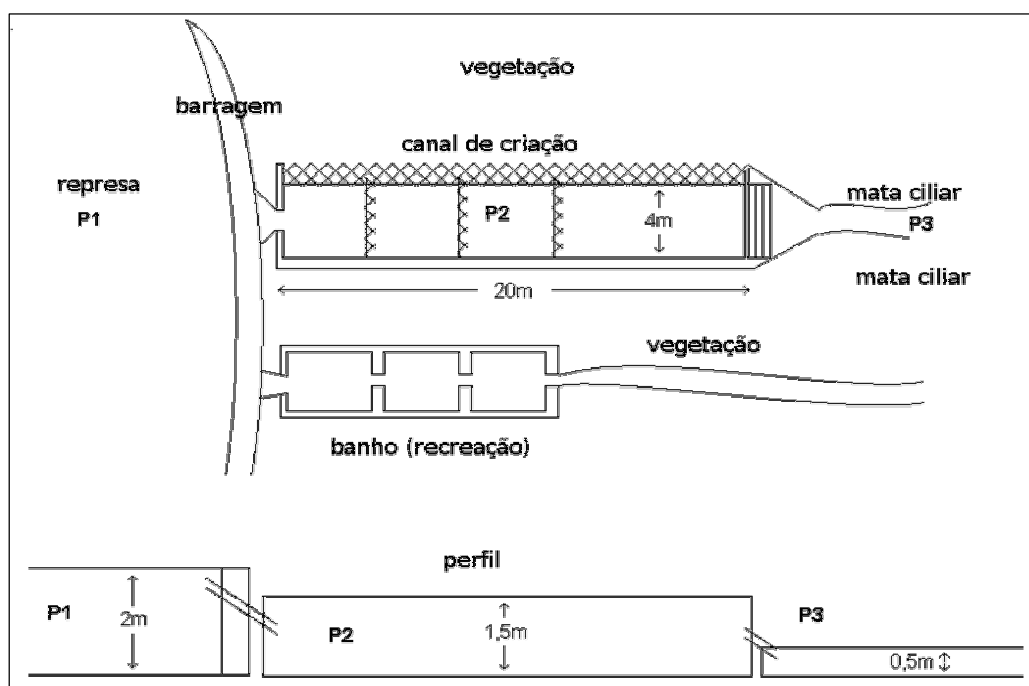
#### *Sítio São Carlos*

O Sítio São Carlos localiza-se na Bacia do rio Puraquequara (Fig. 1) e tem como via de acesso a estrada do Puraquequara, nas coordenadas geográficas 03°02'36" latitude S e 59°53'49" longitude W. Nesse sítio, funciona um balneário como principal atividade econômica, sendo que a criação de matrinxã está voltada ao abastecimento de um restaurante pertencente ao balneário.

Os quatro pontos de amostragem no igarapé foram definidos e caracterizados da seguinte forma: Ponto 0 (P0) - mata ciliar pouco densa, substrato composto de areia, argila,

folhas, galhos e raízes, profundidade de 0,3 m e largura de 1 m e água turva (esse ponto não está representado no esquema da figura 2 abaixo); Ponto 1 (P1) – barragem à montante da criação, águas turvas, com cerca de 50 m de largura e 1,5 m de profundidade, forte incidência de radiação solar, margeada por árvores frutíferas e palmeiras, apresentando muitas macrófitas e substrato semelhante ao do P0; Ponto 2 (P2) – canal de criação, tendo na margem direita um muro de cimento e à esquerda a margem do igarapé, o canal havia sido dividido em quatro tanques, com substrato de areia e folhas, água turva e mata ciliar protegendo o igarapé da radiação solar e; Ponto 3 (P3) – à jusante, o canal do igarapé volta ao natural, com águas menos barrentas, mata ciliar que sombreia a superfície da água, substrato de areia, raízes, folhas e galhos, largura de 1 m e profundidade média de 0,3 m (Fig. 2).

Em relação aos aspectos da piscicultura, a propriedade possui no canal da criação uma grande densidade matrinxãs e tambaquis e na barragem são mantidos peixes maiores. O produtor faz despescas semanais, capturando matrinxãs de 1,5 a 2,0 kg e tambaquis de 3,0 kg ou mais.



**Figura 2.** Esquema da área de estudo no Sítio São Carlos, situado na bacia do rio Puraquequara, caracterizando os diferentes pontos de coleta. P1 = represa a montante da criação; P2 = canal da criação e P3 = a jusante da criação. O perfil faz uma comparação entre o nível da água em cada ponto em relação ao seguinte, tendo o P1 cerca de 2 m de profundidade, o P2 com 1,5 m e o P3 apresentando 0,5 m.

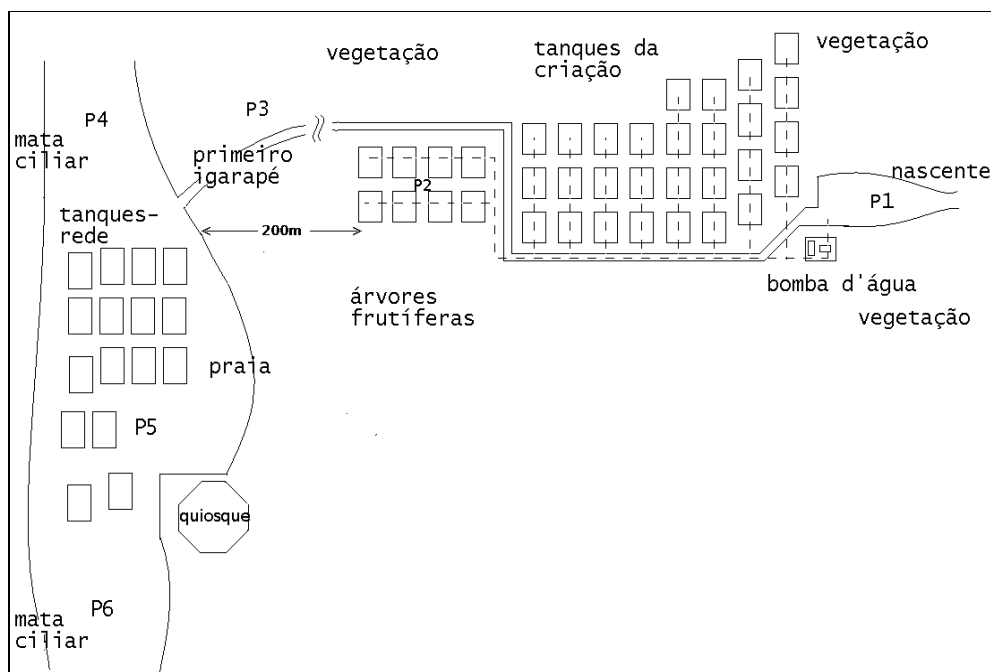
A bacia do rio Puraquequara vem sofrendo influência da expansão urbana, com o estabelecimento de pequenas e médias propriedades rurais, casas de veraneio e balneários ao

longo das vias, possuindo ainda, uma vila fundada há mais de 40 anos. A região oeste da bacia, onde está localizado o empreendimento em questão, encontra-se mais povoada que a leste, que pertence ao Exército Brasileiro (Fortes, 2001).

### *Aquário Exportador*

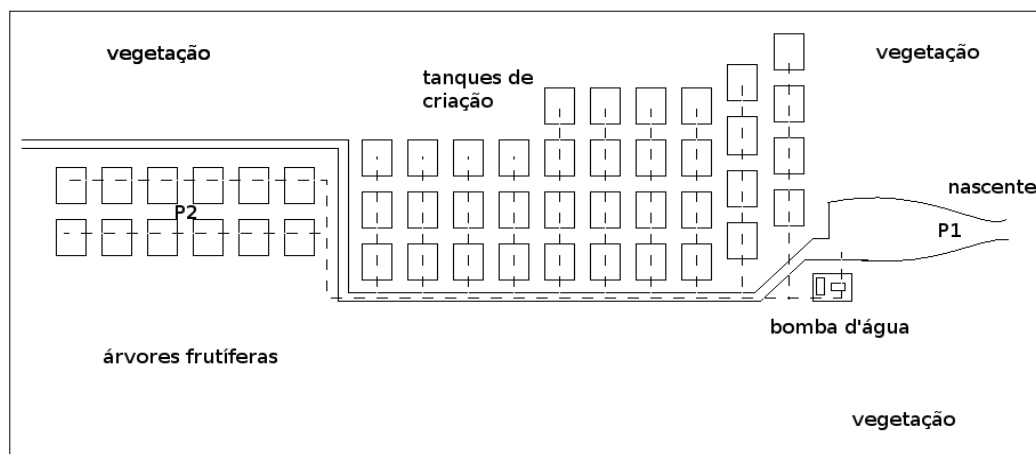
O Aquário exportador situa-se na Bacia do rio Tarumã-Açu (Fig. 1) e tem como via de acesso a rodovia AM-010 (Manaus-Itacoatiara), km 18, Ramal do Tambaqui. O segundo igarapé avaliado localiza-se nas coordenadas geográficas 02°57' 47" latitude S e 59°59'25" longitude W. Nessa propriedade, a atividade de criação destina-se à manutenção e engorda de peixes ornamentais, retirados do ambiente natural, durante um período variável de 2 semanas a 3 meses até serem exportados.

A produção de peixes nessa propriedade é realizada em dois igarapés, sendo o primeiro utilizado para o abastecimento de viveiros escavados e segundo para a manutenção de tanques-rede. O produtor faz despescas periódicas dos peixes, para liberar aqueles prontos para a exportação e reutilizar os tanques para aqueles que chegam da natureza.



**Figura 3.** Esquema geral da área de estudo do Aquário Exportador, situado na bacia do rio Tarumã-Açu. Estão representados os pontos do primeiro igarapé: P1= nascente a montante da criação; P2 = criação em viveiros; P3= a jusante da criação. O segundo igarapé: P4= a montante da confluência do primeiro igarapé; P5= criação em tanques-rede e P6= a jusante do P5.

No primeiro igarapé, o ponto 1 (P1) é uma nascente margeada por buritis adaptada para a captação de água para a criação (Fig. 3). Esta área é rica em macrófitas, possui substrato de areia, água de coloração preta com profundidade variando entre 5 e 50 cm e largura máxima de 3 m. No ponto 2 (P2) é realizada a criação dos peixes ornamentais em 50 viveiros escavados (2 x 3 m) com paredes revestidas com madeira. A primeira fileira de viveiros é abastecida com a água captada diretamente da nascente, cuja água de saída abastece os demais viveiros (Fig. 4). O substrato dos viveiros é basicamente areia, água preta, macrófitas, algas e a incidência de luz é direta, sendo sombreado por buritizeiros e cajueiros. O ponto 3 (P3) está localizado após a área dos viveiros, onde o igarapé retorna ao seu estado natural, com mata ciliar sombreando a superfície d'água, substrato de areia, folhas, galhos e raízes, água preta, profundidade de 0,3 m e largura de 1 m (Fig. 5).

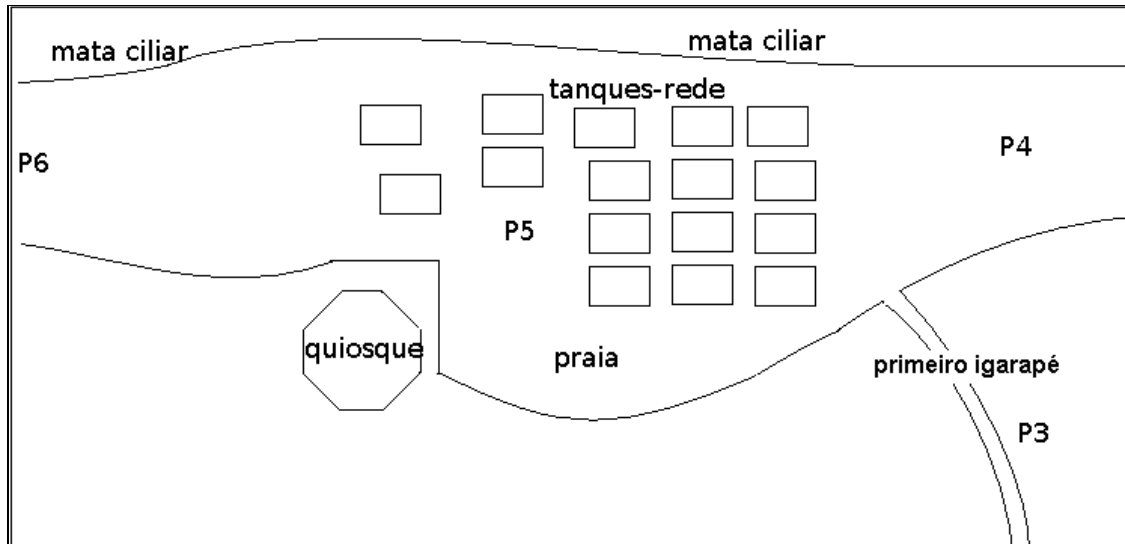


**Figura 4.** Esquema da área de estudo do primeiro igarapé do Aquário Exportador, evidenciando os pontos P1 (nascente à montante da criação) e P2 (viveiros de criação).

O segundo igarapé é maior, tendo largura entre 4 e 8 m, profundidade aproximada de 1,5 m, vazão de 2 m<sup>3</sup>/s, água preta, mata ciliar densa, substrato composto de areia, folhas e galhos. Foi dividido em três pontos: o ponto 4 (P4) anterior à descarga do primeiro igarapé; o ponto 5 (P5) receptor do igarapé menor e o ponto 6 (P6) a jusante desse. No ponto P5, há uma área de remanso rica em macrófitas e alta incidência de luz solar, onde eram mantidos cerca de 30 tanques-rede, ocupando uma área de aproximadamente 40 m<sup>2</sup> (Fig. 4).

Na área do entorno, a ocupação é feita por pequenas e médias propriedades rurais e balneários, existindo ainda, o aterro sanitário municipal.





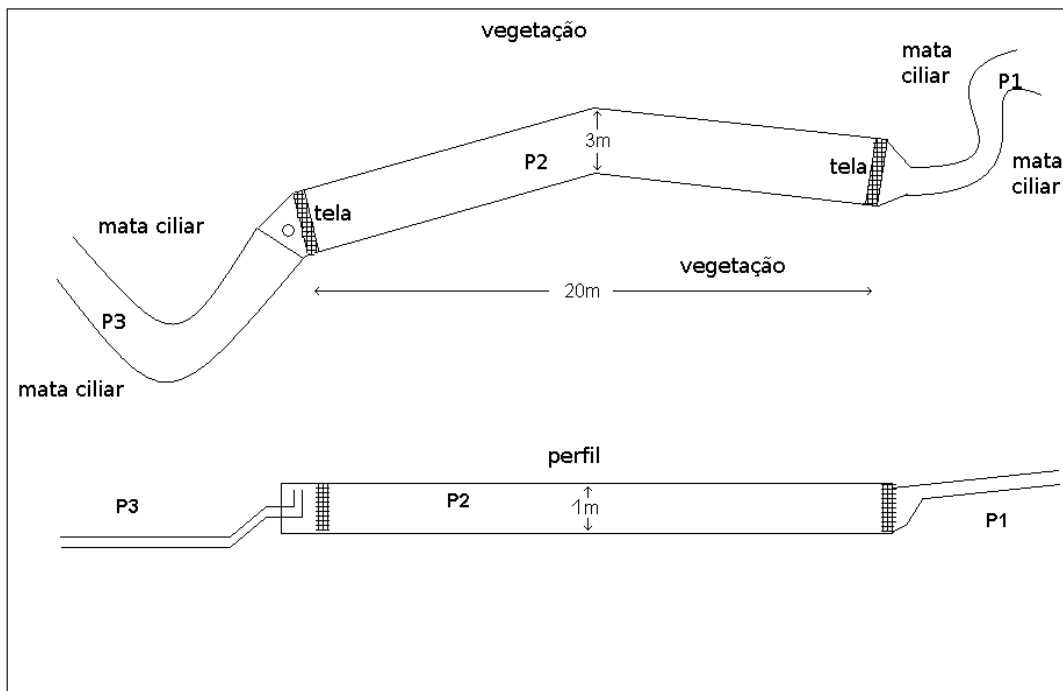
**Figura 5.** Esquema da área de estudo do segundo igarapé do Aquário Exportador. P4 = a montante da confluência do primeiro igarapé; P5 = criação em tanques-rede e P6 = a jusante do P5. O P3 pertence ao primeiro igarapé, localizado a jusante da criação.

### *Sítio do Borrachinha*

O Sítio do Borrachinha, Lote 577, faz parte das Comunidades do Assentamento Tarumã-Mirim (INCRA) inserido na Bacia do rio Tarumã-Mirim (Fig. 1) e o acesso é feito pela rodovia Manaus – Boa Vista (BR 174), km 21, ramal do Novo Paraíso. A piscicultura nessa propriedade foi implantada pelo PROCIMA (Programa de Criação Intensiva de Matrinxã em Canal de Igarapé), com fins experimentais e como atividade econômica e de subsistência à família ali assentada, servindo de modelo para outros assentados.

O igarapé nessa propriedade mantém as características de um ambiente natural, com mata ciliar densa que sombreia todo o corpo d'água, águas pretas, substrato composto de raízes, galhos, folhas e areia. Os pontos 1 (P1) e 3 (P3), a montante e a jusante da criação respectivamente, foram cercados com telas plásticas e, no ponto 2 (P2), local de criação, foram feitos reforços nas margens, utilizando a técnica de rip rap. No P2 o substrato é formado por areia e folhas, pois houve a retirada da mata ciliar (cerca de 2 m nas margens da criação, para facilitar o manejo) e um aplainamento do leito no pequeno trecho (cerca de 20 x 3 m) da criação (Fig. 6).

No cercado, durante o período de estudo, foram criados 500 juvenis de matrinxãs, cujo peso médio no mês de julho de 2005 era 96,86 g, e em julho de 2006 atingiram o peso médio de 582,27 g.



**Figura 6.** Esquema da área de estudo do Sítio do Borrachinha, localizado na bacia do Tarumã-Mirim. P1= a montante da criação; P2= criação e P3= a jusante da criação. O perfil indica o desnível entre os pontos de coleta, sendo que a criação tem cerca de 1 m de profundidade e o igarapé a montante e a jusante tem aproximadamente 0,3 m.

Na Bacia do rio Tarumã-Mirim a ocupação é feita por pequenas propriedades rurais, onde se desenvolvem algumas atividades econômicas como a criação de gado, a produção de carvão, o extrativismo e a agricultura. Os assentamentos do INCRA ocupam a porção norte da bacia.

### 3.2 Qualidade da água

Para avaliar os impactos da piscicultura sobre a qualidade da água dos igarapés, foram realizadas duas excursões no primeiro semestre e duas no segundo semestre do ano de 2006 para determinação dos parâmetros físico-químicos nos diferentes pontos de coleta. As concentrações de oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica e pH da água foram determinadas no local de coleta. As concentrações de amônia total, nitrito, alcalinidade total, dureza total, gás carbônico e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foram determinadas no Laboratório de Fisiologia Aplicada a Piscicultura da CPAQ/INPA, e as concentrações de

fosfato e demanda química de oxigênio (DQO) da água foram determinadas no Laboratório de Química Ambiental da CPCA/INPA.

O material foi coletado a 30 cm de profundidade em garrafas de polietileno de 500 ml, previamente lavadas com solução sulfocrômica e com água destilada, posteriormente foi armazenado na geladeira à temperatura de 10°C.

**Oxigênio dissolvido, temperatura e condutividade elétrica:** foram determinados utilizando um medidor de oxigênio dissolvido e condutividade digital da marca YSI (*Yellow Spring Instruments*) modelo 85/10.

**Potencial Hidrogeniônico:** o pH da água foi medido com um potenciômetro digital da marca YSI modelo 60/10.

**Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>):** foi mesurada através da diferença entre o oxigênio dissolvido, antes e depois da incubação da amostra por cinco dias. As coletas foram feitas em garrafas PET de 300 ml, uma amostra foi embrulhada em papel alumínio e a outra foi fixada com Sulfato Manganoso e Azida.

**Demanda Química de Oxigênio (DQO):** foi determinada pelo processo de oxidação de toda a matéria orgânica da água e titulação com Permanganato de Potássio (KMnO<sub>4</sub>).

