

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
Programa de Pós - Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e  
Conservação de Recursos Naturais - PGECOL

VARIAÇÃO SAZONAL NA COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA E QUÍMICA DA ÁGUA  
NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO LAGO GRANDE DE CURUAI, (PA)



pgecol

Eliese Cristina de Oliveira

Juiz de Fora, MG – Brasil  
Junho de 2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

*Variação sazonal na composição isotópica e química da água  
na Planície de Inundação do Lago Grande de Curuai, (PA)*

ELIESE CRISTINA DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Instituto de  
Ciências Biológicas, da Universidade  
Federal de Juiz de Fora, como parte  
dos requisitos para obtenção do Título  
de Mestre em Ecologia

---

Dr. Jean Pierre H. B. Ometto  
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

---

Dr. Marcelo Corrêa Bernardes  
Universidade Federal Fluminense - UFF

---

Dr. Luiz Antônio Martinelli  
Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) - USP

Juiz de Fora, MG – Brasil  
Junho de 2008

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

OLIVEIRA, ELIESE CRISTINA

Varição sazonal na composição isotópica e química da água na Planície de Inundação do Lago Grande de Curuai, (PA).

xiii, 80 pp. 29,7 cm (Instituto de Ciências Biológicas/UFJF, M. Sc., PGECOL, 2008)

Dissertação-Universidade Federal de Juiz de Fora, PGECOL

1. várzeas amazônicas; 2. hidroquímica;3; composição isotópica da matéria orgânica

I. ICB/UFJF II. Título (série)

Aos meus pais dedico este trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Meu especial agradecimento ao Dr. Jean Ometto por ter me orientado nesta curta caminhada, mas que foi sem dúvida cercada de vasto aprendizado. Obrigada por me fazer acreditar nas minhas próprias descrenças.

Ao Dr. Fábio Roland, por ter me oferecido uma grande oportunidade quando tudo parecia perdido. Obrigada por me dizer não quando eu esperava ouvir um sim, o que hoje, só me faz valorizar ainda mais a sua amizade.

Ao Dr. Marcelo Bernardes, por gentilmente me receber em sua sala e pacientemente me direcionar na redação deste trabalho. Ainda guardo o mapa da Várzea de Curuai todo rabiscado, porque foi a partir daquele momento que tive certeza de que não seria fácil, mas não impossível.

Ao José Mauro, sem o qual este trabalho não seria tão bem sucedido. Obrigada por ter me ensinado as primeiras lições da Ecologia Isotópica, pela imensa ajuda na redação do texto final e pelas constantes “picuinhas”. Hoje já posso entender um pouco mais “de como é trabalhar com isótopos”!

À Ana Paula Sobral pela valiosa colaboração na análise estatística dos dados. Sempre de bom humor e com uma enorme paciência, sua ajuda tornou esta etapa menos árdua.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Isotópica (CENA), em especial ao Edmar, Toninha, Xanda, Gustavo e Thalita, que viabilizaram a realização das análises e tiveram sempre muita paciência diante das minhas inúmeras perguntas.

Aos colegas da LBA e UFPA, em especial à Genilson, Sabrina, Prof. Reinaldo Peleja e Elton, que me ajudaram nos trabalhos de campo e laboratório e viabilizaram minha permanência na cidade de Santarém.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Aquática por terem me incentivado a continuar lutando por este sonho. Obrigada a TODOS por não me deixarem desistir. Obrigada a Lúcia, Luciana, Alessandro e Raquel pela valiosa revisão dos textos e Felipe por prontamente atender ao meu pedido de elaboração dos mapas.

Aos meus amigos Mara e Júnior por se preocuparem com o andamento do meu trabalho e por sempre me lembrar de que sou capaz. Obrigada pela amizade verdadeira e desinteressada.

Por fim, aos meus familiares por sempre me apoiarem nas minhas escolhas e por muitas vezes abrirem mão de seus próprios para me ajudar. Eles são para mim exemplos de perseverança, honestidade e humildade, ensinamentos que me regem no que quer que eu faça.

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABELAS

### 1. INTRODUÇÃO

1.1 Visão geral da bacia Amazônica	1
1.2 O sistema rio-planície de inundação	4
1.3 Objetivos Gerais	9
1.3.1 Ações Específicas	9
1.4 Hipótese	9

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo	10
2.2 Amostragem e procedimentos analíticos	11
2.3 Análises estatísticas	17

### 3. RESULTADOS

3.1 A química da água: dados de campo e compostos iônicos	18
3.2 sedimentos em suspensão e compostos de carbono	23
3.3 Isótopos estáveis e razão C:N	26

### 4. DISCUSSÃO

4.1 Composição química das águas do Lago Grande de Curuai	28
4.2 Sólidos em suspensão e carbono dissolvido na várzea de Curuai	37
4.3 Composição isotópica da matéria orgânica no Lago Grande de Curuai	45

### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



## RESUMO

### **Variação sazonal na composição isotópica e química da água na Planície de Inundação do Lago Grande do Curuai, (PA)**

O entendimento da dinâmica biogeoquímica é um ponto central na tentativa de, racionalmente, manejar recursos e minimizar os impactos gerados por atividades antrópicas nos sistemas aquáticos amazônicos, especialmente devido à importância dessa região no ciclo global do carbono. O presente estudo pretende contribuir com esta temática avaliando a composição isotópica e química da água na várzea de Curuai (PA). As amostras de água foram coletadas na superfície da coluna d'água no Lago Grande em três períodos distintos do ciclo hidrológico. Os valores de concentrações e de  $\delta^{13}\text{C}$  (-28,4 a -23,3‰) e  $\delta^{15}\text{N}$  (2,0 a 5,0‰) para os sólidos fino em suspensão (SFS) revelaram mudanças consideráveis na quantidade e na composição da matéria orgânica ao longo do ciclo hidrológico. Enquanto no período de enchente a planície recebe materiais das áreas laterais e rio Amazonas, nos períodos de cheia e vazante as contribuições autóctones podem ser registradas com maior intensidade no sinal isotópico do SFS. A composição isotópica do carbono inorgânico dissolvido (CID) também parece refletir a ciclagem da matéria orgânica na várzea. A composição química da água, por sua vez, é muito similar à do rio principal e está mais intensamente relacionada ao pulso de inundação e à litologia na bacia hidrográfica. Foi observada uma maior influência da drenagem local no período de vazante, especialmente sobre as concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ . Este estudo evidencia o controle do pulso de inundação e da hidrodinâmica interna sobre a química e a composição da matéria orgânica nos sistemas de várzeas da bacia Amazônica.

Palavras-chave: várzeas, sazonalidade, isótopos estáveis, hidroquímica, Amazônia

## ABSTRACT

### Seasonal variation on isotopic and chemical composition of the water in Lago Grande de Curuai floodplain, Brazil

The understanding of the biogeochemical dynamics is a central point for the implementation of sustainable resources management and to minimize the impacts of human activity over the Amazonian aquatic systems. It becomes more critic when we consider the role of Amazon region plays in the global carbon cycle. The present study tries to contribute to this approach by examining the seasonal variation in isotopic and chemical composition of the water in Lago Grande de Curuai floodplain, Brazil, a complex system of lakes linked to the Amazon River by several channels. Water samples were taken from surface of the Lago Grande in three different phases of the hydrological cycle. The  $\delta^{13}\text{C}$  (from -28,4 to -23,3‰) and  $\delta^{15}\text{N}$  (from 2,0 to 5,0‰) values and concentrations of the fine suspended sediments (FSS) revealed considerable variability in the lake organic matter abundance and composition. These patterns are a result of system internal functioning along the hydrological cycle. If on the one hand water and material inputs from the catchment area and Amazon river do influence the isotopic signal of the FSS the during rising water, on the other hand an effect of the primary production seems to be recovered in the FSS during periods of high water and falling. Additionally, the DIC isotopic composition seems to reflect the seasonality in organic matter inputs to the “varzea”. The water chemical composition is quite similar to that of the main river and was probably more related to the flood pulse and drainage basin lithology. A greater influence of the local drainage was observed during the falling water period, especially over the  $\text{Cl}^-$  and  $\text{HCO}_3^-$  concentrations. This work brings evidences that the flood pulse and the internal dynamics of the floodplains in the Amazon basin are ultimately decisive to its biogeochemistry.

Keywords: floodplains; seasonal variations, stable isotopes, water chemistry, Amazon Basin

## INDÍCE DE FIGURAS

1. Direção do fluxo d'água entre os rios e a planícies de inundação em cada fase do ciclo hidrológico (Modificado de Barbosa, 2005).....	5
2. Composição de imagens Landsat-TM da várzea de Curuai nos períodos de <b>(1)</b> cheia e <b>(2)</b> seca. Fonte: Modificado de Barbosa (2005).....	6
3. Localização da várzea de Curuai na bacia Amazônica.....	10
4. Localização dos pontos de amostragens no Lago Grande de Curuai.....	12
5. Proporção dos principais íons - ânions (esquerda) e cátions (direita) - na composição química das águas no Lago Grande de Curuai nos pontos de amostragem (C1 a C10) nas três fases da hidrógrafa.....	21
6. Valores médios e desvio padrão das concentrações de SFS, SGS e SST nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.....	24
7. Valores médios e desvio padrão das concentrações de CID e COD nas fases três hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.....	24
8. Concentrações de CID e COD nos locais de amostragem (C1 a C10) nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.....	25
9. Variação de $\delta^{13}\text{C}$ do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.....	27

10. Variação de $\delta^{15}\text{N}$ do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.....	27
11. Variação de C:N do SFS nas três fases da hidrógrafa Lago Grande de Curuai.....	28
12. “Floração” de algas no Lago Grande de Curuai.....	30
13. Média geral e desvio padrão das concentrações dos principais íons dissolvidos no Lago Grande de Curuai.....	34
14. Amostra de SGS correspondente ao período de vazante no Lago Grande de Curuai.....	39
15. Média e desvio padrão dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.....	46
16. Relação entre os valores de C:N e $\delta^{13}\text{C}$ do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.....	47
17. Relação entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do CID e $\delta^{13}\text{C}$ do SFS em duas fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.....	48
18. Variação do $\delta^{13}\text{C}$ de possíveis fontes de matéria orgânica para a várzea de Curuai, dados de $\delta^{13}\text{C}$ para SFS obtidos por este estudo e sedimento superficial publicados por Amorim (2006).....	51

19. Relação entre $\delta^{15}\text{N}$ do SFS e nitrato dissolvido ( $\text{N-NO}_3^-$ ) nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.....	54
20. Relação entre os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.....	57

## ÍNDICE DE TABELAS

1. Estatística descritiva das variáveis pH, oxigênio dissolvido (OD) temperatura (T) e condutividade da água (Cond.) medidas durante as campanhas de campo de acordo com as fases da hidrógrafa.....19
2. Composição química dos principais elementos dissolvidos (cátions e ânions) nos pontos de coleta e fases da hidrógrafa; pontos C2, C3, C4, C6 e C10 médias correspondentes aos períodos de cheia e vazante. Valores expressos em expressos em  $\mu\text{M}$ .....22

## INDÍCE DE ANEXOS

1. Concentrações de sedimento grosso em suspensão (SGS) nos locais de amostragem (C1 a C10) de acordo com as fases da hidrógrafa: águas altas <b>(1)</b> , vazante <b>(2)</b> e enchente <b>(3)</b> .....	72
2. Matrizes de correlação entre os principais íons dissolvidos e a condutividade elétrica de acordo com as fases da hidrógrafa.....	73
3. Média das concentrações de sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) das três fases da hidrógrafa nos pontos de amostragem (C1 a C10) no Lago Grande de Curuai.....	74
4. Concentrações de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e cloro ( $\text{Cl}^-$ ) em $\mu\text{M}$ - esquerda - e $\text{mg L}^{-1}$ - direita - nos locais de amostragem (C1 a C10) de acordo com as fases da hidrógrafa: águas altas <b>(1)</b> , vazante <b>(2)</b> e enchente <b>(3)</b> .....	75
5. Relação entre o somatório de cátions (TZ+) e ânions (TZ-) nas amostras de água do Lago grande de Curuai nas três fases da hidrógrafa.....	76
6. Concentrações de sódio ( $\text{Na}^+$ ) cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e cloro ( $\text{Cl}^-$ ) em $\mu\text{M}$ nos locais de amostragem (C1 a C10) de acordo com as fases da hidrógrafa: águas altas <b>(1)</b> , vazante <b>(2)</b> e enchente <b>(3)</b> .....	77
7. Valores médios das concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido -NID- ( $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NH}_4^+$ ) nas fases da hidrógrafa.....	78

8. Concentrações de $\text{Cl}^-$ , $\text{HCO}_3^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ e $\text{CO}_2$ nos locais de amostragem (C1 a C10) e de acordo com as fases da hidrógrafa: águas altas <b>(1)</b> , vazante <b>(2)</b> e <b>(3)</b> enchente.....	79
9. Tabela dos dados.....	80



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Visão geral da bacia Amazônica

A bacia Amazônica é inquestionavelmente de grande importância para as comunidades locais, que dependem dos rios para o transporte, fornecimento de água para consumo e recursos pesqueiros. A região assume relevância global quando se considera as dimensões subcontinentais, abrangendo desde regiões montanhosas nos Andes até a foz do rio Amazonas no oceano Atlântico, e a magnitude dos processos ecológicos e hidrológicos, que influenciam os ciclos biogeoquímicos e o balanço global do carbono (Devol *et al.*, 1994; Meade, 1994; Marengo & Nobre, 2001)

O regime de precipitação dinamiza o fluxo d'água nos rios da bacia Amazônica e a intensa evapotranspiração alimenta as chuvas e contribui para a circulação atmosférica nesta que é a maior bacia hidrográfica do mundo. A atual conjuntura do desmatamento em larga escala e o avanço da agroindústria, especialmente na Amazônia brasileira, colocam em risco o equilíbrio desses processos e, conseqüentemente, a manutenção do clima em nível regional e global (Costa & Foley, 1998; Nepstad & Almeida, 2004).

A bacia Amazônica possui mais de 6.000.000 km<sup>2</sup> e é formada pelo rio Amazonas, seus tributários e uma vasta área de inundação, a qual representa cerca de 17% da área total da bacia (Melack *et al.*, 2004). A vazão do rio Amazonas é da ordem de 220.000m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> e responde por mais de 20% da água doce que é escoada para os oceanos (Geyer *et al.*, 1996).

As águas que drenam esta região são classificadas em águas brancas, claras e pretas, tipologia esta resultante de diferenças na origem, tipo de solo e condições climáticas (Sioli, 1984). Esta classificação geral está baseada fundamentalmente no aspecto visual da água (cor), na quantidade de sólidos suspensos e na faixa de

variação do pH da água. Os rios de águas brancas, tais como os rios Solimões e Madeira, possuem o aspecto “barrento”, devido à grande quantidade de sólidos em suspensão, oriundos de regiões montanhosas nos Andes (Gibbs, 1967), e apresentam pH em torno da neutralidade. Já os rios de águas claras e pretas são pobres em sólidos suspensos e drenam, respectivamente, as regiões dos escudos das Guianas e Brasileiro e região central da bacia. Destes sistemas, os de águas pretas apresentam alta concentração de material orgânico dissolvido, geralmente composto por substâncias altamente refratárias de origem terrestre como ácidos húmicos e fúlvicos (Ertel. *et al.*, 1986). Em relação ao pH, as águas claras apresentam uma ampla faixa de variação e as águas pretas têm pH levemente ácido (Sioli, 1984).

Diversos estudos realizados na bacia Amazônica relacionaram a tipologia da água e características da bacia de drenagem (Sioli, 1984; McClain, *et al.*, 1997) e investigaram a origem, transformações e composição da matéria orgânica no rio Amazonas e alguns de seus principais tributários (Hedges *et al.*, 1986; Hedges *et al.*, 1994; Devol & Hedges, 2001). O foco de pesquisas mais recentes têm sido acompanhar transformações na matéria orgânica em gradientes latitudinal e longitudinal (Hedges *et al.*, 2000; Townsend-Small *et al.*, 2005; Aufdenkampe *et al.*, 2007). De fato, nas últimas décadas aumentaram o número de estudos publicados sobre o dinamismo hidrológico e suas implicações na biogeoquímica de sistemas aquáticos na Amazônia. Contudo, as informações geradas até agora são insuficientes para a interpretação da bacia como um todo, devido à grande diversidade de ambientes e mudanças bruscas no nível d'água dos rios.

A grande heterogeneidade na rede de drenagem da bacia Amazônica é moldada pelo pulso de inundação (Junk, 1989), fenômeno periódico de subida e descida das águas dos rios que atinge uma vasta área lateral e distingue quatro períodos no ciclo hidrológico: águas altas ou cheia, vazante ou descida das águas, águas baixas ou seca e enchente ou subida das águas. Ao longo do médio e baixo curso, o rio Amazonas e seus tributários são circundados por extensas planícies de

inundação que atingem uma área de aproximadamente 300.000 km<sup>2</sup> (Junk, 1997). Richey *et al.* (2002) avaliaram a extensão da área alagada por pequenos rios (canal e zona ripária menor que 100m de largura) como sendo comparável à dos grandes rios amazônicos, atingindo o máximo de 51.000 km<sup>2</sup> no período de águas altas. Essas estimativas, entretanto, são bastante controversas já que muitas vezes se baseiam em medidas indiretas e extrapolações. Tais divergências revelam a necessidade de estudos e métodos mais acurados e precisos para avaliar a real extensão de área alagada na bacia Amazônica.

Devido ao armazenamento e retenção de água durante os períodos de cheia e enchente e posterior exportação ao canal principal na vazante, as áreas laterais desempenham um importante papel regulador do nível dos rios. Richey *et al.* (1989) estimaram que até 30% do fluxo de água no rio Amazonas passa pelas planícies de inundação situadas entre as cidades de São Paulo de Olivença (AM) e Óbidos (PA).

A oscilação do nível d'água dos rios controla não só o hidrodinamismo das áreas alagáveis, mas também é um fator fundamental para o funcionamento ecológico destes sistemas. Periodicamente, estas áreas, regionalmente chamadas de várzeas ou igapós, alternam entre as fases terrestre e aquática, sustentando uma grande biodiversidade e diversos processos ecológicos (Junk, 1997). Além disso, as várzeas ainda oferecem alguns *serviços ecossistêmicos* tais como, habitat para várias espécies de peixes, fonte de água para consumo e áreas de criação de gado e búfalos.

Do ponto de vista biogeoquímico, as várzeas são importantes locais para produção, estoque e exportação de carbono para a atmosfera (Richey *et al.*, 1990; Melack & Forsberg, 2001; Richey *et al.*, 2002). Com base em taxas de sedimentação na várzea do Lago Grande de Curuai, Moreira-Turcq *et al.* (2004) sugeriram que o estoque de sedimentos nas grandes planícies de inundação amazônicas pode atingir mesma ordem da exportação anual de carbono pelo rio Amazonas. As áreas alagáveis também podem estimular as altas taxas respiratórias nos rios através da exportação

de substratos lábeis oriundos da fermentação microbiana (Richey *et al.*, 1988; Devol *et al.*, 1994) e produção autotrófica (Quay *et al.*, 1992). A análise isotópica do carbono inorgânico dissolvido (CID) no rio Amazonas indicou que aproximadamente 40% da matéria orgânica utilizada na respiração é proveniente de plantas de ciclo fotossintético C<sub>4</sub> que crescem nas planícies de inundação (Quay *et al.*, 1992).

Pelo exposto acima observa-se uma complexa interação entre os sistemas aquáticos amazônicos gerando uma interdependência funcional na rede de drenagem da bacia Amazônica. Mais especificamente, evidencia-se o papel das áreas de inundação no controle da hidrologia dos rios, ciclos biogeoquímicos e no balanço global do carbono, seja pela emissão de gases de efeito estufa, seja pela influência sobre a composição da matéria orgânica, que tanto pode estimular o metabolismo aquático quanto ser lançada no oceano Atlântico pelo rio Amazonas.

## **1.2 O sistema rio-planície de inundação**

As regiões do médio e baixo Amazonas são caracterizadas por extensas planícies de inundação, as quais têm formação relacionada à flutuação do nível do mar durante o período Pleistoceno (Irion, 1997) e ao processo de soterramento de sedimentos compactados (Dunne *et al.*, 1998). Somente ao longo do canal principal do rio Amazonas esses sistemas podem atingir uma área em torno de 100.000 Km<sup>2</sup> (Melack & Fisher, 1990; Sippel *et al.*, 1998), ou seja, independentemente da imprecisão sobre o total de área alagada na bacia Amazônica, uma expressiva proporção desse pertence à planície de inundação do rio Amazonas.

O funcionamento hidrológico dos grandes sistemas de várzea depende essencialmente da flutuação no nível da água dos rios, da geomorfologia e do número e forma dos canais de comunicação entre os dois sistemas (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2007). O extravasamento da água dos rios ocasiona o aumento no tamanho e volume

de centenas de lagos de várzeas durante o período enchente. Inversamente, no período de vazante a direção do fluxo d'água é das planícies para os rios (Figura 1). Uma maior estabilidade da coluna d'água é atingida nos períodos de águas altas e baixas, quando a variação diária no nível d'água e a troca de água entre os dois sistemas são mínimas (Barbosa, 2005). No período de seca ocorre uma diminuição da interação rio-planície, mantendo-se apenas os canais de comunicação, muitas vezes sem fluxo direcional, ou até mesmo culminando com o isolamento dos lagos de várzea como é caso do Lago Jacaretinga, situado a aproximadamente 25 km da cidade de Manaus (AM) e conectado ao rio Amazonas por apenas seis meses (Devol *et al.*, 1984).

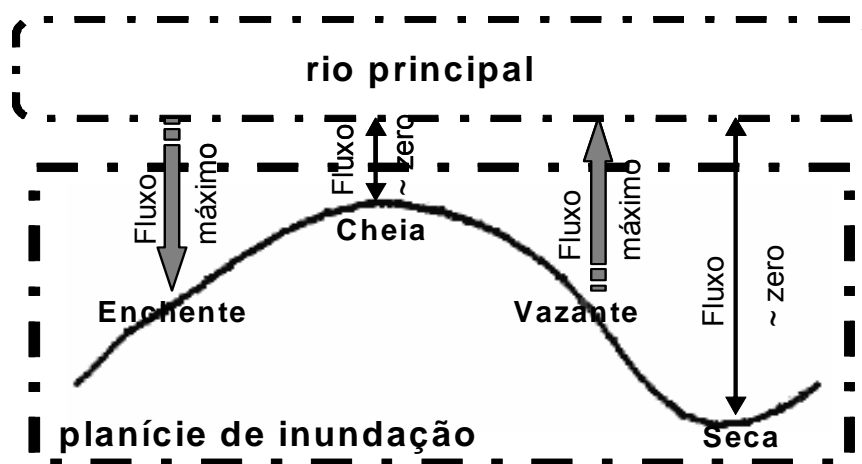


Figura 1- Direção do fluxo d'água entre os rios e a planícies de inundação em cada fase do ciclo hidrológico (Modificado de Barbosa, 2005).

Além das mudanças físicas relacionadas à extensão da área alagada e ao volume de água nas várzeas, o pulso de inundação também provoca alterações na ecologia de organismos aquáticos e nas características químicas da água (Saint-Paul, 2000; Melack & Forsberg, 2001). Um dos principais efeitos é a modificação nas taxas de sedimentação e distribuição vertical das partículas em suspensão na coluna d'água. O aumento nas concentrações de sólidos em suspensão altera as propriedades óticas da água e tipifica lagos de várzea que recebem sazonalmente

água branca de rios como, por exemplo, o Madeira e o Amazonas. A várzea do Lago Grande de Curuai (Figura 2) exemplifica bem esse acréscimo no volume de água e sólidos suspensos transportado do rio Amazonas para as planícies de inundação.



Figura 2- Composição de imagens Landsat-TM da várzea de Curuai nos períodos de (1) cheia e (2) seca. Fonte: Modificado de Barbosa (2005).

Ao atingir as planícies, contudo, ocorre uma redução na velocidade do fluxo d'água proveniente do rio, o que facilita a deposição das partículas em suspensão e aumenta a transparência da água (Furch & Junk, 1997; Barbosa, 2005). Esta alteração na hidrodinâmica interna é refletida no funcionamento ecológico das planícies e seus lagos de inundação. A elevada turbidez e conseqüentemente a baixa penetração de luz solar é um fator limitante à produtividade primária no rio Amazonas (Wissmar *et al.*, 1981; Devol *et al.*, 1987); já nos lagos de inundação, os nutrientes trazidos pelo rio e o aumento na transparência da água favorecem o crescimento de algas e de macrófitas nos períodos de cheia. Estes autótrofos permitem o crescimento do perífiton e sustentam a cadeia alimentar microbiana aquática (Waichman, 1996). Devido a esta constante troca de energia e nutrientes, os sistemas de várzea são considerados ambientes de alta produtividade (Junk, 1997).

De outro modo, a maior comunicação com as áreas laterais durante períodos de enchente e de cheia favorece a entrada de materiais oriundos da bacia de drenagem para o interior dos lagos de várzea. As principais fontes de matéria orgânica alóctone são as florestas de *terra-firme*, que crescem fora dos limites de influência dos rios, e as florestas inundáveis, chamadas de matas de várzea ou de igapó. Um aspecto interessante da vegetação de várzea é a presença de uma flora rica em

espécies herbáceas, por exemplo, gramíneas adaptadas à submersão parcial ou total durante período prolongado, dispendo para isto de várias adaptações morfológicas e fisiológicas (Junk, 1997). Durante o período de enchimento, a decomposição deste material é uma fonte importante de nutrientes para a coluna d'água. Outra possível fonte de materiais para os lagos de inundação é o aporte de rios menores (*igarapés*) que drenam o interior das florestas e compõem a rede de drenagem local.

A mistura de materiais de diversas fontes no interior das planícies de inundação tem efeitos diretos na química da água e composição da matéria orgânica. A sazonalidade do pulso de inundação, portanto, controla não só a quantidade como também a qualidade da matéria orgânica que circula nos sistemas de várzea. Na Planície de Inundação do Lago Batata, sistema de água clara situado na bacia de drenagem do rio Trombetas, o aumento na profundidade e penetração da luz coincidiu com um acréscimo na concentração de carbono orgânico dissolvido (COD). Presumiu-se que este COD foi originado principalmente da floresta, geralmente fonte de substrato pouco lábil à absorção microbiana (Wetzel, 1991), explicando os menores valores de crescimento bacteriano durante o período de cheia (Farjalla *et al.*, 2006). Castillo (2000) também argumentou que a sazonalidade na fonte de substrato atua sobre o metabolismo bacteriano em sistemas de água preta na bacia do rio Orinoco, Venezuela.

