

HIDROQUÍMICA, METABOLISMO E COMPOSIÇÃO ELEMENTAR
E ISOTÓPICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM LAGOAS DE DUNAS
NO PARQUE NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES,
MARANHÃO, BRASIL.

Jayme Teixeira Ramos Júnior

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – DARCY RIBEIRO
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO - 2015

HIDROQUÍMICA, METABOLISMO E COMPOSIÇÃO ELEMENTAR
E ISOTÓPICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM LAGOAS DE DUNAS
NO PARQUE NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES,
MARANHÃO, BRASIL.

Jayme Teixeira Ramos Júnior

Dissertação apresentada ao centro de
Biotecnologia e Biociências da
Universidade Estadual do Norte
Fluminense – Darcy Ribeiro como
parte das exigências para a obtenção
do título de Mestre em Ecologia e
Recursos Naturais.

Orientadora: Prof. Dr^a. Marina Satika Suzuki

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – DARCY RIBEIRO
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO - 2015

HIDROQUÍMICA, METABOLISMO E COMPOSIÇÃO ELEMENTAR
E ISOTÓPICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM LAGOAS DE DUNAS
NO PARQUE NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES,
MARANHÃO, BRASIL

Jayme Teixeira Ramos Júnior

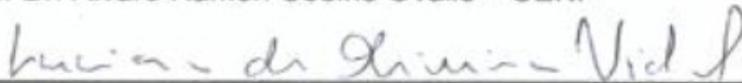
Dissertação apresentada ao centro
de Biociências e Biotecnologia da
Universidade Estadual do Norte
Fluminense – Darcy Ribeiro como
parte das exigências para a obtenção
do título de Mestre em Ecologia e
Recursos Naturais.

Aprovada em 5 de agosto de 2015.

Comissão examinadora:



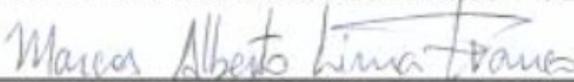
Prof. Dr. Alvaro Ramon Coelho Ovalle – UENF



Drª. Luciana de Oliveira Vidal – UFRJ



Prof. Drº. Marcelo Gomes de Almeida – UENF



Drº. Marcos Alberto Lima Franco – Revisor – UENF



Prof. Drª. Marina Satika Suzuki – Orientador – UENF

‘Dedico este trabalho à Jayme, Rosa e Natty, pelo amor, pelo apoio e pela confiança.’

“Sê todo em cada coisa; põe quanto és; no mínimo que fazes.”

Fernando Pessoa (1888-1935)

AGRADECIMENTOS

- Um agradecimento mais do que especial aos meus pais Jayme Teixeira Ramos e Rosa Helena R. S. Ramos e a minha irmã Natália Santos Ramos, por serem minha base, por estarem presentes em todos os momentos da minha vida e por sempre me apoiarem.
- A minha orientadora e amiga Dr^a. Marina Suzuki, por repassar tanto conhecimento e por estar sempre disponível, além de seu exemplo como profissional e como pessoa nesses tantos anos de convivência.
- Ao Dr^o. Marcelo Almeida pelas análises e pela ajuda com o entendimento dos dados gerados, ao Dr^o. Marcos Franco pela ajuda com as estatísticas e pela revisão desta dissertação e ao Diogo Quitete pelas análises na central analítica.
- Ao ICMBio e ao analista ambiental Yuri Babá pela autorização para a pesquisa no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses e por todo apoio logístico para a realização desse trabalho. Agradeço também ao Chicão por nos guiar pelos caminhos sinuosos do Parque e por todos os momentos de descontração.
- Ao amigo Thiago Rangel pela elaboração dos mapas, pela ajuda nos campos, por estar sempre disposto a ajudar e a resolver qualquer tipo de problema. Agradeço também pela sua amizade.
- Ao amigo Braulio Cherene pela ajuda nos campos, no laboratório e na vida. Quem dera todos tivessem a disposição e vontade de ajudar que você tem.

- A Brunele Meirelles pela ajuda nos campos, pela companhia constante no período de elaboração desta tese, pelo incentivo e por me fazer rir tantas vezes.
- Aos membros da banca examinadora por terem aceitado o convite e pelas dicas e ideias utilizadas para a finalização dessa dissertação.
- Ao Laboratório de Ciências Ambientais e seu corpo técnico pela estrutura essencial para a realização das análises desse trabalho.
- Ao CNPq pela concessão da bolsa, a Faperj pelo financiamento dos campos no Maranhão e pelas primeiras bolsas desse mestrado e ao programa de pós graduação em Ecologia e Recursos Naturais da UENF.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS	xvi
Resumo	xvii
Abstract	xviii
1 – Introdução	1
2 – Justificativa	6
3 – Objetivos	7
4 – Hipóteses	7
5 – Metodologia	8
5.1 – Área de Estudo	8
5.2 – Amostragem e Hidroquímica	13
5.3 – Atividade Biológica	14
5.4 – Composição Elementar e Isotópica da matéria orgânica dissolvida, do sedimento e do MPS	15
5.5 – Tratamento Estatístico	16
6 – Resultados	17
6.1 – Parâmetros físico-químicos.	17
6.2 – Atividade biológica.	30
6.3 – Nutrientes.	32
6.4 – Classificação das águas.	45
6.5 – Composição elementar e isotópica da matéria orgânica dissolvida, particulada e sedimentar.	46
6.6 – Análise de Componentes Principais	49

7 – Discussão	51
7.1 – Características físico-químicas, nutrientes e metabolismo.	51
7.2 – Influência marinha.	56
7.3 – Composição isotópica da matéria orgânica dissolvida e particulada.	58
7.4 – Análise de Componentes Principais.	61
8 – Conclusões	62
9 – Perspectivas Futuras	63
10 – Referências Bibliográficas	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, Maranhão, Brasil.....	9
Figura 2. Imagem aérea, lagoas e dunas do PNLM.....	10
Figura 3. Fotografias com a vista geral das seis lagoas selecionadas no PNLM. Fileira superior: período seco (setembro de 2013) e fileira inferior período chuvoso (maio de 2014).....	12
Figura 4. Precipitação pluviométrica acumulada mensal no PNLM. Média do período entre 2009 e 2014 (InMet, 2015). As setas indicam os meses de coleta (setembro/2013 e maio/2014). (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	12
Figura 5. Variação nictemeral (36h) dos valores de pH em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	19
Figura 6. Variação nictemeral (36h) dos valores de condutividade elétrica em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	21
Figura 7. Variação nictemeral (36h) da temperatura em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	22
Figura 8. Variação nictemeral (36h) do grau de saturação de oxigênio em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	23

Figura 9. Variação nictemeral (36h) do grau de saturação de CO ₂ em seis lagoas do PNLM, no período seco de 2013. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	25
Figura 10. Variação nictemeral (36h) do grau de saturação de CO ₂ em cinco lagoas de dunas no PNLM, no período chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	26
Figura 11. Variação nictemeral (36h) da velocidade do vento em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	27
Figura 12. Variação dos valores de alcalinidade total em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	28
Figura 13. Variação nictemeral (36h) dos valores de turbidez em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	29
Figura 14. Variação da profundidade em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	30
Figura 15. Variação nictemeral (36h) das concentrações de NID em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	35

Figura 16. Variação nictemeral (36h) das concentrações de NTD em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	36
Figura 17. Variação nictemeral (36h) das concentrações de PO_4^{3-} em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014(LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	37
Figura 18. Variação nictemeral (36h) das concentrações de P-total em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	38
Figura 19. Variação nictemeral (36h) das concentrações de C-COD em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	39
Figura 20. Variação nictemeral (36h) das concentrações de clorofila <i>a</i> em seis lagoas no PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	40
Figura 21. Variação nictemeral (36h) das concentrações de cloreto em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	42
Figura 22. Variação nictemeral (36h) das concentrações de sódio em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	43

Figura 23. Variação nictemeral (36h) das concentrações de magnésio em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	44
Figura 24. Diagrama de Piper com a classificação das águas em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	46
Figura 25. Composição elementar (a) e isotópica (b) do carbono em seis lagoas do PNLM, no período seco de 2013. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....	48
Figura 26. Projeção das variáveis sobre os planos.....	49
Figura 27. Projeção dos casos sobre os planos. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul) (1 – Período seco; 2 – Período chuvoso)...	50
Figura 28. Correlação entre as concentrações de cloreto e os valores de condutividade elétrica, em seis lagoas de dunas no PNLM, nos períodos seco de 2013 (azul) e chuvoso de 2014 (verde). (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul) (1 – Período seco; 2 – Período chuvoso).....	57
Figura 29. Gradiente costa-continente das concentrações de magnésio em seis lagoas de dunas no PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. A lagoa do Canto do Atins é a mais próxima ao mar, e a lagoa Azul é a mais afastada.....	58
Figura 30. Figura 30: Relação entre composição isotópica do nitrogênio e do carbono, nas frações particulada e dissolvida, em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 (azul) e chuvoso de 2014 (verde). (LCA – Lagoa do	

Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da
Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul) (1 – Período seco; 2 – Período
chuvoso).....60

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Características gerais das lagoas estudadas no PNLM.....11
- Tabela 2.** Mediana dos parâmetros físico-químicos nos dois períodos estudados. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....17
- Tabela 3.** Atividade biológica nas estações seca e chuvosa. Os valores positivos (vermelho) indicam balanço heterotrófico e os valores negativos indicam balanço autotrófico. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....31
- Tabela 4.** Atividade biológica em seis lagoas de dunas no PNLM, no período chuvoso de 2014. Os valores positivos (vermelho) indicam balanço heterotrófico e os valores negativos indicam balanço autotrófico. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....32
- Tabela 5.** Medianas das concentrações de N-NTD, N-NID, C-CID, C-COD, P-PT e Clorofilas nas seis lagoas nos dois períodos estudados. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....33
- Tabela 6.** Medianas das concentrações de Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Si-SiO_2 , Cl^- e P-PO_4^{3-} nas seis lagoas nos dois períodos estudados. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....33
- Tabela 7.** Composição elementar, composição isotópica e razão atômica da MOD e MOP em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa

Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).....47

Tabela 8. Comparação entre os resultados obtidos por Moschini-Carlos e colaboradores nas medições em 1998 e os resultados obtidos no presente estudo, na lagoa Azul.....55

LISTA DE ABREVIATURAS

(C/N_a) – razão atômica de carbono e nitrogênio

CAM – plantas crasuláceas

C.E. – Condutividade Elétrica

Chl *a* – Clorofila *a*

CID – carbono inorgânico dissolvido

CO₂ – dióxido de carbono

COD – carbono orgânico dissolvido

LA – lagoa Azul

LCA – lagoa do Canto do Atins

LL – lagoa Lorena

LM – lagoa do Mário

LP – lagoa do Peixe

LR – lagoa da Risada

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MO – matéria orgânica

MOD – matéria orgânica dissolvida

MOP – matéria orgânica particulada

MPS – material particulado em suspensão

NID – nitrogênio inorgânico dissolvido

NTD – nitrogênio orgânico total

OD – Oxigênio Dissolvido

PCA – análise de componentes principais

PNLM – Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses

PPL – poliestireno divinilbenzeno

PPL_q – produção primária líquida

P-total – fósforo total

PTD – fósforo total dissolvido

Resumo

Este estudo visou a avaliação dos parâmetros físico-químicos e químicos (temperatura da água, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, alcalinidade total, material particulado em suspensão, nutrientes dissolvidos – carbono orgânico dissolvido, nitrogênio total dissolvido nitrato, nitrito, N-amoniaco, ortofosfato, silicato, fósforo total e clorofila *a*), atividade biológica (PPLq e R pelo método da Água Livre), a composição elementar e a composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) da matéria orgânica dissolvida e do MPS, em seis lagoas localizadas no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses no Estado do Maranhão, submetidas a diferentes graus de impacto antrópico e variação em relação à proximidade com o mar. A formação das dunas e das lagoas do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses possui características peculiares, sendo o vento e a precipitação pluviométrica os principais responsáveis. A avaliação limnológica das lagoas foi realizada no período seco e no período chuvoso. A elevada precipitação pluviométrica e o aumento das profundidades causou um efeito de diluição para a maioria dos compostos estudados, diminuindo as já baixas concentrações de nutrientes e turbidez, refletindo a queda na biomassa fitoplanctônica. O metabolismo foi predominantemente autotrófico, com maior atividade produtora no período seco devido a maior concentração de nutrientes. A composição isotópica do carbono foi mais leve no período chuvoso, resultado da diluição e do carregamento de matéria orgânica alóctone empobrecida.

Palavras Chave: Lagoas de dunas. Nutrientes. Atividade biológica. Metabolismo. Composição isotópica.

Abstract

The aim of the study was to evaluate the physical and chemical parameters (water temperature, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, total alkalinity, suspended particulate matter, dissolved nutrients - dissolved organic carbon, total nitrogen dissolved nitrate, nitrite, N-ammoniacal, orthophosphate, silicate, total phosphorus and chlorophyll a), biological activity (PPLq and R) and isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) of dissolved organic matter and MPS in six lakes located in the Maranhenses National Park in the state of Maranhão, subjected to different degrees of human impact and change in relation to proximity to the sea. The formation of dunes and ponds of PNLM has very particular characteristics, with the wind and rainfall mainly responsible. The limnological assessment of ponds was carried out in the dry season and the rainy season. The high rainfall and increasing depths caused a dilution effect for most of the compounds studied, decreasing the already low concentrations of nutrients and turbidity, reflecting the drop in phytoplankton biomass. The metabolism was predominantly autotrophic, more productive activity in the dry season due to the higher concentration of nutrients. The carbon isotopic composition was lighter in the rainy season as a result of dilution and loading of organic allochthonous impoverished matter.

Keywords: Dune lakes. Nutrients. Biological activity. Metabolism. Isotopic composition.

1 – Introdução

O termo lagoas costeiras é amplamente utilizado para descrever corpos d'água localizados na zona costeira, podendo também ser denominados de lagunas ou lagos costeiros. Esses ecossistemas estão localizados próximos à costa, separados do mar por uma barreira, podendo conectar-se a este por um ou mais canais em determinados períodos do ano. A proximidade e a conexão com o mar podem determinar diversas mudanças hidrobiológicas durante o ano (Kjerfve, 1994). As lagoas costeiras estão entre os ecossistemas mais produtivos no mundo (Barnes, 1980, Knoppers, 1994), especialmente por sua localização entre os ambientes terrestres e marinhos em terrenos de planície costeira, a alta incidência luminosa, os fortes ventos, além da pequena profundidade. Estes sistemas representam uma barreira geoquímica entre o continente e o ambiente marinho, recebendo especialmente o aporte de materiais dissolvidos e particulados das terras mais elevadas. O acúmulo de materiais provenientes do continente resulta em comunidades produtoras bem desenvolvidas (Huszar, 1996; Suzuki *et al.*, 2002). Esses ecossistemas ocupam aproximadamente 13% da zona costeira do planeta (Barnes, 1980).

Dentre as lagoas costeiras, as lagoas de dunas formam um interessante sistema, pois encontram-se sobre formações arenosas quartzosas e com pequenas proporções de minerais pesados (ICMBio, 2014), baixa alcalinidade e naturalmente oligotróficos em função da baixa concentração de nutrientes das areias circundantes. Geralmente, a capacidade de suporte biológico é baixa e as cadeias tróficas são simples e curtas (Margalef, 1983; Moschini-Carlos *et al.*, 2008). Estes sistemas são formados principalmente pela combinação entre ação dos ventos e pela precipitação pluviométrica: em períodos com maior índice de chuvas e ventos mais fracos ocorre a elevação dos lençóis freáticos e a diminuição do movimento das dunas, ocasionando a formação das lagoas. Em períodos de ventos mais fortes e menor precipitação, o espelho d'água das lagoas diminui e muitas podem desaparecer, em função

do processo de evaporação e aprofundamento de lençol freático no solo e pelo movimento das dunas (Levin *et al.*, 2009; Luna *et al.*, 2012).

Estudos sobre o processo de formação das dunas ainda são limitados e alguns modelos foram utilizados para tentar demonstrar esse processo. Entretanto, a maioria só considera ventos unidirecionais, que por si só não explicam por completo o processo de formação (Luna *et al.*, 2011; Luna *et al.* 2012; Partelli *et al.*, 2008). Segundo os estudos de Luna e colaboradores, a formação, especificamente dos Lençóis Maranhenses, está relacionada ao equilíbrio entre os ciclos anuais do lençol freático e vento. Durante a estação chuvosa, as lagoas e a umidade são responsáveis por suavizar e alongar as curvas das barcanóides (forma de lua crescente das dunas), limitando sua altura em 20 m. Segundo estes autores, a quantidade de precipitação e a duração do ciclo de cheia e seca definem a formação final dos Lençóis Maranhenses, com sua formação peculiar de dunas e lagoas.

Geralmente as lagoas sobre formação de dunas apresentam águas ácidas e oligotróficas (Leentvaar, 1997). Entretanto, a atividade turística no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses pode resultar num incremento no aporte de nutrientes, acelerando o processo de eutrofização e incremento do metabolismo aquático (Menezes, 2010).

O metabolismo dos ecossistemas aquáticos pode ser definido como o movimento dos nutrientes entre os compartimentos abióticos e bióticos e o fluxo energético, indicando a forma, a eficiência e a integridade ecológica do seu funcionamento (Esteves, 2011). Medições diárias de metabolismo podem fornecer base para avaliar as variações temporais e a regulação da biomassa de algas em lagoas de baixa profundidade. A abordagem contínua do metabolismo fornece melhores dados e pode trazer à luz uma imagem mais precisa do que as médias de algumas medidas discretas (Staeher & Sand-Jensen, 2007).