**Amônia:** as concentrações de amônia total (NH<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) foram determinadas pelo método colorimétrico segundo Verdouw (1978). As absorbâncias foram obtidas usando um espectrofotômetro da marca Amersham Pharmacia Biotech, modelo Novaspec II.

**Nitrito:** a determinação da concentração de nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) na água foi feita pelo método colorimétrico de Boyd e Tucker (1992). As absorbâncias foram lidas no mesmo espectrofotômetro descrito acima.

**Fosfato:** foi determinado utilizando o sistema automatizado FIA star 5000 (Flow injection analysis) da marca FOSS Tecator.

**Alcalinidade e dureza total:** foi determinada usando o indicador metil-laranja, titulando-se a amostra com uma solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. A determinação da dureza da água foi feita utilizando como indicador o eriocromo-negro-T. O pH da amostra foi mantido constante através de uma solução tampão de NaOH e titulada com uma solução de EDTA (Boyd e Tucker, 1992).

**Gás Carbônico dissolvido:** foi feito segundo Boyd e Tucker (1992), porém, utilizando uma adaptação para o mínimo contato com o ar atmosférico. Para isso, foram utilizadas seringas de 10 mL para a retirada das amostras sem contato com o ar. Foi utilizado como indicador fenolfetaleína e como titulante o carbonato de sódio.

**Íons Sódio e Potássio:** foram determinados utilizando um fotômetro de chama da

marca Micronal, modelo B462.

### 3.3. Indicadores biológicos

Os impactos nos ecossistemas são avaliados há muitos anos utilizando-se bioindicadores. São utilizados para observar, descrever e avaliar estados atuais, para formular estados desejáveis ou para comparar o atual com o desejado (UNESCO, 2005).

A qualidade do hábitat é um dos fatores mais importantes no sucesso de colonização e estabelecimento das comunidades biológicas em ambientes lênticos ou lóticos. A flora e a fauna presentes em um sistema aquático são também influenciadas pelo ambiente físico do corpo d'água como a geomorfologia, a velocidade de corrente, a vazão, o tipo de substrato e o tempo de retenção (Marques; Ferreira; Barbosa, 1999).

Os macroinvertebrados aquáticos são comumente utilizados no biomonitoramento ambiental, pois possuem características como ampla distribuição, amplo leque de respostas a transtornos ambientais e atuam como monitores contínuos dos cursos d'água (Resh e Rosenberg, 1993). Quando ocorre uma mudança no ambiente, as espécies mais resistentes ao distúrbio se adaptam rapidamente e as demais morrem e são substituídas por aquelas mais tolerantes. Essas mudanças freqüentemente resultam num desequilíbrio da comunidade aquática (Patrick e Palavage, 1994).

Para caracterizar os macroinvertebrados bentônicos dos igarapés em todos os substratos disponíveis, a coleta foi dividida em 10 locais sendo três na margem direita, três na margem esquerda (substrato representado, principalmente, por vegetação ciliar, raízes, galhos e folhas depositadas) e quatro no leito do igarapé (substrato composto de areia, folhas depositadas, material particulado galhos e raízes). No segundo igarapé do Aquário Exportador não foram realizadas coletas devido a sua hierarquia. Esse igarapé é de segunda ordem, por isso possui uma comunidade diferenciada dos pequenos igarapés de primeira ordem, tornando difícil uma comparação. A coleta do macroinvertebrados foi feita com o auxílio de uma rede de 345 cm<sup>2</sup> de área e malha de 1 mm<sup>2</sup>. Em seguida, o material foi despejado em sacos plásticos de 10 L, fixados em álcool 80% e etiquetados. Os sacos foram armazenados em caixa térmica, ao abrigo da luz. Quando a triagem era feita imediatamente após a coleta, o material não era fixado em álcool 80%.

No laboratório de Citotaxonomia e Insetos Aquáticos da CPEN/INPA, o material fixado foi lavado sobre peneira de 0,2 mm para a retirada do substrato, depositado em uma bandeja branca e triado com o uso de um microscópio estereoscópico. Os macroinvertebrados triados foram fixados em álcool 80% em recipientes plásticos até o momento da identificação.

Quando a triagem foi realizada logo após a coleta, o material não foi fixado em álcool 80% e a triagem realizada a olho nu. Por fim, os indivíduos triados foram identificados até o nível taxonômico mais baixo possível, separados, contados, etiquetados e conservados em álcool 80% para serem depositados na Coleção Entomológica do INPA. Foram utilizadas bibliografias especializadas (Pes *et al.*, 2005; Merritt e Cummins, 1996; Pérez, 1996; Salles, 2006) para a identificação taxonômica dos organismos coletados.

### 3.4 Análise estatística

O estudo avaliou o impacto ambiental decorrente da piscicultura em Igarapés sobre a qualidade da água e na estrutura de comunidade dos macroinvertebrados aquáticos. Para tanto, os dados obtidos no período chuvoso foram confrontados com aqueles coletados no período de estiagem, posto que as águas das chuvas podem interferir nos valores de algumas variáveis ambientais.

Além disso, o estudo se propôs a comparar os dados obtidos a montante dos locais de criação, ou seja, antes do impacto; no sistema de criação e a jusante deste, a fim de se verificar possíveis alterações na qualidade ambiental provocadas pela atividade e também verificar um processo de autodepuração dos Igarapés.

Os dados dos parâmetros químicos e físico-químicos da água foram testados pela análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas no tempo, e as médias comparadas, posteriormente, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Para essas análises foi utilizado o *software* Statistica 7.

Os padrões de variação dos parâmetros químicos e físico-químicos foram resumidos através de PCA (Análise de Componentes Principais).

A composição de espécies de macroinvertebrados foi resumida por meio de Escalonamento Multidimensional não Métrico (NMDS). O índice de Bray-Curtis foi utilizado como medida de dissimilaridade na matriz de associação. Os eixos de ordenação da composição de espécies obtidos foram usados para descrever os padrões de variação das comunidades. A matriz de dissimilaridade foi construída a partir de dados de abundância das espécies.

Com o intuito de averiguar o comportamento dos pontos de coleta em virtude dessas duas vertentes ambientais, foram correlacionados o eixo mais representativo da PCA com o eixo bidimensional da NMDS. Essas análises multivariadas foram feitas no *software* Systat 9.0.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Qualidade da água**

A manutenção da boa qualidade da água é imprescindível para o funcionamento integral dos ecossistemas, para a qualidade de vida do ser humano e, para algumas atividades produtivas como a aqüicultura.

A aqüicultura é uma atividade produtiva humana que utiliza, de maneira intensiva, os recursos hídricos, competindo pela água disponível diretamente com a população e outros tipos de atividades. O maior impacto da utilização da água por esta atividade é a alteração na sua qualidade (Phillips *et al.*, 1991).

O impacto na qualidade da água, mais comumente relatado, é a adição de nutrientes oriundos da alimentação e das excretas dos peixes, podendo causar eventual depleção de oxigênio. Por sua vez, baixos níveis de oxigênio provocam estresse nos peixes, prejudicando a saúde e, em alguns casos pode provocar a morte dos indivíduos, gerando prejuízos econômicos.

Segundo Melo (1999), para assegurar a saúde dos organismos cultivados, deve-se manter a produção primária e controlar a descarga de efluentes, pois as variáveis da qualidade da água são as características que mais afetam a sobrevivência, o crescimento, a reprodução e o manejo dos peixes.

A extensão dos danos causados no ambiente pela aqüicultura depende de vários fatores, em especial a capacidade do ambiente em diluir e ciclar os dejetos oriundos dos cultivos, e da capacidade de suporte do ambiente, ou seja, o tamanho máximo estável da população de organismos cultivados (Folke e Kautsky, 1992).

O desenvolvimento sustentável desta atividade é completamente dependente da qualidade do ambiente. O comprometimento das áreas de cultivo traria como consequência final um prejuízo para a própria produção, primeiramente reduzindo a taxa de crescimento e, posteriormente, inviabilizando o cultivo.

Entretanto, por sua obrigatória inter-relação como receptora potencial de resíduos de outras atividades humanas, a aqüicultura torna-se merecedora de especial atenção pela possibilidade de se transformar em um sistema de verificação e controle de impactos ambientais oriundos de outras atividades (Pillay, 1992)



**Tabela 3:** Análise estatística dos parâmetros de qualidade da água dos quatro pontos de amostragem do igarapé do Aquário Exportador. Os valores foram separados pela época de coleta (estiagem e chuvosa). Mesma letra indica médias iguais pelo teste de Tukey no nível de significância de 5%. P1 = montante da criação, P2 = ponto da criação e P3 = jusante da criação. Os dados em evidência sinalizam os parâmetros diferentes.

PARÂMENTROS	ANOVA		Teste de Tukey											
	F	Probab.	Estiagem						Chuvoso					
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<i>pH</i>	890,12	p>0,05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<i>Temperatura (°C)</i>	102511,8	p>0,05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<i>OD (mg/L)</i>	380,95	p>0,05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<i>DBO5 (mg/L)</i>	72,12	p>0,05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<i>DQO (mg/L)</i>	281,89	p>0,05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<i>Alcalinidade (mg/L)</i>	268,52	<b>p&lt;0,05</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>b</b>
<i>Dureza (mg/L)</i>	22,64	p>0,05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<i>CO2 dissolvido (mg/L)</i>	65,79	p>0,05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<i>Condutivid. (µS/cm)</i>	605,37	<b>p&lt;0,05</b>	<b>ab</b>	<b>ab</b>	<b>b</b>	<b>ab</b>	<b>ab</b>	<b>ab</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>ab</b>	<b>b</b>	<b>ab</b>
<i>Amônia (mg/L)</i>	5,73	p>0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitrito (µg/L)</i>	24,76	p>0,05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<i>Fosfato (mg/L)</i>	3,62	p>0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Potássio (mg/L)</i>	58,93	p>0,05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<i>Sódio (mg/L)</i>	91,05	p>0,05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a

**Tabela 4:** Análise estatística dos parâmetros de qualidade da água dos quatro pontos de amostragem do igarapé do Sítio do Borrachinha. Os valores foram separados pela época de coleta (estiagem e chuvosa). Mesma letra indica médias iguais pelo teste de Tukey no nível de significância de 5%. P1 = montante da criação, P2 = ponto da criação e P3 = jusante da criação. Os dados em evidência sinalizam os parâmetros diferentes.

PARÂMENTROS	ANOVA		Teste de Tukey					
	F	probabilidade	Estiagem			Chuvoso		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
<i>pH</i>	2432,27	<b>p&lt;0,05</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>b</b>
<i>Temperatura (°C)</i>	92033,8	p>0,05	a	a	a	a	a	a
<i>OD (mg/L)</i>	862,66	p>0,05	a	a	a	a	a	a
<i>DBO5 (mg/L)</i>	383,69	p>0,05	a	a	a	a	a	a
<i>DQO (mg/L)</i>	1441,1	p>0,05	a	a	a	a	a	a
<i>Alcalinidade (mg/L)</i>	286,78	p>0,05	a	a	a	a	a	a
<i>Dureza (mg/L)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>CO2 dissolvido (mg/L)</i>	24,68	p>0,05	a	a	a	a	a	a
<i>Condutividade.(µS/cm)</i>	317,08	p>0,05	a	a	a	a	a	a
<i>Amônia (mg/L)</i>	1,02	p>0,05	-	-	-	-	-	-
<i>Nitrito (µg/L)</i>	2,14	p>0,05	-	-	-	-	-	-
<i>Fosfato (mg/L)</i>	374,80	p>0,05	a	a	a	a	a	a
<i>Potássio (mg/L)</i>	240,59	p>0,05	a	a	a	a	a	a
<i>Sódio (mg/L)</i>	14,00	p>0,05	a	a	a	a	a	a



### 4.1.1 Temperatura

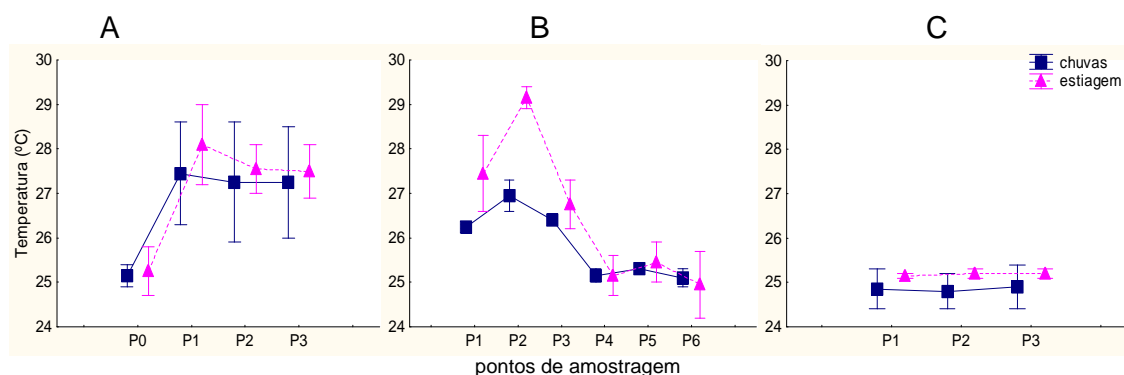
A temperatura da água afeta características físicas, químicas e biológicas do meio aquático como a densidade da água, a solubilidade de gases, a taxa de sedimentação do fitoplâncton, a tensão superficial, as reações químicas e o metabolismo dos organismos aquáticos (Braga *et al.*, 2002). Atua também como fator limitante na colonização dos ambientes e na distribuição geográfica das espécies (Odum, 1983).

Em nenhuma das áreas estudadas foi verificada diferença estatisticamente significativa da temperatura da água entre os pontos de amostragem e entre os períodos de coleta.

No Sítio São Carlos, observa-se valores de temperatura da água bem mais elevados nos pontos P1, P2 e P3 em relação ao ponto P0 (Fig. 7A). As temperaturas mais baixas foram detectadas no P0 (cerca de 1 km a montante da criação) e as mais elevadas no P1 (barragem logo acima da criação).

No Aquário Exportador, a temperatura do primeiro igarapé, no período chuvoso, foi praticamente constante nos diferentes pontos amostrais. Ao contrário, durante a estiagem, a temperatura teve uma oscilação de 2°C entre os pontos P1 (a montante) e P2 (na criação), e este com P3 (a jusante). Observa-se também uma grande elevação na temperatura do P2, nos diferentes períodos de coleta. No segundo igarapé, nos períodos chuvoso e de estiagem, os valores de temperatura foram menores (cerca de 1,5°C) em relação àqueles obtidos no primeiro igarapé, e similares entre os diferentes pontos de coleta (P4 a P6) (Fig. 7B).

No igarapé do Sítio do Borrachinha, os valores médios de temperatura se apresentaram praticamente constantes nos três pontos e nos dois períodos de coleta (Fig. 7C).



**Figura 7.** Valores médios, mínimos e máximos da temperatura da água dos diferentes pontos de amostragem, nos dois meses de coleta no período chuvoso e dois meses no período de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■—) e período de estiagem (—▲—).

Essa variável está diretamente relacionada à cobertura vegetal (Valente *et al.*, 1997, Esteves, 1988), sendo que ambientes mais sombreados, como pequenos cursos d'água e nascentes (ex. igarapé do Sítio do Borrachinha), tendem a apresentar temperaturas menores que grandes rios, lagos ou barragens, onde grande parte da superfície da água está exposta à radiação solar. Isto pode explicar os altos valores de temperatura nos pontos P1, do Sítio São Carlos e P2, do Aquário, locais com maior incidência de sol. Outro fator que afeta a temperatura da água é a temperatura do ar; o que pode ser exemplificado através dos valores médios obtidos nos diferentes igarapés na estação chuvosa que acompanharam as ligeiras quedas na temperatura do ar, próprias desse período na região.

De um modo geral, os resultados obtidos para a temperatura nos três igarapés estudados estão de acordo com aqueles descritos por Schmidt (1972) e Campos (1994), para igarapés que cruzam a BR 174; Arbeláez-Rojas *et al.* (2002), comparando sistemas de piscicultura; Melo *et al.* (2005), para igarapés urbanos de Manaus e Horbe *et al.* (2005), estudando a hidroquímica do rio Puraquequara, Manaus (AM).

#### 4.1.2. Potencial Hidrogeniônico

O pH representa a concentração do íon  $H^+$  na água e indica acidez ou alcalinidade das reações. O pH influencia diversas reações químicas facilitando a formação de substâncias tóxicas como a amônia, em pH elevado ( $>7,0$ ), e gases tóxicos como  $H_2S$  e  $HNO_2$ , em condições ácidas ( $pH < 7,0$ ) (Kubitza, 2003).

Segundo Esteves (1988), as chuvas podem diminuir o pH do meio quando o ambiente tem baixa capacidade de tamponamento e o inverso pode ser causado por macrófitas. No presente estudo, foi possível observar que, no período chuvoso, as águas dos igarapés avaliados apresentaram-se mais ácidas.

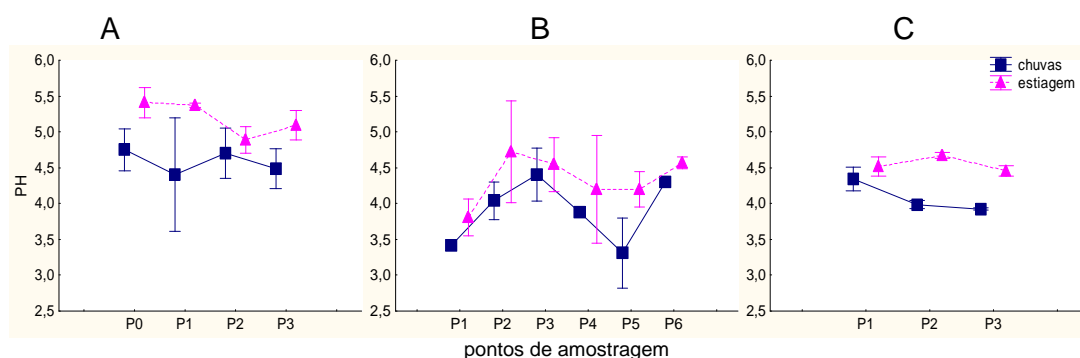
O igarapé do Sítio São Carlos apresentou maiores valores médios de pH no período de estiagem, nos pontos P0 (cerca de 1km a montante da criação) e P1 (barragem a montante da criação) em relação aos mesmos pontos no período chuvoso. O ponto P2 (na criação), no período seco e chuvoso, os valores de pH foram semelhantes, se diferenciando no P3 (a jusante da criação), cujos valores foram menores no período chuvoso e maiores na estiagem. O maior valor de pH foi 5,62 no ponto P0 (estiagem) enquanto o menor foi 3,61 no P1 (chuvas), indicando um ambiente ácido, característico da região (Fig. 8A).

Nesse igarapé a variação de pH ocorreu, principalmente, em função da sazonalidade. Quando a vazão do igarapé estava menor, houve influência da criação de matrinxãs (P2), observada pela queda do pH.

No primeiro igarapé do Aquário Exportador (P1 a P3), os valores médios de pH foram mais ácidos no período chuvoso em relação à estiagem, sendo os menores valores detectados no ponto P1 e os maiores no ponto P3 (Fig. 8B). A contribuição da produção primária é evidenciada pelo aumento do pH no ponto P2, onde houve, também, o aumento na concentração de OD e redução do CO<sub>2</sub>.

No segundo igarapé, os valores médios de pH, a montante da criação (P4), foram mais elevados que os valores obtidos em P1 (1º igarapé), entretanto, o menor valor de pH (2,82) ocorreu no ponto P5 (criação em tanques-rede), no período chuvoso, sendo, em seguida, elevado a jusante da criação (P6). O fator sazonalidade também é evidente nesses igarapés que apresentaram valores mais elevados de pH no período de estiagem.

O igarapé do Sítio do Borrachinha apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os períodos de estiagem e chuvoso. O maior valor de pH (4,7) foi registrado no P2 (na criação), durante a estiagem. Na época das chuvas, houve uma ligeira queda nos valores médios de pH no sentido montante a jusante, sendo o menor valor (3,94) registrado no ponto P3 (Fig. 8C). Esse igarapé apresentou características típicas de igarapés de águas pretas, como descrito por Walker (1990). Essa autora relata que no período de estiagem, os igarapés carregam somente íons estocados no solo, porém, nas primeiras chuvas, os igarapés adquirem uma coloração mais forte, proveniente das substâncias carregadas pelas águas das chuvas, diminuindo os valores de pH.



