

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

**CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DE QUATRO LAGOS SUBTROPICAIS RASOS
COM DIFERENTES TIPOLOGIAS TRÓFICAS (RIO GRANDE, RS)**

Leonardo Marques Furlanetto

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Biologia de Ambientes Aquáticos
Continentais para obtenção do
Título de Mestre em Biologia de
Ambientes Aquáticos Continentais

Rio Grande, Maio de 2009



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS
LABORATÓRIO DE LIMNOLOGIA – ICB



**CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO DE QUATRO LAGOS SUBTROPICAIS RASOS
COM DIFERENTES TIPOLOGIAS TRÓFICAS (RIO GRANDE, RS)**

Aluno: Biólogo Leonardo Marques Furlanetto
Orientador: Dr. Cleber Palma – Silva

Rio Grande, Maio de 2009

Dedico este trabalho...

Aos meus pais, João e Nilza, um exemplo a ser seguido, um porto seguro repleto de amor, alegria, paciência e persistência dedicados na minha criação e de meus irmãos.

A toda minha família, a Bruna em especial, aos meus irmãos, Luciano, Lucia e Ligia, que além de irmãos são um exemplo de esforço e determinação que quero e devo sempre seguir.

De tanto ver triunfar as nulidades,
De tanto ver prosperar a desonra,
De tanto ver crescer a injustiça,
De tanto ver agigantarem-se
os poderes nas mãos dos maus,
O homem chega a desanimar-se da virtude,
A rir-se de honra
A ter vergonha de ser honesto

(Ruy Barbosa)

Se meus joelhos
Não doessem mais
Diante de um bom motivo
Que me traga fé...
Se por alguns segundos eu observar
E só observar
A isca e o anzol...
Ainda assim estarei
Pronto pra comemorar
Se eu me tornar
Menos faminto
E curioso...
O mar escuro
Trará o medo
Lado a lado
Com os corais
Mais coloridos...
Se eu ousar catar
Na superfície
De qualquer manhã
As palavras
De um livro
Sem final!
Valeu a pena
Sou pescador de ilusões

Pescador de Ilusões
O Rappa
Composição: O Rappa

AGRADECIMENTOS

A FURG em especial ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, pela oportunidade oferecida no desenvolvimento deste trabalho, em especial aos professores, pelos ensinamentos e oportunidades.

A CAPES pela concessão da bolsa.

Ao Laboratório de Limnologia - ICB pela logística, oferecida para o desenvolvimento das pesquisas.

Ao Professor Dr. Cleber Palma Silva, pela orientação e oportunidades de crescimento, pelos conselhos, amizade, e conhecimentos que levarei para sempre, independente de onde esteja.

À Professora Dra. Edelti Faria Albertoni (Kika), que desde a minha entrada no laboratório, sempre esteve presente, aconselhando e mostrando a maneira correta de se fazer e agir.

A toda equipe do Laboratório de Limnologia da FURG, alunos e técnicos (**amigos**), pela colaboração prestada deste o início até o final dos trabalhos.

Ao laboratório de Limnologia de UFRJ pela ajuda e realização das análises. Em especial aos amigos Claudião e Marquinho, conselheiros e gurus das causas sedimentológicas e metanogênicas.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica, na figura do professor Lauro Calliari e das técnicas Neuza e Glória pela ajuda e paciência para a realização da análise granulométrica.

Aos sempre amigos, antigos colegas, Claudio Rossano, companheiro de coletas e de assuntos e futebolísticos. A dupla, Toninho e Birinha, amigos para todas as horas, a lara pela ajuda na arrancada deste trabalho, ao Rodrigo pelos debates estatísticos. À Patrícia, sempre pronta para ajudar, conversar e “teimar com qualquer coisa”. A todos os colegas do PPG-BAC pela amizade nesse período de nossas vidas.

A todos aqueles que, de uma forma ou outra, mesmo que involuntariamente, contribuíram para a realização deste desafio.

RESUMO

O sedimento exerce um importante papel na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, funcionando como fonte ou sumidouro de nutrientes, que apresentam relação com o estado trófico. Este estudo tem como objetivo caracterizar e comparar o sedimento de quatro lagos rasos subtropicais, com diferentes características tróficas (Lago dos Biguás, Negro, Polegar e Centro Esportivo II), localizados no município de Rio Grande no *Campus* Carreiros da Universidade Federal do Rio Grande - FURG. A caracterização foi realizada através de perfis verticais (n=5) dos 10 primeiros centímetros do sedimento de cada um dos lagos. Cada perfil foi seccionado em seis frações de um e dois centímetros (0-1, 1-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10 cm) e caracterizadas quanto a composição granulométrica, as concentrações de nutrientes (CT, NT e PT), metano (CH₄) e matéria orgânica (M.O.). A variação temporal foi realizada durante o ano de 2008, com amostragens realizadas nos períodos de verão, outono, inverno e primavera, sendo coletadas as frações (0-2 e 2-4 cm) e determinadas as concentrações de nutrientes (NT, PT), CH₄, M.O. (n=5). Neste período também foram acompanhadas as características da coluna da água. O sedimento dos quatro lagos é predominantemente composto por areia nas seis frações. As maiores concentrações de nutrientes e M.O. e CH₄ foram encontradas, principalmente na primeira fração do Lago Negro ambiente que recebe elevada contribuição de materiais alóctones, seguido pelo Lago dos Biguás, que apresenta grande produção autóctone. Os Lagos Centro Esportivo II e Polegar, considerados oligotróficos, apresentaram as menores concentrações de M.O., nutrientes e CH₄ em todas as frações. Foram observadas diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) entre as frações superficiais e mais profundas do Lago Negro (CT, NT e PT), Lagos dos Biguás (CT, NT e PT), Lago Polegar (CT) e Lago do Centro Esportivo II (NT). As diferenças entre os lagos foram significativas ($p < 0,05$) entre as duas frações superficiais do Lago Negro quando comparado aos Lagos Polegar e Centro Esportivo II. As frações mais profundas apresentaram diferenças entre o Lago dos Biguás e Centro Esportivo II. As concentrações de CH₄ foram diferentes entre o Lago Negro e o Lago Centro Esportivo II ($p < 0,05$). Em cada data amostral as concentrações de NT e PT nas frações superficiais acompanharam o estado trófico do ambiente, sendo que o NT na primeira fração sempre apresentou os maiores valores, enquanto que o PT não seguiu um padrão definido. As concentrações de CH₄ mais elevadas, ao longo do ano, ocorreram predominantemente no Lago dos Biguás, na primeira fração. Nos Lagos Polegar, Centro

Esportivo II e Negro houve predomínio das concentrações de CH₄ mais elevadas na segunda fração. A matéria orgânica e a variação nas concentrações de oxigênio dissolvido e na temperatura são fatores determinantes na elevação das concentrações de nutrientes e CH₄, sugerindo que a concentração de CH₄ pode ser um bom indicador do aporte alóctone e autóctone de materiais, bem como da eutrofização em lagos rasos do extremo sul do Brasil.

Palavras chaves: sedimento, perfil vertical, metano, carbono, nitrogênio e fósforo, lago raso.

ABSTRACT

The sediments play an important role in the dynamics of aquatic ecosystems, both as a sink and source of nutrients, thereby strongly influencing lake trophic status. The aim of this study was to characterize the sediment and analyze the spatial and temporal sequence of the organic matter deposition above the sediment and the variation of methane and nutrients concentrations in four small subtropical shallow lakes with different trophic states. The lakes are located in southern Brazil, at the Carreiros Campus of the Universidade Federal do Rio Grande (city of Rio Grande, state of Rio Grande do Sul). The particle size and organic matter composition as well as nutrient and methane concentrations were determined by the vertical profile of sediment (10 centimeters) collected on 16 and 17 January 2008 with a core sampler model. The samples were sliced into six subsamples (0-1, 1-2, 2-4, 4-6, 6-8 and 8-10 cm) of one and two centimeters each. The total carbon (TC), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) concentrations in the Negro Lake were predominantly the highest. The lowest concentrations were found in the Polegar and Centro Esportivo II Lakes. The methane concentrations were high in the superficial fractions in the Negro and Biguás Lakes; but the methane concentrations did not vary significantly among the profiles ($p < 0.05$). Between January 2008 and December 2008, three monthly samples were collected to analyze the seasonal variation of the superficial sediment (4 centimeters). The highest and lowest nutrients concentrations varied in each lake. The highest nutrient concentrations were found in summer in all lakes. The highest methane concentrations were found in the Biguás Lake. Thus, summer concentrations were the highest ones. The lowest methane concentrations were found in the Centro Esportivo II and Polegar Lakes. The methane concentration in the superficial sediment was the

highest in summer when the organic matter (O M) was high. The methane concentration in the superficial fraction at the sediment varied significantly ($p < 0,05$) between winter and summer in the Biguás Lake. The Negro Lake showed significant difference ($p < 0,05$) between autumn and winter as well as between spring and autumn. The Centro Esportivo II and Polegar Lakes showed significant difference ($p < 0,05$) between winter and summer as well as between summer and autumn. Therefore, it is possible to conclude that, in the lakes, trophic state influences the concentrations of methane and nutrients in the sediment. Moreover, the variations in atmospheric factors, temperature and oxygen concentration in the water column, and the organic matter, are related to the concentrations of nutrients and methane in the sediment. And the methane concentrations are a good indicator of a trophic status in southern Brazilian shallow lakes.

Keep Words: sediment, vertical profile, methane, carbon, nitrogen, phosphorus, shallow lakes and nutrients.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
1 - INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1-Objetivos	5
1.2-Área de estudo	6
2-MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1- Procedimento de campo	8
2.3- Procedimentos de laboratório	10
2.4- Análise da água	12
2.5- Análises estatísticas	14
3- RESULTADOS	15
3.1- Concentração de metano e nutrientes (C, N e P) ao longo de perfis verticais	15
3.1.1- Variáveis abióticas da coluna da água	15
3.1.2- Características granulométricas e classificação da textura	16
3.1.3- Porcentagem de Matéria Orgânica	17
3.1.4- Concentração de Carbono Total , Nitrogênio Total e Fósforo Total	19
3.1.5- Concentração de Metano	25

3.2- Variação sazonal nas concentrações de metano matéria orgânica e nutrientes (N e P) nas frações superficiais do sedimento	28
3.2.1- Variáveis Meteorológicas	28
3.2.2- Variação sazonal da temperatura e oxigênio da coluna da água	28
3.2.3- Concentração de NT e PT no sedimento e variáveis da coluna d'água	29
3.2.3- Clorofila-a na coluna da água	34
3.2.4- Matéria Orgânica	34
3.2.6- Concentração de metano	35
4- DISCUSSÃO	38
4.1- Concentração de metano e nutrientes (C, N e P) ao longo de perfis verticais	38
4.2- Variação sazonal nas concentrações de metano matéria orgânica e nutrientes (N e P) na camada superficial do sedimento	43
5- CONCLUSÕES	58
6-BIBLIOGRAFIA	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo no <i>Campus Carreiros</i> da FURG	6
Figura 2: Representação esquemática do material e do procedimento de coleta de sedimento: A. Tubo de acrílico; B. 1. haste de PVC, 2. fracionador, 3. Rolha; C. frações de sedimento e potes de coleta com identificação	9
Figura 3: Perfil vertical das concentrações de matéria orgânica (%) no sedimento os quatro lagos analisados	18
Figura 4: Perfil vertical das concentrações de carbono total (CT) (mmol.g^{-1}) no sedimento dos quatro lagos analisados	20
Figura 5: Perfil vertical das concentrações de nitrogênio total (NT) (mmol.g^{-1}), no sedimento dos quatro lagos analisados	21
Figura 6: Perfil vertical das concentrações de fósforo total (PT) ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) no sedimento dos quatro lagos analisados	23
Figura 7: Perfil vertical das concentrações de Metano ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) no sedimento dos quatro lagos analisados	26
Figura 8: Análise de componentes principais das concentrações de CH_4 , matéria orgânica (%M.O.), nutrientes (CT, NT, PT), composição granulométrica (areia, silte e argila) das diferentes frações (1, 2, 3, 4, 5, 6) dos quatro lagos investigados ((●)= Biguás, (□)= Negro, (◇) = Polegar, (▲) = Centro Esportivo II)	27
Figura 9: Médias sazonais e desvio padrão das concentrações de nitrogênio total em cada fração do sedimento (mmol.g^{-1}) e na coluna da água (mmol.L^{-1}) em cada um dos quatro lagos: A. Lagos dos Biguás, B. Lago Negro, C. Lago Polegar e D. Lago Centro Esportivo II	30
Figura 10: Médias e desvio padrão da variação sazonal das concentrações de fósforo total em cada fração do sedimento ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) e na coluna da água ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) em cada um dos quatro lagos: A. Lagos dos Biguás, B. Lago Negro, C. Lago Polegar e D. Lago Centro Esportivo II	32
Figura 11: Médias sazonais (verão, outono, inverno e primavera) e desvio padrão das concentrações de clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna d'água em cada um dos quatro lagos	34

Figura 12: Variação sazonal das concentrações de metano ($\mu\text{mol CH}_4 \text{ L}^{-1}$) no sedimento de cada um dos lagos nas diferentes estações do ano. Os eixos verticais principais estão em escala logarítmica de base 10 (Log_{10}). **A.** Lagos dos Biguás, **B.** Lago Negro, **C.** Lago Polegar e **D.** Lago Centro Esportivo II 37

Figura 13: Análise de componentes principais das concentrações de nutrientes NT, PT e CH_4 e M.O, e variáveis da coluna da água (NT, PT) chl-*a* dos quatro lagos investigados (Biguás=B, Negro=N, Polegar=P, Centro Esportivo II (● = verão; ▲ = outono; ○ = inverno; ◇ = primavera) 38

LISTA DE TABELAS

Tabela I: Variáveis abióticas da coluna da água dos quatro lagos estudados	15
Tabela II: Análise granulométrica, média dos valores (%) expressos em perfis verticais de cada um dos quatro lagos analisados	17
Tabela III: Correlação de Spearman's (r_s) entre as concentrações de Carbono Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total, em cada um dos quatro lagos analisados, (*) correlação significativa $p < 0,05$ ($n=30$)	24
Tabela IV: Relação de C: N: P entre as concentrações de Carbono Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total, no sedimento de cada um dos quatro lagos	25
Tabela V: Dados meteorológicos, médias sazonais e desvio padrão, entre parêntese, valores máximos e mínimos (MAX / MIN) de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e velocidade do vento (m/s) e as taxas médias de precipitação	28
Tabela VI: Variação sazonal nas concentrações de oxigênio dissolvido $\text{mg.O}_2 \text{ L}^{-1}$ (OD) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$), na superfície e no fundo da coluna d'água em cada um dos quatro lagos	29
Tabela VII: Variação sazonal da relação NT: PT no sedimento e na água dos quatro lagos analisados	33
Tabela VIII: Porcentagem de matéria orgânica (%) nas duas frações da camada superficial da coluna sedimentar dos quatro lagos em cada uma das estações do ano	35

1- INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos são formados por diferentes compartimentos (coluna d'água e sedimento), que sofrem variações quanto às concentrações de nutrientes, composição e abundância da biota (Hecky et al., 1993). O compartimento sedimentar pode funcionar como fonte ou sumidouro dos materiais que aportam nos ambientes aquáticos, ou seja, estes materiais ao se depositarem sobre o sedimento podem ficar retidos neste compartimento ou serem liberados para a coluna da água, quando sob condições favoráveis (Carmouze, 1994; Abe et al., 2005). A sequência de deposição destes materiais, diferenciados quanto à origem (alóctone e/ou autóctone) e composição química (orgânica e/ou inorgânica), determina as diferenças entre as camadas que formam o sedimento. A análise desta sequência de deposição é uma ferramenta para a compreensão das alterações ocorridas tanto no interior como no entorno dos ecossistemas aquáticos, pois as alterações temporais ficam registradas nas camadas da coluna sedimentar (Margalef, 1986; Tolentino et al., 1986; Petrucio & Faria, 1998; Findlay, et al., 1998; Kristensen, 2000; Almeida & Rocha, 2006; Mozeto & Soares, 2006).

A primeira camada da coluna sedimentar, também denominada fração superficial, recente ou biológica, apresenta pouca espessura, está em contato direto com a coluna d'água e geralmente apresenta condições redutoras mais intensas do que na água sobrejacente (Esteves, 1998; Baumgarten et al., 2001). A camada mais profunda ou camada permanente é caracterizada pelas baixas concentrações de oxigênio dissolvido e matéria orgânica, além de apresentar uma textura rígida e pouca atividade biológica, exceto a ação de bactérias anaeróbicas (Esteves, 1998).

A caracterização do sedimento é um instrumento de grande utilidade para se avaliar a participação deste compartimento na qualidade d'água, pois as concentrações de nutrientes encontradas no sedimento podem ser refletidas na coluna d'água (Petrucio et al., 1997; Esteves, 1998; Almeida & Rocha, 2006; Mozeto & Soares, 2006). Entretanto, não basta analisar apenas as características do sedimento; a composição química da coluna d'água e da água intersticial também devem ser consideradas, para que se possa delinear quali-quantitativamente o intercâmbio e o equilíbrio ecológico entre os diferentes compartimentos que formam os ecossistemas aquáticos (Mozeto & Rocha, 2006; Baumgarten et al., 2001).

A ressuspensão do sedimento pode ser a principal fonte de matéria orgânica, nutrientes e produtos do metabolismo bentônico para a coluna d'água (Ogilvie &

Mitchell, 1998). Os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem tanto na coluna d'água como no sedimento, determinam as interações sedimento-coluna da água (Wetzel, 1981; Tuominen et al., 1999; Burger et al., 2007) e as condições climáticas e as características geológicas da região também podem intensificar estas trocas (Coutinho & Barbosa, 1986). Outros fatores também podem interferir sobre as trocas entre estes compartimentos, tais como: o volume de água intersticial (Margaleff, 1986; Baumgarten et al., 2001), o tamanho e o grau de compartimentalização das partículas que compõem o sedimento (Mozeto, 2004; Gonçalves, 2006; Mozeto & Soares, 2006), a turbulência e a hidrodinâmica (Cole et al., 2007; Scheffer e Jeppensen, 2007), o aporte de materiais alóctones e autóctones (Nixdorf & Deneke, 1997), a abundância e o hábito de vida dos macroinvertebrados bentônicos (Tuominen et al., 1999; Leal et al., 2003; Leal et al., 2007), as variações sazonais na temperatura e na incidência luminosa, crescimento das comunidades vegetais e atividades microbianas (Wetzel 1981; Klump & Martens, 1989; Søndergaard et al., 1990; Carmouze, 1994; Chapelle, 1995; Berelson et al., 1998; Kristensen, 2000; Baumgarten et al., 2001; Cavenaghi, et al., 2003), além da baixa profundidade da coluna da água, que pode tornar mais perceptível estas interações (Gleizon et al., 2003).

As concentrações de nutrientes na coluna da água e no sedimento podem refletir o estado trófico dos ambientes aquáticos. Segundo Esteves (1983), os trabalhos de Naumann (1930), foram pioneiros e fundamentais no que se refere à utilização das características do sedimento como critério para diferenciar lagos quanto ao grau de trofia. Os ambientes com baixas concentrações de nutrientes e matéria orgânica no sedimento foram característicos de ambientes oligotróficos. Em contrapartida, os sedimentos ricos matéria orgânica, principalmente de origem autóctone e com elevadas concentrações de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, foram característicos de ambientes eutrofizados (Esteves, 1983).

O acúmulo de matéria orgânica sobre o sedimento favorece o estabelecimento de condições propícias para a liberação de produtos do metabolismo bentônico para a coluna da água, além da retenção de determinados nutrientes no sedimento (Burger et al., 2007). Por exemplo, a estocagem do fósforo no sedimento depende de uma série de fatores interligados, dentre estes as concentrações de oxigênio dissolvido, o aporte e a quantidade de matéria orgânica, assim como o conteúdo de ferro, alumínio, manganês, cálcio e argila, entre outros parâmetros e processos, que interferem sobre a capacidade de liberação e estocagem deste nutriente no sedimento (Søndergaard et al, 1996; Burger et al., 2007; Das et al., 2009). O fósforo retido no sedimento, ao ser

liberado para a coluna da água, é suficiente para a ocorrência de *blooms*. O aumento da biomassa fitoplanctônica proporciona a elevação da turbidez da água, que pode causar sombreamento sobre as macrófitas submersas, provocando modificações na estrutura trófica dos lagos, pois as macrófitas oferecem abrigo para a zooplâncton. Desta forma, o controle top-down do zooplâncton sobre o fitoplâncton pode ser afetado (Søndergaard et al., 2003, Xie et al., 2003).