O carbono inorgânico dissolvido (CID) é o maior reservatório de carbono ativo na superfície da Terra (Hedges, 1992). Sendo assim, essa forma de

carbono torna-se o principal nutriente utilizado pelos produtores primários, e a variação diária nas concentrações desse composto pode ser utilizada para determinação da atividade biológica em ecossistemas aquáticos, após correções dos processos físicos e químicos (Pedrosa & Rezende, 2000).

Por ser um gás envolvido diretamente nas atividades biológicas, o gás carbônico (CO_2) é considerado como o parâmetro conveniente para a caracterização do balanço entre a respiração e a produção primária (Carmouze, 1994). A produção primária pela fotossíntese produz matéria orgânica a partir do CO_2 consumido, e a respiração degrada compostos orgânicos liberando CO_2 (Marotta, 2006). Em uma escala global, o metabolismo aquático é importante para entender e definir os ecossistemas como fontes ou sumidouros de CO_2 atmosférico (Staeher & Sand-Jensen, 2007; Tonetta, 2012). Processos que adicionam e removem CO_2 ocorrem simultaneamente nas águas superficiais de lagoas (Cole *et al.*, 1994), fazendo com que muitas vezes os ecossistemas alternem entre autotróficos e heterotróficos (Staeher *et al.*, 2010), isto é, um sistema que predominantemente produz matéria orgânica ou um onde ocorre predomínio de processos degradativos e liberação de nutrientes inorgânicos.

Transformações entre nutrientes inorgânicos e matéria orgânica (MO) ocorrem como resultado dos ciclos biogeoquímicos, envolvendo processos como a produção primária e processos respiratórios. Essas transformações são importantes porque a combinação entre as proporções de nutrientes dissolvidos e matéria orgânica auxiliar determina o papel do sistema, como autotrófico ou heterotrófico (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2008). Oscilações diárias significativas na produção primária bruta, produção primária líquida e respiração ocorrem em ecossistemas como uma resposta ao ciclo de luz diurna. A maioria dos organismos autotróficos em ecossistemas lacustres vive mais do que um dia. Sendo assim, as variações de irradiância entre dias e semanas também são importantes para variações no metabolismo em escalas temporais (Smith & Hollibaugh, 1997; Staeher & Sand-Jensen, 2007).

As mudanças de longo prazo podem ser reflexo de mudanças climáticas, eutrofização, introdução de espécies invasoras ou até uma nova sucessão ecológica. Um aumento na concentração de nutrientes pode transformar lagoas anteriormente heterotróficas em autotróficas. Grande entrada de material particulado e matéria orgânica podem aumentar a turbidez da coluna d'água e diminuir as taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, a produção primária (del Giorgio & Peters 1994; Schindler *et al.*, 1997; Staehr & Sand-Jensen, 2007). Posteriormente, se houver decréscimo da turbidez, a produção pode ser estimulada pela disponibilidade de nutrientes.

A compreensão da natureza e da origem da matéria orgânica pode oferecer importantes informações sobre as pressões antropogênicas em um ecossistema aquático (Lee *et al.*, 2014). A determinação da composição elementar e isotópica vem se tornando útil ao esclarecimento das fontes e das vias de ciclagem da matéria orgânica em ecossistemas aquáticos, uma vez que diferentes fontes podem resultar em composições isotópicas e elementares diferentes (McCallister *et al.*, 2006). Além disso, a MO apresenta um papel importante na cadeia alimentar aquática, sendo fonte de energia para diversos organismos, além de mediar a disponibilidade de nutrientes e metais, e alterar as propriedades óticas das águas (Benner, 2002).

Valores de razão (C/N)_a e $\delta^{13}\text{C}$ na matéria orgânica total podem preservar informações ambientais por grandes períodos de tempo (Meyers, 1994). O isótopo estável mais utilizado é o de carbono ($\delta^{13}\text{C}$), provavelmente pela metodologia e interpretação mais simples (Cifuentes *et al.*, 1988). Ao contrário do carbono, que tem uma composição isotópica relativamente estável, seguindo o ciclo fotossintético das plantas C3 e C4, a variabilidade da composição isotópica do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) é maior, na maioria das vezes não segue um padrão, e o número de variáveis que definem essa composição é grande e de difícil previsão (Lopes & Cecilio, 2002; Martinelli *et al.*, 2009).

As plantas C3 apresentam composição isotópica do carbono mais negativa, com valores de $\delta^{13}\text{C}$ variando entre -30 e - 25‰, e nesse grupo de

plantas encontram-se as espécies arbustivas e arbóreas. As plantas C4 apresentam composição isotópica menos negativa, com valores de $\delta^{13}\text{C}$ variando entre -15 e -10‰, sendo as gramíneas espécies predominantes nesse grupo. Já as plantas CAM apresentam uma variação mais ampla, com o $\delta^{13}\text{C}$ variando entre -20 e -10‰. Os organismos fitoplanctônicos apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -22 e -20‰ (Meyers, 1994). Assim, as assinaturas obtidas na matéria orgânica dissolvida e particulada podem trazer informações sobre as principais fontes e o destino dessa MO nos sistemas estudados.

Já a composição isotópica do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), têm um sinal entre 1 e 5‰ para os fitoplânctons (Yoshioka *et al.*, 1988; Hamilton & Lewis Jr, 1992; Yoshii *et al.*, 1999). Tecidos de plantas terrestres e solos entre -10 e +15 ‰ (Lopes & Cecilio, 2002) e plantas fixadoras de nitrogênio podem apresentar valores isotópicos entre -3 e +4‰.

Em relação à razão (C/N)_a, as plantas vasculares terrestres apresentam valores maiores que 20, enquanto as algas apresentam valores menores, geralmente variando entre 4 e 10. Essa diferenciação deve-se aos compostos presentes na composição desses organismos, isto é, as plantas vasculares apresentam estruturas como celulose e lignina em sua composição, o que influencia diretamente na razão (C/N)_a (Meyers, 1994).

O litoral do Estado do Maranhão é extenso e peculiar, contendo de oeste para leste o Delta do Parnaíba, os Lençóis, o Golfão e as Reentrâncias Maranhenses. Também possui uma ampla área de manguezais que proporciona o aumento da biodiversidade e da produtividade da zona costeira local (Souza Filho, 2005; Azevedo *et al.*, 2007). Os Lençóis Maranhenses possuem características geológicas e biológicas únicas, com presença de dunas e diversas lagoas, formadas principalmente na estação chuvosa devido ao afloramento dos lençóis freáticos e a ação dos ventos. O intenso turismo local, associado à logística de acesso - o PNLN não cobra ingresso para entrada dos turistas no parque - submetem as lagoas a diferentes graus de impacto antrópico. Além disso, a distância em relação ao mar define graus de

influência marinha distintos, criando um mosaico de ecossistemas aquáticos que podem apresentar estrutura e funcionamento distintos sob estas diferentes influências. Em relação aos estudos em ecossistemas aquáticos na região dos Lençóis Maranhenses, a maioria está baseada em limnologia geral e na distribuição de espécies planctônicas presentes (Dellamano-Oliveira *et al.*, 2003; Moschini-Carlos & Pompeo, 2001). Nesse sentido, este estudo pretende contribuir para o conhecimento limnológico da região, através da avaliação de características hidroquímicas, da atividade biológica nesse ecossistema e da caracterização da matéria orgânica particulada e dissolvida.

2 – Justificativa

As lagoas costeiras dos lençóis maranhenses formam um ecossistema de grande importância ecológica devido as suas características como lagoas permanentes e/ou algumas temporárias (Rebouças *et al.*, 2002), apresentando um elevado potencial científico na avaliação de ecossistemas tão peculiares. Segundo o MMA (1996), a região apresentava risco ambiental moderado. Entretanto, segundo o relatório do Ministério do Turismo/COPPE (2007), o crescente fluxo turístico no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, sem o devido incremento na fiscalização e controle de seu uso, tem contribuído para a degradação dos atrativos naturais existentes, e a inexistência de dados pretéritos e atuais não permite a conclusão sobre o status de degradação de seus componentes. Desta forma, estudos sobre a hidroquímica das lagoas dessa região são fundamentais não somente para a formação de uma base de dados, mas para a conservação desse ecossistema. Além disso, estudos referentes ao metabolismo aquático desses corpos d'água são escassos, e quanto à composição elementar e isotópica são inéditos, portanto de extrema importância para melhor compreensão e entendimento do funcionamento desse ecossistema como um todo.

3 – Objetivos

Avaliar e verificar variações temporais na hidroquímica, na atividade biológica (produção primária e respiração/decomposição) e na composição isotópica, de algumas lagoas localizadas no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM), a fim de incrementar o conhecimento científico sobre esses ecossistemas, diferenciando-as por proximidade ao mar e frequência de visitação turística.

Objetivos Específicos:

- Quantificar a atividade biológica global, através da técnica da água livre, utilizando o método da “curva diária”.

- Avaliar diferenças sazonais (ciclo hidrológico – seca e cheia) da hidroquímica e atividade biológica nas lagoas estudadas.