As alterações no metabolismo dos organismos aquáticos podem ser avaliadas através das concentrações de carbono inorgânico dissolvido (CID) uma vez que estes compostos estão diretamente envolvidos nos processos de respiração e fotossíntese e, portanto, na ciclagem biogeoquímica do carbono. O aumento do CID pode ser um indicativo de maior atividade respiratória no sistema. Das formas que compõe o CID, o bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) responde por mais de 80% do carbono inorgânico que é transportado pelo canal principal do rio Amazonas. Esta alta concentração de  $\text{HCO}_3^-$  está relacionada ao aporte de água oriundo da região dos Andes (Gibbs, 1972). A porcentagem de  $\text{HCO}_3^-$  diminui nos tributários e várzeas para cerca de 57 e 50%,

respectivamente, devido ao aumento do CO<sub>2</sub> e diminuição do pH ocasionados pelo aumento da respiração (Devol & Hedges, 2001). O sinal isotópico do CID pode ser outra importante ferramenta para avaliar a resposta das comunidades aquáticas à variação na composição da matéria orgânica utilizada nos processos respiratórios nos sistemas aquáticos. Contudo, estudos realizados nas várzeas amazônicas não têm recorrido a esta técnica.

Reavaliando os fatos apresentados aqui destacamos que a complexidade do sistema rio-planície depende do grau de comunicação entre esses, que em última análise, reflete a interação com a bacia de drenagem. O controle da hidrologia dos rios sobre o funcionamento dos sistemas de várzeas é a principal temática abordada, porém, mais do que isto, fica claramente evidenciada a importância da origem da matéria orgânica para o metabolismo aquático. Então, é de especial interesse acompanhar mudanças sazonais na biogeoquímica como meio de entender o funcionamento ecológico de sistemas altamente dinâmicos como as várzeas amazônicas. Esta abordagem ainda tem sido pouco estudada e certamente pode fornecer subsídios na compreensão do funcionamento da bacia Amazônica como um todo. Além disso, em tempos em que atividades antrópicas e aquecimento global estão diretamente relacionados, o entendimento da dinâmica biogeoquímica é um requisito fundamental no manejo dos recursos hídricos e diminuição de impactos nos ecossistemas aquáticos amazônicos.

A Planície de Inundação do Lago Grande de Curuai serve bem ao propósito deste estudo, pois exemplifica perfeitamente o efeito do pulso de inundação dos rios sobre os sistemas de várzea além de representar uma grande faixa do médio e baixo Amazonas, caracterizadas por grandes lagos. Esta várzea é ocupada por um gradiente de vegetação, possuindo desde áreas de pastagens naturais até formações arbóreas, compostas por uma estreita faixa de floresta que separa a várzea do rio Amazonas, e pela floresta de *terra-firme*. Ao Sul da planície reside várias comunidades ribeirinhas que sobrevivem da pesca, exploração de madeira, extrativismo vegetal,



agricultura familiar e criação de búfalos e bovinos. Estas características evidenciam o potencial da várzea de Curuai para avaliar os efeitos de alterações na biogeoquímica dos sistemas aquáticos amazônicos, sejam estas naturais ou de origem antrópica.

### **1.3 Objetivo Geral**

Entender como o pulso de inundação influencia a composição dos materiais que circulam no interior de um lago de várzea bem como a ciclagem da matéria orgânica no interior desse sistema.

#### **1.3.1 Ações Específicas**

- Investigar a variação sazonal na composição química e isotópica da água da Planície de Inundação do Lago Grande do Curuai
- Determinar possíveis fontes de matéria orgânica para o sedimento em suspensão
- Investigar a variabilidade espacial das variáveis de estudo.
- Versar sobre o papel do rio Amazonas como principal canal de drenagem na várzea de Curuai, utilizando a composição química e isotópica da água como indicadores de processos envolvidos na determinação das características biogeoquímicas no interior do lago.

### **1.4 Hipótese**

As alterações na composição isotópica e química da água em lagos de várzea estão relacionadas à sazonalidade do pulso de inundação dos rios e à ciclagem da matéria orgânica no interior do sistema.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A Planície de Inundação do Lago Grande de Curuai está situada na margem direita do rio Amazonas a aproximadamente 900 km a montante da foz deste rio no oceano Atlântico (Figura 3). Localizada entre as latitudes sul 01°50' a 02°20' e longitude oeste de 55°01' a 55°50', esta várzea abrange os municípios de Óbidos, Juruti e Santarém no estado do Pará. Martinez *et al.* (2003) apresentaram uma estimativa da variação das superfícies inundadas entre 700 km<sup>2</sup> no período de águas baixas até 2.300 km<sup>2</sup> em águas altas, atingindo uma média de 9,5 km<sup>3</sup> de volume água retido pela várzea de Curuai.

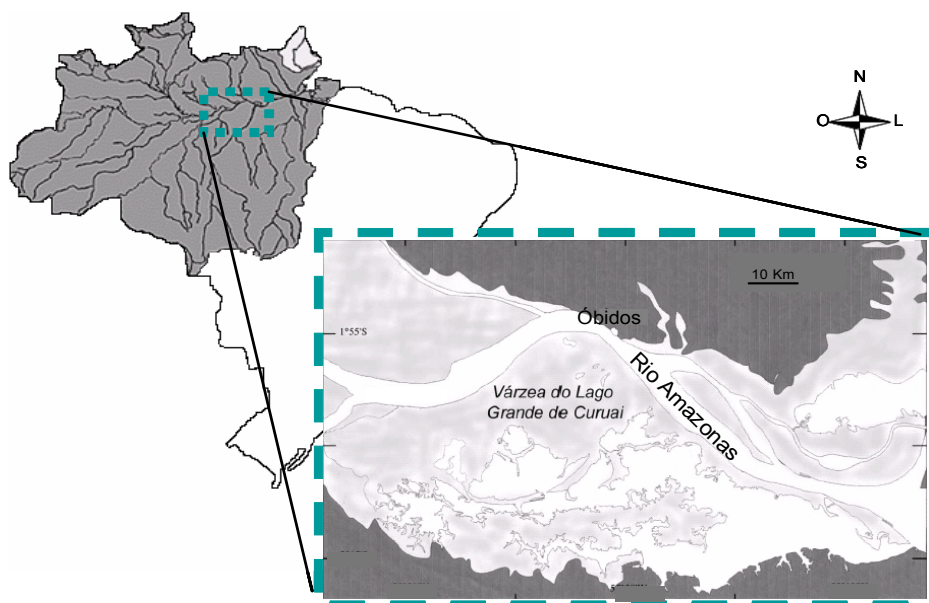


Figura 3- Localização da várzea de Curuai na bacia Amazônica.

A várzea de Curuai é uma planície fluvial sujeita ao regime de subida e descida das águas do rio Amazonas, que responde por 85 a 90% da água que circula no sistema (Barbosa, 2005). O período de águas altas na várzea de Curuai acontece entre os meses de Maio e Junho e o período de águas baixas entre os meses de

Novembro e Dezembro, quase que concomitantemente a subida e descida do rio Amazonas (Moreira-Turcq *et al.*, 2005). Este sistema ainda recebe águas claras proveniente de pequenos rios na margem sul e águas pretas que se originam de florestas dentro da área de captação local.

A planície é formada por mais de trinta lagos conectados entre si e ao rio Amazonas por diversos canais. Alguns dos principais lagos são denominados de Lago do Poção, Grande do Poção, Salé, Santa Ninha, Curumucuri e Lago Grande de Curuai. Durante o período de águas baixas a profundidade média na planície é em torno de um metro e a variação na altura da coluna d'água entre as duas extremidades da planície pode chegar a quase três metros. A variação sazonal no nível d'água pode atingir cerca de sete metros e a variação interanual é de até dois metros (Barbosa, 2005).

O objeto deste estudo é o Lago Grande, o maior dos lagos que compõe a planície de Curuai, com aproximadamente 50 km de comprimento e que compreende cerca de 25% da área da total da planície no período de seca (Barbosa, comunicação pessoal). O Lago Grande de Curuai está permanentemente conectado ao rio Amazonas por meio de dois canais localizados na região Sudeste da planície, Foz Norte e Foz Sul. Estes possuem cerca de 100 metros de largura, três quilômetros de comprimento e seis e doze metros profundidade nos períodos de seca e cheia, respectivamente. Ao sul, o lago é circundado pela floresta de *terra-firme* e ao norte por uma estreita faixa de floresta que separa a planície do rio Amazonas.

## **2.2 Amostragem e procedimentos analíticos**

*Delineamento amostral-* Primeiramente os pontos de amostragem foram assinalados em um mapa de modo a permitir a realização do trabalho de campo em qualquer fase do ciclo hidrológico (Figura 4); nos períodos de seca não é possível o deslocamento do barco em algumas regiões da planície devido às baixas

profundidades. Determinados o número e os locais de amostragem, três campanhas de campo foram organizadas cobrindo diferentes fases do ciclo hidrológico. A primeira ida ao campo aconteceu no mês Maio de 2007, compreendendo o período cheia. As amostragens seguintes foram realizadas nos meses de Outubro de 2007, durante a vazante, e Janeiro de 2008, início do período de enchimento da várzea. No entanto, neste último campo não foi possível amostrar todos os locais devido aos elevados custos de permanência no campo.

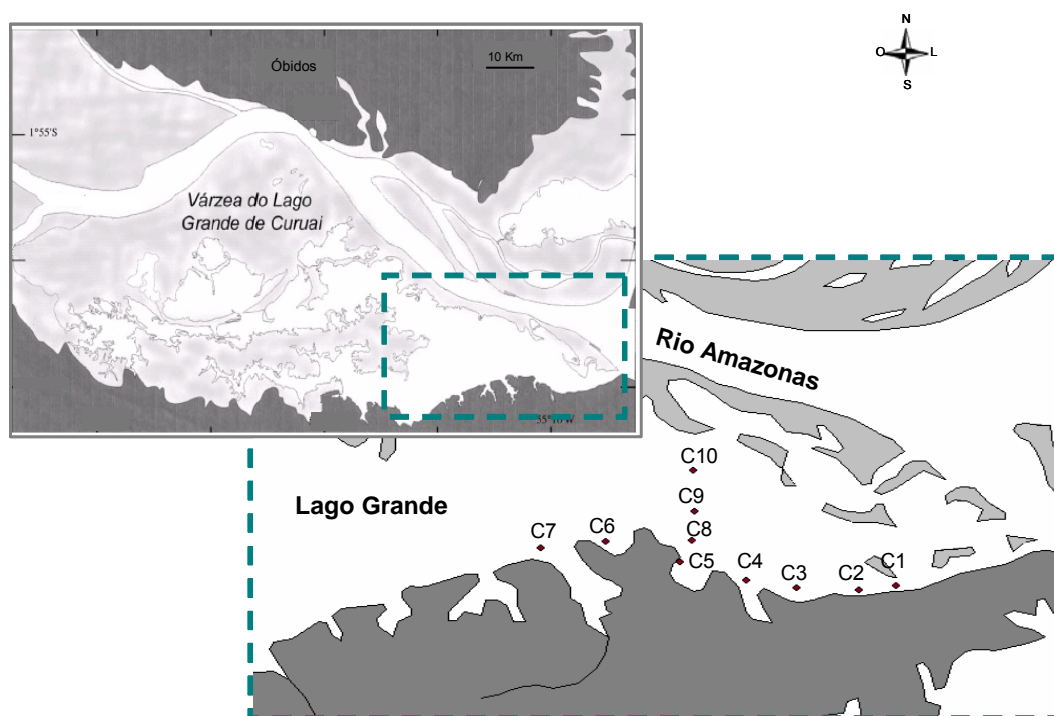


Figura 4- Localização dos pontos de amostragem no Lago Grande de Curuai.

Em cada ponto de amostragem foram realizadas medidas *in situ* e coleta de amostras de água na subsuperfície do lago para posterior análise em laboratório. Os equipamentos e materiais utilizados na realização deste trabalho foram cedidos pelo Laboratório de Ecologia Isotópica -Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP)-, Laboratório de Química da LBA -Experimento de Grande Escala da Biosfera Atmosfera na Amazônia- e Laboratório de Biologia Animal/UFGA.

*Trabalho de campo-* Após a coleta de amostras de água foram determinados os parâmetros oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ), pH, condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) e temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) da água por potenciometria. As primeiras etapas de análise do carbono orgânico dissolvido (COD), carbono inorgânico dissolvido (CID), química (cátions e ânions) e sólidos em suspensão foram realizadas ainda em campo. As amostras de água para a determinação da concentração de COD ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em triplicata e CID/química ( $\text{mg L}^{-1}$ ) foram coletadas na subsuperfície da coluna d'água e filtradas com o auxílio de seringas e filtros de fibra de vidro ( $0,45\mu\text{m}$ - $25\text{mm}$ -*Whatman*) e acetato de celulose ( $0,45\mu\text{m}$ - $25\text{mm}$ -*Whatman*), respectivamente. Para evitar a contaminação das amostras de COD, impediu-se o contato do êmbolo da seringa com a amostra de água. Após a filtração, as amostras de COD foram armazenadas em frascos de vidro pré-calcinados e preservadas com cloreto de mercúrio ( $\text{HgCl}_2$ ). Já as amostras de CID e química foram armazenadas em frascos de polietileno previamente esterilizados e preservadas com preservante *thymol*. Em cada local de amostragem também foi coletado uma amostra de 250mL água, a qual foi adicionado  $\text{HgCl}_2$  para a determinação do  $\delta$  (delta)  $^{13}\text{C}$  do CID. Esta foi cuidadosamente armazenada em frascos esterilizados de polietileno para impedir a formação de bolhas de ar.

A determinação das concentrações de sólidos em suspensão ( $\text{mg L}^{-1}$ ) foi realizada em duas frações de tamanho: sólidos grosso em suspensão (SGS;  $> 63 \mu\text{m}$ ) e sólidos fino em suspensão (SFS;  $0,45$ - $63\mu\text{m}$ ). O SGS foi separado no campo através da filtração de um determinado volume de água em peneira de *nylon*. Após a separação de material satisfatório à análise gravimétrica, o SGS foi recolhido da referida peneira com água deionizada e armazenado em frascos de polietileno. Para a determinação gravimétrica e da composição isotópica do SFS aproximadamente cinco litros de amostra de água foi armazenado em galões de plástico previamente esterilizados. A filtração destas amostras foi realizada no laboratório no intervalo de 48 a 72 horas após as coletas.

*Procedimentos no laboratório-* A concentração de COD e CID nas amostras de água do Lago Grande de Curuai foram determinadas em um analisador de Carbono Orgânico Total da marca Shimadzu (TOC-V CPH). Neste equipamento, o COD presente na amostra é oxidado por combustão (680°C) a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e detectado em um analisador de gases com absorvância no infravermelho. Estas amostras foram previamente acidificadas com HCl para expulsar o CO<sub>2</sub> inicial. No caso do CID não há pré-acidificação ou queima. A amostra é injetada diretamente e carregada para dentro de um recipiente com ácido, onde os carbonatos passam à forma de CO<sub>2</sub>. Este gás é então carregado para o detector seguindo o mesmo procedimento para o COD. As concentrações de CID e COD foram determinadas por comparação com padrões externos.

As quantificações dos principais íons dissolvidos na água foram determinadas em um cromatógrafo gasoso (DIONEX) após a retirada do excesso de material orgânico por meio de filtração da amostra em resina de carbono (<sup>18</sup>C). Os compostos aniônicos analisados foram os cloretos (Cl<sup>-</sup>), nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) e os catiônicos foram os íons sódio (Na<sup>+</sup>), amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e o cálcio (Ca<sup>2+</sup>). O limite de detecção dos métodos é de 0,05 mg L<sup>-1</sup>. As concentrações de bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) foram calculadas a partir das concentrações de carbono inorgânico dissolvido total, pH e das temperaturas da água, empregando as equações de equilíbrio termodinâmico (Stumm & Morgan, 1996).

Finalizando os procedimentos para a determinação gravimétrica do SFS, as amostras de água trazidas do campo foram filtradas em peneira de 63 µm para retirar o SGS. Uma bomba manual acoplada a um aparato de filtração contendo filtros de acetato de celulose (45µm-47mm-*Whatman*), previamente secos e pesados, foram utilizados na separação do SFS e também do material grosso recolhido no campo. Ambos os filtros foram colocados em placas de *Petri* após a filtração e secos em

estufa a 50°C por no mínimo 48 horas. Ao fim deste período de tempo, esses foram pesados em balança digital e as concentrações determinadas da seguinte forma:

$$(1) \quad \text{SGS/SFS} = \frac{A - B}{C}$$

Onde: A= peso de resíduo + peso do filtro

B= peso do filtro

C= volume de amostra filtrada

Antes de descrever os procedimentos analíticos realizados na determinação da composição isotópica do CID e SFS optamos por fornecer um breve comentário sobre os fundamentos teóricos e possíveis usos da metodologia dos isótopos estáveis em estudos ambientais. O principal objetivo é familiarizar o leitor com alguns termos utilizados na Ecologia Isotópica e que são largamente empregados na discussão dos dados gerados por este trabalho.

*Isótopos estáveis*- Os isótopos estáveis são espécies químicas que possuem o mesmo número de prótons, mas com números de nêutrons diferentes, não sofrendo decaimento radioativo ou emissão de partículas. A determinação da razão entre os isótopos de um determinado elemento é utilizada em diversos estudos, por exemplo, determinação de paleodietas; distribuição e transferência de energia em cadeias tróficas; ciclagem de nutrientes em ambientes aquáticos e terrestres, etc. (Araújo-Lima, *et al.*, 1986; Coffin *et al.*, 1994; Onstad *et al.*, 2000; Bunn *et al.*, 2003).

Esta técnica analítica vem sendo empregada na determinação da origem da matéria orgânica particulada e dissolvida em sistemas aquáticos na bacia Amazônica (Hedges *et al.*, 1986; Brandes *et al.*, 1996; Victoria *et al.*, 2004). Nestes sistemas, o estudo de compostos de carbono utiliza-se desta ferramenta na avaliação das contribuições relativas de fontes autóctones e alóctones e distinção de materiais de plantas com ciclos fotossintéticos C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> (Martinelli *et al.*, 1994).

O uso de isótopos estáveis em estudos ambientais baseia-se no fato de que a composição isotópica varia de forma previsível conforme o elemento cicla na natureza.

A composição isotópica de um material qualquer é expressa pela relação entre o isótopo raro (geralmente de maior massa atômica) e o isótopo mais abundante (menor massa atômica), conforme a fórmula:

$$(2) \quad R = \frac{\text{raro}}{\text{abundante}} = \frac{\text{pesado}}{\text{leve}}$$

Para que a relação **R** seja modificada é necessário que algum fator altere a quantidade de isótopos pesados e leves, ocasionando diferença isotópica entre compartimentos de um ecossistema. Isto ocorre quando um dos isótopos é discriminado durante um processo físico, químico ou biológico, fenômeno chamado de fracionamento isotópico.

Determinar a composição isotópica de uma amostra não é uma tarefa muito fácil, pois os isótopos raros ocorrem na natureza em concentrações extremamente baixas. Para facilitar a interpretação e visualização dos cálculos, é utilizada a notação “delta”(δ), que expressa o desvio relativo da razão isotópica da amostra comparada a um padrão, tendo o valor resultante multiplicado por mil (‰). A equação (3) mostra o cálculo da razão isotópica de um elemento químico **X** qualquer.

$$(3) \quad \delta X (\text{‰}) = \left( \frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrão}}} - 1 \right) \times 1000$$

Neste trabalho foram utilizados os isótopos estáveis do carbono ( $^{13}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$ ) e do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$  e  $^{14}\text{N}$ ), principais elementos químicos utilizados em estudos ecológicos e limnológicos. Esses estão presentes em compostos orgânicos e inorgânicos, dissolvidos ou particulados, e em gases atmosféricos como o  $\text{CO}_2$  e o  $\text{N}_2$ . Devido a esta abundância natural e a capacidade de identificar rotas biogeoquímicas, a determinação dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e do  $\delta^{15}\text{N}$  é de especial interesse no entendimento da dinâmica de circulação das águas nas planícies de inundação. O presente estudo analisou os isótopos estáveis em amostras de CID e SFS, pois constituem os principais reservatórios de carbono orgânico particulado e inorgânico



dissolvido nos sistemas amazônicos como um todo. Para obter os valores  $\delta$  de basta substituir “X” por C ou N e R por  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  na fórmula 3. Por convenção, o padrão do carbono é o  $\text{CO}_2$  originário do carbonato de cálcio que compõe a formação carbonácea *Pee Dee Belemnite* (PDB), na Carolina do Sul (EUA). Já para o nitrogênio, o padrão utilizado é o  $\text{N}_2$  atmosférico.

*Análise isotópica do SFS e CID* - Após a determinação da concentração de SFS, os filtros de fibra de vidro (0,45 $\mu\text{m}$ -47mm, *Whatman*) foram utilizados para determinação de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  no Laboratório de Ecologia Isotópica (CENA/USP). De cada filtro foram retirados círculos de diâmetro conhecido que em seguida foram colocados em cápsulas de estanho e inseridos em um Analisador Elementar (*Carlo Erba-EA 1110*). Este equipamento possui uma coluna de oxidação, temperatura de 1020°C, e outra para redução do gás nitrogenado gerado pela oxidação, temperatura de 652 °C. Os gases gerados nos processos de oxidação e redução da amostra são carregados por fluxo de Hélio (He) através de uma coluna cromatográfica, onde ocorre a separação do  $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2$ , e na seqüência ao espectrômetro de massa (*Delta Plus, Finnigan Mat*) para determinação da composição isotópica. Esta análise também forneceu as porcentagens de C e N na amostra, as quais foram utilizadas nos cálculos de razão C:N do material orgânico associado ao SFS.

A análise isotópica do CID ,por sua vez, inicia-se com a extração do gás presente na amostra de água em uma linha de auto-vácuo. O  $\text{CO}_2$  gerado é separado e injetado no modo *Dual Inlet*, ou seja, amostra e padrão são admitidos simultaneamente no espectrômetro de massas (*Delta Plus, Finnigan Mat*).

O erro analítico nas análises de carbono é de 0,3‰ e de nitrogênio 0,5‰.

### **2.3 Análises estatísticas**

Para auxiliar na interpretação e discussão dos resultados obtidos foram empregados testes estatísticos não-paramétricos. O teste de *Kruskal-Wallis* foi

utilizado na avaliação de diferenças sazonais entre os grupos, seguindo-se o teste de *Mann-Whitney* para grupos dois a dois. Também foi empregado o teste de correlação de *Spearman* para avaliar relações lineares entre as variáveis avaliadas.

Os resultados estatísticos foram obtidos nos *softwares* XLSTAT 7.1 e BIOSTAT 2007. Por fim, mediante testes estatísticos, calcula-se um nível descritivo ( $p$ ) para verificar se as hipóteses testadas são significativas ou não. Neste trabalho, os resultados foram considerados estatisticamente significantes quando  $p < 0,05$ .

### **3. RESULTADOS**

Os dados obtidos neste estudo correspondentes a três fases do ciclo hidrológico (cheia, vazante e enchente) no Lago Grande de Curuai são apresentados concomitantemente; a química da água, sólidos em suspensão e compostos de carbono e finalmente isótopos estáveis e razão C:N são assim agrupados de modo a facilitar o entendimento do texto.

#### **3.1 A química da água: dados de campo e compostos iônicos**

Os principais parâmetros estatísticos relativos às variáveis de campo são mostrados na Tabela 1. A média dos valores de pH da água foi sempre superior a 7,0 e o período de vazante apresentou valor médio significativamente menor em relação aos demais períodos do ciclo hidrológico. A variação do pH foi de 1,0, 2,0, e 1,5 nos períodos de águas altas, vazante e enchente, respectivamente. As medidas das concentrações de oxigênio dissolvido na água (OD) resultaram em valores inferiores a  $7 \text{ mg L}^{-1}$ , os quais variaram foram relativamente variáveis entre os locais de amostragem, como mostrado pelo coeficiente de variação (C.V.) (Tabela 1). As médias dos valores de OD não diferiram de modo significativo entre as fases da hidrógrafa. As porcentagens de saturação de oxigênio na água foram de 67,9, 71,5 e 57,2 na cheia,

vazante e enchente, respectivamente. Estes valores médios também não diferiram entre os períodos de estudo. Já a temperatura da água (T) apresentou média significativamente menor na fase de enchente. Neste período foi encontrado o valor mínimo de 28,8°C (Tabela 1). De modo particular, os valores de condutividade (Cond.), apresentaram apreciável variação sazonal e também espacial durante a fase de vazante (CV= 0,23). No período de enchente foram observados valores significativamente mais altos não desconsiderando, contudo, a diferença existente entre os demais.

Tabela 1- Estatística descritiva das variáveis pH, oxigênio dissolvido (OD) temperatura (T) e condutividade da água (Cond.) medidas durante as campanhas de campo de acordo com as fases da hidrógrafa.

Variável	Hidrógrafa*	Média	Mín.	Máx.	D.P.	C.V.
pH	(1)	8,0	7,6	8,6	0,3	0,04
	(2)	7,4	7,0	9,0	0,6	0,08
	(3)	7,9	6,9	8,4	0,6	0,08
OD (mg L <sup>-1</sup> )	(1)	5,1	4,4	6,6	0,8	0,17
	(2)	5,8	4,6	6,8	0,8	0,13
	(3)	5,9	4,0	6,6	1,1	0,19
T (°C)	(1)	31,2	29,5	34,0	1,5	0,02
	(2)	30,8	29,0	32,6	1,2	0,04
	(3)	29,4	28,8	30,1	0,5	0,05
Cond. (µS cm <sup>-1</sup> )	(1)	51,1	45,7	58,7	3,4	0,07
	(2)	43,3	26,1	56,9	10,0	0,23
	(3)	71,8	65,4	74,5	3,7	0,05

\*Fases da hidrógrafa: cheia (1), vazante (2) e enchente (3).

