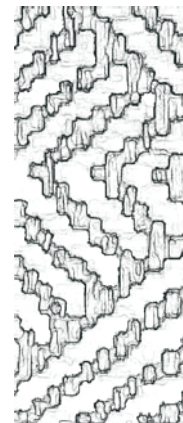


Biotupé: Meio Físico,  
Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central  
Edinaldo Nelson SANTOS-SILVA, Fábio Marques APRILE, Veridiana Vizoni SCUDELLER,  
Sérgio MELO (Orgs.),  
Editora INPA, Manaus, 2005



## Capítulo 2

## Meio Físico

# Variáveis limnológicas: contribuição ao estudo espaço-temporal de águas pretas amazônicas

Assad José DARWICH  
*ajdarwich@yahoo.com.br*

Fábio Marques APRILE  
*aprilefm@hotmail.com*

Barbara Ann ROBERTSON  
*barbara@inpa.gov.br*

*Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Pesquisas em Biologia Aquática  
Av. André Araújo 2936, Caixa Postal 470 Manaus, AM, 69060-001*

RESUMO - Durante o ciclo hidrológico 2002/2003 foram realizadas amostragens em 12 pontos de coleta ao longo da bacia do lago Tupé, incluindo os igarapés mais importantes da bacia, o meio da calha do rio Negro e o canal de conexão entre o rio e o lago. Foram mensuradas algumas variáveis ambientais, como: transparência, temperatura da água, saturação do oxigênio, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH. Com o objetivo de evidenciar as diversas características espaço-temporais presentes no lago, foram aplicadas técnicas de Análise de Agrupamento através da ligação pela média não ponderada com o coeficiente de associação da distância euclidiana ao quadrado. As maiores amplitudes de variação dos parâmetros limnológicos ocorreram durante a seca. Esta fase destacou-se ainda por apresentar as maiores concentrações de oxigênio dissolvido, em oposição aos períodos de cheia e vazante. De modo geral, os igarapés de floresta apresentaram um comportamento bastante homogêneo, principalmente com relação à temperatura da água (próxima de 28,6°C na seca e 28,5°C na cheia) e condutividade ( $5,9\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  na seca e  $10,3\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  na



Darwich *et al.*

cheia). Os resultados da análise de agrupamento mostraram que a estação localizada no rio Negro isolou-se das demais estações, revelando um comportamento hidroquímico diferenciado.

**PALAVRAS-CHAVE:** limnologia, Amazônia Central, Rio Negro, águas pretas, lago Tupé.

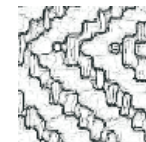
## Introdução

Grande parte dos 7,5 milhões de km<sup>2</sup> da Bacia Amazônica está situada na zona equatorial quente e úmida, com imensa heterogeneidade na vegetação, geologia, clima e na qualidade das águas naturais. Os lagos dessa região são influenciados pelo suprimento periódico de substâncias solúveis e de matéria inorgânica particulada (Darwich, 1995), com participação decisiva do pulso de inundação como força controladora da biota (Junk *et al.*, 1989). Variações espaço-temporais, ciclos sazonais e diários de variáveis limnológicas em lagos amazônicos podem apresentar grande variação e o conhecimento dessas variações pode contribuir para o entendimento de padrões de mistura e estratificação nesses ambientes. A dinâmica desses processos é responsável pela distribuição de calor, nutrientes, íons e gases dissolvidos na coluna de água. Por isso, no estudo dessas variáveis é importante considerar a fase do ciclo hidrológico, a hora do dia, o local e a profundidade da medida, bem como as condições climáticas e a localização geográfica do ambiente.

Estudos sobre mudanças sazonais e diárias de variáveis físico-químicas e químicas em lagos de várzea amazônicos, têm mostrado a imensa variabilidade hidroquímica entre eles e a importância do pulso de inundação no comportamento dessa variabilidade (Schmidt, 1972a,b; Junk, 1973; Furch *et al.*, 1983; Melack & Fisher, 1983; Furch, 1984a,b; Darwich, 1995; Kern & Darwich, 1997; Darwich *et al.*, 2003). Particularmente, lagos amazônicos de áreas inundáveis na bacia de rios de água preta estão submetidos à forças e interações semelhantes. No entanto, a resposta do

ambiente à estas forças parece também ter relação com a localização do lago em relação a margem do rio e a proteção dos ventos, o que pode implicar em padrões diferenciados de mistura da coluna de água. Dessa forma, lagos da bacia do rio Negro estão sujeitos à estas condições, além da variação de nível do rio e da afluência pela bacia lacustre. A contribuição de pequenos igarapés de floresta e da precipitação pluviométrica sobre toda a bacia do lago, exerce maior ou menor importância de acordo com a fase do ciclo hidrológico. Estudos limnológicos na bacia do lago Tupé têm mostrado ser este um lago com reduzida concentração de íons dissolvidos, baixos valores de pH e de condutividade elétrica, de difícil circulação e com estratificação térmica e de oxigênio, pelo menos em alguma fase do ciclo (Reiss, 1977; Rai & Hill, 1981; Darwich *et al.*, 2003).

Com base nesse conhecimento e no fato de ser o Tupé um lago de área inundável com margens íngremes, submetido durante a maior parte do ciclo à flutuação de nível do rio Negro, estudou-se a sua variação hidroquímica de forma a registrar padrões sazonais de variáveis limnológicas durante um ciclo hidrológico.



## Material e Métodos

Foram realizadas amostragens em 12 pontos de coleta distribuídos da seguinte forma: cinco no lago, uma na desembocadura de cada um dos cinco igarapés mais importantes da bacia, uma no canal de ligação entre o rio e o lago e outra no meio da calha do rio Negro, à montante do canal do lago (Fig. 1 e Tab. 1). As amostragens foram realizadas trimensalmente, considerando os períodos de seca (dezembro/2002), enchente (março/2003), cheia (junho/03) e vazante (setembro/03).

As amostras de água foram coletadas com uma garrafa de Ruttner. A transparência da água foi medida com um disco de Secchi ( $\phi = 30\text{cm}$ ), e os resultados foram utilizados para o cálculo da zona eufótica. As determinações limnológicas tiveram por base as recomendações do Programa Biológico Internacional para ambientes aquáticos (Golterman *et al.*, 1978; Wetzel & Likens, 2000). As medidas de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), saturação do oxigênio (%) e oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) foram obtidas através de leitura direta com um oxímetro digital modelo Oxi-197. A condutividade elétrica ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) e o potencial hidrogeniônico foram medidos com potenciômetros digitais WTW LF-197 e pH-197, respectivamente. As medidas no perfil vertical foram realizadas a cada 0,5m nos primeiros cinco metros, e depois de metro em metro até o fundo. Foi aplicada a Análise de Agrupamento (Cluster), com o objetivo de evidenciar as diversas

características espaço-temporais presentes no lago. O método empregado foi o agrupamento através da Ligação pela Média Não Ponderada, descrito primeiramente por Sneath & Sokal (1973) *apud* Statsoft (1997), com o coeficiente de associação da distância euclidiana ao quadrado.