A presença e a decomposição de macrófitas aquáticas também podem contribuir com a elevação das concentrações de nitrogênio no sedimento (Oliveira, 1995). Este nutriente está disponível no sedimento principalmente nas formas de nitrogênio orgânico (Norg.), nitrato dissolvido e gás nitrogênio e amônio (NH_4^+). A elevação nas taxas de degradação da matéria orgânica tende a aumentar a liberação de NH_4^+ para a coluna da água, forma de nitrogênio predominante liberada do sedimento (Blackburn & Henriksen, 1983; Tuominen et al., 1999; Liikanen et al., 2003; Burguer et al., 2007).

O aporte de material alóctone tem como uma de suas conseqüências a elevação das concentrações de ácidos húmicos, que provocam a redução do pH da água e das taxas de decomposição da matéria orgânica, além de serem ricos em radicais nitrogenados e carbonatados (Wetzel, 1981; Petrucio & Faria, 1998).

Os processos de decomposição da matéria orgânica realizados pelos microorganismos aeróbicos e/ou anaeróbicos acarretam na liberação de compostos inorgânicos, ou seja, a variação nas concentrações de oxigênio pode determinar o tipo de composto que está sendo formado e liberado do sedimento (Kristensen, 2000). Por exemplo, a anoxia e a presença de matéria orgânica, tornam o meio propício à produção e liberação do gás metano (CH_4) (Casper, 1992; Segers, 1998; Thebrath et al., 1993; Bucholz et al., 1995; Ford et al., 2002; Kortelainen et al., 2006). A concentração deste gás é um indicador da ocorrência da ciclagem de matéria orgânica e atividade biológica nos sedimentos límnicos (Ford et al., 2002, Furtado et al., 2002, Gregorich et al., 2006). O balanço entre a produção do CH_4 , realizada pelas bactérias metanogênicas, sob condições anóxicas, e o consumo realizado pelas bactérias metanotróficas, sob condições de oxigenação, determina se o sedimento retém ou libera CH_4 (Bodelier & Laanbroek, 2004). Segundo Le Mer & Roger (2001), os sedimentos de *wetlands* e de ambientes aquáticos continentais de baixa profundidade, são importantes fontes de CH_4 que contribuem significativamente para a produção e emissão deste gás para a atmosfera. Atualmente estima-se que cerca de 40% da emissão global de metano para a atmosfera seja originada a partir de áreas alagadas naturais e artificiais (Lelieveld et al. 1998).

Os ambientes aquáticos rasos estão mais sujeitos a interações e ocorrência de trocas com a atmosfera, devido à relação inversa entre a profundidade e o espelho d'água, sendo que fatores climáticos podem potencializar as trocas e liberação dos produtos do metabolismo bentônico (Cole et al., 1994; Berelson et al., 1998; Abe et al., 2005; Cole et al., 2007; Scheffer & Jeppensen, 2007). A baixa profundidade, aliada à ação do vento e a formação de ondas, facilita a homogeneização da coluna da água e a liberação dos produtos oriundos da decomposição microbiana retidos no sedimento (Quiblier et al., 2008).

Os lagos rasos ocupam a maior parte dos 3% da superfície terrestre ocupada por lagos, no entanto, ainda não recebem a devida atenção quanto a sua participação nos ciclos biogeoquímicos, tanto em escala regional como global (Downing et al., 2006; Bastviken, et al., 2004). Segundo Bastviken, et al (2004) as diferenças entre as emissões locais e globais de CH₄, a partir de lagos foram estimadas entre 6 -16% da emissão global. Song et al. (2006) descreveram um padrão sazonal na produção de CH₄ ao longo do ano em áreas alagadas. Marinho et al. (2004) demonstraram que o monitoramento das concentrações de metano em lagoas da restinga de Jurubatiba, possibilitou identificar os ambientes quanto a sua potencialidade produtora de CH₄, contribuindo para a elaboração de hipóteses sobre a dinâmica do CH₄ nestes ambientes com características distintas quanto às variáveis limnológicas e estado trófico do ecossistema. De acordo com as tendências atuais, esta pesquisa testou a hipótese de que lagos, situados no extremo sul do Brasil, com diferentes estados tróficos apresentam diferenças quanto ao seu conteúdo de matéria orgânica, nutrientes e CH₄ ao longo de perfis de sedimento.

1.1- Objetivos

Caracterizar e comparar o perfil vertical dos 10 centímetros iniciais da coluna sedimentar de quatro lagos, com diferentes graus de trofia, com relação à concentração de M.O., NT, PT, CT, CH₄ e granulometria.

Acompanhar a variação sazonal dos 4 centímetros iniciais, frações 0-2 e 2-4cm, da coluna sedimentar quanto as concentrações de M.O., NT, PT, CT e CH₄, e as variáveis limnológicas (Oxigênio dissolvido, temperatura, nitrogênio e fósforo totais e clorofila a) da coluna de água de cada lago.

Avaliar a possibilidade de usar características do sedimento e da qualidade da água como indicadores da produção de metano no sedimento de lagos rasos subtropicais do extremo sul brasileiro.

1.2- Área de estudo

A planície costeira do Rio Grande do Sul foi formada no período do quaternário durante as sucessivas regressões e transgressões oceânicas. Ocupa uma área de aproximadamente 37.000 Km² de extensão, deste total, estima-se que 39% sejam recobertos por água (Vieira & Rangel, 1983; Schwarzbald & Schäfer, 1984). Os ecossistemas aquáticos mais característicos são os arroios, lagoas costeiras e interiores, além de grandes extensões de banhados (Schwarzbald & Schäfer, op. cit; Schäfer, 1992).

O clima da região é subtropical úmido do tipo cfa segundo a classificação de Köppen (Maluf, 2000). As intensas variações na temperatura, umidade específica e pressão atmosféricas, associadas a passagens de massa de ar, flutuações no vento e precipitação ao longo do ano, são características da região (Reboita et al., 2006).

Os quatro lagos estudados estão situados em uma área ricamente alagada (Figura 1), onde por muitos anos foi o manancial do município de Rio Grande (32° 01'44" S e 52° 05' 40" W). Nos últimos 38 anos as alterações sofridas em decorrência da construção dos prédios do Campus Carreiros da Universidade Federal do Rio Grande - FURG provocaram algumas alterações na paisagem deste local, principalmente devido a remoção de areia, que levou ao surgimento de alguns lagos artificiais em meio a ambientes naturais já existentes (Albertoni et al., 2007). O tempo de existência dos lagos em estudo varia de 10 a 38 anos. No entanto, apesar desta diferença as condições ecológicas iniciais eram similares e as alterações ocorridas ao longo do tempo acarretaram alterações nas condições tróficas e morfológicas de cada um dos lagos. Segundo Albertoni et al. (2007), os lagos do Campus Carreiros apresentam características comuns às encontradas em ambientes naturais da planície costeira do Rio Grande do Sul.

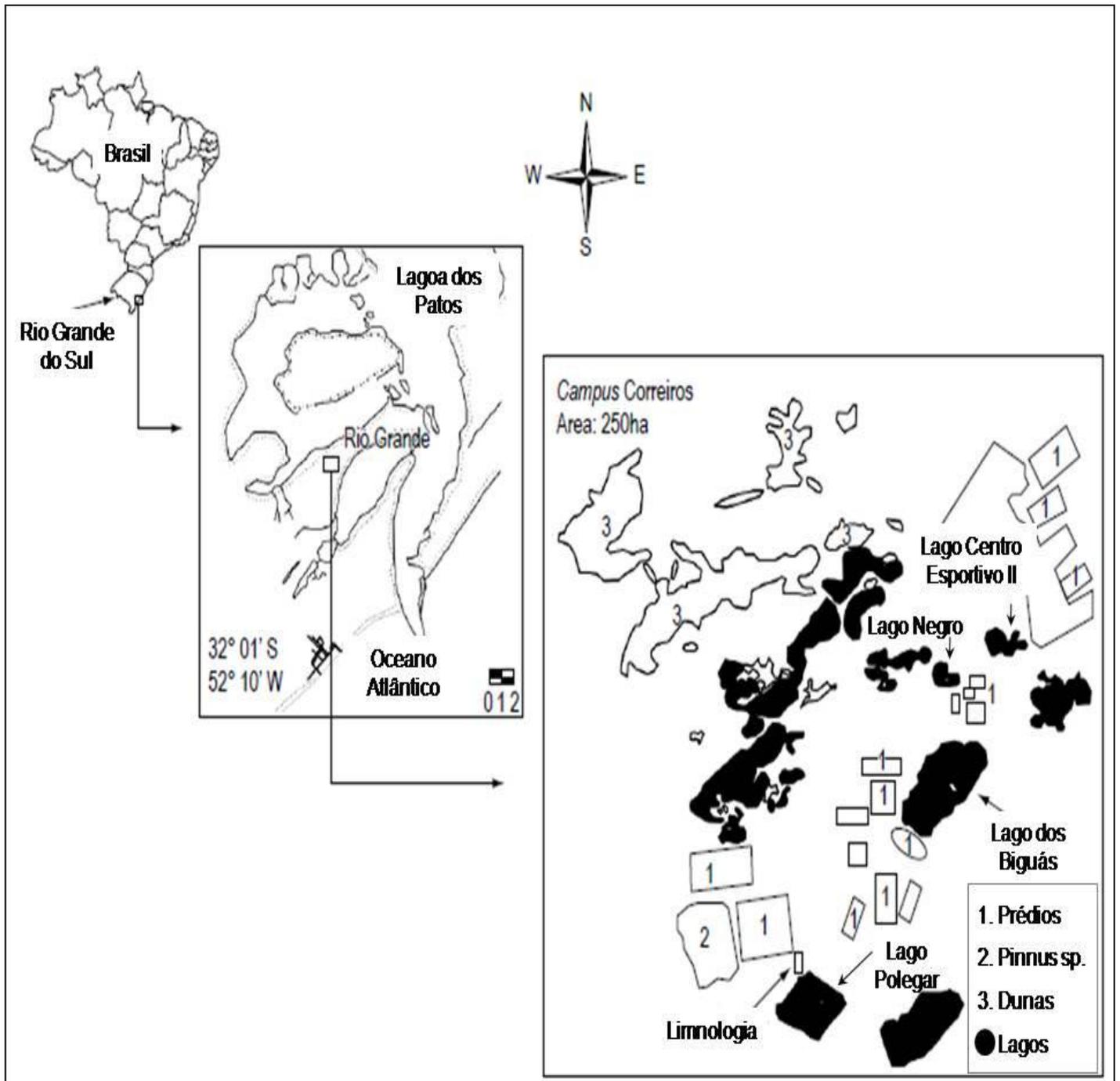


Figura 1: Localização da área de estudo no *Campus Carreiros* da FURG.

O Lago dos Biguás, ($32^{\circ}04'23.59''S$ e $52^{\circ}09'54.62''W$) é um ambiente natural, no entanto, devido a modificações em suas margens, há aproximadamente 38 anos, o formato original deste lago se alterou. O lago ocupa uma área de aproximadamente 1,5ha, sua profundidade varia de 1m a 2,2m, entre períodos de estiagem e cheia. As margens são colonizadas por diferentes espécies de macrófitas aquáticas, com gramíneas e arbustos, que não oferecem restrição a ação dos ventos, nem a penetração da luz solar (Trindade et al., 2009). Segundo Albertoni et al. (2007) o lago

recebe fontes externas de enriquecimento, principalmente excretas de aves, garças e biguás, que utilizam as ilhas centrais do lago como abrigo. Em períodos de aumento da temperatura, são comuns os crescimentos maciços de cianobactérias, seguidas de mortandade de peixes e outros organismos (Albertoni et. al., 2005; 2007). As características deste lago lhe conferem elevadas taxas de produção primária ao longo do ano (Ramos, 2008).

O Lago Polegar (32°04'38.73"S e 52°10'08.37"W), construído há aproximadamente 12 anos, ocupa uma área de 1ha e sua profundidade máxima atinge 1,6m em períodos de chuva, já em períodos de forte estiagem o lago fica praticamente seco (Albertoni et. al., 2007; Furlanetto et al., 2008). As características tróficas deste lago variam de oligotróficas a mesotróficas em períodos de elevação na temperatura (Furlanetto et al., 2008). A produtividade primária apresenta valores mais elevados durante o verão e primavera (Ramos, 2008).

O Lago Negro (32°04'20.74"S e 52°09'50.96"W) foi escavado em meio a dunas há aproximadamente 35 anos, ocupa uma área de estimada em 0,5ha, sua profundidade máxima atinge 2m em períodos de chuva, em períodos de estiagem fica em torno de 1,5m. Suas margens são circundadas por uma plantação de *Eucalyptus* sp., que sombreiam praticamente toda sua área. Os processos de decomposição das folhas e galhos originam compostos húmicos, que tornam sua água escura. Segundo Albertoni et al. (2005) o pH da água é ácido, a produção primária é baixa, devido à fraca incidência luminosa, por consequência as concentrações de oxigênio dissolvido são reduzidas. As macrófitas aquáticas *Azolla filliculoides*, cobrem grande parte da superfície deste lago (Trindade, 2008).

O Lago Centro Esportivo II (32°04'16.52"S e 52°09'51.73"W) apresenta a configuração atual há aproximadamente 35 anos. Suas concentrações de nutrientes e a transparência total da coluna da água são características de um ambiente oligotrófico. Ocupa uma área inferior a 1ha e sua profundidade máxima não ultrapassa 1,8m em períodos de chuva. Suas margens são colonizadas por macrófitas aquáticas enraizadas *Nymphoides indica*. Situa-se em uma área mais aberta com pouca vegetação em seu entorno. As taxas de produção primária deste lago são mais elevadas nos períodos de primavera e verão, nos meses de outono e inverno os valores de produção diminuem, no entanto, ao longo do ano as taxas se mantêm baixas indicando um estado oligotrófico (Ramos, 2008)

2- MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização do perfil do sedimento dos quatro lagos foi realizada em janeiro de 2008, quando foram coletadas, em cada um dos lagos, amostras (n=5) dos 10 centímetros (10cm) iniciais da coluna sedimentar. As amostras foram seccionadas em seis frações (0-1, 1-2, 2-4, 4-6, 6-8 e 8-10 cm), para posterior análise das concentrações de nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), carbono total (CT), metano (CH₄), porcentagem de matéria orgânica (M.O.) e granulometria (GR).

Para a caracterização sazonal foi realizado o acompanhamento das variações nas frações superficiais da coluna sedimentar, os testemunhos foram seccionados em duas frações (0-2 e 2-4 cm). As coletas foram realizadas em março (verão), junho (outono), setembro (inverno) e novembro (primavera) de 2008. Para cada data foram determinadas as concentrações de NT, PT, CH₄, M.O..

2.1- Procedimentos de campo

Foram amostrados cinco pontos (n=5) em cada um dos quatro lagos, na mesma margem, durante toda a pesquisa. A distância, aproximada, entre cada ponto amostral (n=5) foi de 1,5m, a uma profundidade da coluna da água de aproximadamente 1m.

O coletor utilizado foi do tipo testemunho, tubo de acrílico (50 x 9 cm) (figura 2.A), que possibilita a análise da distribuição vertical dos parâmetros analisados, com pouca ou nenhuma perturbação da seqüência estratigráfica do sedimento. Depois de retiradas do tubo, as amostras foram seccionadas com auxílio de um fatiador de testemunho (figura 2.B-2), para separação das frações (figura 2.C). Para facilitar as amostragens e evitar perda de material ou mistura entre as camadas, foi utilizada uma haste de PVC (figura 2.1), com a extremidade superior de diâmetro levemente inferior ao do tubo de acrílico e uma rolha de isopor (figura 2. B-3).

A temperatura da água (°C) e o oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) na superfície e no fundo da coluna d'água foram determinados com oxímetro digital de campo (OAKTON), que determina as concentrações através da diferença de potencial de polarização entre o anodo e catodo, separados, mas imersos em eletrólito, e isolados por uma membrana de PTFE permeável somente a gases. A corrente resultante é proporcional à pressão parcial de oxigênio presente na amostra e os resultados foram expressos em mg.L⁻¹.

A distância da margem ao ponto de coleta (m) e a profundidade (cm), foram determinadas com utilização de uma trena. A temperatura atmosférica (°C) foi determinada com termômetro de mercúrio. Foram também obtidas as informações meteorológicas, temperatura atmosférica, velocidade do vento e taxas de precipitação, junto ao laboratório de meteorologia da FURG.

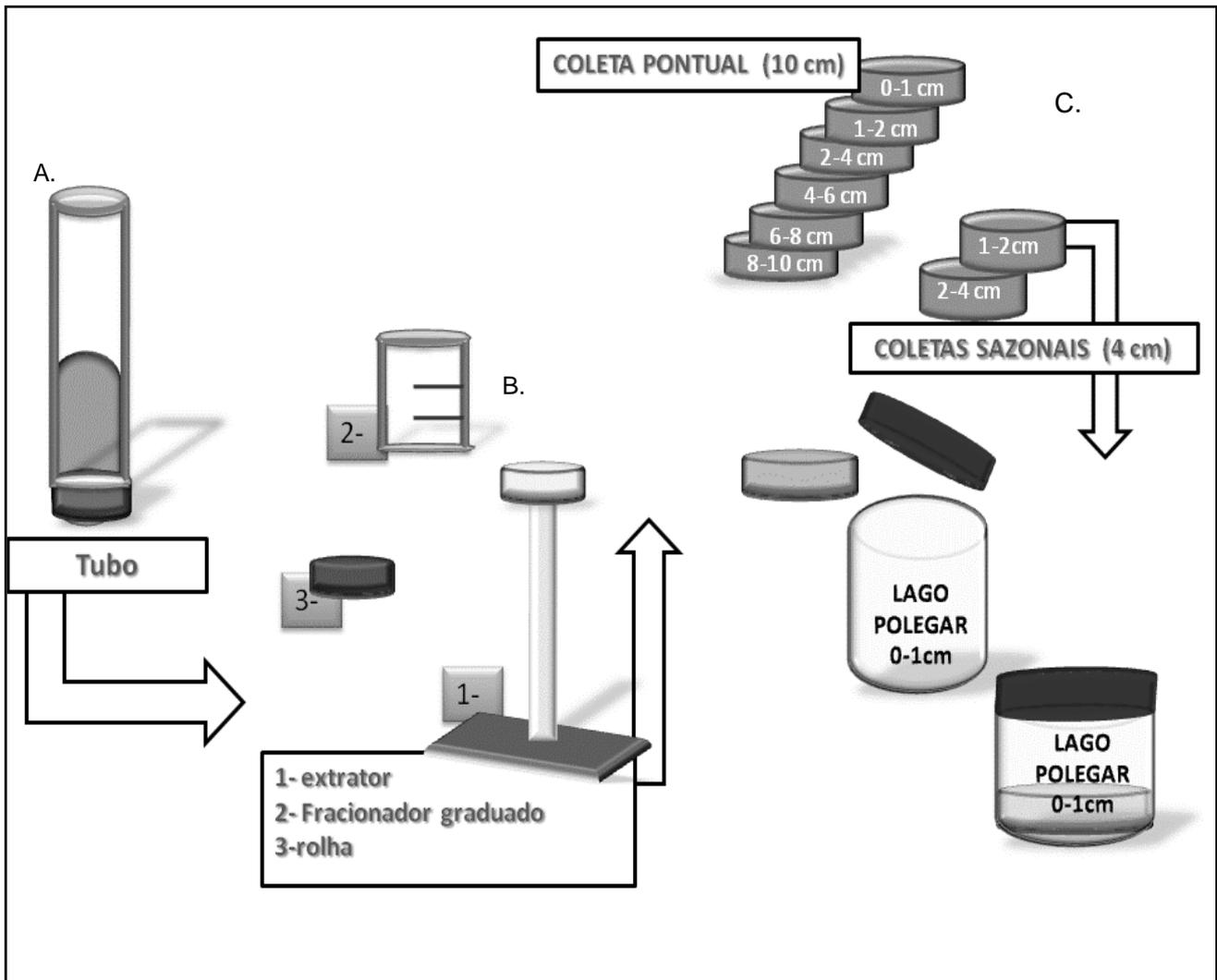


Figura 2: Representação esquemática do material e do procedimento de coleta de sedimento: **A.** Tubo de acrílico; **B.** 1. haste de PVC, 2. fracionador, 3. Rolha; **C.** frações de sedimento e potes de coleta com identificação.

2.2- Procedimentos de laboratório

Em laboratório, as amostras de sedimento foram primeiramente acondicionadas em frascos de vidro para posterior análise de metano (CH_4), onde 5g de cada fração do sedimento foram armazenadas em frascos de vidro (25 ml) e lacradas após a adição de 5 ml de solução de NaOH (4%), que age expelindo o metano dos espaços intersticiais.