Em relação à composição química da água, de maneira geral, a média de concentração dos íons dissolvidos foram maiores no período de enchente. Dentre os ânions, os bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e os cloretos (Cl<sup>-</sup>) foram as espécies químicas predominantes nos três períodos de estudo e locais de amostragem. A contribuição de Cl<sup>-</sup>, em porcentagem, foi aproximadamente equivalente a de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> no ponto C7 durante a fase de vazante (Figura 5). A média de concentração de Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) foram significativamente diferentes entre os períodos de estudo. O NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, particularmente, apresentou as maiores concentrações na vazante,

atingindo o máximo de 28,3  $\mu\text{M}$  no ponto de amostragem denominado C8. Neste mesmo período, foi observada uma diminuição significativa das concentrações dos íons  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$  (Tabela 2).

Das formas catiônicas, o sódio ( $\text{Na}^+$ ) e o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) foram os íons mais abundantes, representando mais da metade do total de cátions analisados em quaisquer períodos de estudo e locais de amostragem, exceto ponto no C9 na enchente (Figura 5). A média dos valores de concentração dos íons potássio ( $\text{K}^+$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), e  $\text{Ca}^{2+}$  não diferiram entre as fases da hidrógrafa. Já o  $\text{Na}^+$  apresentou uma tendência de acréscimo das águas altas em direção a enchente (Tabela 2).

As concentrações das formas nitrogenadas, nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), e também o fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) estiveram muitas vezes abaixo do limite de detecção do método e mesmo quando foi possível fazer a quantificação, os valores foram extremamente baixos. O íon  $\text{PO}_4^{3-}$  não foi detectado em nenhuma amostragem realizada nas águas altas, acontecendo o mesmo com o  $\text{NO}_2^-$  na enchente (Figura5, Tabela2).

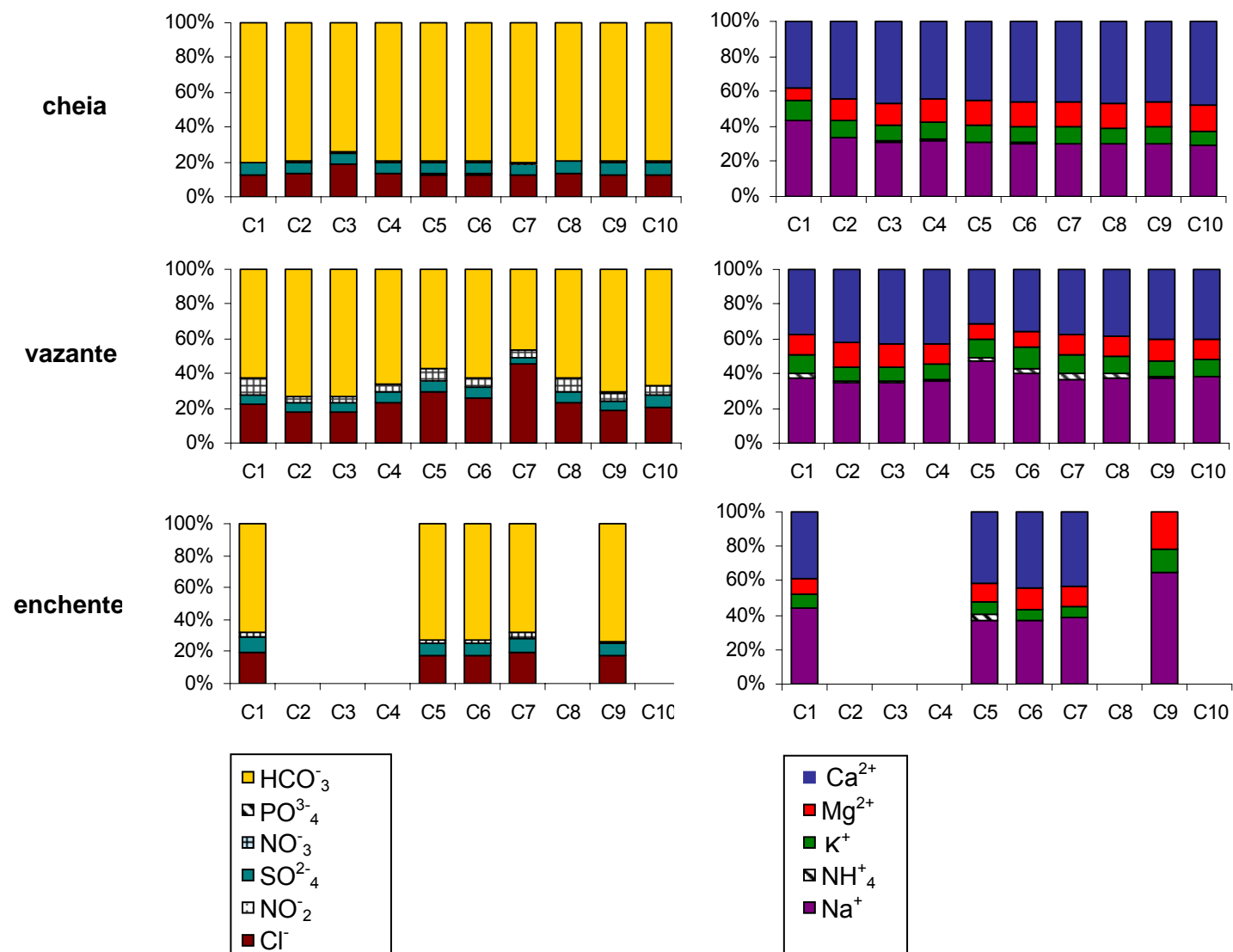


Figura 5- Proporção dos principais íons - ânions (esquerda) e cátions (direita) - na composição química das águas no Lago Grande de Curuai nos pontos de amostragem (C1 a C10) nas três fases da hidrógrafa.

Tabela 2- Composição química dos principais elementos dissolvidos (cátions e ânions) nos pontos de coleta e fases da hidrógrafa; pontos C2, C3, C4, C6 e C10 médias correspondentes aos períodos de cheia e vazante. Valores expressos em  $\mu\text{M}$ .

		$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{CO}_2$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
Ponto de coleta	C1	67,5±15,1	0,7±0,3	29,7±13,8	13,3±12,0	0,5	277,3±92,9	0,5±0,7	69,8±63,2	98,6±29,2	2,2±2,1	22,8±0,5	21,6±7,5	90,1±22,9
	C2	68,2±15,3	0,7	26,7±5,1	9,1±10,4		337,8±17,1	0,9±0,8	44,5±40,1	94,7±22,1	4,6	24,6±2,0	36,6±8,9	119,5±22,2
	C3	81,3±6,0	0,8	26,3±3,9	8,7±8,9		330,2±143,0	3,9±5,2	53,1±70,8	97,2±18,8	1,5 ±0,8	24,9±1,1	38,5±5,9	130,7±7,5
	C4	67,6±20,0	0,7±0,3	25,1±4,0	10,2±11,1		280,7±63,3	1,0±1,3	46,3±50,7	91,6±16,8	1,3±0,5	24,2±0,9	33,9±0,3	116,7±10,2
	C5	83,0±22,7	0,7±0,2	30,9±14,0	11,1±10,2	0,4	318,0±123,4	2,3±2,6	25,8±26,0	107,5±27,7	5,9±6,7	25,5±0,6	33,1±11,9	113,6±40,7
	C6	76,5±23,3	0,6±0,1	30,5±13,6	10,4±6,9	0,3	309,1±112,5	1,7±2,0	33,1±33,0	100,7±30,2	3,0±2,8	25,4±1,5	34,0±12,7	119,9±42,4
	C7	120,0±84,3		29,0±14,1	13,3±9,6	0,4	291,1±65,9	5,3±6,2	9,0±8,5	99,9±25,8	8,6	24,1±3,0	34,6±5,6	119,6±24,2
	C8	70,1±24,0	0,8	25,6±4,1	15,2±18,6	1,2	277,9±63,6	0,7±0,1	22,2±9,8	91,6±16,2	7,5	25,2±1,1	35,0±4,9	115,7±16,0
	C9	67,0±19,3	0,5	31,6±10,1	9,7±7,9	1,3	352,8±59,2	1,6±1,6	25,4±16,6	110,9±28,0	1,5±0,3	26,6±0,9	40,2±6,2	123,3±6,7
	C10	79,8±19,2	0,5	30,9±5,1	12,2±13,8	1,3	325,6±80,0	1,0±0,9	23,7±12,0	103,6±8,6	1,3	27,4±1,7	41,9±10,8	137,6±31,2
Hidrógrafa*	(1)	57,6±10,4	0,5±0,05	29,2±2,7	2,4±0,4		340,9±22,1	2,2±2,0	15,4±7,5	82,4±5,6	1,0±0,1	24,5±1,7	34,9±9,2	118,6±21,8
	(2)	93,5±42,6	0,8±0,1	21,1±3,6	20,3±4,4	1,2±0,1	254,0±56,1	1,5±3,9	51,5±31,7	101,6±10,9	4,0±2,25	25,8±1,4	31,3±8,2	105,8±24,0
	(3)	96,1±6,6		44,2±1,5	11,9±4,2	0,40±0,1	378,1±55,8	2,5±2,1	40,0±57,8	134,0±4,0	7,2±8,9	24,5±2,2	40,1±7,9	143,3±19,5

\*Fases da hidrógrafa: cheia (1), vazante (2) e enchente (3)

### 3.2 Sólidos em suspensão e compostos de carbono

As concentrações de partículas em suspensão variaram significativamente entre as frações grosso (SGS) e fino (SFS) e entre fases do ciclo hidrológico (Figura 6). Os valores de SGS atingiram valores mais elevados na cheia, média de aproximadamente  $22\text{mg L}^{-1}$ , e representaram uma parcela ínfima na vazante e enchente. A variação espacial foi mais evidente no período de vazante quando três locais de amostragem (C5, C6 e C7) apresentaram concentrações mais elevadas (Anexo1). O SFS apresentou tendência inversa, ou seja, menores concentrações na cheia e maiores na vazante e enchente (Figura 6). As médias para as concentrações de Sólidos Suspensos Totais (SST) foram de 42,2; 323,2 e 80,1  $\text{mg L}^{-1}$  nas águas altas, vazante e enchente, respectivamente.

Os compostos de carbono, COD e CID, apresentaram comportamento semelhante entre as fases da hidrógrafa, ambos com média significativamente diferente na vazante. Entretanto, estes divergiram em relação à magnitude dos valores, pois o CID apresentou as mais baixas e o COD as mais altas concentrações dentre os períodos de estudo (Figura 7). Nota-se, contudo, a expressiva variação espacial nos valores de CID nesse mesmo período do ciclo hidrológico; entre os locais de amostragens, os pontos C1, C5, C6 e C7 apresentaram as menores concentrações de CID. Inversamente, os valores de COD quase não se alteraram entre os locais amostrados no Lago Grande de Curuai (Figura 8).

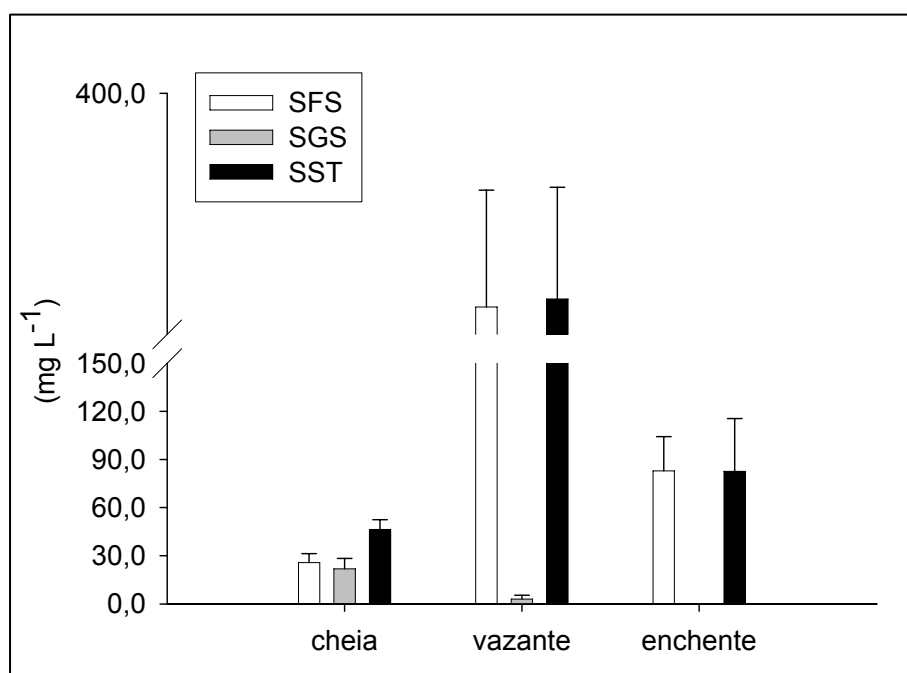


Figura 6- Valores médios e desvio padrão das concentrações de SFS, SGS e SST nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.

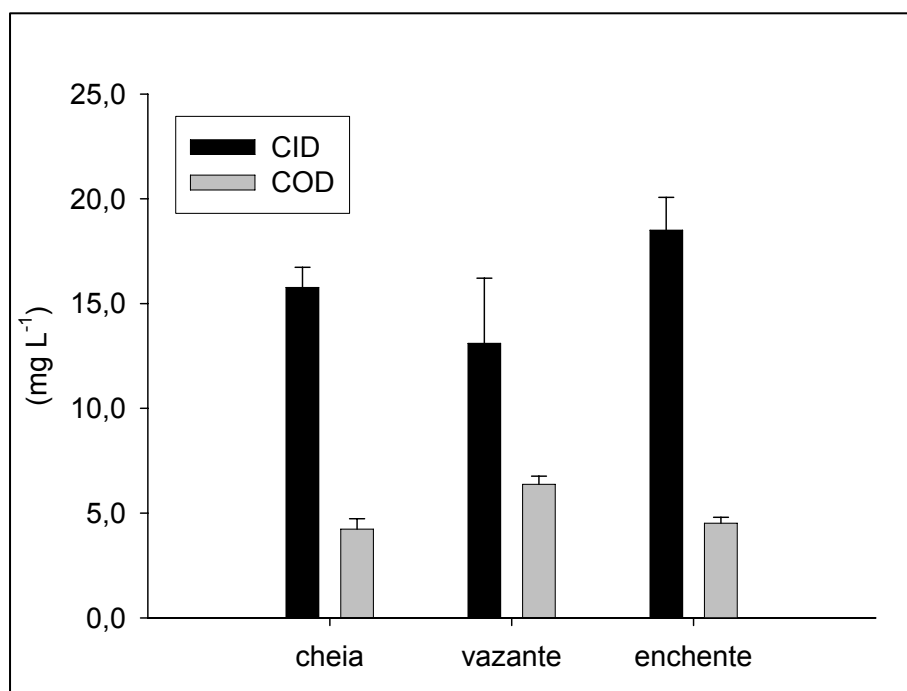


Figura 7- Valores médios e desvio padrão das concentrações de CID e COD nas fases três hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.



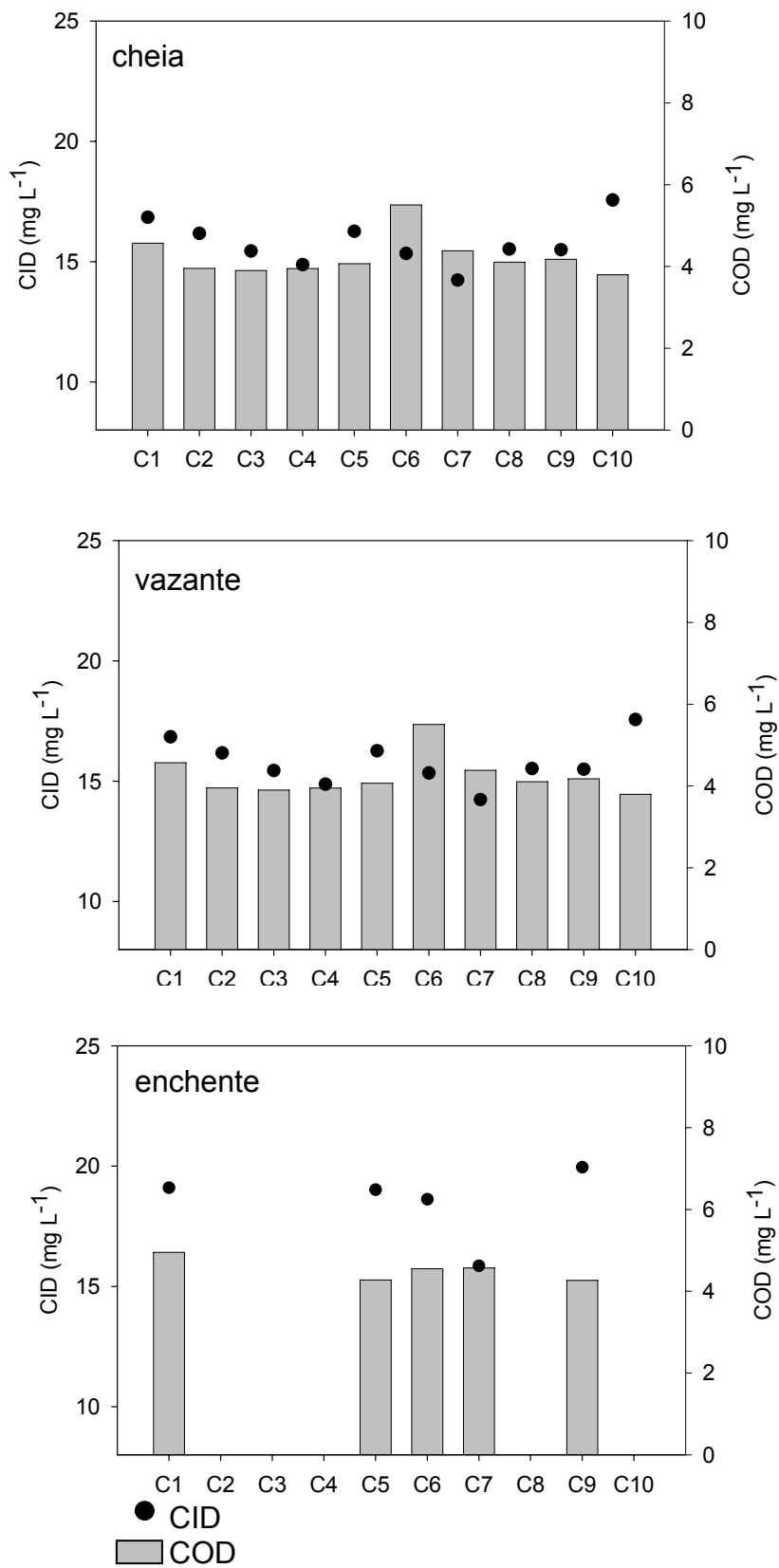


Figura 8- Concentrações de CID e COD nos locais de amostragem (C1 a C10) nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.

### 3.3 Isótopos estáveis e razão C:N

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  na matéria orgânica particulada (SFS) variaram de  $-28,4\text{‰}$  a  $-23,3\text{‰}$  ao longo do ciclo hidrológico. O cálculo da média dos pontos amostrados nos períodos de águas altas e vazante resultou em valores próximos a  $-25,0\text{‰}$ , destacando, contudo, uma maior variação no primeiro (Figura 9). Na fase de enchente a média de  $-27,6(\pm 0,6)\text{‰}$  diferiu significativamente dos demais períodos. Entre locais de amostragem, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  máximo e mínimo, respectivamente, foram encontrados nos pontos C9 e C7 na cheia, vice-versa na enchente e nos pontos C4 e C3 na vazante,

O isótopo do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) no SFS apresentou valores de  $2,0\text{‰}$  a  $5,0\text{‰}$  ao longo dos períodos de estudo. As médias de  $\delta^{15}\text{N}$  dos pontos amostrais nos períodos de vazante e enchente foram muito similares ( $\sim 4,0\text{‰}$ ), enquanto que no período de águas altas ocorreu uma depleção, estatisticamente significativa, de aproximadamente  $1\text{‰}$ . A maior amplitude nos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  foi encontrada na cheia, entre os locais C8 e C7 (Figura 10).

Os cálculos de razão C:N resultaram em uma variação de 6,0 a 11,3 para a matéria orgânica associada ao SFS. Os menores valores foram encontrados durante a vazante e os maiores na enchente (Figura 11). As médias correspondentes as fases de cheia, vazante e enchente foram 7,6, 6,5 e 9,2, respectivamente, e diferiram significativamente entre os períodos do ciclo hidrológico. Especialmente, valores máximos foram observados para os pontos C7, C2 e C5 e os menores para C9, C5 e C1 nos períodos de águas altas, vazante e enchente, respectivamente.

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  no carbono inorgânico dissolvido (CID), correspondentes aos períodos de cheia e enchente, variaram de  $-17,1\text{‰}$  a  $-9,0\text{‰}$  e resultaram em médias de  $-10,5\text{‰}$  ( $\pm 1,3$ ) e  $-13,4(\pm 2,3)\text{‰}$ , respectivamente, as quais foram estatisticamente diferentes. O valor máximo e mínimo na fase de águas altas foram

determinados nos pontos C5 e C7 e na enchente nos pontos C7 e C1, respectivamente.

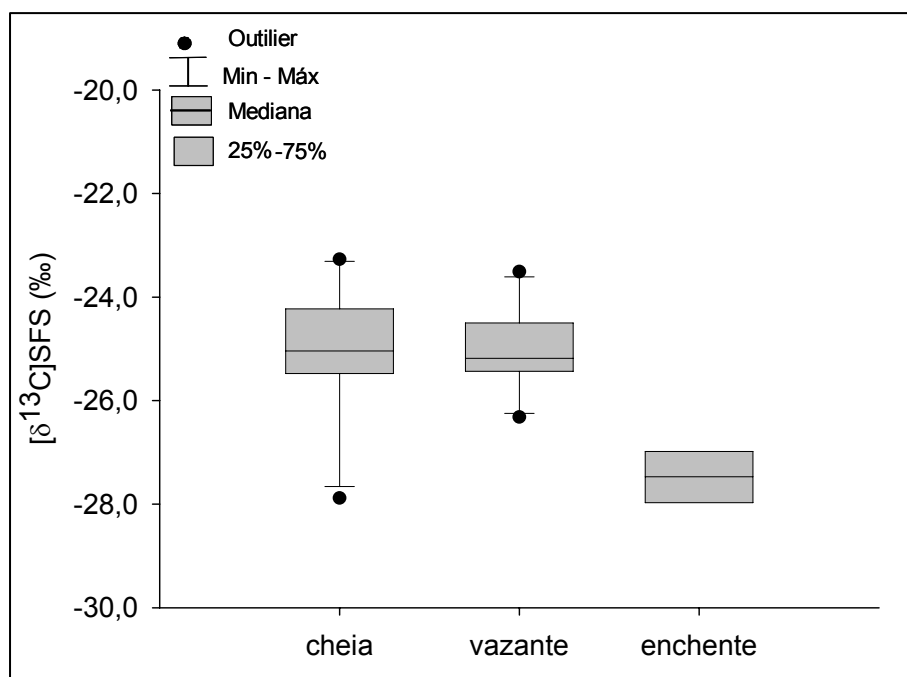


Figura 9- Variação de  $\delta^{13}\text{C}$  do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.

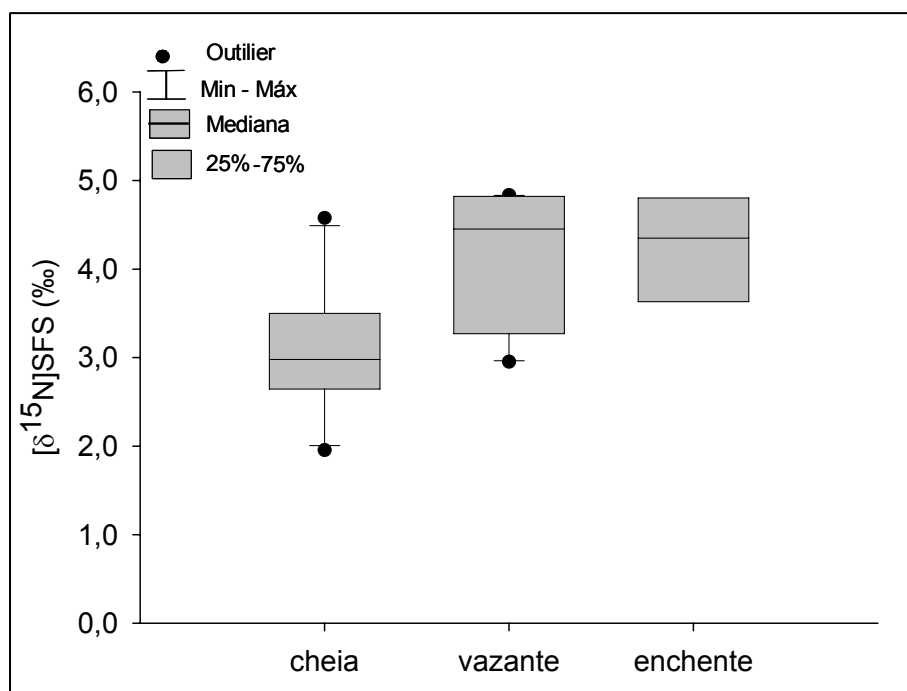


Figura 10- Variação de  $\delta^{15}\text{N}$  do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.