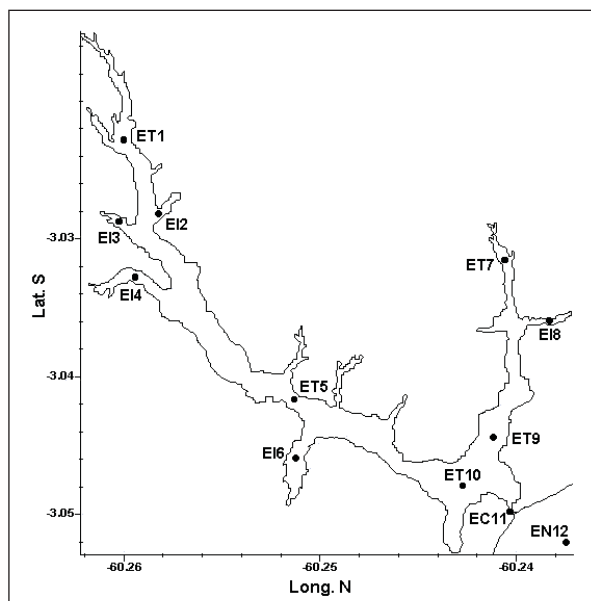


Figura 1: Mapa do lago Tupé (Manaus, AM) com os pontos de amostragem.

Tabela 1: Descrição dos pontos de amostragem no lago Tupé, igarapés e rio Negro com suas respectivas coordenadas geográficas.

Ponto	Coordenadas	Descrição
ET1	03°01'33,5"S;60°15'58,0" W	lago Tupé cabeceira maior
EI2	03°01'45,4"S;60°15'50,3" W	igarapé da Helena
EI3	03°01'47,7"S;60°16'1,6" W	igarapé das Pedras
EI4	03°01'58,7"S;60°16'1,2" W	igarapé da Cachoeira
ET5	03°02'17,5"S;60°15'44,0" W	lago Tupé entre Cachoeira e Monteiro
EI6	03°02'26,0"S;60°15'42,0" W	igarapé do Monteiro
ET7	03°02'17,1"S;60°15'45,3" W	lago Tupé cabeceira menor
EI8	03°02'10,3"S;60°14'57,5" W	igarapé Terra Preta
ET9	03°02'28,0"S;60°15'12,0" W	lago Tupé braço menor
ET10	03°02'35,4"S;60°15'17,5" W	lago Tupé estação central
EC11	03°02'47,8"S;60°15'12,8" W	canal de conexão
EN12	03°02'46,5"S;60°15'13,1" W	rio Negro em frente ao lago



## Resultados e Discussão

A profundidade do lago Tupé varia de acordo com o nível do rio Negro. Quando o nível do rio está abaixo da cota 19m a.n.m., não há qualquer influência deste sobre o lago, sendo que as águas que correm pelo canal de conexão passam a ser exclusivamente oriundas do ecossistema lacustre, procedentes dos igarapés de floresta. Apesar da vazão da água do lago para o rio, o nível do lago permanece entre 4,5 e 5,0m no período de seca. Nesta época, a pequena variação na profundidade do lago é o resultado do equilíbrio entre a precipitação e a contribuição de pequenos igarapés da bacia do lago *versus* a evaporação e o escoamento pelo canal de ligação com o rio. No pico da cheia (cota do rio em torno de 29m a.n.m.) a profundidade do lago na estação central varia entre 14 e 15m.

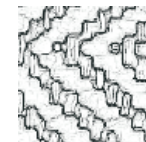
Fundamentalmente, essas modificações ambientais são responsáveis pelas principais mudanças hidroquímicas no lago Tupé. O pulso de inundação influencia diretamente a transparência da água do lago, a qual pode atingir valores de até 1,5m em uma coluna de água de 4,5m. Dessa forma, o lago apresenta uma zona eufótica assim como os igarapés, nos quais a transparência equivale à profundidade máxima, com 0,6m em média. Na cheia os igarapés apresentaram profundidade média de 10m com transparência entre 1,1 e 1,3m, enquanto que o lago e o rio apresentam transparências equivalentes e em torno de 1,0 m.

Os resultados da análise limnológica são referentes a medições realizadas durante os períodos de enchente (março), cheia (junho), vazante (setembro) e seca (dezembro) do ciclo 2003. Os resultados apresentados referem-se às medidas de tendência central na coluna de água para as variáveis temperatura, saturação do oxigênio, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH (Figs. 2 a 6 e Tabs. 2 a 6).

As temperaturas médias determinadas ao longo das estações do lago Tupé e rio Negro para o ciclo hidrológico 2002/2003 estão apresentadas na Tabela 2 e Figura 2. Na seca a temperatura variou de 24,8°C a 32,0°C, sendo que

a temperatura das águas dos igarapés ficou sensivelmente abaixo da temperatura das águas do lago. A maior variação nesse período foi detectada na estação central (ET10) com uma amplitude de 4,5°C. Apesar disso, os desvios padrão ficaram abaixo de 1,6, mostrando que tal amplitude não foi significativamente marcante. Na fase de enchente a temperatura variou entre 27,8°C e 30,9°C, uma diferença de 3,1°C. A maior amplitude foi de 3,0°C, detectada na estação ET1, e a menor 0,1°C na estação localizada no rio Negro (EN12). Na cheia a temperatura média da coluna de água variou de 24,4°C a 32,0°C. Nesse período de maior contribuição das águas do rio Negro para o lago, ocorreram as maiores amplitudes médias da temperatura. A maior diferença entre a máxima e a mínima foi detectada no igarapé das Pedras (EI3), com uma amplitude de 6,3°C. A menor amplitude foi determinada no rio Negro, com temperatura média de 30,0°C  $\pm$  0,1, mostrando um padrão bastante homogêneo de suas águas para esta variável. Na vazante a temperatura variou de 27,2°C a 33,6°C. A maior variação pontual 6,1°C, foi detectada na estação EC11, no canal que liga o lago ao rio Negro, seguida pela estação central com 5,6°C. Considerando o ciclo hidrológico como um todo, as temperaturas mais elevadas foram determinadas durante a fase de enchente, seguida pela fase de vazante.

O oxigênio dissolvido indica o grau de arejamento da água. É um impor-



tante indicativo da qualidade da água além de ser um dos parâmetros mais monitorados pelos órgãos ambientais. A presença de oxigênio dissolvido nos ecossistemas aquáticos é vital para a manutenção da vida dos organismos aeróbios, e o teor de oxigênio varia principalmente em função da temperatura e transparência.