Os frascos de vidro vedados foram mantidos sob refrigeração até serem determinadas as concentrações de metano por cromatografia gasosa, retirando-se 0,2 ml de gás do *headspace*, com uma seringa plástica e injetadas no cromatógrafo (VARIAN Star 3400, Varian Co, E.U.A), equipado com uma coluna Poropak-Q (60/100 mesh), detector FID a 200 °C, injetor a 120 °C e coluna a 85 °C, tendo nitrogênio (N₂) como gás de arraste.

O restante das amostras foram pesadas e secas para posterior análise das concentrações de NT, PT, CT, GR, M.O. As análises de CH₄ e CT foram realizadas pelo laboratório de limnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). As demais análises foram realizadas no Laboratório de Limnologia da Universidade Federal de Rio Grande - FURG. A caracterização granulométrica foi realizada no Laboratório de Oceanografia Geológica (FURG).

A determinação do teor de carbono total (CT) no sedimento foi realizada através da unidade sólida modelo SSM – 5000A do analisador de carbono TOC 5000 (Shimadzu, Japão), que consiste na combustão da amostra em alta temperatura (900°C), em presença de catalisador apropriado. O CO₂ formado na combustão é quantificado numa célula de infravermelho. Para construção da reta padrão são utilizadas concentrações conhecidas de glicose como padrão.

As concentrações de nitrogênio total (NT) foram determinadas pelo método Kjeldahl (Allen et al., 1974). O procedimento requer a pesagem de 0,3g de sedimento, previamente seco em estufa. O sedimento seco mais 0,15g de catalisador misto são passados para tubos de digestão. Adiciona-se 5ml de ácido sulfúrico, e é feita a digestão em alta temperatura, que no final do processo apresenta cor transparente. Este material é transferido para um balão volumétrico de 50ml e completado com água destilada, uma alíquota de 5ml desta mistura é levada a um destilador, para posteriormente ser titulada com ácido sulfúrico 0,01N.

As concentrações de fósforo total (PT) foram determinadas após pesagem de 0,3g de sedimento seco em estufa. Depois de moído, o material era digerido segundo Fassbender (1973). As amostras foram digeridas em alta temperatura em bloco digestor, dentro de tubos com 1ml de ácido perclórico, mais 5ml de ácido nítrico e mais 1ml de ácido sulfúrico. Depois da digestão, as amostras são transferidas para balões de 50ml que são completados com água destilada. Depois eram retiradas alíquotas de 5ml e transferidas para balões de 25ml, que também tem seu volume completado com água destilada. A adição do reagente misto, composto por tartarato de antimônio e potássio, molibdato de amônio, ácido sulfúrico e ácido ascórbico nas amostras, provoca o desenvolvimento de cor, cuja intensidade é proporcional a concentração de fosfato. A

intensidade de coloração originada pelos reagentes com o fosfato reativo, foi lida a 886nm em espectrofotômetro QUIMIS.

O conteúdo da matéria orgânica no sedimento foi determinando através da porcentagem de matéria orgânica, por gravimetria. Primeiramente os cadinhos, sem amostra, eram colocados para secar em forno mufla por aproximadamente 1 hora, sob temperatura entre 103-105°C, e depois eram pesados (P₁). Depois uma quantidade de sedimento era pesada e colocada dentro dos cadinhos (P₂). Este material (cadinho + sedimento) era calcinado em forno mufla à 503°C que após resfriado era pesado novamente (P₃). A porcentagem de matéria orgânica por peso seco foi obtida pela fórmula $\%M.O.PS=100(P_2-P_3)/P_1$.

Para realização da análise granulométrica foram selecionadas duas amostras das 6 frações de cada um dos lagos (#2 e #3). As amostras foram desagregadas com almofariz e pistilo com proteção de borracha e depois secas em estufa à temperatura de 60°C. Seguiram-se as metodologias propostas por Suguio (1973), onde o sedimento é previamente lavado e depois seco, em temperatura entre 80° e 100°C. Aproximadamente 30g de sedimento foram pesados para a realização do peneiramento, através da escala de Wentworth, para a separação do material grosseiro (>1/16 mm), com intervalo das peneiras foi de ¼ ø. A análise do sedimento fino foi realizada pelo método da pipetagem, com base na lei de Stokes. As amostras foram pesadas (+/- 20g.) e depois lavadas com água destilada, em peneira (0,062mm). O material fino, que passou pela peneira foi colocado em provetas (1L), com água destilada, agitado e colocado para sedimentação por um intervalo de 2h e 03min. Ao final deste tempo, 10ml foram retirados, com auxílio de uma pipeta (10ml). O material pipetado foi seco em estufa e pesado em balança de precisão. As partículas foram distribuídas quanto à frequência de peso dos diversos tamanhos de grãos (escala phi), sendo as partículas divididas em três tipos básicos: areia, siltes e argilas.

2.3- Análises da água

As variáveis limnológicas de qualidade da água foram medidas mensalmente sendo estas: pH, alcalinidade (Alc), material em suspensão (M.S.), condutividade elétrica (C.E.), clorofila-a (Chla), Nitrogênio total (N-total), Fósforo total (P-total). Parte das amostras foram filtradas para determinação do material em suspensão e das concentrações de clorofila-a. No restante, não filtrado, foi determinado o pH, a alcalinidade total e as concentrações de nitrogênio e fósforo totais.

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado por método potenciométrico, utilizando pHmetro digital portátil (HANNA HI 8314), previamente calibrado com soluções tampões 4,0 e 7,0.

A alcalinidade foi determinada por titulometria, com estimativa do ponto de equivalência, pelo método de “Gran (1952)” descrito por Carmouze (1994). Este método procede a sua determinação por titulação da amostra por um ácido forte (utilizando-se H_2SO_4 - 0,01N) e considera que a principal reação após a neutralização, é o aumento de (H+) devido à adição de um excesso do ácido. A reta com 03 pontos situados além do ponto de equivalência é utilizada no cálculo pelo programa ALCAGRAN (Carmouze, 1994). Os resultados foram expressos em $meq.L^{-1}$.

As medidas de material em suspensão foram determinadas após a filtração de volumes de água conhecidos, utilizando filtros (GF/C – Whatman), com peso pré-determinado. Os filtros foram mantidos em estufa a uma temperatura de 60°C por 24 horas, logo depois pesados. A estimativa do material em suspensão foi feita pelo método gravimétrico descrito por Paranhos (1996), os resultados foram expressos em $mg.L^{-1}$.

A capacidade de condução de corrente elétrica, condutividade elétrica, foi medida com condutivímetro portátil (HANNA HI 8733). Neste método a condutividade elétrica é medida entre dois eletrodos com área de $1cm^2$ e distanciados 1cm entre si. Os resultados foram expressos em $\mu S.cm^{-1}$.

As concentrações de clorofila-a foram determinadas por método adaptado a partir de Mackinney (1941), Paranhos (1996), e Chorus & Bartram (1999). Após filtração de um volume conhecido de amostra em filtros de fibra de vidro (GF/C – Whatman), em local com pouca luminosidade, os pigmentos foram extraídos com metanol por 24 horas (em refrigerador e ao abrigo da luz). Após este período o material foi submetido à centrifugação. A determinação foi feita por leitura em 665 e 750nm com utilização de espectrofotômetro QUIMIS e os resultados foram expressos em $\mu g.L^{-1}$

As concentrações de nitrogênio total presente na coluna d'água foram determinadas pelo método de Kjeldahl, descrito por Mackereth & Talling (1978). Esse se baseia na concentração de amostra não filtrada por evaporação, seguida da digestão do resíduo em meio ácido e de destilação em aparelho tipo Markham onde todo o nitrogênio amoniacal é recolhido em ácido bórico 1%. O destilado é titulado com ácido clorídrico e o volume de ácido gasto na titulação é utilizado para o cálculo da concentração. Os resultados foram expressos em $mg.L^{-1}$.

A concentração de P-total foi determinada segundo Valderrama (1981) e Baumgarten et al. (1996). Este método consiste na hidrólise do fósforo total da amostra não filtrada por reagente de oxidação (Hidróxido de sódio, persulfato de potássio e ácido bórico) em autoclave, originando fosfato solúvel reativo. Após esta transformação o método se baseia na reação de azul de molibdênio. A adição do reagente misto, composto por tartarato de antimônio e potássio, molibdato de amônio, ácido sulfúrico e ácido ascórbico nas amostras, provoca o desenvolvimento de cor, cuja intensidade é proporcional a concentração de fosfato. Tal intensidade de coloração originada pela reação dos reagentes com o fosfato reativo, foi lida a 882nm em espectrofotômetro QUIMIS, e os resultados foram expressos em $\mu\text{g.L}^{-1}$.

2.4- Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o pacote BioEstat 5.0 (Ayres et al., 2007). As diferenças entre as concentrações de CT, NT, PT e CH_4 entre as seis frações de um mesmo lago, bem como as diferenças entre as mesmas frações de diferentes lagos foram testadas através do teste não paramétrico de Friedman (*Fr*) (ANOVA). Este mesmo teste foi utilizado para testar as diferenças entre as duas frações superficiais do sedimento, dos quatro lagos, ao longo do ano, quanto as variações sazonais de NT, PT e CH_4 . Para cada estação do ano foram realizadas comparações entre os diferentes lagos com base nos parâmetros anteriores.

O grau de correlação entre as concentrações de CT, NT e PT em cada um dos lagos, considerando todas os dados obtidos para todas as frações, foi determinada através do coeficiente de correlação Spearman's (*rs*). Este coeficiente foi utilizado também para verificar a correlação entre estas variáveis para cada data de coleta nas frações superficiais.

Para verificar o grau de correlação entre as concentrações de NT e PT e M.O. na fração superficial do sedimento de cada lago com as concentrações de PT, NT e Chl-*a*, na coluna d'água foi utilizada a Correlação de Person (*r*).

A análise de componentes principais (ACP) foi calculada com o *software* PAST (Hammer et al., 2001), com o intuito de sumarizar e facilitar a visualização dos padrões de variação e as correlações entre as seis frações do perfil vertical dos quatro lagos estudados.

O procedimento anterior também foi adotado para visualizar as relações das variáveis analisadas, ao longo de um ano, entre as frações superficiais do sedimento e as características da coluna da água.

3- RESULTADOS

3.1- Caracterização do perfil de sedimento

3.1.1- Variáveis abióticas da Coluna d'água

As variáveis abióticas da coluna d'água estão apresentadas na Tabela I. A temperatura da água foi mais elevada na superfície, em todos os lagos. O valor mais baixo (22,6°C) foi observado no Lago Negro, no fundo e o mais elevado (27,6°C) no Lago do Centro Esportivo. O oxigênio dissolvido teve as menores concentrações registradas no Lago Negro, tanto na superfície como no fundo (1,4 e 1,5 mg.L⁻¹), este lago também apresentou os menores valores de pH e clorofila-a. As maiores concentrações de oxigênio dissolvido foram encontradas na superfície e no fundo do Lago dos Biguás, assim como os valores de pH, condutividade elétrica, material em suspensão, clorofila-a e nutrientes (nitrogênio e fósforo totais). As menores concentrações de nitrogênio total (0,51 e 0,67 mmol.L⁻¹), fósforo total (0,01 e 0,02 μmol.L⁻¹), e material em suspensão (3,5 e 1,5 mg.L⁻¹) foram detectadas nos Lagos Polegar e Centro Esportivo II respectivamente.

Tabela I: Variáveis abióticas da coluna da água dos quatro lagos estudados.

Variáveis	Lagos	Polegar	C. Esportivo II	Biguás	Negro
Profundidade no local da amostra (cm)		70	90	90	85
Temperatura do ar (°C)		27	28	27	24
Temp. da água na superfície (°C)		25,2	27,6	26,6	23,4
Temp. da água no fundo (°C)		25,0	27,5	25,3	22,6
O ₂ dissolvido na superfície (mg.L ⁻¹)		8,44	7,28	18,02	1,40
O ₂ dissolvido no fundo (mg.L ⁻¹)		7,39	6,96	11,17	1,50
pH		6,50	5,60	10,23	4,37
Condutividade elétrica (μS.cm ⁻¹)		76	76	232	82
Material em suspensão (mg.L ⁻¹)		3,5	1,5	81,7	21,5
Clorofila-a (μg.L ⁻¹)		31,31	77,67	370,1	30,58
Nitrogênio total (mmol.L ⁻¹)		0,05	0,02	0,46	0,12
Fósforo total (μmol.L ⁻¹)		0,97	0,76	5,6	1,4

3.1.2- Características granulométricas e classificação da textura

O sedimento dos quatro lagos é predominantemente composto por areia (Tab. II). A composição, de areia fina, dos perfis verticais variou entre 53% (0-1cm, Lago dos Biguás) e 84% (8-10cm, Lago Polegar). As porcentagens de silte e argila (<0, 062mm) foram baixas. Os valores de silte mais elevados foram observados nas camadas superficiais do Lago Polegar (1%, 1-2cm) e na camada 2-4cm do Lago Negro (1%). As porcentagens de argila foram mais altas no Lago Polegar (1-2cm, 5%), reduzindo-se nas camadas subseqüentes. As concentrações de silte e argila não foram detectadas em algumas frações dos quatro lagos e no Lago do Centro Esportivo II não foram detectadas em nenhuma das frações.

As características granulométricas não apresentaram diferenças estatísticas significativas nem entre as frações de cada lago nem entre os lagos.

Tabela II: Análise granulométrica, média dos valores (%) expressos em perfis verticais de cada uma dos quatro lagos analisados.

Lagos	Areia				Silte	Argila
	Grossa	Média	Fina	Muito Fina		
Polegar						
0 – 1	0,622	2,446	70,835	26,097	0	0
1 – 2	0,651	3,550	71,447	24,352	1,01	5,22
2 – 4	1,137	4,020	67,624	21,684	0,91	4,62
4 – 6	1,183	3,530	77,637	17,650	0	0
6 – 8	0,190	1,763	79,651	18,396	0	0
8 – 10	0,025	0,806	84,445	14,724	0	0
Biguás						
0 – 1	1,107	3,905	53,401	38,298	0,68	2,61
1 – 2	0,452	2,537	67,291	26,470	0,13	3,51
2 – 4	0,039	0,859	74,883	22,422	0,230	1,56
4 – 6	0,261	1,156	72,282	26,301	0	0
6 – 8	0,136	0,769	76,803	22,292	0	0
8 – 10	0,599	3,021	86,546	9,834	0	0
Negro						
0 – 1	0,613	2,694	70,689	26,004	0	0
1 – 2	0,415	1,620	70,977	26,032	0,99	0,35
2 – 4	0,380	1,619	67,952	27,334	1,07	1,64
4 – 6	0,446	1,398	65,282	30,692	0,39	2,11
6 – 8	0,132	1,228	67,670	28,304	0,10	2,10
8 – 10	0,106	2,371	67,910	28,720	0,35	1,01
Centro Esportivo II						
0 – 1	0,306	1,493	76,571	21,630	0	0
1 – 2	0,400	2,305	75,210	22,085	0	0
2 – 4	0,491	3,039	80,908	15,563	0	0
4 – 6	0,696	2,611	80,574	16,119	0	0
6 – 8	0,238	2,777	77,519	19,466	0	0
8 – 10	0,161	3,112	72,986	23,741	0	0

3.1.3- Porcentagem de Matéria Orgânica (M. O.)

Na figura 3 estão representadas as porcentagens de M.O. ao longo do perfil vertical dos quatro lagos analisados. A maior porcentagem foi registrada na primeira fração do Lago Negro (15,7%), com redução nas frações subsequentes. O Lago dos Biguás apresentou redução nos valores ao longo do perfil, no entanto, o valor mais elevado foi observado na última fração (6%). Em contraposição, a menor porcentagem (0,07%) foi encontrada na primeira fração do Lago Polegar, que apresentou a maior

porcentagem (8%) na quinta fração do perfil, o segundo maior valor entre todas as frações dos quatro lagos. No Lago Centro Esportivo II, apenas na primeira fração, através deste método, foi possível detectar matéria orgânica.

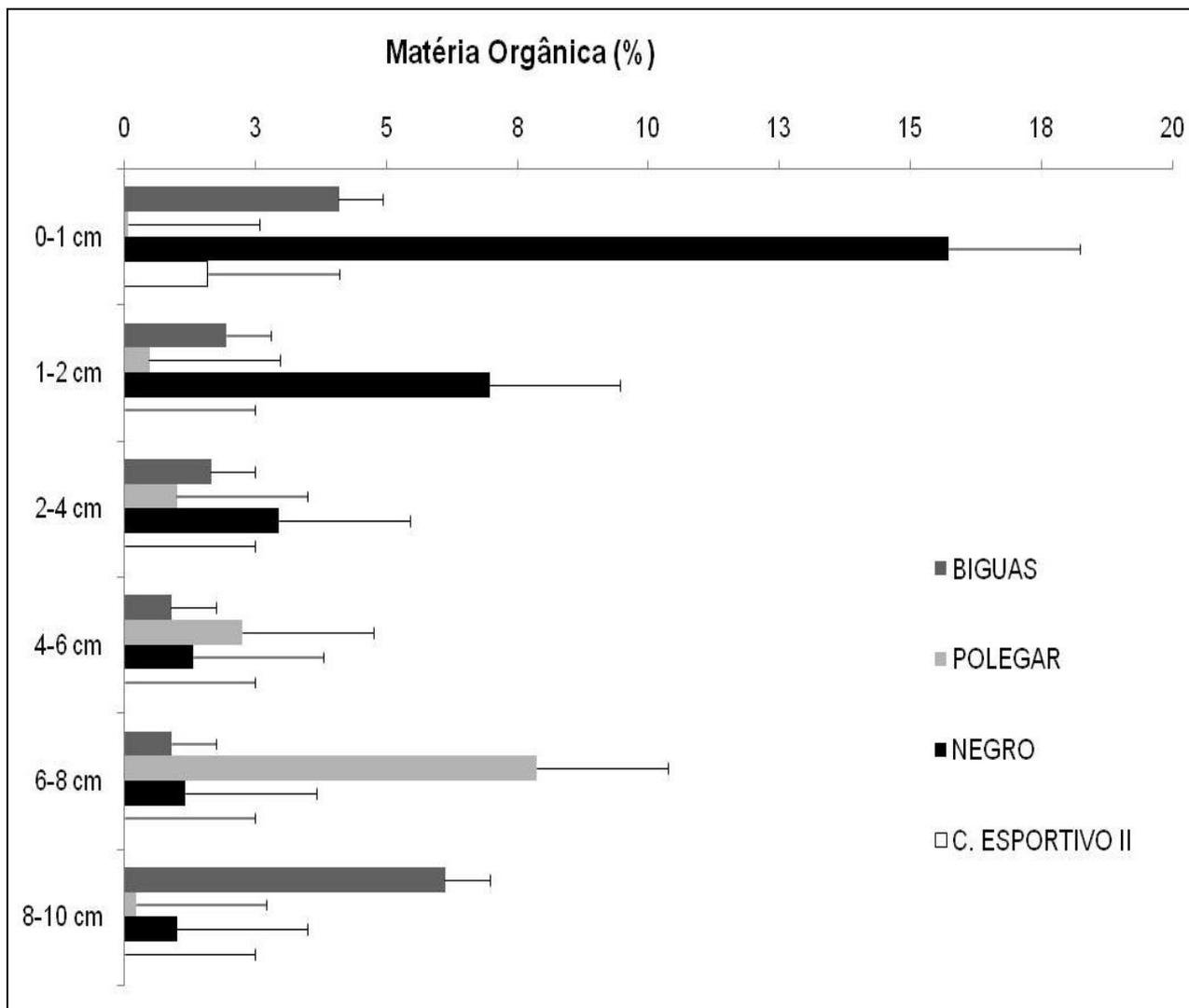


Figura 3: Perfil vertical das concentrações de matéria orgânica (%) no sedimento os quatro lagos analisados.

3.1.4- Concentração de Carbono Total (CT), Nitrogênio Total (NT) e Fósforo Total (PT)

Na figura 4 estão representadas as concentrações de carbono total ao longo do perfil vertical dos quatro lagos. A maior concentração ($9,61 \pm 5,34 \text{ mmol.g}^{-1}$) ocorreu na primeira fração do Lago Negro, seguido pelo Lago dos Biguás, Centro Esportivo II e Lago Polegar, que apresentou a menor concentração na ultima fração do perfil ($0,012 \pm 0,011 \text{ mmol.g}^{-1}$). É possível observar uma redução nas concentrações de CT das frações superficiais em direção as frações mais profundas da coluna sedimentar.