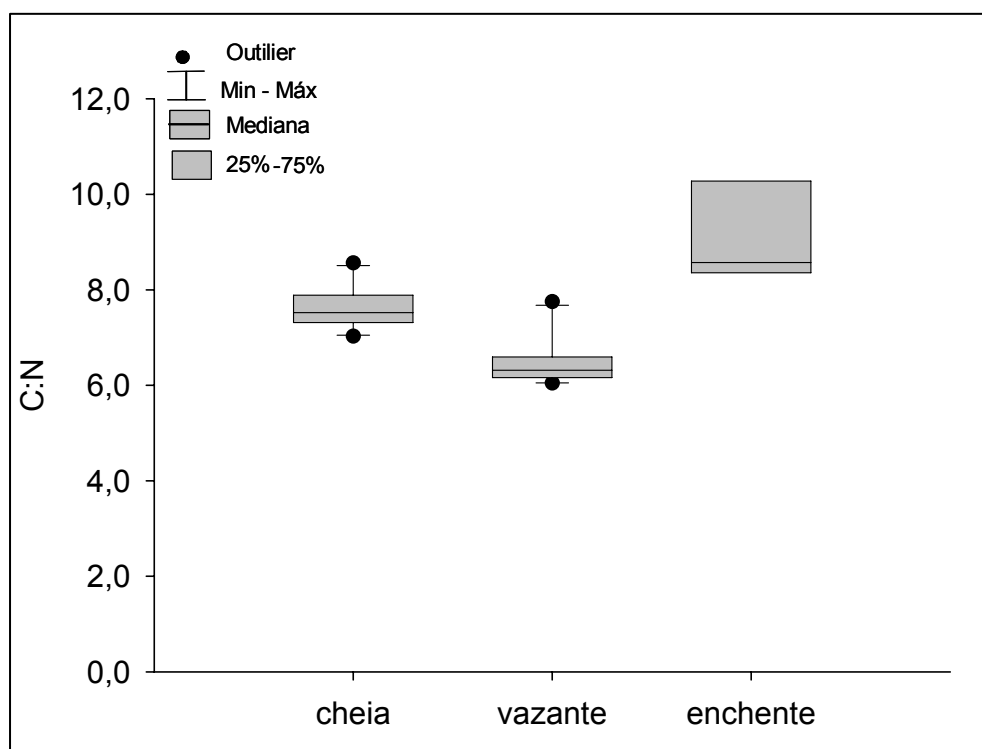


Figura 11- Variação de C:N do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Composição química das águas do Lago Grande de Curuai

A água que circula no Lago Grande, assim como na maioria dos lagos da várzea de Curuai, é classificada como água branca (Sioli, 1983) devido à grande influência do rio Amazonas. Uma das principais características desses corpos d'água é o pH em torno da neutralidade. As medidas de pH realizadas nesse lago atestam o caráter básico das suas águas, pois até mesmo o menor valor registrado foi em torno de 7,0 (Tabela 1). Estes valores mais elevados podem ser explicados pela abundância de íons bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) (Figura 5) trazidos pelo rio, como será discutido mais adiante, associado a um maior consumo de  $\text{CO}_2$  por atividades metabólicas no interior do lago, as quais podem estar liberando compostos quimicamente reduzidos.

Se o pH é uma das características que diferencia a tipologia dos sistemas aquáticos na bacia Amazônica, as elevadas temperaturas, por sua vez, são registradas em ambientes tropicais como um todo. Na várzea de Curuai a baixa profundidade (<10m) favorece a absorção de grande quantidade de energia solar, resultando em altas temperaturas em quaisquer períodos do ciclo hidrológico (Tabela 1). Considerando-se os valores pontuais, o horário de realização da amostragem é um fator de variabilidade. Isto pôde ser notado principalmente na vazante quando a água do lago estava mais “fresca” nas primeiras amostragens conduzidas pela manhã (observação pessoal). A temperatura da água interfere no metabolismo dos organismos e no grau de agitação termodinâmica de moléculas, dentre as quais o oxigênio. As elevadas temperaturas da água na Planície de Curuai e o processo de evaporação, principalmente no período de seca, podem alterar a composição isotópica do O<sub>2</sub> (Gat, 1996; Maurice-Bourgoin *et al.*, 2003) e a solubilidade deste gás na água.

As concentrações de oxigênio dissolvidas (OD) registradas por este estudo foram geralmente baixas e não foram estatisticamente diferentes entre os períodos de estudo, não indicando, portanto, alterações significativas associadas a processos tais como aumento da atividade fotossintética no período cheia. De modo geral, as baixas concentrações de oxigênio no Lago Grande são compartilhadas por outros lagos de várzea na bacia Amazônica (Furch & Junk, 1997). Segundo Melack & Fisher (1983), a produção fitoplanctônica exerce menor influência sobre as concentrações diárias de oxigênio no Lago Calado, planície de inundação localizada na bacia de drenagem do rio Solimões. Ainda de acordo com esses autores, o processo de difusão atmosférica é a principal fonte deste gás para o sistema. Contudo, foi observada certa variação na porcentagem de saturação de O<sub>2</sub>, e ao contrário do que se poderia prever, a proporção deste gás foi ligeiramente mais elevada no período de vazante. A observação do fenômeno de “floração de algas” (Figura 12) pode ser um indício de atividade fotossintética mais intensa neste período.

As concentrações de OD encontradas para o Lago Grande foram bastante semelhantes às registradas no rio Amazonas por Richey *et al.* (1990). Este fato pode ser esperado se considerarmos a comunicação sazonal entre os dois sistemas, mas surpreendente devido a fatores intrínsecos às várzeas como alta produtividade primária (Junk, 1997). Devido à corrente e à turbulência, a água do rio pode ser considerada bem oxigenada, enquanto que em sistemas de várzea a depleção de O<sub>2</sub> pode ser relacionada a grandes quantidades de material produzido por plantas terrestres e aquáticas e florestas inundáveis (Furch & Junk, 1997).



Figura 12- “Floração” de algas no Lago Grande de Curuai

Inversamente as variáveis acima, a quantidade de certos compostos químicos na água depende mais diretamente de processos que ocorrem além os limites dos sistemas aquáticos. A mineralogia, desgaste das rochas, relevo e clima na bacia de drenagem determinam, via de regra, a composição química da água (Gibbs, 1970).

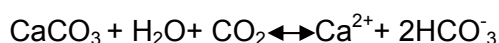
O substrato geológico na rede de drenagem da Planície de Inundação do Lago Grande de Curuai é composto pelos sedimentos da *Formação Alter do Chão*, constituída entre o Cretáceo Superior e o Terciário Inferior. As rochas são lateritizadas e constituídas basicamente por caulinita, quartzo, goethita, hematita e, às vezes, gibbsita, sendo recobertas por solos amarelados do tipo LATOSSOLOS E ESPODOSSOLOS (Horbe *et al.*, 2004). Muitas dessas características mineralógicas associadas às condições climáticas se refletem na composição química e conseqüentemente na condutividade elétrica da água, uma vez que neste sistema a influência antrópica parece ser reduzida.

As concentrações de íons dissolvidos na água do Lago Grande foram relativamente variáveis entre os locais de coleta e ao longo do ciclo hidrológico (Tabela 2). A condutividade elétrica seguiu esta mesma tendência, sendo diretamente correlacionada com a abundância de determinados íons em cada fase da hidrógrafa; as concentrações dos chamados íons maiores, sódio ( $\text{Na}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e carbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ), determinam, via de regra, a condutividade elétrica de uma amostra de água natural. As matrizes de correlação mostram que a relação entre cada íon e condutividade elétrica é bastante variável provavelmente em função de diferenças nas concentrações iônicas ao longo do ciclo hidrológico (Anexo 2). Todavia, algumas dessas relações podem estar comprometidas nos dados referentes ao período de enchente devido à redução no número de amostragens. Os menores valores de condutividade registrados durante o período de vazante podem ser explicados pela diluição da água oriunda do rio Amazonas em função da entrada de água da chuva, lixiviação, águas subterrâneas e afluentes da *terra-firme*, geralmente pobres em eletrólitos (Furch, 1997).

Do conjunto de íons analisados neste estudo, os cátions  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  e os ânions  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  predominaram na maioria dos locais de amostragem e fases do ciclo hidrológico (Figura 5). Reunindo todos os dados,  $\text{Na}^+$  foi ligeiramente mais abundante que  $\text{Ca}^{2+}$  no ponto C1, localizado próximo a Foz Sul, e no ponto C9 (Anexo 3). Dalgo (1976) encontrou predominância do  $\text{Na}^+$  nas águas do rio Amazonas, nas proximidades de Óbidos, fato que pode explicar a abundância desse íon em dois locais situados mais próximo ao rio. Contudo, quando consideramos as massas ( $\text{mg L}^{-1}$ ), verificamos que o  $\text{Ca}^{2+}$  é notavelmente mais abundante que o  $\text{Na}^+$ , fato também registrado para o rio Amazonas. Atipicamente, no ponto C9 não foi possível detectar a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  durante a enchente (Figura 5), possivelmente por algum problema metodológico não identificado e não por ausência ou baixas concentrações deste íon. A predominância do íon  $\text{Ca}^{2+}$  no rio e no lago pode ser, em parte, devido ao desgaste seletivo de rochas na região das Andes como, por exemplo, calcita (Stallard

& Edmond, 1983) e ao caráter conservativo deste íon nas águas. Além disso, o  $\text{Ca}^{2+}$  é a espécie iônica de maior capacidade de troca nos solos de planícies de inundação ao longo do canal do rio Amazonas (Victoria *et al.*, 1989), explicando a abundância deste cátion nas águas do Lago Grande de Curuai. De modo geral, os principais cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) são provavelmente oriundos do intemperismo de rochas sedimentares da *Formação Alter do Chão* e, especialmente, o  $\text{Na}^+$  também podem ter origem em águas pluviais (Horbe *et al.*, 2005).

Dentre os ânions, é nítida a predominância de  $\text{HCO}_3^-$  sobre o  $\text{Cl}^-$  e este sobre  $\text{SO}_4^{2-}$  (Figura 5). O  $\text{HCO}_3^-$  poder ser originado da hidratação do  $\text{CO}_2$  biogênico ou de reações envolvendo carbonato de cálcio que constituem o substrato litológico da seguinte forma:



O Anexo 2 mostra que existe uma correlação positiva ( $r=0,9$ ) entre os íons  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Ca}^{2+}$  no período de vazante, indicando que os bicarbonatos podem ter origem em rochas da bacia de drenagem. Esta mesma relação não foi encontrada nas fases de cheia e enchente (Anexo 2), possivelmente devido à baixa qualidade das análises químicas como mostrado pelo balanço de cargas no Anexo 5; no período de enchente, especificamente, a exclusão do ponto C9, no qual não foi detectado o íon  $\text{Ca}^{2+}$ , melhora drasticamente a relação entre  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Ca}^{2+}$ . Mais detalhes sobre a distribuição sazonal dos carbonatos são apresentados posteriormente no decorrer do texto.

A abundância de  $\text{Cl}^-$  sobre  $\text{SO}_4^{2-}$  é reavaliada quando consideramos as massas; o  $\text{SO}_4^{2-}$  passa a ser mais abundante que o  $\text{Cl}^-$  na grande maioria dos locais de amostragem nas fases de cheia e enchente, tal como no rio Amazonas (Dalgo, 1976). No período de vazante o  $\text{Cl}^-$  prevaleceu em  $\text{mg L}^{-1}$  e  $\mu\text{M}$ , especialmente no ponto C7 (Figura 5, Anexo 4). A quantidade de  $\text{Cl}^-$  é freqüentemente maior do que a  $\text{SO}_4^{2-}$  em afluentes de *terra-firme* (Furch & Junk, 1997), reforçando a idéia de que no período de vazante a drenagem local pode exercer um maior controle sobre a composição



química da água. As concentrações de  $\text{Cl}^-$  determinadas para o Lago Grande de Curuai, entretanto, foram bastante elevadas (médias  $> 50\mu\text{M}$ ) quando comparadas a outros sistemas amazônicos (Furch & Junk, 1997; Leite, 2004; Horbe *et al.*, 2006). As fontes de  $\text{Cl}^-$  em águas não contaminadas são os aerossóis marinhos dissolvidos na água da chuva e as rochas evaporíticas. Com base em dados publicados para rios da bacia Amazônica, Gaillardet *et al.* (1997) consideraram que concentrações acima de  $20\mu\text{M}$  podem ser atribuídas a presença de formações salinas na bacia de drenagem. Um estudo detalhado da litologia da região pode esclarecer a distribuição dos teores de  $\text{Cl}^-$  na água da planície de Curuai. Outra possível explicação para concentrações de cloretos mais elevados no Lago Grande de Curuai é o aporte pelas águas pluviais. Gaillardet *et al.* (1997) calcularam um valor médio de  $8,3\mu\text{M}$  para as águas da chuva na bacia Amazônica. Este valor é extremamente baixo e, portanto não explica satisfatoriamente os valores de  $\text{Cl}^-$  encontrados por este estudo.

A concentração de aproximadamente  $210\mu\text{M}$  no ponto C7 é notoriamente elevada e aponta para uma possível origem antrópica, embora não tenhamos informações da presença de comunidades nesta região do lago. A contaminação da amostras durante os procedimentos de campo e de laboratório pode ser então cogitada. Esta hipótese não é suportada pelo balanço iônico entre cargas positivas e negativas (Anexo 5). A análise é considerada satisfatória ( $r^2= 073$ ), enfraquecendo, mas não extinguindo a possibilidade de erros.

Os cloretos foram os ânions mais abundantes em um igarapé de água preta estudado por Horbe *et al.* (2005) o que poderia explicar a abundância deste íon no ponto C7, situado próximo a entrada de um canal de drenagem oriundo do interior da floresta de *terra-firme* (Figura 4). Contudo, a concentração encontrada neste ponto é expressivamente mais alta do que a relatada no referido estudo, mencionando ainda que não foi registrado a diminuição do pH e nem aumento da concentração de carbono orgânico dissolvido (COD), características de sistemas de águas pretas. Na ausência de elementos litológicos que expliquem a expressiva abundância de cloretos

nas águas da várzea, a contaminação da amostra por procedimentos analíticos ou por algum tipo de atividade antrópica na bacia de drenagem podem ser fatores mais criteriosos para justificar este padrão.

Comparando a distribuição dos principais íons ao longo do ciclo hidrológico, observamos a predominância de  $\text{HCO}_3^-$  e de  $\text{Ca}^{2+}$  nos períodos de cheia e enchente enquanto que na vazante este padrão não foi evidente. Neste período, nota-se que nos pontos situados mais no interior do lago (C5, C6 e C7) (Figura 4) o  $\text{HCO}_3^-$  apresentou menores concentrações (Figura 5, Anexo 6). Este fato pode ser relacionado à menor influência do rio principal, às contribuições da *terra-firme* via *igarapés* bem como a reações locais envolvendo o  $\text{CO}_2$  como respiração e fotossíntese na coluna d'água.

Considerando o conjunto dos principais cátions e ânions analisados neste estudo, pode se observar que a composição química e proporção entre íons no Lago Grande de Curuai são muito semelhantes às encontradas por Stallard & Edmond (1983) para o rio Amazonas (Figura 13).

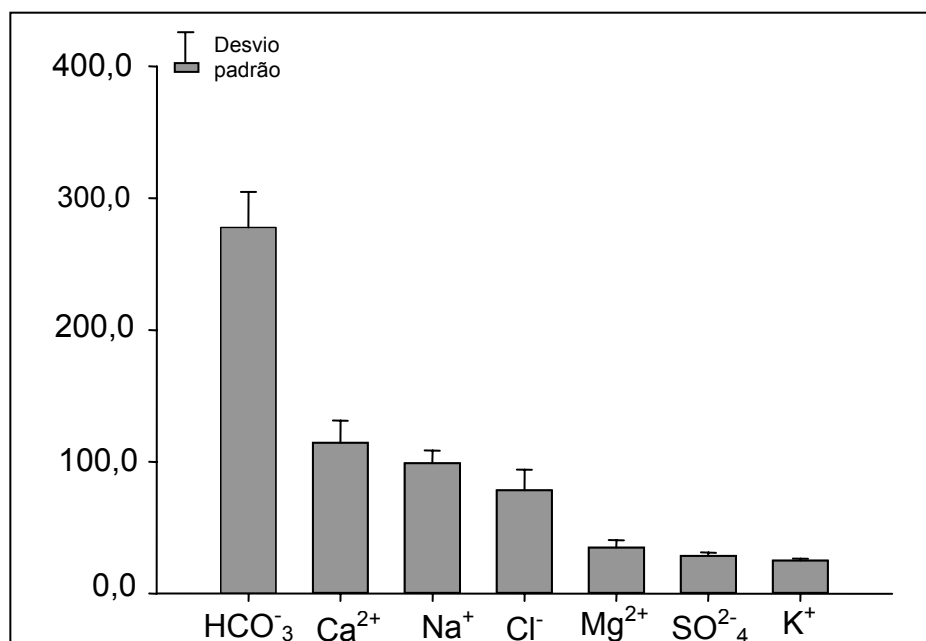


Figura 13- Média geral e desvio padrão das concentrações dos principais íons dissolvidos no Lago Grande de Curuai.

Gibbs (1972) dividiu os componentes da água do rio Amazonas em íons cujas concentrações são relativamente constantes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{Cl}^-$ ) e íons com variações bastante apreciáveis ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}^+$ , e  $\text{K}^+$ ). Dos íons analisados neste estudo, encontramos comportamento divergente na variação de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , sugerindo que outros fatores como precipitação, escoamento superficial e subterrâneo, fluxo d'água oriundo de outras regiões da planície e reações químicas locais podem influenciar a composição química da água no Lago Grande de Curuai. No entanto, vale ressaltar que o baixo número de amostragens e o desequilíbrio das cargas iônicas são fatores que podem agregar erros às análises.

Ao longo da hidrógrafa foi observado um comportamento bastante semelhante na distribuição dos íons  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , os quais apresentaram concentrações mais elevadas nos períodos de vazante e enchente (Tabela 2). Esta relação inversa entre a concentração de íons dissolvidos e o volume de água, visto que as coletas correspondentes à enchente foram realizadas no início do período chuvoso, pode ser ocasionado por um maior tempo de residência das águas subterrâneas com o substrato litológico, o que se reflete em maiores concentrações de íons nos períodos de menores descargas (Gibbs, 1970). Além disso, quando o volume de água aumenta, pode ocorrer diluição nas concentrações dos íons e entrada de água da chuva menos rica em sais. Inversamente, os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  apresentaram as maiores concentrações na cheia (Tabela 2). O carreamento pelas águas que percolam nos solos e reações químicas podem ser fatores relacionados às maiores concentrações desses íons no período de maior volume de água na planície. As concentrações de íon  $\text{K}^+$  se mantiveram praticamente inalteradas entre as fases estudadas da hidrógrafa, sugerindo menor interferência do ciclo sazonal na dinâmica deste íon.

Os padrões de distribuição das formas nitrogenadas e o íon fosfato merecem destaque aqui pelo fato se relacionarem mais intensamente à processos biológicos como excreção, desnitrificação, decomposição e outros. As maiores concentrações dos compostos nitrogenados ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ), tratados conjuntamente de NID, foram

encontradas nos períodos de menor volume d'água (Anexo 7). Este fato pode estar relacionado com a disponibilidade destes nutrientes na água subterrânea que, oriundos da decomposição da matéria orgânica no solo (Leite, 2004). Outra hipótese bastante pertinente é o aumento dos compostos nitrogenados devido a processos biológicos vigentes no interior do sistema. As concentrações de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , importantes subprodutos do metabolismo planctônico (Enrich-Prast, 2005), aumentam significativamente durante na vazante, e especialmente o  $\text{NH}_4^+$  prolonga-se até o período seguinte (Tabela 2). Estes compostos podem ser bons indicativos de intenso processo de remineralização da matéria orgânica produzida no interior do lago ou importada da bacia de drenagem. Os produtores primários passam por um ciclo sazonal de crescimento, atingindo altos níveis de produção primária nos sistemas de várzeas (Junk, 1997). Durante este período de crescimento, quantidades consideráveis de íons são absorvidas por estes organismos, os quais são posteriormente decompostos, liberando novamente os íons para a coluna d'água e influenciando a química dos solos de várzea (Victoria *et al.*, 1989).

O crescimento expressivo do fitoplanctôn ("bloom") (Figura 12) observado durante a vazante pode nos conduzir a outra abordagem: a contaminação das águas. Barbosa (2005) atribuiu os altos índices de clorofila em algumas regiões da várzea à proximidade com vilas populacionais e locais de criação de búfalos. As concentrações de  $\text{NO}_2^-$ , por exemplo, quando detectadas, foram extremamente baixas, não indicando, portanto, que o lago pode está sofrendo os efeitos da ação antrópica. Além disso, não foi observada diferença nas concentrações de NID entre os locais situados nas proximidades de uma comunidade ribeirinha (Vila Socorro) e àqueles amostrados em outras regiões da planície, descartando a validade desta hipótese. Nos períodos de cheia e também no começo da enchente, como é o caso, observa-se uma diluição das concentrações de NID, possivelmente devido à entrada da água de chuvas e do rio Amazonas.

O fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) é outro composto de grande interesse biológico, sendo utilizado principalmente na produção de energia química e material genético celular. As baixas concentrações de  $\text{PO}_4^{3-}$ , muitas vezes abaixo do limite de detecção, podem ser ocasionadas pela pouca abundância deste íon nas rochas que constituem a *Formação Alter do Chão* bem como pela fixação deste composto no solo por metais como o ferro e o alumínio (Horbe *et al.*, 2005). Nas poucas quantificações efetuadas, as concentrações de  $\text{PO}_4^{3-}$  estiveram dentro da faixa encontrada para águas túrbidas da região Amazônica que é de 0,4 a 2,0  $\mu\text{M}$  (Mayorga & Aufdenkampe *et al.*, 2002). As maiores concentrações de  $\text{PO}_4^{3-}$  foram encontradas período de vazante, talvez pela liberação deste íon durante o processo de ressuspensão do sedimento (Setaro & Melack, 1984).

Analisando o conjunto de dados químicos ao longo do ciclo hidrológico podemos afirmar, de modo geral, que a interferência do rio Amazonas é refletida na composição química da água no Lago Grande de Curuai. Contudo, fatores locais como precipitação, proximidade da floresta de *terra-firme*, processos biológicos e químicos podem atuar em diferentes intensidades na estruturação química da água na várzea de Curuai como um todo.

#### **4.2 Sólidos em suspensão e carbono dissolvido na várzea de Curuai**

O aporte de sólidos em suspensão para os ambientes aquáticos depende principalmente das condições climáticas, geomorfologia do relevo e processos erosivos na bacia de drenagem. Na bacia Amazônica, o somatório desses fatores determina a entrada de grandes quantidades de partículas, oriundas principalmente da região do Andes (Gibbs, 1967), para o interior dos canais dos rios e conseqüentemente suas várzeas. As concentrações de matéria em suspensão nas planícies alagáveis podem variar drasticamente, principalmente em função da tipologia da água e alterações provocadas pelo pulso de inundação dos rios (Junk, 1989).

Diferentemente destes, onde os materiais estão em contínuo transporte, as planícies de inundação são consideradas locais de deposição de sedimentos, ocorrendo vários ciclos de re-suspensão do material sedimentado (Richey *et al.*, 1990; Devol *et al.*, 1995).

No Lago Grande de Curuai, a maioria dos sólidos em suspensão são partículas finas (SFS, < 63  $\mu\text{m}$ ), as quais são compostas por matéria orgânica e, principalmente, silte e argilas. A predominância desta fração já foi observada em outros estudos realizados na várzea de Curuai (Moreira-Turq *et al.*, 2004), no rio Amazonas (Hedges *et al.*, 1896, Hedges *et al.* 1994; Richey *et al.*, 1986) e sistemas lóticos em outras partes do mundo (Onstad *et al.*, 2000).

A Figura 6 mostra que as concentrações de SFS são inversamente proporcionais ao volume de água na várzea. Ao contrário do que é observado no rio Amazonas, as maiores concentrações foram encontradas no período de menor nível d'água, ou seja, na vazante, diminuindo significativamente na enchente e cheia. Os valores de SFS encontrados no lago durante a vazante, em torno de 320  $\text{mg L}^{-1}$ , foram maiores que o valor de 203  $\text{mg L}^{-1}$  publicado para o rio Amazonas (próximo a Óbidos), mas dentro da faixa de variação anual destes sólidos no rio no período de cheia (ver Devol *et al.*, 1995; Hedges *et al.*, 1994). O aumento de SFS no interior do lago durante a vazante se deve principalmente ao reduzido volume de água na planície e ao processo de ressuspensão do sedimento. A diluição das concentrações na cheia, por sua vez, é resultado da diminuição da velocidade do fluxo d'água proveniente do rio Amazonas ao atingir a planície, armazenando água e favorecendo o processo de sedimentação de partículas (Barbosa, 2005).

Os Sólidos Grosso em Suspensão (SGS, > 63  $\mu\text{m}$ ), diferentemente do SFS, representa uma parcela reduzida de Sólidos em Suspensão Totais (SST) nos sistemas aquáticos naturais, em geral. Em sistemas lóticos o SGS é formado por uma fração orgânica, menor proporção, e outra inorgânica, principalmente areia. A matéria orgânica associada é considerada pouco degradada pela ação microbiana e composta

principalmente de materiais vegetais da bacia de drenagem (Hedges *et al.*, 1986; Devol & Hedges, 2001). Na Figura 14 podemos observar uma mistura de sementes de plantas, plâncton e pequenos fragmentos de folhas em uma amostra de SGS coletada no período de vazante no Lago Grande de Curuai. O aspecto visual desta amostra evidencia uma maior participação da fração orgânica na composição do SGS. A comunicação com as áreas laterais carreando materiais para dentro do lago associada às contribuições de macrófitas aquáticas e algas são fatores que podem acarretar esta maior contribuição de matéria orgânica para o SGS.



Figura 14- Amostra de SGS correspondente ao período de vazante no Lago Grande de Curuai.

As concentrações de SGS foram mais altas no período de cheia (Figura 6), tal como demonstrado para o rio Amazonas (Hedges *et al.*, 1986, Richey *et al.*, 1986). Nesta fase, a área inundada da várzea aumenta substancialmente e os aportes de material vegetal da floresta alagada e bacia de drenagem provocam o aumento dessas partículas na água do lago. Além disso, o fluxo d'água do rio Amazonas carrega SGS, principalmente sob a forma de areia, para dentro da planície. Devido ao processo de sedimentação, entretanto, estas partículas inorgânicas tendem a sedimentar mais facilmente com a redução da velocidade do fluxo d'água na planície, pois os grãos de areia são mais densos que a matéria orgânica (Richey *et al.*, 1990). O valor máximo de  $28 \text{ mg L}^{-1}$  foi abaixo da concentração de  $57 \text{ mg L}^{-1}$  determinada para rio (Hedges *et al.*, 1986), tal como seria esperado considerando o processo de sedimentação.

