



Universidade Federal do Pará  
Instituto de Geociências  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Maria Beatriz Silva da Rosa

**Dinâmica do Carbono em Pequenas Bacias de Drenagem  
Sob Uso de Agricultura Familiar na Amazônia Oriental**

**Belém  
2007**

Maria Beatriz Silva da Rosa

**Dinâmica do Carbono em Pequenas Bacias de Drenagem Sob Uso  
de Agricultura Familiar na Amazônia Oriental**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do título de Mestre em Ciências  
Ambientais no Programa de Pós-graduação em  
Ciências Ambientais, Universidade Federal do  
Pará.

Área de concentração: Ecossistemas e Uso da  
Terra

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Oliveira  
Figueiredo

**Belém  
2007**

Rosa, Maria Beatriz Silva da

Dinâmica do Carbono em Pequenas Bacias de Drenagem Sob Uso de Agricultura Familiar na Amazônia Oriental / Maria Beatriz Silva da Rosa; Orientador Ricardo de Oliveira Figueiredo. - 2007.

99 f.: il.; 29 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Belém, 2007.

1. Carbono. 2. Dióxido de carbono, evasão. 3. Hidrobiologia - Amazônia. 4. Bacias de drenagem. 5. Uso da terra - Amazônia 6. Ecologia aquática - Amazônia. Título.

CDD: 574.92

Maria Beatriz Silva da Rosa

**Dinâmica do Carbono em Pequenas Bacias de Drenagem Sob Uso de Agricultura Familiar na Amazônia Oriental**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Ecossistemas e Uso da Terra

Data da aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca Examinadora

Orientador

---

Prof. Ricardo de Oliveira Figueiredo  
Dr. em Ciências Ambientais  
Embrapa Amazônia Oriental

---

Prof. Alex Vladimir Krusche  
Dr. em Ecologia e Recursos Naturais  
Universidade de São Paulo

---

Prof. Edson José Paulino da Rocha  
Dr. em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Steel Silva Vasconcelos  
Dr. em Recursos e Conservação Florestais  
Embrapa Amazônia Oriental

“Tal é o rio;  
tal a sua história:  
revolta, desordenada, incompleta”.

Euclides da Cunha

Aos meus estimados pais Nelson e Norma Rosa, e ao meu querido irmão Gustavo Rosa, por toda torcida, apoio, incentivo e amor incondicional.

Dedico

Ao meu amado avô Pedro Leon da Rosa (*in memoriam*) pelos ensinamentos que levarei comigo por toda a vida.

Ofereço

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por toda força;

Ao Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Figueiredo; pela orientação e revisões deste trabalho; por ter viabilizado toda a pesquisa de campo e pela atenção e disponibilidade na realização desse trabalho. Minha eterna gratidão e respeito;

À Universidade Federal do Pará através do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, pela oportunidade de aprendizado;

Ao Laboratório do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), pelas análises;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, pela bolsa de estudo;

Ao Laboratório de Ecofisiologia da Embrapa Amazônia Oriental;

Ao Laboratório de Meteorologia da Embrapa Amazônia Oriental, nas pessoas de Terezinha Xavier Pastos e Nilza Pacheco;

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental, nas pessoas de Orlando Watrin e Pedro Gerhard;

À Msc. Maria de Fátima Rasesa pelo auxílio com os cálculos e orientações;

Aos Projetos AGROBACIAS AMAZÔNICAS, AGUAMOR, MilênioLBA2 e Tipitamba;

Ao Steel Vasconcelos, ao Prof. Francisco de Assis Oliveira e à Maristela Araújo, pelo apoio imprescindível para o ingresso no mestrado;

À Fabíola, Marília, Reginaldo, Simone, Eliete, Felipe, Fabiane, Ivanildo, Jorge, Cléo, Sr. Bigode, Gustavo, pelo auxílio com os trabalhos de campo e laboratório;

À Equipe do Museu Paraense Emílio Goeldi - Maria Emília, Maridalva, Carla, Otílio e Daniel Bentes;

Aos meus familiares, em especial minhas tias Belém, Socorro, Cristina e a minha avó Marieta, por todo amor, apoio, conselhos e orações;

Aos meus amigos de curso Cléo, Josivan, Williams e Joelma, pelos momentos de descontração;

Às minhas companhias de casa Paula, Andressa e Gustavo, pela amizade do dia-a-dia;

Às minhas primas Cássia Rosa e Vanessa Watrin, pela amizade e companheirismo;

Às minhas amigas Lorena, Prícila e Paula por estarem sempre ao meu lado, dando força e torcendo por mim;

Ao Iuri Nahon, pelo auxílio com os cálculos.

À tia Ana Santos pela revisão e correções;

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse realizado.



## RESUMO

ROSA, Maria Beatriz Silva da. **Dinâmica do Carbono em Pequenas Bacias de Drenagem Sob Uso de Agricultura Familiar na Amazônia Oriental**. 2007. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica do carbono em uma região da Amazônia Oriental, cujo uso da terra predominante é a agricultura familiar; a unidade espacial adotada neste estudo foram três pequenas bacias de drenagem. A dinâmica do carbono foi avaliada a partir de medidas hidrológicas e biogeoquímicas em águas dos igarapés Cumaru, Pachibá e São João entre junho de 2006 a maio de 2007. O ambiente aquático e a hidrogeoquímica fluvial foram caracterizados a partir de medidas *in situ* da condutividade elétrica, temperatura, pH e concentração de oxigênio dissolvido. Amostras de água foram coletadas e analisadas para determinação do carbono orgânico dissolvido (COD) e pressão parcial do dióxido de carbono ( $p\text{CO}_2$ ). A partir dos valores de  $p\text{CO}_2$ , foram calculadas as concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID). Já os fluxos de  $\text{CO}_2$  foram medidos *in situ* e também calculados a partir do  $p\text{CO}_2$ . Utilizando-se medidas de vazão instantânea a cada campanha mensal de campo, calcularam-se fluxos anuais de COD. A caracterização dos solos e do uso da terra nas porções estudadas das bacias, assim como os índices pluviométricos e fluviométricos, foram considerados na interpretação dos resultados. Podem-se enumerar como principais resultados o seguinte: 1) As características físico-químicas das águas fluviais das bacias estudadas retrataram seus solos ácidos, a vegetação ripária, e processos hidrológicos biogeoquímicos no ambiente aquático e terrestre, e com certa variabilidade sazonal; 2) O pH e o oxigênio dissolvido se correlacionaram positivamente com o carbono dissolvido na coluna d'água; 3) O transporte de COD por unidade de área foi elevado quando comparado com outras bacias amazônicas, e mais intenso em períodos chuvosos; 4) O transporte de COD e a evasão de  $\text{CO}_2$  pareceram responder positivamente à presença de vegetação secundária e floresta densa, e negativamente às atividades agropecuárias; e 5) As taxas de evasão de  $\text{CO}_2$  foram elevadas comparando-as a outros rios amazônicos, e corroboram a hipótese de que pequenas bacias são importante fontes de  $\text{CO}_2$  para atmosfera na região.

Palavras-chave: 1. Carbono. 2. Evasão de dióxido de carbono. 3. Biogeoquímica aquática. 4. Bacias de drenagem. 5. Uso da terra. 6. Amazônia.

## ABSTRACT

ROSA, Maria Beatriz Silva da. **Dinâmica do Carbono em Pequenas Bacias de Drenagem Sob Uso de Agricultura Familiar na Amazônia Oriental**. 2007. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

This research was designed to evaluate carbon dynamics in Eastern Amazon, where the main land use is small holder farming, and was conducted in three small catchments. Carbon dynamics was evaluated considering hydrological and biogeochemical measurements in Cumaru, Pachibá and São João streams from June 2006 to May 2007. Aquatic environment and fluvial hydrogeochemistry were characterized through in situ measures of electrical conductivity, temperature, pH and dissolved oxygen concentration. Water samples were collected and analyzed to determine dissolved organic carbon (DOC) concentrations and carbon dioxide partial pressures ( $p\text{CO}_2$ ). Concentrations of dissolved inorganic carbon (DIC) were calculated from  $p\text{CO}_2$  values. Despite being calculated from  $p\text{CO}_2$  values,  $\text{CO}_2$  fluxes were also measured *in situ*. Instantaneous discharge was measured in each month field campaign and used to calculate DOC annual fluxes. Soil and land use characterization in the study watersheds, as well as precipitation and discharge rates, were considered for results interpretation. Main results were: 1) Stream water physic-chemical characteristics in the study catchments respond to the acid soils, riparian vegetation, and the hydrological and biogeochemical processes in the terrestrial and aquatic ecosystems, and present some seasonal variation. 2) Dissolved carbon concentrations was correlated with pH and dissolved oxygen in stream water; 3) DOC fluxes weighted by area were higher than in other Amazonian watersheds and even higher during rainy season; 4) DOC fluxes and  $\text{CO}_2$  evasion seem to respond positively to riparian vegetation and mature forest, and negatively to agriculture; 5)  $\text{CO}_2$  evasion rates were higher than in other Amazonian rivers corroborating the hypothesis that small catchments are important sources of atmospheric  $\text{CO}_2$  in the region.

Key-word: 1. Carbon. 2. Carbon dioxide evasion. 3. Aquatic Biogeochemistry. 4. Watershed. 5. Land use. 6. Amazon.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1 – Transformações biogeoquímicas do carbono. ....  | 18 |
| Figura 3.1 – Mapa da área de estudo com a indicação dos pontos de coleta.....  | 26 |
| Figura 3.2 – Mapa de uso e cobertura do solo em 2004, destacando pontos e sub-bacias amostrados na bacia do Igarapé Cumaru, município de Igarapé-Açu, PA. ....   | 28 |
| Figura 3.3 – Mapa de uso e cobertura do solo em 2004, destacando pontos e sub-bacias amostrados na bacia do Igarapé São João, município de Igarapé-Açu, PA. .... | 30 |
| Figura 3.4 – Mapa de uso e cobertura do solo em 2004, destacando pontos e sub-bacias amostrados na bacia do Igarapé Pachibá, municípios de Marapanim, PA. ....   | 32 |
| Figura 3.5 – Mapa de solos das sub-bacias amostradas na bacia do Igarapé Cumaru, município de Igarapé-Açu, PA. ....  | 33 |
| Figura 3.6 – Mapa de solos das sub-bacias amostradas na bacia do Igarapé São João, município de Igarapé-Açu, PA. ....  | 34 |
| Figura 3.7 - Esquema frontal de tubo com meia seção .....  | 37 |
| Figura 3.8 – Esquema de seção transversal de um igarapé .....  | 38 |
| Figura 3.9 - a) Demonstração da utilização do correntômetro, b) Painel de leitura digital, c) Tubo acoplado com hélices. ....                                    | 39 |
| Figura 4.1 – Dados de precipitação (mm) mensais de 2002 a 2006 em Igarapé-Açu. ....  | 47 |
| Figura 4.2 – Precipitação diária (mm) ao longo do período de coleta. ....  | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.3 – Variação temporal da precipitação e da vazão nos exutórios dos igarapés Cumaru (IGCU-D), Pachibá (IGPA-B) e São João (IGSJ-B). .....   | 51 |
| Figura 4.4 – Valores de pH nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá durante o período estudado. ....   | 57 |
| Figura 4.5 – Valores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá durante o período estudado.....                      | 59 |
| Figura 4.6 – Percentual de saturação de oxigênio dissolvido (%) nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá durante o período estudado.....                               | 61 |
| Figura 4.7 – Concentrações de carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos pontos de coleta dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá no período estudado.....                                  | 65 |
| Figura 4.8 – Variação temporal da precipitação (mm) e do carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nas nascentes e curso principal do Igarapé Cumaru durante o período estudado. ....          | 67 |
| Figura 4.9 – Variação temporal da precipitação e do carbono orgânico dissolvido (COD) nas nascentes e cursos principais dos igarapés São João e Pachibá durante o período estudado. ....                | 68 |
| Figura 4.10 – Variação espacial da concentração de carbono inorgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá.....                  | 71 |
| Figura 4.11 – Variação temporal da precipitação (mm) e da concentração de carbono inorgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nas nascentes e cursos principais do Igarapé Cumaru. ....                | 73 |
| Figura 4.12 – Variação temporal da precipitação (mm) e das concentrações de carbono inorgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nas nascentes e cursos principais dos igarapés São João e Pachibá..... | 74 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 4.13 – Variação temporal do pH, apresentado em termos de concentração de H <sup>+</sup> (μM), e da pressão parcial de CO <sub>2</sub> (ppm) nas nascentes e curso principal do Igarapé Cumarú. ....                                       | 76 |
| Figura 4.14 – Variação temporal do pH, apresentado em termos de concentração de H <sup>+</sup> (μM), e da pressão parcial de CO <sub>2</sub> (ppm) na nascente e curso principal dos igarapés São João e Pachibá.....                            | 78 |
| Figura 4.15 – Variação temporal de oxigênio dissolvido (%) e da pressão parcial de CO <sub>2</sub> (ppm) nas nascentes e curso principal do Igarapé Cumarú. ....   | 79 |
| Figura 4.16 – Variação temporal de oxigênio dissolvido (%) e da pressão parcial de CO <sub>2</sub> (ppm) na nascente e curso principal dos igarapés São João e Pachibá. ....   | 81 |
| Figura 4.17 – Variação temporal de carbono orgânico dissolvido (mg L <sup>-1</sup> ) e da pressão parcial de CO <sub>2</sub> (ppm) nas nascentes e curso principal do Igarapé Cumarú. ....   | 82 |
| Figura 4.18 – Variação temporal de carbono orgânico dissolvido (mg L <sup>-1</sup> ) e da pressão parcial de CO <sub>2</sub> (ppm) na nascente e curso principal dos igarapés São João e Pachibá.....  | 83 |
| Figura 4.19 – Variação temporal da pressão parcial de CO <sub>2</sub> do ar atmosférico (ppm) e da pressão parcial de CO <sub>2</sub> da água (ppm) nas nascentes e curso principal do Igarapé Cumarú. ....                                      | 86 |
| Figura 4.20 – Variação temporal da pressão parcial de CO <sub>2</sub> do ar atmosférico (ppm) e da pressão parcial de CO <sub>2</sub> da água (ppm) na nascente e curso principal dos igarapés São João e Pachibá.....                           | 87 |
| Figura 4.21 – Variação temporal do fluxo evasivo de CO <sub>2</sub> nas nascentes e curso principal dos igarapés Cumarú, São João e Pachibá durante o período estudado. ...  | 88 |
| Figura 4.22 – Locais de coleta de fluxos de CO <sub>2</sub> em campanhas intensivas na região Amazônica e seus respectivos fluxos (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), incluindo as bacias deste estudo em Igarapé-Açu. .... | 90 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 3.1 – Pontos de amostragem, com respectivas localizações e áreas das sub-bacias.....  | 27 |
| Tabela 4.1 – Precipitação mensal e semanal e vazões instantâneas nos dias de coleta no exutório de cada bacia.....   | 50 |
| Tabela 4.2 – Valores mínimos e máximos de pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD) e temperatura (Temp.), observados no período de junho de 2006 a maio de 2007.....                            | 52 |
| Tabela 4.3 – Valores médios de pH nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá.....   | 53 |
| Tabela 4.4 – Valores médios de condutividade elétrica (CE) nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá.....                              | 54 |
| Tabela 4.5 – Concentração média de oxigênio dissolvido (OD) nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá.....                             | 54 |
| Tabela 4.6 – Temperatura média nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá. ....   | 55 |
| Tabela 4.7 – Valores mínimos, máximos e médias de carbono orgânico dissolvido (COD) observados no período de junho de 2006 a maio de 2007. ....  | 63 |
| Tabela 4.8 – Concentrações médias de carbono orgânico dissolvido (COD) em bacias de drenagem na Amazônia e no cerrado Brasileiro .....   | 64 |
| Tabela 4.9 – Concentrações médias de carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá..... | 66 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 4.10 – Correlação entre as concentrações mensais de carbono orgânico dissolvido (COD) e os valores mensais e semanais de precipitação para cada ponto de coleta.....                       | 69 |
| Tabela 4.11 – Concentrações mínimas, máximas e médias de carbono inorgânico dissolvido (CID) durante o período de coleta.....   | 70 |
| Tabela 4.12 – Valores médios de pH e da pressão parcial de CO <sub>2</sub> (pCO <sub>2</sub> ) durante os meses de coleta (junho a dezembro/06) .....   | 77 |
| Tabela 4.13 – Média anual e valores médios dos fluxos de CO <sub>2</sub> nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, Pachibá e São João..... | 84 |
| Tabela 4.14 – Valores anuais de fluxo de COD durante os períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e curso principal dos igarapés Cumaru, Pachibá e São João. ....                       | 91 |
| Tabela 4.15 – Valores anuais de fluxo de carbono orgânico dissolvido (COD) em bacias da Amazônia, comparados com o presente estudo. ....  | 92 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....   | 16 |
| 2 OBJETIVOS .....  | 23 |
| 2.1 Geral .....  | 23 |
| 2.2 Específicos.....   | 23 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS.....   | 24 |
| 3.1 Área de Estudo .....   | 24 |
| 3.2 Métodos .....  | 35 |
| 3.2.1 Período de Estudo .....  | 35 |
| 3.2.2 Procedimentos de Campo .....   | 36 |
| 3.2.3 Procedimentos Laboratoriais .....                                      | 43 |
| 3.2.4 Cálculos estatísticos e de fluxos de massa .....                       | 44 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....   | 47 |
| 4.1 Hidrologia – precipitação vazão dos cursos d’água .....                  | 47 |
| 4.2 Caracterização físico-química do ambiente aquático.....                  | 51 |
| 4.3 Variação espacial da concentração de carbono orgânico dissolvido .....   | 63 |
| 4.4 Variação temporal da concentração de carbono orgânico dissolvido .....   | 66 |
| 4.5 Variação espacial da concentração de carbono inorgânico dissolvido ..... | 70 |
| 4.6 Variação temporal da concentração de carbono inorgânico dissolvido ..... | 72 |
| 4.7 Pressão parcial de CO <sub>2</sub> .....                                 | 75 |
| 4.8 Fluxo evasivo de CO <sub>2</sub> .....                                   | 84 |



|   |     |
|---|-----|
| 4.9 Exportação de carbono orgânico dissolvido pelos igarapés estudados..... | 91  |
| 5 CONCLUSÕES .....  | 93  |
| REFERÊNCIAS .....   | 94  |
| APÊNDICE .....  | 100 |
| ANEXO .....   | 109 |

## 1 INTRODUÇÃO

A proporção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera cresceu cerca de 30% desde o ano de 1700, com o advento da revolução industrial, sendo este aumento um dos fatores que mais têm contribuído com as alterações climáticas previstas para este século, as quais têm incentivado os estudos relativos ao ciclo global do carbono (CÂMARA, 2003; KRÜGER *et al.*, 2003).

Essas alterações climáticas têm ocorrido devido ao aumento do efeito estufa, fenômeno que ocorre devido à elevação da temperatura nas camadas mais baixas da atmosfera, advindo do acúmulo de gases como o CO<sub>2</sub>, que permitem a entrada dos raios solares, mas impedem a saída do calor. Esse processo é responsável por manter a superfície da Terra aquecida, favorecendo a existência de vida. No entanto, o aumento das emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera em decorrência de atividades humanas, tem aumentado de modo nocivo o efeito estufa, retendo mais energia na atmosfera e com isso gerando uma elevação na temperatura, ou seja, o aquecimento global (MOUSINHO, 2003).

O aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera é decorrente, em larga medida, da queima de combustíveis fósseis (CÂMARA, 2003). Contudo, o desmatamento tropical mundial, libera quase 30% da emissão antropogênica líquida total de gases de efeito estufa, fazendo do Brasil o país mais importante não só do ponto de vista da floresta tropical remanescente como também do ponto de vista da taxa de desmatamento anual e, portanto, um emissor potencial dos gases de efeito estufa (FEARNSIDE, 2003).

A Amazônia é um dos mais importantes ecossistemas do planeta, devido à extensão de suas florestas tropicais úmidas, a biodiversidade, às taxas em que estão sendo modificadas e também à sua extensa rede de drenagem (KRUSCHE *et al.*, 2005). A Bacia Amazônica constitui-se no maior sistema hidrográfico do mundo, com aproximadamente 6.400.000 km<sup>2</sup>, sendo a maior reserva de água doce do planeta (YAHN, 2005).

Entende-se por bacia hidrográfica uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, podendo se desenvolver em diferentes tamanhos, que variam desde a bacia do Rio Amazonas até bacias com poucos metros quadrados (NETTO, 1995).

Em recente publicação, Richey *et al.* (2002) destacaram a importância das taxas de emissão de CO<sub>2</sub> dos sistemas fluviais amazônicos para a atmosfera no ciclo do carbono, sugerindo que estas taxas são da mesma ordem de grandeza do carbono seqüestrado pela Floresta Amazônica. Neste mesmo estudo, é apresentada a hipótese de que a principal fonte do CO<sub>2</sub> emitido pelos ambientes fluviais e de várzea seria o material orgânico dissolvido e particulado que é exportado das florestas presentes nas áreas de nascentes de suas bacias e nas áreas marginais de seus rios.

Esteves (1998) aborda a importância do carbono orgânico dissolvido no ecossistema aquático, listando as principais maneiras de influência do mesmo sobre este ecossistema:

- Fonte de energia para bactérias e algas cianofíceas, sendo conseqüentemente importante na cadeia alimentar;
- Agente de interferência na fotossíntese dos organismos aquáticos;
- Agente complexador de metais pesados, arrastando-os para o sedimento;
- Exerce papel fundamental no crescimento de certas algas e bactérias, devido uma fração importante do carbono orgânico dissolvido ser constituída por vitaminas.

Na maioria dos pequenos rios, o balanço de carbono é dominado pelos materiais alóctones, ou seja, aqueles que provêm das áreas terrestres adjacentes, como as folhas que caem diretamente sobre a água e são trituradas e decompostas durante o transporte. Em outros casos, o aporte alóctone é dominado pelo carbono orgânico dissolvido proveniente da decomposição e lixiviação da matéria orgânica nos solos (Figura 1.1).

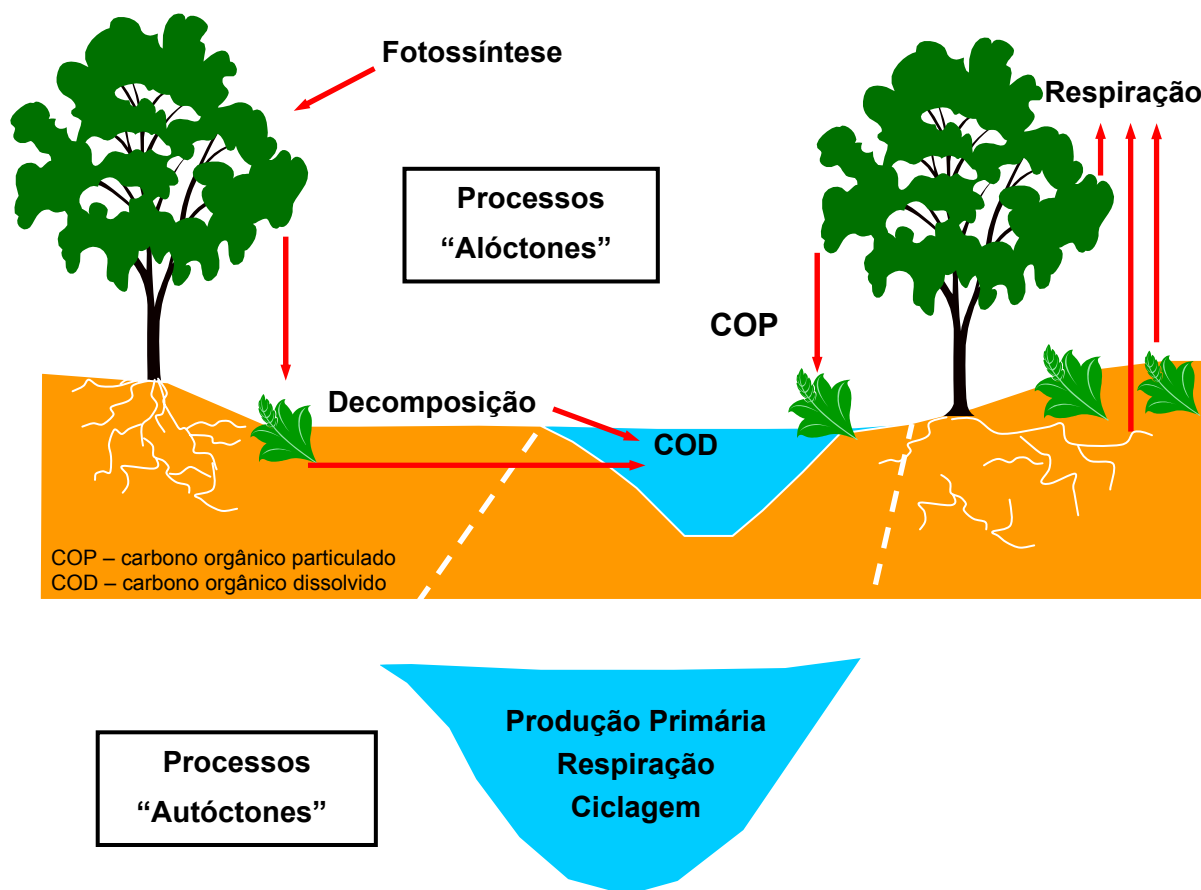
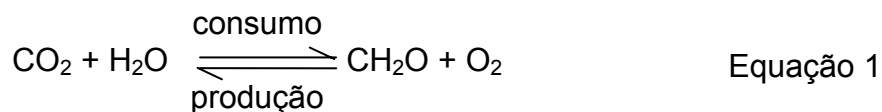


Figura 1.1 – Transformações biogeoquímicas do carbono.

Fonte: cedido por Alex Krusche

Os fluxos de  $\text{CO}_2$  entre os lagos e a atmosfera são principalmente determinados pelo balanço entre a fixação de  $\text{CO}_2$  pela produção primária e a liberação de  $\text{CO}_2$  pela respiração, podendo apresentar, em relação à atmosfera, apreensão líquida de  $\text{CO}_2$  ou liberação líquida desse gás. Contudo, os lagos são considerados relevantes fontes de liberação de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera em escala global (MAROTTA, 2006).

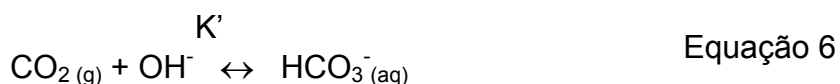
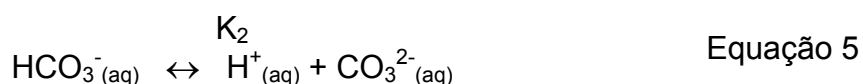
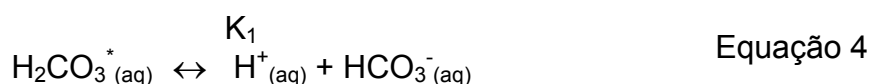
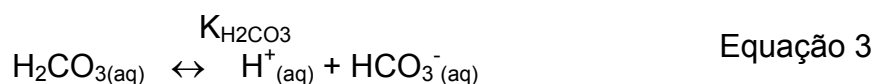
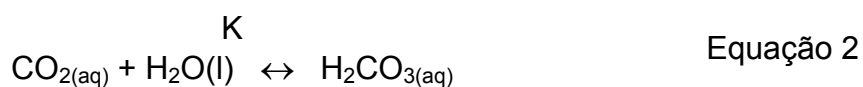
A produção orgânica e a respiração podem ser representadas por:



sendo que o  $\text{CO}_2$  na equação acima representa o conteúdo do carbono inorgânico total na água ( $\text{TCO}_2$ ) e  $\text{CH}_2\text{O}$  é a representação genérica da matéria orgânica (ALMEIDA, 1998).

A pressão parcial de  $\text{CO}_2$  ( $p\text{CO}_2$ ) da água é o indicador apropriado para determinar a predominância da respiração ou da fotossíntese em um ecossistema aquático e pode ser calculada por parâmetros hidroquímicos padronizados, como, pH, temperatura, alcalinidade ( $\text{HCO}_3^- + 2\text{CO}_3^{2-}$ ) (KEMPE, 1982).

O  $\text{CO}_2$  reage com água e, dependendo do pH, diretamente com íons  $\text{OH}^-$ , segundo as reações:



Onde:  $k$  é a constante de hidratação do  $\text{CO}_2$ ;  $K_{\text{H}_2\text{CO}_3}$  é a primeira constante ácida;  $K_1$  é uma constante composta para a protólise de  $\text{H}_2\text{CO}_3^*$  refletindo ambas as reações

de hidratação e de protólise do ácido carbônico ( $K_{H_2CO_3}$ );  $K_2$  é a segunda constante ácida e  $K'$  é a constante de reação do  $CO_2$  com íons hidroxila sob altos valores de pH.

As equações 7 e 8 mostram a dependência das constantes termodinâmicas com a temperatura (T) (HELDER, 1988):

$$\ln K_1 = -14554,21 T^{-1} + 290,9097 - 45,0575 \ln T \quad \text{Equação 7}$$

$$\ln K_2 = -11843,79 T^{-1} + 207,6548 - 33,6485 \ln T \quad \text{Equação 8}$$

Assim o carbono inorgânico pode ocorrer no ambiente aquático em três formas principais: carbono inorgânico livre ( $H_2CO_3^* = CO_2 + H_2CO_3$ ), íons bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) e carbonato ( $CO_3^{2-}$ ). Estas formas estão fundamentalmente relacionadas com o pH do meio. Em pH abaixo de 6,3 ( $pK_1$ ) predomina  $H_2CO_3^*$ , entre pH 6,3 e 10,25 ( $pK_2$ ) predomina o íon  $HCO_3^-$ , e a partir de pH 10,25 o íon dominante é o  $CO_3^{2-}$  (STUMM & MORGAN, 1996).

Segundo Almeida (1998), o fluxo do  $CO_2$  ocorrerá quando a concentração de  $H_2CO_3^*$  na coluna d'água tiver um valor diferente daquele valor no equilíbrio. Portanto, o fluxo pode acontecer em duas direções:

Para,  $H_2CO_3^* > H_2CO_3^*_{eq}$ ; a direção do fluxo é:

CORPO D'ÁGUA → ATMOSFERA (fluxo evasivo)

Para,  $H_2CO_3^* < H_2CO_3^*_{eq}$ ; a direção do fluxo é:

ATMOSFERA → CORPO D'ÁGUA (fluxo invasivo)

De acordo com Frankignoulle (1988), a direção e a magnitude das trocas na interface água-ar dependem da diferença da pressão parcial do gás entre as fases e do coeficiente de troca gasosa (k).

O fluxo de  $CO_2$  através da superfície da água, medido com câmaras, é calculado em função de algumas variáveis, tais como, a variação da concentração de  $pCO_2$  ao longo do tempo, o volume do sistema (câmara, tubos e célula do analisador), a temperatura do ar (K) e a área superficial de água na câmara ( $m^2$ ).

Os mecanismos de troca gasosa na interface água-ar são essenciais para a compreensão dos processos que ocorrem nos ambientes naturais e da forma com que estes ambientes podem responder ao aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico associado com as mudanças globais em curso (RASERA, 2005).

Neste escopo, está sendo estudada, por meio de várias iniciativas de pesquisa, a ciclagem de carbono nos ecossistemas florestais, com ênfase no aporte de serrapilheira nos solos e nos pequenos rios, como também os fluxos de carbono orgânico dissolvido (solução dos solos e águas fluviais) e os fluxos de pCO<sub>2</sub> na interface água-atmosfera, na tentativa de identificar as principais fontes de carbono que aportam no sistema aquático e que são responsáveis pelo fluxo evasivo de CO<sub>2</sub> na Região Amazônica.

O presente estudo pretende aumentar a malha amostral destas pesquisas para quantificar os processos relacionados ao fluxo evasivo de CO<sub>2</sub> e fluxo de carbono orgânico dissolvido (COD) nas águas fluviais, em diferentes localizações geográficas e de usos da terra na Amazônia.

O uso e a cobertura do solo têm papel fundamental no delineamento do ambiente em escalas global, regional e local (KRUSCHE *et al.*, 2005). A qualidade da água é influenciada por atividades antropogênicas na bacia hidrográfica, e as mudanças que nelas ocorrem dependem do tipo e da dimensão dessas atividades, bem como das características específicas de cada região (KISHI, s/d).