- Caracterizar a m teria orgânica particulada e dissolvida, a partir da composi o elementar e isotópica, inferindo-se especialmente sua origem.

4 – Hipóteses

H1: A maior visita o turística em algumas lagoas influencia no metabolismo aquático, através do incremento da concentra o de nutrientes e da atividade biológica.

H2: Lagoas mais próximas   costa apresentam maior influência marinha, com maiores concentra es de elementos como sódio e cloro, além de maior condutividade elétrica.

5 – Metodologia

5.1 – Área de Estudo

O Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, criado em 1981, está localizado no norte do Estado do Maranhão e possui uma área de 155.000 ha (Figura 1). Essa região apresenta características morfodinâmicas únicas, com presença de campo de dunas e diversas lagoas temporárias e perenes (Figura 2) e recebeu o nome de lençóis pelo mosaico de paisagens de dunas relativamente baixas (~20m de altura) entremeado de lagoas que se assemelha à um lençol amarrotado sobre uma cama. O PNLM está localizado entre as coordenadas geográficas 02°19' e 2°45' S; 42°44' e 43°29' W, compreendendo os Municípios de Primeira Cruz e Santo Amaro à oeste e Barreirinhas à sul e leste. Ao norte encontra-se banhado pelo Oceano Atlântico. A grande beleza cênica atrai muitos visitantes, estima-se que o parque receba 60 mil turistas por ano, a maior parte entre maio e agosto, período em que as lagoas estão com o nível mais alto (ICMBio, 2014).

O clima é equatorial com o período seco entre os meses de julho e dezembro e o período chuvoso entre os meses de janeiro e junho (Figura 4). Apesar do aparente ar desértico, a precipitação média gira em torno de 800 mm, concentrados no período chuvoso. Apresenta temperatura elevada, com médias anuais em torno de 28 °C. A umidade relativa apresenta médias anuais em torno de 68 %. A região também está sujeita a fortes ventos, principalmente na estação seca. Este vento modifica a paisagem, mudando o formato das dunas e até mesmo das lagoas. Os ventos provenientes da Zona de Convergência Intertropical e das altas pressões semi-estacionárias do Atlântico Sul são os que mais influenciam essa região. A vegetação de restinga é a mais encontrada na região, isolada em algumas dunas e principalmente no entorno do campo de dunas (ICMBio, 2014; Moschini-Carlos *et al.*, 2008).

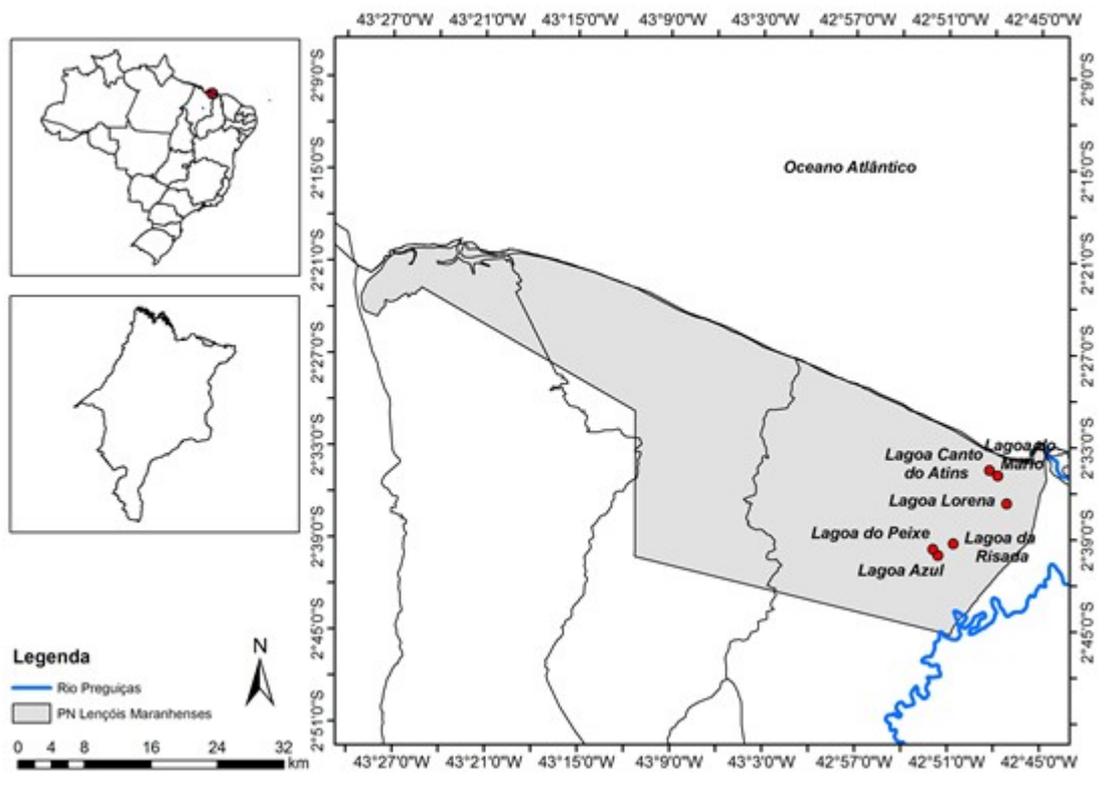


Figura1: Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, Maranhão, Brasil.



Figura 2: Imagem aérea, lagoas e dunas do PNLM
(Fonte: <http://www.arisdomar.com.br>).

Nesse estudo seis lagoas foram selecionadas (Figura3), sendo estas diferenciadas pela proximidade ao mar e frequência de visitação (ICMBio, 2014). Em rela o   proximidade com o mar, a lagoa do Canto do Atins (LCA)   a mais próxima, seguida por lagoa do Mário (LM), lagoa Lorena (LL), lagoa Risada (LR), lagoa do Peixe (LP) e lagoa Azul (LA), as três primeiras estão localizadas entre 2 e 6 km da costa, próximas ao vilarejo de Atins, enquanto as três últimas estão entre de 12 e 14 km da costa, mais próximas   cidade de Barreirinhas, principal entrada para o Parque Nacional dos Len ois Maranhenses. Quanto   frequência de visita o, a lagoa Azul   mais visitada, seguida por lagoa do Peixe e lagoa Lorena. As lagoas Risada, Canto do Atins e do Mário não estão no roteiro de visita o turística.

A varia o anual de tamanho das lagoas   grande, devido   eleva o dos len ois freáticos, os ventos e a precipita o pluviométrica. No período chuvoso e com menor incidência dos ventos, algumas lagoas podem se juntar

formando um corpo d'água único e maior , outras ficam cheias a ponto de transbordarem formando espécie de cachoeiras na praia. No período de seca algumas lagoas desaparecem como resultado da evaporação e da movimentação das dunas promovida pelos ventos mais fortes. A maior lagoa amostrada nesse estudo foi a lagoa Lorena, com área aproximada de 16 km², seguida pela lagoa do Mário com 14 km², Azul com 7 km², Peixe com 6 km², Risada com 1,5 km² e Canto do Atins com aproximadamente 1 km² de área.

A lagoa Lorena foi analisada apenas no período seco, uma vez que o acesso à lagoa foi impossibilitado em função do alagamento das trilhas no período chuvoso.

Tabela 1: Características gerais das lagoas estudadas no PNLN.

Lagoa (Sigla)	Área (km ²)	Distância Mar (km)	Ordem Visitaçã	Coordenadas (Latitude)	Coordenadas (Longitude)
Canto do Atins (LCA)	1	2	-	2°34'29" S	42°48'18" O
Mário (LM)	14	3	-	2°34'51" S	42°47'46" O
Lorena (LL)	16	6	3 ^a	2°36'39" S	42°47'10" O
Risada (LR)	1,5	12	-	2°39'16" S	42°50'37" O
Peixe (LP)	6	13,5	2 ^a	2°39'38" S	42°51'56" O
Azul (LA)	7	14	1 ^a	2°40'2" S	42°51'38" O



Figura 3: Fotografias com a vista geral das seis lagoas selecionadas no PNLM. Fileira superior: período seco (setembro de 2013) e fileira inferior período chuvoso (maio de 2014).