Os percentuais de saturação e os teores de oxigênio dissolvido aferidos durante o ciclo hidrológico estão apresentados nas Figuras 3 e 4 e Tabelas 3 e 4. Em média, a percentagem de saturação do oxigênio oscilou entre 0,8% e 135,6% durante a seca, o que representa uma variação em concentração entre 0,1 e 10,0mg.L<sup>-1</sup>. A maior variação pontual de saturação foi determinada na estação central (ET10) com 123,7%. Durante a fase de enchente, a saturação do oxigênio variou entre 0,4% (0,0mg.L<sup>-1</sup>) e 88,5% (4,6mg.L<sup>-1</sup>). A maior variação pontual ocorreu no igarapé da Cachoeira (EI4), com uma amplitude de 86,0% ou 6,4mg.L<sup>-1</sup>. Em três estações do lago, ET5, ET9 e ET10, e no igarapé do Monteiro (EI6), foram determinadas em uma ou mais profundidades concentrações pontuais equivalentes a 0,0mg.L<sup>-1</sup>, caracterizando, momentaneamente, o ambiente como anóxico. Os maiores percentuais médios do oxigênio durante a fase de cheia foram observados no rio Negro, com 40,1% ou 3,1mg.L<sup>-1</sup>, seguidos pela estação do canal (EC11) no lago Tupé com 29,8% ou 2,3mg.L<sup>-1</sup>. No período de cheia os percentuais de saturação variaram de 0,3% a 81,8%, sendo que estes valores representam também a maior

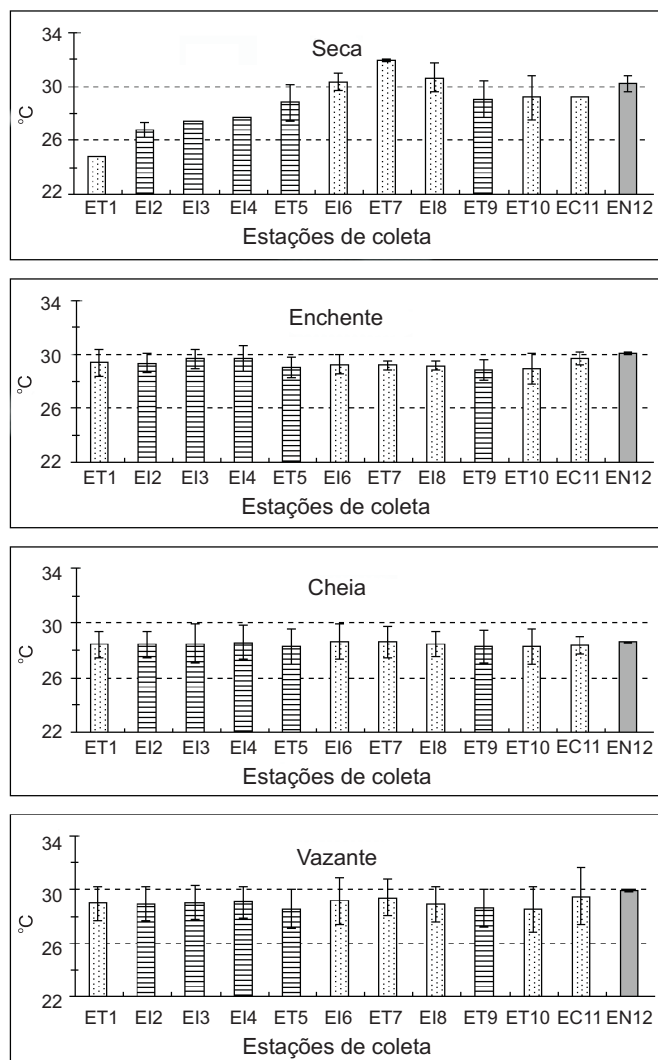


Figura 2: Variação espacial da temperatura média na coluna de água de estações do lago Tupé, igarapés e rio Negro durante ciclo hidrológico de 2002/2003.

amplitude pontual (81,5%), ocorrida na estação ET7. No período de vazante os maiores percentuais médios foram determinados nas estações localizadas no rio Negro (56,5% ou 4,25mg.L<sup>-1</sup>) e no canal de comunicação (EC11) com 27,6% ou 2,01mg.L<sup>-1</sup>. No outro extremo, os menores percentuais médios foram determinados na estação central (14,3% ou 1,05mg.L<sup>-1</sup>). Ao longo do ciclo

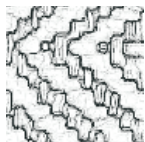


Tabela 2: Variação da temperatura média na bacia do lago Tupé e rio Negro.

	ET1	EI2	EI3	EI4	ET5	EI6	ET7	EI8	ET9	ET10	EC11	EN12
<b>Seca</b>												
<b>média</b>	24,8	26,8	27,4	27,7	28,8	30,4	32	30,7	29,1	29,2	29,2	30,2
<b>desvio</b>	0	0,6	0	0	1,3	0,6	0,1	1,1	1,3	1,6	0	0,6
<b>C.V.</b>	0	2,1	0	0	4,6	2,1	0,2	3,5	4,6	5,6	0	2,1
<b>mínimo</b>	24,8	26,4	27,4	27,7	27,1	29,9	31,9	29,9	27,5	27,3	29,2	29,8
<b>máximo</b>	24,8	27,2	27,4	27,7	30,9	30,8	32	31,4	31,4	31,8	29,2	31,2
<b>variação</b>	0	0,8	0	0	3,8	0,9	0,1	1,5	3,9	4,5	0	1,4
<b>Enchente</b>												
<b>média</b>	29,4	29,3	29,6	29,7	29	29,3	29,2	29,2	28,8	28,9	29,7	30,1
<b>desvio</b>	1	0,7	0,7	1	0,8	0,7	0,3	0,3	0,8	1,1	0,5	0,1
<b>C.V.</b>	3,3	2,4	2,4	3,2	2,6	2,3	1,1	1,1	2,7	3,8	1,6	0,2
<b>mínimo</b>	27,8	28,3	28,5	28,4	28	28,3	28,5	28,6	27,8	27,8	29	30
<b>máximo</b>	30,8	30,5	30,6	30,9	30	30	29,4	29,4	29,7	30,7	30,3	30,1
<b>variação</b>	3	2,2	2,1	2,5	2	1,7	0,9	0,8	1,9	2,9	1,3	0,1
<b>Cheia</b>												
<b>média</b>	28,4	28,4	28,5	28,6	28,3	28,7	28,6	28,5	28,3	28,3	28,3	28,6
<b>desvio</b>	1	0,9	1,4	1,2	1,3	1,3	1,1	0,9	1,2	1,3	0,6	0
<b>C.V.</b>	3,4	3,3	5,1	4,3	4,6	4,6	4	3,3	4,2	4,6	2,3	0,1
<b>mínimo</b>	27,2	27,2	24,4	27,2	26,9	27,2	27,3	27,2	27	26,9	27,2	28,6
<b>máximo</b>	30,4	30,6	30,7	32	32	32	31,7	30,6	31	31,6	29	28,7
<b>variação</b>	3,2	3,4	6,3	4,8	5,1	4,8	4,4	3,4	4	4,7	1,8	0,1
<b>Vazante</b>												
<b>média</b>	29	28,9	29	29	28,6	29,2	29,4	28,9	28,6	28,5	29,5	30
<b>desvio</b>	1,3	1,2	1,3	1,2	1,4	1,7	1,4	1,3	1,4	1,7	2,1	0,1
<b>C.V.</b>	4,5	4,3	4,4	4,2	5	5,9	4,7	4,6	4,9	5,9	7,1	0,3
<b>mínimo</b>	27,6	27,6	27,6	27,6	27,2	27,5	27,9	27,5	27,3	27,2	27,5	29,9
<b>máximo</b>	30,7	30,6	30,6	30,6	30,7	31,8	31,3	30,8	31,1	32,8	33,6	30,1
<b>variação</b>	3,1	3	3	3	3,5	4,3	3,4	3,3	3,8	5,6	6,1	0,2