Amorim (2006) relatou que em locais próximos a *terra-firme* os *igarapés* podem ser importantes fontes de areia para os sedimentos superficiais da várzea de Curuai e possivelmente para os sólidos em suspensão. Uma possível contribuição de SGS oriundo da *terra-firme* pôde ser evidenciada no período de vazante, em parte devido a um maior número de amostragens, quando alguns locais situados próximos à margem do lago apresentaram concentrações de SGS consideravelmente mais elevadas (Anexo 1). Este fato pode ser resultante tanto da entrada de areia quanto de material orgânico, pois nesta região existem muitas gramíneas circundando o lago.

As concentrações de SST obtidas neste estudo foram muito similares às encontradas por Amorim (2006) na respectiva fase do ciclo hidrológico. Em relação ao estudo de Barbosa (2005), as concentrações foram maiores nos períodos de cheia e vazante e menores na enchente, possivelmente em função das amostragens terem sido realizadas em meses diferentes. Como as várzeas são sistemas muito dinâmicos, mudanças drásticas podem ocorrer em pequenas escalas de tempo. Além disso, esse autor amostrou vários lagos dentro da planície, os quais possuem diferentes graus de comunicação com o rio, profundidade e tipologia.

De maneira geral, as elevadas concentrações de SST no Lago Grande de Curuai é resultado principalmente do processo de ressuspensão, favorecido pela diminuição da coluna d'água e aumento da velocidade do vento (Barbosa, 2005). Dados fornecidos por um sistema automático instalado no lago registraram maiores intensidades dos ventos nesta época do ano ([www.dpi.inpe/sima](http://www.dpi.inpe/sima)). Estes fatores associados à diminuição da hidrodinâmica dificultam o transporte dos sólidos em suspensão que ficam retidos no interior dos lagos da várzea (Amorim, 2006). As baixas concentrações de sólidos suspensos totais no período de cheia, por sua vez, podem ser explicadas pela diminuição da velocidade do fluxo do rio ao atingir a planície, provocando alterações na distribuição das partículas e facilitando o processo de deposição.



O transporte de material particulado no sistema rio-planície, portanto, parece ser um evento sazonal e dependente da velocidade do fluxo (Richey *et al.*, 1990; Mayorga & Aufdenkampe, 2002). Maurice-Bourgoin *et al.* (2005) atribuem o balanço de materiais em suspensão no interior da várzea de Curuai à variação nos ciclos hidrológicos dos principais tributários do rio Amazonas. O aumento do nível da água desse rio é acompanhado pela elevação das concentrações de sólidos em suspensão decorrente da cheia do rio Madeira e logo após, do rio Solimões. Quando o Amazonas atinge a vazão máxima, ocorre um decréscimo na concentração de material em suspensão devido à entrada das águas do rio Negro, pobre em material particulado. Um modelo hidrológico baseado em dados meteorológicos taxa de sedimentação e imagem de satélite computou que o estoque anual de sedimentos é da ordem de 41% a 53% do fluxo anual de sedimentos que entram na várzea de Curuai por meio dos principais canais de comunicação com o rio Amazonas (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2007). Estes autores apontam a hidrologia do rio, o regime de precipitação local e a geomorfologia dos canais de comunicação como os principais fatores que controlam a troca de água e sedimento entre o rio Amazonas e várzea de Curuai.

A visível variação na quantidade de material particulado na Planície de Inundação do Lago Grande de Curuai é acompanhada por alterações na composição química, com demonstrando anteriormente, e outros compostos dissolvidos. A matéria orgânica dissolvida (MOD) é a fração mais abundante nos ecossistemas aquáticos, contendo substratos mais facilmente assimiláveis por microrganismos (Wetzel, 1991). O carbono orgânico dissolvido (COD) responde por mais de 50% do carbono orgânico total (COT) no rio Amazonas (Hedges *et al.*, 1986), sendo composto principalmente por substâncias refratárias como ácidos húmicos e fúlvicos (Ertel *et al.*, 1986). As concentrações de COD no Lago Grande de Curuai estão dentro da faixa de concentração encontrada para a bacia Amazônica (Richey *et al.*, 1990, Hedges *et al.*, 2000), mas contrariamente, apresentou significativa diferença entre as fases do ciclo hidrológico (Figura 7). Os valores de concentrações mais elevados foram encontrados

para o período de vazante, possivelmente refletindo transformações na matéria orgânica acumulada no sistema.

No período de águas altas, o aumento no volume de água associado ao processo de sedimentação aumentando a transparência da água, propicia o surgimento de condições favoráveis à realização da fotossíntese e acúmulo de biomassa vegetal, que será degradada posteriormente. Durante as fases de crescimento e senescência, uma proporção significativa da produção primária líquida é perdida na forma de MOD (Bertilsson & Jones, 2001). A correlação entre os dados de COD e NID entre ( $r= 0,87$ ) pode ser um indicativo da presença de matéria orgânica autóctone, já que algas e macrófitas liberam excretas principalmente na forma compostos nitrogenados (Enrich-Prast, 2005). A redução na disponibilidade de luz solar ocasionada pelo intenso processo de ressuspensão do sedimento na vazante e seca pode ocasionar desequilíbrio do sistema, com a morte do fitoplâncton e a liberação de COD e nutrientes para a coluna água. Além disso, os dados de COD e SGS foram correlacionados na vazante ( $r = 0,76$ ) sugerindo que uma mistura de plâncton, macrófitas aquáticas e materiais vegetais podem ser as principais fontes de MOD para o sistema.

Os compostos dissolvidos na água podem interagir com os sólidos em suspensão, temática que deve ser abordada quando se pretende estudar os fatores que controlam a composição e o transporte da matéria orgânica em ambientes aquáticos (Aufdenkampe *et al.*, 2001; Mayorga & Aufdenkampe *et al.*, 2002). Certos íons inorgânicos e orgânicos, incluindo contaminantes, podem ser adsorvidos às superfícies minerais. O íon fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), por exemplo, pode aderir às essas partículas ocasionando sua perda da coluna d'água (Forsberg *et al.*, 1988). As argilas predominantes no SFS, especialmente, possuem alta capacidade de troca iônica (Keil *et al.*, 1997). Nos poucos locais onde a concentração do íon  $\text{PO}_4^{3-}$  foi detectada, este estudo encontrou correlação negativa com SFS ( $r= 0,81$ ), indicando uma possível relação de adsorção.

Este processo químico também pode ocasionar um enriquecimento em nitrogênio tal como vem sendo demonstrado para o SFS transportado pelo rio Amazonas (Hedges *et al.*, 1994, Aufdenkampe *et al.*, 2001) e outros rios na bacia Amazônica (Bernardes *et al.*, 2004). A média geral dos valores de C:N de aproximadamente 7,5 revela que as partículas finas são ainda mais enriquecidas em nitrogênio em relação ao rio principal, no qual a razão C:N é de aproximadamente 11 (Hedges *et al.*, 1986). Entre as fases da hidrógrafa, os menores valores de C:N foram encontrados na vazante, explicados ou pela adsorção química ou por uma maior participação da matéria orgânica de origem autóctone (Moreira-Turcq, *et al.*, 2004). Embora seja difícil avaliar a magnitude desses fatores podemos inferir que a associação desses pode ocasionar o enriquecimento em nitrogênio do SFS no Lago Grande de Curuai.

Mudanças na composição da matéria orgânica e, portanto, na dinâmica do carbono, podem ser refletidas em alterações nas concentrações de CID. No Lago Grande, valores de concentrações significativamente mais baixos de CID foram encontrados no período de vazante (Figura 7). Esta maior demanda por formas de carbono inorgânico pode ser decorrente do aumento do processo fotossintético uma vez que foi observado “floração de algas” nesta fase da hidrógrafa. O concomitante aumento na atividade respiratória é esperado ocasionar aumento nas concentrações de CID, especialmente CO<sub>2</sub>. Este gás compôs menos de 10% do total do CID nas fases de cheia e enchente enquanto que na vazante esta fração atingiu 27% desse total. Entretanto, este acréscimo não foi significativo e já mencionado anteriormente a sutil variação nas concentrações de O<sub>2</sub> ao longo do ciclo enfraquece a hipótese de maior controle da fotossíntese sobre as concentrações de CID.

Outro fato que pode explicar esse comportamento do CID na vazante é a maior contribuição de água quimicamente diferenciada de pequenos *igarapés* oriundos do interior da floresta (Furch & Junk, 1997). O significativo aumento do íon Cl<sup>-</sup> associado à pequena, mas incomum, contribuição do íon CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, especificamente no ponto C7,

redução de  $\text{HCO}_3^-$  além de um significativo decréscimo nas concentrações de  $\text{SO}_4^{2-}$  podem atestar esta hipótese. Devido à redução da comunicação com o rio Amazonas, esses canais localizados nas margens do lago, geralmente pobres em eletrólitos, podem exercer uma maior influência sobre a química da água.

Na fase de enchente, as concentrações de CID são tão elevadas quanto às registradas na cheia, possivelmente em função da entrada do fluxo do rio Amazonas e talvez da degradação da matéria orgânica. Se o carbono orgânico é um fator limitante à produção e respiração bacteriana no rio (Benner *et al.*, 1995), no interior das várzeas a decomposição e excreção de algas e macrófitas liberam compostos orgânicos lábeis capazes de estimular a produção heterotrófica e o aumento do CID. Dois pontos de amostragem (C1 e C9) apresentaram maior concentração de  $\text{CO}_2$  (Anexo 8) que devido à localização (Figura 4), nos permite sugerir uma maior influência do rio Amazonas. Este fato é presumível se considerarmos que as coletas foram realizadas no mês de Janeiro, início do período chuvoso, e que os principais canais de entrada de água na planície neste período estão situados nesta região do lago (Maurice-Bourgoin, *et al.*, 2007). Outro fato corrobora esta hipótese: a exclusão desses dois pontos aumenta drasticamente a relação entre condutividade e íons (dados não mostrados), indicando que o fluxo de água é quimicamente diferenciado.

Considerando o período de estudo e o lago como um todo, as concentrações de CID foram mais baixas que as determinadas por Richey *et al.* (1990) no rio Amazonas, e tal como este, apresentou variação sazonal. Embora as concentrações  $\text{CO}_2$  tenham atingido índices mais expressivos na durante a vazante, o íon  $\text{HCO}_3^-$  foi predominante também nesta fase da hidrógrafa, compondo em média cerca de 83% do total de CID, proporção muito semelhante à relatada para o rio Amazonas (Quay *et al.*, 1992). Nos períodos de cheia e enchente o íon  $\text{HCO}_3^-$  representou cerca de 90% do CID, refletindo os altos valores de pH da água.

Com base no exposto até aqui, destacamos a importância da bacia de drenagem e especialmente do rio Amazonas no carreamento de íons e sedimentos

para o Lago Grande de Curuai. No interior do sistema, características como hidrodinâmica interna, proximidade da *terra-firme* e processos biológicos parecem ser os principais fatores determinantes na composição biogeoquímica do sistema.

### **Composição isotópica da matéria orgânica no Lago Grande de Curuai**

A distribuição dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  associada à determinação da razão C:N são ferramentas analíticas poderosas na identificação das principais fontes de matéria orgânica para os ecossistemas aquáticos (Meyers, 1994). O  $\delta^{15}\text{N}$ , por sua vez, fornece informações adicionais sobre processos bioquímicos (nitrificação, decomposição, etc.) e contaminação das águas por compostos de origem antrópica (Bernasconi *et al.*, 1997). Porém, se extrai mais da informação fornecida pelo  $\delta^{15}\text{N}$  quando associado ao  $\delta^{13}\text{C}$  devido à complexidade do ciclo do nitrogênio. O presente estudo aproveita-se das prerrogativas da técnica dos isótopos estáveis aliadas à composição elementar de C e N para versar acerca da origem da matéria orgânica no Lago Grande de Curuai.

A variação de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  da matéria orgânica associada aos sólidos fino em suspensão (SFS) foi de aproximadamente 5‰ e 3‰, respectivamente, considerando todo o período do estudo. Estas mudanças podem ser consideradas bastante expressivas mas não surpreendentes mediante o dinamismo dos sistemas de várzeas na bacia Amazônica. As médias dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  apresentaram comportamentos distintos entre os períodos do ciclo hidrológico, sinalizando que a composição isotópica da matéria orgânica reflete a variação sazonal do nível d'água na planície (Figura 15).

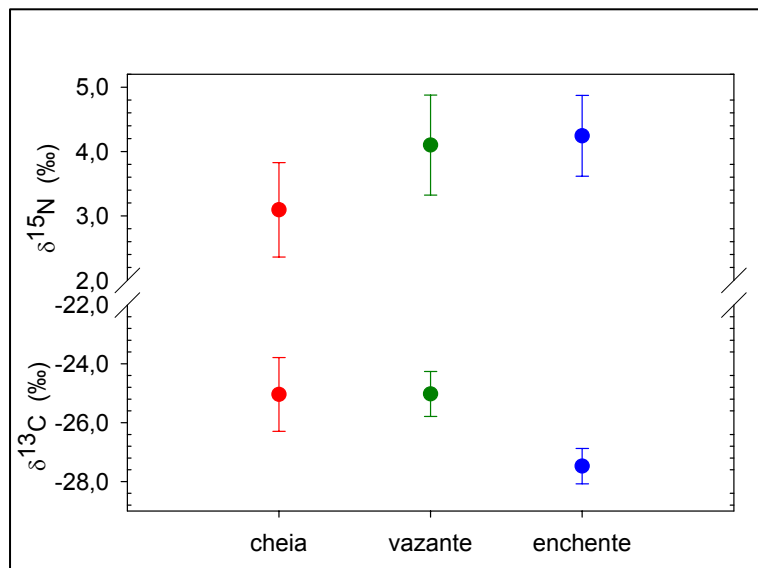


Figura 15- Média e desvio padrão dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do SFS foram próximos a  $-25\text{‰}$  nas fases de cheia e vazante. Quando comparado ao rio Amazonas, principal canal de drenagem na várzea, este material é enriquecido em  $^{13}\text{C}$ , ou seja, a razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  é maior. A alta produtividade primária, especialmente de macrófitas de ciclo fotossintético  $\text{C}_4$ , nas várzeas amazônicas (Junk, 1997) pode estar relacionada aos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  encontrados no Lago Grande de Curuai. Embora as várzeas sejam influenciadas pelo pulso de inundação dos rios, a hidrodinâmica no interior destes sistemas propicia o surgimento de condições favoráveis ao crescimento de organismos fotossintetizantes como algas e macrófitas, alterando as características do material orgânico em suspensão nos lagos da várzea.

De fato, os valores de razão C:N encontrados no Lago Grande apontam para uma maior contribuição de fontes autóctones, possivelmente algas que não possuem lignina e apresentam tipicamente razão C:N entre 4 e 10 (Meyers, 1994). Os menores valores de razão C:N foram encontrados durante a fase de vazante (Figura 11), quando foi observado “floração de algas” na várzea (Figura 12), indicando que o fitoplâncton pode ser uma importante fonte de matéria orgânica para os sólidos fino em suspensão. Moreira-Turq *et al.* (2004) também encontraram os menores valores de

C:N nas partículas em suspensão durante a vazante e sugeriram a presença de material orgânico “fresco” como algas e bactérias. A relação entre os valores de C:N e  $\delta^{13}\text{C}$  do SFS (Figura 16) mostra que a matéria orgânica que circula no Lago Grande durante a cheia e vazante é mais enriquecida em N e também em  $^{13}\text{C}$  em relação à enchente. Se aparentemente o fitoplâncton é uma importante fonte de matéria orgânica para o sistema, algum fator pode estar ocasionando o enriquecimento isotópico da fração de material orgânico em suspensão associado a estes organismos.

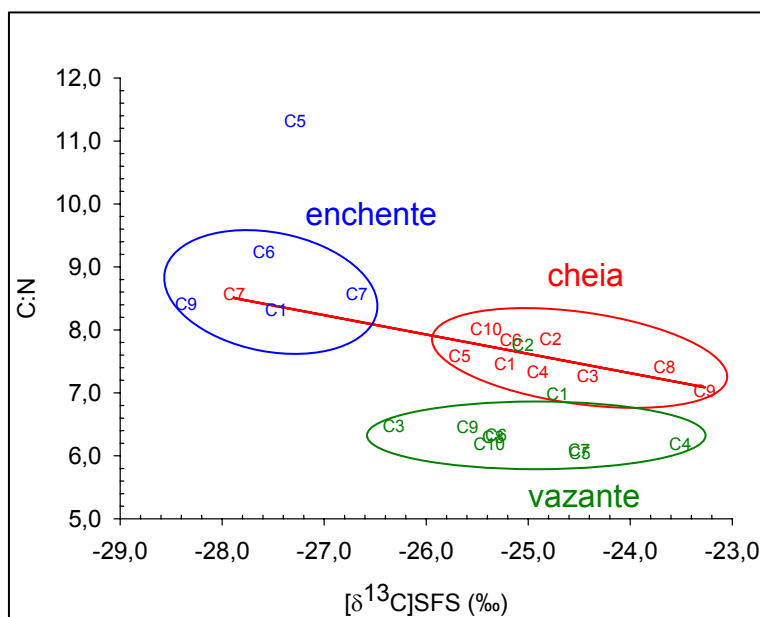


Figura 16- Relação entre os valores de C:N e  $\delta^{13}\text{C}$  do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.

O sinal isotópico dos organismos fotossintetizantes reflete a dinâmica de assimilação do carbono e a composição isotópica da fonte de CID, primariamente  $\text{CO}_2$ . Plantas terrestres ou aquáticas e algas que utilizam o ciclo fotossintético  $\text{C}_3$  absorvem preferencialmente  $^{12}\text{C}$  na produção de matéria orgânica, a qual é em média 20‰ mais leve do que a razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  da sua fonte de carbono. Este fato é explicado por processos físicos e enzimáticos que causam discriminação em favor do isótopo mais leve (O’Leary, 1988; Lajtha & Marshall, 1994). O intenso crescimento dos organismos autotróficos, levando à ocorrência “bloom de algas” (Figura 12), nos permite sugerir que o  $\text{CO}_2$  é intensamente absorvido por estes organismos. O consumo preferencial de

$^{12}\text{CO}_2$  pela atividade fotossintética pode ocasionar um aumento relativo do  $^{13}\text{CO}_2$  na coluna d'água e conseqüentemente do sinal isotópico do CID. A relação entre os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  do SFS e do CID (Figura 17) mostra valores mais enriquecidos em  $^{13}\text{C}$  durante o período de cheia, corroborando esta hipótese. Infelizmente não temos os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do CID correspondentes à vazante, mas se realmente o  $\text{CO}_2$  livre ocorre em baixas concentrações na composição do CID, presumimos que os valores seriam tão positivos quanto os determinados para a cheia.

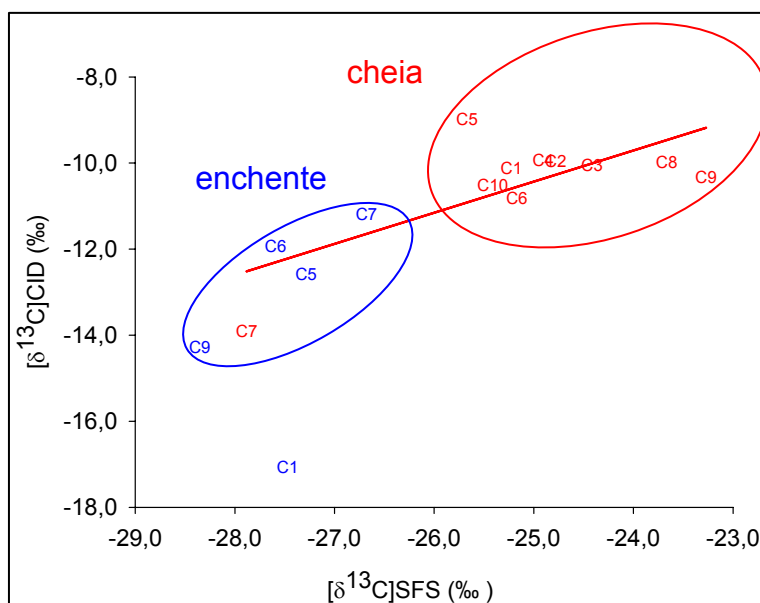


Figura 17- Relação entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do CID e  $\delta^{13}\text{C}$  do SFS em duas fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.

O intenso crescimento do fitoplâncton pode ter levado a utilização de outras fontes de carbono inorgânico como o bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) na realização da fotossíntese. Quando o  $\text{CO}_2$  livre é um fator limitante, é reportado na literatura que algas e macrófitas podem utilizar o íon  $\text{HCO}_3^-$ , o que geralmente está associado a períodos de intensa produtividade primária (Mook *et al.*, 1974; Cifuentes *et al.*, 1988). Em ambientes marinhos, onde o  $\text{HCO}_3^-$  é a principal fonte carbono para a fotossíntese, a matéria orgânica pode apresentar sinal isotópico de até -22,4‰ (Meyres, 1994). Este valor é significativamente mais positivo em relação aos obtidos para algas em sistemas lacustres e é muito próximo a maioria dos dados encontrados aqui nos



períodos de cheia e vazante (Figura 9). A diferença no  $\delta^{13}\text{C}$  do  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_2$ , sendo o primeiro de 8,8‰ a 11,5‰ mais enriquecido (Mook *et al.*, 1974), é refletida nas composições isotópicas da matéria orgânica produzida em ambientes marinhos e lacustres.

As concentrações do íon  $\text{HCO}_3^-$  foram elevadas nas três fases do ciclo hidrológico na várzea de Curuai, com proporções acima de 80% do total do CID (Tabela 2, Anexo 8). Se organismos autotróficos estão utilizando o íon  $\text{HCO}_3^-$  como fonte de carbono, este fato explica satisfatoriamente valores mais positivos para  $\delta^{13}\text{C}$  do SFS em períodos maior produtividade primária (Cifuentes *et al.*, 1988; Bernasconi *et al.*, 1997), 1994); Barbosa (2005) encontrou concentrações de clorofila em média três e oito vezes maiores no período de cheia e vazante, respectivamente, em relação à enchente.

As Figuras 16 e 17 mostram que existe uma clara separação entre os períodos de cheia e enchente. Neste último, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do CID e SFS foram mais negativos e muito similares aos encontrados no rio Amazonas. No período de enchente a planície volta a armazenar água do rio, que transporta principalmente materiais vegetais decompostos de origem terrestre (Hedges *et al.*, 1986; Devol & Hedges, 2001). Já valores mais negativos para o  $\delta^{13}\text{C}$  do CID na fase de enchente podem estar associados à predominância dos processos respiratórios. A diminuição do  $\delta^{13}\text{C}$  é acompanhada pelo aumento da razão C:N corroborando a hipótese de estágio mais avançado de decomposição da matéria orgânica. Estas características são distintas daquela matéria orgânica produzida no interior do sistema e possivelmente reflete a influência rio Amazonas sobre a várzea de Curuai.

Entre os locais de amostragem, o ponto de amostragem denominado C1 apresentou o menor valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do CID durante a enchente. Este está situado próximo a um dos principais canais de comunicação com o rio e confirma a idéia de maior influência do Amazonas nesta fase do ciclo hidrológico. Podemos notar também que o ponto de amostragem C7 correspondente ao período de cheia apresentou

valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e razão C:N tão negativos quanto aqueles determinados para a fase de enchente. O ponto C7 está localizado nas proximidades da entrada de um *igarapé* que drena o interior da floresta de *terra-firme*. O comportamento diferencial deste ponto provavelmente reflete o aporte de matéria orgânica oriunda da floresta para o interior do lago. Este fato reforça a hipótese de que a matéria orgânica no interior da várzea na fase de enchente é principalmente de origem alóctone.

Se por um lado a distribuição dos valores de razão C:N sugere maior contribuição da matéria orgânica de origem fitoplanctônica nos períodos de cheia e vazante, por outro deve se somar a isto a contribuição de macrófitas aquáticas, importante fonte de matéria orgânica nos sistemas de várzea (Junk, 1997). Os dados de razão C:N associados a parâmetros bioquímicos obtidos por Cecanho (2007) apontam para uma mistura de macrófitas e algas como principais fontes da matéria orgânica para os sedimentos superficiais em lagos de água branca da várzea de Curuai. Balancear as contribuições dessas fontes, contudo, não é uma tarefa muito fácil, pois pode ocorrer sobreposição dos sinais isotópicos de algas, plantas terrestres e macrófitas. Dentre estas, macrófitas  $\text{C}_4$  são mais facilmente distinguíveis pela técnica dos isótopos estáveis, pois são enriquecidas em  $^{13}\text{C}$  em função do menor fracionamento isotópico durante a assimilação do carbono (O'Leary *et al.* 1988; O'Leary *et al.* 1992). Esta diferença no  $\delta^{13}\text{C}$  entre a matéria orgânica produzida por plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  tem sido utilizada para avaliar suas respectivas contribuições para diversos compartimentos dos ecossistemas aquáticos (Forsberg *et al.*, 1993; Araujo-Lima, 1986; Onstad *et al.*, 2000).

Algumas possíveis fontes de matéria orgânica para o SFS e seus respectivos valores  $\delta^{13}\text{C}$  são mostrados na Figura 18. Além disso, compilamos os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  referentes ao sedimento superficial do Lago Grande obtidos por Amorim (2006), os quais foram semelhantes aos encontrados pelo presente estudo. A similaridade entre os sólidos em suspensão e sedimento parece ser especialmente válida na vazante (Figura 18), quando presumi-se maior semelhança entre esses compartimentos devido

às altas taxas de ressuspensão, como discutido na seção anterior. Ao que tudo indica, os sinais isotópicos da matéria orgânica em suspensão e depositada no fundo dos lagos compartilham as mesmas características e muito provavelmente as mesmas origens. A similaridade dos valores de razão C:N, geralmente abaixo de 10 em ambos os estudos, sustenta esta idéia. A baixa profundidade do lago e o fato de ocorrer poucas alterações no  $\delta^{13}\text{C}$  e razão C:N da matéria orgânica, desde a sua origem na zona fótica até a sua sedimentação (Meyers, 1994), podem justificar tal semelhança entre os sedimentos e os sólidos em suspensão no Lago Grande de Curuai.