As frações superficiais (0-1 e 1-2cm) dos Lagos Negro e dos Biguás apresentaram diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) ao serem comparadas a frações mais profundas (6-8 e 8-10cm), quanto as concentrações de CT. No Lago Polegar, também foram observadas diferenças entre as frações superficiais (0-1 e 1-2cm) e a última camada (8-10cm), nos demais lagos não foram observadas diferenças estatísticas significativas.

As diferenças entre os lagos foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre a primeira fração (0-1cm) do Lago Negro quando comparado com a primeira fração dos Lagos Polegar e C. Esportivo II, a segunda fração (1-2cm) do Lago Negro apresentou diferença ao ser comparada com a mesma fração do Lago C. Esportivo II. As demais frações não apresentaram diferenças significativas.

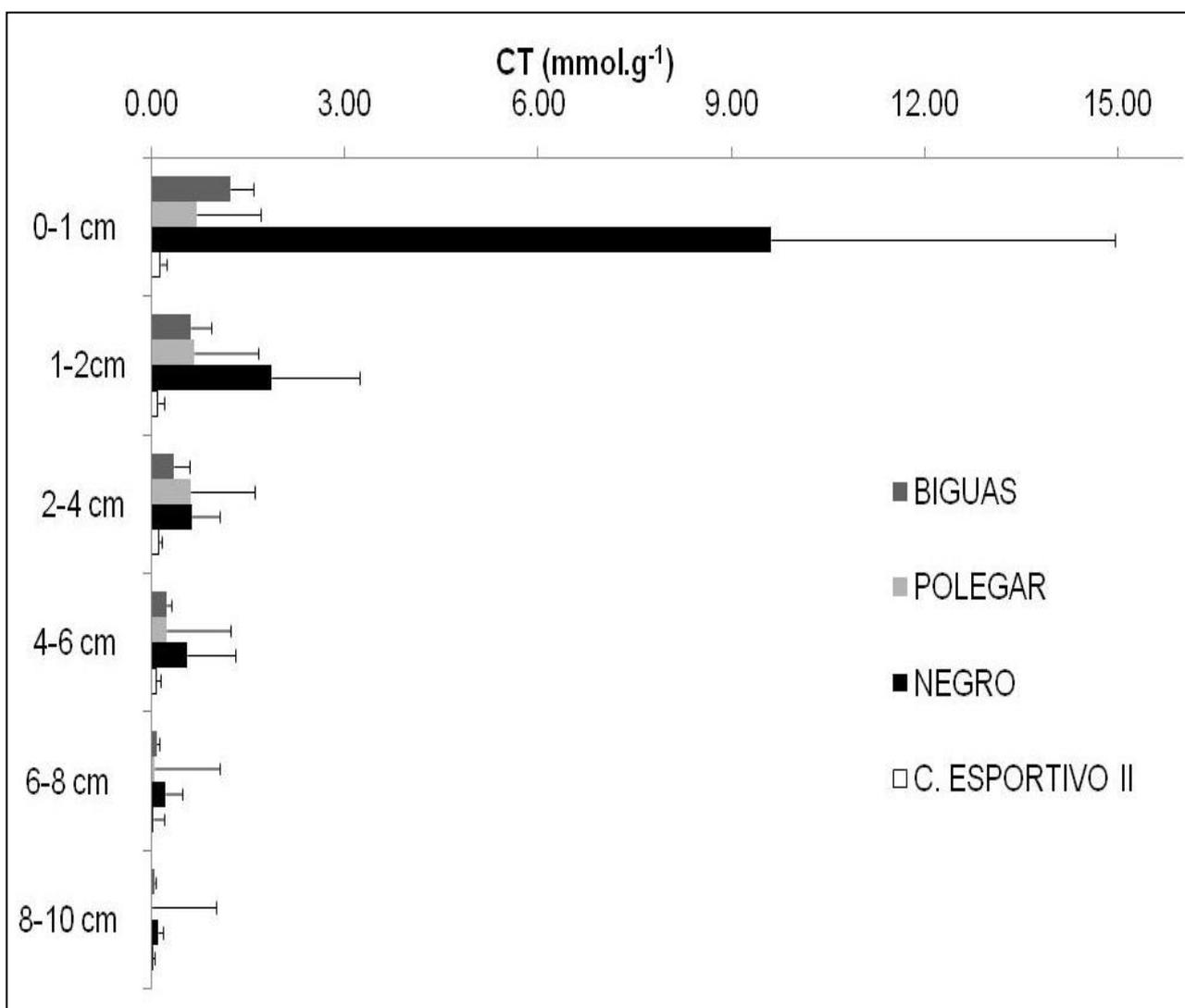


Figura 4: Perfil vertical das concentrações de carbono total (CT) (mmol.g^{-1}) no sedimento dos quatro lagos analisados.

Na figura 5 estão representadas as concentrações de nitrogênio total ao longo do perfil vertical dos quatro lagos. A maior concentração ($0,566 \pm 0,244 \text{ mmol.g}^{-1}$) ocorreu na primeira fração do Lago Negro, seguido pelo Lago dos Biguás, Polegar e Centro Esportivo II, que apresentou a menor concentração na última fração do perfil ($0,023 \pm 0,011 \text{ mmol.g}^{-1}$). Foi observada uma redução nas concentrações ao longo do perfil, no entanto no Lago Polegar a maior concentração ocorreu na quarta fração (4-6 cm).

As primeira fração (0-1cm) do Lago dos Biguás apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) ao ser comparada a última (8-10cm), quanto as concentrações de NT. A primeira fração (0-1cm) do Lago Negro apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) ao ser comparada a quarta e a quinta frações (4-6 e 6-8cm). No Lago Centro Esportivo II, a primeira fração (0-1cm) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) ao ser comparada com a quinta e a sexta frações (6-8 e 8-10cm), já a terceira fração (2-4cm) apresentou diferença significativa ao ser comparada a última fração (8-10cm). O Lago Polegar não apresentou diferenças significativas entre as frações do perfil ($p < 0,05$).

As diferenças entre os lagos foram significativas ($p < 0,05$) entre a primeira fração (0-1cm) do Lago Negro e todas as frações do Lago Polegar. A última fração do perfil (8-10cm) apresentou diferença significativa entre o Lago dos Biguás e Centro Esportivo II.

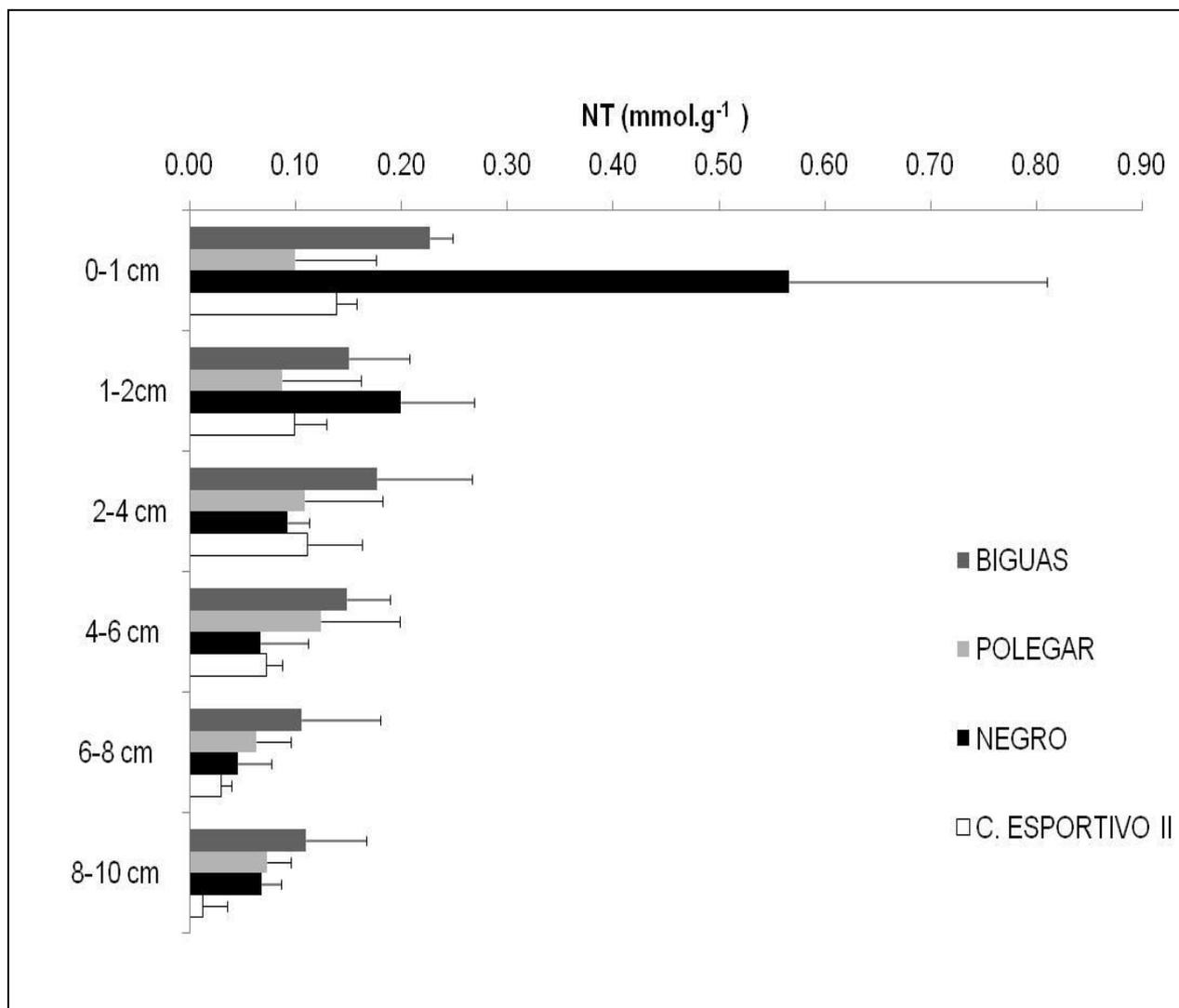


Figura 5: Perfil vertical das concentrações de nitrogênio total (NT) (mmol.g^{-1}), no sedimento dos quatro lagos analisados.

Na figura 6 estão representadas as concentrações de fósforo total ao longo do perfil vertical dos quatro lagos. A maior concentração ($11,1 \pm 5,1 \mu\text{mol.g}^{-1}$) ocorreu na primeira fração do Lago Negro, seguido pelo Lago dos Biguás, que apresentou a menor concentração na última fração do perfil ($0,02 \pm 0,001 \mu\text{mol.g}^{-1}$). Os Lagos Polegar e Centro Esportivo II apresentaram concentrações mais elevadas em camadas intermediárias do perfil.

A concentração de PT na fração superficial (0-1cm) do Lago dos Biguás apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) quando comparada as concentração da última fração (8-10cm). As diferenças entre a primeira fração do Lago Negro (0-1cm) e a quarta (4-6cm) e a quinta (6-8 cm) frações foram significativas ($p < 0,05$). Os Lagos Polegar e C. Esportivo II não apresentaram diferença significativa ao longo do perfil ($p > 0,05$).

Quanto as diferenças entre os lagos, a concentrações de PT na primeira fração (0-1 cm) do Lago Negro apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) ao ser comparada as concentrações de mesma fração dos Lagos Polegar e Centro Esportivo II. A fração (6-8cm) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre o Lago dos Biguás e o Lago Negro. A última fração apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre o Lago dos Biguás e os Lagos C. Esportivo II e Polegar.

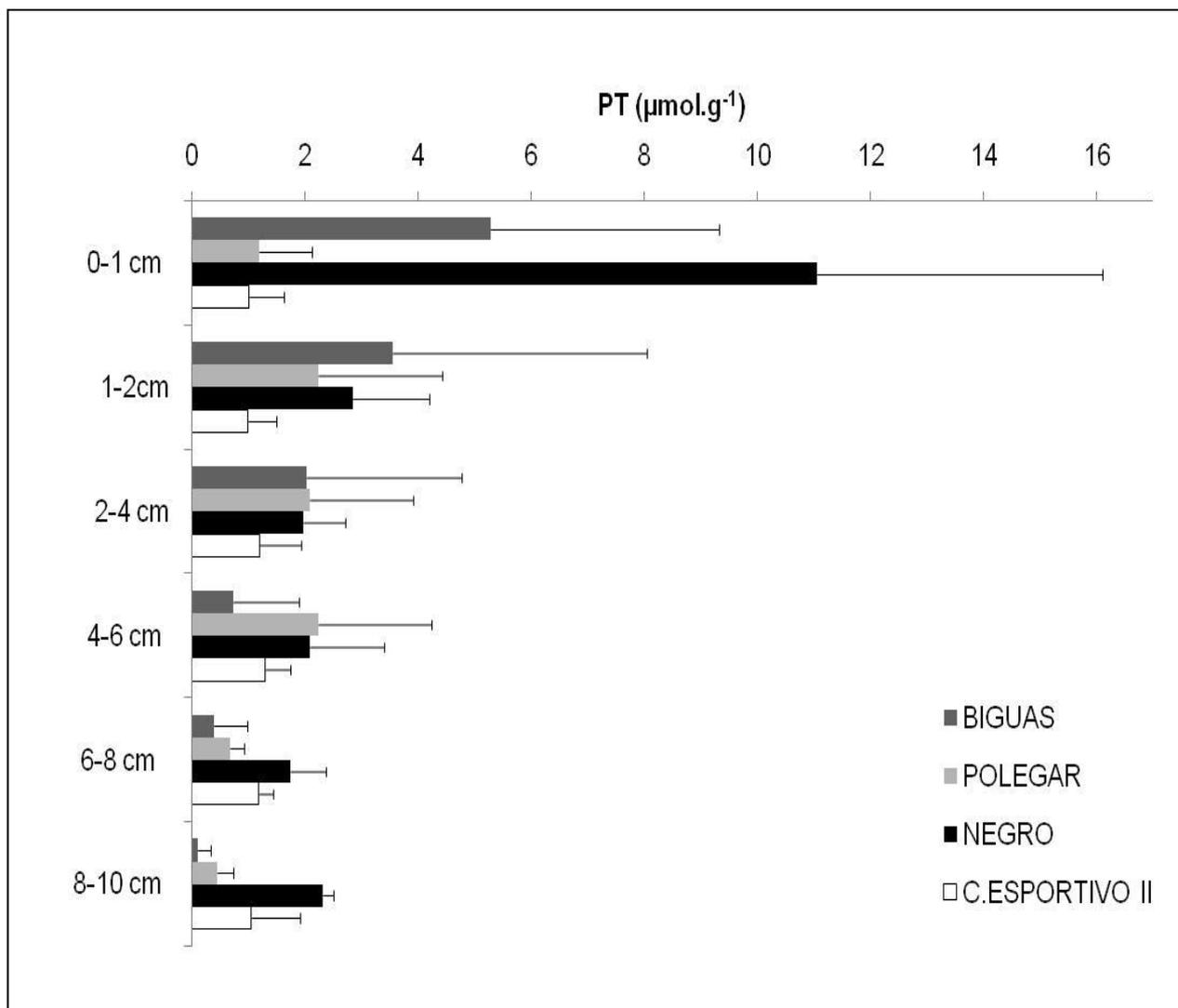


Figura 6: Perfil vertical das concentrações de fósforo total (PT) ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) no sedimento dos quatro lagos analisados.

O Lago dos Biguás apresentou correlação estatística significativa ($p < 0,05$) entre as concentrações de CT, NT e PT, nas seis frações. No Lago Negro foi observada correlação significativa entre as concentrações de NT com as concentrações de CT e PT. No Lago Polegar e no Lago Centro Esportivo II não foi observada correlação significativa entre as concentrações de CT, NT e PT (Tab. III).

Tabela III: Correlação de Spearman's (r_s) entre as concentrações de Carbono Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total, em cada um dos quatro lagos analisados, (*) correlação significativa $p < 0,05$ ($n=30$)

Lagos	Nutrientes	CARBONO	NITROGÊNIO	FÓSFORO
Biguás	CARBONO	-	-	-
	NITROGÊNIO	$r_s=0,886^*$	-	-
	FÓSFORO	$r_s=0,934^*$	$r_s=0,881^*$	-
Negro	CARBONO	-	-	-
	NITROGÊNIO	$r_s=0,829^*$	-	-
	FÓSFORO	$r_s=0,602$	$r_s=0,825^*$	-
Polegar	CARBONO	-	-	-
	NITROGÊNIO	$r_s=0,429$	-	-
	FÓSFORO	$r_s=0,551$	$r_s=0,695$	-
C. Esp.II	CARBONO	-	-	-
	NITROGÊNIO	$r_s=0,664$	-	-
	FÓSFORO	$r_s=-0,582$	$r_s=-0,353$	-

As relações entre as concentrações de carbono nitrogênio e fósforo (C:N:P) encontrada nos quatro lagos (Tab. IV), foi mais elevada no Lago Negro, principalmente quanto a relação entre as concentrações de carbono e fósforo. No Lago Centro Esportivo II foram observadas as menores relações entre as concentrações de nutrientes.

Tabela IV: Relação de C: N: P entre as concentrações de Carbono Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total, no sedimento de cada um dos quatro lagos analisados.

LAGO DOS BIGUÁS				LAGO NEGRO			
	C: N	C: P	N: P		C: N	C: P	N: P
0-1 cm	7,38	23,12	4,30	0-1 cm	16,97	86,89	5,12
1-2cm	6,67	17,30	4,25	1-2cm	9,34	65,20	6,98
2-4 cm	5,99	17,47	8,76	2-4 cm	6,75	31,92	4,73
4-6 cm	1,55	31,57	20,35	4-6 cm	8,20	26,33	3,21
6-8 cm	0,79	21,53	27,31	6-8 cm	4,77	12,50	2,62
8-10 cm	0,52	56,87	109,53	8-10 cm	1,56	4,60	2,94
LAGO POLEGAR				LAGO C. ESPORTIVO II			
	C: N	C: P	N: P		C: N	C: P	N: P
0-1 cm	6,95	58,58	8,43	0-1 cm	1,99	13,59	13,70
1-2cm	5,62	29,94	3,93	1-2cm	1,38	13,70	9,94
2-4 cm	5,64	29,38	5,21	2-4 cm	1,00	9,33	9,33
4-6 cm	1,92	10,57	5,52	4-6 cm	1,55	8,62	5,57
6-8 cm	0,84	7,92	9,41	6-8 cm	3,97	10,01	2,52
8-10 cm	0,16	2,68	16,26	8-10 cm	3,09	3,64	1,18

3.1.5- Concentração de Metano (CH₄)

As concentrações de CH₄ ao longo do perfil vertical, nos quatro lagos (Fig. 7), variaram entre $6,16 \pm 3,66 \mu\text{mol CH}_4 \text{ l}^{-1}$ (fração de 4-6cm do Lago Centro Esportivo II) e $252,02 \pm 164,39 \mu\text{mol CH}_4 \text{ l}^{-1}$ (fração de 4-6cm do Lago Negro). É observado que as maiores concentrações ocorreram em todas as frações do Lago Negro, seguidas pelo Lago dos Biguás, exceto na fração 4-6cm onde o lago Polegar apresenta o segundo maior valor.

No Lago Negro as concentrações mais elevadas ocorreram a partir da segunda fração do perfil, assim como no Lago Polegar, que apresentou a maior concentração na quarta fração (4-6 cm) e o Lago Centro Esportivo II, que apresentou a maior concentração na quinta fração (6-8 cm). No Lago dos Biguás a concentração mais elevada ocorreu na primeira fração.