As mudanças no uso e na cobertura do solo estão provocando significativas alterações no balanço de água, com reflexos nas camadas superficiais e subsuperficiais, causando modificações no sistema ecológico e na qualidade da água, o que ocorre devido à erosão, transporte de sedimentos e elementos químicos bio-ativos (C, N, P) (BOLIN & COOK, 1983). Parâmetros físico-químicos, como pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido, são igualmente afetados pelo uso e cobertura do solo e assim também influenciam determinantemente os ciclos biogeoquímicos e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos.

O pH pode ser considerado como uma das variáveis ambientais mais importantes e também uma das mais difíceis de serem interpretadas. Tal

complexidade se deve ao grande número de fatores que podem influenciá-lo como a concentração de íons  $H^+$  originados da dissociação do ácido carbônico, que gera valores baixo de pH, e as reações dos íons carbonato e bicarbonato com a molécula de água, que elevam os valores de pH para a faixa alcalina (ESTEVES, 1998).

A condutividade é uma expressão numérica da capacidade da água conduzir corrente elétrica. Depende da concentração total de substâncias iônicas dissolvidas na água e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água. Dessa forma, representa uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2007).

O oxigênio dissolvido, por sua vez, é um dos parâmetros mais importantes monitorados no campo para o controle da poluição das águas. Ele é fundamental para se verificar as condições aeróbicas num curso d'água que recebe material poluidor, sendo utilizado para controlar processos de aeração naturais. Além disso, o oxigênio dissolvido é um dado indispensável para os estudos da atividade fotossintética em ambientes aquáticos (CETESB, 1978).

Entendendo que um melhor conhecimento da biogeoquímica aquática é essencial para a manutenção da qualidade da água e para o desenvolvimento de técnicas de agricultura adequadas à região Amazônica, este trabalho de pesquisa foi desenvolvido em bacias hidrográficas na Amazônia Oriental, que vêm sendo estudadas em projeto liderado pela Embrapa Amazônia Oriental em parceria com diversas instituições.

Os resultados de avaliações hidrobiogeoquímicas em pequenas bacias nos municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, no Estado do Pará, foram examinados com o intuito de entender a dinâmica de carbono nos pequenos igarapés destas bacias e, assim, contribuir com os estudos de fluxos de carbono dissolvido e das taxas de evasão de  $CO_2$  que ocorrem nos ecossistemas aquáticos amazônicos e que são importantes no balanço regional de carbono. Paralelamente, foi avaliada a dinâmica de carbono nas bacias estudadas, relacionando-as com as atividades de agricultura familiar, quando presentes.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Estudar a dinâmica de carbono em três bacias de drenagem sob uso predominante da agricultura familiar no nordeste paraense, contribuindo nas estimativas do balanço regional de carbono na Amazônia.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar o ambiente físico-químico das águas fluviais das bacias estudadas;
- Avaliar espacialmente e temporalmente o transporte de carbono orgânico e inorgânico dissolvidos nos igarapés estudados;
- Estimar a evasão de CO<sub>2</sub> nas águas fluviais estudadas;
- Relacionar a variabilidade do carbono no ambiente aquático das bacias estudadas com o ambiente terrestre e o clima.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na mesorregião do Nordeste Paraense, mais especificamente nos municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, sendo o primeiro pertencente à microrregião Bragantina e o segundo à microrregião do Salgado. A pequena área estudada em Marapanim (cerca de 400 ha), no entanto, encontra-se no extremo sul desse município, com características climáticas, geológicas, pedológicas e sócio-econômicas bastante semelhantes às do município de Igarapé-Açu.

A área estudada tem sua geologia atribuída às unidades cenozóicas. Estratigraficamente define-se que esta região é composta por sedimentos terciários do Oligo-Mioceno (Formação Pirabas) do Mio-Plioceno (Grupo Barreiras), e sedimentos quaternários do Pleistoceno (Formação Pós-Barreiras). A topografia da área apresenta relevo plano e ligeiramente ondulado, com elevação de 30 a 70 m. (SOMMER, 2004). Os solos são predominantemente Ultissolos, sendo que a vegetação dominante é a de capoeiras de idades variadas (vegetações secundárias que crescem no período de pousio entre cultivos agrícolas subseqüentes).

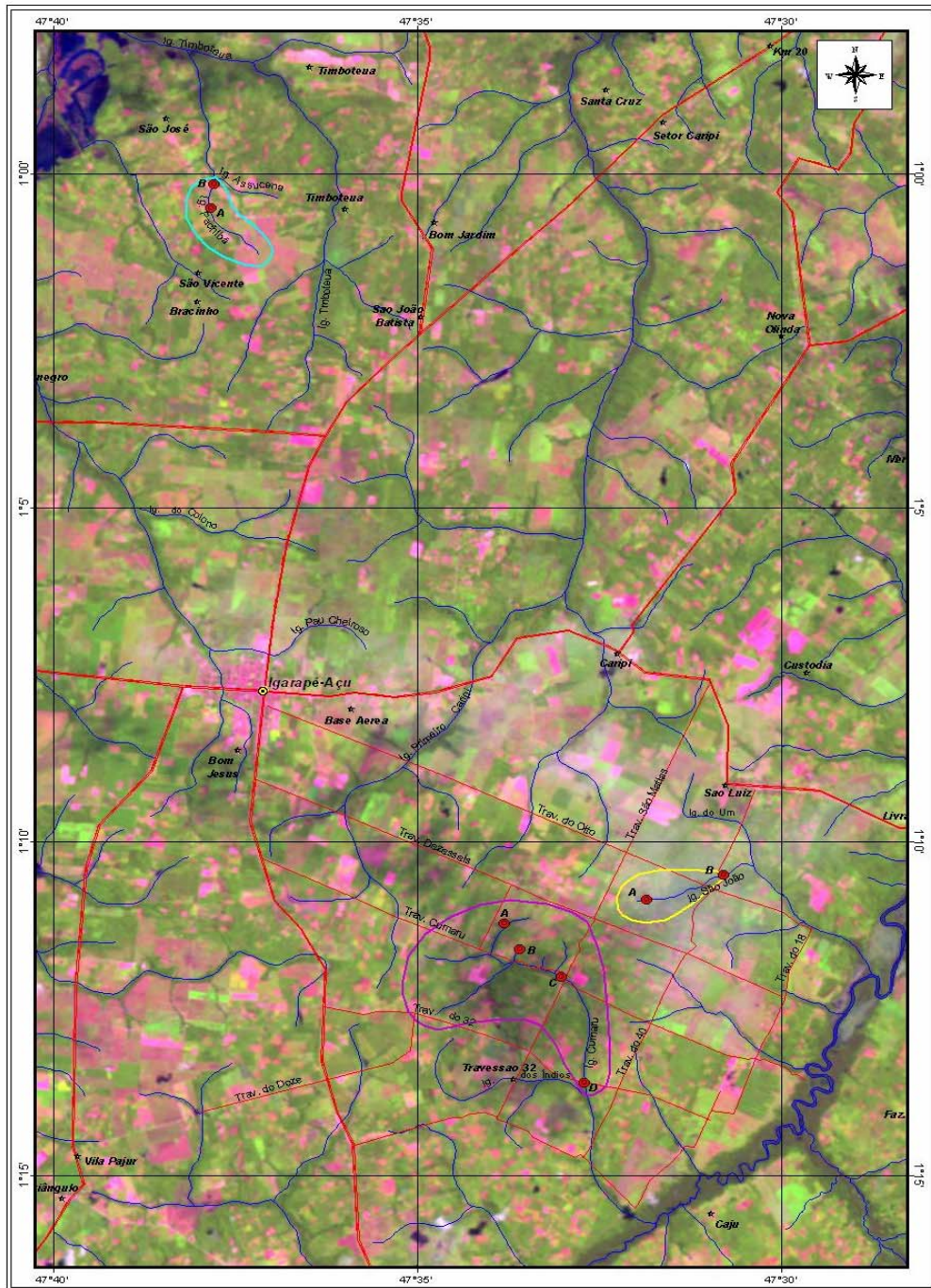
A agricultura familiar é muito expressiva na região, cujas principais culturas são o milho, o caupi, e a mandioca, além de cultivos industriais, como o maracujá e a pimenta-do-reino (SILVA *et al.*, 1999). Estes cultivos constituem importantes elementos da paisagem, ocasionando, via de regra, a degradação dos solos, e envolvendo o uso de elevadas quantidades de agrotóxicos, notadamente na cultura do maracujá. Além desta cobertura vegetal agrícola, existem grandes áreas de florestas secundárias em diferentes estágios sucessionais, as quais ocupam também os setores marginais aos cursos de água, servindo como vegetação ripária. No entanto, estas matas ripárias vêm sendo retiradas no processo de expansão das áreas de cultivo e devido à escassez de madeira para as pequenas propriedades rurais da região.

A precipitação se distribui de forma heterogênea durante o ano, ocorrendo com maior frequência entre março e abril e menor entre outubro e novembro, sendo que o período chuvoso inicia-se em geral em dezembro, com duração bastante variável e atingindo em média sete meses

Três microbacias foram alvos dessa pesquisa, sendo seus cursos principais igarapés amazônicos, de primeira e segunda ordem: Igarapé Cumarú e Igarapé São João, afluentes do Rio Maracanã, e Igarapé Pachibá, afluente do Igarapé Timboteua, contribuinte do Rio Marapanim. O acesso aos pontos de coleta a partir da capital do estado (Belém - Pará) é feito através da rodovia federal BR-316, da estadual PA-127 e de diversas estradas secundárias. Na Figura 3.1 pode ser observada a localização do município de Igarapé-Açu no estado do Pará, a delimitação das bacias estudadas e a localização dos pontos de coleta nos igarapés Cumarú, São João e Pachibá.

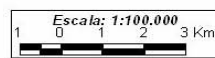
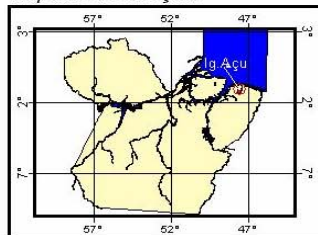


Carta Imagem em Área do Município de Igarapé-Açu, PA



Fonte: Imagem de satélite landsat 7ETM, composição colorida 5R4G3B de 15/05/2004.

Mapa de Localização:



Legenda:

- Pontos de Coleta
- ⊙ Sede de Igarapé-Açu
- ★ Localidades
- Estradas
- Rodovias
- Drenagem
- Igarapé São João
- Igarapé Cumarú
- Igarapé Pachibá

Figura 3.1 – Mapa da área de estudo com a indicação dos pontos de coleta.

As amostragens foram realizadas em quatro pontos na bacia do Igarapé Cumaru, dois pontos na bacia do Igarapé São João e dois pontos na bacia do Igarapé Pachibá. Estas bacias foram selecionadas segundo critérios topográficos, pedogeoquímicos e de uso da terra, enquanto os pontos de coleta foram nelas distribuídos buscando contemplar a dinâmica de carbono em situações de nascentes situadas nas cabeceiras e de fluxos de corrente maiores nos canais principais destes igarapés, isto em áreas sob diferentes graus de impacto antrópico, e considerando também a facilidade de acesso da equipe de pesquisa. As coordenadas geográficas dos pontos de amostragem encontram-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Pontos de amostragem, com respectivas localizações e áreas das sub-bacias.

| Código | Bacia            | Referência      | Coordenadas                   | Município     | Área (ha) |
|--------|------------------|-----------------|-------------------------------|---------------|-----------|
| IGCU-A | Igarapé Cumaru   | nascente        | 01°11'25.0" S e 47°34'00.9" W | Igarapé - Açu | 11,20     |
| IGCU-B | Igarapé Cumaru   | nascente        | 01°11'36.2" S e 47°33'39.8" W | Igarapé - Açu | 8,62      |
| IGCU-C | Igarapé Cumaru   | curso principal | 01°12'00.8" S e 47°33'04.3" W | Igarapé - Açu | 1.180,28  |
| IGCU-D | Igarapé Cumaru   | curso principal | 01°13'31.0" S e 47°32'46.3" W | Igarapé - Açu | 1.849,68  |
| IGSJ-A | Igarapé São João | nascente        | 01°10'47.7" S e 47°32'35.5" W | Igarapé - Açu | 181,73    |
| IGSJ-B | Igarapé São João | curso principal | 01°10'30" S e 47°30'56.1" W   | Igarapé - Açu | 570,51    |
| IGPA-A | Igarapé Pachibá  | curso principal | 01°00'24.2" S e 47°37'58.8" W | Marapanim     | 200,03    |
| IGPA-B | Igarapé Pachibá  | curso principal | 01°00'8.2" S e 47°37'53.3" W  | Marapanim     | 322,60    |

O mapa de uso da terra na microbacia do Igarapé Cumaru (Figura 3.2) apresenta as classes predominantes de uso da terra: floresta densa, capoeira alta, capoeira baixa, pasto sujo, pasto limpo e cultura agrícola.

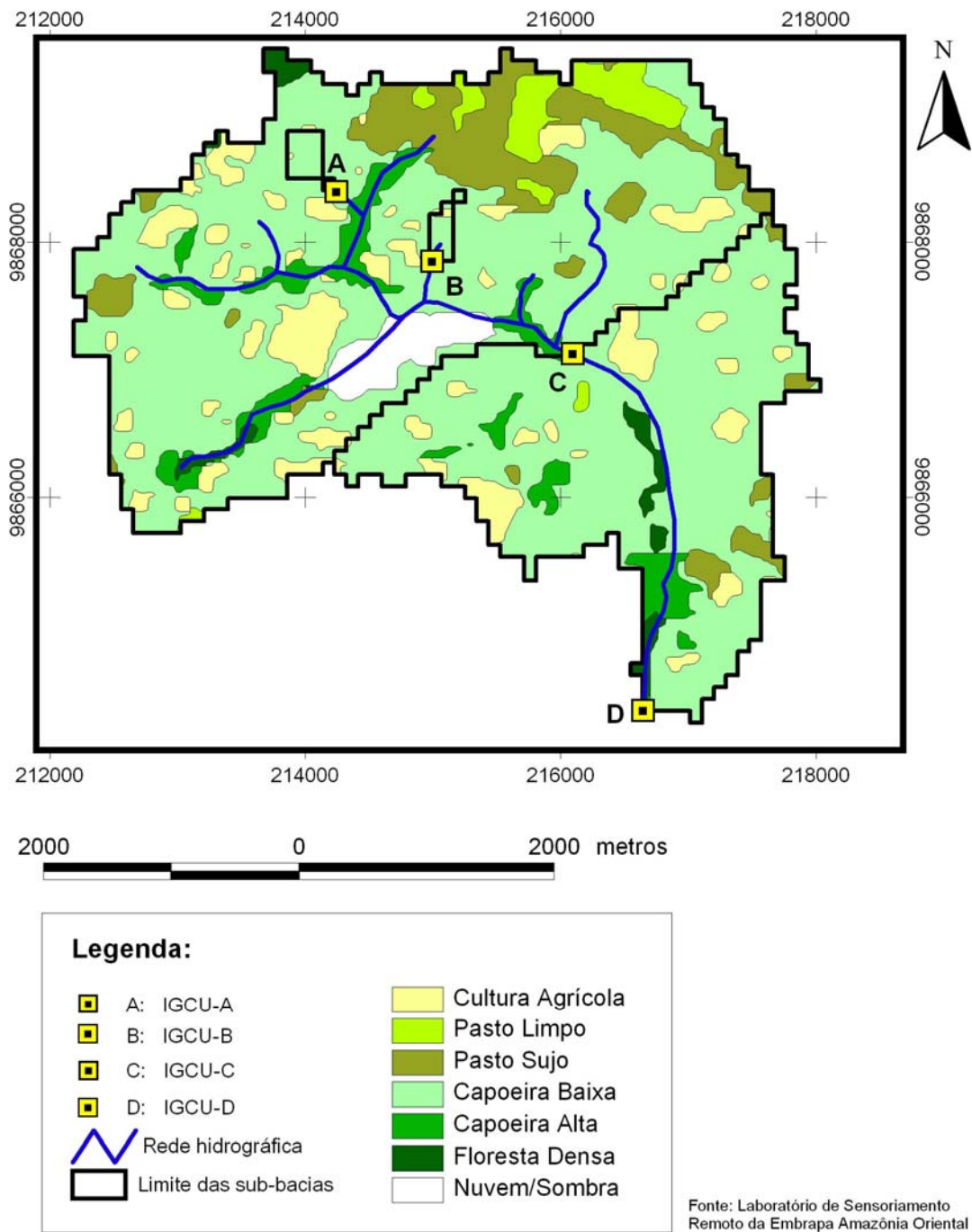


Figura 3.2 – Mapa de uso e cobertura do solo em 2004, destacando pontos e sub-bacias amostrados na bacia do Igarapé Cumaru, município de Igarapé-Açu, PA. Coordenadas UTM, datum SAD69, zona 23S. Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

A predominância da agricultura familiar nas bacias estudadas resulta numa paisagem com dominância de capoeiras de diferentes estágios sucessionais, seguidas de pastagens e cultivos agrícolas, cujas culturas principais são: a mandioca, o feijão caupi, o milho, o arroz, a pimenta-do-reino e o maracujá. Os percentuais de área ocupada pelas diferentes classes de uso da terra nas três bacias estudadas foram calculadas a partir da imagem Landsat, e encontram-se no Anexo J.

Os pontos de coleta em nascentes (IGCU-A e IGCU-B), apesar de serem protegidos por capoeira alta junto as suas margens (Anexos A e B), drenam áreas que se constituem em sub-bacias com predominância de capoeira baixa e com pequenas ocorrências de cultivos agrícolas (Figura 3.2). Nessas duas sub-bacias, as classes de pasto sujo ou limpo e floresta densa não ocorrem.

Os pontos de coleta no canal principal da bacia do Igarapé Cumaru (Figura 3.2), estão localizados em áreas de capoeira alta e de floresta densa (IGCU-C e IGCU-D, respectivamente) e drenam sub-bacias também com predominância de capoeira baixa. Embora ocorram pastagens, essas em geral situam-se em áreas mais distantes do igarapé. Fotos dos pontos de coleta localizados no curso principal do Igarapé Cumaru podem ser observadas nos Anexos C e D.

A Figura 3.3 apresenta o uso e cobertura do solo no Igarapé São João. Pode ser observado que o ponto de coleta localizado na nascente (IGSJ-A) drena uma área com predominância de capoeira baixa e com algumas ocorrências de cultivo agrícola, embora este ponto de coleta possua margem protegida por capoeira alta. O ponto de coleta localizado no curso principal (IGSJ-B) drena uma área com predominância de capoeira baixa e com ocorrência de pasto limpo e pasto sujo, sendo que possui sua margem protegida por capoeira alta e floresta densa, área que vai do ponto localizado na nascente até o ponto localizado no curso principal desse Igarapé. Fotos dos pontos de coleta do Igarapé São João podem ser observadas nos Anexos E e F.



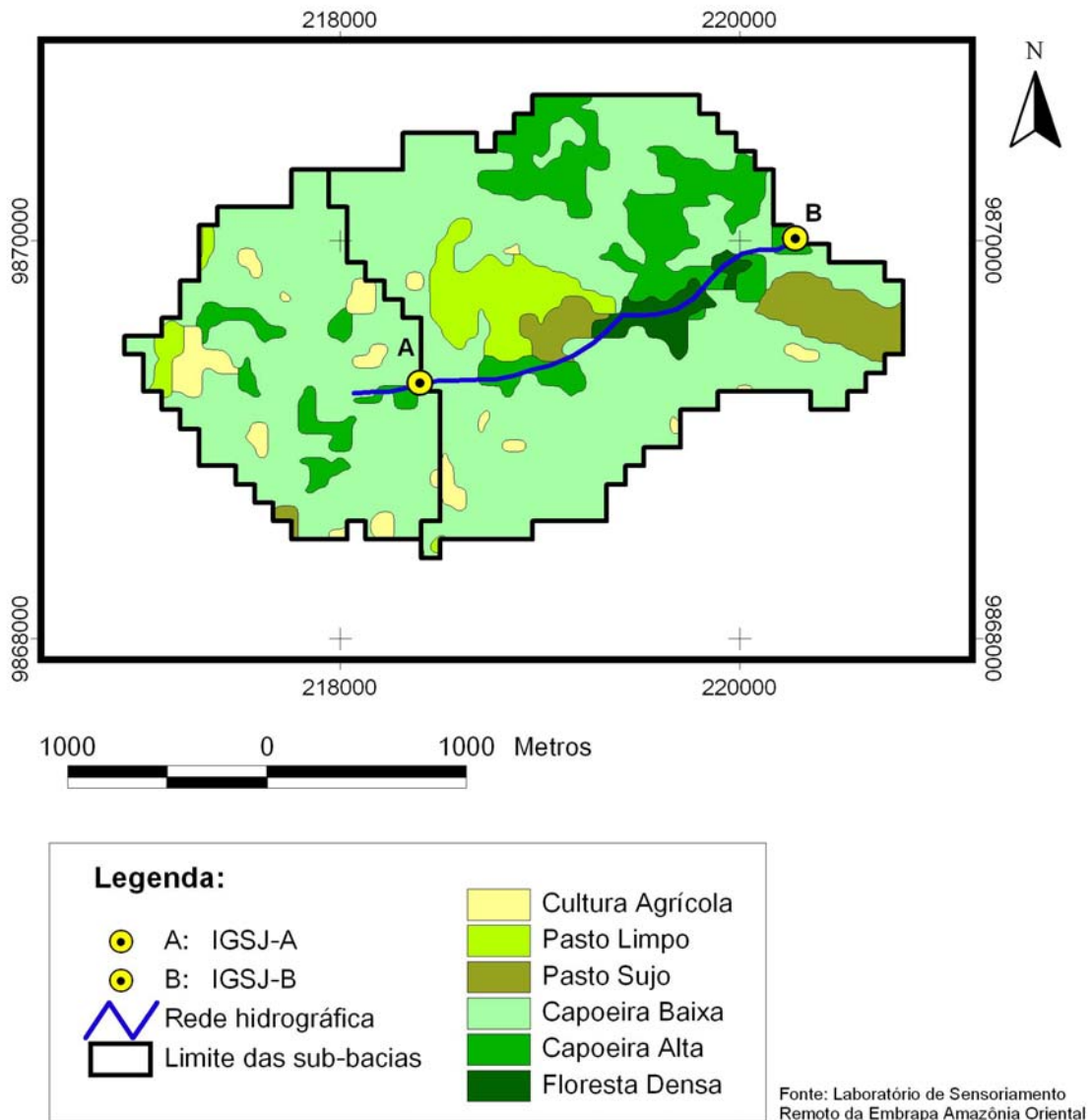


Figura 3.3 – Mapa de uso e cobertura do solo em 2004, destacando pontos e sub-bacias amostrados na bacia do Igarapé São João, município de Igarapé-Açu, PA. Coordenadas UTM, datum SAD69, zona 23S. Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.



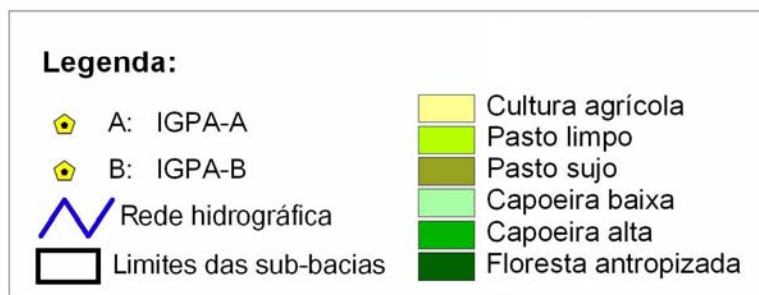
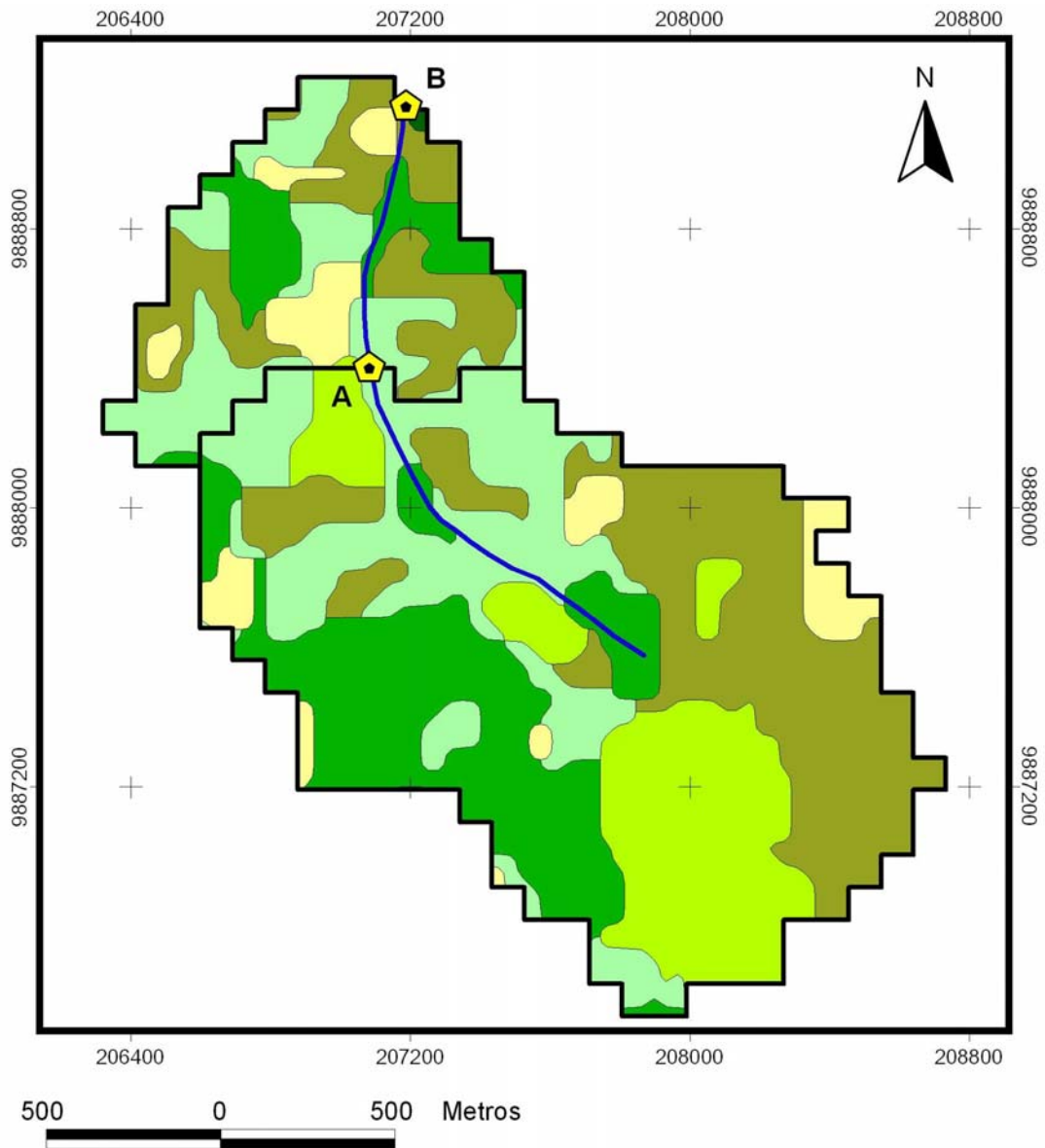
A distribuição do uso e cobertura do solo do Igarapé Pachibá é apresentada na Figura 3.4, onde pode-se constatar que o ponto de coleta localizado mais à montante (IGPA-A) apresenta margem protegida por capoeira baixa. Mais à montante, observa-se a ocorrência de capoeira alta junto às margens e nas partes mais elevadas, a presença das classes de capoeira baixa, capoeira alta, pasto sujo, pasto limpo e cultivos agrícolas, esses últimos margeando o canal em um pequeno trecho.

O ponto de coleta localizado à jusante do ponto IGPA-A, é represado e drena uma área protegida por capoeira baixa, com a existência de cultivo agrícola, e predominância de pasto sujo na área circunvizinha. No entanto, no imageamento disponível na internet, no site do Google (Anexo I), pode-se observar que, ao longo da margem do canal do Igarapé Pachibá, existe capoeira alta contornando toda a drenagem. Esta vegetação ripária não pode ser identificada no mapa de uso da terra (Figura 3.4), o qual baseou-se em classificação a partir de imagens Landsat que possuem baixa resolução espacial. A capoeira mais alta marginal ao Pachibá como visível no imageamento do Google Earth foi, em alguns casos, classificada como capoeira baixa (Anexos G e H).

Na Figura 3.5 pode-se observar os diferentes tipos de solo encontrados na bacia do igarapé Cumaru, com predominância de Argissolo Amarelo. Os argissolos localizados mais próximos ao igarapé possuem textura arenosa/média (PAd2 e PAd3) com ocorrências de solos do tipo Latossolo Amarelo distrófico típico com textura média e Neossolo Quartzarenico hidromórfico típico.

No Igarapé São João (Figura 3.6), assim como no Igarapé Cumaru, observa-se a predominância de Argissolo Amarelo. A margem do igarapé cercada por solos de textura arenosa/média (PAd3), os quais são cercados por solos também de textura arenosa/média (PAd2), com ocorrências de solos do tipo Latossolo Amarelo distrófico típico com textura média e Neossolo Quartzarenico hidromórfico típico, respectivamente.

O Igarapé Pachibá ainda não possui a classificação de solos concluída pelo grupo de solos do projeto de pesquisa onde esse trabalho está inserido



Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental

Figura 3.4 – Mapa de uso e cobertura do solo em 2004, destacando pontos e sub-bacias amostrados na bacia do Igarapé Pachibá, municípios de Marapanim, PA. Coordenadas UTM, datum SAD69, zona 23S.

Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

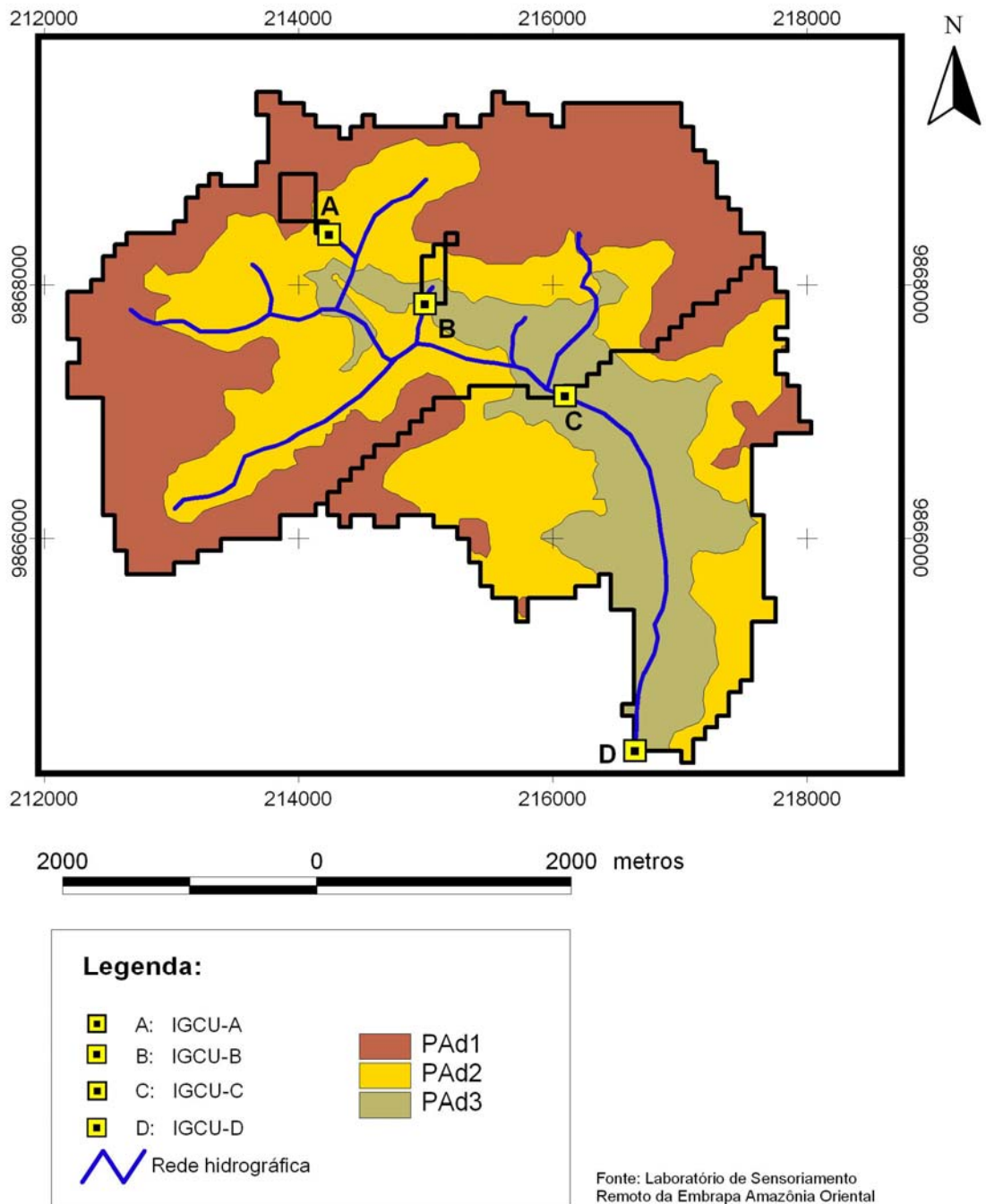


Figura 3.5 – Mapa de solos das sub-bacias amostradas na bacia do Igarapé Cumaru, município de Igarapé-Açu, PA.  
 Coordenadas UTM, *datum* SAD69, zona 23S.  
 Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.  
 (Descrição dos solos no Quadro 3.1)

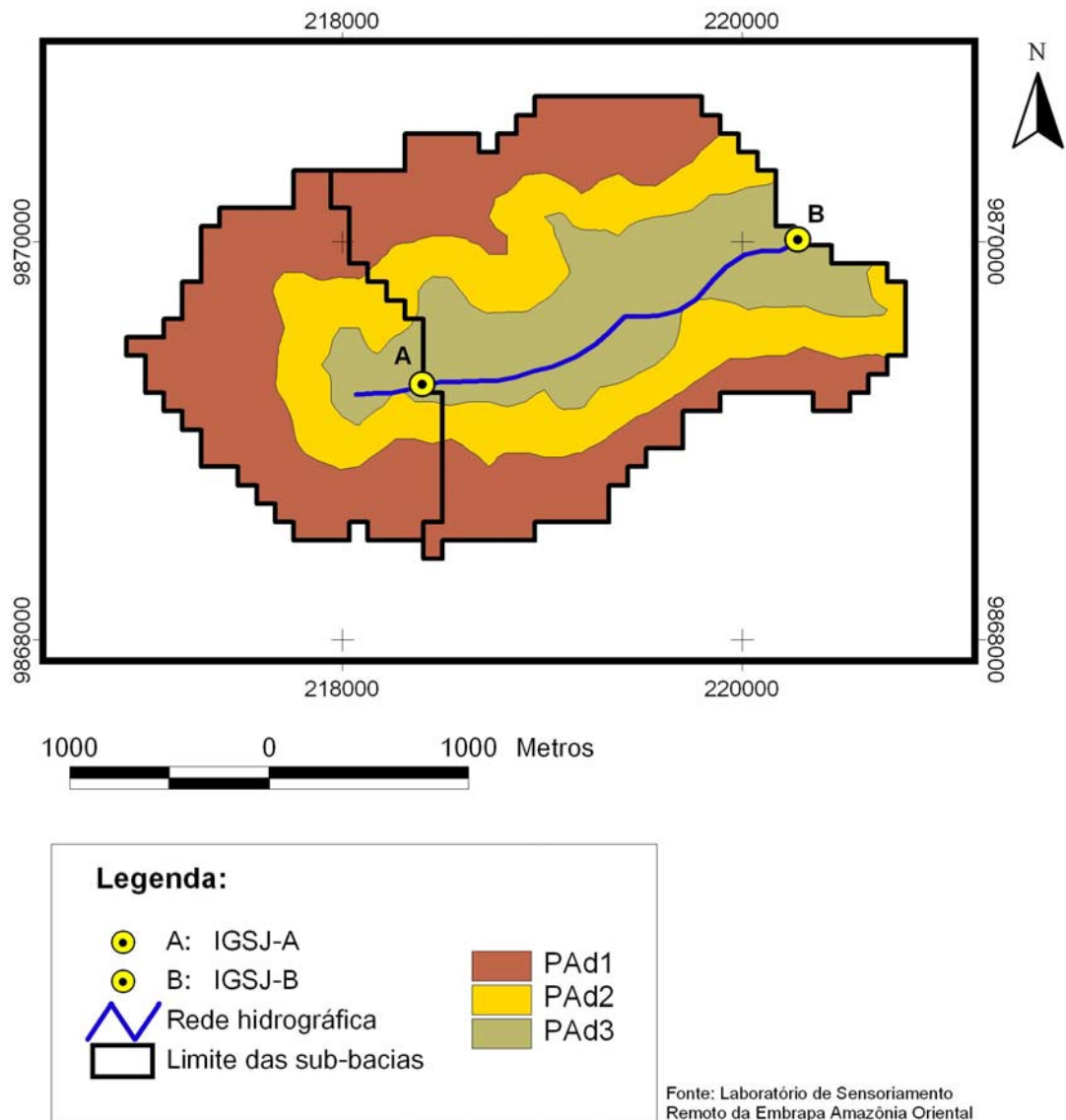


Figura 3.6 – Mapa de solos das sub-bacias amostradas na bacia do Igarapé São João, município de Igarapé-Açu, PA. Coordenadas UTM, *datum* SAD69, zona 23S. Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental. (Descrição dos solos no Quadro 3.1)

Quadro 3.1 – Descrição dos solos apresentados nas figuras.

| Classes – ARGISOLO AMARELO |   |
|----------------------------|---|
| PAd1                       | ARGISSOLO AMARELO Tb Distrófico típico, textura arenosa/média + ARGISSOLO AMARELO Distrófico concrecionário, textura média argilosa. A moderado, fase floresta equatorial subperenifólia relevo suave ondulado.   |
| PAd2                       | ARGISSOLO AMARELO Tb Distrófico típico, A moderado, textura arenosa/média, fase floresta equatorial subperenifólia relevo plano + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, textura média. A moderado, relevo plano a suave ondulado.                            |
| PAd3                       | ARGISSOLO AMARELO Tb Distrófico típico, A moderado, textura arenosa/média, fase floresta equatorial subperenifólia relevo ligeiramente plano +NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO Hidromorfo típico. A moderado, floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano. |

Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

## 3.2 MÉTODOS

Os itens a seguir abordam de forma detalhada a metodologia utilizada para a realização deste estudo, abrangendo a descrição do período de estudo, procedimentos de campo e procedimentos laboratoriais.

### 3.2.1 Período de Estudo

O período de amostragem somou 12 meses, com coletas mensais para as determinações do transporte de carbono orgânico dissolvido (COD) realizadas de

junho de 2006 a maio de 2007 e coletas para determinação da pressão parcial do CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) realizadas entre junho de 2006 e dezembro de 2006. As medidas hidrológicas e dos parâmetros físico-químicos, por sua vez, foram realizadas continuamente uma vez ao mês, ao longo dos 12 meses de coleta.

As concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID) foram obtidas através da especiação dos dados da pressão parcial do CO<sub>2</sub>. Optou-se por este método devido à ocorrência de problemas analíticos com as amostras que seriam utilizadas para a determinação das concentrações do CID. Portanto, para este parâmetro, serão apresentados resultados entre os meses de junho de 2006 e dezembro de 2006.

O fluxo evasivo de CO<sub>2</sub> dos igarapés para a atmosfera foi estimado para o período dessa pesquisa (junho/2006 a maio/2007).

### **3.2.2 Procedimentos de Campo**

Os procedimentos realizados em campo foram: batimetria em seções transversais e medições de velocidade de corrente nos canais fluviais nos exutórios das bacias, coletas de água para determinação das concentrações de carbono orgânico, medições de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH e temperatura da água, coletas de CO<sub>2</sub> da água e da atmosfera para a determinação das respectivas concentrações da pCO<sub>2</sub>, medidas de velocidade do vento, temperatura do ar e fluxo evasivo de CO<sub>2</sub>.

#### **a) Vazão**

As vazões destes cursos de água foram estimadas a partir de medidas da velocidade da corrente e da seção transversal do canal fluvial nos exutórios de cada uma das bacias estudadas (IGCU-D, IGSJ-B e IGPA-B). As profundidades dos

igarapés foram medidas uma vez a cada dia de amostragem, assim como a velocidade de corrente

### 1) Vazão

Para a obtenção da vazão (Q) foi adotado o cálculo extraído pelo produto da velocidade da corrente e a secção transversal do curso d' água ( $Q = V \cdot A$ ) conforme Cunha & Guerra (1996). A velocidade da corrente foi obtida por meio de um correntômetro com leitor digital. Devido aos diferentes tipos de áreas (canal livre no Igarapé Cumaru, e tubo nos igarapés São João e Pachibá), foram adotadas duas diferentes metodologias para cálculo dessas áreas, conforme descrito a seguir.

#### 1.1) Cálculo de área em tubo meia seção ou cheia

Para calcular a vazão em meia seção, o manual de instrução do correntômetro utilizado, descrito no item 1.3, fornece a tabela com valores da vazão, precisando fornecer apenas as variáveis: diâmetro do tubo (D) e nível da lâmina d'água (H) (Figura 3.7). Com a divisão destes valores - H/D - encontra-se a variável B, sendo que para cada valor de B há uma vazão já pré-definida na tabela.

$$A = \eta R^2 \text{ (para seção cheia)} \quad (1)$$

$$H/D = B \text{ (para meia seção)} \quad (2)$$

onde:

A = Área do círculo ( $m^2$ );

R = Raio do círculo;

H = Nível do perímetro molhado (m);

D = Diâmetro do círculo (m);



Figura 3.7 - Esquema frontal de tubo com meia seção

### 1.2) Medidas da área da secção molhada de escoamento

Este método consiste em dividir a área da secção transversal do rio em várias áreas parciais. Desta forma, a largura do rio é dividida em partes iguais, e em seguida é medida a profundidade em cada perfil.

A área da secção transversal (**A**) é dada pelo somatório das áreas parciais, sendo que cada área parcial é dada pelo produto da distância entre os perfis (**Ln**) e a profundidade dos pontos (**Hn**) (Figura 3.8).

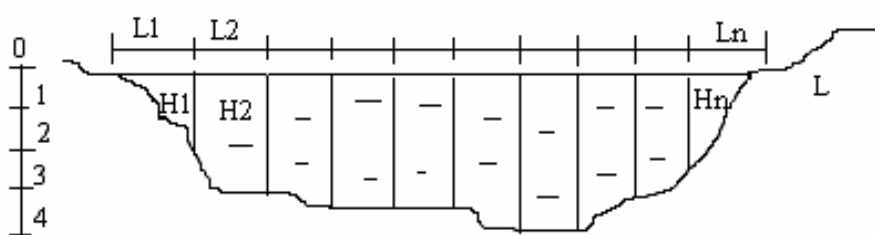


Figura 3.8 – Esquema de secção transversal de um igarapé

$$A = \sum L_n \cdot H_n$$

onde:

A = Área da secção transversal (m<sup>2</sup>)

L<sub>n</sub> = Largura do perfil (m)

H<sub>n</sub> = profundidade da água (m)

Depois de obtida todas as áreas, as vazões foram calculadas através da fórmula:  $Q = V \cdot A$ .

### 1.3) Velocidade

O aparelho utilizado para obtenção da velocidade foi um correntômetro digital da marca Global Water, modelo FP201 (Figura 3.9a), que consiste em uma haste acoplada a um visor digital (Figura 3.9b) e um tubo, onde a água passa



fazendo com que as hélices (Figura 3.9c) girem detectando a velocidade da corrente.

A partir deste aparelho foram obtidas as velocidades instantâneas e médias do fluxo, com intervalo de um segundo. As velocidades foram mensuradas em certo número de pontos da seção transversal, definidos conforme a largura do igarapé, com o correntômetro localizado a 40% da profundidade do canal no ponto monitorado. Obteve-se a velocidade com utilização do correntômetro conforme metodologia do fabricante, Global Water (2004).

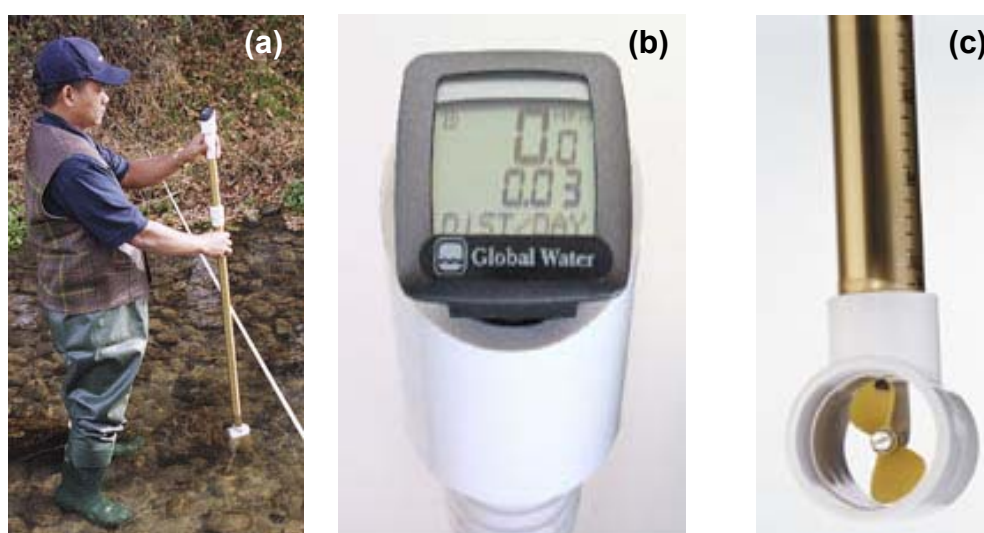


Figura 3.9 - a) Demonstração da utilização do correntômetro, b) Painel de leitura digital, c) Tubo acoplado com hélices.

Fonte: [www.globalw.com](http://www.globalw.com)

### **b) Coletas de amostras de água**

As coletas da água para a determinação do carbono orgânico dissolvido foram realizadas mensalmente, em triplicata, com a utilização de seringas esterilizada de 60 mL. As amostras foram filtradas através de membranas de fibra de vidro (diâmetro de 25 mm; poros de 63  $\mu\text{m}$ ) para frascos de vidro de 20 mL (previamente lavados com sabão neutro e água deionizada ultra-pura Mili-Q e calcinados), e imediatamente preservadas com 1 mL de solução de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  a 10% e

armazenadas sob refrigeração até o momento da realização das análises em Belém (Embrapa Amazônia Oriental).

### **c) Parâmetros físico-químicos**

Os parâmetros pH, temperatura, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido foram determinados *in situ* através de equipamentos portáteis de campo, seguindo as metodologias recomendadas pela American Public Health Association APHA, American Water Works Association - AWWA, Water Pollution Control Federation - WPCF (1995) e pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1978).

Para a determinação do pH e da temperatura da água, utilizou-se o método potenciométrico, por meio de um aparelho digital, com eletrodo combinado de vidro e calomelano, correção de temperatura para 25°C, da marca ORION, modelo 290A plus. A calibração foi realizada imergindo o eletrodo de vidro em soluções-tampão de pH 4,00, 5,00 e 7,00 (CETESB, 1978). Em cada ponto de coleta, foram realizadas dez medições de pH e, em seguida, calculada a média desses valores.

Para determinação da condutividade elétrica o método aplicado foi o condutimétrico (CETESB, 1978), utilizando-se o aparelho *VWR international*<sup>TM</sup> modelo 2052, calibrado para fornecer a condutividade e a temperatura diretamente. Para determinação da concentração de oxigênio dissolvido, utilizou-se o aparelho digital YSI<sup>®</sup> 55, o qual possui uma sonda com sensor polarográfico com compensação automática de temperatura, permitindo uma medição de oxigênio dissolvido de alta precisão.

Para melhor interpretação, os resultados foram apresentados como percentual de saturação de oxigênio dissolvido (%OD) e para tanto se tornou necessária a determinação da concentração de saturação de OD ( $C_s$ ). Segundo Von Sperling (2005), a concentração de saturação de oxigênio pode ser calculada com base em considerações teóricas, ou através da utilização de fórmulas empíricas. O valor de  $C_s$  é função da temperatura da água e da altitude, sendo que:

- A elevação da temperatura reduz a concentração de saturação (a maior agitação entre moléculas na água faz com que os gases dissolvidos tendam a passar para a fase gasosa);
- O aumento da altitude reduz a concentração de saturação (a pressão atmosférica é menor, exercendo uma menor pressão para que o gás se dissolva na água).

Há algumas fórmulas empíricas (a maioria baseada em análises da regressão) que fornecem diretamente o valor de  $C_s$  (mg/L) em função de, por exemplo, a temperatura  $T(^{\circ}\text{C})$ . Uma fórmula freqüentemente empregada é (Pöpel, 1979 *apud* Von Sperling, 2005).

$$C_s = 14,652 - 4,1022 \times 10^{-1} \times T + 7,9910 \times 10^{-3} \times T^2 - 7,7774 \times 10^{-5} \times T^3 \quad (1)$$

onde:

$C_s$  = concentração de saturação de oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$T$  = temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

Como a altitude nos oito pontos de coleta deste estudo é zero, fez-se uso da fórmula empírica citada acima para a determinação da concentração de saturação de oxigênio dissolvido, e em seguida calculou-se a porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido, dada pela fórmula:

$$\%OD = (OD/C_s) \times 100 \quad (2)$$

onde:

$\%OD$  = porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido;

$OD$  = oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$C_s$  = concentração de saturação de oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ );

#### **d) Coleta de $\text{pCO}_2$ da água e atmosférico**

As coletas de água fluvial para determinação do  $\text{pCO}_2$  da água foram realizadas em frascos com tampa contendo um tubo e um sistema de válvulas reguladoras para abertura e fechamento do sistema. Após a coleta da água,

utilizando-se uma seringa, 60 mL de nitrogênio (gás inerte) são injetados no frasco, ao mesmo tempo em que são retirados 60mL de água. Em seguida, o frasco é agitado manualmente por cerca de 3 minutos para o equilíbrio das fases líquida e gasosa, e colocado em repouso, submerso na água do igarapé para evitar o aquecimento amostra. Após 15 minutos, é realizada nova troca, sendo injetados no frasco os 60mL de água que haviam sido retirados com a seringa, ao mesmo tempo em que retira-se, por meio da outra seringa, o CO<sub>2</sub> liberado na agitação. Por fim, o ar coletado é injetado em um frasco vidro com capacidade de aproximadamente 30 mL (frasco de penicilina, de vidro branco com rolha de borracha e lacre de alumínio) pré-evacuado e levado ao laboratório do CENA/USP, em Piracicaba (SP), para a determinação da pCO<sub>2</sub>.

Como o fluxo evasivo de CO<sub>2</sub> depende ainda das concentrações do gás na atmosfera acima do rio, foram realizadas também coletas de ar atmosférico, utilizando seringas de 60mL, as quais foram mantidas fechadas até o momento da análise laboratorial no CENA/USP. Tanto as amostras da pCO<sub>2</sub> da água quanto da atmosfera foram realizadas em triplicata.

Com a utilização de um anemômetro digital portátil Kestrel 3000 – *Pocket Weather Meter*, foram realizadas medidas da temperatura do ar (°C) e da velocidade do vento (m/s) em cada local de amostragem.

#### **e) Medidas de fluxo evasivo de CO<sub>2</sub>**

Nos meses de fevereiro, abril e maio de 2007 os fluxos de CO<sub>2</sub> foram medidos através do método da câmara flutuante e no período de junho a dezembro de 2006, os fluxos de CO<sub>2</sub> foram calculados a partir dos valores da pressão parcial do CO<sub>2</sub>, em decorrência de problemas com o equipamento utilizado para essa medição.

O fluxo do CO<sub>2</sub> para a atmosfera foi medido empregando-se uma câmara flutuante, instalada sobre o igarapé. A concentração de CO<sub>2</sub> foi mensurada por infravermelho, com o analisador LI-COR, modelo LI-820 – CO<sub>2</sub> *gas analyzer*, acoplado à

um computador portátil. A cada campanha de campo, foram realizadas cinco medições, durante cinco minutos cada, em cada um dos pontos de coleta.

O fluxo de CO<sub>2</sub> através da superfície da água, medido com câmaras, foi calculado de acordo com a seguinte equação:

$$F_{\text{CO}_2} = (\Delta p\text{CO}_2/\Delta t)(V/RTA)$$

onde:

F<sub>CO<sub>2</sub></sub> – é o fluxo (mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>);

(ΔpCO<sub>2</sub>/Δt) – variação da concentração de pCO<sub>2</sub> ao longo do tempo, obtida através da inclinação da reta (ppm s<sup>-1</sup>), a qual é calculada através da regressão linear entre o tempo e a pCO<sub>2</sub> no ar dentro da câmara;

V – é o volume do sistema (câmara, tubos e célula do analisador);

R – a constante universal dos gases (0,08206 atm L mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>);

T – a temperatura do ar (K);

A – é a área superficial de água na câmara (m<sup>2</sup>).

### 3.2.3 Procedimentos Laboratoriais

Os procedimentos realizados em laboratório foram: determinação das concentrações de carbono orgânico dissolvido, determinação da pressão parcial do CO<sub>2</sub> atmosférico e da água,

#### a) Análise de carbono orgânico dissolvido

A análise do carbono orgânico foi realizada por oxidação catalítica em alta temperatura (720°C) com detecção e quantificação do CO<sub>2</sub> por infravermelho não dispersivo, utilizando-se o analisador *Shimadzu TOC-V CSN*. As concentrações foram determinadas por comparação com biftalato de potássio (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), utilizado como padrão para calibração do equipamento para análise de COD.

### **b) Análise de pCO<sub>2</sub> da água e atmosférico**

A concentração de CO<sub>2</sub> foi determinada por cromatografia gasosa em um analisador Shimadzu – GC17A no laboratório do CENA/USP.

## **3.2.4 Cálculos estatísticos e de fluxos de massa**

Neste item são descritas as metodologias de estatística descritiva utilizadas para os cálculos dos valores apresentados nesse trabalho e o cálculo das concentrações de CID a partir da especiação da pCO<sub>2</sub>.

### **a) Cálculos estatísticos**

Fez-se uso da estatística descritiva para cálculos de médias, desvio padrão, faixa de variação e testes de correlação de Spearman, todos com a utilização do Microsoft Office Excel 2003.

### **b) Cálculo das taxas de exportação de carbono orgânico dissolvido**

As taxas de exportação de COD nos exutórios das bacias foram calculadas para o ano hidrológico estudado, junho/06 a maio/07 a partir das concentrações de COD e das medidas de vazão, sendo os fluxos normalizados pela área total das sub-bacias estudadas.

Os fluxos diários de COD foram obtidos a partir da multiplicação entre os valores diários de COD e da vazão. Como as coletas foram realizadas uma vez a cada mês, os valores mensais das concentrações de COD foram utilizados para representar as concentrações diárias de COD respectivas a cada mês de coleta. O mesmo procedimento foi realizado com os valores de vazão.

A partir do somatório das concentrações diárias durante o ano de estudo, obteve-se o fluxo anual de COD em cada bacia, o qual foi normalizado para valores de  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , a partir da divisão do fluxo anual de COD de toda a sub-bacia pela área da bacia em hectares. A mesma metodologia foi utilizada para os dados de vazão e concentração de COD nos exutórios das três sub-bacias em estudo.

Em novembro/06 e maio/07 ocorreram problemas com as medidas de velocidade de corrente, acarretando em dados de vazão completamente atípicos, e que, portanto, foram descartados como *outliers*. A vazão para esses meses foi estimada pelos valores de vazão dos meses antecedentes. Optou-se pelos valores de vazão dos meses anteriores, pois a partir da análise dos demais valores de vazão medidos ao longo do período de estudo, tornou-se possível supor que esses seriam aqueles que melhor representariam as vazões nos meses em que não foi realizada essa medição hidrológica.

### c) Cálculo das concentrações de CID

A determinação das concentrações de CID foi obtida através da especificação dos valores medidos da pressão parcial do  $\text{CO}_2$  ( $\text{pCO}_2$ ).

A concentração de CID foi obtida através das equações de equilíbrio termodinâmico, com base nos dados de pH, temperatura e  $\text{pCO}_2$  (RASERA<sup>1</sup>)

$$[\text{CO}_2^*] = [\text{pCO}_2] k_0 \quad (1)$$

$$\text{CID} = \frac{[(10^{\text{pH}})^2 + k_1 \cdot (10^{\text{pH}}) + k_1 \cdot k_2] [\text{CO}_2^*]}{(10^{\text{pH}})^2} \quad (2)$$

---

<sup>1</sup> RASERA, M. F. F. L. (CENA - USP, Piracicaba). Comunicação pessoal, 2007

$$pk_0 = -108,3865 - 0,01985076 \cdot Tk + 6919,53/Tk - 669365/Tk^2 + 40,451 \cdot \log_{10}(Tk)$$

$$pk_1 = -14,8435 + 0,032786 \cdot Tk + 3404,7/Tk$$

$$pk_2 = -6,498 + 0,02379 \cdot Tk + 2902,39/Tk$$



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 HIDROLOGIA – PRECIPITAÇÃO VAZÃO DOS CURSOS D'ÁGUA

Na figura 4.1, pode-se observar os dados mensais de precipitação no município de Igarapé-Açu entre os anos de 2002 e 2006, dispostos em gráfico construídos a partir de dados disponibilizados pelo laboratório de climatologia da Embrapa Amazônia Oriental, cuja estação meteorológica está situada nas coordenadas geográficas 01°12'S e 47° 36'W. A média anual da precipitação medida nesta estação meteorológica no período de 2002 a 2006 foi de 2.509 mm.

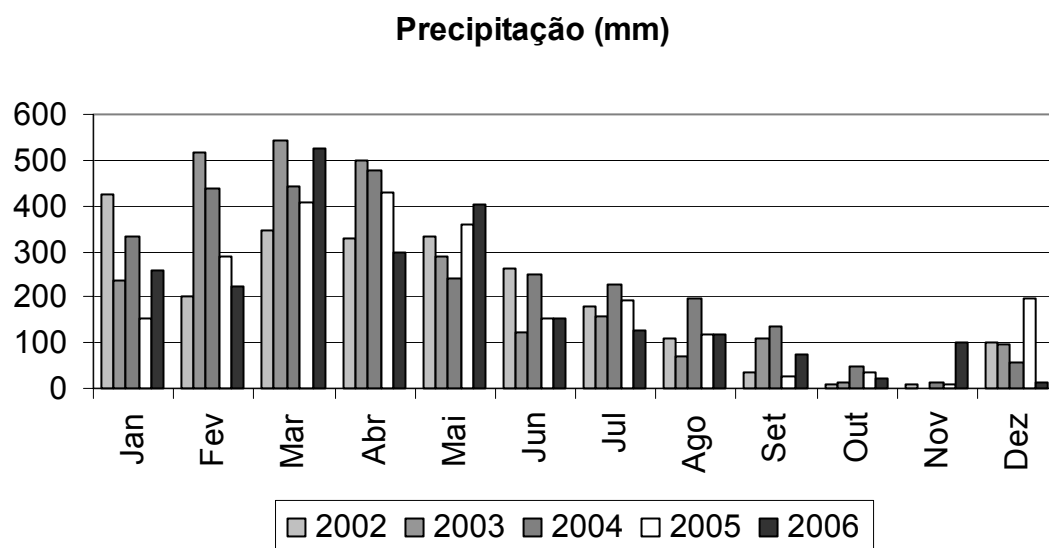


Figura 4.1 – Dados de precipitação (mm) mensais de 2002 a 2006 em Igarapé-Açu.

Os dados de precipitação diária do período de estudo também foram disponibilizados pelo Laboratório de Climatologia da Embrapa Amazônia Oriental, o qual coletou esses dados a partir da estação meteorológica existente no município de Igarapé-Açu (01°12' S e 47° 36' W). Os dados diários da precipitação, durante o período desse estudo podem ser observados na Figura 4.2.

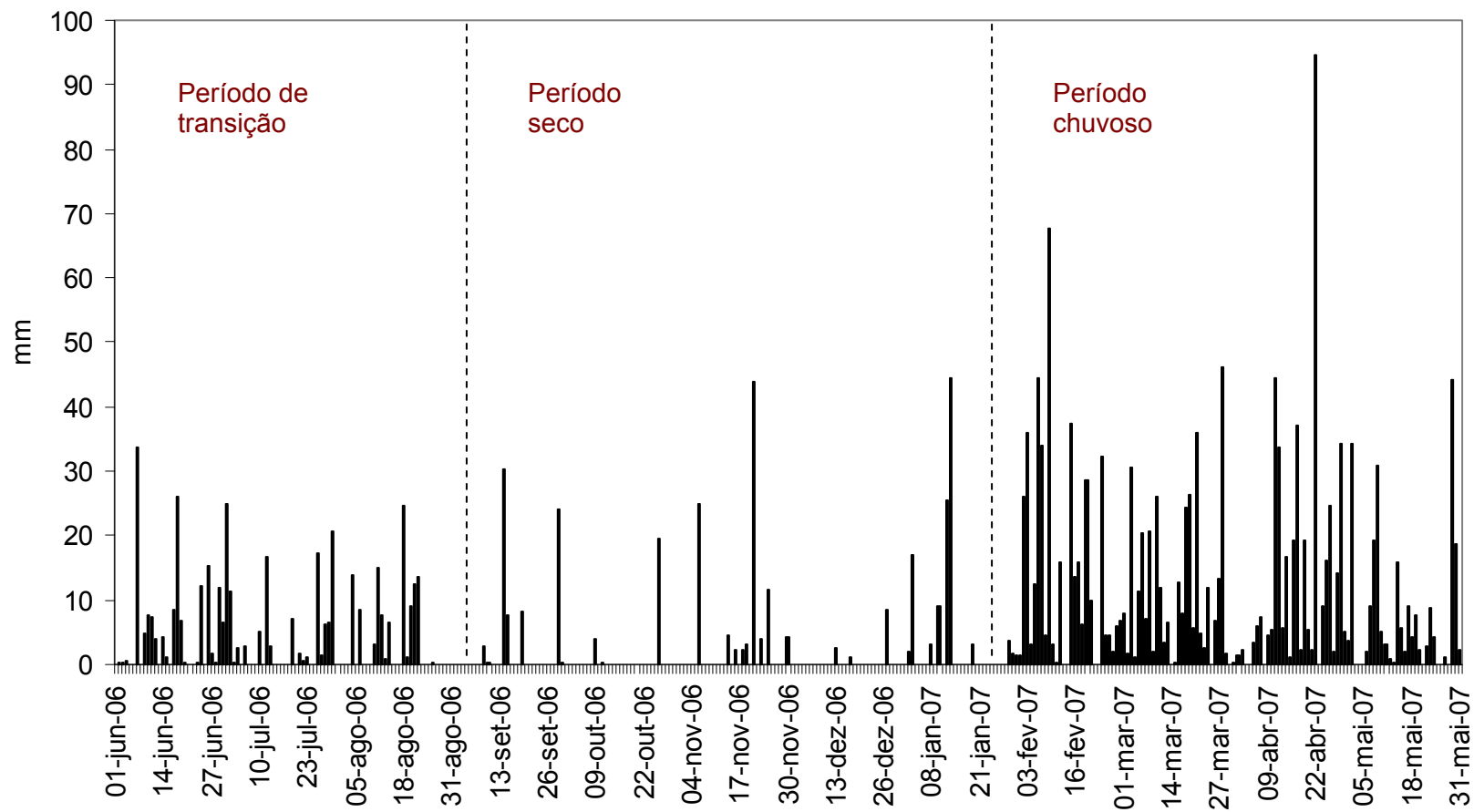


Figura 4.2 – Precipitação diária (mm) ao longo do período de coleta.

O início do monitoramento da precipitação deu-se em junho de 2006, mês em que a precipitação começou a diminuir gradativamente até meados do mês de agosto, quando caracterizou-se o fim da estação chuvosa e o início da estação seca que se estendeu até dezembro. Embora o retorno das chuvas tenha se dado em janeiro de 2007, apenas em fevereiro ficou bem caracterizada a estação chuvosa, a qual então prolongou-se extrapolando o final do período estudado, encerrado em maio de 2007.

Através desses dados e observando-se a Tabela 4.1 pode-se perceber que a precipitação se distribuiu de forma heterogênea ao longo do período de coleta, apresentando menores valores mensais entre outubro e dezembro de 2006 e valores maiores em fevereiro e abril de 2007. Os valores de precipitação durante a semana antecedente às datas das coletas e o somatório do número de dias em que houve a ocorrência de chuva durante cada mês podem ser também observados na Tabela 4.1. O total de chuvas no ano amostrado foi de 2.143 mm, valor cerca de 15% inferior à média anual de precipitação nos cinco anos precedentes a este estudo.