**Figura 8.** Valores médios, mínimos e máximos do potencial hidrogeniônico da água dos diferentes pontos amostrais nos dois meses de coleta no período chuvoso e dois meses no período de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■) e período de estiagem (—▲).

Os três igarapés tiveram comportamento de pH semelhante a outros igarapés de água preta como os estudados por Sioli (1964), Fittkau (1964), Campos (1994), Izel e Melo (2004),

Horbe *et al.* (2005) e Melo *et al.* (2005), variações apenas sazonais.

#### 4.1.3. Oxigênio Dissolvido (OD)

As concentrações de oxigênio dissolvido na água são fundamentais para a dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos. As principais fontes de oxigênio são a atmosfera, através da difusão, e a fotossíntese. As perdas são resultantes da respiração, da decomposição da matéria orgânica e da oxidação de íons metálicos. Condições de hipóxia ou anóxia têm implicações no metabolismo dos ecossistemas, proporcionando a formação de gases nocivos e alterando a flora e a fauna (Esteves, 1988).

Em sistema de cultivo os peixes, a produção e manutenção dos níveis adequados de OD são fundamentais para a saúde dos peixes; níveis inferiores a 5 mg/L devem ser evitados, utilizando sistemas de aeração. A presença do fitoplâncton é vital para a boa oxigenação dos tanques em sistemas de cultivo fechados e com baixa circulação de água (Kubitza, 2003).

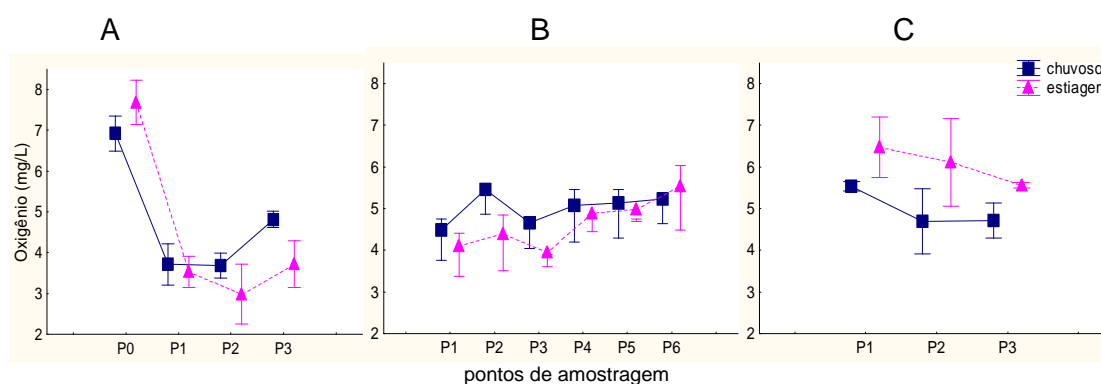
Com relação ao oxigênio dissolvido (OD), o igarapé do Sítio São Carlos apresentou diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre o P0 e os demais pontos de amostragem, tanto na estiagem quanto na época das chuvas (Fig. 9). Nesse ponto, os valores foram, em média, 4mg/L mais elevados. Nos pontos P1 (barragem a montante), P2 (criação) e P3 (a jusante), os valores médios de OD, no período das chuvas, foram maiores que na estiagem, entretanto, as curvas de oxigênio apresentaram o mesmo comportamento nos dois períodos analisados. Os menores valores de OD em P1 e P2 (3,15 e 2,25 mg/L) são justificados pelo acúmulo de matéria orgânica proveniente do fornecimento de ração para a alimentação dos peixes (Kubitza, 2003) e pela alta densidade de estocagem dos peixes (15.000 peixes em 225 m<sup>3</sup>) no canal de igarapé, que foi acentuado pela baixa vazão de água durante este período (Fig. 8A). Após estes pontos, os níveis de OD, nas duas épocas do ano, tendem a aumentar (P3), sugerindo uma melhora deste parâmetro no igarapé (Fig. 9A).

Os pontos de amostragem localizados nos 2 igarapés do Aquário não apresentaram diferenças estatisticamente significativas para os valores de OD entre os pontos e entre os períodos de coleta. No primeiro igarapé (P1, P2 e P3), há uma visível diferença deste parâmetro entre os períodos de coleta, sendo os níveis de OD mais elevados no período chuvoso, onde P2 apresentou cerca de 1mg/L OD maior que P1 e P3. A elevação no nível de OD no P2, em ambos os períodos de coleta, indica aumento da produção primária estimulada pela maior incidência de luz solar, propiciando também o aumento da temperatura da água neste ponto (Fig. 7B). No segundo igarapé, as concentrações de O<sub>2</sub> tiveram valores similares nos 3 pontos de coleta e levemente superiores aos do primeiro igarapé, com exceção do P2

durante a cheia (Fig. 9B).

Os pontos a jusante (P3), do Sítio São Carlos e do Aquário Exportador, recuperam os valores encontrados anteriormente, possivelmente pelo aumento da velocidade da água e pelo turbilhonamento promovido pela construção de rampas ou quedas em desnível que proporcionam maior difusão do oxigênio atmosférico na água.

O igarapé do Sítio do Borrachinha também não apresentou diferenças estatisticamente significativas das concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido entre os pontos e entre as épocas de amostragem. Condições normóxicas foram observadas em todos os pontos analisados na estiagem, cujos valores oscilaram entre 5,06 (P3) a 7,2 (P1) (Fig. 9C).



**Figura 9.** Valores médios, mínimos e máximos de oxigênio dissolvido na água dos igarapés, nos diferentes pontos amostrais nos dois meses de coleta no período chuvoso e dois meses no período de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■—) e período de estiagem (—▲—).

Os valores de oxigênio dissolvido na água descritos nos estudos de Campos (1994), em igarapés influenciados pela BR 174; Arbeláez-Rojas *et al.* (2002) em um canal de igarapé; Izel e Melo (2004), numa barragem de criação de matrinxãs e Melo *et al.* (2005), em igarapés urbanos, são comparáveis aos valores obtidos no presente estudo.

A Resolução CONAMA 351/2005 estabeleceu corpos d'água doce que podem ser destinados à aqüicultura e à atividade de pesca como sendo os corpos d'água da classe 2. Portanto, para este fim, foi estipulado que os valores de oxigênio dissolvido na água não devem ser inferiores a 5 mg/L, porém, esses valores referenciais não levam em consideração as condições encontradas nos igarapés de águas pretas da Amazônia Central (Lopes, 2003). Nesses igarapés, as baixas concentrações de OD são decorrentes da baixa produção primária (Vannote, 1980; Walker, 1985).

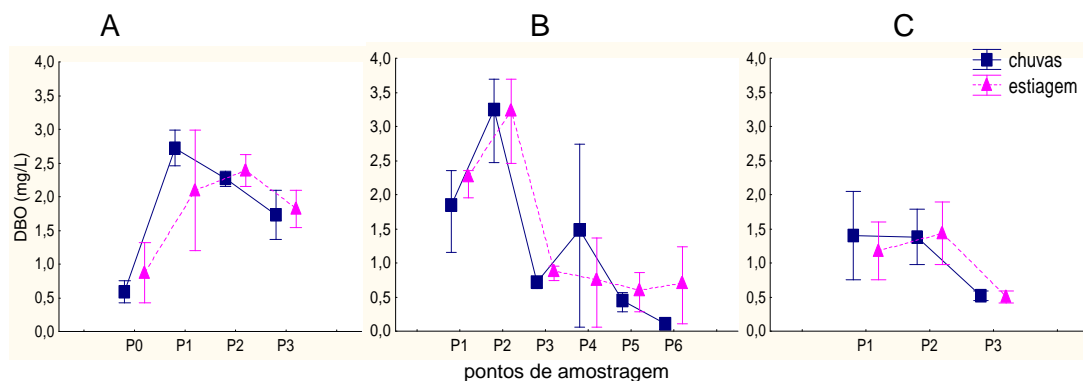
#### 4.1.4. Demanda Bioquímica de Oxigênio

A demanda bioquímica de oxigênio é a quantidade de oxigênio dissolvido na água necessária para a decomposição da matéria orgânica, ou seja, é o oxigênio respirado pelos decompositores aeróbicos para a decomposição completa da matéria orgânica. Funciona como uma medida do potencial poluidor de certas substâncias biodegradáveis. A medida de DBO, que usualmente se determina, é a fração carbonatada da matéria orgânica, o qual leva em torno de cinco dias para ser degradada, por isso o uso do símbolo  $DBO_5$  (Valente *et al.*, 1997; Braga *et al.*, 2002).

Os pontos de amostragem do igarapé do Sítio São Carlos apresentaram valores estatisticamente semelhantes entre si no período de estiagem e, no período chuvoso, o ponto P0 apresentou valor menor e estatisticamente diferente dos pontos P1 e P2. Os menores valores de  $DBO_5$  foram obtidos no P0 e P3 comparados àquelas dos demais pontos, em ambos os períodos. O maior valor ocorreu no P1 (barragem), na época chuvosa, cujos valores médios ( $2,72\text{mg/L O}_2$ ) foram aproximadamente cinco vezes maiores que no P0 ( $0,59\text{mg/L O}_2$ ). Na estiagem, o maior valor de  $DBO_5$  ocorreu no P2 (criação) (Fig. 10A).

O primeiro igarapé do Aquário Exportador apresentou um pico máximo no P2 ( $3,24\text{mg/L O}_2$ ), em ambos os períodos de coleta. No ponto P3, os valores médios nos períodos de chuva ( $0,71\text{mg/L O}_2$ ) e estiagem ( $0,89\text{mg/L O}_2$ ), diminuíram cerca de cinco vezes em relação ao P2. No segundo igarapé, os valores médios de  $DBO_5$ , de todos os pontos amostrais no período de estiagem foram similares, enquanto no período chuvoso os maiores valores foram observados em P4 e os menores em P6. Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os pontos e entre os períodos de coleta.

O igarapé do Sítio do Borrachinha, assim como no Sítio São Carlos, não apresentou variações sazonais nas concentrações de  $DBO_5$ . Cada ponto de amostragem, em ambos os períodos, apresentaram valores médios semelhantes entre si, cujos valores de P1 (montante) e P2 (criação), foram mais elevados que aqueles do P3 (a jusante). Nesse igarapé, os pontos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si e nos dois períodos amostrados (Fig. 10C).



**Figura 10:** Valores médios, mínimos e máximos da demanda bioquímica de oxigênio na água encontrados em cada ponto de amostragem nos períodos chuvoso e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■) e período de estiagem (—▲).

Essa variável também está relacionada à entrada de nutrientes na água, como pode ser observado nos resultados entre os pontos referentes à criação e os pontos mais extremos dos igarapés estudados. Nos pontos com características lânticas (P1 do Sítio São Carlos e P2, do Aquário Exportador), o acúmulo de material orgânico, devido a maior sedimentação e a presença de peixes, contribuem para elevar os níveis de DBO. As cargas de matéria orgânica nos pontos da criação são oriundas, sobretudo, da excreção dos peixes e restos de ração não consumida. Porém, mais uma vez, os pontos subsequentes apresentam valores mais baixos, decorrentes da aeração promovida pelo aumento da velocidade e por mecanismos de turbilhonamento como rampas.

Num estudo feito no rio Puraquequara por Lopes e Silva (1999) foram encontrados valores maiores na época da estiagem, porém, na época chuvosa, os valores foram comparáveis aos do presente trabalho, sugerindo uma maior carga de matéria orgânica nos igarapés estudados, posto que o rio Puraquequara recebe efluentes de diversas outras atividades antrópicas. A Resolução CONAMA 351/2005 estabelece valores inferiores a 5 mg/L de DBO<sub>5</sub> para rios de classe 2.

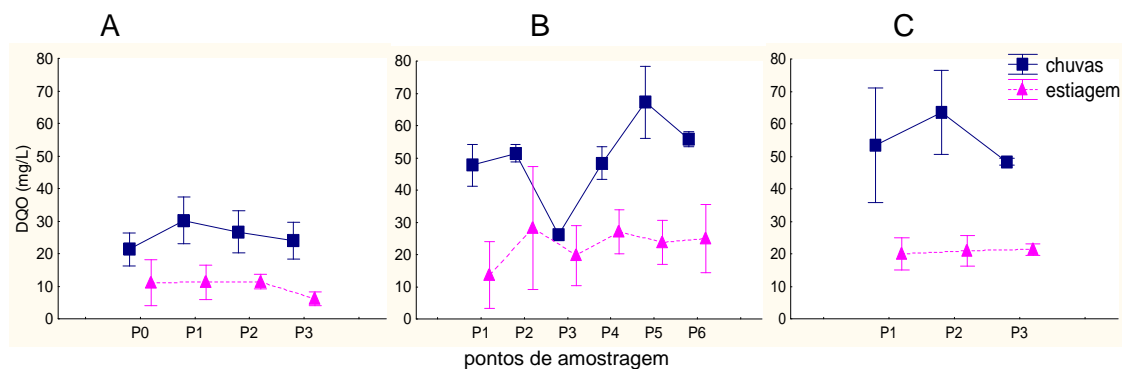
#### 4.1.5. Demanda Química de Oxigênio

A DQO é um indicador da presença de matéria orgânica na água, baseado na concentração de oxigênio consumida para degradar a porção biodegradável e as demais partes não biodegradáveis provenientes de efluentes como, por exemplo, os industriais (Valente *et al.*, 1997). A DBO representa a parte biodegradável da DQO.

No Sítio São Carlos, o ponto P0 mostrou-se estável para essa variável, com valores semelhantes nos períodos de estiagem e chuvoso. Embora os demais pontos (P1 a P3) tenham apresentado o mesmo comportamento nos diferentes períodos, os valores médios de DQO obtidos na época chuvosa foram duas vezes maiores (24,01 a 30,24mg/L O<sub>2</sub>) que os determinados na época de estiagem (8,28 a 16,56mg/L O<sub>2</sub>), (Fig. 11A). Apesar disto, não foram observados diferenças estatisticamente significantes entre os dois períodos analisados, nos mesmos pontos amostrais.

No Aquário Exportador, no primeiro e no segundo igarapé, os valores médios de DQO dos diferentes pontos foram semelhantes e com pouca oscilação durante a época de estiagem. Diferentemente, os valores médios, durante as chuvas, foram elevados, sendo os maiores valores obtidos no P3 (criação no 1º igarapé) e no P5 (criação no 2º igarapé) (Fig. 11B). Apesar disso, a análise estatística não demonstrou diferenças significativas.

No Sítio do Borrachinha, as concentrações de DQO apresentaram valores distintos entre as duas épocas de coleta, em todos os pontos amostrais, sendo os valores médios mais elevados obtidos durante o período chuvoso. Entretanto, estes não foram estatisticamente significativos.



**Figura 11:** Valores médios, mínimos e máximos da demanda química de oxigênio na água encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■—) e período de estiagem (—▲—).

Segundo Schmidt (1972) os altos valores de DQO encontrados nos igarapés de terra firme da Amazônia Central são decorrentes da permanente entrada de material alóctone do ambiente terrestre adjacente desses pequenos corpos d'água. Outros trabalhos como o de Campos (1994); Lopes e Silva (1999) e Horbe *et al.* (2005) mostram valores de DQO bem diversos, variando de 5,88 mg/L a 105 mg/L. A DQO obtida nos diferentes igarapés



estudados apresentaram valores médios maiores no período chuvoso em relação a estiagem, corroborando com os resultados descritos por Lopes e Silva (1999).

#### 4.1.6. Alcalinidade Total

Alcalinidade total é a concentração de íons bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) quase sempre de metais alcalinos ou alcalino-terrosos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , etc.), sendo expressa em equivalentes de carbonato de cálcio por litro ( $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ). A alcalinidade total indica a capacidade do ambiente de manter o pH constante e estável, ou seja, é a capacidade de tamponamento do sistema (Esteves, 1988; Kubitza, 2003). O processo de formação dos íons bicarbonato envolve o  $\text{CO}_2$  e a presença de rochas ricas, principalmente, em cálcio e magnésio (Kubitza, 2003).

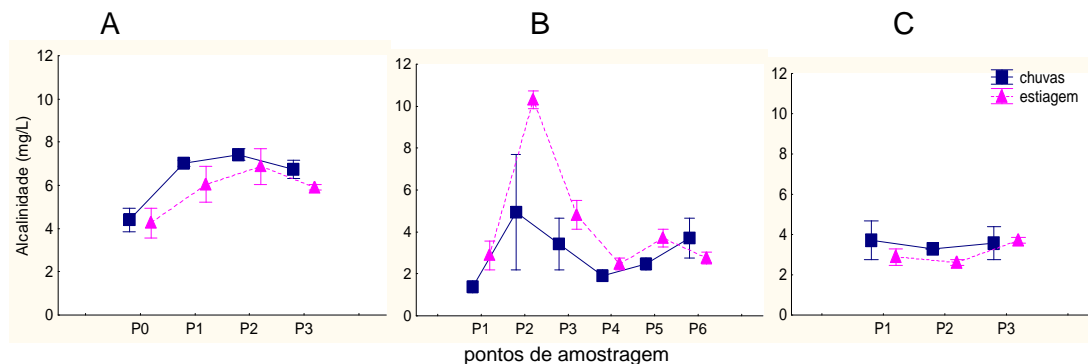
No igarapé do Sítio São Carlos, o comportamento das curvas de alcalinidade, nos dois períodos de estudo, foram similares (Fig. 12A). O ponto P0 (1 km a montante da criação) foi o que apresentou menor valor médio nos períodos de estiagem (4,26mg/L) e chuvoso (4,4mg/L) em relação aos demais pontos e períodos de coleta, os quais foram estatisticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) de P2.

O aumento da alcalinidade total no P2 em relação ao P0 pode ser explicado pelo aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  (Fig. 14A), resultante da respiração dos peixes e dos microorganismos provocado pelo lançamento de matéria orgânica proveniente da alimentação dos peixes, evidenciada também pelo aumento da DBO (Fig. 10A).

No Aquário Exportador, os valores médios de alcalinidade, no primeiro igarapé, apresentaram-se mais elevados no P2 (criação) comparados aos demais pontos no mesmo período de coleta. Estes foram significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) no período de estiagem, sendo 10,3mg/L o maior valor médio determinado neste igarapé. No segundo igarapé, os valores de alcalinidade praticamente mantiveram-se constantes e baixos em relação ao 1º igarapé. Nos dois igarapés, foi verificada uma variação sazonal da alcalinidade. A decomposição de substâncias provenientes da piscicultura, assim como a respiração dos peixes podem estar relacionadas ao aumento da alcalinidade nos pontos de criação (P2) devido à liberação do  $\text{CO}_2$  na água, o que favoreceu a formação de íons bicarbonato. Mesmo assim, os valores encontrados aqui são baixos, caracterizando os ambientes como tendo baixa capacidade de tamponamento da água. Schmidt (1972), Campos (1994) e Melo *et al.* (2005) encontraram valores semelhantes aos desse trabalho.

O igarapé do Sítio do Borrachinha apresentou um comportamento semelhantes entre os dois períodos de coleta (Fig. 12C). Os valores médios mínimos e máximos foram 2,6, na

estiagem e 3,7 mg/L, nas chuvas. A alcalinidade total desse igarapé não foi influenciada pela criação de peixes e, tampouco, pela sazonalidade, sendo ainda, pouco influenciado pelo substrato que era composto por areia.



**Figura 12:** Valores médios, mínimos e máximos da alcalinidade da água encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■—) e período de estiagem (---▲---).

#### 4.1.7. Dureza Total

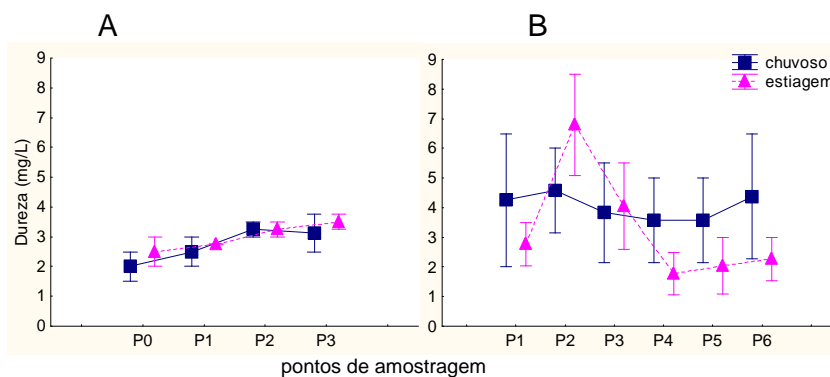
Dureza é a característica conferida à água pela presença de sais de metais alcalino-terrosos, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  presentes em terrenos calcários. Na região da Amazônia Central, predominam sedimentos terciários pobres (Sioli, 1985), sendo, na maior parte das águas naturais, a alcalinidade igual à dureza (Esteves, 1988). Esses metais, no meio natural, se encontram associados aos íons carbonato e bicarbonato (Kubitza, 2003). As chuvas também influenciam nas concentrações desses cátions, elevando seus valores nos corpos d'água.