C.V. = coeficiente de variação

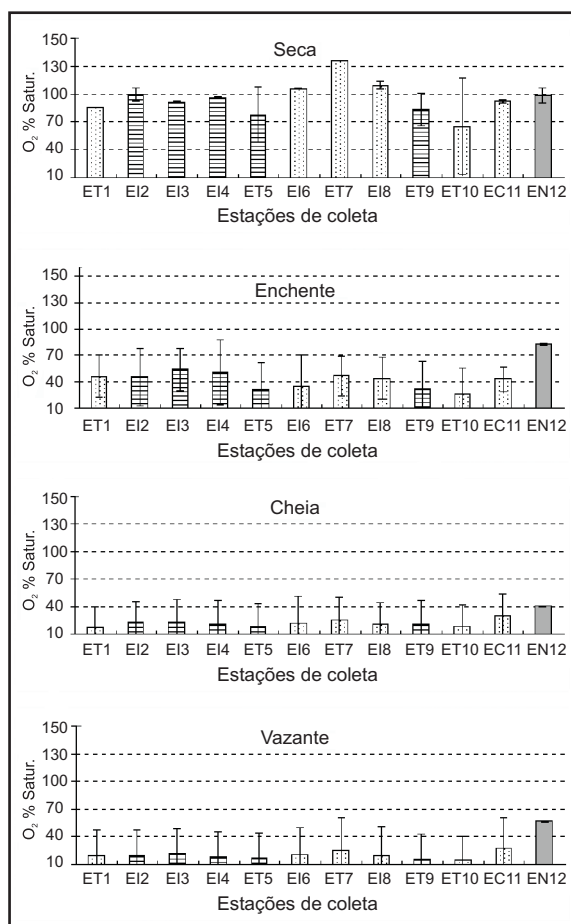
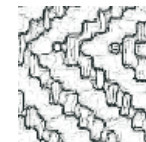


Figura 3: Variação espacial do percentual de saturação do oxigênio médio na coluna de água de estações do lago Tupé, igarapés e rio Negro durante ciclo hidrológico de 2002/2003.

hidrológico as maiores amplitudes de variação ocorreram no período de seca, sendo que a maior variação pontual foi observada na estação ET10 (123,7%) e, a maior variação espacial ocorreu entre as estações ET7 e ET10, com uma amplitude de 134,8% ou 9,9mg.L<sup>-1</sup>. O período de seca foi marcado por apresentar as maiores concentrações de oxigênio dissolvido,

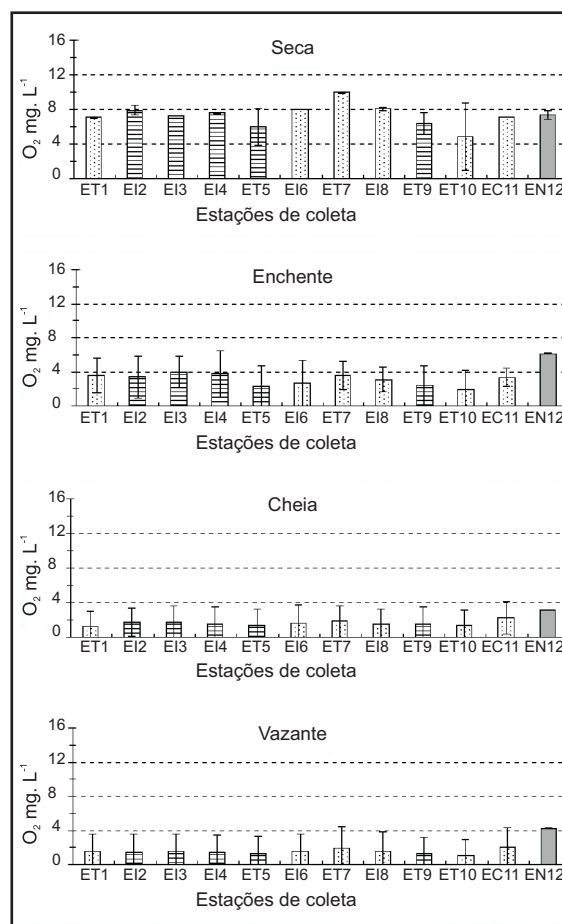


Figura 4: Variação espacial do oxigênio dissolvido médio na coluna de água de estações do lago Tupé, igarapés e rio Negro durante ciclo hidrológico de 2002/2003.

em oposição aos períodos de cheia e vazante, que apresentaram os menores teores dessa variável.

Os valores de condutividade elétrica medidos durante o ciclo hidrológico estão apresentados na Figura 5 e Tabela 5. Em valores médios, durante a fase de seca a condutividade foi maior na estação ET1 com 8,6 $\mu$ S.cm<sup>-1</sup>, e menor na estação ET7 com 3,7 $\mu$ S.cm<sup>-1</sup>. Esses valores corresponderam também a maior amplitude de variação da condutividade no período. A maior variação pontual ocorreu na estação ET10 com 4,6 $\mu$ S.cm<sup>-1</sup>. Os igarapés, de

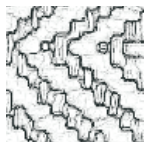


Tabela 3: Variação da percentagem de saturação do oxigênio média na bacia do lago Tupé e rio Negro.