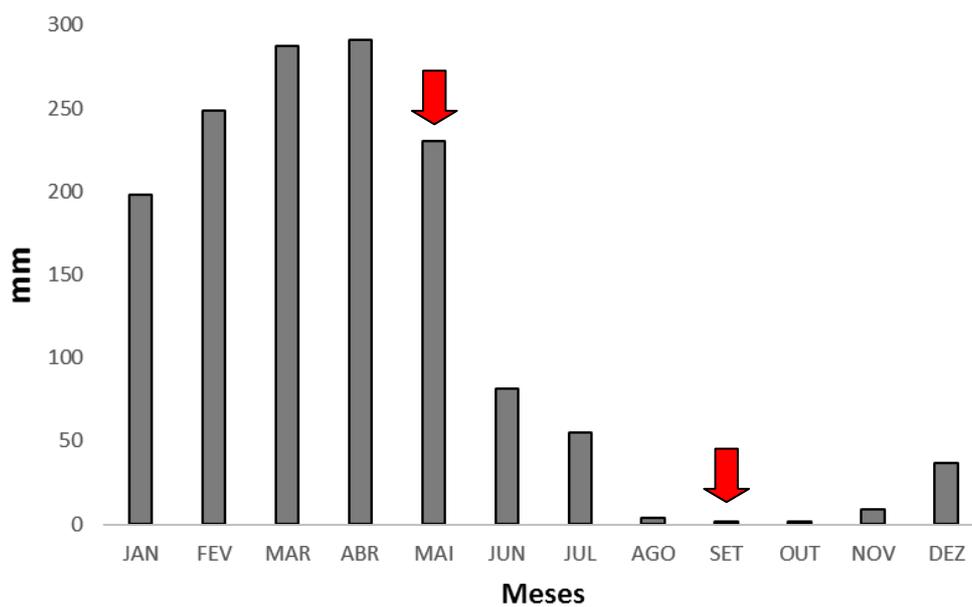


Figura 4: Precipitação pluviométrica acumulada mensal no PNLM. Média do período entre 2009 e 2014 (InMet, 2015). As setas indicam os meses de coleta (setembro/2013 e maio/2014).

5.2 – Amostragem e Hidroquímica

As amostragens foram realizadas no período seco, no mês de setembro de 2013 e no período chuvoso, no mês de maio de 2014 (Figura 4). A precipitação pluviométrica durante o mês de setembro de 2013, foi de 1,6 mm, e durante os dias de estudo (entre 14/09 e 18/09) foi zero (0). Já na coleta do período chuvoso, no mês de maio de 2014, a precipitação acumulada foi de 560,6 mm, e nos dias de estudo (entre 03/05 e 06/05) foi de 51,6 mm. Durante o período chuvoso o céu permaneceu nublado todos os dias, com chuvas torrenciais ocorrendo durante algumas coletas. Destaca-se no período chuvoso pancadas de chuvas intensas e tempo nublado durante todos os dias do estudo.

As lagoas do Canto do Atins, Mário e Lorena foram agrupadas como mais próximas ao mar e as lagoas da Risada, do Peixe e Azul foram agrupadas como mais afastadas. Em cada uma das lagoas, em um ponto central, foram realizadas medições de condutividade elétrica (condutivímetro WTW 315i), pH (pHmetro WTW 3310), turbidez (turbidímetro LaMotte 2020We), profundidade (SpeedTech), vento e temperatura do ar (anemômetro La Crosse EA-3010U) e o oxigênio dissolvido e a temperatura da água (oxímetro YSI 55). A alcalinidade total foi determinada em laboratório utilizando titulador Mettler DL21, seguindo metodologia de Carmouze (1994). Para as demais análises foram coletados 4,5 litros de água em cada lagoa.

Para a determinação de carbono orgânico dissolvido (COD) e nitrogênio total dissolvido, amostras foram filtradas (filtros GF/F calcinados previamente) e conservadas com ácido fosfórico (H_3PO_4), e posteriormente analisadas em TOC-5000 por oxidação catalítica em alta temperatura, após acidificação e purga com ar ultrapuro.

Dentre os demais componentes dissolvidos (filtrados em GF/F), a determinação das concentrações de silicato reativo dissolvido (SiO_2) e íon amônio (NH_4^+) foi realizada através de colorimetria e leitura espectrofotométrica

em UV visível Shimadzu seguindo protocolos específicos (Carmouze, 1994). Os ânions cloreto (Cl^-), ortofosfato (PO_4^{3-}), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) foram determinadas por cromatografia de íons (Metrohm 861), seguindo metodologias específicas. As determinações dos cátions maiores dissolvidos, ou macronutrientes (cálcio, potássio, sódio e magnésio), foram realizadas por espectrometria de emissão atômica com plasma induzido em ICP-OES Varian 720 ES.

Para determinar as concentrações de fósforo total (P-total) e fósforo total dissolvido (P-PTD), também por espectrofotometria, foi precedida de digestão com persulfato ácido, em autoclave, de amostras não filtradas e filtradas, respectivamente. A concentração de N-total também foi avaliada após digestão com persulfato básico (Carmouze, 1994) e leitura em cromatografia de íons (Metrohm 861). A biomassa fitoplanctônica foi estimada pela concentração de clorofila *a*, determinadas em método espectrofotométrico após maceração com acetona 90% dos filtros que foram utilizados na filtração da água coletada (Wetzel e Likens, 2001). Todas essas medições e coletas foram realizadas em quatro horários, em dois dias, totalizando um período de 36 horas, sempre no início da manhã e no final da tarde.

O sedimento foi coletado com testemunhos de PVC. Para esse estudo, apenas o sedimento superficial (0-2 cm) foi considerado. No laboratório, após descongelamento, as amostras foram separadas por peneiramento na fração <2 mm e secas por liofilização, em seguida foram homogeneizadas em moinho de bolas. Nesta fração foram determinadas as concentrações de C e N (analisador elementar).

5.3 – Atividade Biológica

A atividade biológica foi avaliada com a utilização da técnica da água livre, descrita em Carmouze (1994). Essa técnica baseia-se na medição de parâmetros como temperatura, pH, alcalinidade total, salinidade, vento e

profundidade, e através de um modelo de associações iônicas utilizando o programa 'Alcalin', permite que as variações temporais nas concentrações de carbono inorgânico (CID) sejam determinadas. Além disso, a saturação de CO₂ no sistema também foi determinada com esse modelo.

A partir dos resultados encontrados pôde-se quantificar o balanço entre a produção primária bruta e os processos degradativos, determinando se houve, no intervalo amostrado, maior consumo subaquático de CID (PPLq) ou predomínio da liberação de CID (respiração líquida + mineralização) e ainda determinar as trocas gasosas entre o ambiente aquático e a atmosfera. Cada lagoa foi avaliada num intervalo de 36 horas. No período seco esse intervalo foi dividido em um período de 24 horas (noturno + diurno) e em um período de 12 horas diurno; enquanto no período chuvoso, esse intervalo foi dividido em três períodos de 12 horas cada, incluindo dois períodos diurnos e um período noturno, tanto no período seco quanto no chuvoso.

5.4 – Composição Elementar e Isotópica da matéria orgânica dissolvida, do sedimento e do MPS

O isolamento e a concentração da matéria orgânica dissolvida foram realizados pela extração de fase sólida seguindo metodologia descrita por Dittmar *et al.* (2008). Aproximadamente 4 litros de água foram filtrados e acidificados com HCl até pH 2. Dois litros dessa amostra foram passados através de colunas de resina PPL. As colunas foram secas com N₂, e em seguida 8 mL de Metanol (pureza HPLC) foram passados na coluna para extração da matéria orgânica dissolvida, gerando um extrato líquido, que em seguida foi armazenado em freezer. Posteriormente, 2 mL do extrato foram secos com N₂, depois de secos, aproximadamente 70 µL de metanol foram adicionados, o volume gerado foi transferido para vials de estanho e levados para a estufa. Após a secagem na estufa os vials foram pesados e fechados para a leitura no Analisador Elementar Flash 2000 (Organic Elemental Analyzer

– Thermo Scientific) acoplado a um espectrômetro de massa Delta V Advantage (Isotope Ratio Mass Spectrometer, IRMS – Thermo Scientific). A determinação da composição isotópica da matéria particulada foi realizada a partir dos filtros GF/F provenientes da filtração, também no IRMS. Os resultados da composição elementar foram expressos em (%) e os da composição isotópica em (‰), valores relativos ao padrão universalmente considerado (PDB) para o $\delta^{13}\text{C}$ e em relação ao nitrogênio atmosférico para o $\delta^{15}\text{N}$.

Além disso, também foi determinada a composição elementar e isotópica no sedimento superficial liofilizado, a fim de determinar o potencial nutricional deste compartimento. A composição elementar e isotópica da matéria orgânica foi determinada na amostra bruta (C e N totais) e na amostra descarbonatada (Corg). Para a determinação de ambos foram pesadas aproximadamente 10 mg de amostras. Para o Corg as amostras foram descarbonatadas através da adição de HCl 1 M. Este procedimento foi repetido por 4 vezes, as amostras foram secas em estufa a 60°C por 12h. A análise da composição elementar e isotópica também foi realizada no Analisador Elemental Flash 2000 (Organic Elemental Analyzer – Thermo Scientific) acoplado a um espectrômetro de massa Delta V Advantage (Isotope Ratio Mass Spectrometer, IRMS – Thermo Scientific) (Brodie *et al.*, 2011).

5.5 – Tratamento Estatístico

Através do programa STATISTICA 8.0 foi realizada uma análise de variância fatorial (ANOVA) e em seguida foi utilizado o teste *post-hoc* Tukey para comparações múltiplas (entre lagoas, entre horários e entre períodos) a fim de detectar pequenas diferenças significativas (Zar, 1996). Além disso, também foi gerada uma Análise de Componentes Principais (PCA). Os valores foram considerados significativos para $p < 0,05$.