No Sítio São Carlos, os valores médios de dureza total apresentaram comportamento semelhante nas duas épocas de coleta, cujos valores médios variaram entre 2 a 3,5mg/L (Fig. 13A).

No Aquário Exportador, o período chuvoso mostrou valores médios semelhantes entre os diferentes pontos de ambos os igarapés, cujos valores oscilaram de 3,57 e 4,57mg/L. Na estiagem, no 1º igarapé, os valores de dureza apresentaram um pico máximo no P2 (6,8mg/L) em relação aos demais (Fig. 13B). No 2º igarapé, os valores de dureza total, no período de estiagem, foram inferiores àqueles obtidos durante o período chuvoso e em relação ao 1º igarapé, no mesmo período de coleta.

Os valores de dureza obtidos nos igarapés do sítio São Carlos e do Borrachinha não

foram influenciados pela criação de peixes nem pela sazonalidade. No igarapé do Aquário Exportador, foi observada uma diferença na dureza da água em função da sazonalidade (P2), indicando maior variação deste parâmetro no período de estiagem, quando a vazão da água é reduzida. Mesmo assim, os valores de dureza total foram baixos ( $< 8$  mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ), característica típica da região e semelhantes àqueles descritos por Sioli (1964); Schmidt (1972) e Campos (1994).



**Figura 13:** Valores médios, mínimos e máximos da dureza da água encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos e B = Aquário exportador. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■) e período de estiagem (—▲).

No Sítio do Borrachinha, os valores de dureza total no igarapé estudado, estiveram abaixo do limite do método.

Nenhum dos pontos de coleta apresentou diferenças estatísticas significativas entre si e entre os períodos de coleta.

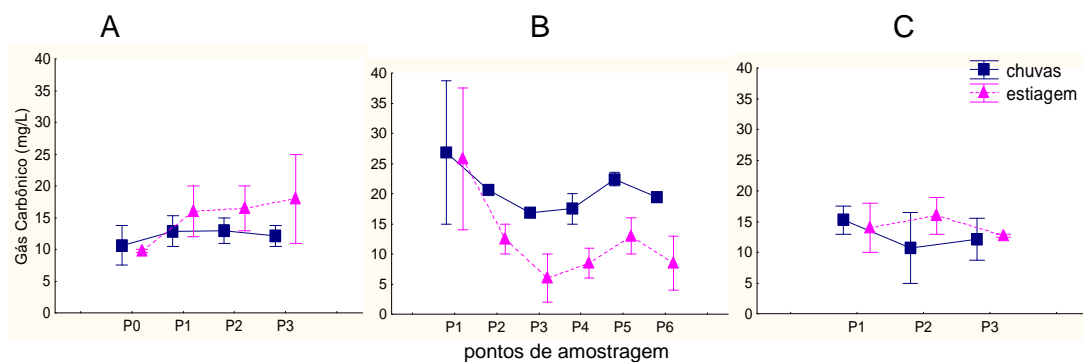
#### 4.1.8. Gás Carbônico

O gás carbônico é mais encontrado combinado com outros compostos. Em pH ácido (4), está na forma de ácido carbônico, em pH neutro (8), se encontra como bicarbonato e em pH alcalino (10), está como íon carbonato. Quanto maior a produção primária, menor a concentração de CO<sub>2</sub>, já quando há muita decomposição e respiração, as concentrações desse gás são elevadas. A sua distribuição na coluna d'água é inversa à do oxigênio (Esteves, 1988).

No sítio São Carlos, as concentrações de CO<sub>2</sub> dissolvido na água, nos dois períodos de coleta, apresentaram comportamento similar, sendo os valores mais elevados obtidos nos pontos P1 a P3, na estiagem (Fig. 14A). Não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre os pontos de coleta e os períodos de estiagem e chuvoso. O efeito da criação de peixes sobre a concentração de CO<sub>2</sub> foi potencializado pela sazonalidade, o que pôde ser verificado pelo maior aumento da concentração deste gás nos pontos P1 e P2 na estiagem (setembro), em relação ao P0 (Fig. 14A). Em P3, os valores permaneceram elevados, indicando que a vazão de água na estiagem não foi suficiente para recuperar o sistema.

Da mesma forma, no Aquário Exportador, o CO<sub>2</sub> apresentou um comportamento similar entre os períodos chuvoso e de estiagem, tanto no 1º quanto no 2º igarapé (Fig. 14B). Os maiores valores médios de CO<sub>2</sub> obtidos foram no P1, em ambos os períodos, com uma diminuição nos demais pontos. Em ambos os igarapés, as áreas entre P2 a P6, apresentaram os maiores valores de CO<sub>2</sub> no período de chuvas. Apesar da nítida diferença entre os períodos de estiagem e chuvoso, essa diferença não foi detectada pelo teste estatístico. Uma variação sazonal do CO<sub>2</sub> foi detectada. No período da chuva, a concentração nos pontos P2 e P3 foi mais elevada em função da maior vazão de água proveniente de P1 (nascente) rico em CO<sub>2</sub>. Na estiagem, houve uma maior diminuição do CO<sub>2</sub> dentro da criação (P2), resultado do efeito da produtividade primária e em função da menor vazão de água.

No igarapé do Sítio do Borrachinha, as concentrações de CO<sub>2</sub> apresentaram uma pequena variação nos períodos chuvoso e de estiagem (Fig. 14C). No ponto P2 os valores de CO<sub>2</sub> foram distintos nos diferentes períodos de estudo. A análise estatística não demonstrou diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes pontos e entre o mesmo ponto no período chuvoso e de estiagem. A pequena variação dos níveis de CO<sub>2</sub> do igarapé do sítio do Borrachinha não foi influenciada pela criação de peixes e, tampouco, pela sazonalidade, demonstrando que a criação de peixe teve pequena influência sobre este parâmetro.



**Figura 14:** Valores médios, mínimos e máximos de gás carbônico dissolvido da água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■) e período de estiagem (---▲).

#### 4.1.9. Condutividade Elétrica

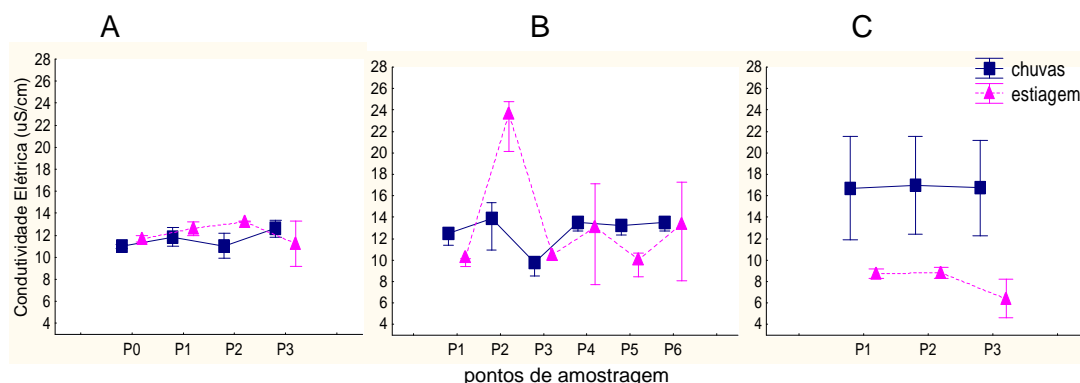
A condutividade elétrica é a capacidade da água de conduzir corrente elétrica e está diretamente relacionada com a salinidade, ou seja, com a concentração de partículas ionizadas dissolvidas na água (Boyd e Tucker, 1992).

No Sítio São Carlos, a condutividade elétrica do igarapé estudado apresentou comportamento semelhante nos dois períodos de coleta, cujos valores praticamente mantiveram-se constante em todos os pontos (Fig. 15A). Essa pequena variação dos valores de condutividade da água indicou que não houve influência da criação de peixes nem da sazonalidade, corroborando com as observações de Horbe *et al.* (2005) em estudo realizado na bacia do rio Puraquequara.

No Aquário, o primeiro igarapé apresentou diferenças estatísticas entre os valores de condutividade elétrica no período de estiagem e de chuvas. O ponto 2, da criação, apresentou-se diferente dos pontos 1, 3 e 5, no período de estiagem e do P3, nas chuvas. No primeiro igarapé, os valores médios obtidos no P2, durante a estiagem, foram duas vezes maiores que aqueles de P1 e P3. Esse fato pode estar relacionado com o aumento da dureza da água (Fig.12B), sugerindo que, no período de menor vazão, a criação tem um efeito maior sobre o sistema. No período chuvoso, a condutividade da água manteve-se estável em todos os pontos. Valores semelhantes a estes foram obtidos em todos os pontos do segundo igarapé, com uma pequena oscilação nos valores do P2 (Fig. 15B).

No igarapé do Sítio do Borrachinha, os valores médios de condutividade na água do igarapé, no período de chuvas, foram duas vezes maiores em todos os pontos amostrais, cujos

valores médios mínimos e máximos oscilaram entre 6,4 (P3- estiagem) e 16,95 $\mu$ S/cm (P2 – chuvoso) (Fig. 15C). A diferença sazonal observada é típica na região, estando o aumento da condutividade no período chuvoso relacionado com a entrada de sais provenientes das águas das chuvas (Fittkau, 1964; Junk e Furch, 1985). Campos (1994), Lopes (1999), Pascoaloto (2001), Arbeláez-Rojas *et al.* (2002), e Melo *et al.* (2005) encontraram resultados semelhantes aos observados aqui, sugerindo que a atividade piscícola não alterou esse parâmetro.



**Figura 15:** Valores médios, mínimos e máximos da condutividade elétrica da água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■) e período de estiagem (—▲).

#### 4.1.10. Amônia Total ( $\text{NH}_3$ - $\text{NH}_4^+$ ) e Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ )

O nitrogênio é fundamental para o metabolismo do ambiente, pois é o principal componente das proteínas que, por sua vez, são os principais componentes da biomassa. O nitrogênio em baixas concentrações é fator limitante para a produção primária. O íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), juntamente com o nitrato, são a parte biodisponível do nitrogênio incorporado ao meio. A absorção desse íon é energeticamente mais viável (Esteves, 1988).

Quando o pH é alcalino (> 9) e a temperatura é maior de 26°C, ocorre a transformação do íon amônio em amônia ( $\text{NH}_3$ ), um gás tóxico (Esteves, 1988). Dessa forma, o ambiente perde o nitrogênio para a atmosfera (Esteves, 1988). A amônia entra no sistema através do metabolismo dos peixes e pela degradação da ração não consumida (Kubitza, 2003).

O nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) é um produto da atividade biológica relacionada com a decomposição de componentes das proteínas da matéria orgânica. É o composto intermediário no processo de nitrificação, que transforma amônia ( $\text{NH}_3$ ) em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), principal fonte de nitrogênio para os produtores primários. Quando em altas concentrações, o nitrito é extremamente

tóxico, o que ocorre em condições de hipóxia ou apóxia (Esteves, 1988).

Em todos os igarapés estudados, os valores de amônia e nitrito foram baixos e sem diferenças significativas entre os diferentes pontos amostrais e entre os períodos de coleta (Fig. 16 e 17).

No igarapé do Sítio São Carlos, as concentrações de amônia e nitrito apresentaram comportamento similar entre os pontos P0 a P2, nos dois períodos de coleta, divergindo no P3. O maior valor médio de amônia e de nitrito foram obtidos no P0 (0,73mg/L e 12,9µg/L, respectivamente)(Fig. 16A e 17A).

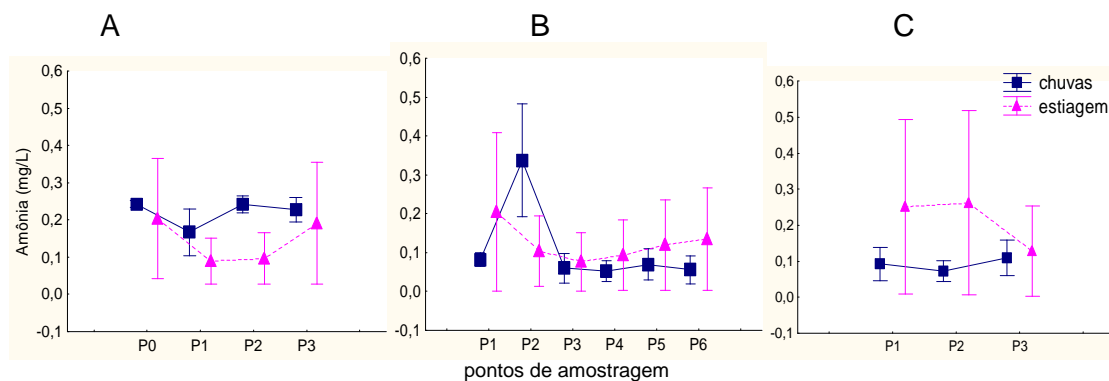
No Aquário Exportador, as concentrações de amônia total e nitrito apresentaram um padrão diferenciado nos dois igarapés estudados. No primeiro, os valores médios de amônia apresentaram um valor máximo no P2 (0,34mg/L), cerca de 4 vezes maior que os valores obtidos nos pontos P1 e P3, na mesma época do ano. Durante a estiagem, o maior valor médio de amônia foi detectado no P1, o qual diminuiu, cerca de 50%, do seu valor nos pontos P2 e P3. No segundo igarapé, as concentrações de amônia apresentaram um padrão e valores médios similares nos diferentes pontos e períodos analisados (Fig. 16B).

Já os valores de nitrito mostraram-se praticamente constantes, na estiagem, enquanto que no período chuvoso, variaram de 0 a 4µg/L nos dois igarapés (Fig.17B).

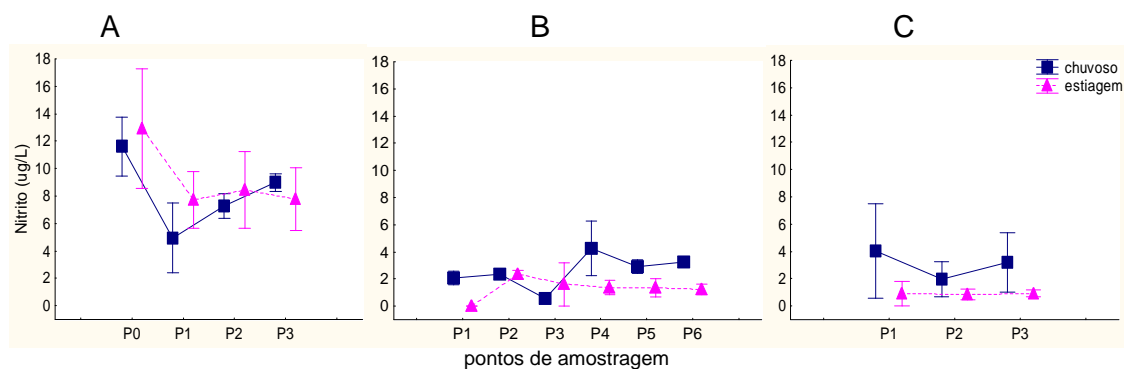
No igarapé do Sítio do Borrachinha, os valores médios de amônia total e nitrito foram inversos. Enquanto as concentrações de amônia foram maiores na estiagem, os valores de nitrito foram menores. Por outro lado, o comportamento das curvas, no período chuvoso, foi similar para os dois parâmetros (Fig. 16 e 17C). O P2 (criação) apresentou valores inferiores aos pontos P1 e P3. Os valores de nitrito mais elevados (3,26 e 7,52µg/L) foram obtidos no mês de maio (chuvoso), durante uma forte chuva a ponto do igarapé transbordar.

De modo geral, os valores das concentrações de amônia total e nitrito obtidos nesse estudo foram baixos, entre valores não detectáveis a 0,73 mg/L  $\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$  e 0,002 mg/L e 0,01mg/L  $\text{NO}_2^-$ , respectivamente. Schmidt (1972) e Campos (1994) estudando igarapés naturais obtiveram resultados semelhantes aos encontrados nesse trabalho. A Resolução do CONAMA 351/2005 estabelece o valor de 3,7 mg/L para a amônia total, um valor muito superior aos encontrados em todos os igarapés estudados.

Os resultados sugerem que os três igarapés avaliados não estão comprometendo o ambiente aquático com altas cargas de nutrientes, de origem nitrogenada.



**Figura 16:** Valores médios, mínimos e máximos da amônia total ( $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$ ) na água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■) e período de estiagem (—▲).



**Figura 17:** Valores médios de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) na água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■) e período de estiagem (—▲).



#### 4.1.12. Fosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>)

O fósforo é fundamental ao metabolismo energético dos organismos, pois faz parte da estrutura da membrana celular e do ATP. Em baixa concentração, torna-se fator limitante à produção primária. Juntamente com os compostos nitrogenados, os compostos fosfatados são os principais responsáveis pela eutrofização dos ecossistemas aquáticos (Esteves, 1998; Braga *et al.*, 2002).

O ortofostato (íon fosfato) é a principal fração assimilada pelos vegetais aquáticos, porém, em meio natural, é praticamente insignificante em relação às demais frações (Esteves, 1988).

No Sítio São Carlos, a maior concentração de fosfato (0,19mg/L) foi obtida no ponto P0, no período de chuvas. O P0, durante a estiagem, e os pontos P1, P2 e P3 apresentaram valores baixos e similares nos dois períodos de coleta, inferiores a 0,03mg/L (Fig. 18A).

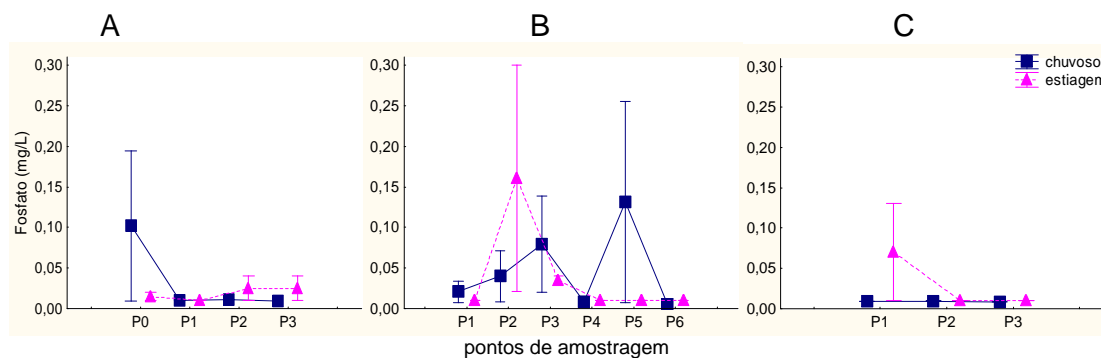
No Aquário Exportador, os valores médios de fosfato, nos dois igarapés no mesmo período de coleta, apresentaram características distintas. No primeiro igarapé, o pico máximo foi obtido no P2 (criação), durante a estiagem, cujos valores médios de P1, P2 e P3 foram 0,01, 0,16 e 0,04mg/L. No segundo igarapé, o pico máximo (0,13mg/L) foi obtido no P5 (criação), durante o período chuvoso (Fig. 18B).

A Resolução CONAMA 351/2005 estabelece para o parâmetro fósforo total o valor máximo nessa classe de água de 0,05 mg/L. Como o íon fosfato é uma fração do parâmetro fósforo total, esses altos valores de fosfato nos pontos P2 e P5, principalmente, sugerem uma forte contribuição da ração animal e dos excrementos dos peixes para o enriquecimento de fósforo na água.