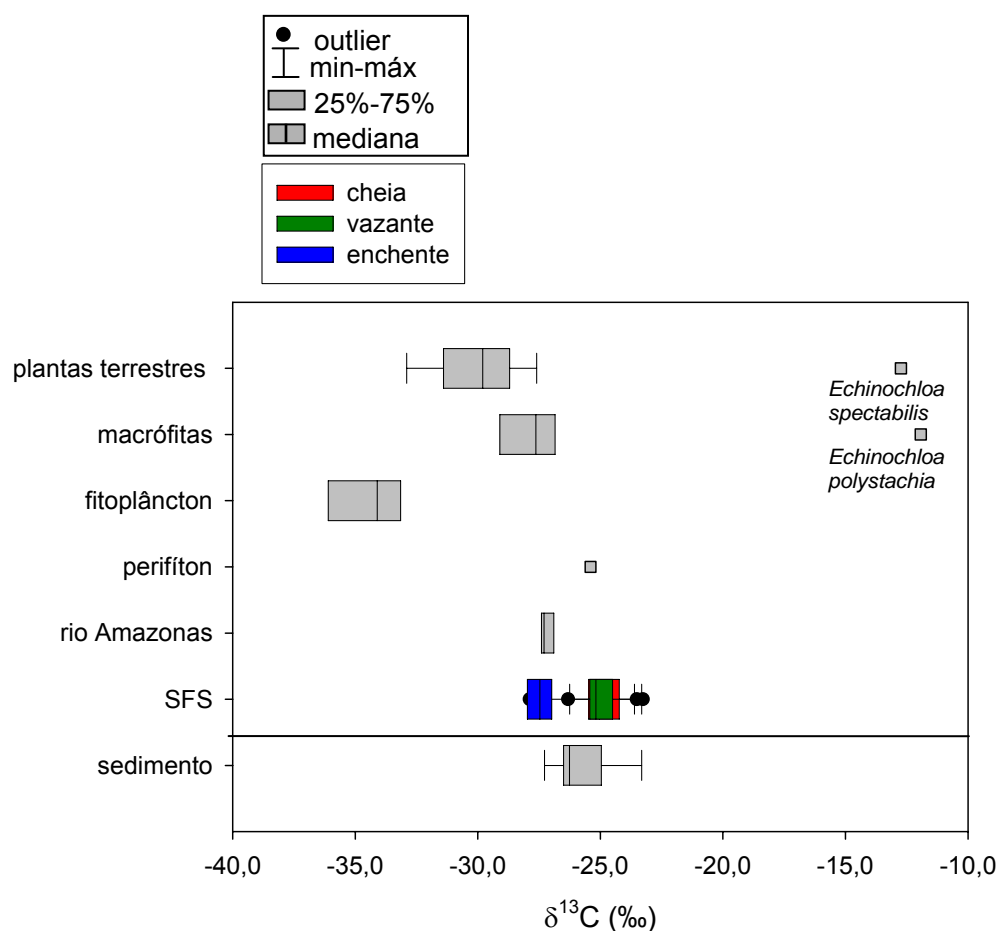


Figura 18- Variação do  $\delta^{13}\text{C}$  de possíveis fontes de matéria orgânica para a várzea de Curuai, dados de  $\delta^{13}\text{C}$  para SFS obtidos por este estudo e sedimento superficial publicados por Amorim (2006). [Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para perifíton, macrófitas, *Echinochloa polystachia* e *Echinochloa spectabilis* são dados referentes à várzea de Curuai compilados de Cecanho (2007). Os valores para fitoplâncton e plantas terrestres foram retirados de Oliveira *et al.* (2006), Araújo-Lima *et al.* (1986) e Waichman (1996) Já os dados para o rio Amazonas correspondem a valores obtidos para o SFS nas proximidades da cidade de Óbidos publicados por Hedges *et al.* (1986) e Quay *et al.* (1992)].

Embora a matéria orgânica associada aos sedimentos e SFS possivelmente compartilhem as mesmas origens, a grande variedade de possíveis fontes e a sobreposição de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre essas dificulta a identificação de suas respectivas contribuições (Figura 18). No entanto, a aparente pequena participação do fitoplâncton como fonte de matéria orgânica nos parece um fato inesperado. Foi observada “floração de algas” no Lago Grande e a filtração em membranas 0,5 $\mu\text{m}$ , como é o caso, é geralmente utilizada para determinar o sinal isotópico das algas. Os valores de razão C:N obtidos aqui e em outros estudos neste mesmo ambiente indicam importante contribuição das algas como fonte de matéria orgânica, mas o sinal isotópico destes autótrofos não parece decisivo ao  $\delta^{13}\text{C}$ . Recorrendo a hipótese da pequena contribuição do  $\text{CO}_2$  livre ao CID, podemos explicar este fato. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do fitoplâncton apresentados na Figura 18 foram compilados de estudos realizados em sistemas de várzea da bacia Amazônica e parecem não refletir os processos e/ou a composição da comunidade autotrófica no Lago Grande de Curuai.

O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  correspondente ao perifíton mostrado na Figura 18 é mais próximo aos valores do SFS obtidos durante os períodos de cheia e vazante, o que oportunamente nos fornece alguns indicativos; o perifíton é uma complexa comunidade de microrganismos e detritos orgânicos e inorgânicos. Este emaranhado de materiais tem baixa razão C:N (Cecanho, 2007) e possivelmente reflete a produção de compostos lábeis no interior da várzea.

Pela figura acima podemos constatar ainda a nítida sobreposição dos valores  $\delta^{13}\text{C}$  de plantas terrestres e macrófitas. Portanto, qualquer tentativa de fazer a distinção de suas respectivas contribuições pode levar a erros e interpretações errôneas acerca da origem da matéria orgânica no Lago Grande de Curuai. Contudo, ao longo do ciclo hidrológico, observamos que os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  correspondentes ao período de enchente aparecem deslocados para a esquerda da figura, sugerindo maior contribuição de plantas do tipo  $\text{C}_3$ , provavelmente provenientes do rio Amazonas, como sugerido anteriormente.

A participação de materiais autóctones e alóctones na composição da matéria orgânica associada aos sólidos finos em suspensão para o Lago Grande pode ser melhor avaliada com o auxílio da distribuição dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . Inversamente ao isótopo do carbono, são menos freqüentes os estudos que utilizam o  $\delta^{15}\text{N}$  com o objetivo de rastrear a origem da matéria orgânica em sistemas de várzeas e ambientes aquáticos em geral. Oliveira *et al.* (2006), visando identificar possíveis fontes de alimento para peixes, publicaram alguns valores de  $\delta^{15}\text{N}$  referentes à vegetação de várzea no Lago Calado, sistema de água branca sujeito ao pulso de inundação do rio Solimões. Macrófitas  $\text{C}_4$ , plantas terrestres  $\text{C}_3$  e seston amostrados neste estudo apresentaram  $\delta^{15}\text{N}$  de 4,5‰, 6,7‰ e 6,6‰, respectivamente. Transportando esses valores para o Lago Grande, onde a maioria dos valores encontrados está entre 3,0‰ e 5,0‰ (Figura 10), presumimos maior contribuição de plantas terrestres  $\text{C}_3$  na composição da matéria orgânica do material em suspensão. Entretanto, o trabalho em questão não apresenta valores para macrófitas  $\text{C}_3$ , as quais parecem ser uma das principais fontes de matéria orgânica para Planície de Inundação de Curuai (Amorim, 2006; Cecanho, 2007). Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  encontrados neste estudo foram maiores que 2‰, limitando a possibilidade de contribuição direta do  $\text{N}_2$  atmosférico, por exemplo, fixado por Cianobactérias como fonte de nitrogênio para SFS.

Similarmente ao carbono, a abundância e a forma iônica da fonte de nitrogênio inorgânico dissolvido afetam a composição isotópica da comunidade fitoplanctônica (Michener & Schell, 1994). A discriminação isotópica durante a assimilação autotrófica pode gerar enriquecimento em  $^{14}\text{N}$  na matéria orgânica particulada (Cifuentes *et al.*, 1988). O íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) é preferencialmente utilizado como fonte de nitrogênio por algas e bactérias na constituição de suas estruturas celulares (Enrich-Prast, 2005). Porém, esse íon apresentou concentrações extremamente baixas (Tabela 2), sugerindo menor participação do  $\text{NH}_4^+$  como fator determinante da composição isotópica da matéria orgânica. Em situações em que o íon  $\text{NH}_4^+$  é encontrado em concentrações limitantes, o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) pode ser a principal fonte de nitrogênio

inorgânico para a realização da fotossíntese. Em estuários e ambientes marinhos, em geral, os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  da matéria orgânica particulada e de concentração de  $\text{NO}_3^-$  dissolvido são negativamente correlacionados, sendo um bom indicador do grau de utilização deste íon (Michener & Schell, 1994). Esta relação foi encontrada no presente estudo nos períodos de vazante e enchente (Figura 19), quando as concentrações de  $\text{NO}_3^-$  foram significativamente maiores (Tabela 2), sugerindo a distribuição dos íons nitrato e amônio no meio e um possível fracionamento isotópico durante a absorção pelas células fitoplanctônicas.

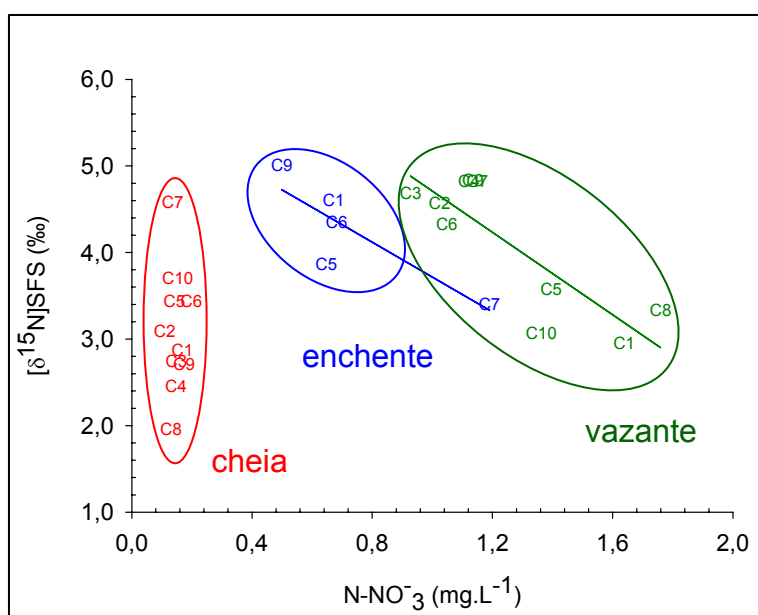


Figura 19- Relação entre  $\delta^{15}\text{N}$  do SFS e nitrato dissolvido ( $\text{N-NO}_3^-$ ) nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.

No período de cheia este fato não foi observado, o que pode ser explicado de diferentes maneiras. Se há discriminação isotópica de  $^{15}\text{N}$  durante o crescimento autotrófico, este parece ser um fator menos importante nesta fase do ciclo hidrológico, talvez devido à maior disponibilidade de nutrientes trazidos pelo rio e áreas laterais. As condições favoráveis à atividade fotossintética (luz solar) pode ter gerado uma maior demanda por nitrogênio inorgânico, reduzindo a presença destes compostos do meio. Isto pode ter diminuído a discriminação isotópica e ocasionado o enriquecimento em  $^{15}\text{N}$  do material remanescente.

A presença de matéria orgânica bioquimicamente mais degradada também pode explicar valores mais positivos para  $\delta^{15}\text{N}$  nas fases de vazante e enchente. O enriquecimento em  $^{15}\text{N}$  como consequência do processo de decomposição vem sendo sugerido em outros estudos em ambientes aquáticos (Bernasconi *et al.*, 1994) e terrestres (Ometto *et al.*, 2006) e pode responder pelo acréscimo de cerca de 1‰ na média dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  nos períodos de vazante e enchente. Isto parece bastante plausível se observarmos atentamente a posição do ponto C7 no período de cheia (Figura 19). Este local está situado próximo a entrada de um *igarapé*, o qual pode ser fonte de materiais mais decompostos oriundos dos solos da floresta de *terra-firme*. No período de vazante, especificamente, a ressuspensão do sedimento pode trazer compostos ricos em  $^{15}\text{N}$  para a coluna d'água. No entanto, os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  do sedimento superficial do Lago Grande publicados por Amorim (2006) são mais negativos em relação aos obtidos por este estudo. Assim, processos bioquímicos na coluna d'água podem ser determinantes na composição isotópica da matéria orgânica associada aos sólidos fino em suspensão. A entrada do fluxo d'água do rio Amazonas é um fator adicional para explicar os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  do SFS no período de enchente. A matéria orgânica transportada pelo rio é muito degradada, pobre em nitrogênio e mais enriquecida  $^{15}\text{N}$  (Hedges *et al.*, 2000). O aumento do teor de carbono e a presença de compostos isotopicamente mais leves (Figura 16) também evidenciam a presença de compostos bioquimicamente mais alterados nesta fase da hidrógrafa.

A hidrodinâmica interna do lago somada aos fatores já mencionados pode auxiliar na interpretação da distribuição dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ao longo do ciclo hidrológico. No período de cheia, a taxa de deposição das partículas é mais acelerada em função da diminuição do fluxo d'água no interior da planície (Barbosa, 2005; Furch & Junk, 1997). Partículas que sedimentam mais rapidamente são menos decompostas (Madeleine *et al.*, 2007) justificando a maior depleção em  $^{15}\text{N}$  na cheia. Inversamente, nos períodos subseqüentes, estas permanecem por mais tempo em suspensão, o que favorece a ação de microrganismos decompositores e consequentemente o aumento

do  $\delta^{15}\text{N}$  do SFS. A participação de microrganismos heterotróficos no processo de enriquecimento em nitrogênio de partículas deve ser considerada, pois utilizam expressivas quantidades desse elemento na constituição de suas paredes celulares e material genético (Keil *et al.*, 2000). No entanto, pouco se sabe sobre o papel das bactérias aderidas na determinação das características do material particulado (Aufdenkampe *et al.*, 2001).

A interpretação dos resultados de  $\delta^{15}\text{N}$  é dificultada, pois poucos estudos têm elucidado a participação do isótopo do nitrogênio na evolução da degradação da matéria orgânica bem como seu potencial em determinar fontes de matéria orgânica para os ambientes aquáticos. Além disso, processos bioquímicos como amonificação, nitrificação, etc., podem ser associados à variação dos valores  $\delta^{15}\text{N}$  encontrada por este estudo, mas esses efeitos ainda são pouco estudados e imprecisos na literatura.

A relação entre os isótopos  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  (Figura 20) pode ser então uma ferramenta mais apropriada para a observação de algumas tendências gerais entre os períodos do ciclo hidrológico e os locais de amostragem. A separação entre os dados correspondentes à cheia e enchente reforça a idéia de variação sazonal nas fontes de matéria orgânica para o sistema. Nestes períodos, os valores  $\delta^{15}\text{N}$  tendem a ficar mais positivos com a diminuição do  $\delta^{13}\text{C}$  o que pode ser um indicativo da contribuição de material terrestre à várzea e da evolução diagenética da matéria orgânica. Chamam a atenção os pontos C7 e C9, localizados em extremidades opostas nos dois períodos referidos. Curiosamente o ponto C10 foi de algum modo diferente daqueles em suas proximidades (C9, C8) (Figura 4), sugerindo mudanças em escalas espaciais muito pequenas, provavelmente decorrentes de características locais, como por exemplo, banco de macrófitas.



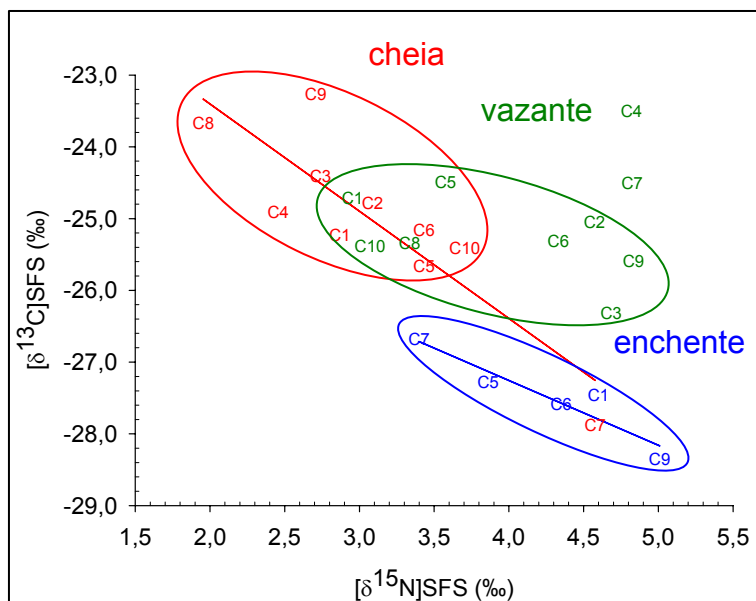


Figura 20- Relação entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  do SFS nas três fases da hidrógrafa no Lago Grande de Curuai.

Na vazante observamos um acréscimo nos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  e variação menos pronunciada nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . Alguns pontos de amostragens apresentaram composições isotópicas muito semelhantes à fase anterior (Figura 20), mas como nenhum fator comum a esses locais pôde explicar esta similaridade, inferimos que processos locais específicos não determinados neste estudo podem ocasionar a variabilidade espacial na composição da matéria orgânica no interior do lago. O ponto C7, que novamente apresentou valores muito similares nos períodos de cheia e enchente, pode estar refletindo os processos que ocorrem no interior do lago na fase de vazante; nesta fase do ciclo hidrológico a comunicação com o rio e a interação com áreas laterais é reduzida.

De maneira geral, o conjunto de informações adquiridas neste trabalho permite assumir que existe uma evolução sazonal na composição da matéria orgânica particulada no Lago Grande de Curuai. A influência do pulso de inundação através do aporte de nutrientes para o lago e o aumento da transparência da água e maior estabilidade do sistema são alterações que favorecem produtividade primária no

interior deste sistema. Assim, a composição isotópica da matéria orgânica e do CID é o reflexo do dinamismo hidrológico na várzea de Curuai.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ponto central deste estudo pode ser avaliado da seguinte maneira: a dinâmica hidrológica vem acompanhada por alterações na química da água e composição da matéria orgânica na várzea de Curuai. No entanto, estas mudanças podem ser atribuídas a fatores distintos. Enquanto a composição iônica parece ser determinada principalmente pelas características geológicas da bacia de drenagem, a matéria orgânica é o resultado da interação entre processos externos e internos ao sistema. Embora a variação na composição isotópica do SFS e CID encontrada neste estudo pareça ser pequena, esta é razoavelmente expressiva se consideramos o pequeno número de amostragens e a distribuição espacial destes dentro do Lago Grande.

Os fatores que determinam a composição isotópica da matéria orgânica incluem o balanço relativo de fontes autóctone e alóctone, ou seja, do material produzido internamente e aquele proveniente da bacia de drenagem e mudanças no processamento/ciclagem da matéria orgânica. Estes atuam em intensidades diferentes que, em última análise, acarreta mudanças consideráveis ao longo do ciclo hidrológico. Além disso, tais fatores afetam diferentemente os elementos carbono e nitrogênio e conseqüentemente o sinal isotópico da matéria orgânica que circula no interior da várzea de Curuai.

Entre os períodos de estudo, observamos semelhança na distribuição dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do SFS entre os períodos de cheia e vazante, o que pode ser atribuído à produção primária no interior do sistema. No período de enchente, valores isotopicamente mais “leves” podem ser associados à entrada d água do rio Amazonas, que transporta principalmente materiais decompostos de origem terrestre. A mesma

similaridade nos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  do SFS foi observada nas fases de vazante e enchente, possivelmente em função de dois fatores: o somatório dos efeitos da alta produtividade primária e decomposição no período de vazante e entrada do rio Amazonas e degradação da biomassa acumulada na fase de enchente. Contudo, esses padrões devem ser considerados com mais cautela devido à maior complexidade do ciclo do nitrogênio. A variação na composição isotópica da matéria orgânica é refletida pelo sinal isotópico do CID afetando, portanto, a ciclagem do carbono nos interior do sistema. Podemos destacar ainda que o grau de conexão com o rio Amazonas pode alterar a quantidade de carbono inorgânico, tal como demonstrado para a os sólidos em suspensão. Contudo, as transformações que ocorrem no interior do lago que mudam qualitativamente esse carbono injetado, são refletidas no sinal isotópico do CID.

Especialmente no interior da planície, a proximidade com a floresta de *terra-firme* pode ser um fator decisivo na determinação da composição química e isotópica da água. Somando a isso, alterações na composição da matéria orgânica podem ocorrer muito intensamente de um lugar para outro possivelmente em função de fatores locais como a ocorrência de banco de macrófitas.

Na tentativa de melhorar a compreensão deste sistema, sugerimos que novos esforços sejam direcionados a investigar se ocorre repetição desses padrões ao longo dos ciclos hidrológico. Para isto, a análise da composição isotópica do CID se mostrou uma ferramenta poderosa para o entendimento da ciclagem da matéria orgânica. Recomendamos também a investigação da composição isotópica de COD e NID de modo a identificar suas principais fontes e traçar possíveis efeitos decorrentes da degradação biológica. Por fim, uma amostragem mais satisfatória pode auxiliar futuros empreendimentos que visem entender a dinâmica deste e de outros sistemas de várzea na bacia Amazônica.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M. A., 2006. *Estudo da sedimentação recente na Várzea de Curuai - Pará, Brazil*. Dissertação de Mestrado- Geoquímica Ambiental- Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ.

ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; FORSBERG, B. R.; VICTÓRIA, R. & MARTINELLI, L., 1986. "Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon", *Science*, v. 23, pp. 1256-1258.

AUFDENKAMPE, A. K.; HEDGES, J. I.; RICHEY, J. E.; KRUSCHE, A. V. & LIERENA, C. A., 2001. "Sorptive fractionation of dissolved organic nitrogen and amino acids onto fine sediments within the Amazon Basin", *Limnology and Oceanography*, v. 46, n. 8, pp. 1921-1935.

AUFDENKAMPE, A. K.; MAYORGA, E.; HEDGES, J. I.; LIERENA, C.; QUAY, P. D.; GUDEMAN, J.; KRUSCHE, A. V. & RICHEY, J. E., 2007. "Organic matter in the Peruvian headwaters of the Amazon: compositional evolution from the Andes to the lowland Amazon mainstem", *Organic Geochemistry*, v. 38, pp. 337-364.

BARBOSA, C. C. F., 2005. *Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curuai/rio Amazonas* - Tese de Doutorado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos - SP.

BENNER, R.; OPSAHL, S.; CHIN-LEO, G.; RICHEY, J. E. & FORSBERG, B. R., 1995. "Bacterial carbon metabolism in the Amazon River system", *Limnology and Oceanography*, v. 40, n. 7, pp. 1262-1270.

BERNARDES, M. C.; MARTINELLI, L. A.; KRUSCHE, A. V.; GUDEMAN, J.; MOREIRA, M.; VICTORIA, R. L.; OMETTO, J. H. B.; BALLESTER, M. V. R.; AUFDENKAMPE, A. K.; RICHEY, J. E. & HEDGES, J. I., 2004. "Riverine organic matter as function of land use changes, southwest amazon", *Ecological Applications*, v. 14, n. 1, pp. 263-279.

BERNASCONI, S. M.; BARBIERI, A. & SIMONA, M., 1997. "Carbon and nitrogen isotope variations in sedimenting organic matter in Lake Lugano", *Limnology and Oceanography*, v. 42, n. 8, pp. 1755-1765.

BERTILSSON, S. & JONES, J. B. JR., 2001. "Supply of dissolved organic matter to aquatic ecosystems: autochthonous sources". In: Findlay, S. E. G & Sinsabaugh, R. L. (eds), *Aquatic ecosystem, Interactivity of dissolved organic matter*. United States of America, Academic Press, pp. 3-24.

BRANDES, J. A.; McCLAIN, M. E. & PIMENTEL, T. P., 1996. "<sup>15</sup>N evidence for the origin and cycling of inorganic nitrogen in a small Amazonian catchment", *Biogeochemistry*, v. 34, pp. 45-56.

BUNN, S. E.; DAVIES, P. M. & WINNING, M., 2003. "Sources of organic carbon supporting the food web of an arid zone floodplain river", *Freshwater Biology*, v. 48, pp. 619-635.

CASTILLO, M. M., 2000. "Influence of hydrological seasonality on bacterioplankton in two neotropical floodplain lakes", *Hydrobiologia*, v. 437, pp. 57-69.

CECANHO, F. F., 2007. *Composição da matéria orgânica nos sedimentos superficiais da Várzea do lago Grande de Curuai, Pará- Brazil*. Dissertação de Mestrado - Geoquímica Ambiental - Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ.

CIFUENTES, L. A.; SHARP, J. H. & FOGEL, M. L., 1988. "Stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry in the Delaware Estuary", *Limnology and Oceanography*, v. 33, pp. 1102-1115.

COFFIN, R. B.; CIFUENTES, L. A. & ELDERIDGE, P. M., 1994. "The use of carbon isotopes to study microbial processes in estuaries". In: Lajtha, K. & Michener, R. H. (eds), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*, Oxford: Blackwell Scientific Publications, pp. 222-240.

COSTA, M. H. & FOLEY, J. A., 1999. "Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin", *Journal of Geophysical Research*, v. 104, n. D12, pp. 14189-14198.

DALGO, M. L. R. S., 1976. *Análise sistemática da água do Rio Amazonas na altura de Óbidos*. Dissertação de Mestrado -Geoquímica Ambiental -Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ.

DEVOL, A. H.; DOS SANTOS, A.; FORSBERG, B. R., & ZARET T. M., 1984. "Nutrient addition experiments in Lago Jacaretinga, Central Amazon, Brazil: 2. The effect of humic and fulvic acids", *Hydrobiologia*, v. 109, pp. 97-103.

DEVOL, A. H.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E. & MARTINELLI, L. A., 1987. "The role of gas exchange in the inorganic carbon, oxygen, and  $^{222}\text{Rn}$  budgets of the Amazon River", *Limnology and Oceanography*, v. 32, pp. 235-248.

DEVOL, A. H.; RICHEY, J. E.; FORSBERG, B. R. & MARTINELLI, L. A., 1994. "Environmental methane in the Amazon river floodplain". In: Mitsch, W. J. (ed). *Global Wetlands: Old World and New*. Elsevier, Amsterdam, pp. 151-165.

DEVOL, A. H.; FORSBERG, B. R.; RICHEY, J. E. & PIMENTEL, T. P., 1995. "Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimões) River: a multiyear time series", *Global Biogeochemical Cycle*, v. 9, pp. 307-328.