	ET1	EI2	EI3	EI4	ET5	EI6	ET7	EI8	ET9	ET10	EC11	EN12
<b>Seca</b>												
<b>média</b>	85,5	99,4	91,6	96,5	78	105,9	135,5	109	83,7	65	92,2	97,9
<b>desvio</b>	0,1	6,9	0,6	0,5	29,4	0,8	0,1	4	17,5	52,1	1,4	8,2
<b>C.V.</b>	0,1	7	0,7	0,5	37,7	0,8	0,1	3,6	20,9	80,1	1,5	8,3
<b>mínimo</b>	85,4	94,5	91,1	96,1	40,4	105,3	135,4	106,2	61,4	0,8	91,2	90,3
<b>máximo</b>	85,5	104,3	92	96,8	111,3	106,5	135,6	111,8	103,7	124,5	93,2	109,2
<b>variação</b>	0,1	9,8	0,9	0,7	70,9	1,2	0,2	5,6	42,3	123,7	2	18,9
<b>Enchente</b>												
<b>média</b>	46	45,5	53,7	50,6	30,7	34,9	46,5	43,8	31,6	25,8	42,8	82,2
<b>desvio</b>	23,8	32,6	24,1	36,7	31,2	35,6	22,5	24,3	31,3	30,1	13,7	1,2
<b>C.V.</b>	51,8	71,6	44,9	72,5	101,4	102	48,5	55,4	99,1	116,6	32,1	1,4
<b>mínimo</b>	16	2,7	16,4	1,9	0,5	0,5	4,2	12	0,5	0,4	22,5	80,7
<b>máximo</b>	78,5	78,7	80,1	87,9	73,4	76,5	61,8	88,5	67,9	67,9	58,1	83,4
<b>variação</b>	62,5	76	63,7	86	72,9	76	57,6	76,5	67,4	67,5	35,6	2,7
<b>Cheia</b>												
<b>média</b>	17,6	23,5	22,5	20,1	18,8	21,9	25,1	20,1	20,7	17,8	29,8	40,1
<b>desvio</b>	21,8	22,2	25,7	26,9	24	29,1	24,6	23,9	26,5	23,9	24,3	0,2
<b>C.V.</b>	123,7	94,4	114,4	133,5	127,9	133,1	98,1	119,3	128	134,2	81,5	0,5
<b>mínimo</b>	1	0,9	0,9	0,9	1	0,9	0,3	0,7	0,7	0,8	0,8	39,9
<b>máximo</b>	66,7	72,6	67,7	80,2	73,2	81,1	81,8	76,5	77	74	59,1	40,4
<b>variação</b>	65,7	71,7	66,8	79,3	72,2	80,2	81,5	75,8	76,3	73,2	58,3	0,5
<b>Vazante</b>												
<b>média</b>	19,7	19,3	21,3	18,8	17,4	20,5	25,6	19,9	16,3	14,3	27,6	56,5
<b>desvio</b>	27,5	28,6	27,7	26	26,4	29	35,3	31,1	26,5	25,8	32,8	0,4
<b>C.V.</b>	139,3	148,2	130,4	138,8	151,9	141	137,7	156,6	162,6	180,3	118,8	0,7
<b>mínimo</b>	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	55,8
<b>máximo</b>	67,2	69,5	63,5	61,2	62,5	68,5	80	77,2	74	74,7	80,6	56,9
<b>variação</b>	66	68,3	62,2	59,9	61,3	67,3	78,8	76	72,8	73,6	79,4	1,1

C.V. = coeficiente de variação



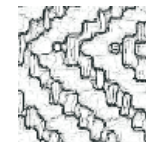
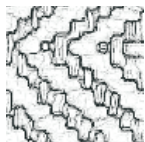


Tabela 4: Variação da concentração de oxigênio dissolvido média na bacia do lago Tupé e rio Negro.

	ET1	EI2	EI3	EI4	ET5	EI6	ET7	EI8	ET9	ET10	EC11	EN12
<b>Seca</b>												
<b>média</b>	7,1	7,9	7,3	7,6	6	8	10	8,1	6,4	4,9	7,1	7,4
<b>desvio</b>	0	0,5	0	0	2,1	0	0	0,2	1,2	3,8	0	0,5
<b>C.V.</b>	0,4	6,7	0,3	0,5	35,8	0,2	0,3	2,3	19,1	78,9	0,5	7,2
<b>mínimo</b>	7,1	7,6	7,2	7,6	3,1	8	9,9	8	4,9	0,1	7,1	6,9
<b>máximo</b>	7,1	8,3	7,3	7,6	8,5	8	10	8,3	7,7	9,1	7,2	8,1
<b>variação</b>	0	0,8	0	0	5,4	0	0	0,3	2,8	9,1	0	1,2
<b>Enchente</b>												
<b>média</b>	3,6	3,4	4	3,8	2,3	2,6	3,5	3,1	2,4	1,9	3,3	6,2
<b>desvio</b>	2	2,5	1,8	2,7	2,3	2,7	1,7	1,4	2,4	2,2	1,1	0,1
<b>C.V.</b>	57,4	72,9	45,5	72,5	102,6	102,7	47,5	46,7	99,4	117,2	31,7	1,1
<b>mínimo</b>	0,6	0,2	1,2	0,1	0	0	0,5	0,9	0	0	1,6	6,1
<b>máximo</b>	5,9	5,9	6	6,5	5,5	5,8	4,7	4,6	5,2	5,1	4,3	6,2
<b>variação</b>	5,3	5,7	4,7	6,4	5,5	5,8	4,2	3,7	5,1	5	2,7	0,1
<b>Cheia</b>												
<b>média</b>	1,3	1,7	1,7	1,5	1,4	1,6	1,8	1,5	1,5	1,3	2,3	3,1
<b>desvio</b>	1,7	1,7	1,9	2	1,8	2,1	1,8	1,8	2	1,8	1,9	0
<b>C.V.</b>	126,8	95,7	113,5	132,3	127,4	132	97,8	118	127,9	132,6	81,1	0,4
<b>mínimo</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	3,1
<b>máximo</b>	5,1	5,6	5,1	5,9	5,3	5,9	6	5,5	5,7	5,4	4,5	3,1
<b>variação</b>	5	5,5	5	5,8	5,3	5,8	5,9	5,4	5,6	5,3	4,5	0
<b>Vazante</b>												
<b>média</b>	1,5	1,4	1,6	1,4	1,3	1,5	1,9	1,5	1,2	1	2	4,3
<b>desvio</b>	2,1	2,1	2,1	2	2	2,1	2,6	2,3	2	1,9	2,4	0
<b>C.V.</b>	138,6	148	133,4	138,7	152,3	139,6	138,3	155,7	162	179,9	117,3	0,8
<b>mínimo</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	4,2
<b>máximo</b>	5,1	5,1	4,8	4,6	4,7	5	5,9	5,7	5,5	5,4	5,7	4,3
<b>variação</b>	5	5	4,7	4,5	4,6	4,9	5,8	5,6	5,4	5,3	5,6	0,1

C.V. = coeficiente de variação



modo geral, apresentaram as menores amplitudes para essa variável, e um comportamento mais homogêneo, fato confirmado pelos menores valores de desvio padrão (Tab. 4). Na enchente, a maior concentração média foi aferida no rio Negro (EN12) com  $8,2\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , e a menor no igarapé da Cachoeira (EI4) com  $7,1\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . A amplitude de variação nesse período foi de  $6,1\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $8,5\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , e a maior amplitude pontual foi determinada na estação EI4  $2,3\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Durante a fase de cheia, a maior condutividade média foi determinada, mais uma vez, no rio Negro  $10,8\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Nesse período, a condutividade elétrica variou em média de  $9,1\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (EI4) à  $11,4\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  nas estações EI8 e ET10. A maior variação pontual ficou por conta da estação EI8 com  $1,7\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Na fase de vazante, o menor valor médio foi detectado na estação ET1 com  $7,9\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e o maior valor na estação EI8 com  $10,3\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . A amplitude de variação durante a vazante ficou entre  $6,8\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e  $12,6\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . A maior variação pontual ocorreu no igarapé Terra Preta (EI8) com  $5,3\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Durante todo o ciclo hidrológico, a condutividade apresentou uma variação pouco significativa, com desvios-padrão sempre inferiores a 2,5 (Tab.5).