No Sítio do Borrachinha, os valores médios de fosfato obtidos no período chuvoso foram semelhantes entre os três pontos amostrais (0,01mg/L). Na estiagem, o ponto P1 apresentou maior concentração de fosfato (0,07mg/L) para este igarapé (Fig. 18C). Esse fato não persistiu nos pontos subsequentes (0,01mg/L para os dois pontos).

Tanto nesse igarapé como no igarapé do sítio São Carlos, os altos valores médios de fosfato nos pontos a montante da criação indicam a não contribuição dessa para esse fato.

Outros trabalhos (Sioli, 1964; Campos, 1994 e Horbe *et al.*, 2005) apresentaram valores bem inferiores aos valores médios desse estudo.



**Figura 18:** Valores médios, mínimos e máximos de fosfato ( $P-PO_4^{-3}$ ) na água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■—) e período de estiagem (—▲—).

#### 4.1.13. Sódio ( $Na^+$ ) e Potássio ( $K^+$ )

Os íons sódio e potássio são essenciais à biota tendo papel fundamental nos processos de regulação osmótica. Enquanto o sódio é considerado um dos elementos mais abundantes da Terra, o potássio ocorre em baixas concentrações e possui uma distribuição restrita. As concentrações de potássio na água são muito baixas decorrentes da alta resistência das rochas ao intemperismo químico, sendo muito utilizado na indústria e na agricultura (CETESB, 2006).

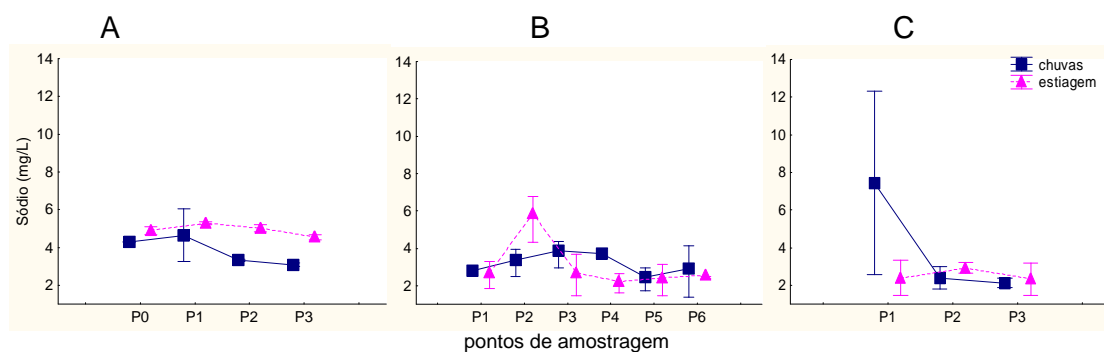
Junk e Furch (1980) observam que esses íons podem ser utilizados para classificar as águas amazônicas, posto que há uma diferença marcante entre as composições de metais alcalinos e alcalinos-terrosos. Os primeiros, apresentando maiores concentrações em águas pretas e os segundos, em águas brancas e quase ausentes em águas pretas. Sioli (1950, 1965 *apud* Junk, 1983) utiliza, além de outros fatores, a composição iônica para classificar as águas dos rios amazônicos.

No Sítio São Carlos, os maiores valores médios de  $Na^+$  e  $K^+$  foram detectados no período de estiagem. As curvas de estiagem e das chuvas apresentaram um comportamento similar para os dois íons (Fig. 19A e 20A), sendo que os valores estiveram maiores na estiagem. O ponto P1 (a montante) apresentou maior valor médio nos dois períodos. Nos pontos subsequentes houve uma queda gradativa das concentrações dos íons sódio e potássio. O íon  $K^+$  apresentou diferenças sazonais estatisticamente significativas nesse igarapé.

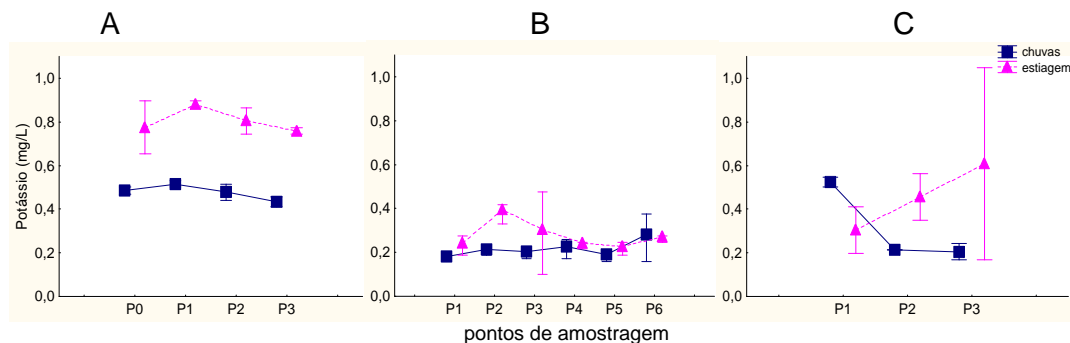
No Aquário, as concentrações de sódio e potássio mostraram um valor máximo (5,8mg/L e 0,39mg/L, respectivamente) no P2 (criação), durante a estiagem (Fig. 19B e 20B).

Na época chuvosa, os pontos apresentaram concentração média de potássio de 0,20mg/L, somente o ponto 6 (a jusante de todo o sistema), apresentou concentração ligeiramente mais elevada de 0,28mg/L (Fig.20B). Em relação ao íon sódio, houve uma elevação dos valores do ponto P1 ao P3 e diminuição no segundo igarapé (Fig. 19B). Não houve diferenças estatísticas significativas sazonais ou entre os pontos de amostragem.

No Sítio do Borrachinha, o ponto P1 (a montante), no período de chuvas, apresentou valor médio de  $\text{Na}^+$  três vezes maior em relação ao mesmo ponto durante a estiagem e em relação aos demais pontos nos dois períodos de coleta (Fig. 19C). O íon potássio apresentou o valor médio, nesse ponto, duas vezes maior que o valor médio da estiagem e que os valores dos pontos seguintes P2 (criação) e P3 (jusante). No período de estiagem, as concentrações de sódio apresentaram-se levemente mais elevadas no ponto P2 da criação (Fig. 19C) e as concentrações de potássio foram crescentes do ponto 1 (montante da criação), apresentando um valor de 0,30mg/L, ao ponto 3 (jusante da criação), com 0,61mg/L. (Fig. 20C). Não houve diferenças estatísticas significativas sazonais ou entre os pontos de amostragem.



**Figura 19:** Valores médios, mínimos e máximos de sódio ( $\text{Na}^+$ ) na água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■—) e período de estiagem (—▲—).



**Figura 20:** Valores médios, mínimos e máximos de potássio ( $K^+$ ) na água, encontrados em cada ponto de amostragem nas épocas chuvosa e de estiagem. A = Sítio São Carlos, B = Aquário exportador e C = Sítio do Borrachinha. P0 (1 km a montante), P1 (a montante), P2 (na criação), P3 (a jusante), P4 (a montante do 2º igarapé), P5 (na criação do 2º igarapé) e P6 (a jusante do 2º igarapé). Período chuvoso (—■—) e período de estiagem (—▲—).

Esses íons mostraram maiores concentrações nos pontos com características lênticas como o P2 do Aquário Exportador, acompanhando os resultados obtidos para a condutividade. A baixa pluviosidade também favoreceu a concentração desses íons. No sítio do Borrachinha, o ponto P1, a montante da criação, mostrou uma alta concentração desses dois íons indicando uma entrada anterior à criação não detectada nos pontos a jusante.

Os valores médios do íon potássio encontrados no presente trabalho foram similares àqueles descritos nos trabalhos de Schmidt (1972) e Horbe *et al.* (2005). Embora a concentração deste íon tenha apresentado variação sazonal nos três igarapés estudados, os valores absolutos foram baixos. As concentrações de sódio foram mais elevadas do que aquelas encontradas por Horbe *et al.* (2005) e Junk e Furch (1985). Entretanto, em valores absolutos, assim como o potássio, as concentrações de sódio foram baixas, confirmando a baixa condutividade elétrica.

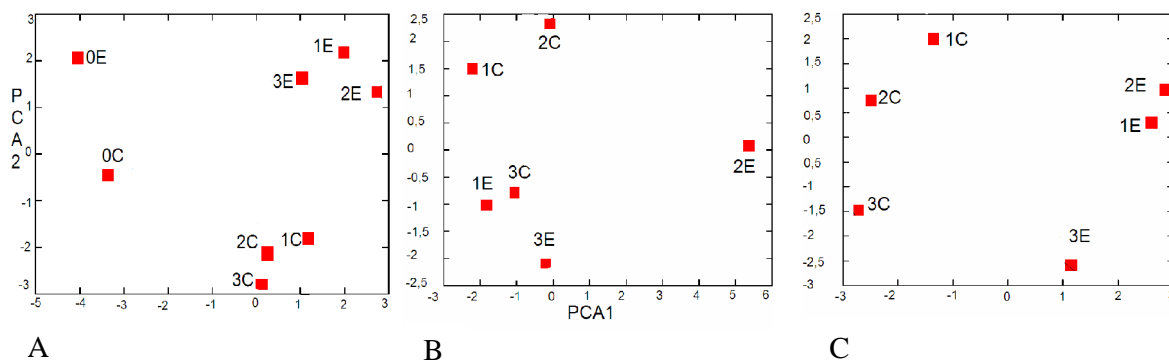
A avaliação feita no presente estudo sugere que os igarapés estudados apresentaram-se semelhantes a outros igarapés da região, isso dado à similaridade entre os dados aqui obtidos e os de Fittkau (1964) e Sioli (1964), no estudo de igarapés não impactados; Schmidt (1972) e Campos (1994), em igarapés influenciados pela BR 174; Horbe *et al.* (2005), no rio Puraquequara e num pequeno afluente desse e; Melo *et al.* (2005), no estudo das cabeceiras dos igarapés que cruzam o município de Manaus. Os resultados mostraram ainda que houve poucas alterações nas características químicas e físico-químicas da água dos igarapés avaliados, decorrentes da atividade piscicultora, apenas alterações pontuais que não persistiram no transcurso dos rios.

### *Análise de Ordenação das Variáveis de Qualidade da Água*

A análise de agrupamento das variáveis de qualidade de água, feita com os pontos de amostragem do igarapé do Sítio São Carlos, revelou três grupos: grupo 1 - formado pelo ponto P0 dos dois períodos de estudo; grupo 2 - formado pelos pontos P1, P2 e P3, no período chuvoso, e grupo 3 - formado pelos pontos P1, P2 e P3, no período de estiagem (Fig. 21A). Os dois primeiros eixos da análise explicam 72,1% do agrupamento. O primeiro eixo (PCA 1) explica 42,2% da ordenação e as variáveis que mais contribuíram com esse eixo foram: amônia total, nitrito, fosfato, oxigênio e DQO. O segundo eixo (PCA 2) explica 29,9% da ordenação, com a contribuição das variáveis: amônia total, dureza total, fosfato e DQO, foram as que mais contribuíram com esse eixo, sugerindo que a formação dos grupos foi decorrente das entradas de matéria orgânica e de nutrientes provenientes da atividade piscícola nos pontos P1 e P2, conseqüentemente, afetando o ponto P3.

No Aquário Exportador, a análise de componentes principais foi feita apenas para o primeiro igarapé por que essa análise foi elaborada no intuito de correlacioná-la com a análise em NMDS, que foi realizada apenas no primeiro igarapé desse sítio de coleta. Foram revelados três grupos: o primeiro, composto pelos pontos P1 e P2, no período das chuvas, o segundo grupo composto pelo ponto P2, na estiagem e, o terceiro, pelos pontos P1, no período de estiagem e P3, nos períodos de estiagem e chuvosa (Fig. 21B). Os dois primeiros eixos da PCA, juntos, perfazem 74,4% do arranjo. O eixo 1 (PCA 1) explica 54,5% do agrupamento e foi mais influenciado pelas variáveis: amônia total, gás carbônico, oxigênio e DQO. O eixo 2 (PCA 2) foi responsável por 19,9% da ordenação e foi influenciado pelas variáveis: alcalinidade total, amônia total, fosfato e temperatura. Mais uma vez, as variáveis indicativas de eutrofização estão representadas.

A análise de componentes principais, feita no igarapé do Sítio do Borrachinha, revelou dois grupos distintos, os quais foram agrupados pela época do ano: grupo 1 (1E, 2E, 3E) e grupo 2 (1C, 2C, 3C). Os dois primeiros eixos de ordenação, juntos, explicam 70,9 % do agrupamento (Fig. 21C). O eixo 1 (PCA 1) explica 48,5% do arranjo e foi elaborado principalmente pelos parâmetros: DBO, DQO, amônia total, nitrito, alcalinidade total e condutividade elétrica. O eixo 2 (PCA 2) foi responsável por 22,4% da ordenação e é explicado pelas variáveis: alcalinidade total, amônia total e temperatura. Essa ordenação se caracteriza não só pelos indicadores de eutrofização, mas também, pela influência das chuvas nos igarapés.



**Figura 21:** Análise de componentes principais dos pontos de amostragem dos três igarapés avaliados. Os eixos representam o maior padrão de ordenação, baseado nos parâmetros de qualidade da água. Os quadrados representam parcelas e estão classificados pelos pontos de amostragem nos períodos de coleta: 0 (1 km a montante); 1 (a montante), 2 (criação) e 3 (a jusante), E (estiagem) e C (chuvosa). A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha.

A análise de ordenação (PCA), realizada com os mesmos dados da análise de variância, apresentou grupos que distinguiram os pontos de amostragem. Os agrupamentos revelaram diferenças de sazonalidade, também demonstradas na análise de variância, e diferenças vinculadas à atividade piscícola como: elevada carga de nutrientes nos pontos de criação (P2) de todos os igarapés, detectada pelas concentrações de amônia, nitrito e fosfato; matéria orgânica, pelos valores de DQO e; pelas baixas concentrações de oxigênio, oriundos da respiração dos peixes e pela decomposição da matéria orgânica presente.

#### 4.2 Indicadores Biológicos

Indicadores biológicos são definidos como um ou mais organismos que reagem a classes de variáveis físico-químicas, de maneira que essas interferem na presença/ausência, número, morfologia, fisiologia ou comportamento das espécies indicadoras. Essas, por sua vez, indicam se os parâmetros estão fora do padrão natural. O uso principal de organismos indicadores para a avaliação da qualidade da água é que a simples presença/ausência desses pode refletir o estado do ambiente (Johnson, Wederholm e Rosenberg, 1993).

Macroinvertebrados são um grupo diverso, de vida longa e de pouca mobilidade espacial e têm sido alvo de monitoramento ambiental porque reagem fortemente e de modo previsível à influência humana nos ecossistemas aquáticos (Cairns e Pratt, 1993).

O estado de um ecossistema aquático não pode ser completamente entendido sem o conhecimento dos zoobentos, posto que exercem papel essencial na cadeia alimentar, na produção primária, na ciclagem de nutrientes e na decomposição (Cummins, 1974; Reice e

Wahlenberg, 1993).

Além do zoobentos, a vegetação ripária influencia fortemente os corpos d'água de pequena ordem, reduzindo os processos autotróficos por bloquear a penetração de luz e contribuindo de maneira significativa com detritos alóctones (Fittkau, 1964; Vannote *et al.*, 1980). Dessa maneira, esses ambientes podem ser caracterizados como heterotróficos e mais da metade de toda a matéria orgânica (particulada) que entra nesse sistema é exportada rio abaixo na forma fina ou dissolvida na água, pela ação de vários grupos funcionais, dentre eles bactérias, fungos e invertebrados (Cummins, 1974).

A velocidade da água e as forças que atuam conjuntamente representam, talvez, o mais importante fator que afeta os organismos que vivem em águas correntes. Há muito se acredita que a água, como meio, e a corrente, como força, determinam fortemente a distribuição ecológica, a forma anatômica e o comportamento dos organismos (Allan, 1995). Além disso, águas correntes transportam muito oxigênio dissolvido e têm a capacidade de organizar o substrato (Allan, 1995). Águas calmas apresentam substrato de partículas finas e costumam ter baixa concentração de oxigênio, principalmente em altas temperaturas (Allan, 1995).

Roque *et al.* (2003), num estudo realizado em um córrego em São Carlos, SP detectaram maior riqueza faunística em áreas de alta velocidade da água, substrato de areia grossa, pedregulhos e folhas quando comparada a zonas de remanso. Isso se deve a maior heterogeneidade do substrato e a maior oxigenação das águas correntes. Muitos invertebrados aquáticos apresentam preferência distinta entre substratos (Allan, 1995).

#### **4.2.1 Sítio São Carlos**

No igarapé do Sítio São Carlos foi coletado um total de 2.171 exemplares, sendo 965 coletados no período chuvoso e 1.206 na estiagem. Foram identificadas 7 ordens e 38 famílias de Insecta, além de Crustacea, Micro-Crustacea, Arachnida e Annelida, totalizando 51 táxons (Tabela 5).

**Tabela 5.** Abundância absoluta dos táxons coletados em cada ponto de coleta do igarapé do Sítio São Carlos, entre as épocas de estiagem e chuvosa. Os pontos estão representados por P 0 = ponto 0, a 1km da criação, P 1 = ponto 1, barragem acima da criação, P 2 = ponto 2, referente a criação e P 3 = ponto 3, localizado a jusante da criação.

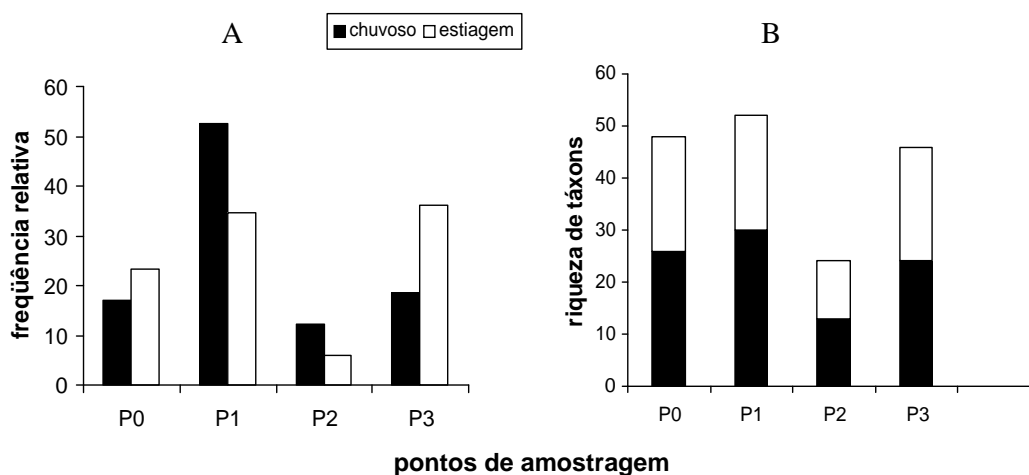
MACROINVERTEBRADOS			PERÍODOS DE COLETA							
INSECTA			CHUVOSO				ESTIAGEM			
Ordens	Famílias	sub-família/gênero	P 0	P 1	P 2	P 3	P 0	P 1	P 2	P 3
DIPTERA	Chironomidae	Chironominae	23	171	69	75	94	123	10	235
		Tanypodinae	6	7	8	24	9	6	1	2
		Orthocladinae	1	94	3	4	11	5	0	1
	Psychodidae		0	2	0	0	0	0	0	0
	Culicidae		0	4	0	0	1	5	0	0
	Ceratopogonidae		79	34	0	4	17	10	5	3
	Tabanidae		3	0	0	0	4	0	0	0
	Chaoboridae		1	0	0	0	0	0	0	0
	Tipulidae		5	0	0	0	0	0	0	0
	Empididae		2	0	0	0	1	0	0	0
ODONATA	Gomphidae		1	1	0	0	0	0	0	0
	Libellulidae		5	52	0	0	8	4	0	2
	Coenagrionidae		2	73	1	0	6	31	2	6
	Calopterygidae		0	0	0	2	3	0	0	0
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	<i>Cyrnellus</i>	0	0	0	1	0	0	0	3
		<i>Cernotina</i> sp.	0	1	3	0	2	0	0	0
	Letpoceridae		0	0	0	0	1	1	0	2
		<i>Oxyethira</i>	1	0	0	2	1	0	0	1
		<i>Triplectides eglerti</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
	Ecnomidae	<i>Autrotinodes</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
	Hydropsychidae	<i>Leptpnema</i>	3	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Neotrichia</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Smicridea (Smicridea)</i>	5	0	0	2	1	0	0	0
		<i>S. (Ryacophylax)</i>	1	0	0	1	0	0	0	1
	Calamoceratidae		0	0	0	0	1	0	0	0
	Glossosomatidae		0	0	0	0	0	0	0	4
	Helicopsychidae		0	0	0	1	0	0	0	0
Odontoceridae		1	0	0	1	0	0	0	5	
HEMIPTERA	Notonectidae		0	40	4	0	0	23	1	0
	Naucoridae		0	0	0	0	0	3	0	0
	Gerridae		0	0	0	0	0	1	0	0
	Belostomatidae		0	2	1	0	0	0	0	0
	Corixidae		20	64	0	0	25	19	0	3
	Veliidae		1	2	0	60	3	16	1	28
	Nepidae		0	1	0	0	0	3	0	0



Continuação da tabela 5

INSECTA		CHUVOSA				ESTIAGEM			
Classes e Ordens	Famílias	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3
EPHEMEROPTERA	Caenidae	0	18	50	19	0	5	13	12
	Leptophlebiidae	0	1	0	0	0	0	0	0
	Polymitarcidae	0	1	0	6	0	0	0	1
	Baetidae	0	13	1	10	2	3	0	0
COLEOPTERA	Georyssidae	0	1	0	0	0	0	0	0
	Gyrinidae	1	0	0	0	0	0	0	0
	Dytiscidae	1	0	0	0	0	0	0	0
	Elmidae	1	0	0	0	0	0	0	0
	Noteridae	0	2	1	0	0	1	0	1
LEPIDOPTERA	Pyralidae	6	0	0	0	5	0	0	0
<b>OUTROS</b>									
	Arachnida	7	2	0	0	0	2	0	0
	Acari	0	1	0	0	2	3	0	0
	Hirudinea	1	0	1	1	0	0	2	3
	Oligocaheta	24	34	2	6	22	8	20	21
	Ostracoda	0	2	0	0	0	58	1	9
	Decapoda	3	8	4	2	5	2	0	0

Na figura 22B é possível observar que o ponto da barragem, localizado logo a montante da criação (P1) apresentou maior riqueza de táxons no período chuvoso e conseqüentemente maior número de exemplares coletados (Fig. 22A). Já no ponto da criação (P2) ocorreu o inverso, sendo encontrados menor riqueza e quantidade de invertebrados. Os pontos extremos (P0 e P3) apresentaram-se semelhantes tanto em termos de número de táxons quanto em quantidade de exemplares coletados. No período das chuvas, apesar da riqueza obtida no ponto da criação (P2) ser a mais baixa, esse ponto mostrou uma quantidade de exemplares semelhante àquelas encontradas nos pontos P0 e P3. No período de estiagem as participações de cada ponto ficaram mais equilibradas, inclusive em número de táxons. Diferente dos demais, o ponto da criação (P2) perde em quantidade e qualidade.