6 – Resultados

6.1 – Parâmetros físico-químicos.

A tabela 2 mostra os resultados dos parâmetros físico-químicos determinados nas seis lagoas amostradas nos períodos seco e chuvoso, incluindo valores de pH, condutividade elétrica, grau de saturação de oxigênio, grau de saturação de CO₂, temperatura da água, velocidade do vento, turbidez, profundidade, alcalinidade total e MPS.

Tabela 2: Mediana dos parâmetros físico-químicos nos dois períodos estudados (n=4, exceto pH e CO₂ n=3).

Período	Lagoa	pH	C.E. μS.cm ⁻¹	OD. %	CO ₂ %	Temp. °C	Vento m.s ⁻¹	Turb. NTU	Prof. M	Alc. mEq.L ⁻¹	MPS mg.L ⁻¹
Seco	C. Atins	7,3	114	88	983	26,1	5,8	0,8	0,4	0,834	2,0
	Mário	6,2	173	83	1447	28,1	2,4	0,5	1	0,108	1,3
	Lorena	6,7	73	92	381	26,9	3,8	0,8	1	0,087	1,9
	Risada	6,4	55	96	353	26,7	6,1	0,3	0,5	0,049	1,2
	Peixe	6,5	92	89	442	27,4	4,0	2,9	1,5	0,065	13,0
	Azul	6,3	57	96	2343	27,0	8,5	0,3	1	0,068	0,8
Chuvoso	C. Atins	7,0	35	88	283	29,4	3,0	0,5	0,6	0,144	0,9
	Mário	5,9	110	83	3597	30,8	0,7	0,6	1,5	0,122	1,5
	Risada	5,4	27	87	5643	28,0	2,1	0,2	0,8	0,074	1,0
	Peixe	6,9	67	77	233	28,9	2,0	2,5	1,8	0,068	10,4
	Azul	5,5	18	88	4440	28,7	1,9	0,9	1,5	0,073	2,0

O pH apresentou-se ligeiramente ácido na maioria das lagoas estudadas. No período seco a variação ficou entre 4,9 e 7,8 na lagoa do Canto do Atins, entre 5,1 e 6,6 na lagoa do Mário, entre 5,6 e 7,1 na lagoa Lorena, entre 5,6 e 6,6 na lagoa Risada, entre 5,2 e 7,5 na lagoa do Peixe e entre 5,5 e 7,6 na lagoa Azul. No período chuvoso a lagoa do Canto do Atins apresentou uma variação entre 6,4 e 7,5, a lagoa do Mário entre 5,6 e 6,2, a lagoa da Risada entre 4,6 e 5,8, a lagoa do Peixe entre 6,1 e 7,2 e a lagoa Azul entre 5,4 e 6,3 (Figura 5). A determinação do período da tarde do primeiro dia do período seco apresentou valores muito discrepantes, podendo estar associado à algum erro metodológico ou analítico, e por esse motivo foi descartado.

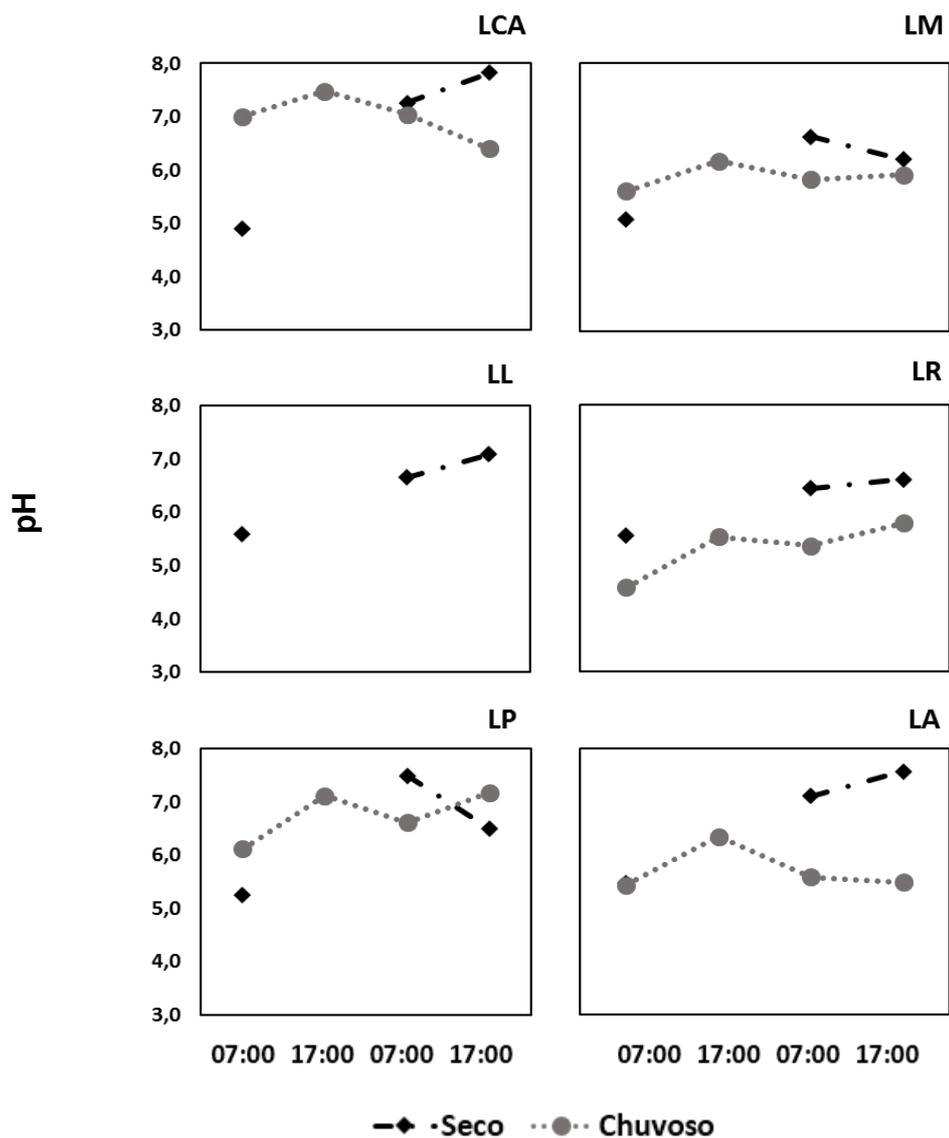


Figura 5: Variação nictemeral (36h) dos valores de pH em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

A condutividade elétrica diminuiu, em todas as lagoas, do período seco para o período chuvoso (Figura 6), apenas as lagoas do Canto do Atins e Azul apresentaram diferença significativa entre os períodos ($p < 0,05$). No período seco, observou-se, para a maior parte das lagoas, um ligeiro declínio dos

valores ao longo dos dias estudados, variando entre 106 e 138 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na lagoa do Canto do Atins, na lagoa do Mário entre 142 e 187 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, na lagoa Lorena entre 57 e 89 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, na lagoa da Risada entre 54 e 78 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, na lagoa do Peixe entre 85 e 129 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e na lagoa Azul entre 52 e 94 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Já no período chuvoso a variação entre os horários foi menor, na lagoa do Canto do Atins ficou entre 34 e 35 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, na lagoa do Mário entre 110 e 111 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, na lagoa da Risada entre 21 e 49 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, na lagoa do Peixe entre 65 e 68 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e na lagoa Azul entre 17 e 19 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Quando consideramos o agrupamento das lagoas, as mais próximas ao mar apresentam os valores médios aproximadamente 60% maior do que as lagoas mais afastadas, no período seco; e aproximadamente 50 % maior no período chuvoso.

Ao contrário da condutividade elétrica, a temperatura apresentou maiores valores no período chuvoso, em relação ao período seco ($p < 0,05$ para LCA e LA) (Figura 7). Entretanto, o padrão diário de incremento da temperatura no período diurno e declínio no noturno foi consistente em ambos períodos. No período seco, a temperatura mínima observada foi de 25 °C nas lagoas do Canto do Atins, Lorena e Azul, enquanto a temperatura máxima observada foi de 30 °C nas lagoas do Canto do Atins e Mário. A temperatura mínima observada no período chuvoso foi de 27 °C na lagoa da Risada e 32 °C nas lagoas do Canto do Atins e do Mário.