Concomitantemente ao monitoramento da precipitação, foram realizadas medidas de vazão. Ainda na Tabela 4.1 é possível ver os valores de vazão instantânea medidos nos exutórios das bacias nas datas das coletas de amostras. As vazões tenderam a decrescer nos primeiros meses de coleta – segundo semestre de 2006 – aumentando no início do primeiro semestre de 2007.

Observando os valores de precipitação no primeiro semestre de 2007, pode-se notar que, embora a precipitação tenha aumentado, na semana antecedente a coleta do mês de janeiro choveu pouco (3 mm), o que pode ter influenciado os valores de vazão deste mês fazendo com que eles decrescessem em janeiro/07, em relação a dezembro/06, voltando a aumentar a partir de fevereiro/07.

Tabela 4.1 – Precipitação mensal e semanal e vazões instantâneas nos dias de coleta no exutório de cada bacia.

|        | precipitação (mm) |          |        | vazão ( $m^3 s^{-1}$ ) |        |        |
|--------|-------------------|----------|--------|------------------------|--------|--------|
|        | mensal            | semanal* | dias** | IGCU-D                 | IGPA-B | IGSJ-B |
| jun-06 | 154,2             | 42,9     | 21     | 1,0092                 | 0,0114 | 0,4860 |
| jul-06 | 128,0             | 24,3     | 17     | 0,8710                 | 0,0250 | 0,4092 |
| ago-06 | 116,7             | 61,0     | 13     | 0,6687                 | 0,0213 | 0,4966 |
| set-06 | 73,5              | 46,2     | 8      | 0,6497                 | 0,0198 | 0,5715 |
| out-06 | 23,8              | 0,0      | 3      | 0,4506                 | 0,0125 | 0,4327 |
| nov-06 | 100,6             | 51,4     | 9      | -                      | -      | -      |
| dez-06 | 12,2              | 1,2      | 3      | 0,3800                 | 0,0870 | 0,2550 |
| jan-07 | 110,8             | 3,0      | 10     | 0,2400                 | 0,0250 | 0,1680 |
| fev-07 | 416,8             | 56,2     | 24     | 0,3400                 | 0,0370 | 0,1710 |
| mar-07 | 352,2             | 75,6     | 28     | 0,5580                 | 0,0560 | 0,2710 |
| abr-07 | 417,2             | 115,6    | 26     | 0,5990                 | 0,0960 | 0,2070 |
| mai-07 | 237               | 36,8     | 24     | -                      | 0,0920 | 0,2170 |

\* semana anterior à coleta

\*\* somatório dos dias com ocorrência de precipitação durante o mês

O início do monitoramento das vazões ocorreu em junho de 2006, mês que sucede um período chuvoso do ano de 2006 e que, portanto, pode explicar as vazões elevadas para os quatro primeiros meses de monitoramento nos igarapés Cumaru e São João (Figura 4.3).

Com o início da estação seca, ocorreu um declínio mais substancial das vazões desses igarapés, as quais voltaram a subir com o início da estação chuvosa em fevereiro. Tal fato fortaleceu a possibilidade de utilização desses valores para os cálculos dos fluxos de massa nessas duas bacias.

No igarapé Pachibá não foi observado esse comportamento das vazões (Figura 4.3). Tal fato está relacionado aos reparos executados no mês de dezembro na estrada que corta esse trecho do igarapé, formando uma barragem, a qual foi

erguida à cotas maiores; também foi erguido o tubo de escoamento da água, cujo diâmetro é de apenas 0,60 m. Dessa maneira, as medidas de vazão do Igarapé Pachibá não foram confiáveis para os cálculos de fluxos de massa. No entanto, pode-se caracterizar que a vazão nesse igarapé possui magnitude menor em uma ordem de grandeza em relação aos outros dois igarapés.

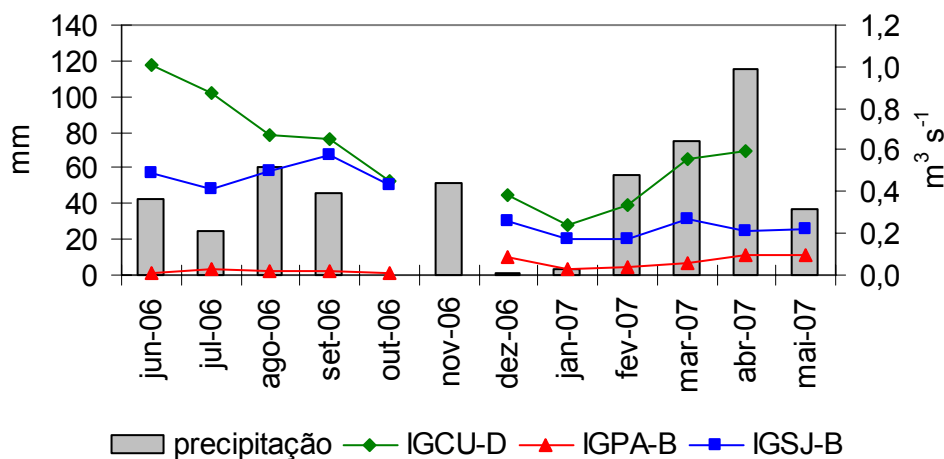


Figura 4.3 – Variação temporal da precipitação e da vazão nos exutórios dos igarapés Cumaru (IGCU-D), Pachibá (IGPA-B) e São João (IGSJ-B).

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO AMBIENTE AQUÁTICO

Os valores máximos e mínimos obtidos com as medidas *in situ* de pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD) e temperatura nos pontos situados nas áreas das bacias dos Igarapés Cumaru, São João e Pachibá estão indicados na Tabela 4.2. Esses dados referem-se ao período estudado – junho de 2006 a maio de 2007 – e à uma campanha de campo a cada mês.

Tabela 4.2 – Valores mínimos e máximos de pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD) e temperatura (Temp.), observados no período de junho de 2006 a maio de 2007.

| Ponto de Coleta | pH            | CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) | OD (%)        | Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|-----------------|---------------|------------------------------|---------------|------------------------------|
| ICCU-A          | 3,862 – 4,499 | 22,8 – 31,0                  | 30,49 – 42,95 | 26,2 – 27,3                  |
| IGCU-B          | 3,619 – 4,440 | 23,4 – 27,9                  | 33,16 – 52,23 | 25,0 – 26,7                  |
| IGCU-C          | 4,128 – 5,239 | 18,3 – 25,2                  | 58,55 – 84,47 | 25,3 – 26,6                  |
| IGCU-D          | 4,108 – 4,837 | 18,3 – 27,0                  | 40,75 – 85,86 | 25,2 – 26,7                  |
| IGSJ-A          | 3,301 – 4,190 | 26,9 – 30,9                  | 34,48 – 63,31 | 26,1 – 27,1                  |
| IGSJ-B          | 3,644 – 4,401 | 18,1 – 21,1                  | 60,39 – 74,46 | 25,0 – 27,7                  |
| IGPA-A          | 3,483 – 4,454 | 17,9 – 20,8                  | 35,79 – 63,28 | 24,9 – 27,0                  |
| IGPA-B          | 3,865 – 4,791 | 15,9 – 21,4                  | 3,73 – 69,78  | 25,4 – 29,6                  |

Os dados de pH permitem caracterizar as águas fluviais estudadas como ácidas. Em parte isso se deve à presença de solos ácidos e de fontes de ácidos orgânicos nas áreas de matas ripárias e de nascentes. A condutividade elétrica de maneira geral é baixa, não representando valores que denotem carga excessiva de nutrientes, apesar do uso da terra apresentar potencial para aumentar o transporte de nutrientes das áreas agrícolas para os igarapés estudados. Nesse aspecto, é possível que a vegetação ripária esteja tamponando a entrada de nutrientes, que sem a presença da mesma, estaria elevando os teores de nutrientes na água fluvial e, conseqüentemente, aumentando os valores de condutividade. Outro fator é a baixa disponibilidade de nutrientes nesses solos pobres, o que diminui a carga de nutrientes que lixivia nesses ambientes. No entanto, o oxigênio dissolvido, de uma maneira geral, apresenta baixas concentrações, cujos valores não atendem aos níveis de qualidade definidos pelo CONAMA 357/2005 para águas das Classes Especial, 1, 2 e 3. Tal característica anóxica pode comprometer a integridade do ecossistema aquático, cujo metabolismo depende de taxas de oxigênio dissolvido não inferiores a 6 mg/L, não encontradas em todos os pontos de coleta e/ou em todas as campanhas de campo. Excetuando-se os valores mais elevados do ponto IGPA-B, a temperatura esteve em níveis aceitáveis para a manutenção da qualidade

dessas águas e do metabolismo do ecossistema aquático. Esse fato está ligado ao menor sombreamento sobre o lago formado onde esse ponto de coleta foi alocado, e a menor renovação da água represada nesse ambiente.

Nas Tabelas 4.3 a 4.6 podem ser observados os valores médios de pH, condutividade elétrica (CE), percentual de saturação de oxigênio dissolvido (%OD) e temperatura em cada pontos de amostragem para os períodos seco (set/06 a jan/07) e chuvoso (fev/07 a mai/07), e do que se definiu como um período de transição da época mais chuvosa para a época seca (jun/06 a ago/06). Esses dados referem-se às médias das campanhas mensais de cada um dos referidos períodos durante o estudo realizado de junho de 2006 a maio de 2007.

Pode-se constatar a variação dos parâmetros pH e OD, apresentando, para a maioria dos pontos de coleta, no período seco, águas menos ácidas e mais saturadas em oxigênio, em relação ao período chuvoso, excetuando-se os pontos IGCU-A e IGPA-B.

Tabela 4.3 – Valores médios de pH nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá.

| ponto de coleta | pH              |              |                      |
|-----------------|-----------------|--------------|----------------------|
|                 | período chuvoso | período seco | período de transição |
| IGCU-A          | 4,18            | 4,09         | 4,00                 |
| IGCU-B          | 3,82            | 4,09         | 3,96                 |
| IGCU-C          | 4,33            | 4,88         | 4,73                 |
| IGCU-D          | 4,24            | 4,62         | 4,58                 |
| IGSJ-A          | 3,45            | 3,89         | 3,98                 |
| IGSJ-B          | 3,83            | 4,13         | 4,28                 |
| IGPA-A          | 4,00            | 4,09         | 4,04                 |
| IGPA-B          | 4,40            | 4,34         | 4,05                 |

Tabela 4.4 – Valores médios de condutividade elétrica (CE) nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá.

| CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) |                 |              |                      |
|------------------------------|-----------------|--------------|----------------------|
| ponto de coleta              | período chuvoso | período seco | período de transição |
| IGCU-A                       | 24,3            | 25,6         | 27,8                 |
| IGCU-B                       | 26,1            | 26,6         | 25,0                 |
| IGCU-C                       | 21,3            | 21,5         | 19,5                 |
| IGCU-D                       | 21,5            | 21,9         | 19,1                 |
| IGSJ-A                       | 28,5            | 29,3         | 28,9                 |
| IGSJ-B                       | 19,5            | 19,0         | 19,4                 |
| IGPA-A                       | 19,7            | 19,0         | 19,6                 |
| IGPA-B                       | 19,8            | 18,6         | 19,3                 |

Tabela 4.5 – Concentração média de oxigênio dissolvido (OD) nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá.

| OD (%)          |                 |              |                      |
|-----------------|-----------------|--------------|----------------------|
| ponto de coleta | período chuvoso | período seco | período de transição |
| IGCU-A          | 40,69           | 35,18        | 35,33                |
| IGCU-B          | 35,82           | 38,82        | 47,78                |
| IGCU-C          | 65,30           | 79,57        | 82,45                |
| IGCU-D          | 59,68           | 83,14        | 81,54                |
| IGSJ-A          | 43,73           | 50,07        | 57,06                |
| IGSJ-B          | 63,34           | 69,60        | 64,00                |
| IGPA-A          | 49,40           | 59,17        | 59,83                |
| IGPA-B          | 38,71           | 34,98        | 39,33                |



Tabela 4.6 – Temperatura média nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá.

| Temperatura (°C) |         |              |                      |
|------------------|---------|--------------|----------------------|
| ponto de coleta  | período |              | período de transição |
|                  | chuvoso | período seco |                      |
| IGCU-A           | 26,5    | 27,0         | 26,8                 |
| IGCU-B           | 25,8    | 26,3         | 26,3                 |
| IGCU-C           | 25,8    | 25,7         | 26,0                 |
| IGCU-D           | 25,7    | 25,6         | 26,1                 |
| IGSJ-A           | 26,4    | 26,6         | 26,5                 |
| IGSJ-B           | 26,8    | 26,3         | 25,8                 |
| IGPA-A           | 26,0    | 26,4         | 25,3                 |
| IGPA-B           | 27,6    | 26,6         | 25,7                 |

Em termos sazonais, o mesmo tipo de padrão foi observado na bacia do Rio Ji-Paraná, em Rondônia, com concentrações de OD mais elevadas no período seco. Esse padrão com menores teores de OD no período de cheia, deve-se a uma maior quantidade de material orgânico que é arrastado para o interior dos canais, resultando em aumento dos teores de carbono orgânico dissolvido e na intensificação dos processos respiratórios, com conseqüente aumento no consumo de oxigênio (NEILL et al. 2001; VICTORIA, 2005).

Embora com variação muito pequena na condutividade, mediram-se no Igarapé Cumaru e na nascente do Igarapé São João médias maiores durante o período seco. Já o igarapé Pachibá e o ponto localizado no curso principal do Igarapé São João apresentaram maiores valores médios de condutividade durante o período chuvoso.

No período seco, a temperatura apresentou valores médios maiores nas nascentes, enquanto que no período chuvoso apresentou médias maiores no curso

principal dos igarapés. Devido às medições terem sido realizadas em horários variáveis em cada ponto de coleta ao longo do ano estudado, torna-se difícil estabelecer uma comparação dos valores de temperatura entre nascentes e cursos principais.

Observou-se no Igarapé Cumaru, com exceção do ponto IGCU-A, uma queda nos valores de pH no período de maior precipitação no município de Igarapé-Açu (fevereiro a maio de 2007), cujos valores mensais podem ser observados na Figura 4.3. Este padrão não observado em IGCU-A pode ser devido ao desmatamento ocorrido durante o período estudado na área de nascente onde este ponto foi alocado. Vários fatores como a geologia local, os solos, a decomposição da matéria orgânica e processos biológicos e biogeoquímicos atuantes nos compartimentos terrestre e aquático da bacia, contribuem para o aumento ou diminuição do pH (SURANI, 2006).

Pode-se observar que no período de maior precipitação, ambos os pontos de coleta do Igarapé São João tenderam a apresentar valores de pH mais baixos (3,45 e 3,83 - médias da estação chuvosa para os pontos IGSJ-A e IGSJ-B, respectivamente), comportamento que também foi observado por Rasesa (2005) para a bacia do rio Ji-Paraná em função da elevada acidez da água da chuva naquela região. No entanto, Wickel (2004) mediu pH com baixa acidez (5,0 a 6,2) na bacia do Igarapé Cumaru. Portanto, os baixos valores de pH na estação chuvosa nas bacias estudadas devem ser ocasionados por uma maior lixiviação dos solos florestais nessa época, carreando ácidos orgânicos para o leito dos rios.

A variabilidade do pH em cada um dos igarapés estudados ao longo do período estudado pode ser observada na Figura 4.4. Observou-se um padrão semelhante de aumento dos valores de pH de montante para jusante nos três igarapés estudados.

No Igarapé Cumaru, pode-se observar que os valores de pH variaram mais no ponto IGCU-C (4,128 - 5,239, conforme Tabela 4.2), localizado no curso principal, e apresentaram valores menores de pH nos pontos de coleta localizados nas nascentes, pontos IGCU-A e IGCU-B, respectivamente 3,862 e 3,619.

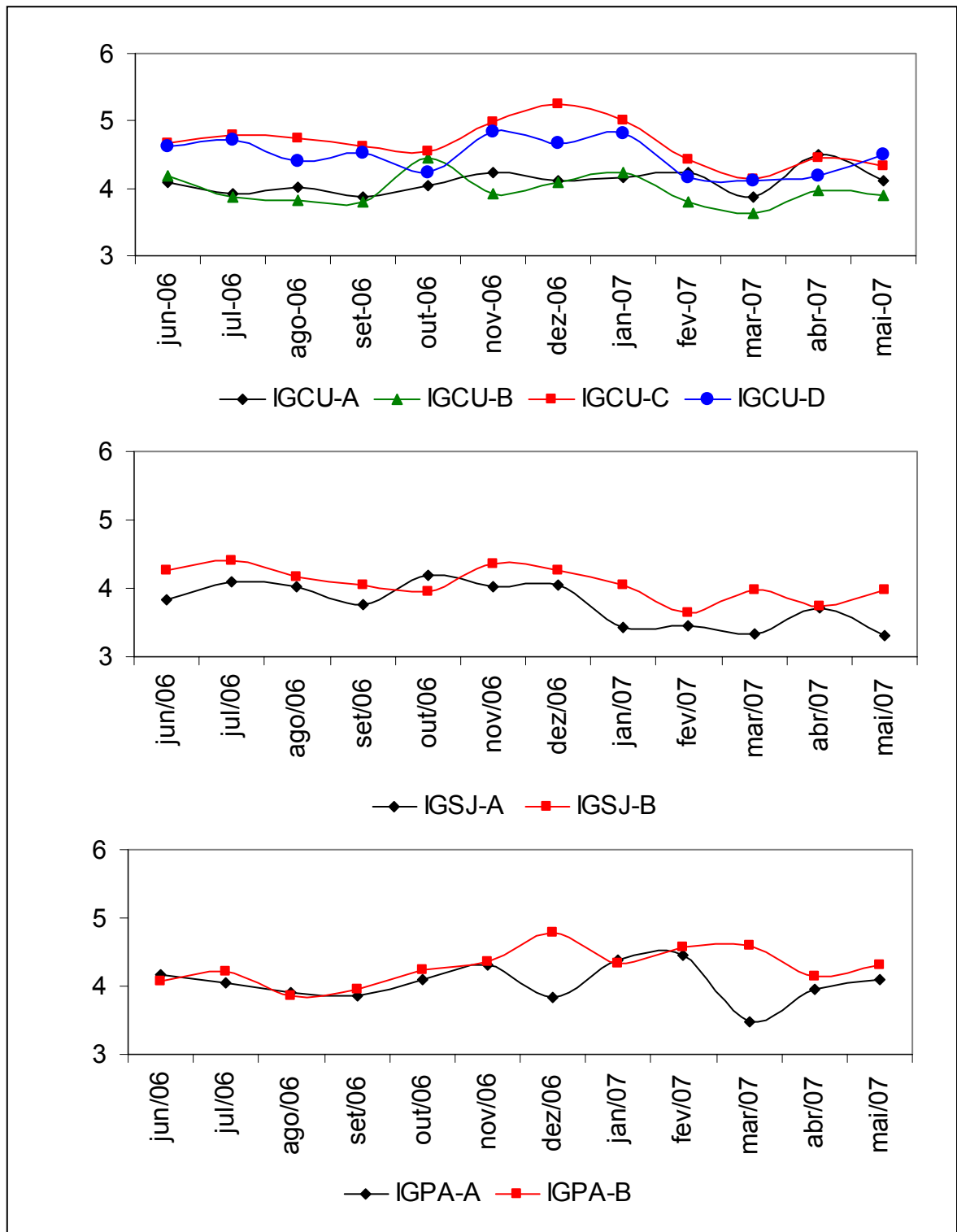


Figura 4.4 – Valores de pH nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá durante o período estudado.

No Igarapé Pachibá, a amplitude na variação do pH foi semelhante para os dois pontos de coleta, sendo que o ponto IGPA-A, localizado mais à montante, apresentou valores menores do que o ponto IGPA-B, localizado mais à jusante.

No Igarapé São João, o padrão de variação espacial do pH foi o mesmo observado nos igarapés Cumaru e Pachibá, isto é, foram medidos valores menores no ponto localizado na nascente (IGSJ-A) em relação ao ponto localizado no curso principal (IGSJ-B).

É esperado esse comportamento do pH nessas áreas, pois a água que lixivia nas áreas de nascentes carrega ácidos orgânicos provenientes de solos florestais mais acidificados, ricos em matéria orgânica, provocando assim a diminuição do pH (TRINDADE, 1980; ESTEVES, 1998).

A condutividade elétrica variou entre 17,9 e 31,0  $\mu\text{S cm}^{-1}$  nas nascentes e entre 15,9 e 27,0  $\mu\text{S cm}^{-1}$  nos cursos principais dos igarapés (Tabela 4.2). As nascentes apresentaram valores superiores aos cursos principais, tanto no Igarapé Cumaru como no Igarapé São João (Figura 4.5).

Os maiores valores de condutividade devem estar relacionados à maior liberação de íons provenientes da mineralização da matéria orgânica, que tende a concentrar-se nas nascentes. Soma-se a isso o possível efeito de concentração de solutos devido à menor vazão nesta porção mais à montante nos igarapés. Nos cursos principais deve ocorrer o inverso, a condutividade elétrica diminui com o aumento da vazão, em virtude do efeito de diluição de solutos. Porém, para uma conclusão mais concreta seria necessário analisar, principalmente no Igarapé Cumaru, as outras nascentes existentes, pois há a possibilidade de que esses braços de rio não analisados sejam mais pobres em íons e estejam influenciando nos valores de condutividade elétrica dos pontos de coleta localizados no curso principal.

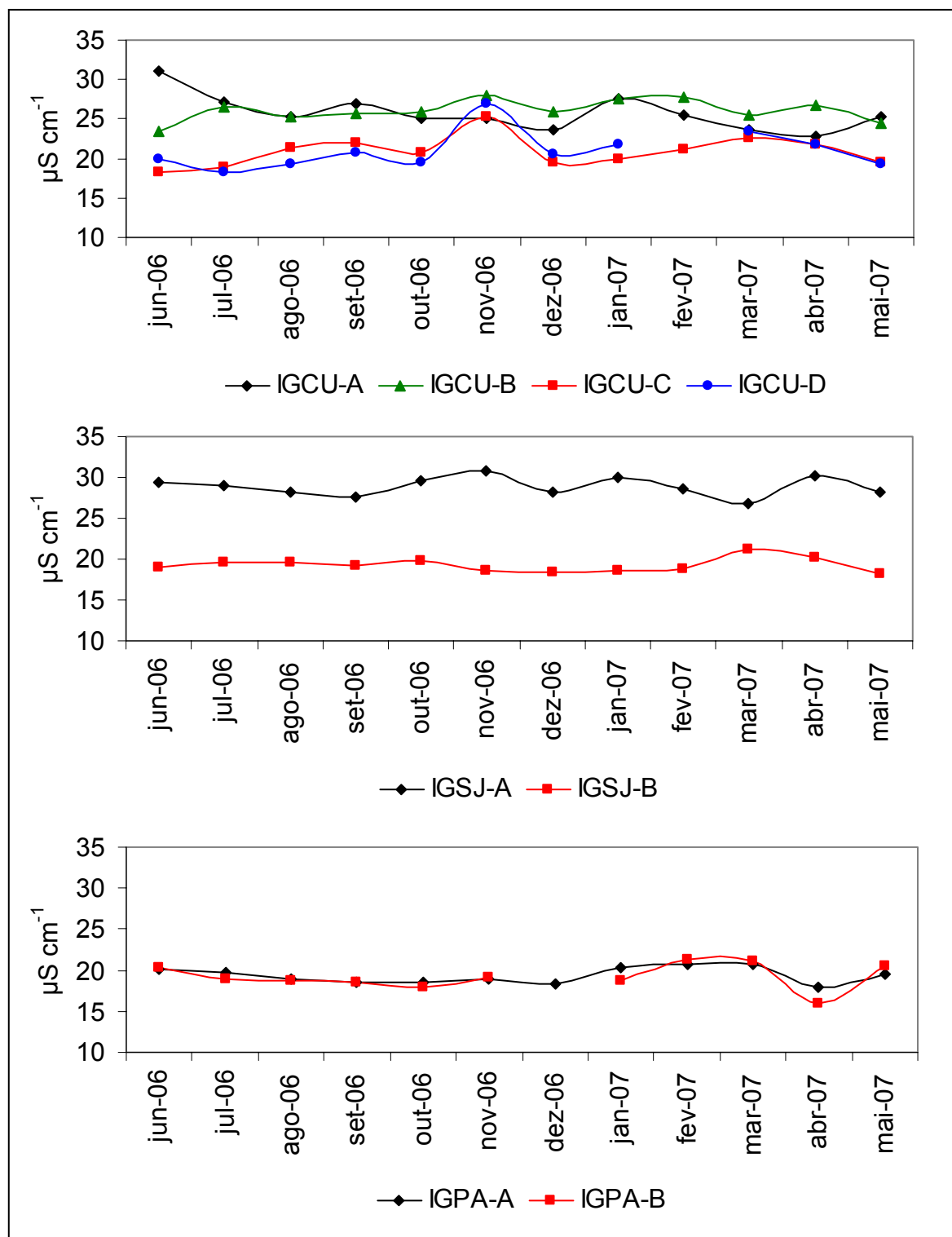


Figura 4.5 – Valores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá durante o período estudado.

No Igarapé Pachibá, onde a alocação dos pontos de coleta não contemplou propriamente a nascente desse córrego, não foi observado um padrão de variação espacial entre os dois pontos estudados. Em alguns meses o ponto IGPA-A apresentou valores maiores em relação ao ponto IGPA-B, sendo que essa situação inverteu-se em outros meses. No entanto, ambos os pontos de coleta sofreram variações nos valores de CE, de acordo com as variações nos valores da precipitação, decrescendo entre os meses de junho e outubro de 2006 e voltando a apresentar valores maiores entre janeiro e maio de 2007, período em que ocorreram os maiores índices de precipitação do período de coleta.

Em relação ao oxigênio dissolvido observa-se que os pontos de coleta dos igarapés Cumaru e São João apresentaram maiores percentuais de saturação nos cursos principais do que nas nascentes. Os baixos valores de %OD nas nascentes também estão relacionados à vazão, pois quanto menor a vazão, menor a turbulência e, conseqüentemente, menores valores de oxigênio dissolvido, ocorrendo o inverso para os cursos principais, onde a turbulência é mais acentuada (Figura 4.6). Em um ambiente lântico, com seu típico movimento lento ou estagnado, comparativamente ao ambiente lótico, um ambiente de águas continentais moventes, pode-se esperar que ocorram diferentes processos e taxas de assimilação de nutrientes nos ecossistemas aquáticos. Tal fator deve ser determinante na hidroquímica dos igarapés estudados onde esses têm suas águas represadas formando pequenos lagos.

O ponto IGPA-B do Igarapé Pachibá está localizado em trecho represado, cuja saída de água se dá por meio de um tubo de pequeno diâmetro (60 cm), fato este que promove a formação de um lago mais amplo. O ambiente nesse ponto é, portanto, lântico e de menor turbulência da água, motivo pelo qual os percentuais de saturação de oxigênio (%OD) são baixos. Outro fator que pode contribuir para a diminuição dos níveis de %OD deste ponto é a exposição dessas águas a atividades antrópicas em suas margens como adubação em cultivos agrícolas e presença de efluentes domésticos (banheiro junto ao igarapé).

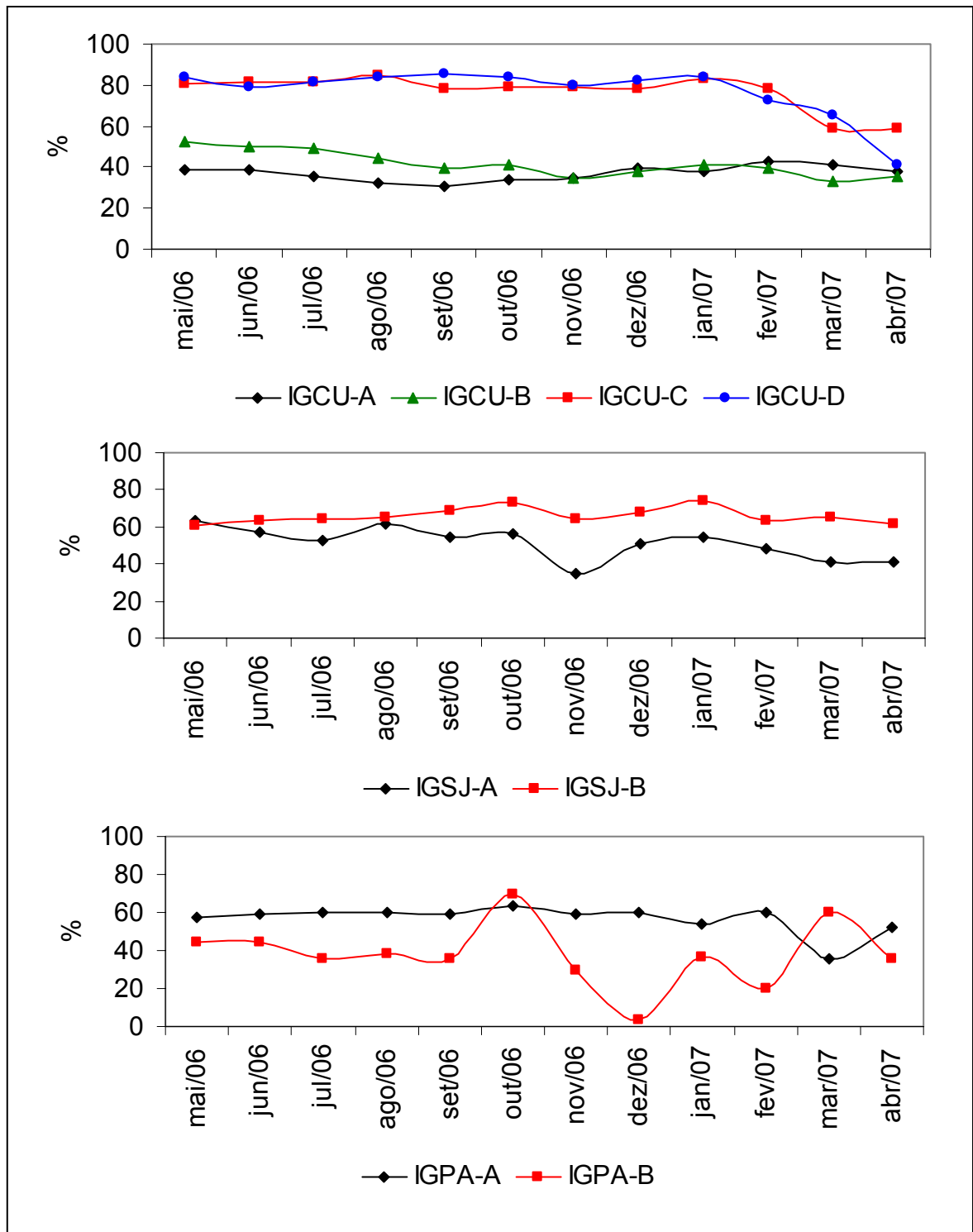


Figura 4.6 – Percentual de saturação de oxigênio dissolvido (%) nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá durante o período estudado.

A proliferação de macrófitas aquáticas e uma maior população fitoplanctônica, favorecidas pela entrada de nutrientes de fontes antrópicas, podem levar a uma etapa do metabolismo do ecossistema aquático, onde os processos de respiração sobrepõem-se aos processos fotossintéticos contribuindo para maior consumo do oxigênio. Nessas condições, o déficit de oxigênio aumenta, favorecendo a formação de  $H_2S$ , um gás nocivo à vida e um dos principais responsáveis pelos baixos valores de pH da água desses ambientes (ESTEVES, 1998).



### 4.3 VARIAÇÃO ESPACIAL DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO

As concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) nas águas dos Igarapés Cumaru, São João e Pachibá variaram de 0,27 a 12,13 mg L<sup>-1</sup>, com médias anuais entre 1,24 e 3,02 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 4.7). Na maioria dos rios do mundo encontra-se habitualmente o valor médio de 5 mg L<sup>-1</sup> (MEYBECK, 1982 *apud* MARTINS & PROBST, 1991), sendo que rios tropicais são conhecidos por apresentarem valores entre 2 e 15 mg L<sup>-1</sup> (MARTINS, 1991). A Tabela 4.8 apresenta concentrações de COD em bacias na Amazônia e cerrado, e pode-se constatar que os igarapés estudados em Igarapé-Açu apresentam, em geral, valores de COD de magnitude similar.