DEVOL, A. H. & HEDGES, J. I., 2001. "Organic matter and nutrients in the mainstem Amazon River". In: McClain, M. E., Victoria, R.L., Richey, J.E. (eds.), *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*, Oxford University Press, pp. 275-306.

DUNNE, T.; MERTES, L. A. K.; MEADE, R. H.; RICHEY, J. E. & FORSBERG, B. R., 1998. "Exchanges of sediment between the flood plain and channel of the Amazon River in Brazil". *Geological Society of America Bulletin*, v. 110, pp. 450-467.

ENRICH-PRAST, A., 2005. "Caminhos do nitrogênio em ecossistemas aquáticos continentais". In: Roland, R, Cesar, D & Marinho, M., (eds). *Lições de Limnologia*. Editora Rima, São Paulo, pp. 209-227.

ERTEL, J. R.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; RICHEY J. E. & RIBEIRO, N., 1986. "Dissolved humic substances of the Amazon River system", *Limnology and Oceanography*, v. 31, pp. 739-754.

FARJALLA, V. F.; AZEVEDO, D. A.; ESTEVES, F. A.; BOZELLI, R. L.; ROLAND, F. & ENRICH-PRAST, A., 2006. "Influence of hydrological pulse on bacterial growth and DOC uptake in a clear-water Amazonian Lake", *Microbial Ecology*, v. 52, pp. 334-344.

FORSBERG, B. R.; DEVOL, A. H.; RICHEY, J. E.; MARTINELLI, L. A. & DOS SANTOS, H., 1988. "Factors controlling nutrient concentrations in Amazon floodplain lakes", *Limnology and Oceanography*, v. 33, pp.41–56.

FORSBERG B. R.; ARAUJO-LIMA C. A. R. M.; MARTINELLI L. A.; VICTORIA R. L., & BONASSI, J. A., 1993. "Autotrophic carbon sources for fish of the central Amazon", *Ecology*, v. 74, pp. 643-652.

FURCH, K., 1997. "Chemistry of várzea and igapós soils and nutrient inventory of their floodplain forests, ". *In: Junk, W. J. (ed), The Central Amazon Floodplain Ecological studies v. 126, Germany, Springer, pp. 47-68.*

FURCH, K. & JUNK, W. J. 1997. "Physicochemical conditions in the floodplain". *In: Junk, W. J. (ed), The Central Amazon Floodplain Ecological studies v. 126, Germany, Springer, pp. 69-108.*

GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; ALLÉGRE, J.; NÉGREL, P., 1997. "Chemical and physical denudation in the Amazon river basin", *Chemical Geology*, v. 142, pp. 141-173.

GAT, J. R., 1996. "Oxygen and hydrogen isotopes and hydrological cycle", *Annual Review. Earth Planetary Science*, v. 24, pp. 225:262.

GEYER, W. R.; BEARDSLEY, R. C.; LENTZ, S. J.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; JOHNS, W. E.; CASTRO, B. M. & SOARES, I.D., 1996. "Physical oceanography of the Amazon Shelf", *Continental Shelf Research*, v. 16, pp. 575-616.

GIBBS, R. J., 1967. "Amazon River: Environmental factors that control its dissolved and suspended load", *Science*, v. 156, pp. 1734-1737.

GIBBS, R.J., 1970. "Mechanisms controlling world water chemistry", *Science*, v. 170, n. 3962, pp. 1088-1090.

GIBBS, R.J., 1972. "Water chemistry of Amazon river", *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, v. 36, n. 9, pp. 1061-1066.

HEDGES, J. I.; CLARK, W. A.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H. & SANTOS, U. D. M., 1986. "Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River", *Limnology and Oceanography*, v. 31, n. 4, pp. 717-738.

HEDGES, J. I.; COWIE, G. L.; RICHEY, J. E.; QUAY, P. D.; BENNER, R.; STROM, M. & FORSBERG, B. R., 1994. "Origins and processing of organic matter in the Amazon River as indicated by carbohydrates and amino acids", *Limnology and Oceanography*, v. 39, n. 4, pp. 743-761.

HEDGES, J. I.; MAYORGA, E.; TSAMAKIS, E.; McCLAIN, M. E.; AUFDENKAMPE, A. K.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E.; BENNER, R. & OPSAHL, S., 2000. "Organic matter in Bolivian tributaries of the Amazon River: a comparison to the lower mainstem", *Limnology and Oceanography*, v. 45, n. 7, pp. 1449-1466.

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; SUGUIO, K., 2004. "Contribution to the study of tropical spodosolos in northeastern Amazonas State, Brazil", *Geoderma*, v. 119, pp. 55-68.

HORBE, A. M. C.; GOMES, I. L. F.; MIRANDA, S. F.; SILVA, M. S. R., 2006. "Contribuição à hidroquímica de drenagens no Município de Manaus- AM", *Acta Amazônica*, v. 32, n. 2, pp. 119-124.

IRION, G; JUNK, W. J. & DE MELLO, A. S. N., 1997. "The large central Amazonian river floodplains near Manaus: geological, climatological, hydrological and geomorphological aspects". In: Junk, W. J. (ed). *The central Amazon Floodplain, Ecological Studies* vol. 126, Germany, Springer, pp. 23-46.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B. & SPARKS, R. E., 1989. "The flood pulse concept in river-floodplain systems", *Canadian Journal of Fishers and Aquatic*, v. 106, pp. 110-127.

JUNK, W. J., 1997. "General aspects of floodplain ecology with special reference to amazonian floodplains". In: Junk, W. J. (ed.) *The Central Amazon Floodplain, Ecological Studies* v. 126, Germany, Springer, pp. 3-20.

KEIL, R. G.; MAYER, L. M.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E. & HEDGES, J. I., 1997. "Losses of organic matter from riverine particles in deltas", *Geochimica Cosmochimica Acta*, v. 61, pp. 1507-1511.



KEIL, R. G. & HEDGES, J. I., 2000. "Early diagenesis of particulate amino acids in marine systems". In Goodfriend, G. A.; Collins, M. J.; Fogel, L.; Macko, S. A. & Wehmler, J. F. (eds.), *Perspectives in amino acid and protein geochemistry*, Oxford University Press, pp. 69-82.

LAJTHA, J. & MARSHALL, J. D. 1994. "Sources of variation in the stable isotopic composition of plants". In: Lajtha, K. & Michener, R.H. (eds.) *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, pp. 1-21.

LEHMANN, M. F.; BERNASCONI, S. M.; BARBIERI, A. & MCKENZIE, J. A., 2002. "Preservation of organic matter and alteration of its carbon and nitrogen isotope composition during simulated and in situ early sedimentary diagenesis", *Geochimica Cosmochimica Acta*, v. 66, n. 20, pp. 3573-3584.

LEITE, N. K., 2004. *A biogeoquímica do Rio Ji-Paraná, Rondônia*. Dissertação de Mestrado -Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP, Piracicaba, SP.

MADELEINE, G.; WAKEHAM, S. G.; LEE, C.; DUFLOS, M.; GUIGUE, C.; LIU, Z.; MORICEAU, B.; SEMPÉRÉ, R.; TEDETTI, M.; & XUE J., 2002. "Composition and degradation of marine particles with different settling velocities in the northwestern Mediterranean Sea", *Limnology and Oceanography*, v. 52, n. 4, pp. 1645-1664.

MARENGO, J. A. & NOBRE, C. A., 2001. "General characteristics and variability of climate in the Amazon basin and its links to the global climate system". In: McClain, M. E.; Victoria, R. L. & Richey, J. E. (eds), *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*. Oxford University Press, UK.

MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; FORSBERG, B. R. & RICHEY, J. E., 1994."Isotopic composition of major carbon reservoirs in the Amazon floodplain", *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, v. 20, pp. 31-46.

MARTINEZ, J. M.; KOSUTH, P.; COCHONNEAU, G.; MAURICE -BOURGOIN, L.; SEYLER F.;BOURREL, L.; GUYOT, J. L., 2003. "Application of remote sensing for the quantification of an Amazon floodplain extension, dynamics and river water storage. Satellite observations of river sand wetlands, and applications of the time-variable gravity in hydrology." In: EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Anais. Nice, pp. 10.

MAURICE-BOURGOIN, L.; KOSUTH, P.; CHAFFAUT, I.; MARTINELLI, L. A. & OMETTO, J. P., 2003. "Isotope tracing of hydrological dynamics of an Amazonian floodplain". Short Papers –IV South American Symposium on Isotope Geology, pp. 453-456.

MAURICE-BOURGOIN, L.; MARTINEZ, J. M.; GRÉLAUD, J.; FILIZOLA, N.; BOAVENTURA, G. R., 2005. "The role of flood plains in the hydrology and sediment dynamics of the Amazon River, Brazil" *In*: D. E. Walling e A. J. Horowitz (eds.) Sediment Budgets 1 e 2, IAHS Publication, vol. 291, p. 310-322.

MAURICE-BOURGOIN, L.; BONNET, M.; MARTINEZ, J. M.; KOSUTH, P.; COCHONNEAU, G.; MOREIRA-TURCQ, P.; GUYOT, J.; VAUCHEL, P.; FILIZOLA, N. & SEYLER, P., 2007. "Temporal dynamics of water and sediment exchanges between the Curuai floodplain and Amazon River", *Journal of Hydrology*, v. 35, pp. 140-156.

MAYORGA, E. & AUFDENKAMPE, A. K., 2002. "Processing of bioactive elements in the Amazon River system". *In*: McClain, M. E. (ed.), *The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands*, IAHS Special Publication. Press, Wallingford, UK, n°6, pp 1-24.

MCCLAIN, M. R.; RICHEY, J. E.; BRANDES, J. A., & PIMENTEL, T. P., 1997. "Dissolved organic matter and terrestrial-lotic linkages in the central Amazon Basin of Brazil", *Global Biogeochemical Cycles*, v.11, pp. 295-311.

MEADE, R. H., 1994. "Suspended sediments of the modern Amazon and Orinoco Rivers", *Quaternary International*, v. 21, pp. 29-39.

MELACK, J. M. & FISHER, T. R., 1983. "Diel oxygen variation and their ecological implications in Amazon floodplain lakes", *Archieve Hydrobiology*. v. 98, pp. 422-442

MELACK, J. M. & FISHER, T. R., 1990. "Comparative limnology of tropical floodplain lakes with an emphasis on the central Amazon", *Acta Limnologica Brasiliensia*, pp.31-48.

MELACK, J. M. & FORSBERG, B. R., 2001. "Biogeochemistry of Amazon Floodplain Lakes and Associated Wetlands. *In*: McClain, M. E.; Victoria, R. L. & Richey, J. E.

(eds.), *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*. Oxford University Press, New York, pp. 235-274.

MELACK, J. M.; HESS, L. L.; GASTIL, M.; FORSBERG, B. R.; HAMILTON, S. K.; LIMA, I. B. T. & NOVO, E. M. L. M., 2004. "Regionalization of methane emissions in the Amazon Basin with Microwave Remote Sensing", *Global Change Biology*, v. 10, pp. 530-544.

MEYERS, P. A., 1994. "Preservation of source identification of sedimentary organic matter during and after deposition", *Chemical Geology*, v. 144, pp. 289-302.

MICHENER, R. H. & SCHELL, D. M., 1994. "Stable Isotopes ratios as tracers in marine aquatic food web". In : Lajtha, K. & Michener, R. H., (eds), *Stable Isotopes Ecology and Environmental Science*, Oxford Blackwell Scientific Publications, pp. 138-147.

MOOK, W. G., BOMMERSON, J. C., & STAVERMAN, W. H., 1974. "Carbon isotope fractionation between dissolved bicarbonate and gaseous carbon dioxide". *Earth and Planetary Science Letters*, v. 22, pp.169-176.

MOREIRA-TURCQ, P.; JOUANNEAU, B.; TURCQ, B.; SEYLER, P.; WEBER, O. & GUYOT, J. L., 2004. "Carbon sedimentation at Lago Grande de Curuai, a floodplain lake in the low Amazon region: insights into sedimentation rates", *Paleography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 214, pp. 27-40.

MOREIRA-TURCQ, P.; BARROUX, G.; BERNARDES, M.; BONNET, M.P.; MAURICE-BOURGOIN, L.; PEREZ, M.; SEYLER, P., 2005. "Dynamic of organic carbon between the Amazon River and floodplain lakes, Symposium S4 IHAS Scientific assembly 7 Foz do Iguaçu, Brasil, IAHS. Publication .pp.19-26.

NEPSTAD, D. & ALMEIDA, O., 2004. "A Amazônia no caminho da transição agrícola mundial. É possível usar as forças de mercado para reduzir os impactos ecológicos e sociais negativos da expansão da agropecuária industrial?" IPAM e The Woods Hole Research Center.

O'LEARY, M. H., 1988. "Carbon isotopes in photosynthesis", *BioScience*, v. 38, pp. 328-336.

O'LEARY, M. H.; MADHAVAN, S. & PANETH, P., 1992. "Physical and chemical basis of carbon isotope fractionation in plants", *Plant, Cell and Environment*, v. 15, pp. 1099-1104.

OLIVEIRA, A. C. B.; SOARES, M. G. M.; MARTINELLI, L. A. & MOREIRA M. Z., 2006. "Carbon sources of fish in an Amazonian floodplain lake", *Aquatic Sciences*, v. 68, pp. 229-238.

OMETTO, J. P. H. B.; EHLERINGER, J. R.; DOMINGUES, T. F.; BERRY, J. A. ; ISHIDA F. Y. MAZZI, E.; HIGUCHI, N.; FLANAGAN, L. B.; NARDOTO, G. B. & MARTINELLI, L. A., 2006. "The stable carbon and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin, Brazil", *Biogeochemistry In: Martinelli, L. A. & Howarth, R. W. (eds), Nitrogen cycling in the Americas: Natural and anthropogenic influences and controls*, Springer, reprinted from *Biogeochemistry* v. 79 n.1-2, 2006.

ONSTAD ,G. D.; CANFIELD, D. E.; QUAY, P. D. & HEDGES, J. I., 2000. "Sources of particulate organic matter in rivers from the continental USA: Lignin phenol and stable carbon isotope compositions", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 64, n. 20, pp. 3539-3546.

PETERSON, B. J.; HOWARTH, R. W. & GARRIT, R. H., 1985. "Multiple stable isotopes use to trace the flow of organic matter in estuarine food webs", *Science*, v. 227, n. 4692, pp. 1361-1363.

QUAY, P. D.; WILBUR, D. O.; RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H. & VICTORIA, R., 1992. "Carbon cycling in the Amazon River: implications from the <sup>13</sup>C compositions of particles and solutes", *Limnology and Oceanography*, v. 37, n. 4, pp. 857-871.

RICHEY, J. E.; MEADE, R. H.; SALATI, E.; DEVOL, A. H.; NORDIN, C. F. & DOS SANTOS, U., 1986. "Water discharge and suspended sediment concentrations in the Amazon River: 1982-1984", *Water Resources Research*, v. 22, pp. 756-764.

RICHEY, J. E.; DEVOL, S. C.; WOFYS, R.; VICTORIA, R. & RIBEIRO, M. N. G., 1988. "Biogenic gases and the oxidation reduction in Amazon River floodplain", *Limnology and Oceanography*, v. 33, pp. 551-561.

RICHEY, J. E.; MERTES, L. A. K.; DUNNE, T.; VICTORIA, R. L.; FORSBERG, B. R.; TANCREDI, A. C. N. S. & OLIVEIRA, E., 1989. "Sources and routing of the Amazon River flood wave", *Global Biogeochemical Cycles*, v. 3, pp. 191-204.

RICHEY, J. R.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; QUAY, P. D.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L. A. & FORSBERG, B. R., 1990. "Biogeochemistry of carbon in the Amazon River", *Limnology and Oceanography*, v. 35, pp. 352-371.

RICHEY, J. E.; MELACK, J. M.; AUFDENKAMPE, A. K.; BALLESTER, V. M. & HESS, L. L., 2002. "Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>", *Nature*, v. 416, pp. 617- 620.

SAINT-PAUL, U.; ZUANON, J., CORREA, M. A. V.; GARCIA, M.; FABRÉ N. N., BERGER, U. & JUNK, W. J., 2000. "Communities in Central Amazonian white- and blackwater floodplains", *Environmental Biology of Fishes*, v. 57, pp. 235-250.

SETARO, F. V. & MELACK, J. M. &, 1984. "Responses of phytoplankton to experimental nutrient enrichment in an Amazon floodplain lake", *Limnology and Oceanography*, v. 20, n. 5, pp. 972-984.

SIOLI, H., 1975. "Tropical river: the Amazon". In: Whitton, B. A. (ed) *River Ecology*. Cambridge Blackwell Science Publication, pp. 461-488.

SIOLI, H., 1984. "Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon region", *Amazoniana*, v. 1, pp. 74-83.

SIPPEL, S. J.; HAMILTON, S. K.; MELACK, J. M. & NOVO, E. M. M., 1998. "Passive microwave observations of inundation area and the area/stage relation in the Amazon River floodplain. In *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, n. 16, pp. 3055-3074.

STALLARD, R. F. & EDMOND, J. M., 1983. "Geochemistry of the Amazon: 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load", *Journal of Geophysical Research*, v. 88, pp. 9671-9688.

STUMM, W.; MORGAN, J.J., 1996. *Aquatic Chemistry Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3 ed, cap. 4, New York.

TOWNSEND-SMALL, A.; MCCLAIN, M. E. & BRANDES, J. A., 2005. "Contributions of carbon and nitrogen from the Andes Mountains to the Amazon River: evidence from an elevational gradient of soils, plants, and river material", *Limnology and Oceanography*, v. 50, n. 2, pp. 672-685.

VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; FORSBERG, B. R. & RIBERIO, M. N. G., 1989. "Spatial and temporal variations in soil chemistry on the Amazon floodplain", *Geojournal*, v. 19, n. 1, pp. 45-52.

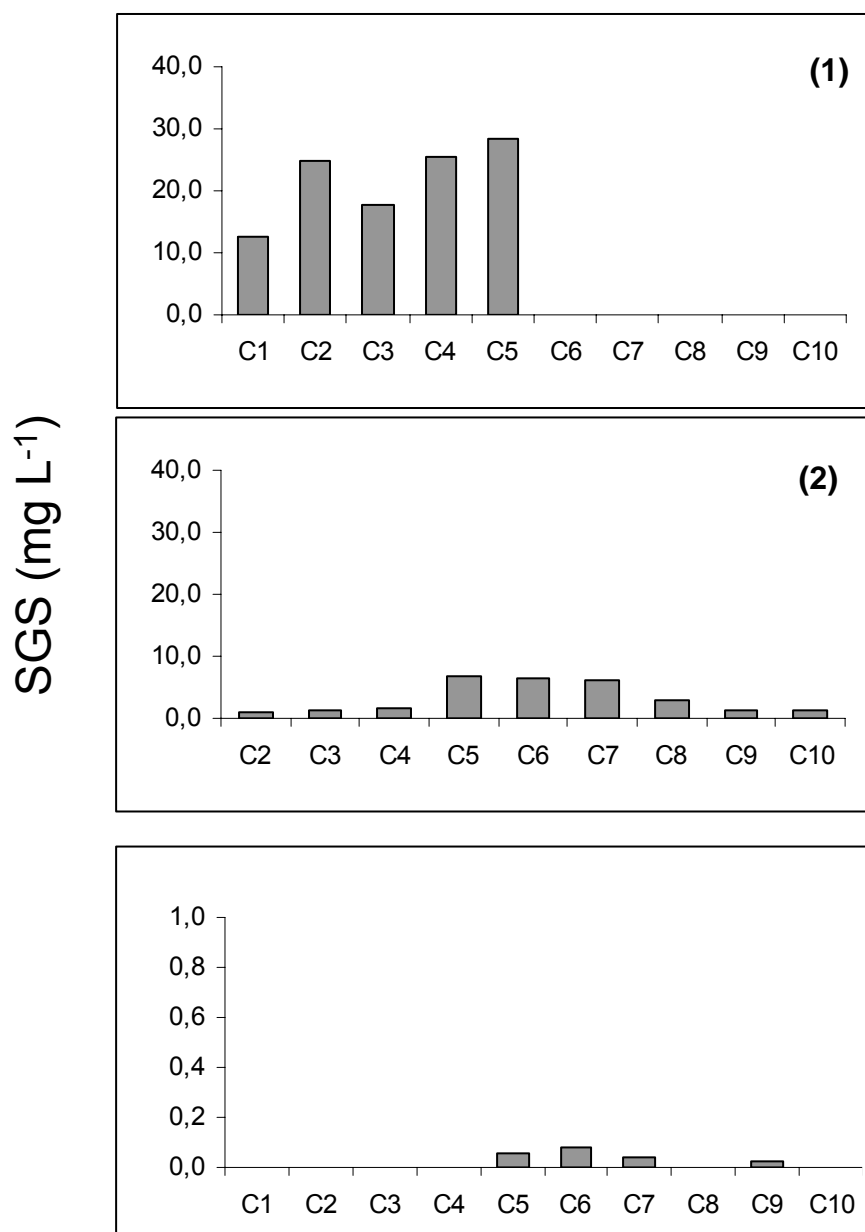
VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A.; TRIVELIN, P. C. O.; MATSUI, E.; FORSBERG, B. R.; RICHEY, J. E. & DEVOL, A. H., 2004. "The use of nutrient cycling: carbon isotope composition of Amazon varzea sediments", *Biotropica*, v. 24, n. 2, pp. 240-249.

WAICHMAN, A. V., 1996. "Autotrophic carbon sources for heterotrophic bacterioplankton in a floodplain lake of Central Amazon", *Hydrobiologia*, v. 341, pp. 27-36.

WETZEL, R. G. & LIKENS, G. E., 1991. *Limnological Analyses*. 2ed. Springer-Verlag.

WISSMAR, R. C., RICHEY, J. E., STALLARD, R. F. & EDMOND, J. M., 1981. "Plankton metabolism and carbon processes in the Amazon River, its tributaries, and floodplain waters, Peru–Brazil, May–June 1977", *Ecology*, v. 62, pp. 1622-1633.

# Anexo



Anexo 1- Concentrações de sólidos grosso em suspensão (SGS) nos locais de amostragem (C1 a C10) de acordo com as fases da hidrógrafa: cheia **(1)**, vazante **(2)** e enchente **(3)**.

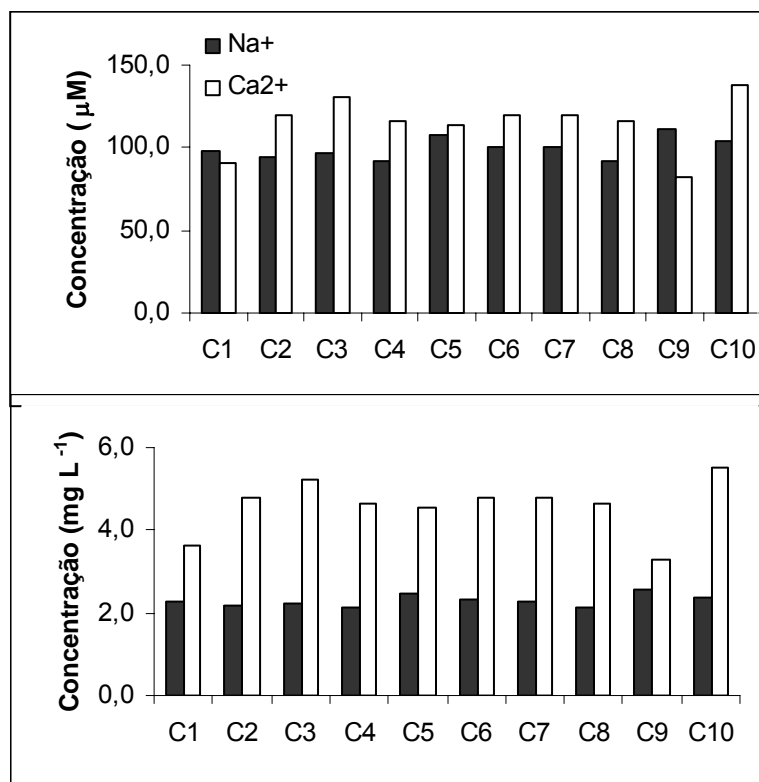


	Cond.	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>
cheia	Cond.	1,00										
	Cl <sup>-</sup>	0,55	1,00									
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,07	0,02	1,00								
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<b>0,93</b>	<b>0,70</b>	0,19	1,00							
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,03	-0,07	0,57	0,13	1,00						
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,76</b>	<b>0,70</b>	0,51	<b>0,92</b>	0,30	1,00					
	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,07	<b>0,64</b>	-0,04	0,33	0,24	0,33	1,00				
	Na <sup>+</sup>	0,52	0,48	0,14	0,55	0,58	0,50	0,42	1,00			
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,26	-0,18	0,45	-0,09	<b>0,80</b>	0,04	0,32	0,24	1,00		
	K <sup>+</sup>	0,14	0,10	0,33	0,18	0,43	0,25	0,24	0,55	0,18	1,00	
	Mg <sup>+2</sup>	0,08	-0,18	0,11	0,02	0,27	0,01	-0,01	0,45	-0,04	<b>0,89</b>	1,00
	Ca <sup>+2</sup>	0,08	-0,01	-0,16	0,03	0,27	-0,05	0,19	0,62	-0,05	<b>0,81</b>	<b>0,92</b>