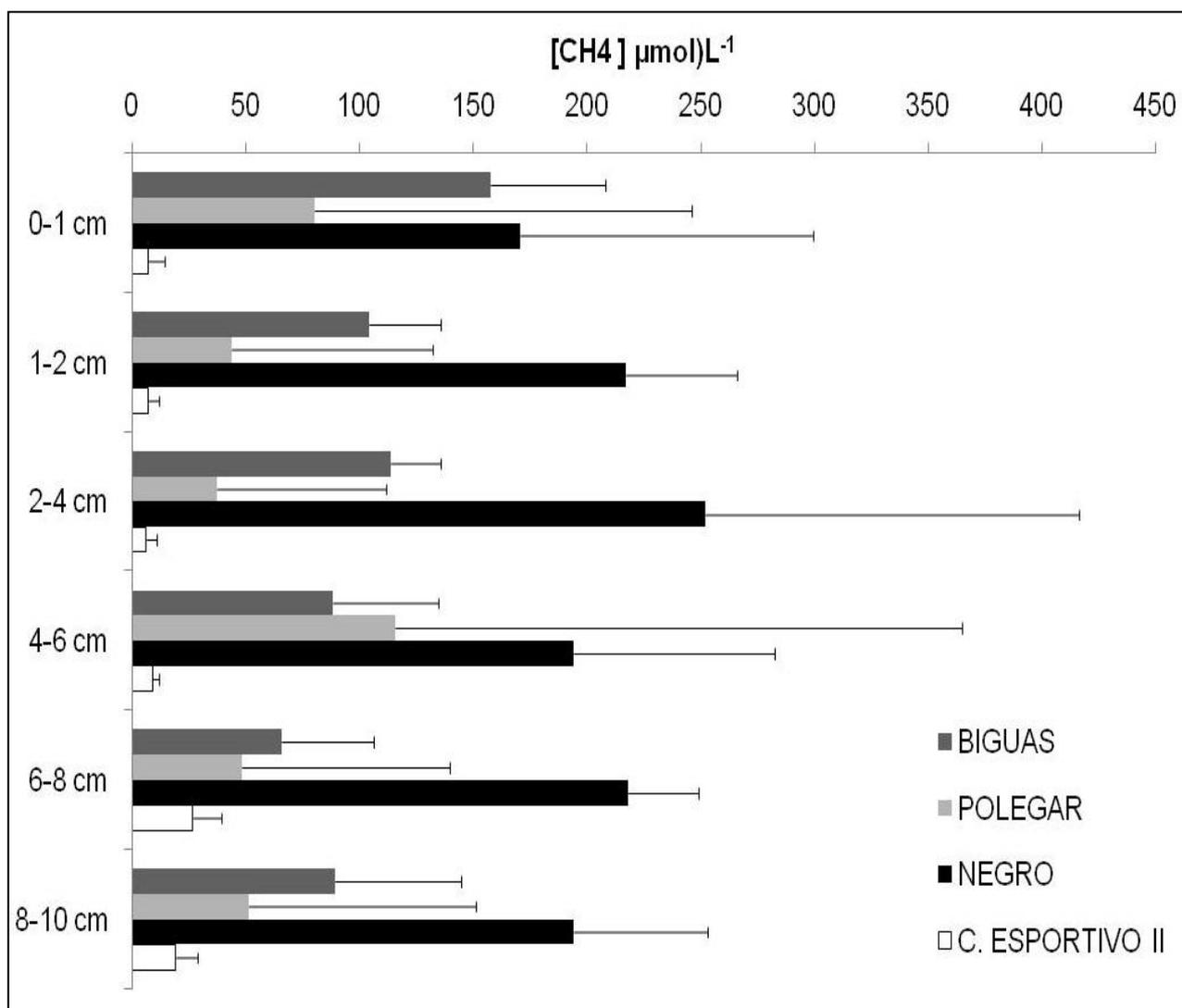


Figura 7: Perfil vertical das concentrações de Metano ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) no sedimento dos quatro lagos analisados.

As seis frações do perfil vertical do sedimento de cada um dos lagos, não apresentaram diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$) quanto às concentrações de CH_4 .

As concentrações na segunda fração (1-2cm) e na terceira fração (2-4cm) do Lago Negro apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$) ao serem comparadas as concentrações das seis frações do Lago Centro Esportivo II.

A correlação entre as concentrações de CH_4 e as demais variáveis analisadas, utilizando-se a ACP, possibilitou visualizar a formação de dois grupos distintos (figura 8). O Primeiro grupo, agrupado pela composição de areia, é formado por todas as frações do Lago Centro Esportivo II, mais cinco frações do Lago Polegar (0-1, 1-2, 4-6, 6-8 e 8-10cm), as três últimas frações do Lago dos Biguás (4-10cm) e a última fração do Lago Negro. O segundo grupo está associado as concentrações de CH_4 e nutrientes

além da composição de matéria orgânica e é formado pelas duas frações superficiais do Lago dos Biguás, as quatro últimas do Lago Negro (2-10cm) e as frações intermediárias do Lago Polegar (1-2 e 2-4cm). As duas primeiras frações do Lago Negro, que apresentaram as maiores concentrações de nutrientes ficaram mais distantes. Os eixos 1 e 2 apresentaram respectivamente autovalores de 3,76 e 2,66 que corresponde à 47% e 33% da variação dos dados, ou 80% da variação total.

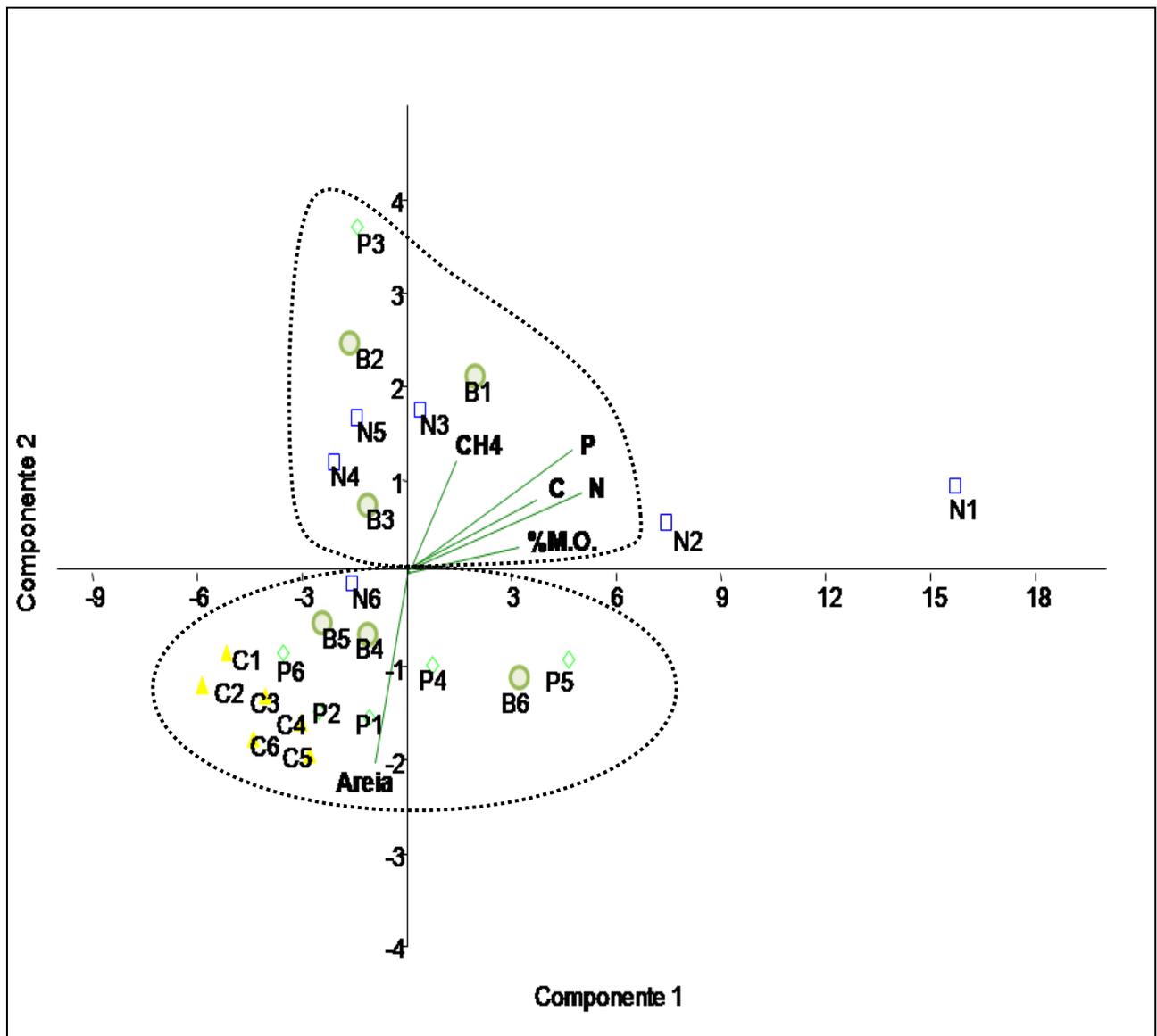


Figura 8: Análise de componentes principais das concentrações de CH₄, matéria orgânica (%M.O.), nutrientes (CT, NT, PT), composição granulométrica (areia, silte e argila) das diferentes frações (1, 2, 3, 4, 5, 6) dos quatro lagos investigados ((●)= Biguás,(□)=.Negro, (◇) = Polegar, (▲) = Centro Esportivo II).

3.2- Variação sazonal nas concentrações de CH₄, M.O. e nutrientes (N e P) na camada superficial do sedimento

3.2.1- Variáveis meteorológicas

A velocidade do vento apresentou pouca variação ao longo do ano, as maiores médias foram registradas durante a primavera e as menores durante o outono. As taxas médias de precipitação foram mais baixas durante a primavera e mais elevadas durante o inverno (Tab. V).

Tabela V: Dados meteorológicos, médias sazonais e desvio padrão, entre parêntese, valores máximos e mínimos (MAX / MIN) de temperatura (°C) e velocidade do vento (m/s) e as taxas médias de precipitação.

	Temperatura do Ar (°C)	MIN. / MÁX. (°C)	Velocidade do Vento (m/s)	MIN./MÁX. (m/s)	Precipitação (mm)
Verão	23,81 (2,84)	15,4 / 32,6	3,86 (1,79)	0 / 12,1	0,098 (0,79)
Outono	16,73 (5,24)	3,1 / 31,6	3,19 (1,97)	0 / 11,2	0,121 (0,74)
Inverno	14,13 (5,24)	3,8 / 26,8	3,43 (2,05)	0 / 13,4	0,202 (1,10)
Primavera	21,28 (3,23)	11,1 / 31,3	4,89 (3,30)	0 / 10,1	0,004 (0,0095)

3.2.2- Variação sazonal da temperatura e do oxigênio dissolvido da coluna d'água

As temperaturas mais elevadas da coluna foram registradas no Lago Negro, durante o verão (Tab. VI), com valores de 29,2°C na superfície e 27,4°C no fundo. A menor temperatura na superfície da coluna da água foi registrada no Lago Polegar (13,5°C) e no fundo (13,3°C) durante o outono.

As concentrações de O₂ dissolvido, foram mais elevadas no Lago dos Biguás, tanto na superfície (9,69 mg.O₂ L⁻¹) como no fundo (9,93 mg.O₂ L⁻¹), ambas registradas durante o outono. As menores concentrações foram registradas no Lago Negro, na superfície (0,98 mg.O₂ L⁻¹) e no fundo (0,27 mg.O₂ L⁻¹), durante o inverno (Tab. VI).

Tabela VI: Variação sazonal nas concentrações de oxigênio dissolvido $\text{mg.O}_2 \text{ L}^{-1}$ (OD) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$), na superfície e no fundo da coluna d'água em cada um dos quatro lagos.

	VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA	
	OD	T ° C	OD	T ° C	OD	T ° C	OD	T ° C
Lago dos Biguás								
Superfície	9,43	26,8	9,69	15	8,2	18,1	5,69	25,8
Fundo	6,46	27,3	9,93	15	7,66	18,0	6,02	25,3
Lado Negro								
Superfície	2,21	29,2	1,29	14,3	0,98	14,2	1,07	25,4
Fundo	1,04	27,4	0,82	13,3	0,27	14,0	0,57	25,1
Lago Polegar								
Superfície	8,91	26,5	7,58	13,5	7,04	16,5	6,45	25,6
Fundo	7,99	26,2	7,7	13,3	7,03	16,8	6,5	25,3
Lago C. Esportivo II								
Superfície	7,43	28,5	6,24	16,5	6,28	17,7	6,5	22,7
Fundo	6,15	27,3	6,07	16,5	6,3	19,2	6,45	22,7

3.2.3- Concentrações de NT e PT na camada superficial do sedimento e na coluna d'água

As concentrações de NT no sedimento ao longo do ano foram predominantemente mais elevadas na primeira fração da coluna sedimentar (0-2cm), exceto durante a primavera no Lago Negro e no Lago Centro Esportivo II (Fig. 9). As médias da primeira fração variaram entre $0,07 \text{ mmol.g}^{-1}$ (primavera, Lago Centro Esportivo II) e $1,43 \text{ mmol.g}^{-1}$ (inverno, Lago Negro). Na segunda fração (2-4cm), as médias variaram entre $0,07 \text{ mmol.g}^{-1}$ (inverno, Lago Centro Esportivo II) e $1,2 \text{ mmol.g}^{-1}$ (inverno, Lago Negro).

As concentrações de NT na primeira fração do Lago dos Biguás, durante o inverno, apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), quando comparadas as concentrações de primavera (0-2 e 2-4cm). No Lago Negro a concentração de primavera (0-2cm) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) das concentrações de outono e inverno (0-2cm). No Lago Polegar e no Lago Centro Esportivo II não foi observada diferença significativa entre as concentrações ao longo do ano.

As maiores concentrações de NT na coluna d'água foram registradas durante o verão no Lago dos Biguás ($0,386 \text{ mmol.L}^{-1}$), os valores mais baixos ocorreram durante a primavera, no Lago Polegar ($0,038 \text{ mmol.L}^{-1}$). A correlação entre as concentrações de NT, na coluna da água e no sedimento, apresentaram valores significativos, apenas, no Lago dos Biguás ($p < 0,05$).

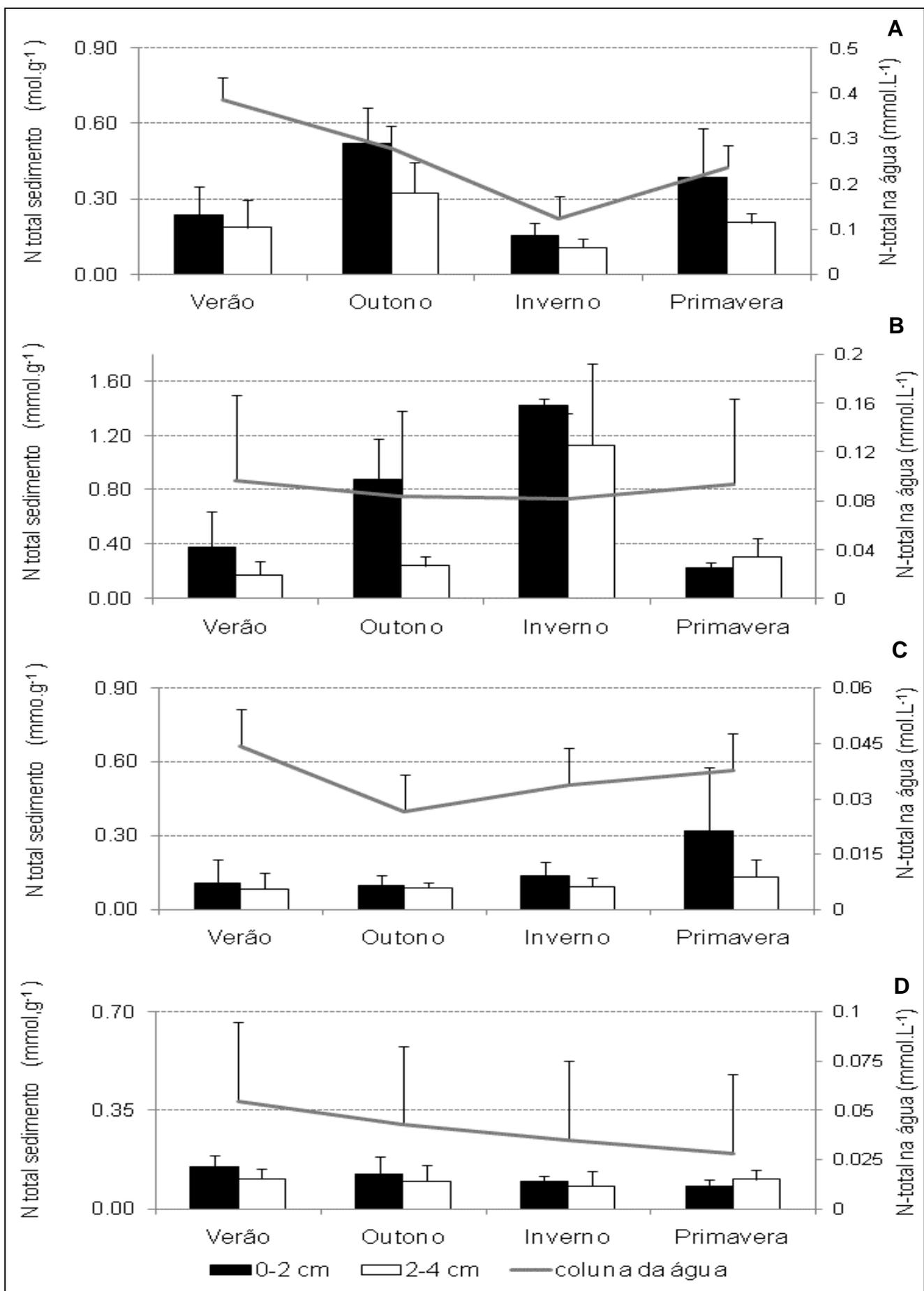


Figura 9: Médias sazonais e desvio padrão das concentrações de nitrogênio total em cada fração do sedimento (mmol.g^{-1}) e na coluna da água (mmol.L^{-1}) em cada um dos quatro lagos: **A.** Lago dos Biguás, **B.** Lago Negro, **C.** Lago Polegar e **D.** Lago Centro Esportivo II.

As concentrações de NT no sedimento, em cada estação climática, apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) durante o verão entre o Lago Polegar e o Lago Centro Esportivo II, mantendo-se durante o outono e primavera. O Lago dos Biguás apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) quando comparado ao Lago C. Esportivo II no período de outono. A única diferença significativa ($p < 0,05$) observada durante o inverno foi entre o Lago Negro e o Lago Polegar.

As concentrações de PT, no sedimento, apresentaram padrões sazonais diferenciados para cada um dos lagos (Fig. 10). As menores concentrações ocorreram no Lago Centro Esportivo II $0,007 \mu\text{mol.g}^{-1}$ (primavera) e as maiores no Lago Negro $4,61 \mu\text{mol.g}^{-1}$ (inverno).

Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre as concentrações de PT no sedimento entre o período de outono (0-2cm) e primavera (2-4cm) no Lago Negro. No Lago dos Biguás a diferença foi significativa ($p < 0,05$) entre o outono (0-2cm) e a primavera (2-4cm), assim como entre a primavera (2-4cm) e o inverno (0-2 e 2-4cm). O Lago Polegar apresentou diferença significativa entre o verão (2-4cm) e a primavera (0-2cm). O Lago Centro Esportivo II apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre a primavera e as demais estações.

A correlação entre as concentrações de PT no sedimento e na coluna não apresentaram valores significativos. A concentração mais baixa na coluna da água foi registrada durante a primavera, no Lago Centro Esportivo II ($0,45 \mu\text{mol.L}^{-1}$) e mais elevada ocorreu durante o outono no Lago dos Biguás ($10,52 \mu\text{mol.L}^{-1}$).

A diferença entre as concentrações de PT no sedimento foi significativa ($p < 0,05$) entre o Lago dos Biguás e Polegar, durante o outono. O Lago Negro também apresentou diferença significativa com o Lago dos Biguás durante o inverno e a primavera. Durante o inverno a diferença entre o Lago Centro Esportivo II e o Lago dos Biguás também foi significativa ($p < 0,05$).