Os valores de pH medidos durante o ciclo hidrológico estão apresentados na Figura 6 e Tabela 6. Durante a fase de seca o pH apresentou uma amplitude que variou de 3,89 a 5,95. Nesse período, o maior valor médio foi medido no rio Negro (EN12) 5,23, e o menor valor médio na estação próxima

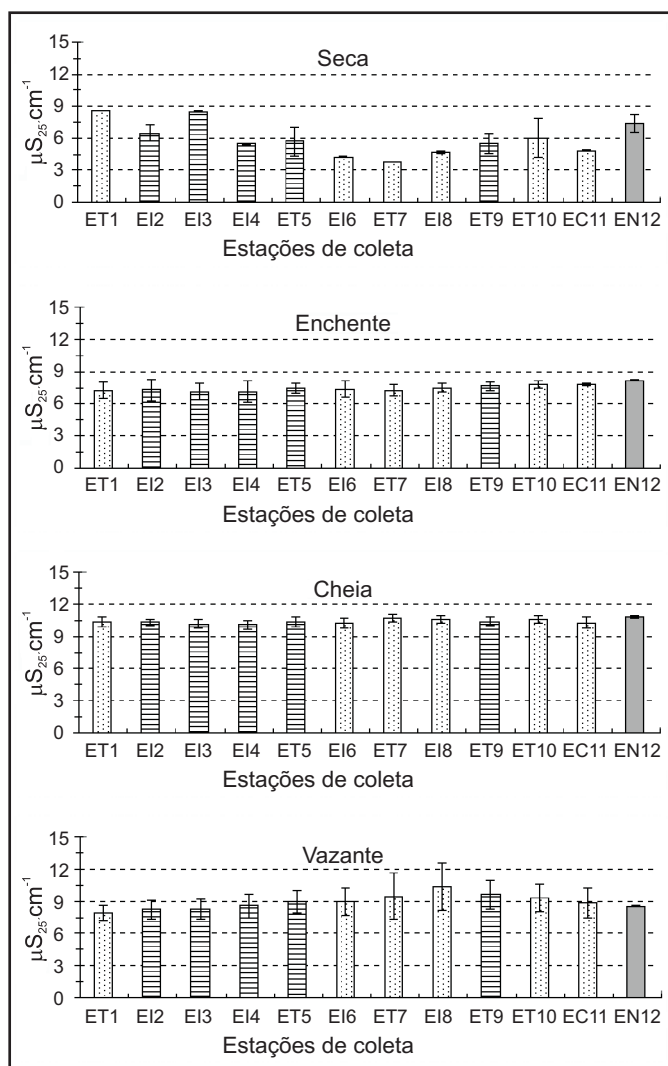


Figura 5: Variação espacial da condutividade média na coluna de água de estações do lago Tupé, igarapés e rio Negro durante ciclo hidrológico de 2002/2003.

no canal de conexão entre o rio e o lago, estação EC11, com 3,95. Os valores não apresentaram grandes variações espaço-temporais, sendo que a maior variação pontual foi encontrada na estação EN12 com 0,99. Na fase de enchente a variação espacial ficou entre 3,05, aferido na ET10, e 4,67 no igarapé da Cachoeira (EI4). A maior variação pontual foi encontrada na ET10 com 1,36.

O lago Tupé apresenta características típicas de águas

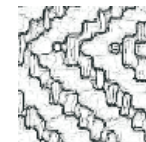


Tabela 5: Variação da condutividade elétrica média na bacia do lago Tupé e rio Negro.

	ET1	EI2	EI3	EI4	ET5	EI6	ET7	EI8	ET9	ET10	EC11	EN12
<b>Seca</b>												
<b>média</b>	8,6	6,5	8,45	5,45	5,7	4,25	3,7	4,7	5,49	6,02	4,85	7,42
<b>desvio</b>	0	0,7	0,1	0,1	1,3	0,1	0	0,1	0,9	1,8	0,1	0,8
<b>C.V.</b>	0	10,9	0,8	1,3	23,4	1,7	0	3	16,5	30	1,5	10,8
<b>mínimo</b>	8,6	6	8,4	5,4	4,4	4,2	3,7	4,6	4,6	3,9	4,8	6,4
<b>máximo</b>	8,6	7	8,5	5,5	8	4,3	3,7	4,8	6,9	8,5	4,9	8,1
<b>variação</b>	0	1	0,1	0,1	3,6	0,1	0	0,2	2,3	4,6	0,1	1,7
<b>Enchente</b>												
<b>média</b>	7,24	7,31	7,13	7,13	7,44	7,38	7,23	7,5	7,63	7,78	7,8	8,15
<b>desvio</b>	0,8	1	0,8	1	0,5	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1
<b>C.V.</b>	10,6	13,5	11,1	14,1	6,7	10,1	7,2	5,1	4,9	4,4	1,2	0,7
<b>mínimo</b>	6,3	6,3	6,3	6,1	6,7	6,5	6,9	7,1	7,2	7,3	7,7	8,1
<b>máximo</b>	8,4	8,5	8,3	8,4	8	8,4	8,2	7,9	8,3	8,2	7,9	8,2
<b>variação</b>	2,1	2,2	2	2,3	1,3	1,9	1,3	0,8	1,1	0,9	0,2	0,1
<b>Cheia</b>												
<b>média</b>	10,35	10,29	10,17	10,08	10,34	10,27	10,7	10,61	10,4	10,62	10,27	10,84
<b>desvio</b>	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,1
<b>C.V.</b>	4,1	3,3	4,4	3,9	4,8	4,5	3,8	3,4	4,2	3,5	5,1	1,2
<b>mínimo</b>	9,5	9,4	9,4	9,1	9,8	9,4	9,6	9,7	9,7	10,1	9,7	10,6
<b>máximo</b>	11,1	10,8	10,6	10,5	11,2	10,9	11,1	11,4	11,2	11,4	11,1	11
<b>variação</b>	1,6	1,4	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5	1,7	1,5	1,3	1,4	0,4
<b>Vazante</b>												
<b>média</b>	7,9	8,2	8,3	8,57	8,94	8,97	9,43	10,34	9,61	9,31	8,84	8,5
<b>desvio</b>	0,7	0,9	0,9	1,1	1,1	1,3	2,1	2,2	1,4	1,3	1,4	0,1
<b>C.V.</b>	8,5	10,6	11	12,7	12,1	14,4	22,8	21	14,3	13,5	15,3	0,7
<b>mínimo</b>	6,8	6,8	7	7,1	7,2	7	6,8	7,3	7,2	7	7,1	8,4
<b>máximo</b>	8,6	9	9,3	10,1	10	10,2	12	12,6	11,2	10,9	10,5	8,6
<b>variação</b>	1,8	2,2	2,3	3	2,8	3,2	5,2	5,3	4	3,9	3,4	0,2

C.V. = coeficiente de variação



pretas com pH ácido (Rai & Hill, 1981). Na cheia o maior pH médio foi aferido na estação ET7 com 4,31, e o menor valor na estação ET10 com 3,93. A maior amplitude encontrada foi de 3,42 para 4,72, sendo que a maior variação pontual foi de 1,20 na estação ET1. O período de vazante apresentou valores de pH que variaram, em média, de 4,15 a 5,02. O maior valor médio de pH foi determinado na estação do igarapé da Helena (EI2) com 4,71. Já a maior variação pontual ocorreu na estação a montante da central na estação ET5 com 0,76. As maiores variações do pH ocorreram entre os períodos de enchente e cheia, enquanto que durante a vazante o pH se apresentou dentro da faixa do pH 4,0 em todas as estações. Os desvios-padrão calculados para o ciclo ficaram sempre abaixo de 0,4 (Tab. 6), indicando uma boa representatividade dos valores médios para cada estação.