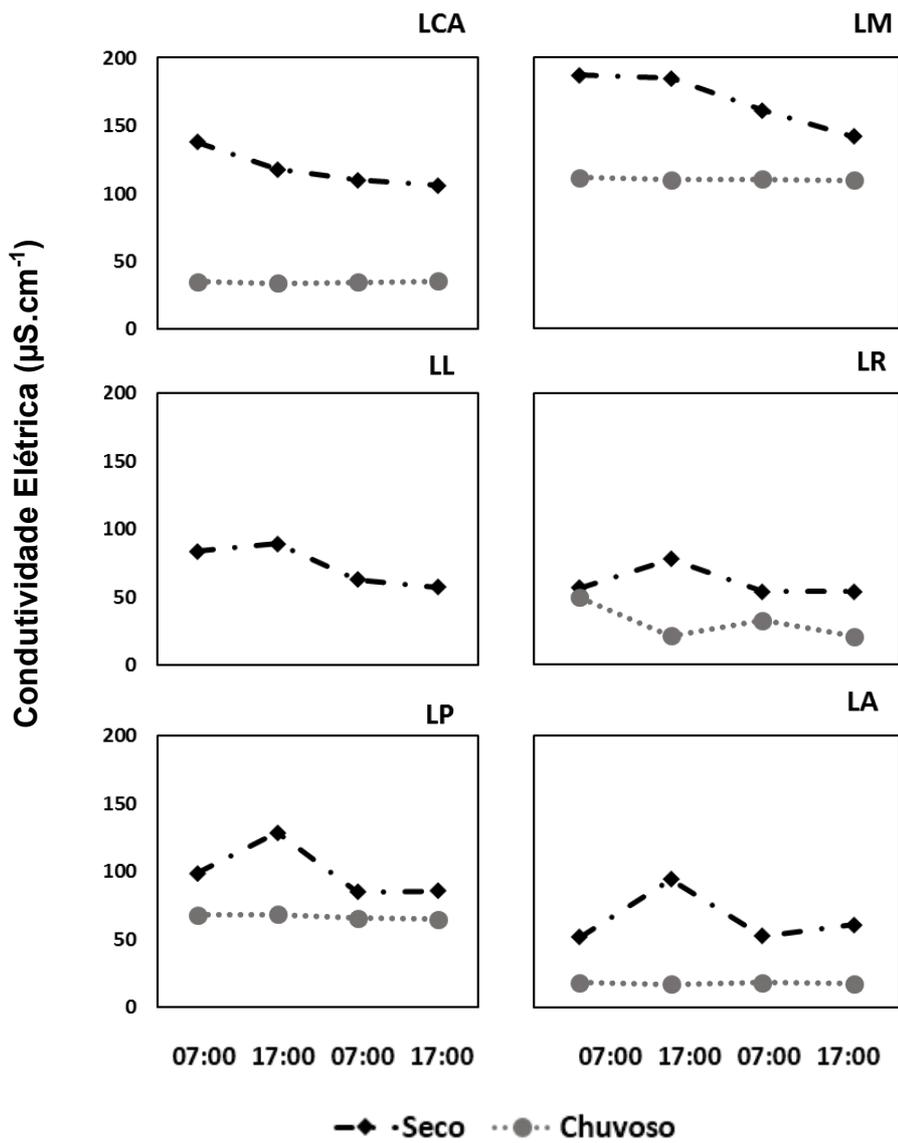


Figura 6: Variação nictemeral (36h) dos valores de condutividade elétrica em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

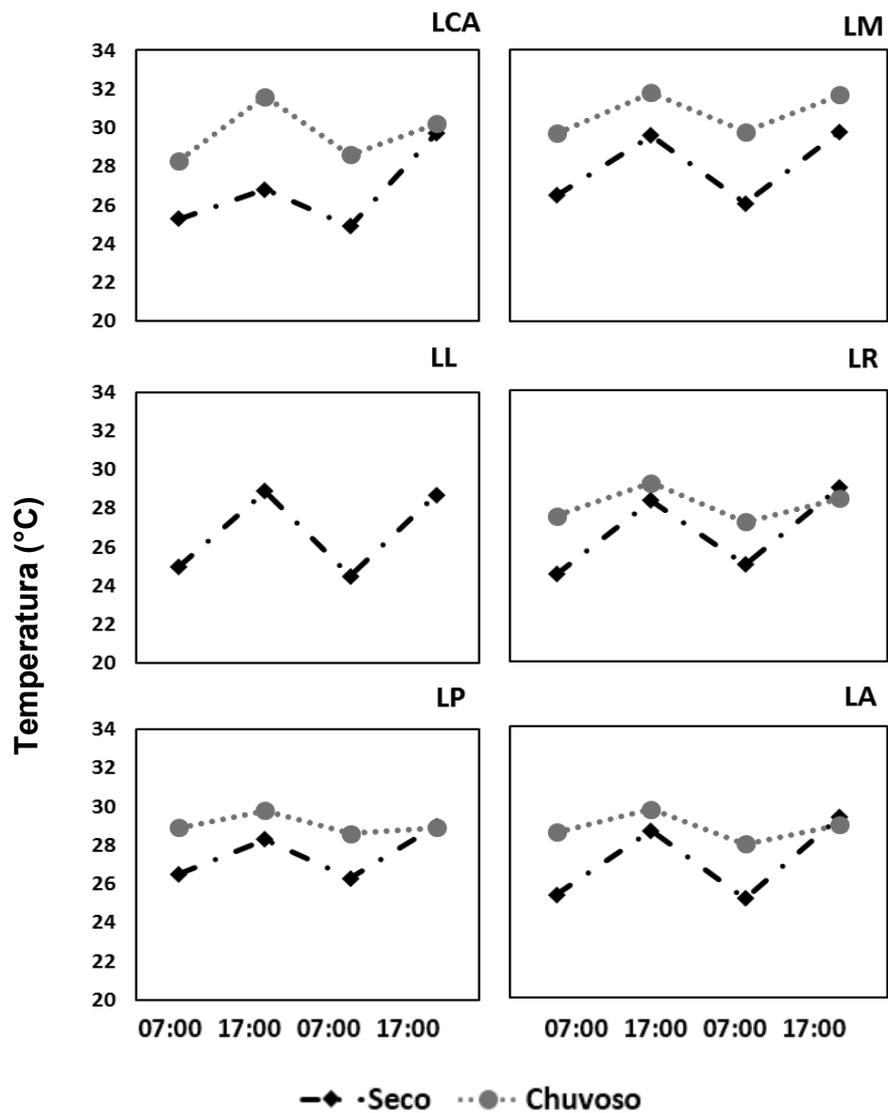


Figura 7: Variação nictemeral (36h) da temperatura em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

Em relação ao grau de saturação de oxigênio, observou-se uma diminuição do período seco para o período chuvoso (Figura 8) No período seco o grau de saturação variou entre 65 e 108 % e no período chuvoso entre 70 e 95 %. A lagoa do Peixe apresentou a maior variação nos dois períodos.

Observou-se em todas as lagoas (no período chuvoso), incremento na saturação de OD durante o dia e declínio durante a noite. Esse padrão também foi encontrado no período seco, excetuando-se as lagoas do Mário, Risada e Azul, que apresentaram um declínio no grau de saturação no período diurno, principalmente no segundo dia.

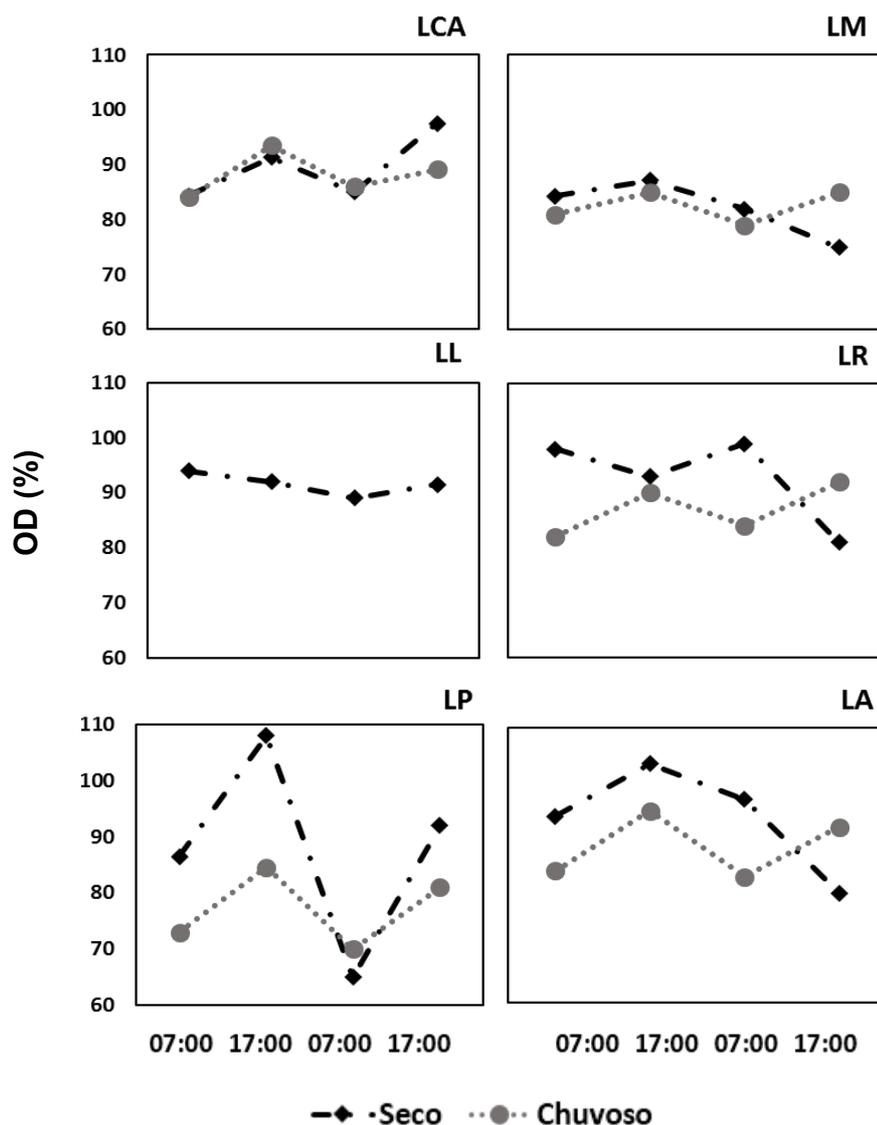


Figura 8: Variação nictemeral (36h) do grau de saturação de oxigênio em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