**Figura 22:** Frequências relativas (A) de cada ponto de amostragem do Sítio São Carlos em cada período de coleta e riqueza de táxons (B). P0 (a 1 km da criação), P1 (a montante), P2 (criação) e P3 (a jusante).

A tabela 6, a seguir, mostra que ocorre uma forte dominância de alguns táxons, sendo que no ponto da criação (P2) e no ponto subsequente (P3), apenas cinco táxons são responsáveis por quase 90 % do número de exemplares. No P0 também se observa o predomínio de cinco táxons, porém a participação deles no montante é menor. Somente o ponto 1 (barragem) apresenta frequências individuais mais equilibradas e uma maior participação dos táxons.

**Tabela 6:** Táxons mais abundantes (>5%), frequência relativa (%) e somatória das frequências nos quatro pontos de coleta no igarapé do Sítio São Carlos, no período de estiagem e de chuva. P0 = 1 km a montante da criação, P1 = barragem acima da criação, P2 = criação em canal de igarapé e P3 = a jusante da criação.

TÁXONS (famílias e sub-famílias)	PERÍODOS DE COLETA	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)			
		Ponto 0	Ponto 1	Ponto 2	Ponto3
Ceratopogonidae	chuvoso	38,35	5,60	-	-
	estiagem	7,66	5,32	-	-
Chironominae	chuvoso	11,17	28,17	62,73	37,50
	estiagem	42,34	34,45	10,64	62,83
Tanypodinae	chuvoso	-	-	7,27	12,00
	estiagem	-	-	-	-
Orthoclaadiinae	chuvoso	-	15,49	-	-
	estiagem	-	-	-	-
Libellulidae	chuvoso	-	8,57	-	-
	estiagem	-	-	-	-
Coenagrionidae	chuvoso	-	12,03	-	-
	estiagem	-	8,68	-	-
Notonectidae	chuvoso	-	6,59	-	-
	estiagem	-	6,44	-	-
Corixidae	chuvoso	9,71	10,54	-	-
	estiagem	11,26	5,32	-	-
Veliidae	chuvoso	-	-	-	30,00
	estiagem	-	-	-	7,49
Caenidae	chuvoso	-	-	11,82	6,00
	estiagem	-	5,04	53,19	5,08
Ostracoda	chuvoso	-	-	-	-
	estiagem	-	16,25	-	-
Oligochaeta	chuvoso	11,65	5,60	-	-
	estiagem	9,91	-	21,28	5,61
Total de frequências (%)	chuvoso	70,87	92,59	81,82	85,50
	estiagem	71,17	76,19	90,43	81,02

#### 4.2.2 Aquário

Durante todo o período de estudo, foram coletados, no primeiro igarapé do Aquário Exportador, 5.834 exemplares no total, sendo mais da metade (3.951) coletados no período chuvoso e o restante (1.892) na estiagem. Foram identificadas 8 ordens e 31 famílias de Insecta, além de Crustacea, Arachnida, Annelida, Turbellaria e Mollusca, somando 56 táxons.

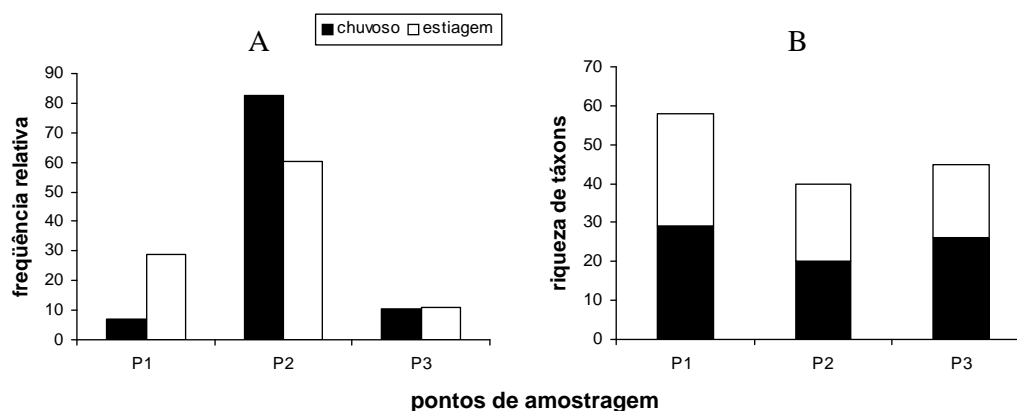
**Tabela 7.** Abundância absoluta dos táxons coletados em cada ponto de coleta, entre as épocas de estiagem e chuvosa, do igarapé do Aquário Exportador. Os pontos estão representados por P 1 = ponto 1, nascente localizada acima da criação, P 2 = ponto 2, referente a criação e P 3 = ponto 3, localizado a jusante da criação.

MACROINVERTEBRADOS			PERÍODO DE COLETA					
INSECTA			CHUVOSO			ESTIAGEM		
Ordens	famílias	Sub-famílias/gêneros	P1	P2	P3	P1	P2	P3
DIPTERA	Chironomidae	Chironominae	91	2168	145	208	782	78
		Tanypodinae	28	37	14	15	11	4
		Orthoclaadiinae	21	14	41	47	3	7
	Dixidae		0	0	1	0	0	0
	Ceratopogonidae		2	8	4	7	5	7
	Tabanidae		0	0	0	1	0	0
	Simuliidae		0	0	1	0	0	0
	Tipulidae		2	0	3	1	0	0
	Culicidae		0	0	0	0	4	0
ODONATA	Aeshnidae		0	2	0	1	0	0
	Corduliidae		1	0	0	2	0	0
	Megapodagrionidae		1	0	0	0	0	0
	Lestidae		0	0	1	0	0	0
	Gomphidae		2	0	12	3	0	1
	Libellulidae		17	134	38	62	23	22
	Coenagrionidae		3	61	5	16	8	34
	Calopterygidae		5	0	13	0	0	1
	Polycentropodidae		0	0	0	1	0	0
		<i>Cyrnellus</i>	0	0	1	0	0	0
		<i>Cernotina</i> sp	0	0	0	0	0	1
	Letpoceridae		0	0	1	0	0	1
		<i>Oxyethira</i>	0	202	0	1	3	0
		<i>Oecetis</i> sp	0	0	6	0	0	0
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	<i>Leptopnema</i>	1	0	4	0	0	0
		<i>Macronema</i>	0	0	0	0	0	1
		<i>Smicridea</i> ( <i>Smicridea</i> )	0	0	5	0	0	1
	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i> sp	12	0	0	2	0	0
	Odontoceridae		0	0	0	50	0	6
		<i>Marilya</i> sp.	17	0	26	31	0	0
HEMIPTERA	Pleidae		0	1	0	0	0	0
	Corixidae		0	0	0	0	1	0
	Veliidae		8	3	13	11	0	12
	Gerridae		0	0	0	6	2	8
EPHEMEROPTERA	Caenidae		13	212	2	41	10	0
	Leptophlebiidae		22	0	0	7	0	0
	Baetidae		3	9	0	18	4	0
COLEOPTERA	Ptylodactilidae		1	0	0	0	0	0
	Scirtidae		2	0	0	0	0	0
	Dytiscidae		0	0	0	1	0	0
	Elmidae		2	0	0	0	0	0
	Noteridae		0	0	1	0	0	0
PLECOPTERA	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	0	0	19	0	0	0
LEPIDOPTERA	Pyralidae		2	2	36	15	0	0

Continuação tabela 7.

OUTROS		CHUVOSA			ESTIAGEM		
Classes e Ordens	famílias	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Arachnida		3	2	0	0	0	0
Acari		1	0	0	0	6	0
Hirudinea		1	87	4	3	0	7
Oligochaeta		3	144	3	26	155	8
Gastropoda		0	67	0	0	8	0
Tricladida	Planariidae	0	0	0	0	0	3
Ostracoda		0	0	0	0	192	0
Decapoda		3	0	9	1	0	19

Na figura 23A é bem visível a discrepância entre o P2 (criação) e os demais pontos. No período das chuvas, mais de 80 % dos exemplares coletados estava no ponto da criação (P2), apesar de ter apresentado um menor número de táxons. O número de táxons no ponto 3 (jusante) evidencia uma recuperação desse ambiente. Na estiagem, o ponto 2 apresentou pouco mais da metade dos indivíduos e a participação dos outros pontos foi mais expressiva. O ponto 3, por outro lado, apresentou uma riqueza de táxons menor, mesmo mantendo o número de exemplares. O ponto 1 (montante), por outro lado, manteve a riqueza de táxons e, no período de estiagem, aumentou consideravelmente o número de exemplares.



**Figura 23:** Frequências relativas (A) de cada ponto de amostragem do Aquário Exportador em cada período de coleta e riqueza de táxons (B). P1 (a montante), P2 (criação) e P3 (a jusante).

Na tabela 8 observa-se que no ponto da criação (P2) há uma forte dominância de dois táxons que respondem por mais de 90 % dos indivíduos coletados, já os pontos anterior e posterior à criação, apresentam-se bem mais equilibrados e diversos. A composição desses táxons mais dominantes é diferente entre os pontos 1 e 3.

**Tabela 8.** Táxons mais abundantes (>5%), frequência relativa (%) e somatória das frequências nos quatro pontos de coleta no igarapé do Aquário Exportador, no período de estiagem e de chuva. P1 = montante da criação, P2 = criação em canal de igarapé e P3 = jusante da criação.

TÁXONS (Famílias e Sub-famílias)	PERÍODOS DE COLETA	FREQÜÊNCIA RELATIVA (%)		
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
<b>Chironominae</b>	chuvoso	34,08	68,76	68,76
	estiagem	36,05	64,26	35,29
<b>Tanypodinae</b>	chuvoso	10,49	-	-
	estiagem	-	-	-
<b>Orthoclaadiinae</b>	chuvoso	7,87	-	-
	estiagem	8,15	-	-
<b>Libellulidae</b>	chuvoso	6,37	-	-
	estiagem	10,75	-	9,95
<b>Coenagrionidae</b>	chuvoso	-	-	-
	estiagem	-	-	15,38
<b>Leptophlebiidae</b>	chuvoso	8,24	-	-
	estiagem	-	-	-
<b>Veliidae</b>	chuvoso	-	-	-
	estiagem	-	-	5,43
<b>Odontoceridae</b>	chuvoso	-	-	-
	estiagem	8,67	-	-
<b>Marilia sp</b>	chuvoso	6,37	-	6,37
	estiagem	5,37	-	-
<b>Oxyethira</b>	chuvoso	-	6,41	6,41
	estiagem	-	-	-
<b>Caenidae</b>	chuvoso	-	6,72	-
	estiagem	7,11	-	-
<b>Ostracoda</b>	chuvoso	-	-	-
	estiagem	-	15,78	-
<b>Oligochaeta</b>	chuvoso	-	-	-
	estiagem	-	12,74	-
<b>Decapoda</b>	chuvoso	-	-	-
	estiagem	-	-	8,60
<b>Total de Frequências (%)</b>	chuvoso	73,41	81,89	75,17
	estiagem	76,08	92,77	74,66

#### 4.2.3 Sítio do Borrachinha

No igarapé do Sítio do Borrachinha foi coletado um total de 6.324 exemplares, sendo, 4.508 exemplares no período chuvoso e 1.816, na estiagem. Foram identificadas 9 ordens e 44 famílias de Insecta, além de Crustacea, Arachnoidea, Mollusca, Turbellaria e Annelida, totalizando 69 táxons (Tabela 9).

**Tabela 9** Abundância absoluta dos táxons coletados em cada ponto de coleta do igarapé do Sítio do Borrachinha, entre as épocas de estiagem e chuvosa. Os pontos estão representados por P 1 = ponto 1, nascente localizada acima da criação, P 2 = ponto 2, referente a criação e P 3 = ponto 3, localizado a jusante da criação.

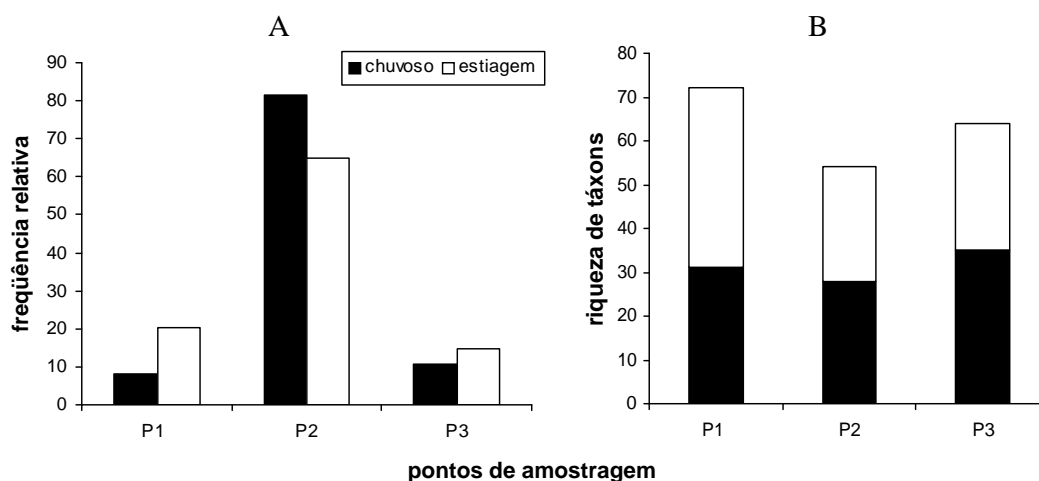
MACROINVERTEBRADOS			PERÍODO DE COLETA						
INSECTA			CHUVOSO			ESTIAGEM			
Ordens	Famílias	Sub-famílias/gêneros	P1	P2	P3	P1	P2	P3	
DIPTERA	Chironomidae	Chironominae	73	3122	137	105	838	58	
		Tanypodinae	36	536	41	23	132	42	
		Orthoclaadiinae	9	4	61	23	40	23	
	Psychodidae		0	1	0	0	0	0	
	Ceratopogonidae		1	18	6	10	15	4	
	Tabanidae		0	0	0	1	0	0	
	Emphididae		0	1	0	0	0	0	
	Tipulidae		1	0	0	3	0	2	
	Culicidae		0	0	0	0	2	0	
ODONATA	Perilestidae		0	1	0	1	0	0	
	Megapodagrionidae		2	0	0	1	0	2	
	Lestidae		0	0	0	1	2	0	
	Gomphidae		9	8	3	12	2	3	
	Libellulidae		2	11	7	1	2	1	
	Coenagrionidae		0	3	2	1	2	0	
	Calopterygidae		2	0	1	9	0	2	
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	<i>Cernotina</i> sp.	0	0	0	0	1	1	
		<i>Cyrnellus</i>	2	0	0	0	0	0	
	Philopotamidae	<i>Chimarra</i> sp.	0	0	6	0	0	0	
	Leptoceridae			17	0	2	4	2	5
		<i>Nectopsyche</i>		0	0	0	2	0	0
		<i>Triplectidae egleri</i>		1	4	0	0	0	0
		<i>Oecetis</i> sp.		0	1	0	2	2	2
		<i>Leptopnema</i>		0	0	10	0	0	0
	Hydropsychidae	<i>Macronema</i>		0	0	1	0	0	0
		<i>Smicridea</i>							
		<i>(Ryacophylax)</i>		0	0	7	1	0	0
		<i>Synoestropsys</i>		0	0	0	0	1	0
	Hydroptilidae		19	1	0	1	0	0	
	Helicopsychidae		71	0	17	26	2	32	
	Glossosomatidae		0	0	0	3	0	4	
Calamoceratidae			0	0	0	1	2	5	
	<i>Phylloicus</i> sp.		1	14	0	5	2	0	
Odontoceridae			22	1	10	21	13	25	
	<i>Marilia</i> sp.		42	3	6	19	3	4	
HEMIPTERA	Naucoridae		0	0	0	1	0	0	
	Notonectidae		0	2	1	0	0	0	
	Belostomatidae		0	0	0	1	0	0	
	Corixidae		0	5	5	0	0	4	
	Veliidae		2	0	2	1	0	3	
	Gerridae		0	0	0	2	0	6	

Continuação da tabela 9.

INSECTA			CHUVOSA			ESTIAGEM		
Ordens	famílias	sub-família/gênero	P1	P2	P3	P1	P2	P3
EPHEMEROPTERA	Caenidae		4	1	0	4	2	0
	Leptophlebiidae		11	9	6	18	0	5
	Baetidae		0	5	3	1	0	0
COLEOPTERA	Ptylodactilidae		0	2	0	0	2	0
	Scirtidae		1	0	7	3	0	4
	Gyrinidae		1	0	1	0	0	0
	Dytiscidae		2	0	1	0	0	0
	Elmidae		3	1	11	10	15	1
	Noteridae		1	0	1	0	0	0
PLECOPTERA	Perlidae		0	0	38	0	0	0
		<i>Anacroneuria</i>	0	0	41	0	0	0
		<i>Macrogynoplax</i>	2	0	0	1	0	0
MEGALOPTERA	Corydalidae		0	0	0	2	0	0
			0	0	0	1	0	0
		<i>chloronia hyeroica</i>	1	0	1	0	0	0
		<i>Corydalus</i>	0	0	1	0	0	0
LEPIDOPTERA	Pyralidae		0	1	0	0	1	0
OUTROS			CHUVOSA			ESTIAGEM		
Classes e Ordens	famílias		P1	P2	P3	P1	P2	P3
Arachnida			7	0	1	1	1	3
Hirudinea			0	1	0	0	2	0
Oligochaeta			3	13	28	0	16	5
Gastropoda			0	0	0	0	1	1
Tricladida	Planariidae		0	0	1	0	0	0
Decapoda			20	0	20	23	0	0



Na figura 24 é possível notar que no ponto da criação (P2), no período das chuvas, foram coletados mais de 80% dos exemplares do igarapé do Sítio do Borrachinha, apesar da menor riqueza de táxons. No período de estiagem, esse fato se repete, porém com uma participação menor de 65 %. No ponto a montante da criação (P1), ocorreu o inverso, a participação em termos de quantidade de exemplares foi maior no período de estiagem, assim como a riqueza de táxons. O ponto 3 (jusante) teve uma participação semelhante nos dois períodos, mais houve uma perda de táxons entre as chuvas e a estiagem.