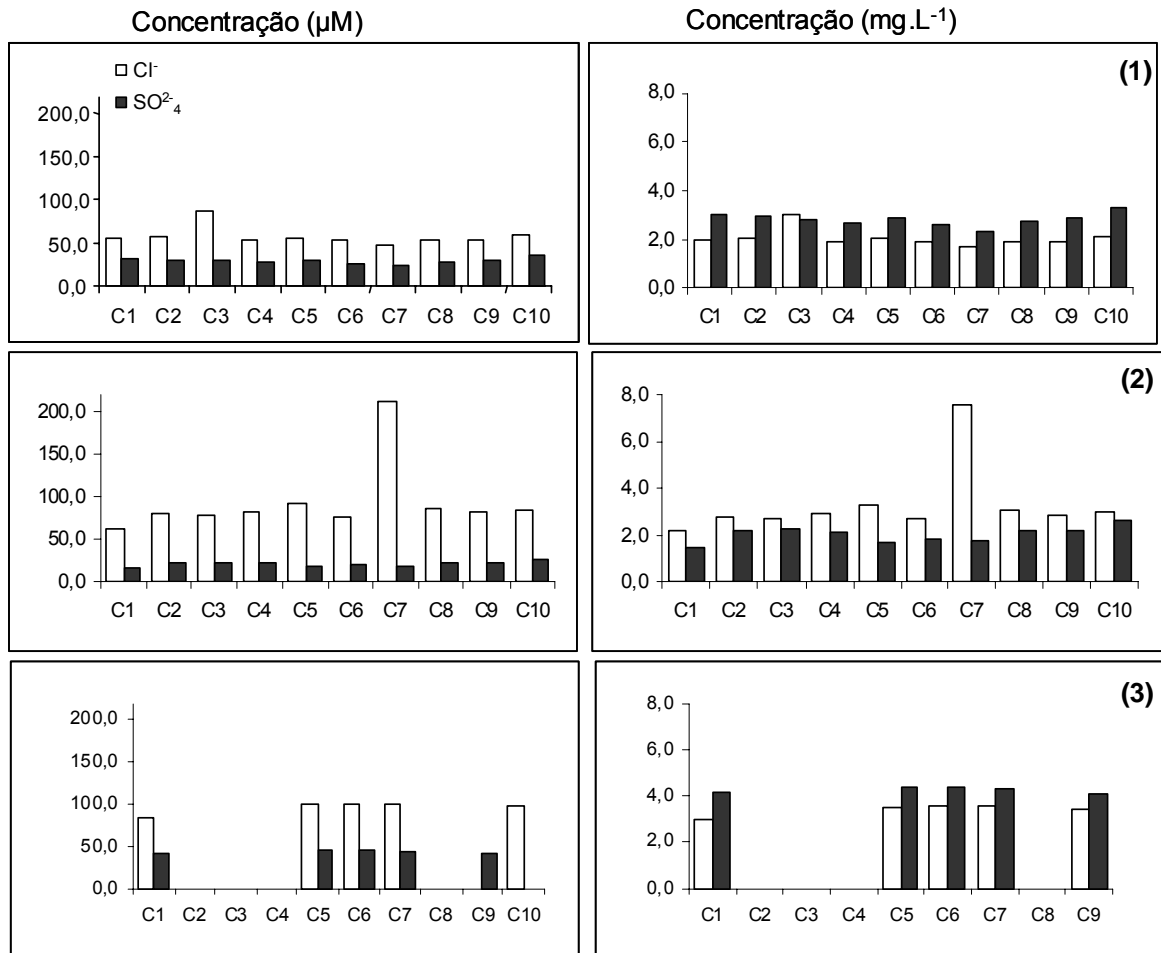
	Cond.	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>
vazante	Cond.	1,00											
	Cl <sup>-</sup>	-0,09	1,00										
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0,21	-0,20	1,00									
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<b>0,84</b>	-0,04	-0,41	1,00								
	PO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-0,47	0,41	0,22	-0,45	1,00							
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,32	0,25	-0,46	0,54	0,37	1,00						
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,96</b>	-0,26	-0,20	<b>0,83</b>	-0,44	0,35	1,00					
	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,49	0,54	-0,48	0,38	0,19	0,53	0,43	1,00				
	Na <sup>+</sup>	<b>0,81</b>	0,08	-0,33	<b>0,75</b>	-0,45	0,38	<b>0,72</b>	0,27	1,00			
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,46	0,09	-0,01	-0,54	0,25	-0,38	-0,39	0,15	<b>-0,64</b>	1,00		
	K <sup>+</sup>	0,01	0,25	<b>-0,90</b>	0,25	-0,24	0,29	0,02	0,45	0,09	0,28	1,00	
	Mg <sup>+2</sup>	<b>0,97</b>	-0,18	-0,25	<b>0,84</b>	-0,55	0,29	<b>0,98</b>	0,45	<b>0,76</b>	-0,44	0,09	1,00
Ca <sup>+2</sup>	<b>0,94</b>	-0,19	-0,04	<b>0,77</b>	-0,61	0,13	<b>0,90</b>	0,36	<b>0,68</b>	-0,47	-0,07	<b>0,95</b>	1,00

	Cond.	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>
enchente	Cond.	1,00										
	Cl <sup>-</sup>	-0,70	1,00									
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,30	0,50	1,00								
	PO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	<b>-1,00</b>	0,70	0,30	1,00							
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,20	-0,30	0,30	0,20	1,00						
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,60	0,10	0,40	-0,60	-0,40	1,00					
	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,10	0,60	<b>0,90</b>	0,10	-0,10	0,70	1,00				
	Na <sup>+</sup>	0,70	-0,30	-0,20	-0,70	-0,70	0,60	0,10	1,00			
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,34	-0,45	0,45	-0,34	0,78	0,22	0,22	-0,22	1,00		
	K <sup>+</sup>	<b>0,90</b>	-0,40	-0,10	<b>-0,90</b>	-0,50	0,80	0,20	<b>0,90</b>	0,11	1,00	
	Mg <sup>+2</sup>	0,50	0,10	-0,10	-0,50	<b>-0,90</b>	0,70	0,30	<b>0,90</b>	-0,45	0,80	1,00
	Ca <sup>+2</sup>	-0,50	0,60	<b>0,90</b>	0,50	0,10	0,20	0,80	-0,10	0,11	-0,20	0,00

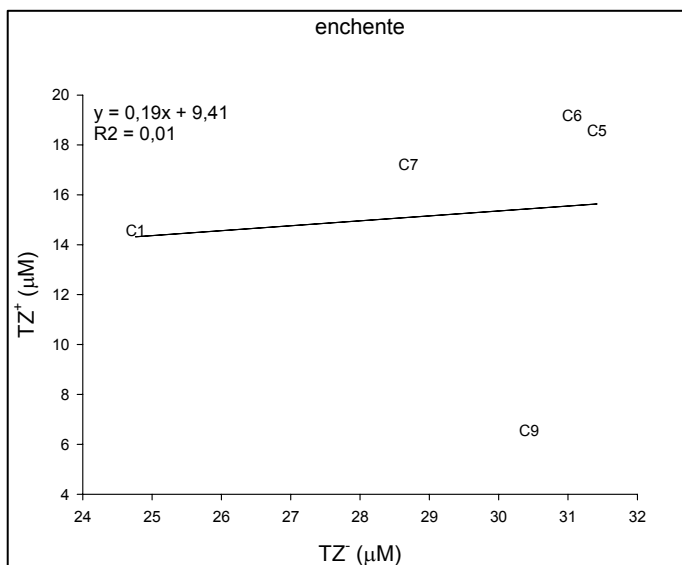
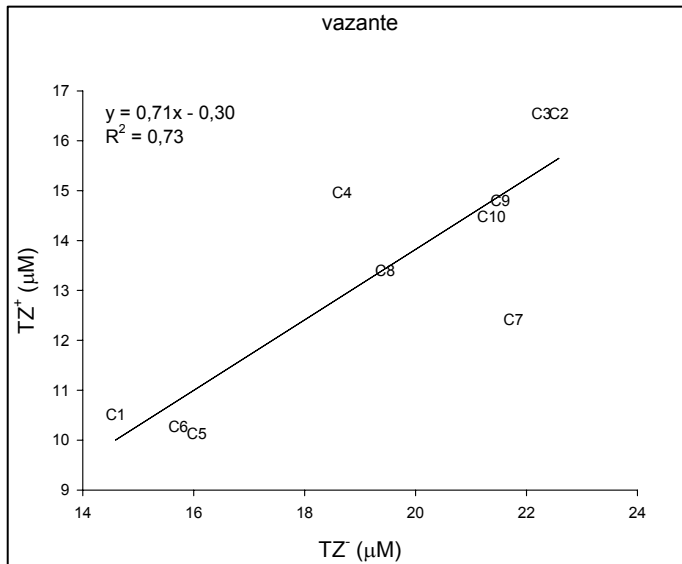
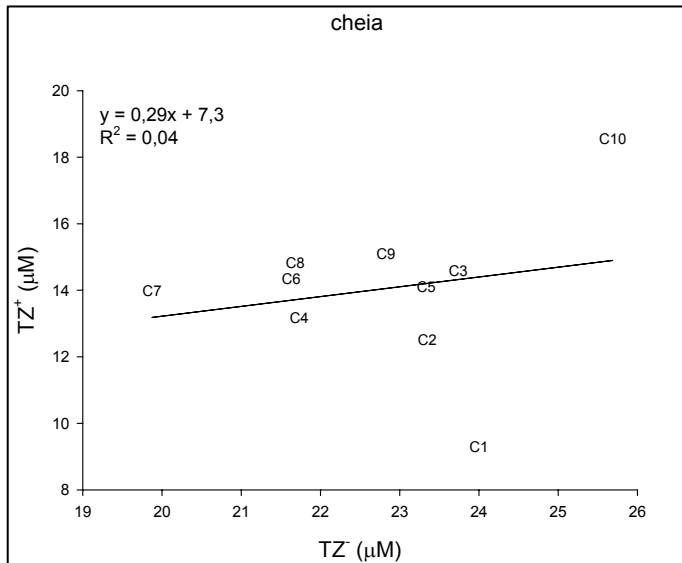
Anexo 2- Matrizes de correlação entre os principais íons dissolvidos e a condutividade elétrica de acordo com as fases da hidrógrafa (nos de cheia e enchente os íons PO<sub>3</sub><sup>2-</sup> e NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, respectivamente, não foram utilizados na análise, pois suas concentrações estiveram abaixo do limite de detecção dos métodos).



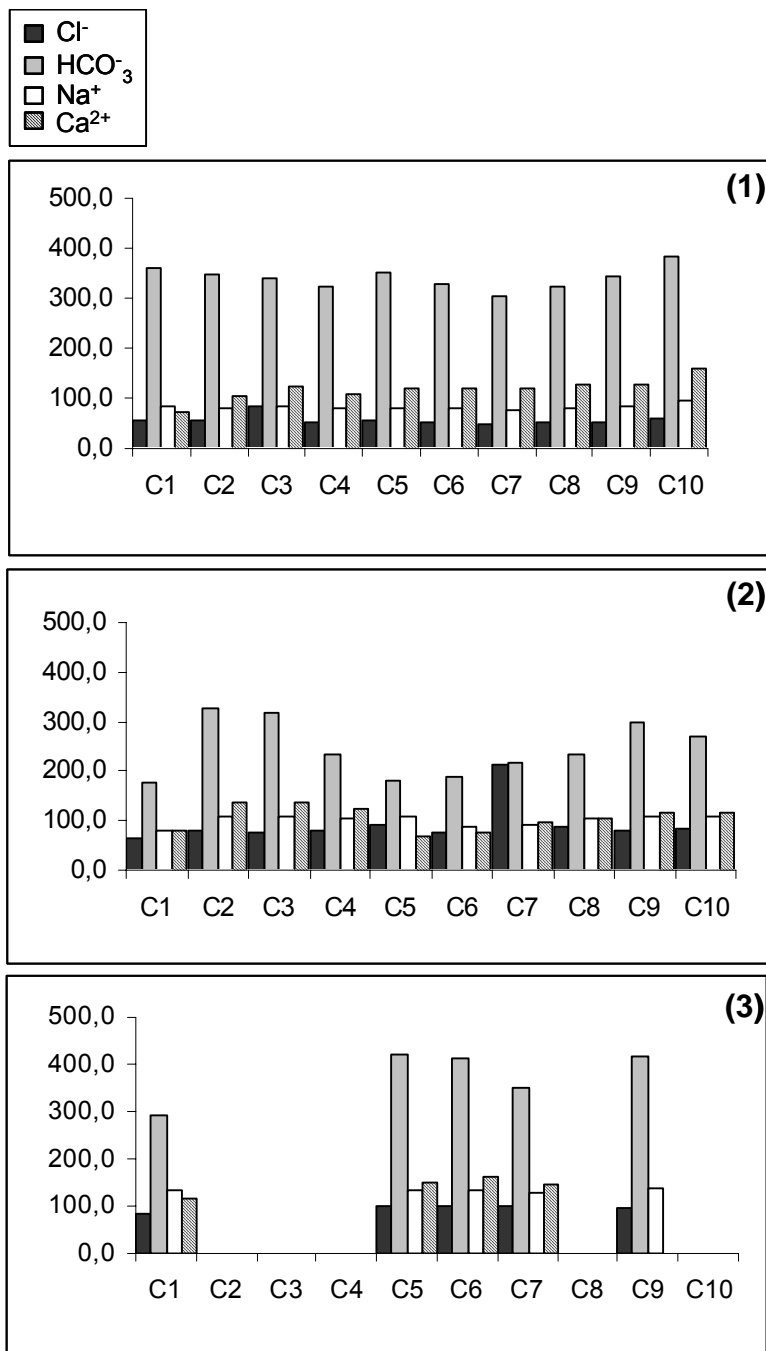
Anexo 3- Média das concentrações de sódio (Na<sup>+</sup>) e cálcio (Ca<sup>2+</sup>) das três fases da hidrógrafa nos pontos de amostragem (C1 a C10) no Lago Grande de Curuai.



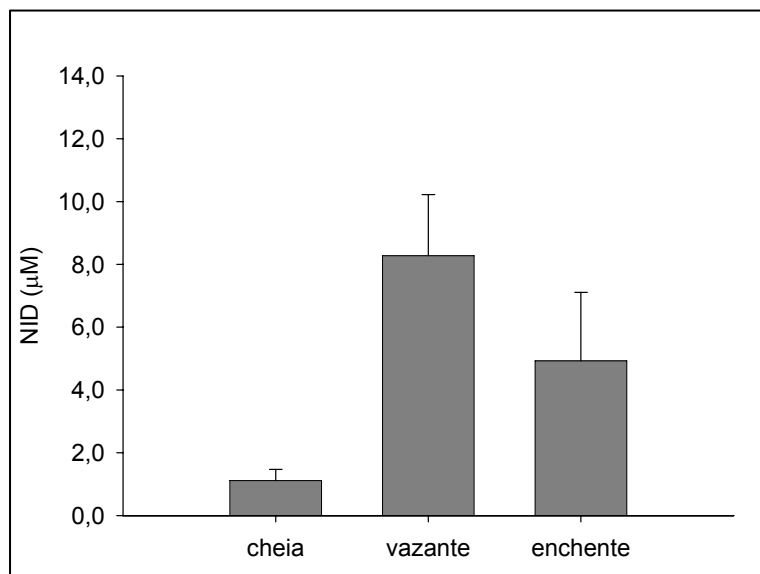
Anexo 4- Concentrações de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e cloro ( $\text{Cl}^-$ ) em  $\mu\text{M}$  - esquerda e –  $\text{mg L}^{-1}$  direita - nos locais de amostragem (C1 a C10) de acordo com as fases da hidrógrafa: cheia **(1)**, vazante **(2)** e enchente **(3)**.



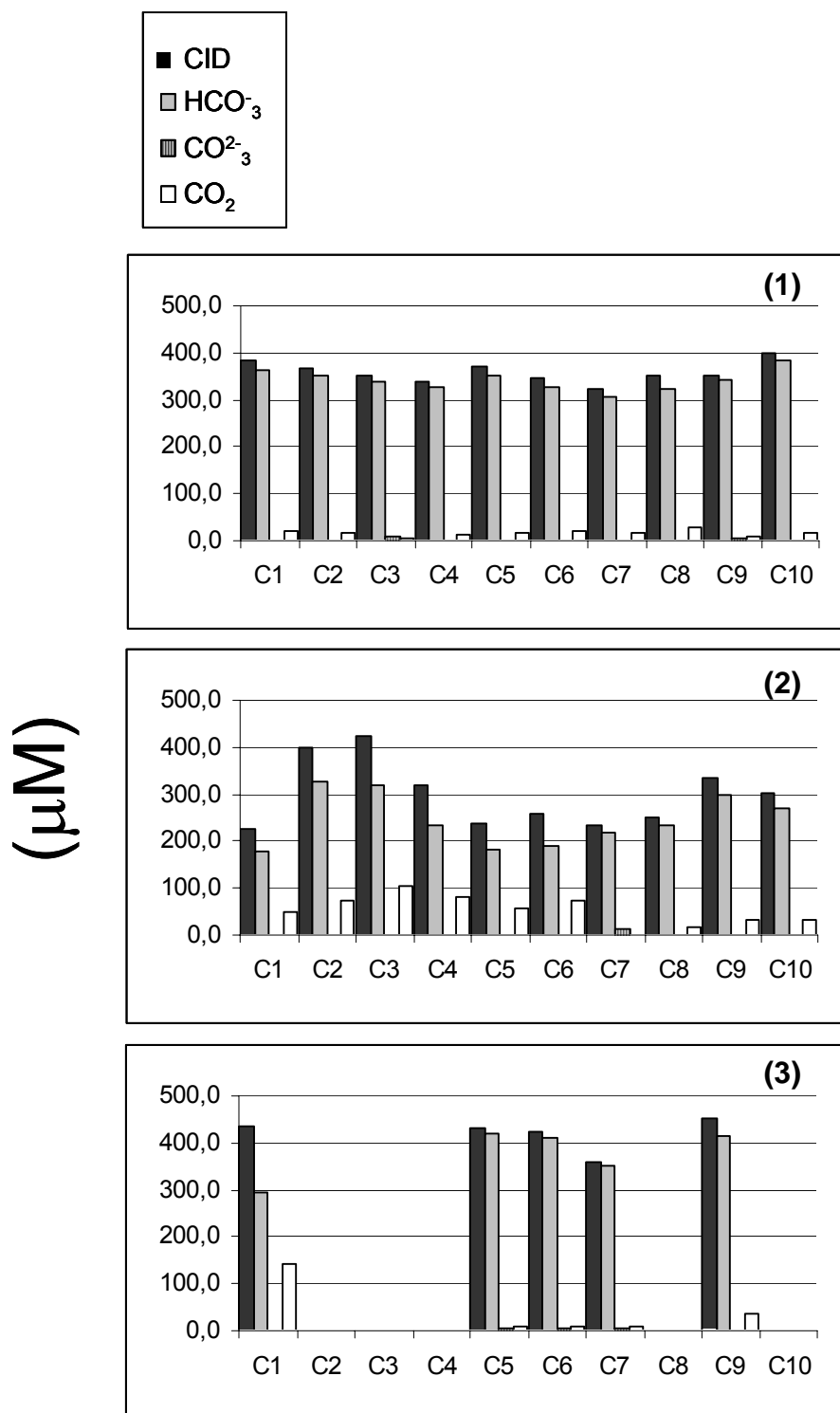
Anexo 5- Relação entre o somatório de cátions (TZ<sup>+</sup>) e ânions (TZ<sup>-</sup>) nas amostras de água do Lago grande de Curuai nas três fases da hidrógrafa.



Anexo 6- Concentrações de sódio (Na<sup>+</sup>) cálcio (Ca<sup>2+</sup>), bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e cloro (Cl<sup>-</sup>) em µM nos locais de amostragem (C1 a C10) de acordo com as fases da hidrógrafa: cheia **(1)**, vazante **(2)** e enchente **(3)**.



Anexo 7- Valores médios das concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido -NID- ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) nas três fases da hidrógrafa.



Anexo 8- Concentrações de CID,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{CO}_2$  nos locais de amostragem (C1 a C10) e de acordo com as fases da hidrógrafa: cheia (1), vazante (2) e (3) enchente.

		mg L <sup>-1</sup>																	(‰)									
	Pto	T		Cond.		OD	Cl <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	CID	COD	SFS	SGS	TSS	[δ <sup>13</sup> C]SFS	[δ <sup>13</sup> C]CID	[δ <sup>15</sup> N]SFS	C:N
		pH	(°C)	(µScm <sup>-1</sup> )	(µScm <sup>-1</sup> )																							
cheia	C1	7,8	30,4	53,7	4,4	1,96	0,02	2,98	0,17	n.d.	15,90	0,06	0,89	1,91	0,02	0,88	0,32	2,93	16,8	4,6	24,1	12,6	36,7	-25,2	-10,1	2,9	7,5	
	C2	7,9	30,4	52,1	4,5	2,04	n.d.	2,90	0,11	n.d.	15,39	0,06	0,71	1,82	n.d.	0,90	0,74	4,15	16,2	4,0	26,7	25,0	51,6	-24,8	-10,0	3,1	7,8	
	C3	8,6	30,8	50,2	4,8	3,03	n.d.	2,79	0,15	n.d.	14,98	0,33	0,13	1,93	0,02	0,94	0,83	5,02	15,4	3,9	27,9	17,7	45,6	-24,4	-10,1	2,7	7,3	
	C4	8,1	30,5	49,6	4,5	1,90	0,02	2,69	0,15	n.d.	14,32	0,09	0,46	1,83	0,02	0,92	0,82	4,38	14,9	3,9	25,9	25,6	51,5	-24,9	-9,9	2,5	7,3	
	C5	7,9	32,4	50,3	4,4	2,02	0,03	2,83	0,14	n.d.	15,52	0,07	0,67	1,84	0,02	0,97	0,89	4,75	16,3	4,1	18,0	28,2	46,2	-25,7	-9,0	3,4	7,6	
	C6	7,8	31,6	49,2	6,6	1,88	0,03	2,58	0,20	n.d.	14,39	0,04	0,91	1,84	0,02	0,98	0,91	4,85	15,3	5,5				-25,2	-10,8	3,4	7,8	
	C7	7,8	34,0	45,7	6,5	1,69	n.d.	2,32	0,14	n.d.	13,40	0,04	0,78	1,79	n.d.	0,90	0,88	4,76	14,2	4,4				-27,9	-13,9	4,6	8,6	
	C8	7,6	33,1	51,0	4,6	1,89	n.d.	2,73	0,13	n.d.	14,21	0,03	1,28	1,84	n.d.	0,95	0,93	5,08	15,5	4,1				-23,7	-10,0	2,0	7,4	
	C9	8,3	29,5	50,7	5,5	1,89	0,02	2,85	0,17	n.d.	15,07	0,15	0,27	1,91	0,02	1,00	0,96	5,12	15,5	4,2				-23,3	-10,3	2,7	7,0	
	C10	8,0	29,6	58,7	5,2	2,10	0,02	3,31	0,15	n.d.	16,81	0,07	0,67	2,24	n.d.	1,12	1,20	6,39	17,6	3,8				-25,4	-10,5	3,7	8,0	
vazante	C1	7,1	32,6	35,3	6,8	2,22	0,04	1,46	1,64	n.d.	7,81	0,01	2,13	1,85	0,08	0,89	0,60	3,24	10,0	6,2	319,9	1,4	321,3	-24,7		3,0	7,0	
	C2	7,2	30,9	54,8	4,6	2,80	0,03	2,21	1,02	n.d.	14,33	0,01	3,21	2,54	0,08	1,02	1,04	5,41	17,6	6,2	349,1	1,0	350,1	-25,1		4,6	7,8	
	C3	7,1	31,3	56,9	5,9	2,73	0,03	2,26	0,93	n.d.	14,08	0,01	4,54	2,54	0,04	1,00	1,04	5,44	18,6	5,6	363,4	1,1	364,5	-26,3		4,7	6,5	
	C4	7,0	30,6	45,7	5,1	2,90	0,04	2,14	1,12	n.d.	10,38	0,01	3,62	2,38	0,03	0,97	0,83	4,96	14,0	6,5	339,2	1,7	340,9	-23,5		4,8	6,2	
	C5	7,1	31,2	31,7	6,5	3,30	0,04	1,70	1,40	n.d.	7,97	0,01	2,44	2,47	0,06	0,99	0,48	2,82	10,4	6,7	276,5	6,8	283,3	-24,5		3,6	6,0	
	C6	7,0	31,3	26,1	6,6	2,72	0,03	1,82	1,05	n.d.	8,30	0,00	3,11	2,00	0,09	1,05	0,49	3,07	11,4	6,5	221,9	6,5	228,4	-25,3		4,3	6,3	
	C7	9,0	32,3	39,9	6,1	7,53	n.d.	1,71	1,15	n.d.	9,66	0,55	0,03	2,15	0,15	1,07	0,69	3,83	10,2	6,9	321,1	6,1	327,2	-24,5		4,8	6,1	
	C8	7,8	29,2	45,7	5,1	3,09	0,04	2,18	1,76	0,11	10,25	0,03	0,67	2,37	0,13	1,01	0,76	4,17	11,0	6,9	313,4	2,9	316,3	-25,3		3,3	6,3	
	C9	7,5	29,0	49,4	5,1	2,86	n.d.	2,18	1,14	0,12	13,17	0,02	1,48	2,54	0,03	1,05	0,84	4,75	14,7	6,3	328,3	1,2	329,5	-25,6		4,8	6,4	
	C10	7,5	29,4	47,8	6,7	2,94	n.d.	2,61	1,36	0,12	11,84	0,02	1,42	2,52	0,02	1,02	0,83	4,62	13,3	6,0	369,0	1,3	370,3	-25,4		3,1	6,2	
enchente	C1	6,9	29,2	73,2	4,0	2,99	n.d.	4,10	0,67	0,05	12,89	0,00	6,20	3,04	0,02	0,91	0,65	4,65	19,1	4,9	87,9			-27,5	-17,1	4,6	8,3	
	C2																											
	C3																											
	C4																											
	C5	8,4	30,1	73,5	6,6	3,51	n.d.	4,38	0,65	0,04	18,50	0,23	0,29	3,11	0,24	1,02	1,04	6,06	19,0	4,3	59,8	0,1	59,9	-27,3	-12,6	3,9	11,3	
	C6	8,3	29,7	72,5	6,4	3,53	n.d.	4,37	0,68	0,03	18,11	0,17	0,34	3,11	0,00	0,94	1,09	6,46	18,6	4,5	76,7	0,1	76,8	-27,6	-11,9	4,4	9,2	
	C7	8,2	28,8	65,4	6,6	3,54	n.d.	4,30	1,19	0,04	15,36	0,11	0,37	2,95	0,00	0,85	0,95	5,76	15,9	4,6	130,6	0,0	130,6	-26,7	-11,2	3,4	8,6	
	C8																											
	C9	7,6	29,2	74,5	5,6	3,45	n.d.	4,08	0,50	n.d.	18,32	0,04	1,59	3,20	0,00	1,06	1,14	n.d.	20,0	4,3	63,2	0,0	63,2	-28,4	-14,3	5,0	8,4	
	C10																											

\* n.d.: concentração não detectada pelo método utilizado.

Anexo 9- Tabela dos dados.



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)