Tabela 4.7 – Valores mínimos, máximos e médias de carbono orgânico dissolvido (COD) observados no período de junho de 2006 a maio de 2007.

| Ponto de coleta | COD (mg L <sup>-1</sup> ) |       |
|-----------------|---------------------------|-------|
|                 | Variação                  | Média |
| ICCU-A          | 0,59 – 5,03               | 1,43  |
| IGCU-B          | 0,40 – 5,72               | 1,24  |
| IGCU-C          | 1,22 – 6,64               | 2,91  |
| IGCU-D          | 0,99 – 8,28               | 3,02  |
| IGSJ-A          | 0,27 – 12,13              | 2,13  |
| IGSJ-B          | 0,42 – 5,16               | 1,47  |
| IGPA-A          | 0,58 – 6,10               | 1,44  |
| IGPA-B          | 0,88 – 8,87               | 2,65  |

Tabela 4.8 – Concentrações médias de carbono orgânico dissolvido (COD) em bacias de drenagem na Amazônia e no cerrado Brasileiro

| Referência  | Local               | COD ( $mg L^{-1}$ ) |
|---|---------------------|---------------------|
| McClain <i>et al.</i> (1997)                                | Campina             | 38,19               |
|   | Barro Branco        | 4,47                |
| Williams and Melack (1997);<br>William <i>et al.</i> (1997) | Manaus / Alto Braço | 1,90                |
|   | Baixo Braço         | 1,00                |
|   | Mota Brook          | 0,88                |
| Markewitz <i>et al.</i> (2004)                              | Paragominas         | 1,30                |
| Markewitz <i>et al.</i> (2006)                              | Brasília            | 8,15                |
|   | Brasília            | 2,37                |

Fonte: Markewitz *et al.* (2006) e McClain *et al.* (1997). Adaptado pela autora.

Pontos localizados nos cursos principais apresentaram valores de COD mais altos do que os pontos localizados nas nascentes (Figura 4.7). Os menores teores de COD nas nascentes demonstram que, embora a presença de ácidos orgânicos deva ser maior, estes não elevam o COD acima dos valores encontrados nos cursos principais dos igarapés. Tal fato pode estar relacionado à maior importância de outros compostos orgânicos (ácidos carboxílicos, carboidratos, aminoácidos e proteínas, por exemplo) na concentração total de COD, e que adentram o canal à medida que este corta a paisagem. Esses compostos não são quantificados pelo equipamento usado. Assim sendo, respostas a essas questões só poderão ser resolvidas a partir de pesquisas sobre a composição molecular do carbono orgânico dissolvido.

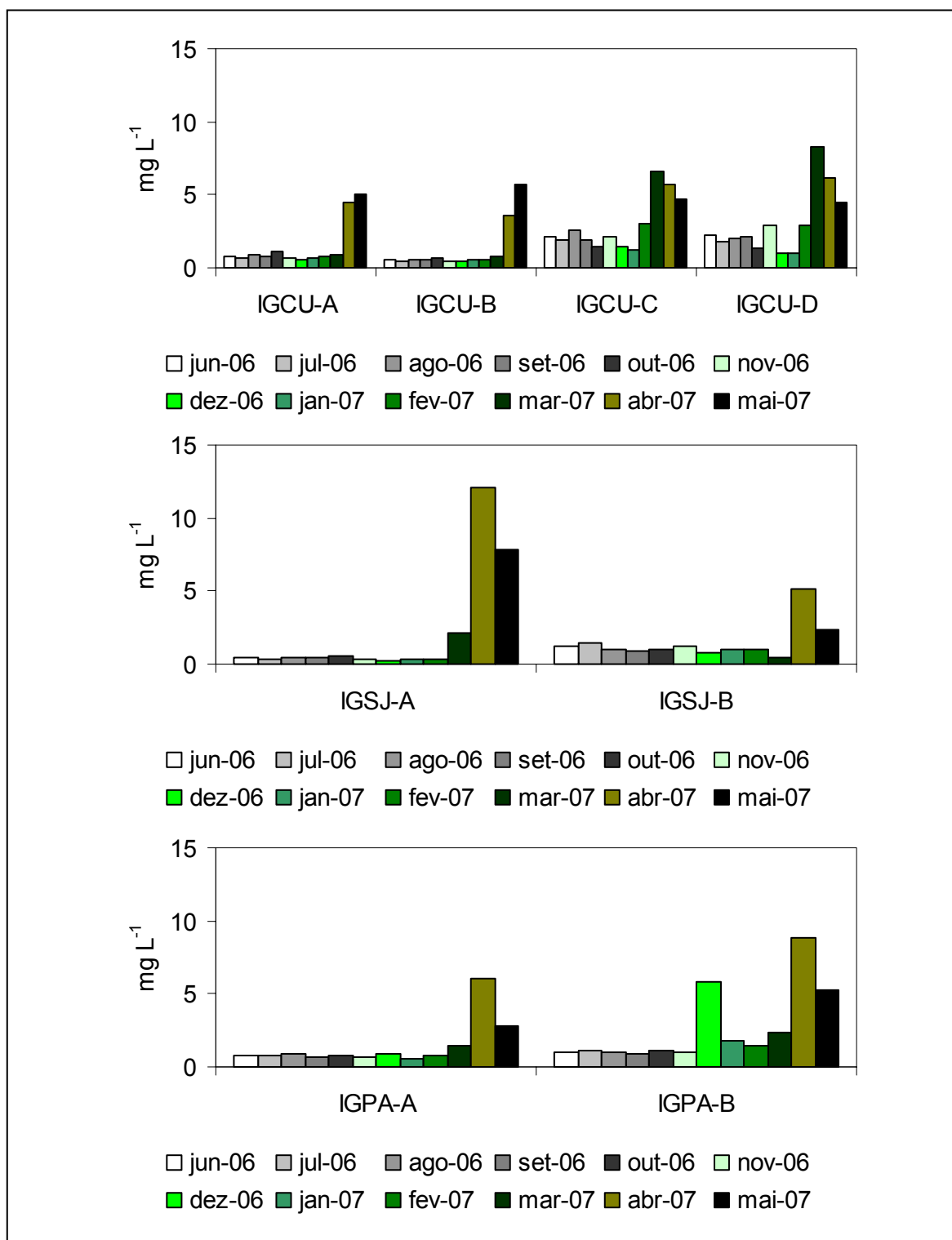


Figura 4.7 – Concentrações de carbono orgânico dissolvido (mg L<sup>-1</sup>) nos pontos de coleta dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá no período estudado.

#### 4.4 VARIAÇÃO TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO

Em todos os pontos de coleta as concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) tenderam a diminuir no período de estiagem e a aumentar nos meses de maior precipitação (Figuras 4.8 e 4.9). Esta tendência também foi observada por Richey *et al.* (1991) que encontraram em rios Amazônicos teores de COD entre 2,7 e 4,7  $mg L^{-1}$ , com valores maiores no período de cheia.

Concentrações médias de COD foram maiores durante o período chuvoso em todos os pontos de coleta em relação aos períodos seco e de transição (Tabela 4.9), coincidindo com o que foi observado anteriormente por McClain *et al.* (1997) e por Neu (2005) na bacia Amazônica. Waterloo *et al.* (2006) também encontrou maiores concentrações de COD e aumento das vazões durante o período chuvoso na Amazônia.

Tabela 4.9 – Concentrações médias de carbono orgânico dissolvido ( $mg L^{-1}$ ) nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá.

| COD ( $mg L^{-1}$ ) |                      |              |                 |
|---------------------|----------------------|--------------|-----------------|
| ponto de coleta     | período de transição | período seco | período chuvoso |
| IGCU-A              | 0,74                 | 0,76         | 2,79            |
| IGCU-B              | 0,51                 | 0,53         | 2,66            |
| IGCU-C              | 2,21                 | 1,63         | 5,02            |
| IGCU-D              | 2,01                 | 1,68         | 5,45            |
| IGSJ-A              | 0,41                 | 0,38         | 5,60            |
| IGSJ-B              | 1,19                 | 1,01         | 2,24            |
| IGPA-A              | 0,84                 | 0,71         | 2,80            |
| IGPA-B              | 1,08                 | 2,11         | 4,50            |

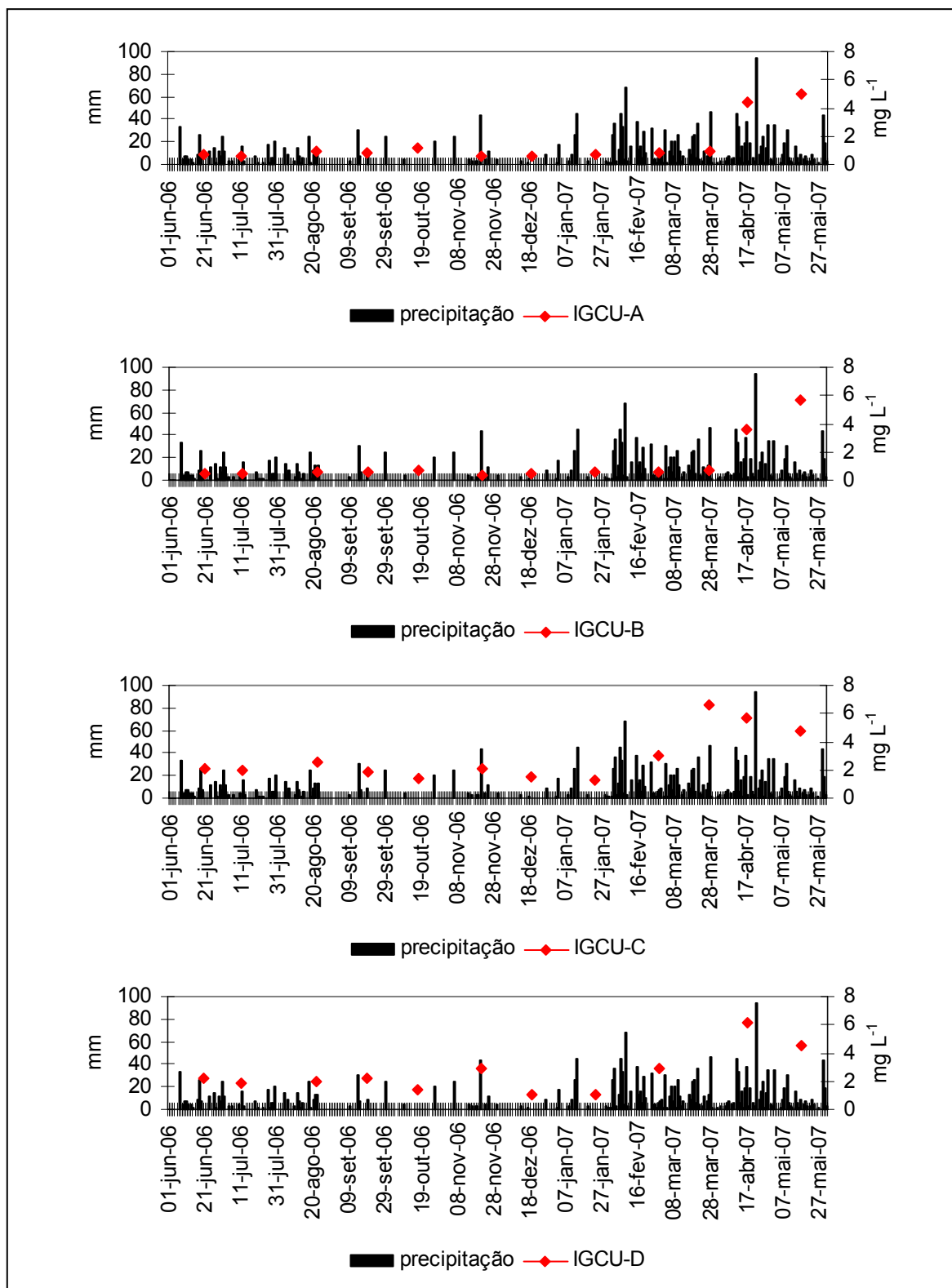


Figura 4.8 – Variação temporal da precipitação (mm) e do carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nas nascentes e curso principal do Igarapé Cumaru durante o período estudado.

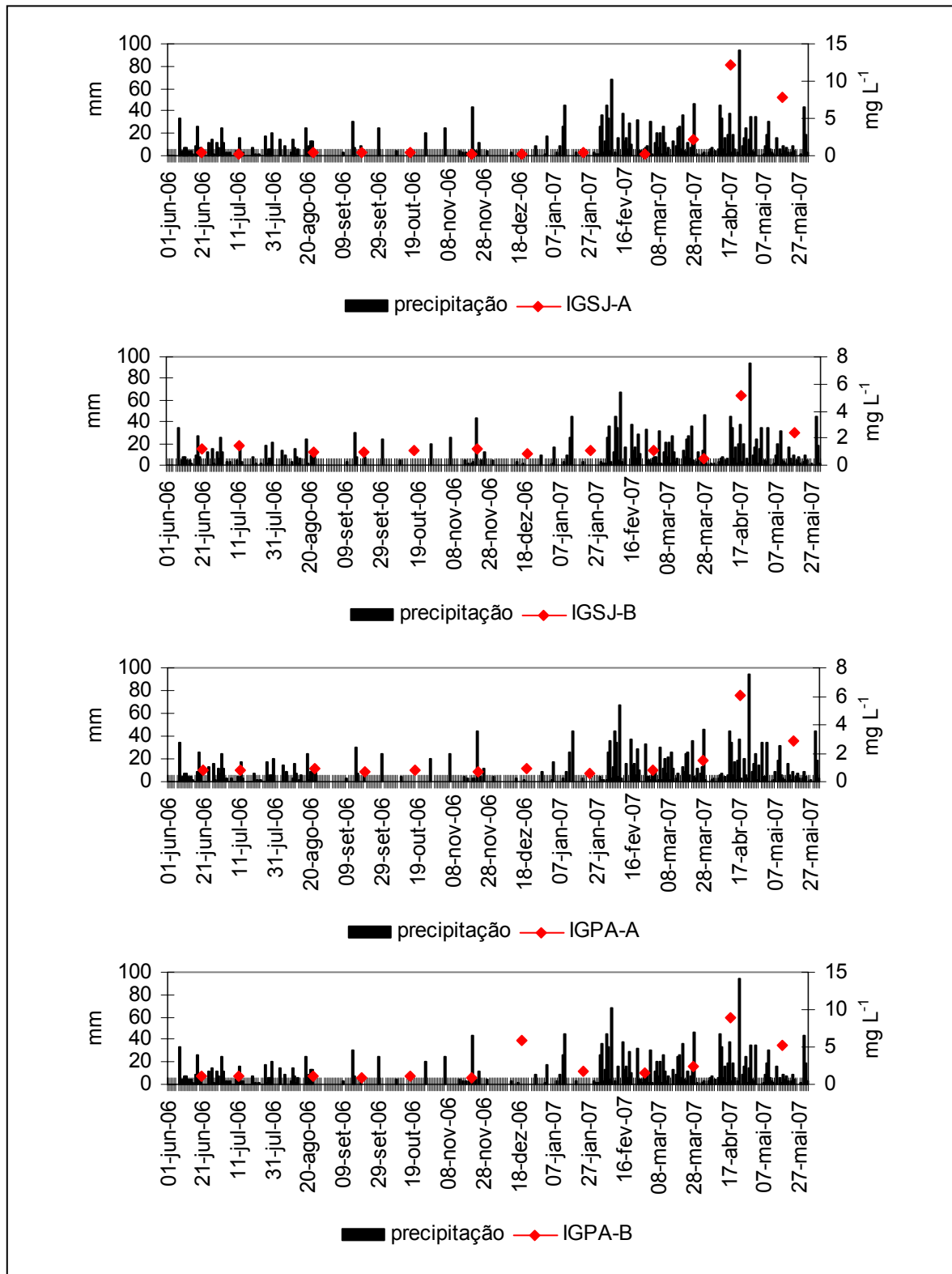


Figura 4.9 – Variação temporal da precipitação e do carbono orgânico dissolvido (COD) nas nascentes e cursos principais dos igarapés São João e Pachibá durante o período estudado.

Houve uma tendência de covariação da concentração de COD com a precipitação mensal e semanal medidas (Tabela 4.10), corroborando com a maior média encontrada para COD no período chuvoso. A covariação de COD com a precipitação foi mais forte nos dois pontos de coleta no canal principal do Igarapé Cumaru do que nos demais pontos de amostragem. Outros fatores, além da contribuição das águas lixiviadas de solos orgânicos das capoeiras altas que margeiam os igarapés, devem, portanto, controlar as variações de COD no canal. O que ocorre nas duas nascentes amostradas na bacia do Igarapé Cumaru deve estar relacionado às enxurradas, que nas chuvas mais torrenciais atingem as nascentes e não são tão eficazes no transporte do carbono orgânico na forma dissolvida, uma vez que não há tempo suficiente para a interação com os solos já saturados de água pelas enxurradas. Nessas ocasiões, a maior entrada de água de escoamento superficial pode ocasionar, assim, uma diluição no COD dos igarapés. Tais fatos podem principalmente afetar as áreas de nascentes que possuem terreno de inclinação muito mais acentuada, o que favorece maiores taxas de escoamento superficial.

Tabela 4.10 – Correlação entre as concentrações mensais de carbono orgânico dissolvido (COD) e os valores mensais e semanais de precipitação para cada ponto de coleta.

| Ponto de coleta | Correlação ( r )             |                               |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------|
|                 | COD x Precipitação<br>mensal | COD x Precipitação<br>semanal |
| IGCU-A          | 0,4613                       | 0,4257                        |
| IGCU-B          | 0,4108                       | 0,3172                        |
| IGCU-C          | 0,8070                       | 0,7616                        |
| IGCU-D          | 0,7617                       | 0,7557                        |
| IGSJ-A          | 0,5831                       | 0,6136                        |
| IGSJ-B          | 0,4903                       | 0,5948                        |
| IGPA-A          | 0,6071                       | 0,6832                        |
| IGPA-B          | 0,3918                       | 0,3746                        |

#### 4.5 VARIAÇÃO ESPACIAL DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO INORGÂNICO DISSOLVIDO

As concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID) para o Igarapé Cumaru variaram entre 19,9 e 34,7 mg L<sup>-1</sup> (nascentes) e 3,5 e 7,7 mg L<sup>-1</sup> (curso principal), enquanto que para o Igarapé São João variaram entre 29,9 e 38,9 mg L<sup>-1</sup> (nascente) e 3,9 e 12,6 mg L<sup>-1</sup> (curso principal) e para o Igarapé Pachibá entre 6,2 e 27,4 mg L<sup>-1</sup> (nascente) e 7,0 e 16,9 mg L<sup>-1</sup> (curso principal), conforme a Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Concentrações mínimas, máximas e médias de carbono inorgânico dissolvido (CID) durante o período de coleta.

| Ponto de coleta | CID (mg L <sup>-1</sup> ) |       |
|-----------------|---------------------------|-------|
|                 | Variação                  | Média |
| ICCU-A          | 22,5 – 34,7               | 29,1  |
| IGCU-B          | 19,9 – 32,1               | 25,6  |
| IGCU-C          | 3,5 – 6,7                 | 5,0   |
| IGCU-D          | 5,5 – 7,7                 | 6,7   |
| IGSJ-A          | 29,9 – 38,9               | 34,6  |
| IGSJ-B          | 3,9 – 12,6                | 7,2   |
| IGPA-A          | 6,2 – 27,4                | 13,3  |
| IGPA-B          | 7,0 – 16,9                | 13,6  |

Nos igarapés Cumaru e São João, as concentrações de CID nas nascentes apresentaram-se cerca de cinco vezes maiores em relação aos pontos de coleta nos cursos principais. Enquanto que, o Igarapé Pachibá, embora tenha apresentado concentrações de CID similares para as médias dos dois pontos de coleta, também apresentou concentração máxima maior no ponto situado mais próximo à nascente (Figura 4.10).



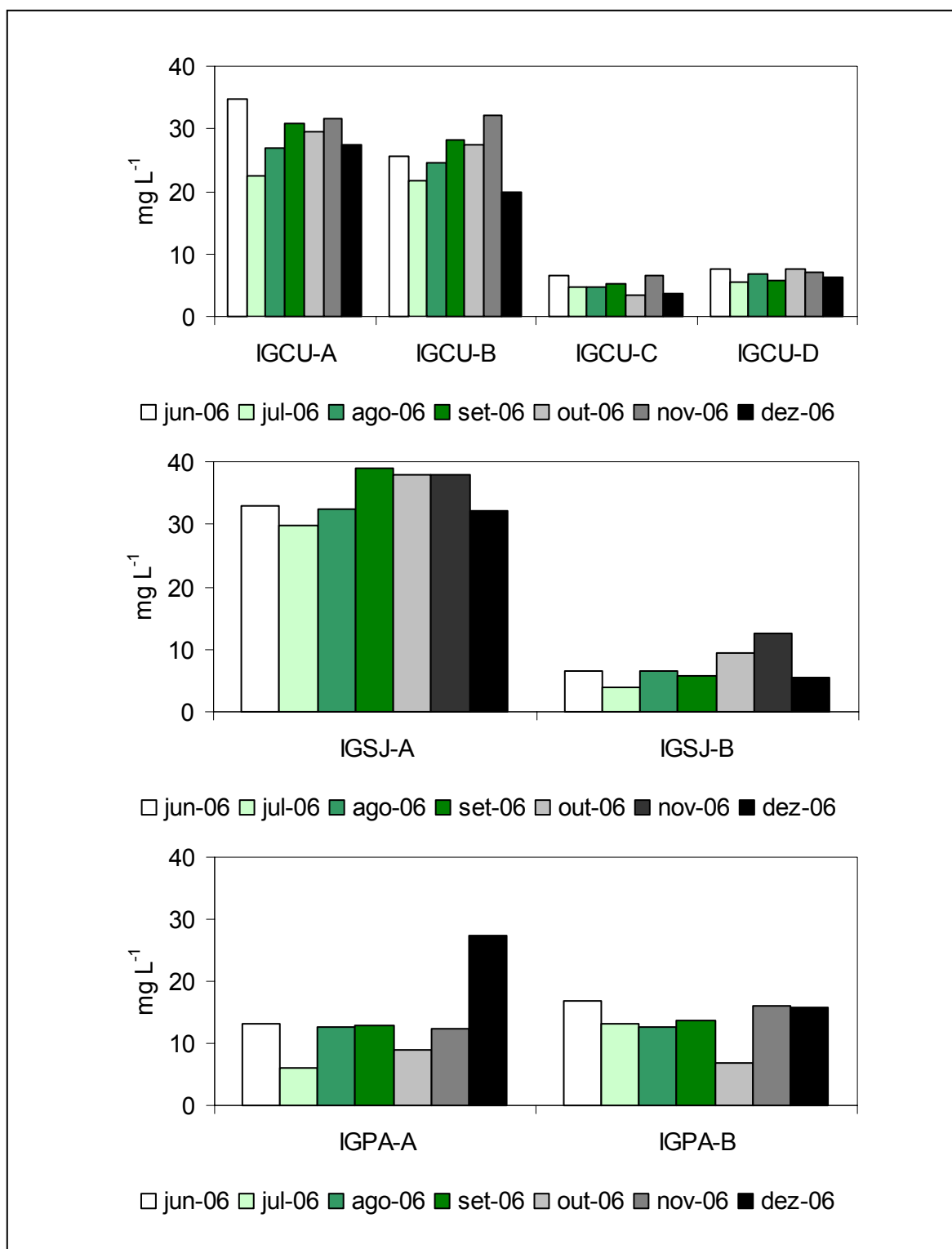


Figura 4.10 – Variação espacial da concentração de carbono inorgânico dissolvido (mg L<sup>-1</sup>) nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá.

Dessa maneira conclui-se que os três igarapés apresentam um mesmo padrão de variação espacial, com os valores de CID diminuindo de montante para jusante.

Além do fato de que o bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) nas águas superficiais tem como uma das suas principais fontes o intemperismo de solos e rochas, as reações de mineralização da matéria orgânica, mais abundantes nos solos de nascentes, promovem a formação de ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) que se dissocia como bicarbonato, lixiviando dos solos para as águas juntamente com os cátions disponíveis nos solos (Markewitz *et al.* 2001; Markewitz *et al.* 2006). Por essa razão o, CID deve apresentar valores maiores nas nascentes estudadas em relação aos pontos de coleta no canal principal dessas bacias.

#### 4.6 VARIAÇÃO TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO INORGÂNICO DISSOLVIDO

Na maioria dos pontos de coleta, as concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID), nos seis meses de medições, tenderam a variar inversamente à precipitação, ou seja, conforme diminuíram os valores de precipitação, aumentaram as concentrações de CID. Portanto, as concentrações de CID tenderam a aumentar durante o período de estudo (jun/06 a dez/06) na maioria dos pontos de coleta, ou seja, houve aumento das concentrações durante a estação seca, período em que a incidência de precipitação diminuiu.

No igarapé Cumaru (Figura 4.11), principalmente nos dois pontos localizados nas nascentes, essa tendência pode ser observada, assim como os pontos localizados no Igarapé São João (Figura 4.12). Por outro lado no Igarapé Pachibá a variação temporal das concentrações de CID não foi tão acentuada em ambos os pontos de coleta (Figura 4.12).

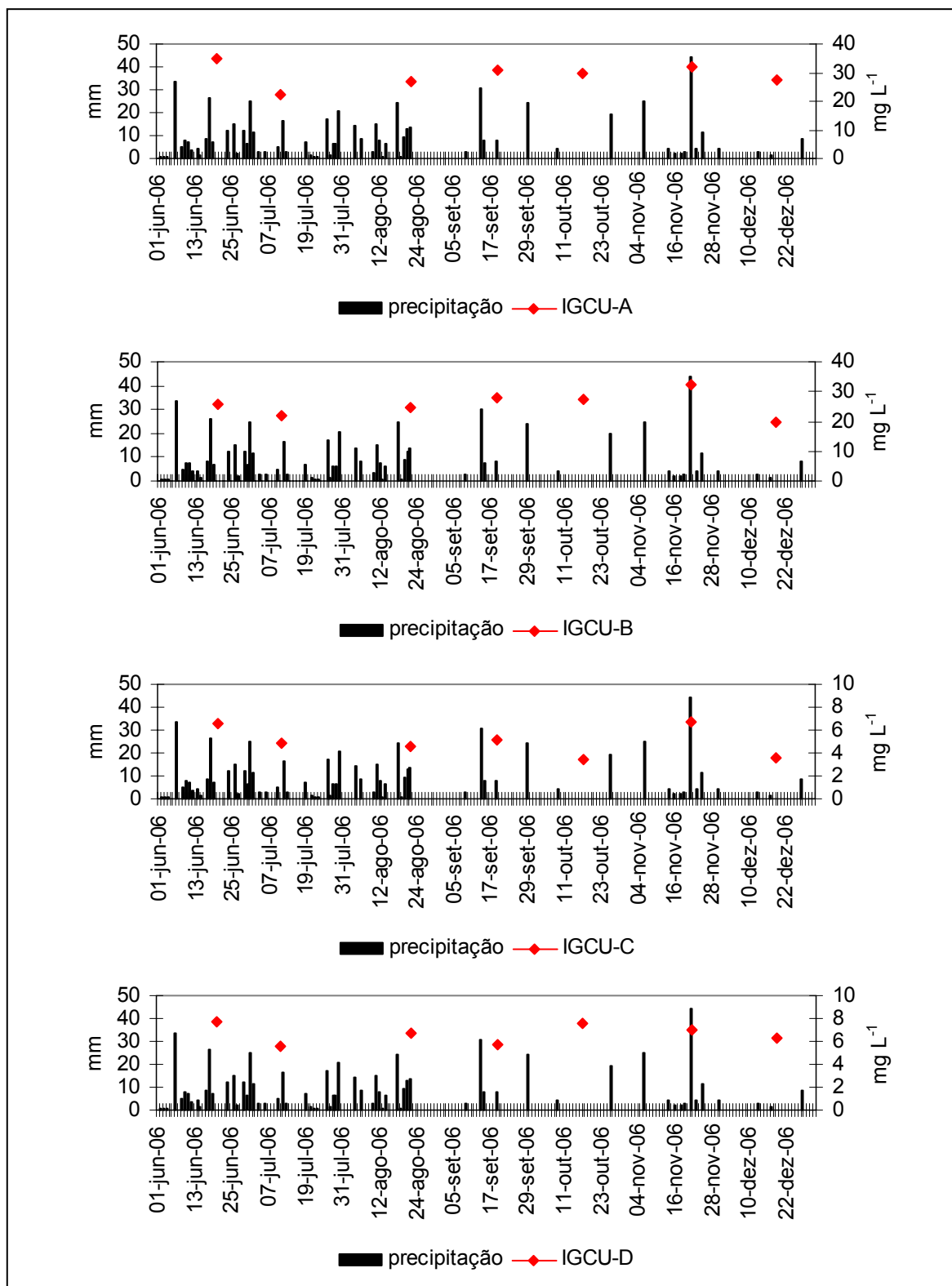


Figura 4.11 – Variação temporal da precipitação (mm) e da concentração de carbono inorgânico dissolvido (mg L<sup>-1</sup>) nas nascentes e cursos principais do Igarapé Cumaru.

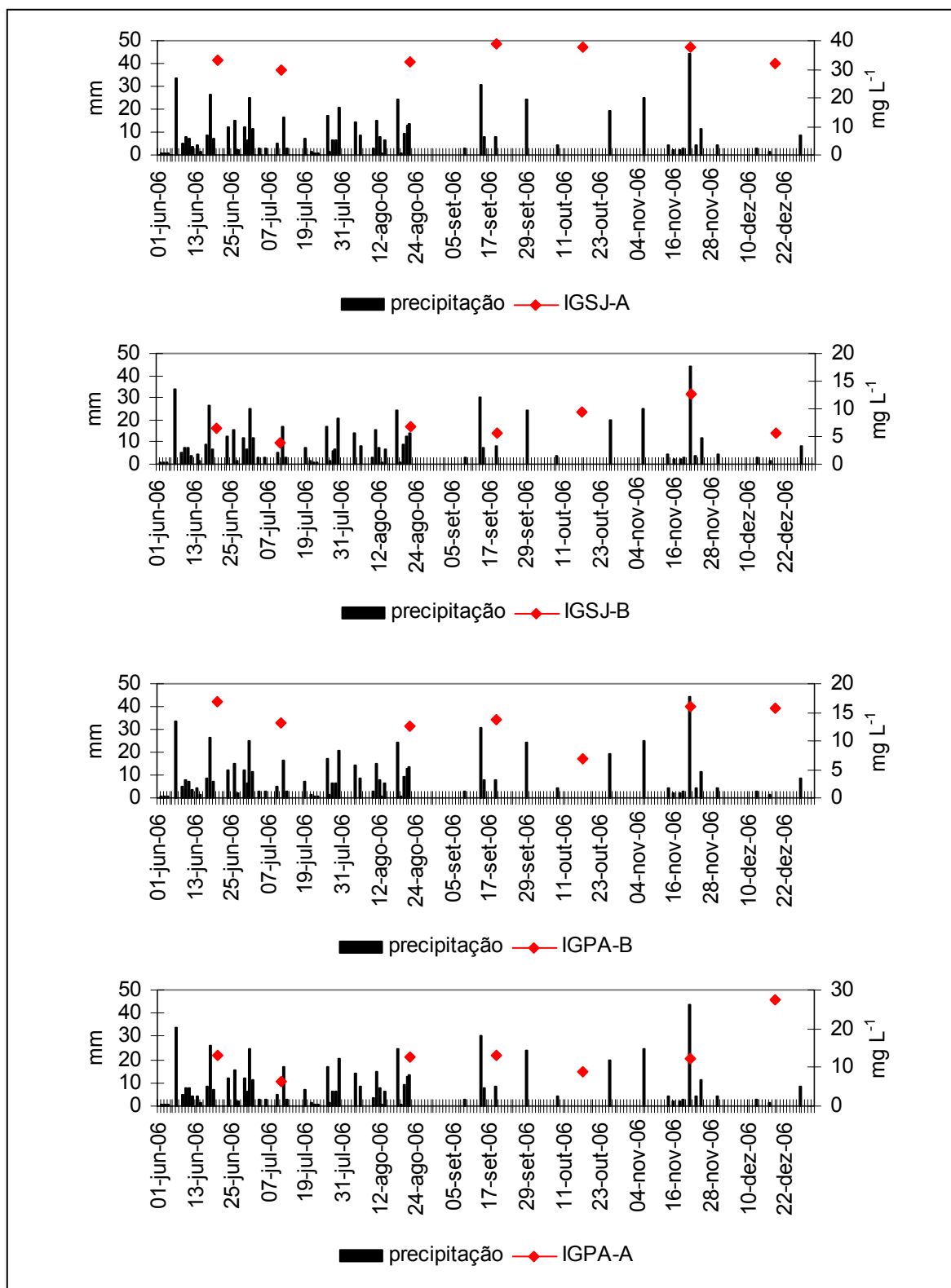


Figura 4.12 – Variação temporal da precipitação (mm) e das concentrações de carbono inorgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nas nascentes e cursos principais dos igarapés São João e Pachibá.