Os resultados da Análise de Agrupamento para as variáveis limnológicas estão apresentados na Figura 7. A classificação hierárquica evidenciou dois grandes grupos de pontos de amostragem. Destacaram-se com forte similaridade um primeiro grupo, que reúne os pontos dos igarapés de floresta (igarapé da Helena, das Pedras, da Cachoeira, do Monteiro e Terra Preta) associados ao ponto ET1, e aos pontos ET7 e EC11, que apesar de mostrarem-se mais isolados, foram agregados a esse grupo a uma distância matricial inferior a 2,9 unidades. O agrupamento das estações localizadas nos igarapés revela uma homogeneidade das condições limnológicas para

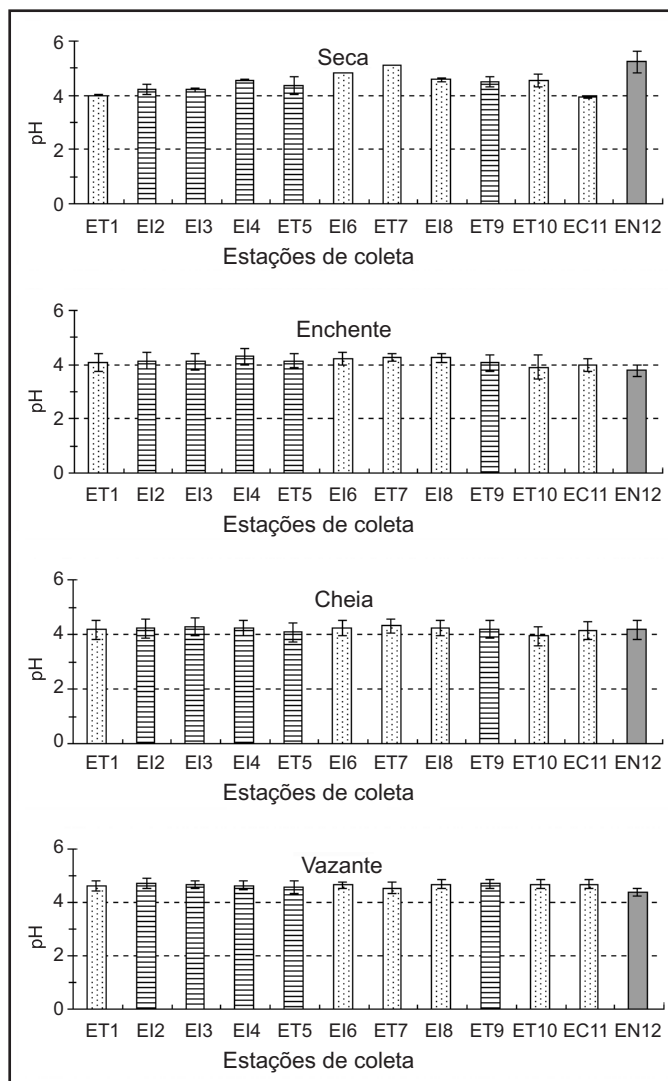


Figura 6: Variação espacial do pH médio na coluna de água de estações do lago Tupé, igarapés e rio Negro durante ciclo hidrológico de 2002/03.

esse tipo de sistema hídrico. No entanto, chama-se a atenção para a forte similaridade espacial da estação ET1, localizada no extremo superior do braço maior do lago, com os pontos dos igarapés. Provavelmente, pela sua distância das demais estações do lago, a estação ET1 apresenta características químicas e físico-químicas mais próximas de águas de igarapés de floresta. Em uma

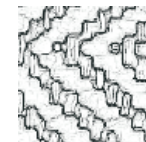
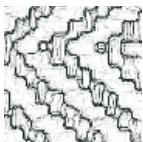


Tabela 6: Variação do pH médio na bacia do lago Tupé e rio Negro.

	ET1	EI2	EI3	EI4	ET5	EI6	ET7	EI8	ET9	ET10	EC11	EN12
<b>Seca</b>												
<b>média</b>	4,01	4,22	4,2	4,57	4,37	4,83	5,1	4,58	4,49	4,54	3,95	5,23
<b>desvio</b>	0	0,2	0,1	0	0,3	0	0	0,1	0,2	0,2	0	0,4
<b>C.V.</b>	0,2	4,9	1,3	0,3	7,3	0,1	0,1	1,7	4,3	5,3	1,1	7,8
<b>mínimo</b>	4	4,07	4,16	4,56	3,89	4,82	5,09	4,52	4,19	4,26	3,92	4,96
<b>máximo</b>	4,01	4,36	4,24	4,58	4,8	4,83	5,1	4,63	4,78	4,98	3,98	5,95
<b>variação</b>	0,01	0,29	0,08	0,02	0,91	0,01	0,01	0,11	0,59	0,72	0,06	0,99
<b>Enchente</b>												
<b>média</b>	4,06	4,14	4,12	4,29	4,14	4,24	4,25	4,25	4,07	3,9	4	3,78
<b>desvio</b>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,4	0,2	0,2
<b>C.V.</b>	8	7,2	7,5	6,7	6,2	5,5	3,5	3,5	7,3	11,4	5,7	5,6
<b>mínimo</b>	3,67	3,65	3,59	3,88	3,51	3,89	4,01	4,02	3,28	3,05	3,74	3,43
<b>máximo</b>	4,63	4,47	4,57	4,67	4,48	4,61	4,48	4,47	4,46	4,41	4,27	3,96
<b>variação</b>	0,96	0,82	0,98	0,79	0,97	0,72	0,47	0,45	1,18	1,36	0,53	0,53
<b>Cheia</b>												
<b>média</b>	4,16	4,21	4,26	4,24	4,08	4,25	4,31	4,23	4,18	3,93	4,15	4,16
<b>desvio</b>	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
<b>C.V.</b>	8,7	8,1	7,8	6,6	8,6	6,6	5,6	6,4	8	9	7,8	8,4
<b>mínimo</b>	3,5	3,64	3,66	3,72	3,48	3,73	3,81	3,73	3,6	3,42	3,69	3,43
<b>máximo</b>	4,7	4,66	4,72	4,58	4,51	4,63	4,62	4,59	4,64	4,45	4,59	4,44
<b>variação</b>	1,2	1,02	1,06	0,86	1,03	0,9	0,81	0,86	1,04	1,03	0,9	1,01
<b>Vazante</b>												
<b>média</b>	4,61	4,71	4,67	4,64	4,58	4,65	4,54	4,69	4,7	4,67	4,68	4,38
<b>desvio</b>	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>C.V.</b>	4,1	3,7	2,9	3,8	5,5	2,4	4,4	3,2	3,7	3,6	3,4	3,5
<b>mínimo</b>	4,31	4,5	4,53	4,37	4,15	4,46	4,22	4,49	4,37	4,34	4,41	4,16
<b>máximo</b>	4,93	5,02	4,91	4,91	4,91	4,79	4,72	4,93	4,94	4,94	4,84	4,57
<b>variação</b>	0,62	0,52	0,38	0,54	0,76	0,33	0,5	0,44	0,57	0,6	0,43	0,41