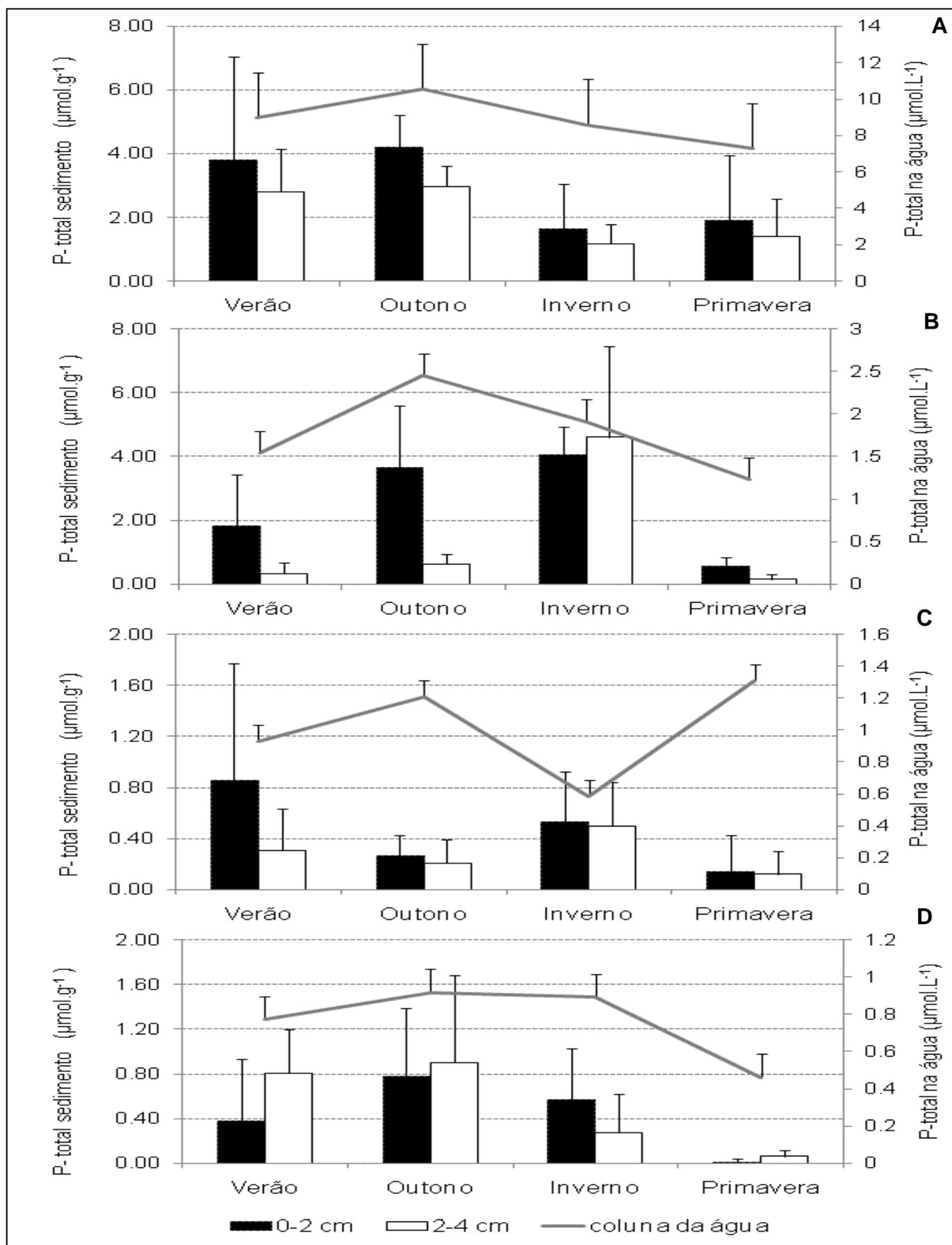


Figura 10: Média e desvio padrão da variação sazonal das concentrações de fósforo total em cada fração do sedimento ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) e na coluna da água ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) em cada um dos quatro lagos: **A.** Lagos dos Biguás, **B.** Lago Negro, **C.** Lago Polegar e **D.** Lago Centro Esportivo II.

No Lago dos Biguás foi observada correlação significativa entre as concentrações de NT na água e as concentrações de PT ($r=0,55$; $p<0,05$) e NT ($r=0,46$; $p<0,05$) no sedimento. No Lago Centro Esportivo II foi observada uma correlação negativa significativa entre a M.O. e as concentrações de NT do sedimento ($r= - 0,46$; $p<0,05$). No Lago Negro foram observadas correlações entre as concentrações de CH₄ e as concentrações de NT ($r= -0,71$; $p<0, 001$) e PT ($r= - 0,56$; $p<0,05$) no sedimento. No Lago Polegar não foram observadas correlações significativas entre as variáveis, tanto da água como do sedimento.

A relação NT:PT na coluna da água apresentou o predomínio dos maiores valores durante o período de primavera e verão (Tab. VII). No Lago dos Biguás, esta relação, apresentou maior semelhança entre os valores do sedimento e da coluna de água. Para os Lagos Negro, Polegar e Centro Esportivo II a relação na coluna de água apresentou valores muito mais elevados do que no Lago dos Biguás. Isto indica que o lago eutrófico apresenta proporções semelhantes no sedimento e na coluna de água, enquanto os demais lagos apresentam uma proporção muito maior de NT em relação ao PT.

Tabela VII: Variação sazonal da relação NT:PT no sedimento e na água dos quatro lagos analisados.

Relação NT: PT		SEDIMENTO	ÁGUA
VERÃO	Biguás	0.62	2.75
	Negro	2.08	28.36
	Polegar	1.00	21.34
	C.Esportivo II	3.92	31.97
OUTONO	Biguás	1.24	1.83
	Negro	2.40	15.40
	Polegar	3.30	9.86
	C.Esportivo II	1.61	21.01
INVERNO	Biguás	0.93	1.83
	Negro	3.51	19.27
	Polegar	1.78	26.03
	C.Esportivo II	1.75	17.62
PRIMAVERA	Biguás	2.03	1.74
	Negro	4.07	34.33
	Polegar	4.30	12.96
	C.Esportivo II	1.22	27.60

3.2.4- Clorofila-a na coluna de água

As concentrações de chl-a (Fig. 11) foram mais elevadas no Lago dos Biguás, ao longo de todo o ano. Neste mesmo Lago houve uma correlação significativa entre as concentrações de chl-a e nutrientes da coluna d'água, NT ($r=0,54$; $p<0,05$) e PT ($r=0,51$; $p<0,05$). O Lago Centro Esportivo II apresentou correlação entre as concentrações de chl-a e NT da água ($r=0,49$; $p<0,05$) e do sedimento ($r=0,65$; $p<0,05$).

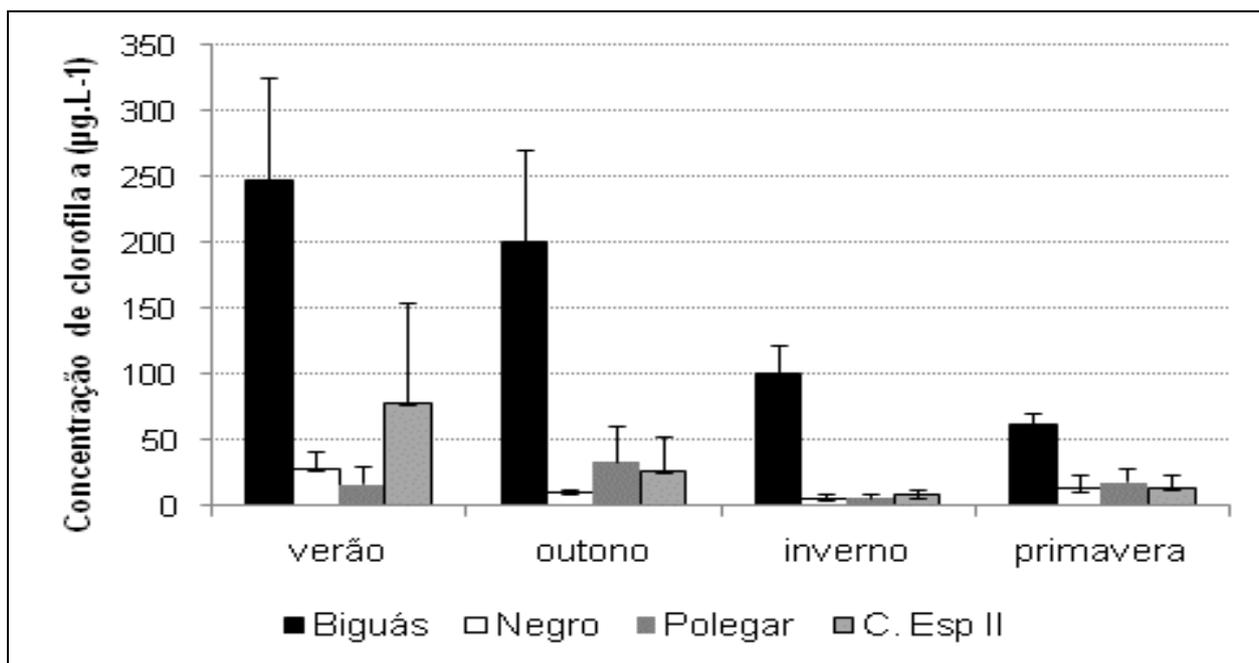


Figura 11: Médias sazonais e desvio padrão das concentrações de clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na coluna d'água em cada um dos Lagos.

3.2.5 - Matéria Orgânica no sedimento

As porcentagens de matéria orgânica (Tab. VIII) foram mais elevadas no Lago Negro (0-2cm), em todas as estações do ano, com amplitude de 15,1 a 21,9%. O lago dos Biguás apresentou valores entre 0,6 a 6,6%. Os Lagos Polegar e Centro Esportivo II apresentaram como maiores valores 1,6 e 2,3%, respectivamente.

Tabela VIII: Porcentagem de matéria orgânica (%) nas duas frações de sedimento dos quatro lagos em cada uma das estações do ano.

	<i>MATÉRIA ORGÂNICA</i>			
	VERÃO	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA
Biguás				
0-2 cm	4,7 (0,78)	5,7 (0,3)	2,1 (1,3)	6,1 (0,9)
2-4 cm	5,4 (1,04)	6,6 (0,5)	0,6 (0,8)	3,3 (0,8)
Negro				
0-2 cm	16,1 (0,9)	21,9 (1,2)	18,2 (1,2)	15,1 (1,1)
2-4 cm	2,6 (0,45)	7,4 (0,31)	7,1 (0,3)	9,7 (1,1)
Polegar				
0-2 cm	1,4 (0,34)	0,1 (1,2)	0,01 (0,6)	1,3 (1,4)
2-4 cm	1,6 (0,93)	0,7 (0,3)	0,9 (0,9)	0,6 (0,9)
C. Esp. II				
0-2 cm	1,4 (0,92)	0,01 (1,2)	1,6 (0,4)	2,3 (0,9)
2-4 cm	1,17 (1,2)	0,3 (1,01)	1,2 (1,4)	1,1 (1,2)

3.2.6 - Concentração de metano (CH₄)

A concentração de CH₄ ao longo do ano (Fig. 12), foi mais baixa durante o outono na fração superficial do Lago Centro Esportivo II (1,19 μmol CH₄ L⁻¹) e mais elevada durante o verão na segunda fração do Lago dos Biguás (522,4 μmol CH₄ L⁻¹). O Lago Negro apresentou concentrações mais elevadas na segunda camada do sedimento (2-4cm), em todas as estações do ano, com picos no verão e na primavera.

A diferença entre as concentrações de CH₄ no Lago dos Biguás foi significativa ($p < 0,05$) entre o verão (0-2cm) e o inverno (0-2 e 2-4cm). No Lago Negro, a diferença foi significativa ($p < 0,05$) entre o outono (2-4cm) e o inverno (0-2cm), assim como a diferença entre o outono e a primavera (0-2cm). O Lago Centro Esportivo II apresentou diferença significativa entre as concentrações de verão (0-2cm) e de outono (0-2 e 2-4cm), e também entre as duas frações de verão e inverno. As diferenças no Lago Polegar foram significativas ($p < 0,05$) entre o verão (2-4cm) e o período outono-inverno (0-2cm).

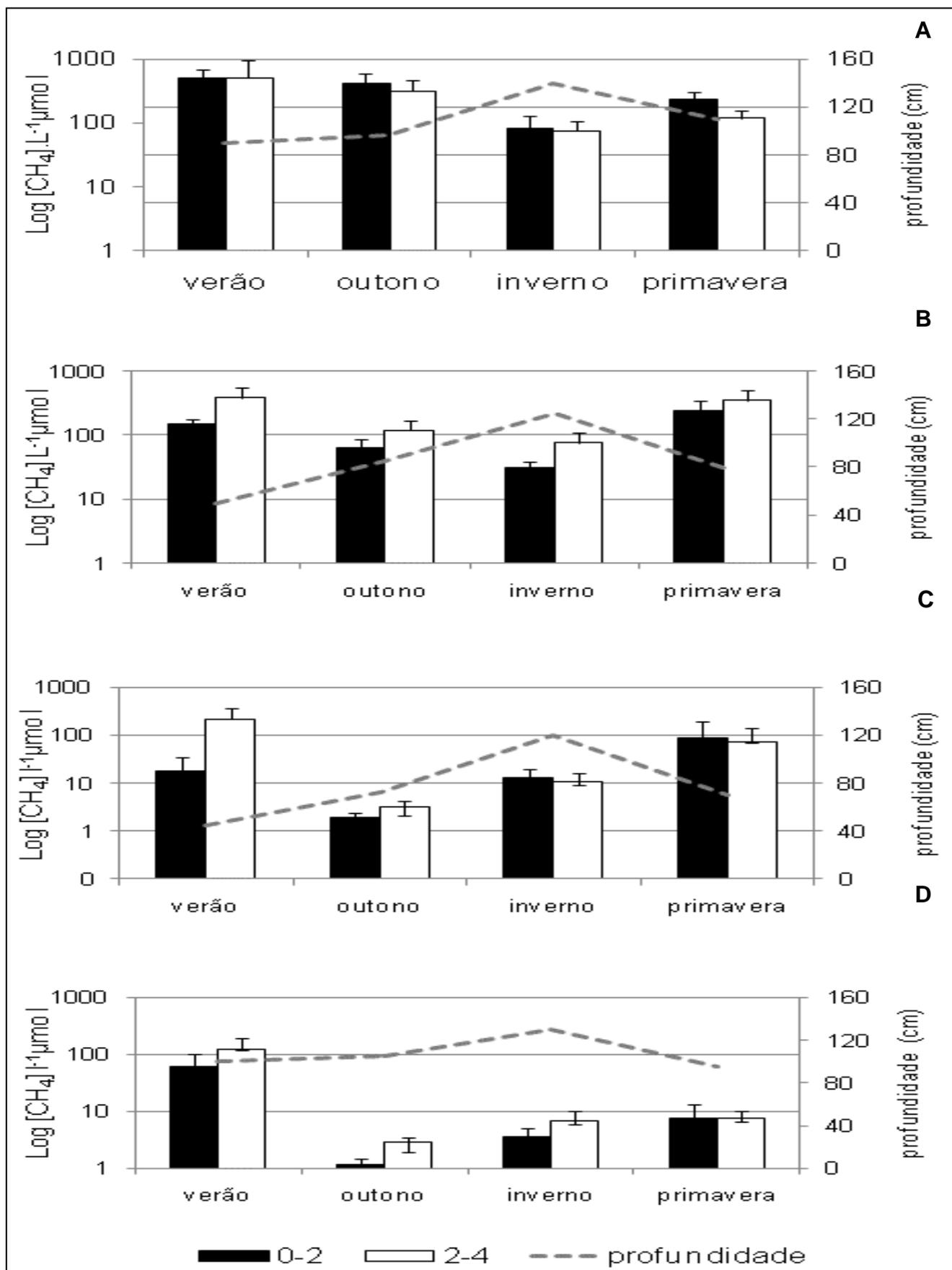


Figura 12: Variação sazonal nas concentrações de metano ($\mu\text{mol CH}_4 \text{ L}^{-1}$) no sedimento de cada um dos Lagos nas diferentes estações do ano. Os eixos verticais principais estão em escala logarítmica de base 10 (Log_{10}). **A.** Lagos dos Biguás, **B.** Lago Negro, **C.** Lago Polegar e **D.** Lago Centro Esportivo II.

O Lago dos Biguás apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as concentrações de CH_4 do Lago Polegar, durante os períodos de verão, outono e primavera. As diferenças entre o Lago dos Biguás e o Lago Centro Esportivo II se mantiveram ao longo do ano. O Lago Negro apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) quando comparado ao Lago C. Esportivo II nos períodos de inverno e primavera.

A ACP dos dados relativos as concentrações de CH_4 , NT, PT e M.O. no sedimento e as concentrações de NT, PT e chl-*a* na coluna d'água (Fig. 13), tem em seus componentes 1 (53,8%) e 2 (17,3%) o correspondente a 71,7% da explicação da variação dos dados. As frações superficiais do Lago Negro e do Lago dos Biguás estão correlacionadas as concentrações mais elevadas de NT, PT, M.O. e CH_4 do sedimento. O Lago dos Biguás apresentou maior correlação com as concentrações de NT, PT, chl-*a* da coluna da água e também com as concentrações de CH_4 no sedimento, principalmente nos períodos de verão, outono e primavera. O Lago Negro apresentou maior correlação com os valores de NT e M.O no sedimento, principalmente nos períodos de outono e inverno, quando as concentrações destes estavam mais elevadas. Os Lagos Polegar e Centro Esportivo II apresentaram correlação semelhante.

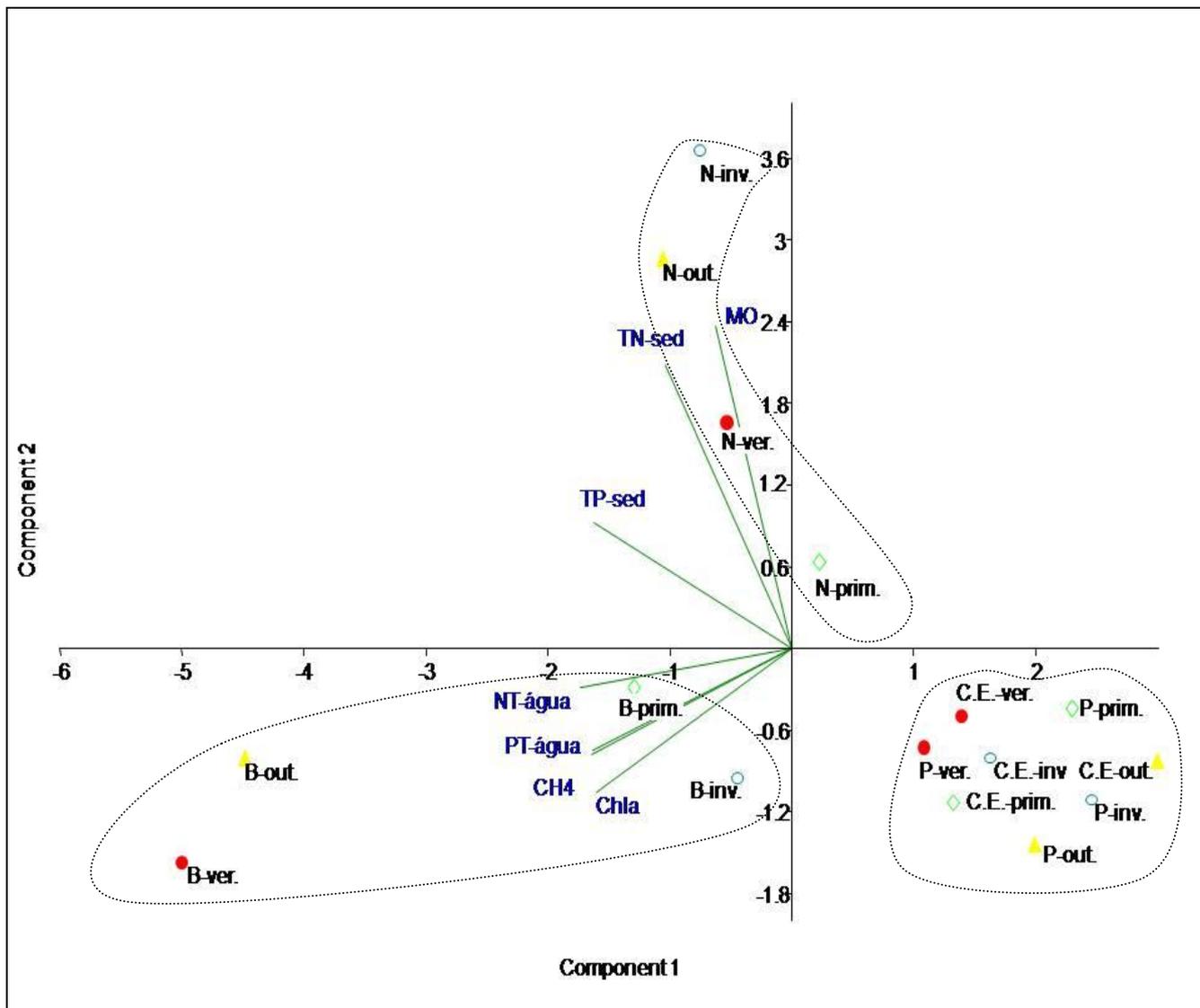


Figura 13: Análise de componentes principais das concentrações de nutrientes NT, PT e CH₄ e M.O, e variáveis da coluna da água (NT, PT) chl-a dos quatro lagos investigados (Biguás=B, Negro=N, Polegar=P, Centro Esportivo II (● = verão; ▲ = outono; ○ = inverno; ◇ = primavera)).