**Figura 24:** Frequências relativas (A) de cada ponto de amostragem do Sítio do Borrachinha em cada período de coleta e riqueza de táxons (B). P1 (a montante), P2 (criação) e P3 (a jusante).

Na Tabela 10 estão representados os táxons mais abundantes, a frequência relativa e a soma das frequências no igarapé do Borrachinha. Pelos resultados apresentados, pode ser verificada, no ponto 2 (referente à criação), um forte predominância de poucos táxons (2 e 3), nos períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente, que compõem quase a totalidade dos exemplares.

**Tabela 10.** Táxons mais abundantes (>5%), frequência relativa (%) e somatória das frequências nos quatro pontos de coleta no igarapé do Sítio do Borrachinha, no período de estiagem e de chuva. P1 = montante da criação, P2 = criação em canal de igarapé e P3 = jusante da criação.

TÁXONS (famílias e sub-famílias)	PERÍODOS DE COLETA	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)		
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
<b>Chironominae</b>	chuvoso	19,84	82,83	28,19
	estiagem	30,43	75,97	22,92
<b>Tanypodinae</b>	chuvoso	9,78	14,22	8,44
	estiagem	6,67	11,97	16,60
<b>Orthocladinae</b>	chuvoso	-	-	12,55
	estiagem	6,67	-	9,09
<b>Odontoceridae</b>	chuvoso	5,98	-	-
	estiagem	6,09	-	9,88
<b>Marilia sp</b>	chuvoso	11,41	-	-
	estiagem	5,51	-	-
<b>Hydroptilidae</b>	chuvoso	5,16	-	-
	estiagem	-	-	-
<b>Helicopsychidae</b>	chuvoso	19,29	-	-
	estiagem	6,67	-	11,46
<b>Leptophlebiidae</b>	chuvoso	-	-	-
	estiagem	5,51	-	-
<b>Decapoda</b>	chuvoso	5,43	-	-
	estiagem	6,67	-	-
<b>Oligochaeta</b>	chuvoso	-	-	5,76
	estiagem	-	-	-
<b>Anacroneuria</b>	chuvoso	-	-	8,44
	estiagem	-	-	-
<b>Perlidae</b>	chuvoso	-	-	7,82
	estiagem	-	-	-
<b>Total de Frequências (%)</b>	chuvoso	76,90	97,05	71,19
	estiagem	74,2	87,94	69,96

Em geral, a diversidade e a abundância aumentam com a estabilidade do substrato e a presença de detritos orgânicos (Allan, 1995). Num estudo de igapós e igarapés da Amazônia Central, Walker (1990) observou que a fauna aquática está concentrada na serrapilheira, onde se concentram os nutrientes, forçando os organismos pequenos a habitar o bentos. Uma alteração na velocidade da água pode ser causada pela construção de uma represa, modificando a morfometria do rio subsequente a esse barramento. As flutuações periódicas dos grandes rios ficam seriamente comprometidas e dos pequenos rios praticamente desaparece. As partículas suspensas ficam aprisionadas, sedimentando no fundo do lago da barragem e alterando o substrato. O transporte de material particulado rio abaixo também fica comprometido. A temperatura da água é aumentada em decorrência da diminuição do sombreamento e da maior área superficial, modificando as flutuações naturais dessa variável em todo o transcurso do rio e provocando a estratificação térmica da represa. O aumento da coluna d'água favorece a formação de ambientes anóxicos no hipolímnio (Junk e Melo, 1987;

Allan, 1995), um habitat praticamente inexistente nos pequenos igarapés de terra firme.

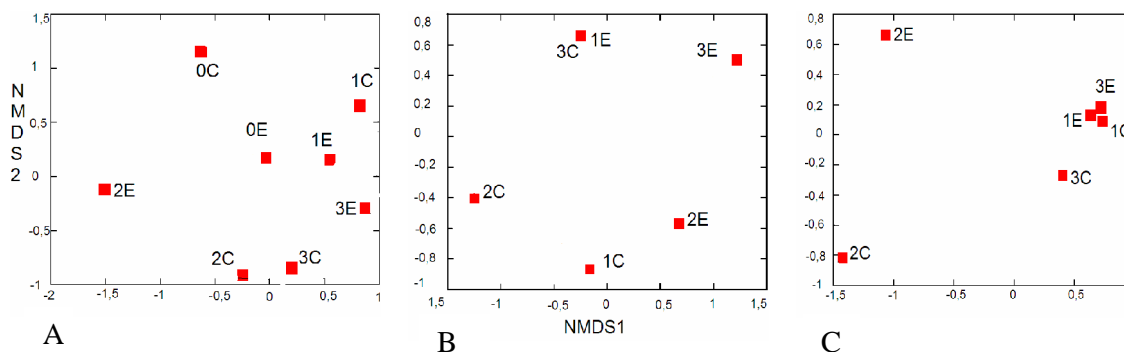
A comunidade biótica habitante desses igarapés apresenta modificações na composição e na abundância de organismos devido ao represamento provocado pela piscicultura. O aumento do espelho d'água e a diminuição da velocidade da água favorecem a colonização de plantas aquáticas e a conseqüente colonização de organismos adaptados aos ambientes lênticos, descaracterizando toda a fauna e suas relações ecológicas. Allan (1995) relata em seu estudo a irregularidade da distribuição de espécies de Trichoptera e Plecoptera e a regularidade de espécies de Chironomídeos após o represamento de um rio. Também observou a substituição de famílias de Ephemeroptera de ambientes lóticos por aquelas adaptadas a ambientes lênticos.

### *Análise de Ordenação dos Macroinvertebrados Aquáticos*

A análise de ordenação referente aos dados do Sítio São Carlos, feita em duas dimensões explicou 90% do agrupamento. A distribuição dos pontos de amostragem apresentou quatro grupos: o primeiro representado pelo ponto P0, o segundo, pelo ponto P1, o terceiro pelo ponto P2 e o quarto, pelo P3, cada grupo contendo os dois períodos de coleta (Fig. 25A).

A análise realizada no primeiro igarapé do Aquário Exportador, em duas dimensões explicou 91,3% do agrupamento, obtido na figura 25B. Foram observados dois grupos: o primeiro representado pelo P2 (chuvoso e estiagem) e P1 (chuvoso) e o segundo representado pelos pontos P1 (estiagem) e P3 (chuvoso e estiagem).

No igarapé do Sítio do Borrachinha a análise bidimensional explicou 97,5% dos agrupamentos. As amostras foram ordenadas em três grupos: o primeiro composto pelo P2 no período de estiagem, o segundo, pelo ponto P2, no período chuvoso e o terceiro, composto pelos pontos P1 e P3 (nos dois períodos) (Fig. 25C).



**Figura 25:** Ordenação com NMDS em duas dimensões para dados de frequência absoluta dos macroinvertebrados aquáticos. Os eixos representam dissimilaridades em composição e riqueza de táxons. Os quadrados representam as parcelas e estão classificados pelos pontos de amostragem nos períodos de coleta: 0 (1 km a montante), 1 (a montante), 2 (criação) e 3 (a jusante), E (estiagem) e C (chuvoso). A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha.

Essa ordenação evidenciou as alterações provenientes da diminuição da velocidade da água, da homogeneização do substrato, em decorrência da retirada periódica de material alóctone e do aplainamento do fundo dos cercados dos canais dos igarapés, o que, em decorrência das chuvas, influenciaram as concentrações das substâncias dissolvidas na água.

Nesse estudo, a atividade piscícola alterou a comunidade no ponto da criação (P2) de todos os igarapés. Nos pontos a montante das criações foram observadas maior diversidade e

menor dominância de famílias, principalmente pela maior heterogeneidade de habitats e águas correntes bem oxigenadas. Estes habitats propiciam a colonização de diversos táxons como camarões e algumas famílias como Leptophlebiidae (Ephemeroptera), Helicopsychidae (Trichoptera), Gomphidae (Odonata) e Elmidae (Coleóptera) e gêneros *Macrogynoplax* (Plecoptera), *Cyrnellus* sp. (Trichoptera) característicos de ambientes não impactados, os quais também foram encontrados por Cleto-Filho e Walker (2001) num estudo em igarapés de Manaus. Algumas famílias encontradas nos pontos a montante foram caracterizadas por Couceiro *et al.* (2006) como indicadoras de igarapés preservados.

No ponto da criação (P2) de todos os igarapés ocorreu o inverso. Esses pontos apresentaram uma fauna de macroinvertebrados pouco diversa, com dominância de poucas famílias, e elevada quantidade de indivíduos, chegando a mais de 3000 indivíduos, numa única coleta do ponto P2 do igarapé do Sítio do Borrachinha. Os insetos mais comumente encontrados foram da ordem Diptera como Chironominae, Ceratopogonidae e Tanypodinae, assim como Anelídeos (Oligochaeta e Hirudínea). Esses táxons têm predileção por ambientes calmos, pouco oxigenados e ricos em material orgânico fino, o que facilita a colonização nos ambientes dos cercados nos canais dos igarapés.

Gastrópodes, Ostracodas e grande parte dos insetos da ordem Hemiptera foram encontrados nos ambientes lênticos do Aquário Exportador e do Sítio São Carlos. Cleto-Filho e Walker (2001) justificam a ocorrência desses táxons em ambientes lênticos e a não ocorrência nos igarapés, em virtude da maior concentração de sais, águas mais calmas (espelho d'água) e com presença de macrófitas. Sendo essas condições favoráveis à formação da concha e na fixação dos ovos.

Por fim, os pontos localizados a jusante da criação apresentam uma composição e frequência faunística muito semelhante à encontrada nos pontos a montante. As ordenações em NMDS tenderam a mostrar uma similaridade maior entre os pontos P1 e P3, em todos os três igarapés.

Esses aspectos são melhor visualizados no igarapé do Sítio do Borrachinha. Nos outros dois sítios de coleta há rupturas na hidrologia dos igarapés e na paisagem, tornando difícil à separação dessas alterações com aquelas decorrentes da piscicultura.

No caso do igarapé do Sítio São Carlos, a dificuldade se torna mais evidente. Esse Sítio situa-se numa área de expansão urbana e não apresenta mais o aspecto dos igarapés de águas pretas da Amazônia Central. Junk e Furch (1985) sugerem que algumas atividades antrópicas nos igarapés têm a capacidade de modificar permanentemente as características naturais desses corpos d'água, transformando os rios de águas pretas em rios de águas mistas

(pretas e brancas), com características dos dois tipos de águas. Em virtude dessa miscigenação das águas, algumas variáveis apresentaram valores mais elevados, em comparação com os outros igarapés analisados.

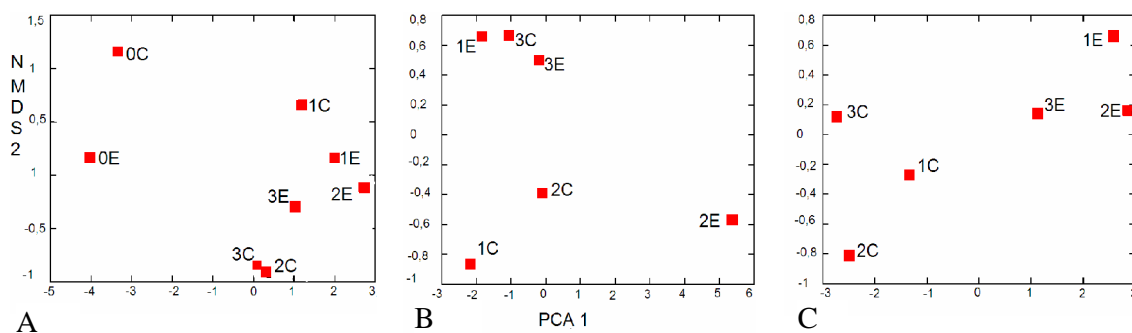
#### 4.3 Relação entre as variáveis da Qualidade da Água e os Indicadores Biológicos

Para se avaliar o ambiente nas duas vertentes analisadas, foram relacionados os resultados obtidos na PCA, que ordenou as variáveis ambientais em função dos pontos amostrais, e os da NMDS, que ordenou os macroinvertebrados, também em função dos pontos amostrais, através do eixo mais representativo da primeira e o bidimensional, da segunda.

A Figura 26A demonstra que o primeiro eixo da PCA, elaborado a partir dos dados do Sítio São Carlos, representa 42,2% do agrupamento, interagindo com o eixo bidimensional da NMDS, que explica 90% da ordenação da comunidade nesse local. A relação distingue dois grupos: o primeiro, composto pelos pontos P1, P2 e P3 e o segundo, representado pelo ponto P0.

Os dados do Aquário ordenados pela PCA1, representando 54,5% da ordenação e pela NMDS2, explicando 91,3% (Fig. 26B), se relacionam negativamente e os pontos são separados em dois grupos: P1(estiagem) e P3 (chuvoso e de estiagem) e P1 e P2 (chuvoso) e P2 (estiagem).

Fazendo-se o mesmo com as ordenações da PCA1 (48,5%) e NMDS2 (97,5%), dos pontos amostrais do Sítio do Borrachinha (Fig. 26C), obtêm-se uma relação positiva e a formação de dois grupos que seguem o padrão encontrado pela ordenação dos dados de qualidade da água, ou seja, separa as estações do ano e não os pontos.



**Figura 26.** Relação entre o primeiro eixo da PCA e o eixo bidimensional da NMDS. O primeiro eixo representa a ordenação em função dos parâmetros de qualidade da água e o segundo eixo representa dissimilaridades em riqueza e composição de táxons. Os quadrados representam parcelas e estão classificados pelos pontos de amostragem nos períodos de coleta: 0 (1 km a montante); 1 (a montante); 2 (criação) e 3 (a jusante); E (estiagem) e C (chuvoso). A = Sítio São Carlos, B = Aquário Exportador e C = Sítio do Borrachinha.

A interação entre os parâmetros químicos, físico-químicos e biológicos apenas reforçou os padrões encontrados nas análises separadas das variáveis químicas e físico-químicas e variáveis biológicas.

No Sítio São Carlos, P1, P2 e P3 apresentaram-se similares entre si, sem demonstrarem diferenças sazonais. A maior alteração do ambiente foi provocada pela construção da barragem, que modificou toda a estrutura subsequente do igarapé, alterando a fauna e a qualidade da água. Considerando a barragem um instrumento da piscicultura, pode-se afirmar que a degradação desse igarapé está vinculada à criação de peixes e, até o último ponto avaliado, o igarapé não foi capaz de se recuperar.

No Aquário Exportador, P1 (nascente) mostrou-se ambíguo; ora similar ao ponto da criação (P2), ora se assemelhando ao igarapé natural (P3). A explicação está na época do ano. Na época chuvosa, o igarapé tem seu volume de água aumentado, facilitando a mobilidade da fauna e minimizando as diferenças entre P1 e P3. Outra justificativa se baseia em uma particularidade desse ponto: separando o P1 em dois trechos, o trecho mais a montante apresenta rápido fluxo de água, pequeno volume de água e substrato heterogêneo e o trecho mais a jusante consiste de uma barragem com macrófitas, substrato arenoso e forte incidência de luz solar. Já para P2 e P3, é clara a diferença entre eles, evidenciando, assim, uma recuperação do igarapé, inclusive com o reaparecimento de alguns exemplares do gênero *Anacroneria* (Megaloptera).

A relação feita com todos os parâmetros do igarapé do Sítio do Borrachinha demonstrou que esse igarapé, apesar da implantação do sistema de piscicultura, está se comportando de maneira similar nos pontos a montante e a jusante da criação. Esse fato está diretamente vinculado à conservação da paisagem.

A proteção e manutenção da mata ciliar e de toda a zona ripária, que inclui, principalmente, as margens e as cabeceiras de drenagem dos cursos d'água, desempenham o papel de manutenção dos recursos hídricos em termos de vazão e qualidade da água, assim como do ecossistema aquático. A integridade do ecossistema ripário constitui fator crucial para a manutenção da saúde e da resiliência da microbacia (Lima *et al.*, 2003).

O sistema de criação em canal de igarapés sendo feito nos moldes do Sítio do Borrachinha, no qual o ambiente natural foi pouco modificado, demonstrou ser bastante adequado à realidade da região, seguindo os preceitos do desenvolvimento sustentável. Este visa uma produção economicamente viável e com um mínimo de impacto social e ao ambiente.

Estas observações são corroboradas por Costa (2001), que afirma que a noção de sustentabilidade exige a redução da pressão das atividades antrópicas sobre a biodiversidade e, no contexto amazônico, a possibilidade de conciliar a intensidade do uso da terra com a diversidade dos sistemas produtivos, significa um maior confinamento espacial das atividades agrícolas que, desse modo, concorreriam menos com os ecossistemas naturais.

Bédard (2007) destaca que o desenvolvimento econômico e social, dentro do qual o aspecto tecnológico é, sem dúvida, importante, sustenta-se através de uma multiplicidade de soluções adaptadas ao contexto ecológico e cultural, com a colaboração estreita das populações interessadas.

Investimentos em ciência e tecnologia e na política de controle ambiental são fundamentais e, atualmente, urgentes para o desenvolvimento da região amazônica. Torna-se necessário um zoneamento ecológico-econômico a fim de organizar o espaço, com base em critérios fisionômicos da paisagem, análise de vulnerabilidade e do potencial sócio-econômico, evitando a sub-utilização da área e verificando as aptidões de cada unidade discriminada (Lira *et al.*, 2006; Escada e Alves, 2001).



## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Nesse estudo foi observado que a piscicultura em canal de igarapé provoca modificações em algumas das variáveis da qualidade da água e na hidrologia do igarapé, entretanto, essas alterações são de caráter pontual e não são percebidas no transcurso do rio. Pode-se observar também que quanto mais preservada a mata ciliar e a hidrodinâmica do igarapé, melhores são os resultados.

Segundo Valenti (2002), a piscicultura, como qualquer atividade econômica, causa danos ambientais e tudo depende da magnitude desses danos e da capacidade de resiliência do ecossistema. A redundância ecológica da vegetação ripária e dos grupos funcionais da biota aquática e terrestre são fatores essenciais que precisam ser mantidos para que essa atividade econômica seja ambientalmente sustentável.

De modo geral, a piscicultura em canal de igarapé se apresenta como uma alternativa promissora ao pequeno produtor rural, trazendo melhorias de ordem econômica e social, mas, sobretudo, em função da manutenção da floresta em pé e todos os benefícios associados.

Entretanto, são necessários mais estudos nas áreas onde se pratica a piscicultura em canal de igarapé, tanto para reforçar os resultados apresentados neste trabalho, como para avaliar outros aspectos como, por exemplo: a migração dos peixes dos igarapés, o carreamento do material particulado, a dispersão de sementes e a deriva da fauna de invertebrados.

Por fim, recomenda-se a elaboração de um zoneamento ecológico-econômico nessas bacias hidrográficas que estão muito próximas à Manaus, a fim de não comprometer a capacidade de suporte desses pequenos cursos d'água, evitando, futuramente, conflitos no uso destes recursos hídricos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allan, J. D. 1995. *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Chapman & Hall. 386pp.

A.P.H.A. 1998. *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, 20<sup>th</sup> edition, Washington, DC.

Araújo-Lima, C.; Goulding, M. 1998. *Tambaqui*. Sociedade Civil Mamirauá/MCT – CNPq/IPAAM, Brasília, DF.

Arbeláez-Rojas, G.A.; Fracalossi, D. M.; Fim, J.D.I. 2002. Composição Corporal de Tambaqui, *Colossoma macrospomum*, e Matrinxã, *Brycon cephalus*, em Sistemas de Cultivo Intensivo, em Igarapé, e Semi-Intensivo, em Viveiros. *Rev. Bras. de Zootecnia*, 31(3): 1059-1069.