Os menores valores de CID durante o período com maiores precipitações ocorrem, possivelmente, devido à diluição dos compostos inorgânicos carbonatados pela água da chuva, comportamento que também foi observado por Sousa (2005) no Igarapé da Ponte e no Igarapé Floresta, ambos localizados no estado do Acre e por Raserá (2005) nos rios Comemoração, Pimenta Bueno e Ji-Paraná, estado de Rondônia.

Os dados de CID durante o período seco, meses com menores precipitações, apresentaram-se em maiores concentrações em relação ao período menos seco. Isso deve-se ao fato de uma maior contribuição das águas subterrâneas no período de seca, em geral mais concentradas em bicarbonatos, para a hidroquímica fluvial. Salimon (2005) considera essas mesmas razões para os maiores valores de CID medidos durante o período seco no Rio Purus, no Estado do Acre.

#### 4.7 PRESSÃO PARCIAL DE CO<sub>2</sub>

Em relação à pressão parcial do CO<sub>2</sub>, o Igarapé Cumaru apresentou em suas nascentes (IGCU-A e IGCU-B) maiores valores de pCO<sub>2</sub> do que nos pontos localizados no curso principal, como pode ser observado na Figura 4.13. Tal fato deve-se às águas mais ácidas nessas nascentes, confirmadas por valores de pH menores do que no curso principal. Assim, nas nascentes a maior parte do CID está na forma de CO<sub>2</sub> “livre”, enquanto que no curso principal uma maior parte do CID está na forma de bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Logo, a média da pCO<sub>2</sub> nas nascentes desse igarapé durante o período estudado chegou a ser cerca de cinco vezes maior do que a média no curso principal (Tabela 4.12). A maior acidificação das nascentes ocorre, como já foi exposto anteriormente, em consequência da acidificação dos solos pelo maior aporte de matéria orgânica.

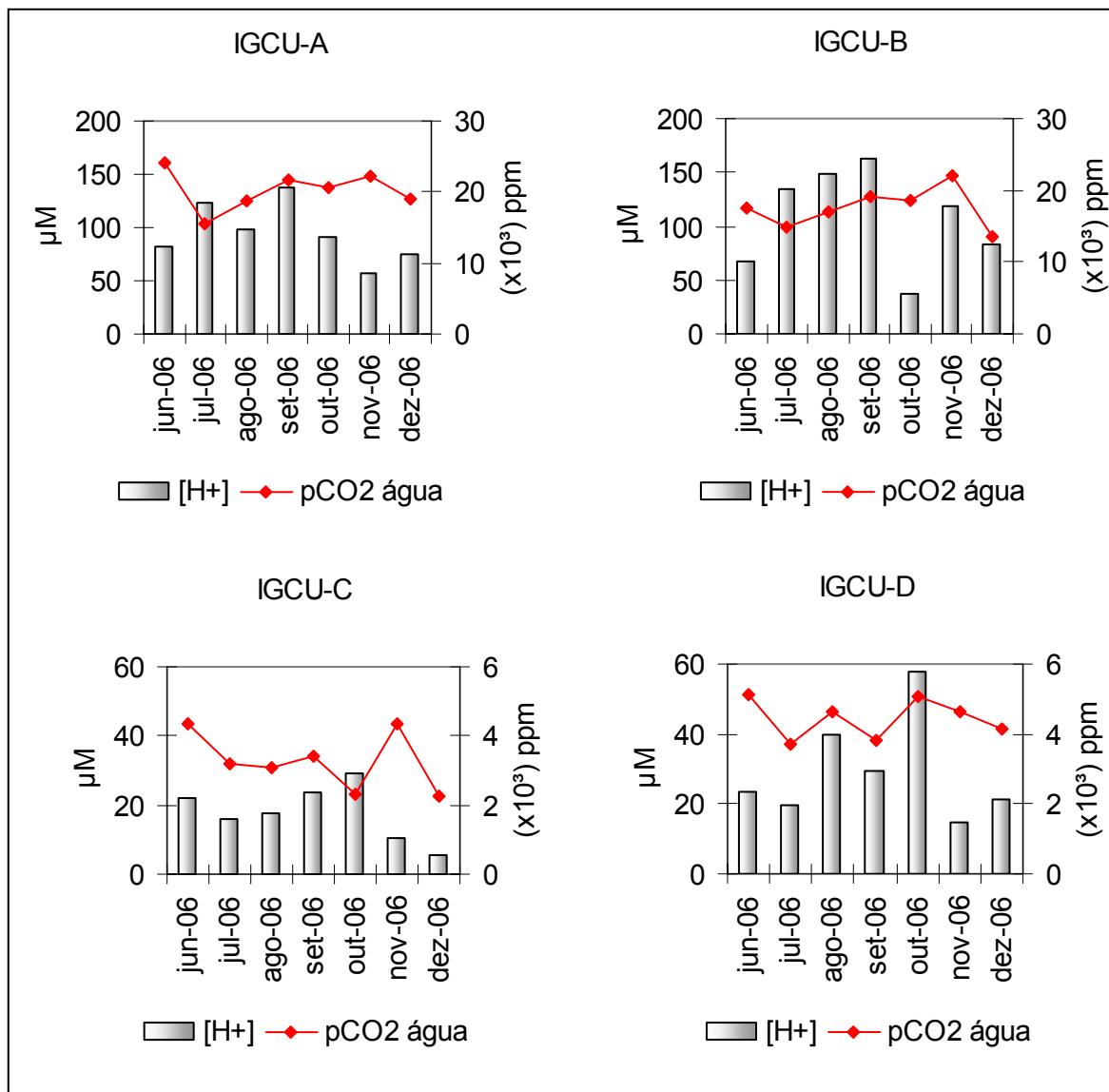


Figura 4.13 – Variação temporal do pH, apresentado em termos de concentração de  $H^+$  ( $\mu M$ ), e da pressão parcial de  $CO_2$  (ppm) nas nascentes e curso principal do Igarapé Cumaru.

Tabela 4.12 – Valores médios de pH e da pressão parcial de CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) durante os meses de coleta (junho a dezembro/06)

| Ponto de coleta | pH  | pCO <sub>2</sub> (ppm) |
|-----------------|-----|------------------------|
| IGCU-A          | 4,0 | 20257                  |
| IGCU-B          | 4,0 | 17529                  |
| IGCU-C          | 4,8 | 3281                   |
| IGCU-D          | 4,6 | 4450                   |
| IGSJ-A          | 4,0 | 23805                  |
| IGSJ-B          | 4,2 | 4883                   |
| IGPA-A          | 4,0 | 7500                   |
| IGPA-B          | 4,2 | 9165                   |

O Igarapé São João se comportou de maneira semelhante ao Igarapé Cumaru, com valores de pH menores na nascente (IGSJ-A) em relação ao pH medido no curso principal, levando ao predomínio de carbono inorgânico na forma de CO<sub>2</sub> livre, o que aumenta os valores de pCO<sub>2</sub> na nascente em relação ao curso principal (Figura 4.14).

Como já foi exposto anteriormente, no IGPA-B e no IGSJ-B, houve queda da concentração de oxigênio dissolvido em relação aos pontos situados mais à montante nos igarapés Pachibá e São João, devido às condições de uso da terra e presença de macrófitas, como já discutido no item referente à variação dos parâmetros físico-químicos. No entanto, o Igarapé Cumaru (Figura 4.15) apresentou menores taxas de OD nas nascentes em relação ao curso principal. Esse comportamento deve-se provavelmente às maiores taxas de respiração ocasionadas pela maior quantidade de matéria orgânica existente nas nascentes provenientes de material alóctone. Como consequência das altas taxas de respiração, ocorre maior liberação de CO<sub>2</sub>, gerando, desse modo, maiores valores de pCO<sub>2</sub> nos pontos de coleta localizados nas nascentes do igarapé Cumaru em relação aos pontos de coleta do curso principal.

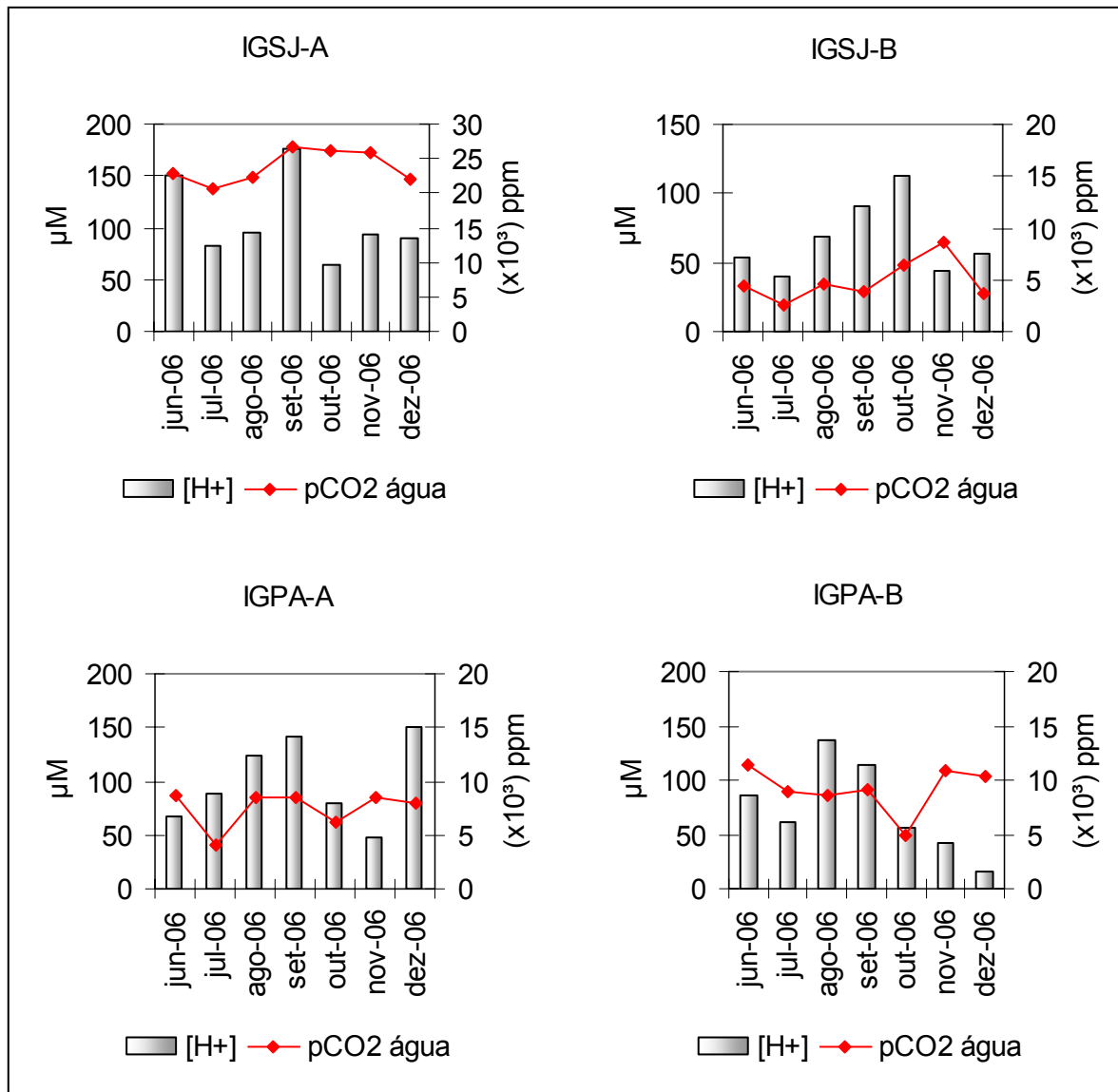


Figura 4.14 – Variação temporal do pH, apresentado em termos de concentração de  $H^+$  ( $\mu M$ ), e da pressão parcial de  $CO_2$  ( $ppm$ ) na nascente e curso principal dos igarapés São João e Pachibá.



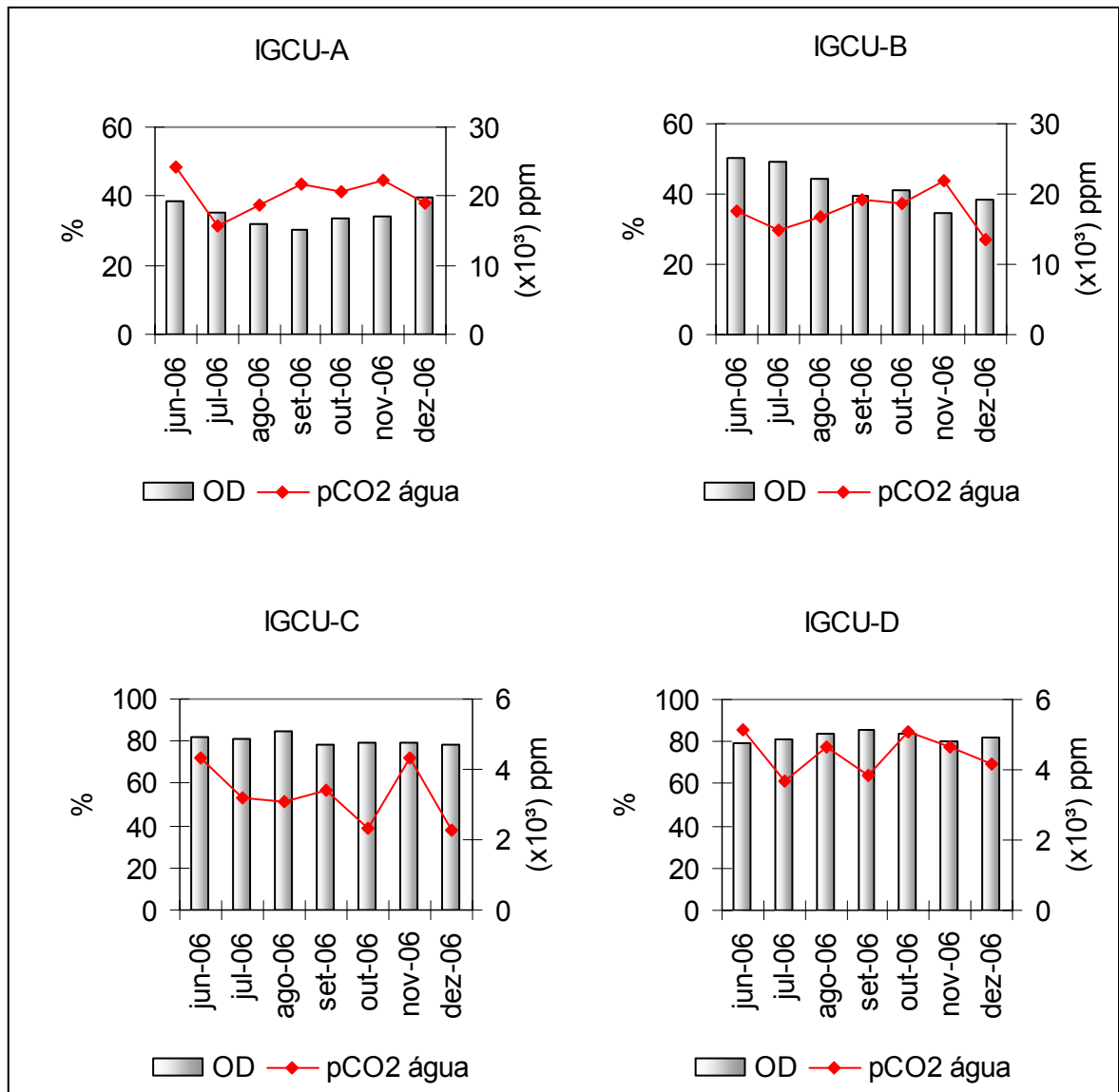


Figura 4.15 – Variação temporal de oxigênio dissolvido (%) e da pressão parcial de CO<sub>2</sub> (ppm) nas nascentes e curso principal do Igarapé Cumaru.

A razão para o Igarapé Pachibá (Figura 4.16) ter apresentado comportamento inverso ao Igarapé Cumaru, apresentando valores de OD menores no ponto localizado mais a jusante (IGPA-B) em relação ao ponto localizado mais a montante (IGPA-A), deve-se ao fato de que o ponto IGPA-B está localizado em trecho represado ocasionando menor turbulência da água.

Por outro lado, o Igarapé São João (Figura 4.16) apresentou comportamento semelhante ao Igarapé Cumaru na relação OD e  $p\text{CO}_2$ , com valores de OD menores e valores de  $p\text{CO}_2$  maiores na nascente em relação ao curso principal.

A relação COD e  $p\text{CO}_2$  demonstra que os pontos com menores concentrações de COD apresentam maiores valores de  $p\text{CO}_2$  e vice-versa. Este comportamento pode ser observado tanto para o Igarapé Cumaru quanto para o Igarapé São João (Figura 4.17 e 4.18). É esperado esse comportamento, pois maiores valores de  $p\text{CO}_2$  indicam maiores concentrações de CID em relação às concentrações de COD.

Ainda na Figura 4.18 pode-se observar o comportamento entre a  $p\text{CO}_2$  e o COD no Igarapé Pachibá, onde é possível notar que os valores praticamente se equiparam, o que também deve ocorrer em função de menores concentrações de CID. No entanto, esse igarapé os valores de  $p\text{CO}_2$ , embora menores do que nas nascentes do Cumaru e do São João, apresentaram-se maiores do que nos cursos principais desses mesmos igarapés, pois a microbacia do Pachibá caracteriza-se como uma porção de cabeceira de bacia, um curso d'água de primeira ordem. Já as concentrações de COD, apresentaram-se um pouco menores do que nos outros dois igarapés, indicando ser possivelmente menor a quantidade de material orgânico para ser lixiviado até o curso d'água. Uma vez que as concentrações de CID são também menores, corrobora-se a hipótese de menor disponibilidade de matéria orgânica nos solos dessa sub-bacia, cujos processos de mineralização contribuem nas entradas de CID nos corpos d'água.

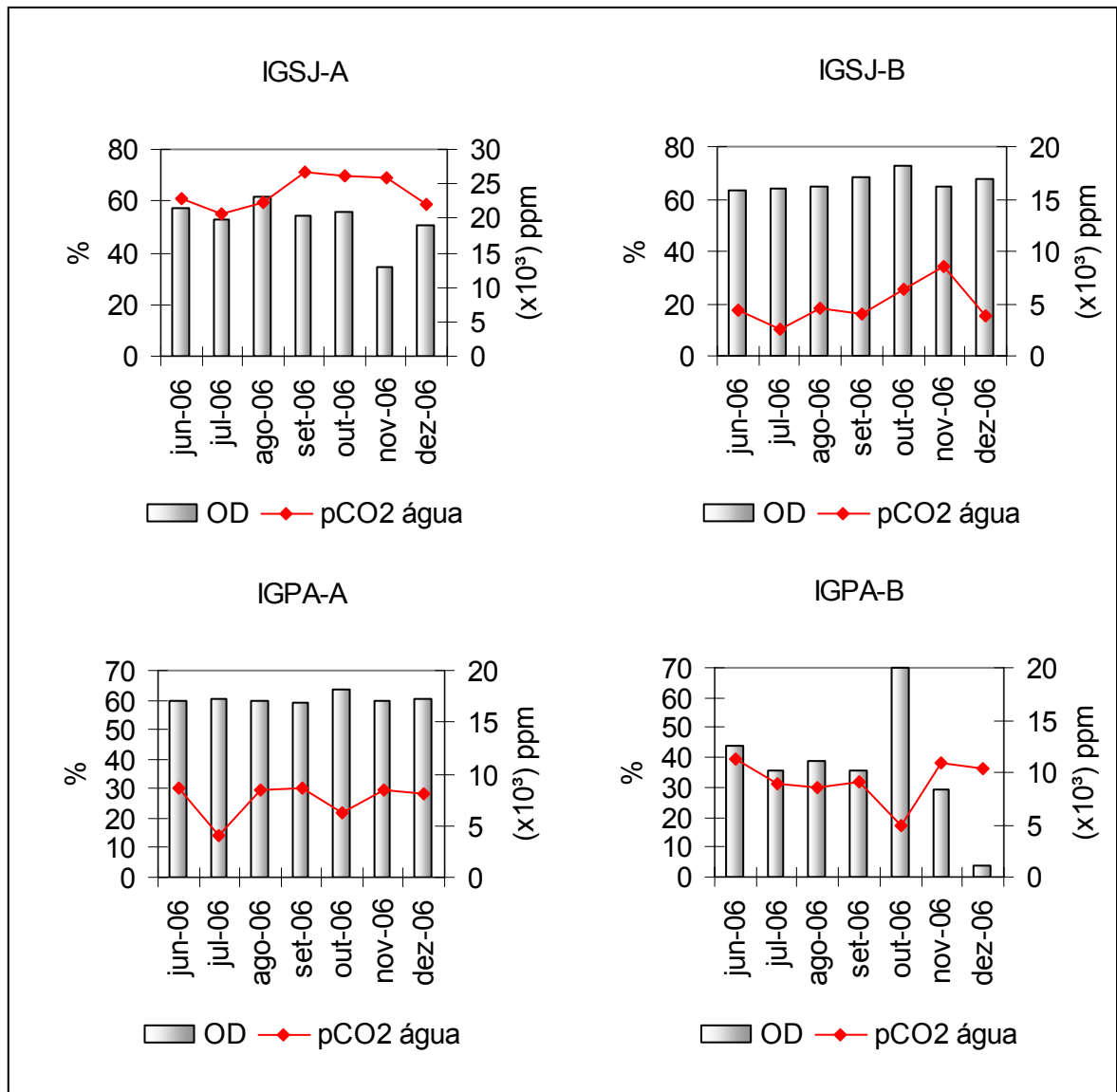


Figura 4.16 – Variação temporal de oxigênio dissolvido (%) e da pressão parcial de CO<sub>2</sub> (ppm) na nascente e curso principal dos igarapés São João e Pachibá.

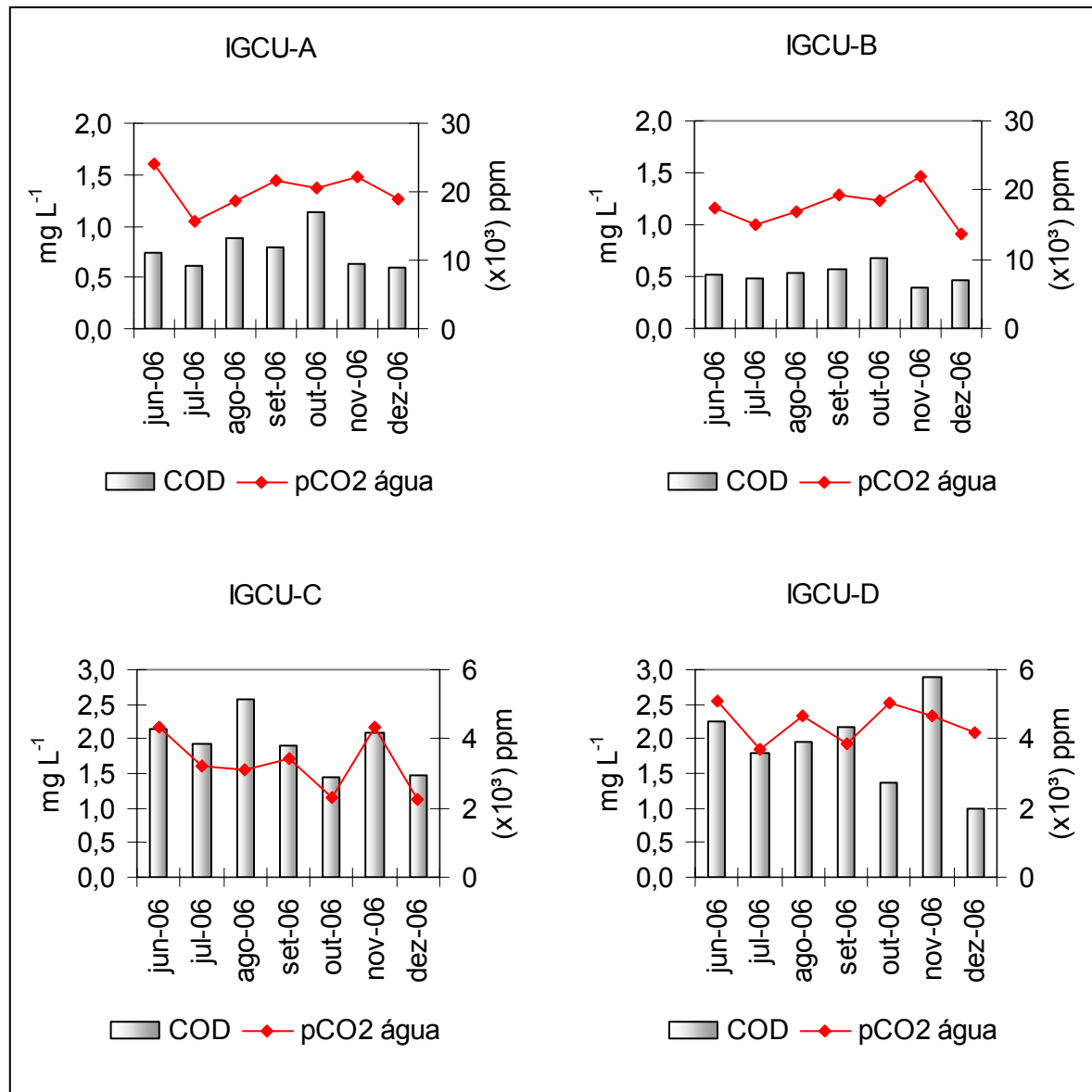


Figura 4.17 – Variação temporal de carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e da pressão parcial de  $\text{CO}_2$  (ppm) nas nascentes e curso principal do Igarapé Cumaru.

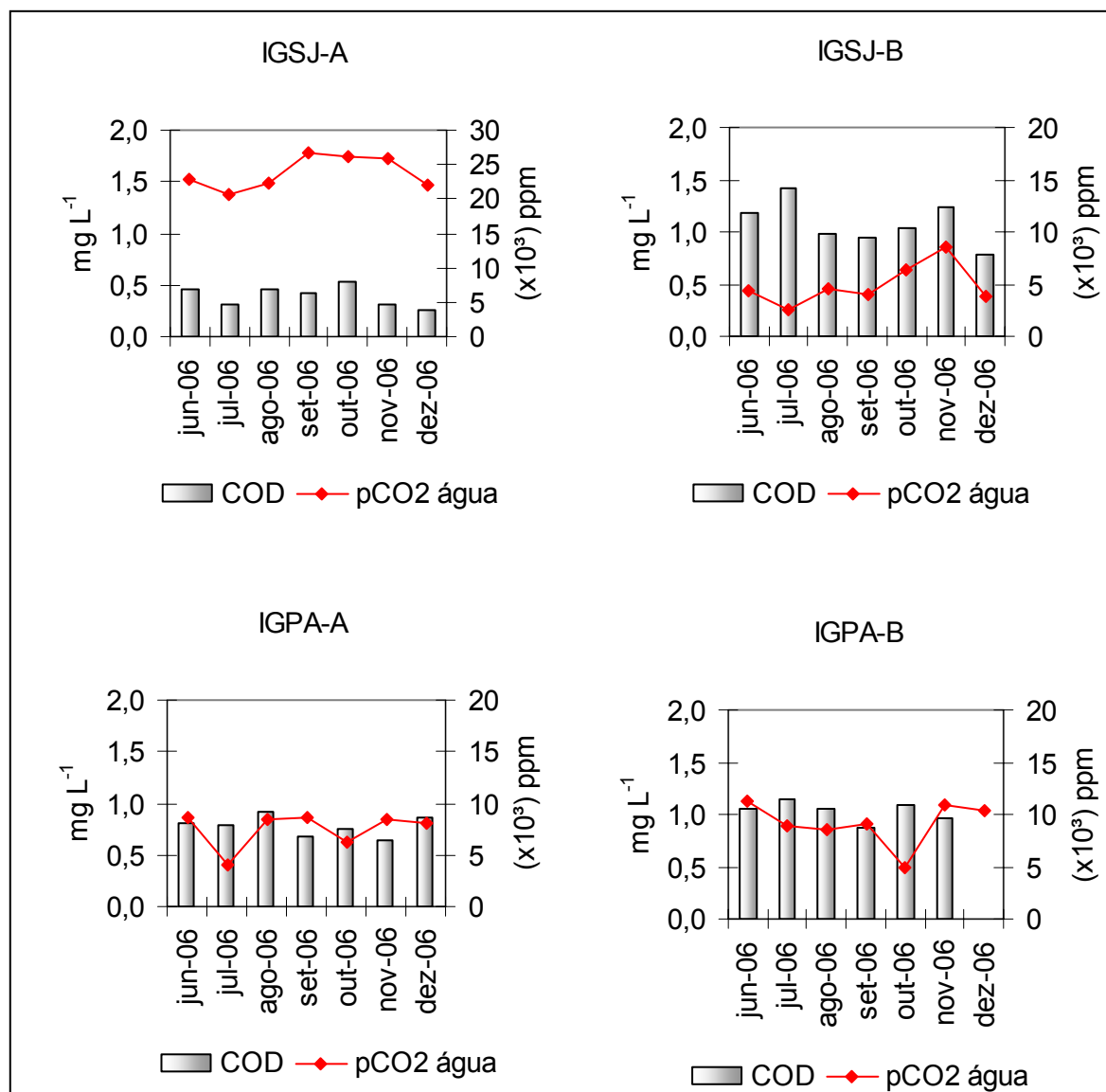


Figura 4.18 – Variação temporal de carbono orgânico dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e da pressão parcial de  $\text{CO}_2$  (ppm) na nascente e curso principal dos igarapés São João e Pachibá.

#### 4.8 FLUXO EVASIVO DE CO<sub>2</sub>

De modo geral, os pontos localizados nas nascentes apresentaram maiores valores de fluxo de CO<sub>2</sub> do que os pontos situados no curso principal dos igarapés (Tabela 4.13). Em relação aos períodos seco e chuvoso, os fluxos foram maiores, na maioria dos pontos de coleta, durante o período seco (Tabela 4.13).

Segundo Cole & Caraco (2001), a intensidade dos processos respiratórios no período seco e a entrada de água subterrânea podem elevar a pressão parcial do CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>), fazendo com que as águas dos igarapés tornem-se supersaturadas em relação à atmosfera com conseqüente liberação líquida desse gás para a atmosfera.

Tabela 4.13 – Média anual e valores médios dos fluxos de CO<sub>2</sub> nos períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e cursos principais dos igarapés Cumaru, Pachibá e São João.

| ponto de coleta | Fluxo CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) |              |                      |             |
|-----------------|--|--------------|----------------------|-------------|
|                 | período chuvoso  | período seco | período de transição | média anual |
| IGCU-A          | 20,0   | 23,3         | 21,8                 | 21,8        |
| IGCU-B          | 23,8   | 16,1         | 14,2                 | 17,8        |
| IGCU-C          | 14,6   | 19,0         | 21,5                 | 18,5        |
| IGCU-D          | 17,2   | 21,2         | 20,5                 | 19,8        |
| IGSJ-A          | 65,9   | 50,1         | 43,3                 | 52,8        |
| IGSJ-B          | 8,3  | 11,3         | 7,5                  | 9,3         |
| IGPA-A          | 43,6   | 55,4         | 26,4                 | 43,2        |
| IGPA-B          | 11,1   | 6,9          | 7,7                  | 8,4         |

O Igarapé Cumaru apresentou valores um pouco maiores no período seco do que no período chuvoso, exceto para o ponto IGCU-B, enquanto que o Igarapé Pachibá e o Igarapé São João apresentaram fluxos de CO<sub>2</sub> nas nascentes, em média, cinco vezes maiores do que os fluxos nos cursos principais desses igarapés.

Todos os pontos de coleta comportaram-se como emissores de CO<sub>2</sub>, ou seja, a coluna d'água atuou como fonte de CO<sub>2</sub> para atmosfera, o que ocorreu em função das maiores concentrações de pCO<sub>2</sub> encontrados na água e menores na atmosfera (Figura 4.19 e 4.20).

É esperado que o fluxo de CO<sub>2</sub> seja maior nas nascentes em função das maiores concentrações de pCO<sub>2</sub> encontradas nesses locais. No entanto, as nascentes, por serem áreas mais fechadas, com vegetação original menos alterada, sofrem menor influência da ação do vento, causando pouca interferência nas trocas que ocorrem através da interface água-ar. Nesses ambientes sombreados, prevalece a respiração heterotrófica característica de uma microbiota com poucos organismos autotróficos.