4- DISCUSSÃO

4.1- Caracterização do perfil do sedimento

Os lagos costeiros do Rio Grande do Sul apresentam o sedimento predominantemente composto por uma mistura de areia marinha, de dunas ou carregadas pelo vento, associadas à silte e argila oriundos do aporte alóctone. A variação nestas características depende da morfologia, das características do entorno e da herança geológica do ecossistema (Schäfer, 1992). Conforme informações apresentadas por Calliari (1998), os quatro lagos analisados, no presente trabalho,

estão localizados na barreira arenosa multicomplexa, caracterizados por depósitos eólicos, cordões e planícies arenosas, campus de dunas móveis e estáveis.

Segundo Liu et al. (2007), lagos com áreas vegetadas tendem a apresentar maiores concentrações de matéria orgânica na fração superficial do perfil vertical de sedimento (0-2cm) e redução nas concentrações das subseqüentes. O Lago Negro apresentou as maiores porcentagens de matéria orgânica em todas as frações do perfil vertical. Neste lago, a vegetação de entorno contribui com o aporte de material alóctone, que em conjunto com a cobertura de macrófitas aquáticas, proporcionam as maiores porcentagens de matéria orgânica encontradas neste estudo.

Segundo Ramirez e Noreña (2004) ecossistemas lacustres tropicais com elevadas taxas de produção primária e contribuição de matéria orgânica alóctone podem apresentar um sedimento tipicamente orgânico, onde as concentrações geralmente variam entre 17 e 21%. Os lagos do *Campus* Carreiros não apresentaram concentrações maiores do que 16%, mesmo no Lago Negro que recebe material alóctone, e no Lago Biguás (eutrófico). Desta forma o padrão geral destes lagos rasos não acompanha as tendências dos ambientes citados por Ramirez e Noreña (op. Cit.)

No entanto, as concentrações de M.O. indicam haver uma elevação na deposição de materiais sobre o sedimento dos quatro lagos, principalmente se levarmos em consideração o Lago Negro que apresentou as maiores porcentagens na primeira fração, assim como o Lago Centro Esportivo II, que através da metodologia utilizada só apresentou matéria orgânica na primeira fração da coluna sedimentar.

Os perfis de Carbono e Nitrogênio totais realizados por Malley et al. (2000) em quatro lagos localizados no Canadá, apresentaram valores mais elevados na superfície da coluna sedimentar, decaindo com a profundidade, principalmente nos centímetros iniciais do perfil. Neste mesmo trabalho, os perfis de fósforo total apresentaram pouca variação ao longo dos perfis. Os perfis verticais de C, N e P totais no sedimento dos quatro lagos do *Campus* Carreiros apresentaram concentrações mais elevadas nas frações superficiais e redução nas frações subseqüentes, indicando um aumento na deposição e acúmulo de nutrientes sobre o sedimento destes ecossistemas. As diferenças significativas entre as frações superficiais e as mais profundas, quanto às concentrações de CT (Lago dos Biguás, Lago Negro e Polegar), NT (Lago dos Biguás, Lago Negro e Centro Esportivo II) e PT (Lago dos Biguás e Lago Negro) indicam um aumento no aporte e sedimentação de nutrientes sobre o sedimento destes lagos.

Segundo Ligeza & Smal (2003) ambientes aquáticos que tem em seu entorno colônias de aves, recebem significativo aporte de nutrientes, principalmente nitrogênio

e fósforo. Como consequência ocorre à elevação destes nutrientes na coluna d'água e no sedimento. No presente estudo, as concentrações de nutrientes no sedimento e na coluna da água detectadas no Lago dos Biguás podem ser atribuídas a presença de aves em suas ilhotas centrais, utilizadas como abrigo noturno em determinadas épocas do ano. As concentrações mais elevadas de nutrientes na coluna da água e a segunda maior concentração de nutrientes no sedimento, em relação aos demais lagos, indicam que o aporte de excretas de aves contribui para o aumento nas concentrações de nutrientes na coluna da água e no sedimento, acelerando o processo de eutrofização deste lago. As concentrações de O₂ dissolvido, fósforo e nitrogênio total, condutividade elétrica, chl-*a* e pH na coluna da água foram mais elevadas neste lago. Segundo Ramos (2008) no lago dos Biguás ocorrem as maiores taxas de produção primária, valores característicos de ambientes eutróficos.

Segundo Bastviken, et al. (2004), a produção autóctone estimula a produção de CH₄, lagos com elevadas taxas de produção tendem a apresentar concentrações de CH₄ mais elevadas no hipolímnio e na camada superficial do sedimento. Confirmando o esperado de que o Lago dos Biguás, ambiente eutrofizado, apresentasse as maiores concentrações de CH₄ na primeira fração do sedimento (0-1cm).

O material autóctone tende a ser mais facilmente decomposto, quando comparado a decomposição do material alóctone (Hecky et al., 1993), possivelmente por isso, o Lago Negro, apresentou maiores concentrações de M.O. e nutrientes. As folhas e galhos depositados sobre o sedimento devem ser decompostas mais lentamente quando comparados as excretas de aves do Lago dos Biguás, acarretando uma maior concentração de chl-*a* e nutrientes na coluna d'água. Segundo Liikanen et al. (2003) sedimentos com relação C/N entre 5 e 6 não contém materiais de origem alóctone. A relação C/N encontrada no Lago Negro, principalmente, na primeira fração da coluna sedimentar, indica que este lago realmente possua uma maior contribuição alóctone em relação aos demais lagos.

Segundo Santos et al. (2004) a correlação entre as concentrações de C, N e P encontradas em alguns pontos da Lagoa Mirim, sugerem que estes elementos possuam a mesma fonte, comportamento e padrão de distribuição. As correlações entre as concentrações de CT, NT e PT encontradas no Lago Negro e principalmente no Lago dos Biguás, indicam que a fonte de nutrientes para cada um destes lagos seja a mesma. Sendo a contribuição alóctone, no Lago Negro, oriunda de folhas e galhos de *Eucalyptus* sp.

O aumento na liberação de nutrientes, em especial, fósforo e nitrogênio, oriundos do sedimento pode contribuir, com a elevação nas taxas de produção de CH₄ tanto na coluna da água como no sedimento (Liikanen et al., 2002). Para alguns autores (Liikanen et al., 2003; Fonseca et al., 2004), elevadas taxas de produção de CH₄ no sedimento podem estar associadas a concentrações também elevadas de CT. No presente estudo, as maiores concentrações de CH₄ foram encontradas nos lagos com as maiores concentrações de nutrientes e matéria orgânica no sedimento, em especial no Lago Negro. Lagos acidotróficos e oligotróficos tendem a apresentar maiores taxas de produção de CH₄ nas camadas mais profundas do sedimento (Casper, 1992). Os Lagos Centro Esportivo II, Polegar (oligotróficos), e o Lago Negro (com baixo pH) apresentaram concentrações mais elevadas em camadas intermediárias do perfil, corroborando os dados de Casper (op. Cit).

O Lago Negro apresentou as concentrações mais elevadas de CH₄ em todas as camadas do perfil, além das menores concentrações de oxigênio dissolvido, tanto na superfície como no fundo da coluna d'água. Este ambiente recebe, o aporte de matéria orgânica alóctone, folhas e galhos de *Eucalyptus* sp. que ao serem decompostas, conferem características ácidas ao ecossistema (Albertoni et al., 2005). Segundo Antonio et al. (1999) a mineralização de folhas e galhos tem como uma de suas conseqüências o aumento no consumo de oxigênio. As condições anóxicas facilitam a metanogênese e as variações nas concentrações do oxigênio dissolvido na superfície sedimento-água interferem na dinâmica do CH₄ nos ecossistemas aquáticos (Segers, 1998; Liikanen et al., 2002; Liikanen et al., 2003; Bastviken et al., 2004). A concentração de CH₄ na camada superficial do sedimento de um pequeno lago ácido, situado em uma área florestada no nordeste de Alemanha, descrito por Casper et al. (2003) apresentou concentração aproximadamente duas vezes maior do que a concentração média da camada superficial do Lago Negro. No entanto, as concentrações de matéria orgânica e a profundidade do lago Alemão, são mais elevadas do que no Lago Negro.

Desta forma, o processo de decomposição das folhas e galhos de *Eucalyptus* sp. depositados sobre o sedimento do Lago Negro, além de contribuir para a acidificação e redução das concentrações de O₂ da coluna d'água, podem intensificar a metanogênese e/ou reduzir metanotrofia, ou seja, o consumo do metano.

Por outro lado, a maior produtividade do lago dos Biguás, mantida pelas altas concentrações de nutrientes, produz matéria orgânica de microalgas, que quando depositada sobre a superfície do sedimento é mais facilmente decomposta. Neste

caso, ocorre um alto consumo de oxigênio fazendo com que na fração superficial (0-1cm) sejam encontradas as maiores concentrações de metano.

O aporte de matéria orgânica alóctone é um dos fatores facilitadores da metanogênese e dinâmica do CH₄ (Bastviken et al., 2004; Fonseca et al., 2004). Para Fonseca et al. (2004) as mudanças ocorridas no sedimento devido a decomposição de macrófitas aquáticas e vegetação de entorno do ecossistema podem, também, facilitar os processos metanogênicos e elevar as concentrações de CH₄ no sedimento. Para este mesmo autor, o acompanhamento das diferenças entre as concentrações de CH₄ ao longo do perfil vertical facilita a percepção do acúmulo temporal de materiais alóctones e autóctones sobre o sedimento.

Com base nos resultados obtidos é possível perceber que a concentração de CH₄ no sedimento é um bom indicador do grau de trofia e do aporte de materiais em lagos rasos. A interpretação da ACP permite visualizar que as frações superficiais dos Lagos Negro e dos Biguás apresentam maiores valores de matéria orgânica e concentrações de carbono, nitrogênio, fósforo e CH₄ associados ao aporte de materiais e condizentes com o estado trófico destes ambientes. As frações mais profundas dos lagos com maior aporte de materiais, alóctones e autóctones, e praticamente todas as frações dos lagos oligotróficos, que apresentaram maiores porcentagens de areia em sua composição, formaram um segundo grupo.

4.2- Variação sazonal nas concentrações de metano, matéria orgânica e nutrientes (N e P) nas frações superficiais do sedimento

A baixa profundidade, o conteúdo elevado de matéria orgânica e os padrões de velocidade e direção do vento são fatores que podem intensificar a ressuspensão do sedimento. Segundo Niemistö et al. (2008) a ressuspensão do sedimento, em lagos rasos, tende a provocar redução na relação NT:PT na coluna d'água. Durante a realização deste estudo, a velocidade do vento apresentou máximas superiores a 10 m/s, em todas as estações do ano. Além do mais, a redução na relação NT: PT indica que houve ressuspensão, principalmente após o verão.

Segundo Bussman (2005), as concentrações de CH₄ no sedimento sofrem variações proporcionadas pela ressuspensão do sedimento, intensificada por fatores sazonais, tais como as variações na velocidade do vento. Assim, a ação do vento com velocidade máxima acima de 10m/s, em todas as estações do ano, característica da

planície costeira, aliada a baixa profundidade dos lagos estudados, torna o processo de ressuspensão frequente nestes sistemas. Segundo Giacomini (2008) as concentrações de CH₄ encontradas no sedimento do Lago Polegar tenderam a ser refletidas na coluna da água e na liberação para a atmosfera. Desta forma, os Lagos Negro e dos Biguás, possivelmente tenham uma maior contribuição quanto as emissões de CH₄.

Segundo Burger et al. (2007) elevadas concentrações de nutrientes no sedimento, são o resultado de períodos prolongados, décadas, de aporte de material alóctone. Ecossistemas com estas características tendem a liberar altas concentrações de nutrientes para a coluna d'água, principalmente quando sob anoxia na interface sedimento água. Os ambientes com elevadas taxas de sedimentação de matéria orgânica apresentam concentrações de CH₄ mais altas no sedimento (Bucholz et al., 1995). Os resultados encontrados, no presente trabalho, corroboram esta afirmativa, pois o Lago dos Biguás apresentou as maiores concentrações de CH₄ no sedimento, possivelmente em função das altas concentrações de NT e PT na coluna da água detectadas ao longo do período de estudo. O aporte de matéria orgânica neste ambiente está relacionado principalmente às excretas de aves, que repousam nas ilhotas centrais deste lago em determinadas épocas do ano. Da mesma forma, elevadas concentrações de nutrientes e CH₄ foram encontradas no Lago Negro, sistema que também recebe elevada contribuição de matéria orgânica alóctone, caracterizado, principalmente por folhas e galhos de *Eucalyptus* sp do bosque que circunda o lago.

A relação entre as concentrações de nutrientes no sedimento e na coluna da água com elevadas concentrações de CH₄ fica evidente também quando levados em consideração os valores, destes parâmetros, nos lagos Polegar e Centro Esportivo II, caracterizados como ambientes oligotróficos. Suas concentrações, principalmente de CH₄ foram menores que as nos lagos mais enriquecidos. Estes resultados permitem seguir a utilização da variação na concentração de CH₄ como ferramenta na caracterização do estado trófico de sistemas aquáticos rasos. Além de inferir sobre a maior liberação deste gás a partir destes sistemas quando sob condições de eutrofização acelerada. Segundo Marinho et al. (2009) em análise das concentrações de CH₄ na coluna da água dos Lagos Polegar e Biguás, estes dois sistemas apresentam diferenças nas concentrações deste gás relacionadas as diferenças no estado trófico de cada ambiente.

Segundo Trolle et al. (2009), as elevadas concentrações de fósforo total na fração superficial do sedimento do Lago Taihu na China, lago raso de grande extensão,

apresentou correlação de Pearson significativa ($p < 0,05$), com valores baixos, entre as concentrações de nitrogênio, fósforo e Chl-*a* da coluna d'água. Neste mesmo lago, as concentrações de nitrogênio total na fração superficial do sedimento não apresentaram correlação com as variáveis da coluna d'água. Para estes autores, as elevadas concentrações de fósforo total no sedimento refletem diretamente a elevação no estado trófico da coluna da água. No Lago dos Biguás, as elevadas concentrações de fósforo total detectadas na fração superficial do sedimento apresentaram correlação semelhante com as concentrações de chl-*a* e nitrogênio da coluna da água. Nos demais lagos, a concentração de fósforo total na fração superficial do sedimento apresentou correlação com as concentrações de CH₄, no Lago Negro. Ou seja, a correlação de Pearson (r) entre as concentrações de fósforo total no sedimento e as variáveis na coluna d'água reflete melhor as condições de ambientes eutrofizados.

Ao analisar o conjunto de resultados em relação ao período anual estudado, os grupos formados através da ACP parecem refletir mais claramente as diferenças entre as concentrações de nutrientes, matéria orgânica e CH₄ no sedimento, bem como as correlações com as variáveis da coluna d'água em lagos rasos com diferentes graus de trofia. A correlação encontrada entre as elevadas porcentagens de M.O. e elevadas concentrações de CH₄, caracterizando a potencialidade de emissão de metano a partir de ambientes mais enriquecidos, outros fatores parecem contribuir para a elevação das concentrações de CH₄ no sedimento.

Vários autores reportam que as concentrações de oxigênio dissolvido na coluna da água (Bastviken, et al., 2004; Huttunen et al., 2003; Liikanen et al., 2003), a penetração do oxigênio no sedimento (Furtado et al. 2002) e o aumento na temperatura contribuem com o aumento da produção de CH₄ no sedimento (Liikanen et al., 2002).

A evidência da influência das baixas concentrações de oxigênio dissolvido fica clara quando se avalia o Lago Negro ao longo do ano, onde foram encontradas a segunda maior concentração de CH₄ e os menores valores de oxigênio durante todo o período. E a influência da temperatura elevada fica evidenciada, no presente estudo, quando se verifica que as maiores concentrações de CH₄ no sedimento foram detectadas nos meses mais quentes, para todos os lagos estudados.

No presente estudo, durante os meses mais quentes, foram registradas as maiores concentrações de CH₄ no sedimento. As concentrações foram mais baixas quando as concentrações de oxigênio dissolvido estavam mais elevadas, tanto na superfície como no fundo da coluna d'água.

Assim, para ambientes com baixas concentrações de nutrientes na coluna da água e no sedimento, pode-se sugerir que as variáveis abióticas, oxigênio dissolvido e temperatura regulam a produção de CH₄. Já em sistemas com elevada carga de M.O., seja alóctone ou autóctone, além da temperatura e do oxigênio, a concentração de matéria orgânica tem maior interferência sobre as concentrações de metano, independentemente da estação do ano.

5- CONCLUSÕES

A predominância de areia na composição das diferentes frações da coluna sedimentar dos quatro lagos estudados reflete as semelhanças com os ambientes aquáticos da planície costeira do Rio Grande do Sul, predominantemente compostos por areia.

Existem diferenças entre as frações superficiais e mais profundas da coluna sedimentar, quanto as concentrações de CT, NT, PT e M.O.

Não ocorre diferença estatística entre as concentrações de CH₄, nas frações superficiais e as mais profundas do perfil vertical do sedimento de um mesmo lago.

Os lagos com valores mais elevados de M.O. alóctone (L. Negro e Biguás) apresentam maiores concentrações de CH₄ do que os lagos oligotróficos.

Nos lagos oligotróficos e distróficos a maior concentração de CH₄ ocorre em frações intermediárias do perfil sedimentar.

No lago eutrófico (lago dos Biguás) a maior concentração de CH₄ ocorreu nas frações superficiais.

Os maiores valores de CH₄ ocorrem nos meses mais quentes de primavera e verão em todos os lagos.

Em todas as estações ocorrem diferenças estatísticas significativas entre o Lago Eutrófico e os Lagos Oligotróficos, quanto as concentrações de CH₄.

As características do sedimento e a variação sazonal no aporte de matéria orgânica parecem influenciar diretamente sobre o aumento nas concentrações de CH₄, ao longo do ano, principalmente no Lago Negro e no Lago dos Biguás onde o aporte alóctone é mais elevado e perceptível.

O Lago eutrofizado, apresentou as maiores concentrações de CH₄ ao longo do ano, estas concentrações parecem estar associadas às concentrações de NT, PT e Chl-a da coluna d'água.

Os Lagos Polegar e Centro Esportivo II apresentaram as menores concentrações de CH₄, NT, PT e M.O. no sedimento, assim como as menores correlações com as variáveis da coluna d'água.

Durante o verão foram registradas as maiores temperaturas e concentrações de CH₄, período em que foram registradas as menores profundidades da coluna d'água.

Os resultados indicam que a concentração de CH₄ no sedimento, é um bom indicador da eutrofização de lagos rasos subtropicais do extremo sul do Brasil.

O aumento nas concentrações de CH₄ em lagos rasos subtropicais do extremo sul do Brasil, parece estar associado ao tempo de existência, ao estado trófico e ao aporte de materiais alóctones e autóctones depositados sobre o sedimento destes ecossistemas.

Para fins de monitoramento nas variações de decomposição da matéria orgânica ao longo do ano, a determinação das concentrações de CH₄ na primeira fração da coluna sedimentar parecem fornecer resultados satisfatórios.

6- BIBLIOGRAFIA

ABE, D. S.; D. D. ADAMS; C. V. SIDAGIS GALLI; E. SIKAR & J. G. TUNDISI, 2005. Concentrations and diffuse emission fluxes for carbon budget considerations. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 10: 201–209.

ALBERTONI, E. F.; C. PALMA-SILVA & C. C. VEIGA, 2005. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados associada às macrófitas aquáticas *Nymphoides indica* e *Azolla filliculoides* em dois lagos subtropicais (Rio Grande, RS, Brasil). *Acta Biologica Leopoldensia* 27: 137-145.

ALBERTONI, E. F.; L. J. PRELLVITZ & C. P. PALMA-SILVA, 2007. Macroinvertebrate fauna associated with *Pistia stratiotes* and *Nymphoides indica* in subtropical lakes (south Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 67: 499-507.

ALLEN, S. E.; H. M. GRIMSHAW; J. A. PARKINSON & C. QUARMBY, 1974. *Chemical analysis of ecological materials*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 565 p.

ALMEIDA, C. A. & O. ROCHA, 2006. Estudo Comparativo da Qualidade dos Sedimentos dos Reservatórios do Rio Tietê (SP). *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*. 1:141-145.