C.V. = coeficiente de variação



Darwich *et al.*

primeira avaliação dos resultados, pode se entender que as estações amostrais localizadas no canal de conexão (EC11) e no extremo superior do braço menor do lago (ET7), foram incluídas neste grupo pela forte similaridade entre si ou com os demais elementos, mas o conhecimento das características geomorfológicas da região, descritas em Aprile *et al.* (2005, neste volume), mostra exatamente o contrário, que tais pontos são bastante distintos em suas condições ambientais. Dessa forma, conclui-se que a agregação desses pontos baseia-se não em sua similaridade, mas no fato destes se diferenciarem em termos limnológicos das demais estações do lago. Com uma distância matricial inferior a 6,9, o segundo grupo destaca-se pela agregação dos pontos ET5, ET9 e ET10. Trata-se de um grupo formado pelas estações localizadas na área mais aberta do lago, com maior circulação das águas, e maiores profundidades médias. Nesse grupo está incluído a estação Et10, denominada de estação central pela sua equidistância dos extremos do lago. A estação EN12 isolou-se das demais estações, esse fenômeno é explicado pelo fato de que essa estação é a única com características lóxicas, que a diferenciam das demais estações monitoradas.

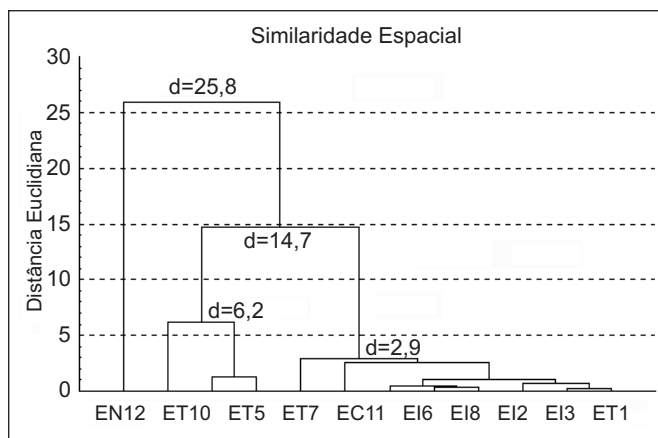
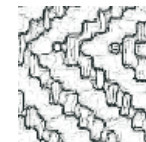


Figura 7: Dendrograma de Similaridade Espacial das estações de amostragem do lago Tupé para o ciclo hidrológico de 2002/03.

## Conclusões

De modo geral, ao longo do ciclo hidrológico as maiores amplitudes de variação dos parâmetros limnológicos ocorreram durante o período de seca. O período de seca destacou-se por apresentar as maiores concentrações de oxigênio dissolvido, em oposição aos períodos de cheia e vazante. As estações localizadas nos igarapés de floresta apresentaram um comportamento bastante homogêneo, principalmente com relação as variáveis temperatura e condutividade elétrica, fato evidenciado na análise de agrupamento. O sistema lântico apresenta características típicas de águas pretas com pH ácido e baixa condutividade. Os resultados da análise de agrupamento mostraram que a estação localizada no rio Negro (EC12) isolou-se das demais estações, revelando um comportamento hidroquímico diferenciado das estações do lago Tupé.



## Bibliografica Citada

- Aprile, F. M., Darwich, A. J. 2005. Modelos geomorfológicos para o lago Tupé In: Santos-Silva, E. N.; Aprile, F. M.; Scudeller, V. V.; Melo, S. (Orgs.), *BioTupé: meio físico, diversidade biológica e sociocultural do baixo rio Negro Amazônia central*. Editora INPA, Manaus, AM.
- Darwich, A. J. 1995. *Processos de decomposição de Echinochloa polystachya (H. B. K.) Hitchcock (Gramineae = Poaceae), capim semi-aquático da várzea amazônica*. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Universidade do Amazonas (INPA/UA), Manaus (AM). 327pp.
- Darwich, A. J.; Aprile, F. M.; Robertson, B. A. 2003. Estratificação térmica em um lago de água preta amazônico: uma questão equatorial. *IX Congresso Brasileiro de Limnologia - CBL 2003*. Universidade Federal de Juiz de Fora UFJF. Juiz de Fora (MG), 20-25.julho.2003. CD-ROM, N.39.
- Furch, K. 1984a. Seasonal variation of the major cation content of the várzea-lake Lago Camaleão, middle Amazon, Brazil, in 1981 and 1982. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22:1288-1293.
- Furch, K. 1984b. Water chemistry of the Amazon basin. The distribution of chemical elements among freshwaters, In: H. Sioli (ed.). *The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dr. W. Junk Publ. Dordrecht, Boston, Lancaster. P.167-199.
- Furch, K.; Junk, W. J.; Dieterich, J.; Kochert, N. 1983. Seasonal variation in the major cation (Na, K, Mg and Ca) content of the Water of Lago Camaleão, in Amazonian floodplain-Lake near Manaus, Brazil. *Amazoniana*, 8(1):75-89.
- Golterman, H. L.; Clymo, R. S.; Ohnstad, M. A. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. 2nd ed. IBP Handbook, n° 8. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Edinburgh London Melbourne. 214pp.
- Junk, W. J. 1973. Investigations on the ecology and production-biology of the "floating meadows" (*Paspalo-Echinochloetum*) on the Middle Amazon. II. The aquatic fauna in the root zone of floating vegetation. *Amazoniana*, 4(1):9-102.
- Junk, W. J.; Bayley, P. B.; Sparks, R. E. 1989. *The flood pulse concept in river-foodplain systems*, In: D. P. Dodge (ed.). Proceedings of the International Large River Symposium. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106.p. 110-127.
- Kern, J.; Darwich, A. J. 1997. Nitrogen turnover in the várzea. In: Junk, W. J. (ed). *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. Ecological Studies, Vol. 126. Cap. 6; p.119-135.
- Melack, J. M.; Fisher, T. R. 1983. *Diel variations and ecological implications in Amazon foodplain lakes*. *Arch. Hydrobiol.*, 98(4): 422-442.
- Rai, H.; Hill, G. 1981. Physical and chemical studies of lago Tupé; a Central Amazonian Black Water,, Ria Lake. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 66(1):37-82.
- Reiss, F. 1977. Qualitative and quantitative investigations on the macrobenthic fauna of Central Amazon Lakes. I. Lago Tupé, a black water lake on the lower Rio Negro. *Amazoniana*, 2:203-235.
- Schmidt, G. W. 1972a. Seasonal changes in water chemistry of a tropical lake (Lago do Castanho, Amazonia, South America). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 18:613-621.
- Schmidt, G. W. 1972b. Chemical properties of some waters in the tropical rain-forest region of Central Amazonia along the new road Manaus-Caracarái. *Amazoniana*, 3(2):199-207.
- Statsoft, Inc. 1997. *Statistica for Windows* Computer program manual. Tulsa, OK, EUA.
- Wetzel, R. G.; Likens, G. E. 2000. *Limnological Analysis*. W. B. Saunders Co. Philadelphia. 357pp.