Conforme descreve Marotta (2006), quando as taxas de produção primária são superiores às taxas de respiração, caracteriza-se o metabolismo aquático como autotrófico e, como consequência desse comportamento, ocorre a sub-saturação de CO<sub>2</sub> e assimilação líquida desse gás em relação à atmosfera. Em contrapartida, quando as taxas de respiração são mais elevadas do que as taxas de produção primária, o que caracteriza o metabolismo aquático heterotrófico, a tendência é que haja supersaturação de CO<sub>2</sub> e liberação líquida desse gás à atmosfera.

Portanto, o que determina o sentido do fluxo, ou seja, se a coluna d'água vai atuar como fonte ou sorvedouro de CO<sub>2</sub>, é a concentração do gás nos meio aquático e atmosférico. Dessa maneira, os igarapés estudados atuam como fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, sendo que as áreas de nascentes, as quais possuem vegetação mais abundante junto às margens, são as mais importantes quanto às taxas de evasão de CO<sub>2</sub> medidas (Figura 4.21).

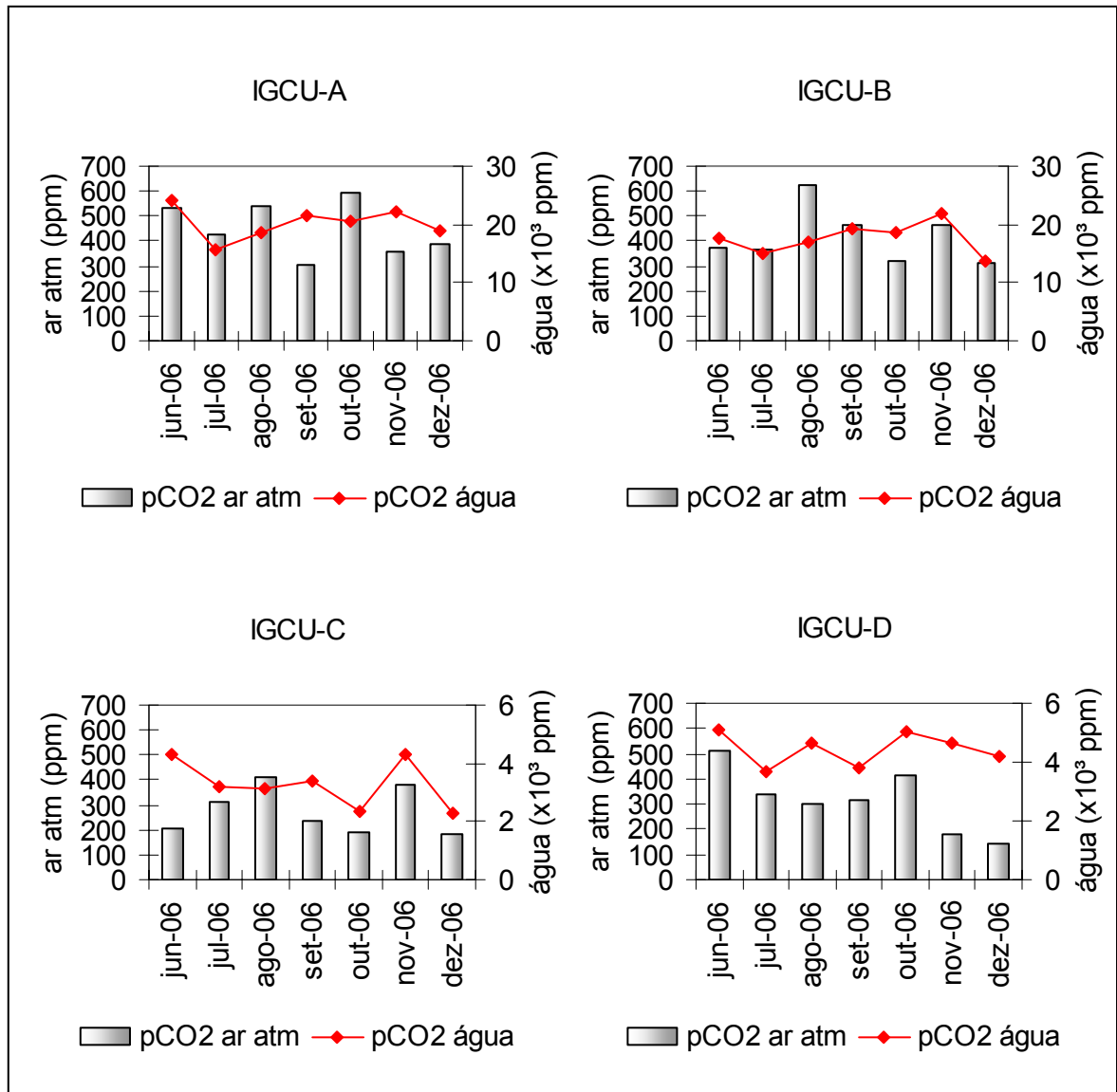


Figura 4.19 – Variação temporal da pressão parcial de CO<sub>2</sub> do ar atmosférico (ppm) e da pressão parcial de CO<sub>2</sub> da água (ppm) nas nascentes e curso principal do Igarapé Cumaru.



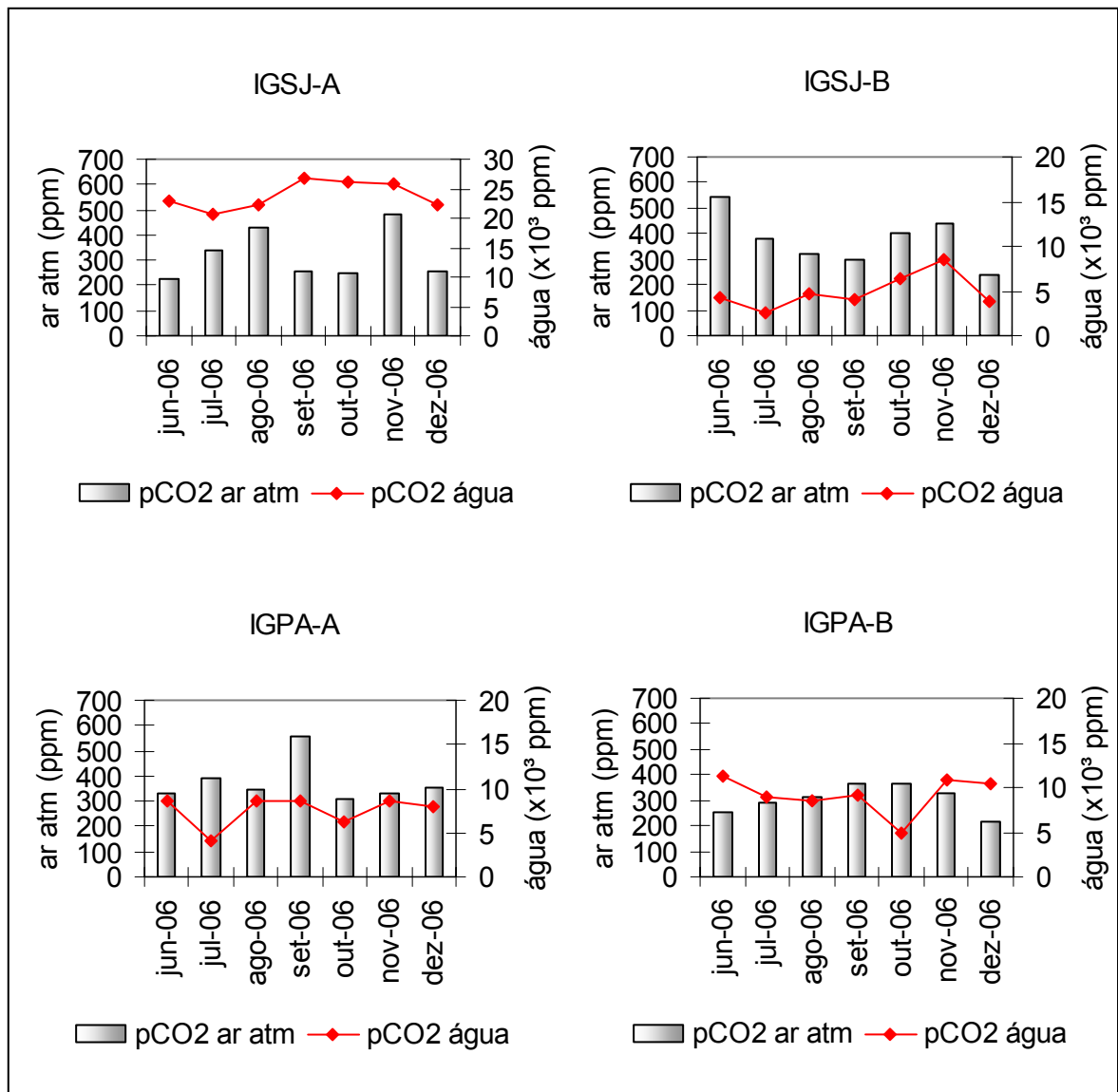


Figura 4.20 – Variação temporal da pressão parcial de CO<sub>2</sub> do ar atmosférico (ppm) e da pressão parcial de CO<sub>2</sub> da água (ppm) na nascente e curso principal dos igarapés São João e Pachibá.

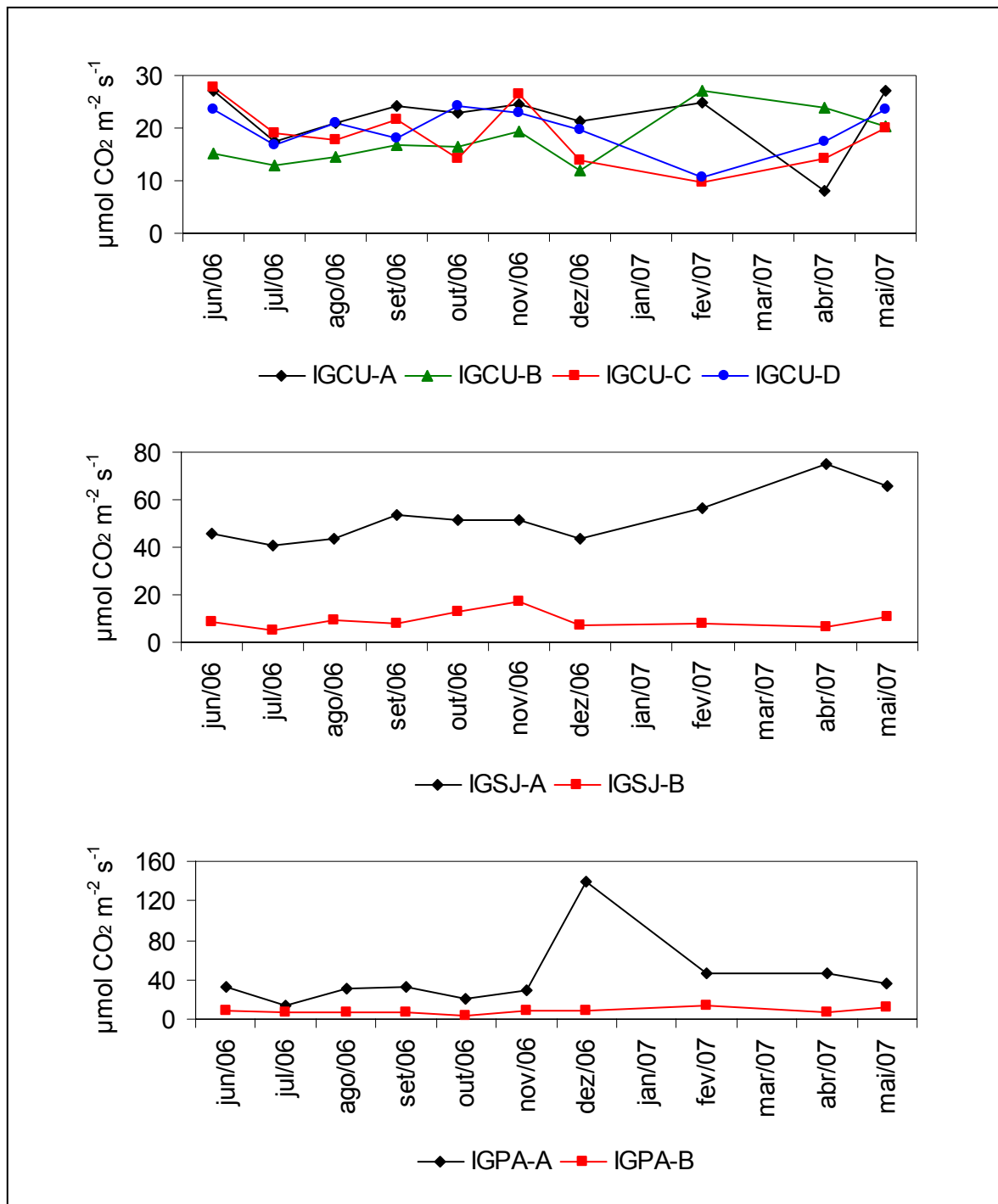


Figura 4.21 – Variação temporal do fluxo evasivo de CO<sub>2</sub> nas nascentes e curso principal dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá durante o período estudado.

Cole *et al.* (1994) analisaram fluxos de CO<sub>2</sub> na superfície da água de lagos em escala global, dentre os quais 85% apresentaram-se supersaturados em relação à atmosfera. Esses lagos apresentaram valores de pCO<sub>2</sub> da água, em média, cerca de três vezes maiores do que os valores encontrados na camada atmosférica, indicando serem fontes de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Existe uma ampla variabilidade entre os valores de fluxo de CO<sub>2</sub> dos rios da bacia Amazônica (Figura 4.22), o que ocorre em função de vários fatores, como por exemplo, a concentração de CO<sub>2</sub> dissolvido na água dos rios, históricos geomorfológicos e regimes hídricos (SALIMON, 2005). As águas dos igarapés Cumaru, São João e Pachibá, principalmente em suas nascentes, têm fluxos de CO<sub>2</sub> de mesma magnitude que os rios amazônicos responsáveis pelas maiores taxas de evasão de dióxido de carbono conhecidas por unidade de área ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

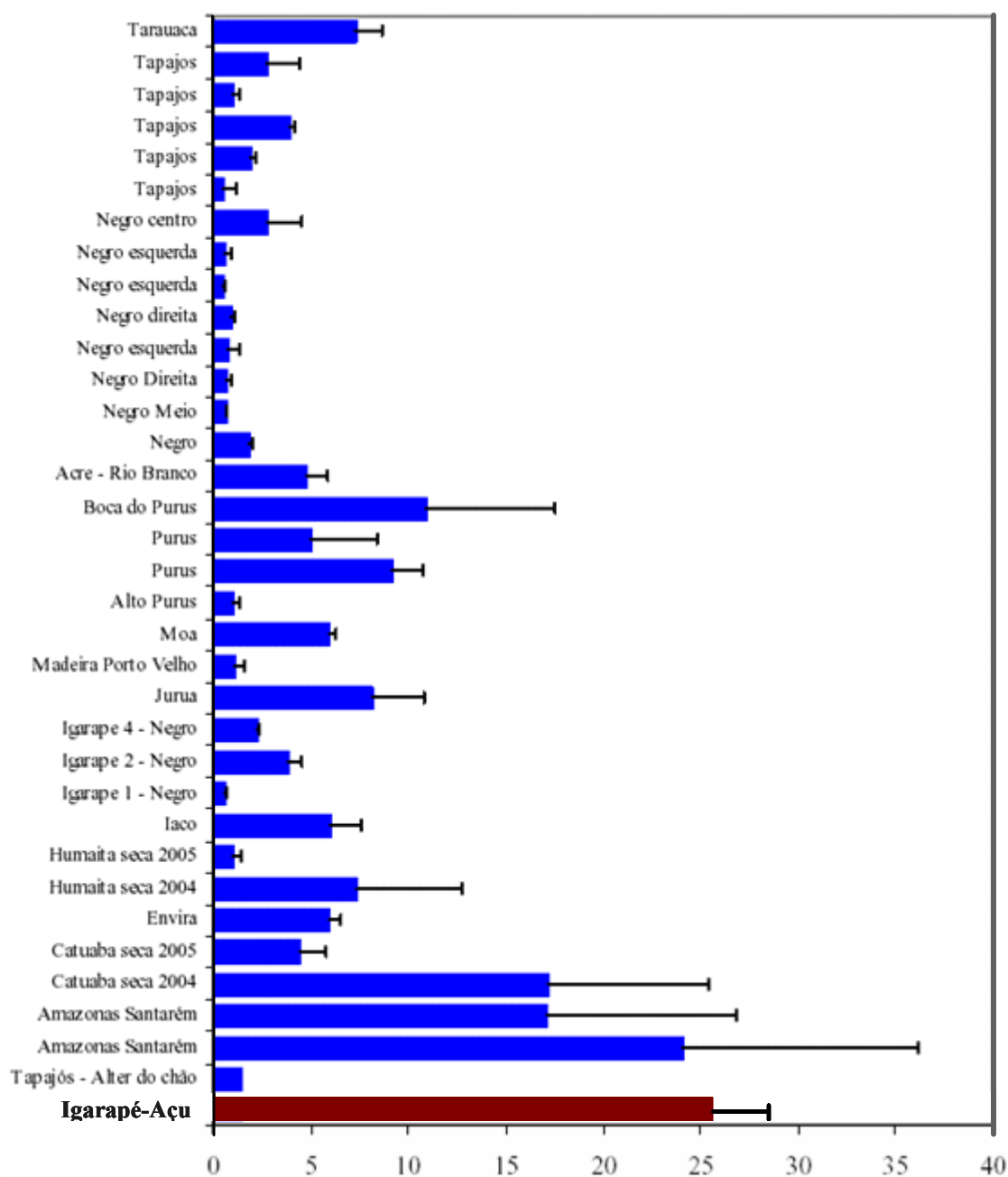


Figura 4.22 – Locais de coleta de fluxos de CO<sub>2</sub> em campanhas intensivas na região Amazônica e seus respectivos fluxos (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), incluindo as bacias deste estudo em Igarapé-Açu.

Fonte: Salimon (2005). Adaptado pela autora.

#### 4.9 EXPORTAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO PELOS IGARAPÉS ESTUDADOS

As variações nos fluxos de carbono orgânico dissolvido (COD) no exutório das três microbacias estudadas estão apresentadas na Tabela 4.14. Em relação à variação sazonal, no período chuvoso houve a maior contribuição para a exportação de COD por unidade de área nos Igarapés Cumaru e Pachibá. No entanto, no Igarapé São João o mesmo não ocorreu, o que se deve às baixas vazões medidas no período chuvoso nesse Igarapé, as quais influenciam diretamente os fluxos de COD. O baixo transporte de COD por unidade de área no Igarapé São João no período chuvoso pode estar relacionado ao represamento para aumento do volume de água em açude, localizado à montante do ponto IGCU-B, e ocorrido ao final do período seco.

Rasera (2005) e Waterloo *et al.* (2006) também encontraram maiores taxas de exportação de COD durante o período chuvoso nas bacias do Ji-Paraná (em Rondônia) e de Igarapé Asu (no Amazonas), respectivamente.

Tabela 4.14 – Valores anuais de fluxo de COD durante os períodos chuvoso, seco e de transição nas nascentes e curso principal dos Igarapés Cumaru, Pachibá e São João.

| Ponto de coleta | Fluxo de COD ( $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ) |              |                      |             |
|-----------------|--|--------------|----------------------|-------------|
|                 | período chuvoso                          | período seco | período de transição | fluxo anual |
| IGCU-D          | 150                                      | 57           | 74                   | 281         |
| IGSJ-B          | 79                                       | 90           | 76                   | 245         |
| IGPA-B          | 112                                      | 52           | 5                    | 169         |

Quando comparados os fluxos anuais de COD normalizados por área ( $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ) entre as microbacias estudadas, o Igarapé Pachibá apresentou menores valores de fluxo em relação aos Igarapés Cumaru e São João. Essa diferença entre

os valores de fluxo pode ser explicada tanto pelas menores vazões como pelo uso da terra. O Igarapé Pachibá apresenta menor área percentual de floresta e capoeiras (cerca de 50% contra aproximadamente 85% dos Igarapés Cumaru e São João – conferir Anexo J), ou seja, os Igarapés Cumaru e São João provavelmente recebem maior contribuição de material alóctone, o que contribui para as maiores concentrações de COD nesses pontos.

Na Bacia Amazônica, o carbono orgânico dissolvido responde por aproximadamente 50% da matéria orgânica total transportada pelo Rio Amazonas, sendo a forma predominante da material orgânico presente na maioria dos tributários (RICHEY *et al.* 1991).

Na Tabela 4.15 são apresentados os fluxos anuais de COD em bacias na Amazônia brasileira, os três primeiros em rios de água negra no Estado do Amazonas, rico em matéria orgânica, o quarto, no Mato Grosso, possivelmente um rio de água clara e os três últimos referentes a este estudo. Os fluxos de COD, por unidade de área, nos igarapés Cumaru e São João, bacias com maior área percentual de capoeiras altas e floresta densa no presente estudo, são maiores do que os rios de água negra no Estado do Amazonas.

Tabela 4.15 – Valores anuais de fluxo de carbono orgânico dissolvido (COD) em bacias da Amazônia, comparados com o presente estudo.

| Referência                          | Fluxo de COD<br>( $kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ) |
|-------------------------------------|---|
| Richey <i>et al.</i> (1990)         | 126   |
| Moreira-Turcq <i>et al.</i> (2003b) | 181   |
| Waterloo <i>et al.</i> (2006)       | 178   |
| Johnson <i>et al.</i> (2006)        | 32  |
| Cumaru                              | 281   |
| São João                            | 245   |
| Pachibá                             | 169   |

Fonte: Waterloo *et al.* (2006) e Johnson *et al.* (2006). Adaptado pela autora.

## 5 CONCLUSÕES

- As características físico-químicas das águas dos igarapés estudados em suas nascentes e cursos principais apresentaram diferenças que retrataram aspectos relacionados aos seus solos ácidos, presença de vegetação ripária, e processos de mineralização da matéria orgânica no ambiente aquático e terrestre, assim como certa variação sazonal relacionada ao ciclo hidrológico;

- As condições de acidez e de disponibilidade de oxigênio no ecossistema aquático demonstraram relações com as formas de carbono dissolvido presentes na coluna d'água e suas concentrações;

- O transporte de carbono orgânico dissolvido por unidade de área foi elevado quando comparado com outras bacias amazônicas, e mais intenso em períodos chuvosos;

- O transporte de carbono dissolvido e a evasão de CO<sub>2</sub> pareceram ser favorecidos pela maior presença de vegetação secundária e floresta densa em setores das bacias estudadas; e desfavorecidos pela atividade agropecuária estabelecida na região;

- As taxas de evasão de CO<sub>2</sub> foram também elevadas em relação a outros rios estudados na Região Amazônica, e corroboram a hipótese de que pequenas bacias, formadoras de bacias maiores, são importantes fontes de CO<sub>2</sub> para atmosfera.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Fernanda Vasconcelos de. **Determinação do fluxo de dióxido de carbono na interface águas naturais/atmosfera utilizando um equipamento portátil FIA/conducométrico**. 1998. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, American Water Works Association - AWWA, Water Pollution Control Federation - WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: American Public Health Association 19<sup>th</sup>, 1995. 140 p.

BOLIN, B.; COOK, R. G. The Major biogeochemical cycles and their Interactions. Scientific Committee on Problems of the Environment of the International Council of Scientific Unions (ICSU). New York, 1983. 531 p. In: TOLEDO, André Marcondes Andrade; BALLESTER, Maria Victoria Ramos. **Variabilidade espaço-temporal do uso e cobertura do solo e a qualidade da água em duas microbacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. Anais X SBSR, Foz do Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p. 543 – 545, Sessão Pôster.

CÂMARA, Ibsen de Gusmão. Ciência e Tecnologia. In: TRIGUEIRO, André (Coord.). **Meio ambiente no século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento**. Rio de Janeiro: Sextante, 2003. p. 159- 169.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB **Normalização técnica NT-07**. Análise físico-química das águas. São Paulo (SP): CETESB., 1978. 340 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo (SP): CETESB, 1987. 150 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo (SP): CETESB, 2007. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#condutividade>>. Acesso em: 04/07/2007.



COLE, Jonathan J.; CARACO, Nina F.; KLING, George W.; KRATZ, Timothy K. Carbon dioxide supersaturation in the surface waters of lakes. **Science**. Vol. 265. 1994.

COLE, Jonathan J.; CARACO, Nina F. Carbon in catchments: connecting terrestrial carbon losses with aquatic metabolism. **Marine and Freshwater Research**, v. 52, n. 1, p. 101-110, 2001.

CONAMA. Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 27/08/2007.

Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. **Geomorfologia**: Exercícios, Técnicas e aplicações. RJ: Bertrand Brasil, 1996. 169-271 p.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FEARNSIDE, Philip M. **A Floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus: INPA, 2003. 134 p.

FRANKIGNOULLE, M. Field measurements of air-sea CO<sub>2</sub> exchange. **Limnology and Oceanography**. v. 33. n. 3, p. 313-322, 1988.

HELDER, R. J. A quantitative approach to the inorganic carbon system in aqueous media used in biological research: Dilute solutions isolated from the atmosphere. **Plant, Cell and Environment**, 11, p. 211-230, 1988.

JOHNSON, Mark S.; LEHMANN, Johannes; SELVA, Evandro Carlos; ABDO, Mara; RIHA, Susan; COUTO, Eduardo Guimarães. Organic carbon fluxes within and streamwater exports from headwater catchments in the southern Amazon. **Hydrological Processes**, vol. 20, n. 12, p.2599-2614, 2006.

KEMPE, S. Long-term records of CO<sub>2</sub> pressure fluctuations in fresh waters. In: DEGENS, E. T. (Ed.). **Transport of carbon and Minerals in Major World Rivers**, Pt. 1. Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderbd. 52, p. 91-332, 1982.

KISHI, Regina Tiemy. **Estudo das relações entre a qualidade das águas superficiais e o uso do solo.** s/d. Disponível em: <[http:// geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/GeoColoq\\_2001/cbcg2099.pdf](http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/GeoColoq_2001/cbcg2099.pdf)> . Acesso em: 05/06/2006.

KRÜGER, G.C.T. (et al.). **Dinâmica de carbono orgânico dissolvido no estuário do Rio Paraíba do Sul, R.J., sob diferentes condições de maré e descarga fluvial.** Rio Grande: Atlântica, 2003. p. 27-33.

KRUSCHE, Alex Vladimir (et al.). Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água na bacia do Rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazônica**, v. 35, 2005. p. 197-205.

MARKEWITZ, Daniel; DAVIDSON, Eric A.; FIGUEIREDO, Ricardo de O.; VICTORIA, Reynaldo L.; KRUSCHE, Alex V. Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in Amazonia watershed. **Nature**, n. 419, p. 802-805, 2001.

MARKEWITZ, Daniel; FIGUEIREDO, Ricardo de O.; DAVIDSON, Eric A. CO<sub>2</sub>-driven cation leaching after tropical forest clearing. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 88, p. 214-219, 2006.

MARKEWITZ, Daniel; RESENDE, Julio C. F.; PARRON, Lucilia, BUSTAMANTE, Mercedes; KLINK, Carlos A.; FIGUEIREDO, Ricardo de O.; DAVIDSON, Eric A. Dissolved rainfall inputs and streamwater outputs in na undisturbed watershed on highly weathered soils in the Brazilian cerrado. **Hidrological Processes**. v. 20, n. 12, p. 2615– 639, 2006.

MAROTTA, Humberto. Os fatores reguladores do metabolismo aquático e sua influência sobre o fluxo de dióxido de carbono entre os lagos e a atmosfera. **Oecologia Brasiliensis**, v. 10, n. 2, p. 177-185, 2006.

MARTINS, Olasumbo; PROBST, Jean-Luc. Biogeochemistry of Major African Rivers: Carbon and Mineral Transport. In: DEGENS, E. T; KEMPE, S; RICHEY, J. E. (Eds.) **Biogeochemistry of Major World Rivers**. England: John Wiley & Sons, 1991. p. 127-155. (Series SCOPE report; 42).

McCLAIN, M. E., et al. Dissolved organic matter and terrestrial-lotic linkages in the central Amazon basin of Brazil. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 11, n. 3, p. 295-311, 1997.

MEYBECK, M. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *Amer. J. Sci.* 282, 401-50p. *apud* MARTINS, Olasumbo & PROBST, Jean-Luc. (1991). Biogeochemistry of Major African Rivers: Carbon and Mineral Transport. p. 142. In: DEGENS, E. T; KEMPE, S; RICHEY, J. E. (Eds.) **Biogeochemistry of Major World Rivers**. England: John Wiley & Sons, 1991. p. 127-155. (Series SCOPE report; 42).

MOUSINHO, Patrícia. Glossário. In: TRIGUEIRO, André (Coord.). **Meio Ambiente no Século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento**. Rio de Janeiro: Sextante, 2003.

NEILL, Cristopher, et. al. Deforestation for pasture alters nitrogen and phosphorus in small amazonian streams. **Ecological Applications**, v. 11, n. 6, p. 1817 – 1828. 2001.

NETTO, Ana L. C. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

NEU, Vânia. **Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus – AM**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

PÖPEL, H. J. (1979). Aeration and gas transfer. 2. ed. Delft, Delft University of Technology. 169p. *apud* VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª edição. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

RASERA, Maria de Fátima Fernandes Lamy. **O papel das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, em rios da bacia do Ji-Paraná (RO), no ciclo regional do carbono**. 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2005.

RICHEY, J.E.; VICTORIA, R. L.; FORSBERG, B. R. The Biogeochemistry of a Major River System: The Amazon Case Study. In: DEGENS, E. T; KEMPE, S; RICHEY, J. E. (Eds.) **Biogeochemistry of Major World Rivers**. England: John Wiley & Sons, 1991. p. 58-74. (Series SCOPE report; 42).

RICHEY, J.E. et. al. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>. **Nature**, 416, p.617-620. 2002.

SALIMON, Cleber Ibraim. **Fluxos de carbono em ambientes fluviais e suas origins na Amazônia Ocidental.** Piracicaba. 2005. (Relatório Científico de Pós Doutorado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP).

SILVA, A. A. da et al.. A historical dynamics of reproduction of agriculture in Igarapé-Açu (Northeast of the State of Pará): A study focusing on agrarian systems. In: **THIRD SHIFT-WORKSHOP: Proceedings.** Manaus, p.67-82. 1999.

SOUSA, Eliete dos Santos. **Fluxos de carbono inorgânico dissolvido (CID) e pCO<sub>2</sub> em igarapés na Amazônia Oriental.** Universidade Federal do Acre, 2005. (Relatório de Bolsa DTI-H).

STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry.** 3. ed. New York: Wiley-Interscience Publication, 1996.

SURANI, Ana Lucia. **A estrutura da comunidade de macro-invertebrados bentônicos em três represas do médio Tietê (SP), com ênfase nas espécies exóticas *Melanooides tuberculata* (Gastropoda, Thiaridae) e *Corbicula fluminea* (Bivalvia, Corbuculidae).** 2006. 146 p. Dissertação (Mestrado) – UFSCar, São Carlos, 2006.

TRINDADE, Mariuza. **Nutrientes em sedimentos da represa do Lobo** (Brotas – Itirapina, SP). 1980. 221 f. Dissertação (Mestrado) – UFSCar, São Carlos, 1980.

VICTORIA, Reynaldo Luiz Victoria. (Coord.). **O papel dos sistemas fluviais amazônicos no balanço regional e global de carbono: evasão de CO<sub>2</sub> e interações entre os ambientes terrestres e aquáticos.** Piracicaba: FAPESP: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2005. (Primeiro Relatório Parcial)

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ª edição. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WATERLOO, Maarten J. et al. Export of organic carbon in run-off from an Amazonian rainforest blackwater catchment. **Hydrological Processes**, v. 20, n. 12, p.2581-2597, 2006.

WICKEL, Bart. **Water and nutrient dynamics of a humid tropical agricultural watershed in Eastern Amazonia**. Bonn: University of Bonn, 2004. (Ecology and Development Series No. 21).

YAHN F°, Armando Gallo. O Conceito de bacia de drenagem internacional no contexto do tratado de cooperação amazônica e a questão hídrica na região. **Ambiente & Sociedade**, v.8, n.. 1, jan./jun. 2005.