- ANTONIO, R. M.; A. L. BITAR & Jr. & I. BIANCHINI, 1999. Consumo de oxigênio na mineralização de folhas, galhos, casacas e serapilheira. *Acta Limnologica Brasiliensia* 11: 65-78.
- AYRES, M.; M. J. AYRES; D. L. AYRES & A. S. SANTOS, 2007. *BioEstat 5.0: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas*, Sociedade Civil Mamirauá. MCT CNPq, 364p.
- BASTVIKEN, D.; J. COLE; M. PACE & L. TRANVIK, 2004. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global biogeochemical cycles* 18: 1-12.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; J. M. B. ROCHA & L. F. H. NEINCHESKI, 1996. *Manual de Análises em Oceanografia Química*. Editora da FURG, 1996, Rio Grande. 132p.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; L. F. H. NIENCHESKI, & L. VEECK, 2001. Nutrientes na coluna da água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica (RS–Brasil). *Atlântica* 23: 101-116.
- BERELSON, W. M.; D. HEGGIE; A. LONGMORE; T. KILGORE; G. NICHOLSON & G. SKYRING, 1998. Benthic Nutrient Recycling in Port Phillip Bay, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 46: 917–934
- BLACKBURN, T.H. & K. HENRIKSEN, 1983. Nitrogen cycling in different types of sediments from Danish waters. *Limnology and Oceanography*. 28: 477-493.
- BODELIER, L. E. P. & J. H. LAANBROEK, 2004. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. *Microbiology and Ecology* 47: 265-277.
- BUCHOLZ, L. A.; J. V. KLUMP; M. L. P. COLLINS; C. A. BRANTNER & C. C. REMSEN, 1995. Activity of methanotrophic bacteria in Green Bay sediments. *FEMS. Microbiology Ecology*. 16:1-8.
- BURGER, D. F.; D. P. HAMILTON; C. A. PILDITCH & M. M. GIBBS, 2007. Benthic nutrient fluxes in a eutrophic lake. *Hydrobiologia* 584:13-25
- BUSSMANN, I., 2005. Methane release through resuspension of littoral sediment. *Biogeochemistry*. 74: 283–302.

CALLIARI, L. J., 1998. O ambiente e a biota do estuário da Lagoa dos Patos. In: SEELIGER, U.; C. ODEBRECHT; J. P. CASTELLO (Eds.) Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Editora Ecoscientia, 1998. p. 13-18.

CARMOUZE, J. P., 1994. O Metabolismo dos ecossistemas aquáticos continentais: fundamentos teóricos métodos de estudos e análises química. EDGARD BLÜCHER/FAPESP, São Paulo. 254p.

CASPER, P., 1992. Methane production in lakes of different trophic state. *Archivous für Beih. Hydrobiologie Ergebnisse der Limnologie*, 37: 149-154.

CASPER, P.; O. C. CHAN; A. L. S. FURTADO & D. ADAMS, 2003. Methane in an acidic bog lake: the influence of peat in catchment on the biochemistry of methane. *Aquatic Sciences* 65: 36-46.

CAVENAGHI, A. L.; E. D. VELINI; M. L. B. T. GALO; F. T. CARVALHO; E. NEGRISOLI; M. L. B. TRINDADE & J. L. A. SIMIONATO, 2003. Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da Bacia do Rio Tietê. *Planta Daninha* 21: 43-52.

CHAPELLE, A., 1995. A preliminary model of nutrient cycling in sediments of a Mediterranean lagoon. *Ecological Modelling* 80: 131-147.

CHORUS, I. & J. BARTRAM, 1999. Water Resources. In: Chorus, I. & J. Bartram (eds). *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. E & FN Spon, Inc, New York 1: 02-05.

COLE, J. J.; Y. T. PRAIRIE; N. F. CARACO; W. H. McDOWELL; L. J. TRANVIK; R. G. STRIEGL; C. M. DUARTE; P. KORTELAJINEN; J. A. DOWNING; J. J. MIDDELBURG & J. MELCK, 2007. Plumbing the global carbon cycle: integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems* 10: 171–184.

COLE, J. J.; N. F. CARACO; G. W. KLING & T. K. KRATZ, 1994. Carbon-Dioxide Supersaturation in the Surface waters of Lakes. *Science* 265: 1568-1570.

COUTINHO, M. E. & F. A. R. BARBOSA, 1986. Distribuição vertical de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo total e algumas formas iônicas nos sedimentos recentes de 3 lagos de Minas Gerais. *Acta Limnologica Brasiliensia* I: 401-429.

DAS, S. K.; J. ROUTH; A. N. ROYCHOUDHURY; J. V. KLUMP & R. K. RANJAN, 2009. Phosphorus dynamics in shallow eutrophic lakes: an example from Zeekoevlei, South Africa. *Hydrobiologia* 619: 55-66.

DOWNING, J. A.; Y. T. PRAIRIE; J. J. COLE; C. M. DUARTE; L. J. TRANVIK; R. G. STRIEGL; R. G. STRIEGL; W. H. McDOWELL; P. KORTELAJNEN; N. F. CARACO; J. M. MELACK & J. J. MIDDELBURG, 2006. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnology and Oceanography* 51: 2388–2397.

ESTEVEES, F. A., 1983. Levels of phosphate, calcium, magnesium and organic matter in the sediments of some Brazilian reservoirs and implications for the metabolism of the ecosystems. *Archiv für Hydrobiologie*. 96: 129-138.

ESTEVEES, F. A., 1998. *Fundamentos de Limnologia*. Editora Interciência /FINEP, 2ª ed. Rio de Janeiro. 575 p.

FASSBENDER, H. W. 1973. Simultane P-Bestimmung im N-Kjeldahl-aufschlubb von Bodenproben. *Die Phosphorsäure* 30: 44-53.

FINDLAY, D. L.; H. J. KLING; H. RONICKE & W. J. FINDLAY, 1998. A paleolimnological study of eutrophied Lake Arendsee (Germany). *Journal of Paleolimnology* 19: 41–54.

FONSECA, A. L. S.; M. MINELLO; C. C. MARINHO & F. A. ESTEVES, 2004. Methane Concentration in Water Column and in Pore Water of a Coastal Lagoon (Cabiúnas Lagoon, Macaé, RJ, Brazil). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 47: 301-308.

FORD, P. W., P. I. BOON & K. LEE 2002. Methane and oxygen dynamics in a shallow floodplain lake: the significance of periodic stratification. *Hydrobiologia* 485: 97–110.

FURLANETTO, L. M., C. R. T. TRINDADE, E. F. ALBERTONI & C. PALMA-SILVA, 2008. Variação limnológica nictemeral e sazonal em um pequeno lago raso subtropical (RS, Brasil). *Anais do Seminário de Estudos Limnológicos em Clima Subtropical*.

FURTADO, A. L. S., P. CASPER & F. A. ESTEVES, 2002. Methanogenesis in an Impacted and Two Dystrophic Coastal Lagoons (Macaé, Brazil). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 45:195-202.

GIACOMINI, I. B., Concentração e emissão de metano em um lago raso subtropical. FURG. 47 p. (Dissertação de Mestrado, Pós – graduação em Biologia de Ecossistemas aquáticos continentais)

GLEIZON, P., A. G. PUNT & M. G. LYONS, 2003. Modelling hydrodynamics and sediment flux within a macrotidal estuary: problems and solutions. *Science of the Total Environment* 314-316: 589–597.

GONÇALVES, G.M., 2006. Influência do sedimento em Ecossistemas Aquáticos In: MERTEN, G. & C. POLETO (organizadores) *Qualidade dos sedimentos*. Ed. ABRH: 8: 315-342.

GREGORICH, E. G., D. W. HOPKINS, B. ELBERLING, A. D. SPARROW, P. NOVIS, L. G. GREENFIELD & P. ROCHETTE, 2006. Emission of CO₂, CH₄ and N₂O from lakeshore soils in an Antarctic dry valley. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 3120–3129.

HAMER, O.; HARPER, D.A.T. & RYAN, P.D., 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, vol. 4, issue 1, art. 4: 9

HECKY, R.E., P. CAMPBELL & L. L. HENDZEL, 1993. The Stoichiometry of carbon, nitrogen and phosphorus in particulate matter of lake and oceans. *Limnology and Oceanography* 38: 709-724.

HUTTUNEN, J. T., J. ALM, E. SAARIJÄRVI, K. MATTI LAPPALAINEN, J. SILVOLA & P. T. MARTIKAINEN, 2003. Contribution of winter to the annual CH₄ emission from a eutrophied boreal lake. *Chemosphere* 50: 247–250.

KLUMP, J. & C. S. MARTENS, 1989. The seasonality of nutrient regeneration in organic-rich coastal sediment: Kinetic modeling of changing pore-water nutrient and sulfate distribution. *Limnology and Oceanography* 34: 559–577.

KORTELAINEN, P., M. RANTAKARI, J. T. HUTTUNEN, T. MATTSSON, J. ALM, S. JUUTINEN, T. LARMOLA, J. SILVOLA & P. J. MARTIKAINEN, 2006. Sediment respiration and lake trophic state are important predictors of large CO₂ evasion from small boreal lakes. *Global Changes Biology*. 12: 1554–1567.

KRISTENSEN, E., 2000. Organic matter diagenesis at the oxic/anoxic interface in coastal marine sediments, with emphasis on the role of burrowing animals. *Hydrobiologia* 426: 1-24.

LE MER, J. & P. ROGER, 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils. *European Journal of Soil Biology* 37: 25-50.

LEAL, J. F. F.; A. L. S. FURTADO; F. A. ESTEVES; R. L. BOZELLI & M. FIGUREDÓ-BARROS, 2007. The role of *Campsurus notatus* (Ephemeroptera: Polymitarcyidae) bioturbation and sediment quality on potential gas fluxes in a tropical lake. *Hydrobiologia* 586: 143- 154.

LEAL, J. F. F.; F. A. ESTEVES; V. F. FARJALLA & A. ENRICH-PRAST, 2003. Effect of *Campsurus notatus* on NH_4^+ , DOC fluxes, O_2 uptake and bacterioplankton production in experimental microcosms with sediment-water interface of an Amazonian lake impacted by bauxite tailings. *International Review of Hydrobiology* 88: 167-178.

LELIEVELD, J.; P.J..CRUTZEN; F.J. DENTENER, 1998. Changing concentration, lifetime and climate forcing of atmospheric methane. *Tellus series B-chemical and Physical meteorology* 50 (2): 128-150.

LIGEZA, S. & H. SMAL, 2003. Accumulation of nutrients in soils affected by perennial colonies of piscivorous birds with reference to biogeochemical cycles of elements. *Chemosphere* 52: 595–602.

LIIKANEN, A., T. MURTONIEMI, H. TANSKANEN, T. VÄISÄNEN & P. T. MARTIKAINEN, 2002. Effects of temperature and oxygen availability on greenhouse gas and nutrient dynamics in sediment of a eutrophic mid-boreal lake. *Biogeochemistry* 59: 269–286.

LIIKANEN, A.; J. T. HUTTUNEN; T. MURTONIEMI; H. TANSKANEN; T. VÄISÄNEN; J. SILVOLA; J. ALM & P. T. MARTIKAINEN, 2003. Spatial and seasonal variation in greenhouse gas and nutrient dynamics and their interactions in the sediments of a boreal eutrophic lake. *Biogeochemistry* 65: 83–103.

LIU, Z.; Z. JIN, Y. LI, T. LI, J. GU & S. GAO, 2007. Sediment phosphorus fractions and profile distribution at different vegetation growth zones in a macrophyte dominated shallow Wuliangshuai Lake, China. *Environmental Geology* 52: 997–1005.

LÖVSTEDT, C. B. & L. BENGTSSON, 2008. The role of non-prevailing wind direction on resuspension and redistribution of sediments in a shallow lake. *Aquatic Sciences*, 70: 304-313.

MACKERETH, F. J. & J. F. TALLING, 1978. *Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologist*. Freshwater Biological Association, Cumbria. 120p.

- MACKINNEY, G., 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. *Journal of Biological Chemistry* 140: 315-322.
- MALLEY, D. F., L. LOCKHART, P. WILKINSON & B. HAUSER, 2000. Determination of carbon, carbonate, nitrogen, and phosphorus in freshwater sediments by near-infrared reflectance spectroscopy: rapid analysis and a check on conventional analytical methods. *Journal of Paleolimnology* 24: 415–425.
- MALUF, J. R. T., 2000. Nova Classificação Climática do estado do Rio Grande do Sul, Santa Maria, RS, *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 8: 141-150.
- MARGALEF, R. 1986. *Limnología*. Ed. Omega S. A. Barcelona. 1010p.
- MARINHO, C.C.; A. L. S. FONSECA; M. MINELLO & F. A. ESTEVES, 2004. Resultados e perspectivas sobre o estudo do metano nas Lagoas Costeiras da Restinga de Jurubatiba e na Lagoa Imboassica na região Norte do Estado do Rio de Janeiro *In: Pesquisas de Longa Duração na Restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação*. Ed. São Carlos: RiMa, 16: 273-294.
- MARINHO, C.C., C. PALMA SILVA, E. F. ALBERTONI, C. R. TRINDADE, & F. A. ESTEVES, 2009. Seasonal dynamics of methane in the water column of two subtropical lakes differing in trophic status. *Brazilian Journal of Biology* 69(2): 631-637.
- MOZETO, A. M., 2004. Sedimentos e Particulados Lacustres: Amostragens e Análises Biogeoquímicas *In: BICUDO, C. E. M. & D. C. BICUDO (eds.)*. Amostragem em Limnologia. São Carlos-SP: RIMA, 18: 295-320.
- MOZETO A. A. & P. F. SOARES, 2006. Determinação de fluxos de nutrientes e outras espécies químicas na interface Sedimento-água de ambientes aquáticos lênticos e Límnicos. *In: MOZETO, A. A., G. A. UMBUZEIRO & W. F. JARDIM Métodos de Coleta, Análise Físico-Química e Ensaio Biológicos e Toxicológicos de Sedimentos de Água Doce*. São Carlos - SP: Ed. Cubo 2: 61-106.
- NAUMANN, E., 1930. Einführung in die Bodenkunde der Seen. Die Binnengewässer IX. E. Schweizerbart, Stuttgart. Págs. 129-138 *In: Esteves, F.* 1983. Levels of phosphate, calcium, magnesium and organic matter in the sediments of some Brazilian reservoirs and implications for the metabolism of the ecosystems. *Archiv für Hydrobiologie* 96: 129-138.

- NIEMISTÖ, J., H. HOLMROOS, Z. PEKCAN-HEKIM & J. HORPPILA, 2008. Interactions between sediment resuspension and sediment quality decrease the TN:TP ratio in a shallow lake. *Limnology and Oceanography* 53: 2407–2415.
- NIXDORF, B. & R. DENEKE, 1997. Why 'very shallow' lakes are more successful opposing reduced nutrient loads. *Hydrobiologia* 342: 269–284.
- OGILVIE, B. G. & S. F. MITCHELL, 1998. Does sediment resuspension have persistent effects on phytoplankton? Experimental studies in three shallow lakes. *Freshwater Biology* 40: 51–64.
- OLIVEIRA, M. E. A., 1995. Littoral zone of South-Brazilian coastal lakes: Elemental composition of the sediment. Esteves F. A. (eds) *Ecologia, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas Brasileiros. Oecologia Brasiliensis* 1: 87-103.
- PARANHOS, R., 1996. Alguns Métodos para Análise de Água. UFRJ, Sub-reitoria de Ensino de Graduação e Corpo Discente. Rio de Janeiro, 200p.
- PETRUCIO, M. M.; A. ENRICH-PRAST & F. A. ESTEVES, 1997. Vertical distribution of nutrients in the sediments of a Brazilian coastal lagoon (Imboacica lagoon, Rio de Janeiro). *Acta Limnologica Brasiliensis* 9: 117-124.
- PETRUCIO, M. A. & B. M. FARIA, 1998. Concentrações de Carbono Orgânico, Nitrogênio total e Fósforo Disponíveis no Sedimento das Lagoas Cabiúnas e Comprida. In: Esteves, F. A. (eds) *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)* 135-144.
- QUIBLIER, C.; C. LÉBOULANGER; S. SANÉ & P. DUFOUR, 2008, Phytoplankton growth control and risk of cyanobacterial blooms in the lower Senegal River delta region. *Water Research* 42: 1023 – 1034.
- RAMIRES, J. J. R. & J. F. NOREÑA, 2004. Characterization of the sediment in a tropical shallow lake. *Caldasia* 26: 173-184.
- RAMOS, K.L. 2008. Produtividade Fitoplanctônica de Lagos Rasos Subtropicais do Campus Carreiros, FURG, Rio Grande, RS. FURG. 42 p. (Monografia de Graduação em Oceanografia)

- REBOITA, M. S., N. KRUSCHE & H. C. PICCOLI, 2006. Climate variability in Rio Grande, RS, Brazil: a quantitative analysis of contributions due to atmospheric systems. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21: 256-270.
- SANTOS, I. R., P. BAISCH, G. T. N. P. LIMA & E. V. SILVA FILHO, 2004. Nutrients in surface sediments of Mirim lagoon, Brazil- Uruguay border. *Acta Limnologica Brasiliensia* 16: 85-94.
- SCHÄFER, A., 1992. Ecological characteristics of the coastal Lakes in Southern Brazil: A synthesis. *Acta. Limnologica Brasileira* IV: 111-122.
- SCHEFFER, M. & E. JEPPESEN, 2007. Regime Shifts in Shallow Lakes. *Ecosystems* 10: 1–3.
- SCHWARZBOLD, A. & A. SCHÄFER, 1984. Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Amazoniana* 9: 87-104.
- SEGERS, R. 1998. Methane production and methane consumption – a review of process underlying wetlands methane fluxes. *Biogeochemistry*, 41: 23-51.
- SØNDERGAARD M.; E. JEPPESEN; P. KRISTENSEN & SORTKJÆR, 1990. Interactions between sediment and water in a shallow and hypertrophic lake: a study on phytoplankton collapses in Lake Søbygård, Denmark. *Hydrobiologia* 191: 139–148.
- SØNDERGAARD, M., J. P. JENSEN & E. JEPPESEN, 2003. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia* 506–509: 135–145.
- SØNDERGAARD, M.; J. WINDOLF & E. JEPPESEN, 1996. Phosphorus fractions and profiles in the sediment of shallow Danish lakes as related to phosphorus load, sediment composition and lake chemistry. *Water Research* 30: 992-1002.
- SONG, C., Y. WANG, Y. WANG & Z. ZHAO, 2006. Emission of CO₂, CH₄ and N₂O from freshwater marsh during freeze–thaw period in Northeast of China. *Atmospheric Environment* 40: 6879–6885.
- SUGUIO, K., 1973. *Introdução à sedimentologia*. Ed. Edgar Buckler, EDUSP, São Paulo, 317p.

THEBRATH, B., F. ROTHFUSS, M. J. WHITICAR, & R. CONRAD, 1993. Methane production in littoral sediment of Lake Constance. *FEMS Microbiology Ecology* 102: 279–289.

TOLENTINO, M.; F. A. ESTEVES; F. ROLAND & S. M. THOMAZ, 1986. Composição química do sedimento de doze lagoas do litoral fluminense e sua utilização na tipologia destes ecossistemas. *Acta Limnologica Brasiliensia* I: 431-447.

TRINDADE, C.R.T. Biomassa, produtividade e nutrientes de *Salvinia herzogii* de la Sota e *Azolla filiculoides* Lam., em dois corpos d'água rasos subtropicais (Rio Grande, RS - Brasil). FURG. 57 p. (Dissertação de Mestrado, Pós – graduação em Biologia de Ecossistemas aquáticos continentais).

TRINDADE, C.R.T., L.M. FURLANETTO, & C. PALMA-SILVA, 2009. Nycthemeral Cycles and Seasonal Variation of Limnological Factors of a Subtropical Shallow Lake (Rio Grande , RS – Brazil) *Acta Limnologica Brasiliensia* 21(1): 35-40.

TROLLE, D., G. ZHU, D. HAMILTON, L. LUO, C. McBRIDE, L. ZANG, 2009. The influence of water quality and sediment geochemistry on the horizontal and vertical distribution of phosphorus and nitrogen in sediments of a large, shallow lake. *Hydrobiologia* 627:31–44.

TUOMINEN, L. K., K. K. MAKELA, H. LEHTONEN, S. HAAHTI, J. HIETANEN & KUPARINEN, 1999. Nutrient fluxes, pore-water profiles and denitrification in sediment influenced by algal sedimentation and bioturbation by *Monoporeia affinis*. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 49: 83-97.

VALDERRAMA, J. C., 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry* 10: 109-122.

VIEIRA, E. F. & R. S. R. RANGEL, 1983. Rio Grande. *Geografia Física, Humana e Econômica*. Sagra, Porto Alegre. 158p.

WETZEL, R. G., 1981. *Limnology*. Philadelphia.W.B. Sanders, 743 p.

XIE, L.; Q. P. XIE & H. J. TANG, 2003. Enhancement of dissolved phosphorus release from sediment to lake water by *Microcystis* blooms an enclosure experiment in a hyper-eutrophic, subtropical Chinese lake. *Environmental Pollution* 122: 391–399.