Barg, U.; Bartley, D.M.; Tacon, A.G.J.; Welcomme, R.L. 1997. Aquaculture and its Environment: A case for collaboration. *In: Hancock, D.A., Smith, D.C., Grant, A. And Beumer, J.P. (Eds.). Developing and Sustaining World Fisheries Resources*. CSIRO, Collingwood, Austrália.

Bayley, P.B. & Petrere Jr., M. 1989. Amazon Fisheries: Assessment methods, current status and management points. *In: Dodge, D.P. (Ed.) Proceedings of the International Large River Symposium*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 106: 385-398.

Bédard, M.C.B.M. 2007. Os Impactos Ambientais, A Consciência Ecológica e “A Questão Amazônica” como problema sócio-político internacional. *Revista Jurídica*. 8(82): 112-132.

Boyd, C.E.; Tucker, C.S. 1992. *Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University.

Braga, B.; Hespanhol, I.; Conejo, J. G. L.; Barros, M. T. L.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N.; Eiger, S. 2002. *Introdução à Engenharia Ambiental*. Prentice Hall, São Paulo, SP, pp 305.

Brandão, F.R., Gomes, L.C., Chagas, E.C., Araújo, L.D., 2004. Densidade de estocagem de juvenis de tambaqui durante a recria em tanques-rede. *Pesq. agropec. bras.* 39(4): 357-362

Brandão, F.R., Gomes, L.C., Chagas, E.C., Araújo, L.D., Silva, A.L.F. 2005. Densidade de estocagem de matrinxã (*Brycon amazonicus*) na recria em tanque-rede. *Pesq. agropec. Bras.*, 40(3): 299-303.

Campos, Z. E. S. 1993. *Parâmetros Físico-Químicos em Igarapés de Água Clara e Preta ao Longo da Rodovia BR-174 Entre Manaus e Presidente Figueiredo, AM*. Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas, 93pp.

Cairns Jr., J.; Pratt, J. R. 1993. A History of Biological Monitoring Using Benthic Macroinvertebrates. In: Rosenberg, D. M. & Resh, V. H. (Eds.) *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall, Inc. New York, pp 10-27.

Cavero, B.A.S.; Pereira-Filho, M.; Roubach, R.; Ituassú, D.R.; Gandra, A.L.; Crescêncio, R. 2003. Efeito da Densidade de Estocagem na Homogeneidade do Crescimento de Juvenis de Pirarucu, em Ambiente Confinado. *Pesq. Agropec, Bras.* 38(1): 103-107.

CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental), 2006. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/gesta\\_tipos.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/gesta_tipos.asp) Acesso em: 07 mai. 2006.

Chagas, E.C., Gomes, L.C., Martins Junior, H., Roubach, R. 2007 . Produtividade de tambaqui criado em tanque-rede com diferentes taxas de alimentação. *Ciência Rural*, v. 37, pp 25-35.

Chao, N.L., 1998. A draft list of Brazilian freshwater fishes for the hobby – a proposal to

IBAMA. *Ornamental Fish Int. J.* 23: 11-19.

Chao, N.L. 2001. Conservation and Management of Ornamental Fish Resources of the rio Negro Basin, Amazônia, Brasil – Project Piaba. *In:* Chao, N.L.; Petry, P.; Prang, G.; Sonneschien, I. e Tlustly, M. (Eds.). Editora da Universidade do Amazonas, Manaus, AM.

Chao, N.L.; Dowd, S.; Tlustly, M.F. 2001. Project Piaba: buy a fish, save a tree. *Am. Zool. Assoc. Communique* 14, 16 January.

Chao, N.L.; Prang, G., 1997. Project Piaba – Towards a sustainable ornamental fishery em the Amazon. *Aquarium Sci. Conserv.* 1: 105-111.

Cleto-Filho, S.E.N.; Walker, I. 2001. Efeitos da Ocupação Urbana sobre a Macrofauna de Invertebrados Aquáticos de um Igarapé da Cidade de Manaus – Amazônia Central. *Acta Amazônica* 31(1): 69-89.

Costa, F.A. 2001. Desenvolvimento Sustentável na Amazônia: o Papel Estratégico do Campesinato. *In:* Viana, G., Silva, M. & Diniz, N. (Orgs.) *O Desafio da Sustentabilidade: Um debate Socioambiental no Brasil*. Editora Fundação Perseu Abramo São Paulo. pp 289-314

Couceiro, S. M. 2001. Estrutura de Comunidade da Entomofauna em Igarapés sob a Influência do Rio Negro em Manaus, Amazonas, como Subsídio para Avaliação do Impacto Ambiental. *Relatório Final de Pesquisa*. Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. PIBIC/INPA/CNPq.

Couceiro, S.R.M.; Hamada, N.; Luz, S.L.B.; Forsberg, B.R. Pimentel, T.P. 2006. Deforestation and Sewage Effects on Aquatic Macroinvertebrates in Urban Streams in Manaus, Amazonas, Brasil. *Hydrobiologia* (The Hague), Netherlands, v. s/n, n. 00, p. 01-14.

Cummins, K. W. 1974. Structure and Function of Stream Ecosystems. *Bioscience*. 11(24): 631-641.

Dowd, S.; Tlustly, M.F. 2000. Project Piaba – working toward a sustainable natural resource

in Amazon fresh-water fisheries. *Endangered Species Update* 17, 88-90. Univ. MI. School Natural Resources.

Escada, M.I.S.; Alves, D.S. 2001. Mudanças de Uso e Cobertura do Solo na Amazônia: Impactos Sócio-Ambientais na Ocupação de Regiões de Fronteira Agrícola. Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas. Ação “Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental” Relatório Técnico Parcial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 38pp.

Esteves, F. A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, RJ, 575pp.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2004. The state of world fisheries and aquaculture - 2004, documentos da FAO – SOFIA. Disponível em: <http://www.fao.org/documents>, Acesso em: 02 out. 2005.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2006. The state of world fisheries and aquaculture - 2004”, documentos da FAO – SOFIA. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/009/A0699e/A0699e00.htm>, Acesso em: 25 mar. 2007.

Fim, J.D.I.; Randal, C.F.; Stoti-Filho, A. 2001. Cultivo intensivo e manejo de reprodutores de matrinxã, *Brycon Cephalus*, em canal de igarapé. Trabalho apresentado para concorrer ao prêmio FUCAPI/CNPq de Tecnologia, 7ª edição, Manaus, AM.

Fim, J.D.I.; Honczaryk, A. 2000. Reprodução induzida e larvicultura de matrinxã: Relação custo/benefício da utilização de larvas de Tambaqui na larvicultura do matrinxã. Relatório Parcial de Pesquisa apresentado ao BASA (Banco da Amazônia), Manaus, AM.

Fittkau, E. J. 1964. Remarks on Limnology of Central Amazon Rain-forest Stream. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 15: 1092-1096.

Folke, C.; Kautsky, N. 1992. Aquaculture with its environment: Prospects for Sustainability. *Ocean and Coastal Management.* 17: 5 – 24.

Fortes, M. R. 2001. *Diagnóstico Morfodinâmico Aplicado ao Planejamento Ambiental da*

*Microbacia do Rio Puraquequara*. Master's Thesis. Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM.

Freitas, C.E.C.;Rivas, A.A.F. 2006. A Pesca e os Recursos Pesqueiros na Amazônia Ocidental. *Ciência e Cultura*. 3(58): 30-32.

Gomes, L. C.; Urbinati, E. C. 2005. Matrinxã (*Brycon amazonicus*). In: Baldisserotto, B. & Gomes, L. C. (Org.) *Espécies Nativas para Piscicultura no Brasil*. Editora UFSM. Santa Maria, RS. 470pp.

Graef, E. W. 1995. As espécies de peixes com potencial para a criação no Amazonas. In: A. L.Val & A. Honczaryk (Eds.) *Criando peixes na Amazônia*. INPA, Manaus, AM.

Guimarães, S. F.; Storti Filho, A., 2004. Produtos agrícolas e florestais como alimento suplementar de tambaqui em policultivo com jaraqui. *Pesq. Agrop. Bras.* 39(3): 293-296.

Honczaryk, A. 2000. O potencial do matrinxã *Brycon cephalus* na piscicultura da Amazônia. In: Associação Brasil SGI (Ed.) *Anais da Conferência Internacional Amazônia no Terceiro Milênio: Atitudes desejáveis*, São Paulo: Inque, MT.

Horbe, A.M.C.; Gomes, I.L. F.; Miranda, S.F.; Silva, M.S.R. 2005. Contribuição à Hidroquímica de Drenagens do Município de Manaus – AM. *Acta Amazônica*. 35(2): 199-124.

Howes, G. 1982. Review of genus *Brycon* (Teleostei, Characoidei) *Bulletin of the British Museum History Natural and Zoology*. 43(1): 1-47.

IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Amazônia Legal), 1999. Boletim Estatístico da Pesca Marítima e Estuarina do Estado de Pernambuco - 1998. Tamandaré: IBAMA.

Johnson, R. K., Wiederholm, T.; Rosenberg, D. M. 1993. Freshwater Biomonitoring Using Individuals Organisms, Populations and Species Assemblages of Benthic Macroinvertebrates. In: Rosenberg, D. M. & Resh, V. H. (Eds.) *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall, Inc. New York. pp 40-125.

Junk, W. J. 1983. Aquatic Habitats in Amazonia. *The Environmentist*. 5(3): 24-34.

Junk, W. J.; Furch, K. 1980. Química da Água em Macrófitas Aquáticas de Rios e Igarapés na Bacia Amazônica e nas Áreas Adjacentes. Parte I. Trecho Cuiabá – Porto Velho – Manaus. *Acta Amazonica*. 10(3): 611-633.

Junk, W.J.; Furch, K. 1985. The Physical and Chemical Properties of Amazonian Waters and their Relationships with the Biota. In: Prance, G.T. & Lovejoy, T.E. (Eds.) *Key Environments AMAZONIA*. Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Frankfurt, pp 3-17.

Junk, W. J.; Melo, J. A. S. N. 1987. Impactos Ecológicos das Empresas Hidrelétricas na Bacia Amazônica Brasileira. *Tübinger Geographische Studien*. 95: 367-385

Kubitza, F. 2003. Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões. 1ª edição. Jundiaí – São Paulo, 229 pp.

Lima, F. C. T. 2003. Subfamily Bryconinae (Characins, Tetras). In: Reis, R. E.; Kulander, S. O.; Ferraris Jr., C. J. (Orgs.) *Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America*. Porto Alegre: EDPURCS, pp 174-181.

Lima, W.P. 2003. Relações Hidrológicas em Matas Ciliares. In: Henry, R. (Coord.) *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas Aquáticos*. Rima, São Carlos, São Paulo. pp 293-300.

Lira, E.M.; Wadt P.G.S.; Galvão, A.S.; Stachetti, G.R. 2006. Avaliação da Capacidade de Uso da Terra e dos Impactos Ambientais em Áreas de assentamento na Amazônia Ocidental. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 6(2): 316-326.

Lopes, R.N.M. 2003. *Identificação de Impactos Ambientais causado por Piscicultura em Viveiros de Barragem no Município de Manaus: Subsídios para Gestão*. Master's Thesis. Centro de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas.

- Lopes, A.P.; Silva, M.S.R. 1999. Hidroquímica das águas de superfície da Bacia do Puraquequara. Anais da VIII Jornada de Iniciação Científica do INPA, Manaus, Amazonas.
- Machado, P.A.L. 2001. *Direito Ambiental Brasileiro*. 9ª edição, Malheiros Editores – São Paulo, pp1031.
- Marques, M. G. S. M., Ferreira, R. L. e Barbosa, F. A. R., 1999. A comunidade de Macroinvertebrados Aquáticos e características Limnológicas das Lagoas Carioca e da Barra, Parque Estadual do Rio Doce, MG. *Rev. Bras. Biologia* 59(2): 203-210.
- Meireles Filho, J. 2004. *O Livro de Ouro da Amazônia: Mitos e verdades sobre a região mais cobiçada do planeta*. Ediouro, Rio de Janeiro, RJ.
- Melo, J.S.C. 1999. *Água e Construção de viveiros na Piscicultura*. pp 102.
- Merritt, R. W.; Cummins, K.W. 1996. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 3ª ed. Kendal/Hunt. Publ. Co., Dubuque, IA.
- Muir, J. 1995. Aquaculture Development Trends: Perspectives for Food Security. In: Nugent, C.G. (Coord.) *Internacional Conference on Sustainable Contribution of Fisheries to Food Security* Kyoto - Japan, FAO, Rome.
- Odum, E.P. 1988. *Ecologia*. Ed. Guanabara, Rio de Janeiro, RJ. 434pp.
- Ono, E.A. 2005. Cultivar peixes na Amazônia: Possibilidade ou Utopia? *Panorama da Aqüicultura*, pp. 41- 48.
- Pascoalotto, D. 2001. Características Ambientais de Cinco Igarapés de Terra-firme em Reservas Florestais no Estado do Amazonas e sua Relação com *Batrachospermun cayennense*, (Batrachospermaceae, Rhodophyta). *Acta Amazonica*. 31(4): 597-606.
- Patrick, R. e Palavage, D. M., 1994. The value of species as indicators of water quality. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 145: 55-92.



Pérez, G.R. 1996. *Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia*. Universidade de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Bogotá, Colômbia.

Pes, A.M.O., Hamada, N.; Nessimian, J. 2005. *Chaves de Identificação de Larvas para Famílias e Gêneros de Trichoptera (Insecta) da Amazônia Central, Brasil*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazônia.

Phillips, M. J., Beveridge, M.C.M.; Clark, R.M. 1991. Impact of Aquaculture on Water Resources. In: Brune, D. E. & Tomasso, J. R. (Editors) *Aquaculture and Water Quality*, Baton Rouge, The World Aquaculture Society, pp. 568-591.

Pillay, T.V.R. 1992. *Aquaculture and the Environment*. Londres, Fishing News Books, 189pp.

Prang, G. 1996. The collection and distribution of wild-caught ornamental fishes of the middle Rio Negro, Brazil. *OFI Journal* 16: 4-5.

Quinn G. P.; Keough, M. J. 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom, 537pp.

Reice, S. R.; Wahlenberg, M. 1993. Monitoring Freshwater Benthic Macroinvertebrates and Benthic Processes: Measures for Assessment of Ecosystem Health. In: Rosenberg, D. M. & Resh, V. H. (Eds.) *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall, Inc. New York. pp 287-305.

Riedel, R.; Bridger, C. J., 2004. Environmental Impacts of Offshore Aquaculture. 95 – 107 In: Christopher J. Bridger (Ed.) *Efforts to develop a responsible offshore aquaculture industry in the Gulf of Mexico: a compendium of offshore aquaculture* Consortium Research Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium, Ocean Springs, MS.

Roque, F.O.; Pepinelli, M.; Fragoso, E.N.; Ferreira, W.A.; Barillari, P.R.; Yoshinaga, M.Y.; Strixino, S.T.; Verani, N.F.; Lima, M. I. S. 2003. Ecologia de Macroinvertebrados, Peixes e Vegetação Ripária de um Córrego de Primeira Ordem em Região de Cerrado do Estado de São Paulo (São Carlos, SP). In: Henry, R. (Coord.) *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas*

*Aquáticos*. Rima, São Carlos, SP. pp 313-338.

Roubach, R.; Correia, E.S.; Zaiden, S.; Martino, R.C.; Cavalli, R.O. 2003. Aquaculture in Brazil. *World Aquaculture* 34: 28-35.

Salles, F.F. 2006. *A ordem Ephemeroptera (Insecta) no Brasil: Taxonomia e Diversidade*. Master's Thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 300pp.

Santos, D.M.; Bossini, J.A.T.; Preussler, K.H.; Vasconcelos, E.C.; Carvalho-Neto, F.S.; Carvalho-Filho, M.A.S. 2006. Avaliação de Metais Pesados na Baía de Paranaguá, PR, Brasil, sob a Influência das Atividades Antrópicas. *J. Bras. Soc. Ecotoxicol.* 2(1): 157-160.

Santos, G.M.; Santos, A. C. M., 2005 Sustentabilidade da pesca na Amazônia. *Estudos Avançados* 19 (54): 165 – 182.

Saint-Paul, U. 1986. Potencial for Aquaculture of South American freshwater fishes: a review. *Aquaculture* 54: 205-240.

Schmidt, G.W. 1972. Chemical Properties of some Waters in Tropical Rain-forest Region of Central Amazonia Along the New Road Manaus – Caracaraí. *Amazoniana*. 3(2): 199-207.

Senra, J.B. 2001. Água, o desafio do Terceiro Milênio. In: Viana, G., Silva, M. & Diniz, N. (Orgs.) *O Desafio da Sustentabilidade: Um debate Socioambiental no Brasil*. Editora Fundação Perseu Abramo São Paulo. p.133-144.

Silva, P.C.; Kronka, S.N.; Tavares, L.H.S.; Júnior, R.P.S.; Souza, V.L. 2003. Avaliação Econômica da Produção de Tilápia (*Oreochromis niloticus*) em sistema “raceway”. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 25(1): 9-13.

Simonassi, J. C. 2001. *Caracterização da Lagoa do Peri através da análise dos parâmetros físico-químicos e biológicos, como subsídio ao gerenciamento dos recursos hídricos da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil*. Master's Thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

Sioli, H. 1964. General Features of the Limnology of Amazonia. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 15(2): 1053-1058.

Sioli, H. 1985. *Amazônia – Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais*. Editora Vozes. Petrópolis, RJ, 73pp.

SUFRAMA (Superintendência da Zona Franca de Manaus), 2003. *Potencialidades regionais, Estudo de viabilidade econômica. Piscicultura*. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Manaus, AM.

UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura), 2005. The world water development report - Water for People, Water for Life. Disponível em: [http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/table\\_contents.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/table_contents.shtml), acesso em: 25 set. 2005.

Thlustly, M. 2002. The benefits and risks of aquacultural production for the aquarium trade. *Aquaculture* 205: 203-219.

Tundisi, J. G. 2003. O Futuro dos Recursos: Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.multiciencia.unicamp.br>, acesso em: 20 set. 2007.

Valente, J.P.S., Padilha, P.M.; Silva, A.M.N. 1997. Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) como Parâmetros de Poluição no Ribeirão Lavapés (Botucatu – SP). *Eclética Química*. 22: 49-66.

Valenti, W.C. Poli, C.R.; Pereira, J.A.; Borghetti, J.R. 2000. *Aqüicultura no Brasil: Bases para um desenvolvimento sustentável*. CNPq: Brasília, DF.

Valenti, W.C., 2002. Aquicultura sustentável. In: Anais do 12º Congresso de Zootecnia, Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos - Vila Real, Portugal, pp.111-118

Viana, G. 2001. Impactos Ambientais na Política de Globalização da Amazônia. In: Viana, G., Silva, M. & Diniz, N. (Orgs.) *O Desafio da Sustentabilidade: Um debate Socioambiental no Brasil*. Editora Fundação Perseu Abramo São Paulo. p. 265-288.

Vieira, S. 1991. Introdução à Bioestatística. Editora Campus, Rio de Janeiro, RJ.

Zaniboni-Filho, E.; Reynalte-Tataje, D.; Weingartner, M. 2006. Potencialidad del género Brycon en la piscicultura brasileña. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 19(2): 233-240.

Zaniboni-Filho, E.; Resende, E. 1988. Anatomia de gônadas, escala de maturidade e tipo de desova de matrinxã, *Brycon cephalus* (Günther, 1869) (Teleostei: Characidae). *Revista Brasileira de Biologia* 48(4): 833-844.

Waichman, A. V.; Pinheiro, M.; Marcon, J.L. 2001. Water quality monitoring during the commercialization of amazonian ornamental fish. In: Chao, N. L.; Petry, P.; Prang, G.; Sonneschien, L.; Tlusty, M. (Eds.) *Conservation and Management of Ornamental Fish Resources of the Rio Negro Basin – Brasil: Project Piaba*. Editora da Universidade do Amazonas, 309pp.

Walker, I. 1985. On the structure and ecology of the microfauna in the Central Amazonian forest stream igarapé da Cachoeira. *Hydrobiologia*, 122: 137-152.

Walker, I. 1990. Ecologia e Biologia de Igapós e Igarapés. *Ciência Hoje*, 64(11): 44-53.