## **APÊNDICE**

Apêndice A – Valores diários das concentrações médias de carbono orgânico dissolvido (COD), carbono inorgânico dissolvido (CID), oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade elétrica (CE), temperatura (Temp) e profundidade (Prof), durante o período de coleta.

| data       | Ponto  | COD (mg L <sup>-1</sup> ) | CID (mg L <sup>-1</sup> ) | pH   | Temp. (°C) | CE (µS cm <sup>-1</sup> ) | OD (mg L <sup>-1</sup> ) | Prof. (cm) |
|------------|--------|---------------------------|---------------------------|------|------------|---------------------------|--------------------------|------------|
| 20.jun.06  | IGCU-A | 0,73                      | 34,7                      | 4,09 | 26,8       | 31,0                      | 3,1                      | 31,5       |
| 11.jul.06  | IGCU-A | 0,62                      | 22,5                      | 3,91 | 26,7       | 27,1                      | 2,8                      | 36,0       |
| 22.ago.06  | IGCU-A | 0,88                      | 27,0                      | 4,01 | 26,8       | 25,3                      | 2,5                      | 25,0       |
| 19.set.06  | IGCU-A | 0,80                      | 30,9                      | 3,86 | 27,0       | 26,9                      | 2,4                      | 31,0       |
| 17.out.06  | IGCU-A | 1,14                      | 29,7                      | 4,04 | 26,8       | 25,1                      | 2,7                      | 30,0       |
| 21.nov.06  | IGCU-A | 0,63                      | 31,7                      | 4,24 | 27,1       | 25,0                      | 2,7                      | 19,0       |
| 19. dez.06 | IGCU-A | 0,59                      | 27,4                      | 4,13 | 26,7       | 23,7                      | 3,2                      | 31,0       |
| 23.jan.07  | IGCU-A | 0,67                      | -                         | 4,16 | 27,3       | 27,5                      | 3,0                      | 23,5       |
| 27.fev.07  | IGCU-A | 0,76                      | -                         | 4,24 | 26,7       | 25,5                      | 3,4                      | 25,0       |
| 27.mar.07  | IGCU-A | 0,89                      | -                         | 3,86 | 26,4       | 23,7                      | 3,3                      | 25,0       |
| 18.abr.07  | IGCU-A | 4,46                      | -                         | 4,50 | 26,2       | 22,8                      | 3,1                      | 26,5       |
| 17.mai.07  | IGCU-A | 5,03                      | -                         | 4,12 | 26,7       | 25,3                      | -                        | 27,0       |
| 20.jun.06  | IGCU-B | 0,51                      | 25,6                      | 4,18 | 26,3       | 23,4                      | 4,0                      | 32,0       |
| 12.jul.06  | IGCU-B | 0,49                      | 21,8                      | 3,87 | 26,2       | 26,5                      | 3,9                      | 31,0       |
| 22.ago.06  | IGCU-B | 0,54                      | 24,5                      | 3,83 | 26,3       | 25,2                      | 3,5                      | 28,0       |
| 19.set.06  | IGCU-B | 0,57                      | 28,1                      | 3,79 | 26,1       | 25,6                      | 3,2                      | 30,0       |
| 17.out.06  | IGCU-B | 0,67                      | 27,4                      | 4,44 | 26,1       | 25,9                      | 3,3                      | 30,0       |
| 21.nov.06  | IGCU-B | 0,40                      | 32,1                      | 3,93 | 26,2       | 27,9                      | 2,8                      | 28,0       |
| 19. dez.06 | IGCU-B | 0,46                      | 19,9                      | 4,08 | 26,2       | 25,9                      | 3,1                      | 27,5       |
| 23.jan.07  | IGCU-B | 0,55                      | -                         | 4,23 | 26,7       | 27,5                      | 3,3                      | 27,0       |
| 27.fev.07  | IGCU-B | 0,58                      | -                         | 3,80 | 25,0       | 27,8                      | 3,2                      | 27,0       |
| 27.mar.07  | IGCU-B | 0,75                      | -                         | 3,62 | 26,0       | 25,5                      | 2,7                      | 26,0       |
| 18.abr.07  | IGCU-B | 3,60                      | -                         | 3,97 | 26,0       | 26,8                      | 2,8                      | 27,0       |
| 17.mai.07  | IGCU-B | 5,72                      | -                         | 3,89 | 26,3       | 24,4                      | -                        | 28,0       |

Continua...

Continuação

| data       | Ponto  | COD (mg L <sup>-1</sup> ) | CID (mg L <sup>-1</sup> ) | pH   | Temp. (°C) | CE (μS cm <sup>-1</sup> ) | OD (mg L <sup>-1</sup> ) | Profund. (cm) |
|------------|--------|---------------------------|---------------------------|------|------------|---------------------------|--------------------------|---------------|
| 20.jun.06  | IGCU-C | 2,14                      | 6,5                       | 4,66 | 25,8       | 18,3                      | 6,6                      | 121,0         |
| 11.jul.06  | IGCU-C | 1,92                      | 4,8                       | 4,79 | 26,0       | 18,9                      | 6,5                      | 84,0          |
| 22.ago.06  | IGCU-C | 2,58                      | 4,6                       | 4,75 | 26,2       | 21,4                      | 6,8                      | 123,0         |
| 19.set.06  | IGCU-C | 1,91                      | 5,2                       | 4,62 | 25,4       | 21,9                      | 6,4                      | -             |
| 17.out.06  | IGCU-C | 1,45                      | 3,5                       | 4,54 | 26,0       | 20,8                      | 6,4                      | -             |
| 21.nov.06  | IGCU-C | 2,09                      | 6,7                       | 4,99 | 25,7       | 25,2                      | 6,4                      | 112,0         |
| 19. dez.06 | IGCU-C | 1,46                      | 3,6                       | 5,24 | 25,5       | 19,5                      | 6,3                      | 103,0         |
| 23.jan.07  | IGCU-C | 1,22                      | -                         | 5,02 | 26,0       | 19,9                      | 6,7                      | 100,0         |
| 27.fev.07  | IGCU-C | 3,06                      | -                         | 4,42 | 26,0       | 21,1                      | 6,3                      | 122,5         |
| 27.mar.07  | IGCU-C | 6,64                      | -                         | 4,13 | 25,3       | 22,7                      | 4,8                      | 134,0         |
| 18.abr.07  | IGCU-C | 5,66                      | -                         | 4,44 | 25,4       | 21,7                      | 4,8                      | 150,0         |
| 17.mai.07  | IGCU-C | 4,73                      | -                         | 4,32 | 26,6       | 19,6                      | -                        | 129,0         |
| 20.jun.06  | IGCU-D | 2,26                      | 7,7                       | 4,63 | 25,7       | 19,9                      | 6,4                      | 147,0         |
| 11.jul.06  | IGCU-D | 1,80                      | 5,5                       | 4,71 | 26,0       | 18,3                      | 6,5                      | 135,0         |
| 23.ago.06  | IGCU-D | 1,96                      | 6,7                       | 4,40 | 26,7       | 19,2                      | 6,7                      | 133,0         |
| 19.set.06  | IGCU-D | 2,16                      | 5,8                       | 4,53 | 25,6       | 20,7                      | 6,9                      | 119,0         |
| 18.out.06  | IGCU-D | 1,36                      | 7,6                       | 4,24 | 25,2       | 19,5                      | 6,9                      | 108,0         |
| 21.nov.06  | IGCU-D | 2,89                      | 7,1                       | 4,84 | 25,7       | 27,0                      | 6,4                      | 99,0          |
| 19. dez.06 | IGCU-D | 1,00                      | 6,3                       | 4,68 | 25,8       | 20,5                      | 6,6                      | 93,0          |
| 24.jan.07  | IGCU-D | 0,99                      | -                         | 4,81 | 25,7       | 21,7                      | 6,8                      | 87,0          |
| 27.fev.07  | IGCU-D | 2,86                      | -                         | 4,16 | 26,2       | -                         | 5,8                      | 93,0          |
| 27.mar.07  | IGCU-D | 8,28                      | -                         | 4,11 | 25,6       | 23,5                      | 5,3                      | 96,0          |
| 18.abr.07  | IGCU-D | 6,14                      | -                         | 4,19 | 25,5       | 21,8                      | 3,3                      | 90,0          |
| 18.mai.07  | IGCU-D | 4,50                      | -                         | 4,51 | 25,4       | 19,2                      | -                        | 112,0         |

Continua...



Continuação

| data      | Ponto  | COD (mg L <sup>-1</sup> ) | CID (mg L <sup>-1</sup> ) | pH   | Temp. (°C) | CE (μS cm <sup>-1</sup> ) | OD (mg L <sup>-1</sup> ) | Profund. (cm) |
|-----------|--------|---------------------------|---------------------------|------|------------|---------------------------|--------------------------|---------------|
| 21.jun.06 | IGPA-A | 0,81                      | 13,1                      | 4,17 | 25,1       | 20,1                      | 4,9                      | 65,0          |
| 12.jul.06 | IGPA-A | 0,79                      | 6,2                       | 4,05 | 25,3       | 19,8                      | 4,9                      | -             |
| 23.ago.06 | IGPA-A | 0,92                      | 12,7                      | 3,91 | 25,4       | 19,0                      | 4,9                      | -             |
| 20.set.06 | IGPA-A | 0,68                      | 12,9                      | 3,85 | 24,9       | 18,6                      | 4,9                      | -             |
| 18.out.06 | IGPA-A | 0,76                      | 8,8                       | 4,10 | 26,9       | 18,6                      | 5,0                      | 41,0          |
| 21.nov.06 | IGPA-A | 0,64                      | 12,3                      | 4,32 | 26,9       | 18,9                      | 4,7                      | 29,0          |
| 20.dez.06 | IGPA-A | 0,87                      | 27,4                      | 3,82 | -          | 18,4                      | 4,7                      | 41,0          |
| 23.jan.07 | IGPA-A | 0,58                      | -                         | 4,37 | 26,9       | 20,3                      | 4,2                      | 26,0          |
| 28.fev.07 | IGPA-A | 0,82                      | -                         | 4,45 | 25,6       | 20,7                      | 4,9                      | 31,0          |
| 27.mar.07 | IGPA-A | 1,45                      | -                         | 3,48 | 27,0       | 20,8                      | 2,8                      | 27,0          |
| 17.abr.07 | IGPA-A | 6,10                      | -                         | 3,96 | 25,5       | 17,9                      | 4,3                      | 26,0          |
| 17.mai.07 | IGPA-A | 2,83                      | -                         | 4,09 | 26,0       | 19,4                      | -                        | 23,0          |
| 21.jun.06 | IGPA-B | 1,05                      | 16,9                      | 4,07 | 25,5       | 20,3                      | 3,6                      | 58,0          |
| 12.jul.06 | IGPA-B | 1,14                      | 13,2                      | 4,21 | 25,6       | 18,9                      | 2,9                      | 47,0          |
| 23.ago.06 | IGPA-B | 1,05                      | 12,6                      | 3,87 | 26,0       | 18,8                      | 3,1                      | 46,0          |
| 20.set.06 | IGPA-B | 0,88                      | 13,6                      | 3,95 | 25,4       | 18,6                      | 2,9                      | -             |
| 18.out.06 | IGPA-B | 1,09                      | 7,0                       | 4,25 | 27,8       | 17,9                      | 5,4                      | 45,0          |
| 22.nov.06 | IGPA-B | 0,97                      | 16,1                      | 4,37 | 25,8       | 19,2                      | 2,4                      | 33,0          |
| 20.dez.06 | IGPA-B | 5,84                      | 15,7                      | 4,79 | 25,9       | -                         | 0,3                      | 17,0          |
| 23.jan.07 | IGPA-B | 1,75                      | -                         | 4,33 | 28,1       | 18,8                      | 2,8                      | 19,0          |
| 28.fev.07 | IGPA-B | 1,43                      | -                         | 4,57 | 27,0       | 21,4                      | 1,6                      | 26,0          |
| 27.mar.07 | IGPA-B | 2,40                      | -                         | 4,60 | 29,6       | 21,2                      | 4,5                      | 26,0          |
| 17.abr.07 | IGPA-B | 8,87                      | -                         | 4,14 | 25,6       | 15,9                      | 2,9                      | 34,0          |
| 17.mai.07 | IGPA-B | 5,31                      | -                         | 4,30 | 28,0       | 20,5                      | -                        | 35,0          |

Continua...

## Continuação

| data       | Ponto  | COD (mg L <sup>-1</sup> ) | CID (mg L <sup>-1</sup> ) | pH    | Temp. (°C) | CE (μS cm <sup>-1</sup> ) | OD (mg L <sup>-1</sup> ) | Profund. (cm) |
|------------|--------|---------------------------|---------------------------|-------|------------|---------------------------|--------------------------|---------------|
| 21.jun.06  | IGSJ-A | 0,46                      | 33,0                      | 3,823 | 26,4       | 29,4                      | 4,54                     | 26,00         |
| 12.jul.06  | IGSJ-A | 0,31                      | 29,9                      | 4,084 | 26,5       | 29,0                      | 4,19                     | 23,00         |
| 22.ago.06  | IGSJ-A | 0,45                      | 32,4                      | 4,021 | 26,50      | 28,3                      | 4,88                     | 28,00         |
| 19.set.06  | IGSJ-A | 0,43                      | 38,9                      | 3,754 | 26,3       | 27,7                      | 4,35                     | 23,00         |
| 18.out.06  | IGSJ-A | 0,53                      | 37,9                      | 4,190 | 26,5       | 29,7                      | 4,45                     | 24,00         |
| 22.nov.06  | IGSJ-A | 0,31                      | 37,9                      | 4,033 | 26,3       | 30,9                      | 2,75                     |               |
| 19. dez.06 | IGSJ-A | 0,27                      | 32,1                      | 4,043 | 26,6       | 28,3                      | 4,01                     | 21,00         |
| 24.jan.07  | IGSJ-A | 0,39                      | -                         | 3,434 | 27,1       | 30,1                      | 4,30                     | 24,50         |
| 28.fev.07  | IGSJ-A | 0,28                      | -                         | 3,446 | 26,7       | 28,7                      | 3,84                     | 26,00         |
| 27.mar.07  | IGSJ-A | 2,17                      | -                         | 3,345 | 26,4       | 26,9                      | 3,30                     | 27,00         |
| 17.abr.07  | IGSJ-A | 12,13                     | -                         | 3,725 | 26,1       | 30,2                      | 3,30                     | 26,00         |
| 18.mai.07  | IGSJ-A | 7,81                      | -                         | 3,301 | 26,4       | 28,2                      | -                        | 24,00         |
| 20.jun.06  | IGSJ-B | 1,18                      | 6,6                       | 4,273 | 25,0       | 19,0                      | 5,15                     | 97,00         |
| 12.jul.06  | IGSJ-B | 1,42                      | 3,9                       | 4,401 | 25,9       | 19,6                      | 5,15                     | -             |
| 22.ago.06  | IGSJ-B | 0,98                      | 6,6                       | 4,161 | 26,60      | 19,6                      | 5,15                     | -             |
| 19.set.06  | IGSJ-B | 0,94                      | 5,7                       | 4,042 | 26,6       | 19,3                      | 5,44                     | -             |
| 18.out.06  | IGSJ-B | 1,04                      | 9,4                       | 3,948 | 25,8       | 19,9                      | 5,88                     | 48,00         |
| 22.nov.06  | IGSJ-B | 1,24                      | 12,6                      | 4,354 | 26,4       | 18,6                      | 5,13                     | -             |
| 19. dez.06 | IGSJ-B | 0,79                      | 5,5                       | 4,252 | 26,3       | 18,5                      | 5,38                     | 23,00         |
| 24.jan.07  | IGSJ-B | 1,04                      | -                         | 4,045 | 26,2       | 18,6                      | 5,95                     | 26,00         |
| 27.fev.07  | IGSJ-B | 1,04                      | -                         | 3,644 | 26,7       | 18,8                      | 5,02                     | 16,00         |
| 27.mar.07  | IGSJ-B | 0,42                      | -                         | 3,973 | 27,7       | 21,1                      | 5,03                     | 23,00         |
| 17.abr.07  | IGSJ-B | 5,16                      | -                         | 3,743 | 25,9       | 20,1                      | 4,97                     | 18,00         |
| 18.mai.07  | IGSJ-B | 2,33                      | -                         | 3,974 | 25,9       | 18,1                      | -                        | 41,50         |

Apêndice B – Valores diários de vazão, pCO<sub>2</sub> da água, pCO<sub>2</sub> atmosférico e de fluxo de CO<sub>2</sub>, durante o período de coleta.

| data       | Ponto  | Vazão (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | pCO <sub>2</sub> água (ppm) | pCO <sub>2</sub> ar atm (ppm) | Fluxo CO <sub>2</sub> e (±) desvio (μmol CO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> ) |
|------------|--------|---|-----------------------------|-------------------------------|--|
| 20.jun.06  | IGCU-A | 0,006                                   | 24083,6                     | 530,5                         | 26,97 ±4,51  |
| 11.jul.06  | IGCU-A | 0,014                                   | 15636,6                     | 429,7                         | 17,50 ±2,93  |
| 22.ago.06  | IGCU-A | 0,001                                   | 18734,5                     | 540,7                         | 20,83 ±3,49  |
| 19.set.06  | IGCU-A | 0,006                                   | 21624,0                     | 304,0                         | 24,16 ±4,04  |
| 17.out.06  | IGCU-A | 0,004                                   | 20607,9                     | 592,4                         | 22,92 ±3,83  |
| 21.nov.06  | IGCU-A | 0,003                                   | 22157,6                     | 358,3                         | 24,57 ±4,11  |
| 19. dez.06 | IGCU-A | 0,013                                   | 18953,5                     | 389,5                         | 21,37 ±3,58  |
| 23.jan.07  | IGCU-A | 0,000                                   | -                           | -                             | -  |
| 27.fev.07  | IGCU-A | 0,000                                   | -                           | -                             | -  |
| 27.mar.07  | IGCU-A | 0,004                                   | -                           | -                             | -  |
| 18.abr.07  | IGCU-A | 0,003                                   | -                           | -                             | -  |
| 17.mai.07  | IGCU-A | 0,007                                   | 18822,5                     | 146,6                         | 21,50 ±  |
| 20.jun.06  | IGCU-B | 0,007                                   | 17519,1                     | 373,9                         | 15,23 ±1,52  |
| 12.jul.06  | IGCU-B | 0,006                                   | 14946,3                     | 363,4                         | 13,02 ±1,30  |
| 22.ago.06  | IGCU-B | 0,003                                   | 16862,0                     | 624,3                         | 14,42 ±1,44  |
| 19.set.06  | IGCU-B | 0,006                                   | 19220,0                     | 467,6                         | 16,83 ±1,68  |
| 17.out.06  | IGCU-B | 0,004                                   | 18574,5                     | 323,3                         | 16,38 ±1,63  |
| 21.nov.06  | IGCU-B | 0,009                                   | 21966,2                     | 465,3                         | 19,20 ±1,91  |
| 19. dez.06 | IGCU-B | 0,020                                   | 13618,4                     | 312,4                         | 11,88 ±1,18  |
| 23.jan.07  | IGCU-B | 0,004                                   | -                           | -                             | -  |
| 27.fev.07  | IGCU-B | 0,010                                   | -                           | -                             | -  |
| 27.mar.07  | IGCU-B | 0,004                                   | -                           | -                             | -  |
| 18.abr.07  | IGCU-B | 0,004                                   | -                           | -                             | -  |
| 17.mai.07  | IGCU-B | 0,008                                   | 19582,1                     | 29,1                          | 17,37 ±  |

Continua...

Continuação

| data       | Ponto  | Vazão ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) | pCO <sub>2</sub> água (ppm) | pCO <sub>2</sub> ar atm (ppm) | Fluxo CO <sub>2</sub> e ( $\pm$ ) desvio ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
|------------|--------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 20.jun.06  | IGCU-C | 1,143                                | 4334,6                      | 204,4                         | 27,64 $\pm$ 1,63  |
| 11.jul.06  | IGCU-C | 0,762                                | 3202,5                      | 315,2                         | 19,12 $\pm$ 1,13  |
| 22.ago.06  | IGCU-C | 0,729                                | 3101,4                      | 411,3                         | 17,63 $\pm$ 1,04  |
| 19.set.06  | IGCU-C | 0,981                                | 3404,8                      | 236,1                         | 21,64 $\pm$ 1,28  |
| 17.out.06  | IGCU-C | 0,916                                | 2329,4                      | 190,4                         | 14,17 $\pm$ 0,83  |
| 21.nov.06  | IGCU-C | 0,140                                | 4327,2                      | 379,0                         | 26,55 $\pm$ 1,56  |
| 19. dez.06 | IGCU-C | 0,187                                | 2264,7                      | 230,3                         | 13,82 $\pm$ 0,81  |
| 23.jan.07  | IGCU-C | 0,139                                | -                           | -                             | -   |
| 27.fev.07  | IGCU-C | 0,181                                | -                           | -                             | -   |
| 27.mar.07  | IGCU-C | 0,400                                | -                           | -                             | -   |
| 18.abr.07  | IGCU-C | 0,614                                | -                           | -                             | -   |
| 17.mai.07  | IGCU-C | 0,054                                | 3418,8                      | 22,9                          | 21,80 $\pm$   |
| 20.jun.06  | IGCU-D | 1,009                                | 5112,4                      | 511,9                         | 23,49 $\pm$ 0,48  |
| 11.jul.06  | IGCU-D | 0,871                                | 3688,6                      | 339,4                         | 16,84 $\pm$ 0,34  |
| 23.ago.06  | IGCU-D | 0,669                                | 4640,7                      | 299,9                         | 21,05 $\pm$ 0,43  |
| 19.set.06  | IGCU-D | 0,650                                | 3837,0                      | 313,5                         | 18,08 $\pm$ 0,37  |
| 18.out.06  | IGCU-D | 0,451                                | 5061,0                      | 412,1                         | 24,35 $\pm$ 0,49  |
| 21.nov.06  | IGCU-D |                                      | 4638,5                      | 178,1                         | 22,77 $\pm$ 0,46  |
| 19. dez.06 | IGCU-D | 0,380                                | 4169,0                      | 282,9                         | 19,74 $\pm$ 0,40  |
| 24.jan.07  | IGCU-D | 0,240                                | -                           | -                             | -   |
| 27.fev.07  | IGCU-D | 0,340                                | -                           | -                             | -   |
| 27.mar.07  | IGCU-D | 0,558                                | -                           | -                             | -   |
| 18.abr.07  | IGCU-D | 0,599                                | -                           | -                             | -   |
| 18.mai.07  | IGCU-D | 0,152                                | 4940,0                      | 21,0                          | 25,50 $\pm$   |

Continua...

Continuação

| data      | Ponto  | Vazão ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) | pCO <sub>2</sub> água (ppm) | pCO <sub>2</sub> ar atm (ppm) | Fluxo CO <sub>2</sub> e ( $\pm$ ) desvio ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
|-----------|--------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 21.jun.06 | IGPA-A | 0,081                                | 8686,0                      | 334,8                         | 33,03 $\pm$ 4,85  |
| 12.jul.06 | IGPA-A | 0,177                                | 4110,9                      | 394,2                         | 14,55 $\pm$ 2,14  |
| 23.ago.06 | IGPA-A | 0,151                                | 8504,7                      | 347,0                         | 31,77 $\pm$ 4,67  |
| 20.set.06 | IGPA-A | 0,140                                | 8535,7                      | 557,9                         | 31,87 $\pm$ 4,68  |
| 18.out.06 | IGPA-A | 0,089                                | 6154,5                      | 305,1                         | 21,08 $\pm$ 3,10  |
| 21.nov.06 | IGPA-A | 0,060                                | 8505,5                      | 329,3                         | 29,46 $\pm$ 4,33  |
| 20.dez.06 | IGPA-A | 0,046                                | 7945,1                      | 354,5                         | 139,13 $\pm$ 20,45  |
| 23.jan.07 | IGPA-A | 0,054                                | -                           | -                             | -   |
| 28.fev.07 | IGPA-A | 0,035                                | -                           | -                             | -   |
| 27.mar.07 | IGPA-A | 0,076                                | -                           | -                             | -   |
| 17.abr.07 | IGPA-A | 0,189                                | -                           | -                             | -   |
| 17.mai.07 | IGPA-A | 0,036                                | 8525,7                      | 30,1                          | 32,08 $\pm$   |
| 21.jun.06 | IGPA-B | 0,005                                | 11359,3                     | 256,9                         | 9,24 $\pm$ 2,62   |
| 12.jul.06 | IGPA-B | 0,001                                | 8872,4                      | 291,1                         | 7,10 $\pm$ 2,02   |
| 23.ago.06 | IGPA-B | 0,000                                | 8590,6                      | 313,6                         | 6,71 $\pm$ 1,91   |
| 20.set.06 | IGPA-B | 0,000                                | 9120,5                      | 362,5                         | 7,33 $\pm$ 2,08   |
| 18.out.06 | IGPA-B | 0,000                                | 4950,8                      | 362,7                         | 3,39 $\pm$ 0,96   |
| 22.nov.06 | IGPA-B | 0,486                                | 10853,2                     | 330,9                         | 8,62 $\pm$ 2,45   |
| 20.dez.06 | IGPA-B | 0,087                                | 10411,1                     | 213,9                         | 8,31 $\pm$ 2,36   |
| 23.jan.07 | IGPA-B | 0,025                                | -                           | -                             | -   |
| 28.fev.07 | IGPA-B | 0,037                                | -                           | -                             | -   |
| 27.mar.07 | IGPA-B | 0,056                                | -                           | -                             | -   |
| 17.abr.07 | IGPA-B | 0,096                                | -                           | -                             | -   |
| 17.mai.07 | IGPA-B | 0,092                                | 12142,7                     | 30,0                          | 8,85 $\pm$  |

Continua...

Continuação

| data       | Ponto  | Vazão ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) | pCO <sub>2</sub> água (ppm) | pCO <sub>2</sub> ar atm (ppm) | Fluxo CO <sub>2</sub> e ( $\pm$ ) desvio ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
|------------|--------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 21.jun.06  | IGSJ-A |                                      | 22763,3                     | 222,9                         | 45,36 $\pm$ 3,51  |
| 12.jul.06  | IGSJ-A |                                      | 20611,4                     | 340,7                         | 40,58 $\pm$ 3,14  |
| 22.ago.06  | IGSJ-A |                                      | 22362,7                     | 432,7                         | 43,90 $\pm$ 3,40  |
| 19.set.06  | IGSJ-A |                                      | 26724,1                     | 253,8                         | 53,54 $\pm$ 4,14  |
| 18.out.06  | IGSJ-A |                                      | 26052,3                     | 250,0                         | 51,66 $\pm$ 4,00  |
| 22.nov.06  | IGSJ-A |                                      | 25966,5                     | 480,3                         | 51,55 $\pm$ 3,99  |
| 19. dez.06 | IGSJ-A |                                      | 22155,1                     | 255,7                         | 43,62 $\pm$ 3,38  |
| 24.jan.07  | IGSJ-A |                                      | -                           | -                             | -   |
| 28.fev.07  | IGSJ-A |                                      | -                           | -                             | -   |
| 27.mar.07  | IGSJ-A |                                      | -                           | -                             | -   |
| 17.abr.07  | IGSJ-A |                                      | -                           | -                             | -   |
| 18.mai.07  | IGSJ-A |                                      | 26974,1                     | 25,3                          | 54,23 $\pm$   |
| 20.jun.06  | IGSJ-B | 0,486                                | 4361,1                      | 545,8                         | 8,69 $\pm$ 3,06   |
| 12.jul.06  | IGSJ-B | 0,409                                | 2622,7                      | 378,8                         | 4,88 $\pm$ 1,72   |
| 22.ago.06  | IGSJ-B | 0,497                                | 4578,7                      | 320,4                         | 8,93 $\pm$ 3,14   |
| 19.set.06  | IGSJ-B | 0,571                                | 3941,4                      | 296,7                         | 7,65 $\pm$ 2,69   |
| 18.out.06  | IGSJ-B | 0,433                                | 6334,8                      | 402,1                         | 12,97 $\pm$ 4,56  |
| 22.nov.06  | IGSJ-B | 0,004                                | 8598,3                      | 438,2                         | 17,30 $\pm$ 6,08  |
| 19. dez.06 | IGSJ-B |                                      | 3746,4                      | 240,5                         | 7,47 $\pm$ 2,63   |
| 24.jan.07  | IGSJ-B | 0,168                                | -                           | -                             | -   |
| 27.fev.07  | IGSJ-B | 0,171                                | -                           | -                             | -   |
| 27.mar.07  | IGSJ-B | 0,271                                | -                           | -                             | -   |
| 17.abr.07  | IGSJ-B | 0,207                                | -                           | -                             | -   |
| 18.mai.07  | IGSJ-B | 0,217                                | 3557,8                      | 20,5                          | 7,69 $\pm$  |

## **ANEXO**

ANEXO A – Foto da nascente do Igarapé Cumaru, ponto IGCU-A



Fonte: Autora



ANEXO B – Foto da nascente do Igarapé Cumaru, ponto IGCU-B



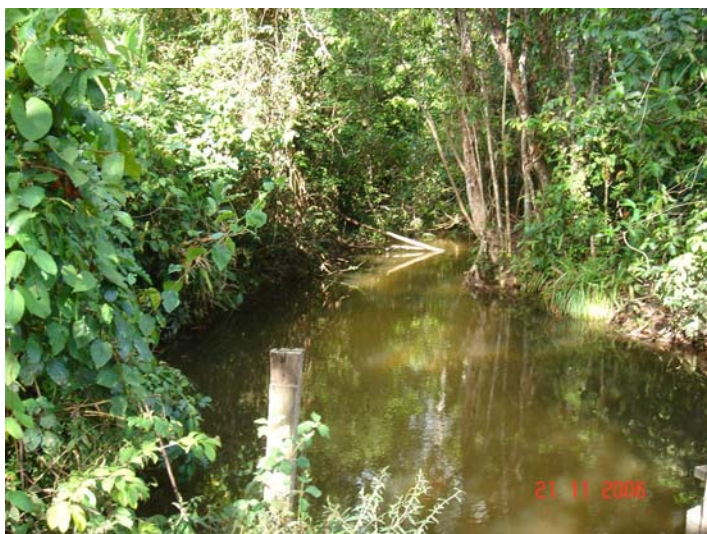
Fonte: Autora

ANEXO C – Foto do curso principal do Igarapé Cumaru, ponto IGCU-C



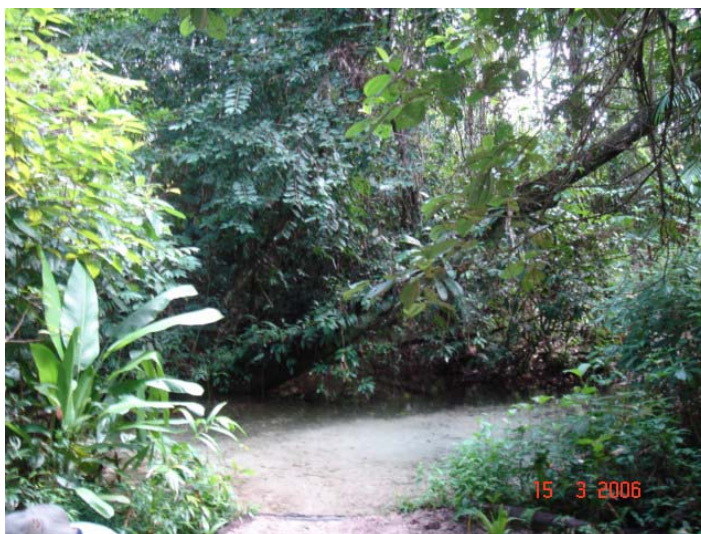
Fonte: Autora

ANEXO D – Foto do curso principal do Igarapé Cumaru, ponto IGCU-D



Fonte: Autora

ANEXO E – Foto da nascente do Igarapé São João, ponto IGSJ-A



Fonte: Autora

ANEXO F – Foto do curso principal do Igarapé São João, ponto IGSJ-B



Fonte: Autora



ANEXO G – Foto do curso principal do Igarapé Pachibá, ponto IGPA-A



Fonte: Autora

ANEXO H – Foto do curso principal do Igarapé Pachibá, ponto IGPA-B



Fonte: Autora

ANEXO I – Imagem de satélite do Igarapé Pachibá  
com a indicação dos pontos de coleta.



Fonte: Google Earth



ANEXO J – Percentual de áreas relativas às diferentes classes de uso da terra nas bacias dos Igarapés Cumaru, São João e Pachibá, município de Igarapé-Açu – PA, com base em imagens Landsat, coordenadas UTM, *datum* SAD69, zona 23S.

|                  | Cumaru | São João | Pachibá |
|------------------|--------|----------|---------|
| Cultura Agrícola | 9,01   | 5,03     | 6,72    |
| Pasto Limpo      | 5,16   | 10,78    | 16,19   |
| Pasto Sujo       | 13,71  | 13,63    | 29,87   |
| Capoeira Baixa   | 60,74  | 49,83    | 24,98   |
| Capoeira Alta    | 5,64   | 13,38    | 22,15   |
| Floresta Densa   | 4,20   | 4,96     | 0,09    |
| Nuvem / Sombra   | 1,53   | -        | -       |

Fonte: Dados fornecidos pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.