O grau de saturação de CO₂ foi mais elevado do que o de oxigênio e com maior variação. No período seco (Figura 9) o grau de saturação de CO₂ variou entre 39% na lagoa Azul e 206257% na lagoa do Canto do Atins. O padrão de variação foi semelhante em todas as lagoas, com saturações mais elevadas na primeira determinação e posterior declínio, as lagoas do Mário e do Peixe apresentaram incremento no período diurno no segundo dia. Com o descarte dos valores de pH no primeiro período vespertino do período seco, não foi possível obter o grau de saturação de CO₂ neste horário.

No período chuvoso a variação no grau de saturação foi menor (Figura 10), contrapondo-se ao incremento na saturação de oxigênio dissolvido. A variação geral observada ficou entre 96% na lagoa do Peixe e 39690% na lagoa da Risada.

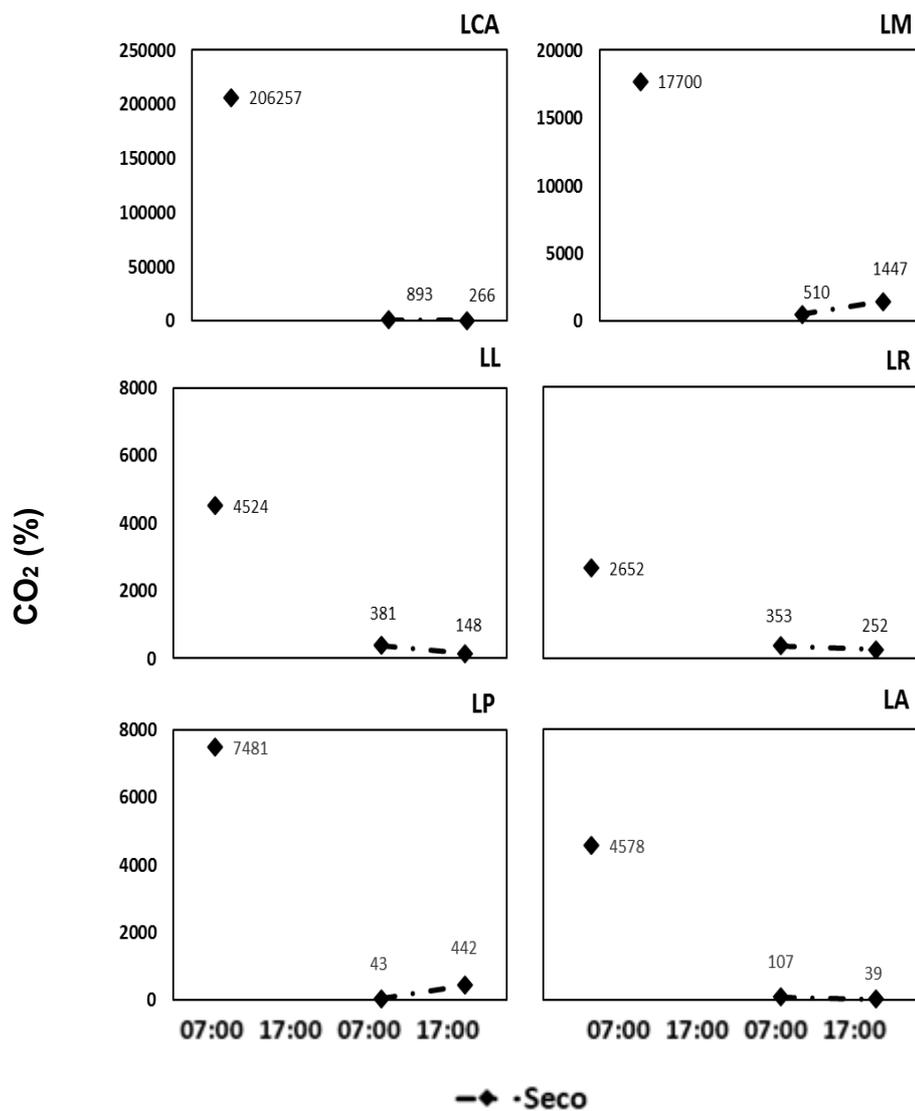


Figura 9: Variação nictemeral (36h) do grau de saturação de CO₂ em seis lagoas do PNLM, no período seco de 2013. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

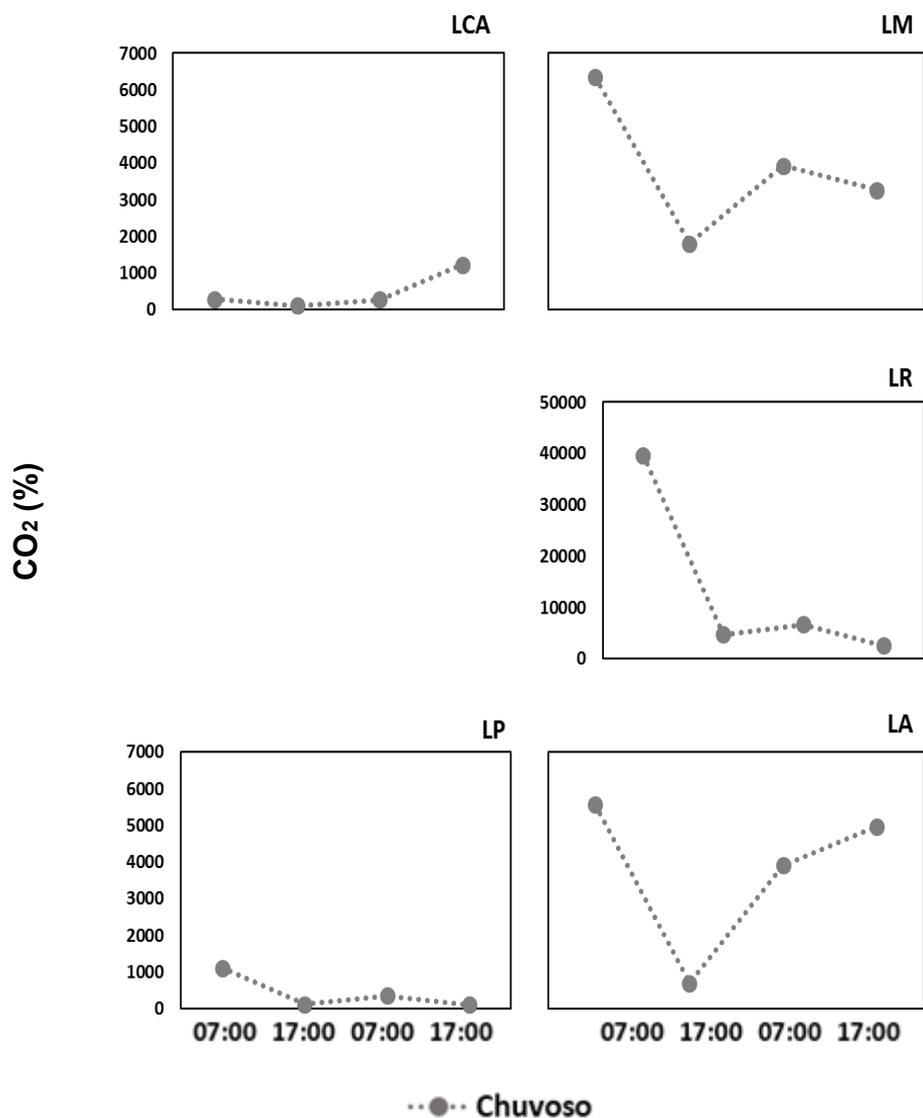


Figura 10: Variação nictemeral (36h) do grau de saturação de CO₂ em cinco lagoas de dunas no PNLM, no período chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

A velocidade do vento, apresentou diminuição em seus valores do período seco para o período chuvoso ($p < 0,05$ para LCA e LA) (Figura 11). A média geral de velocidade de vento no período seco foi de $5,1 \text{ m.s}^{-1}$ e no período chuvoso, de $1,9 \text{ m.s}^{-1}$. O padrão de maiores velocidades de vento ao final do período diurno observado no período chuvoso não foi observado no período seco.

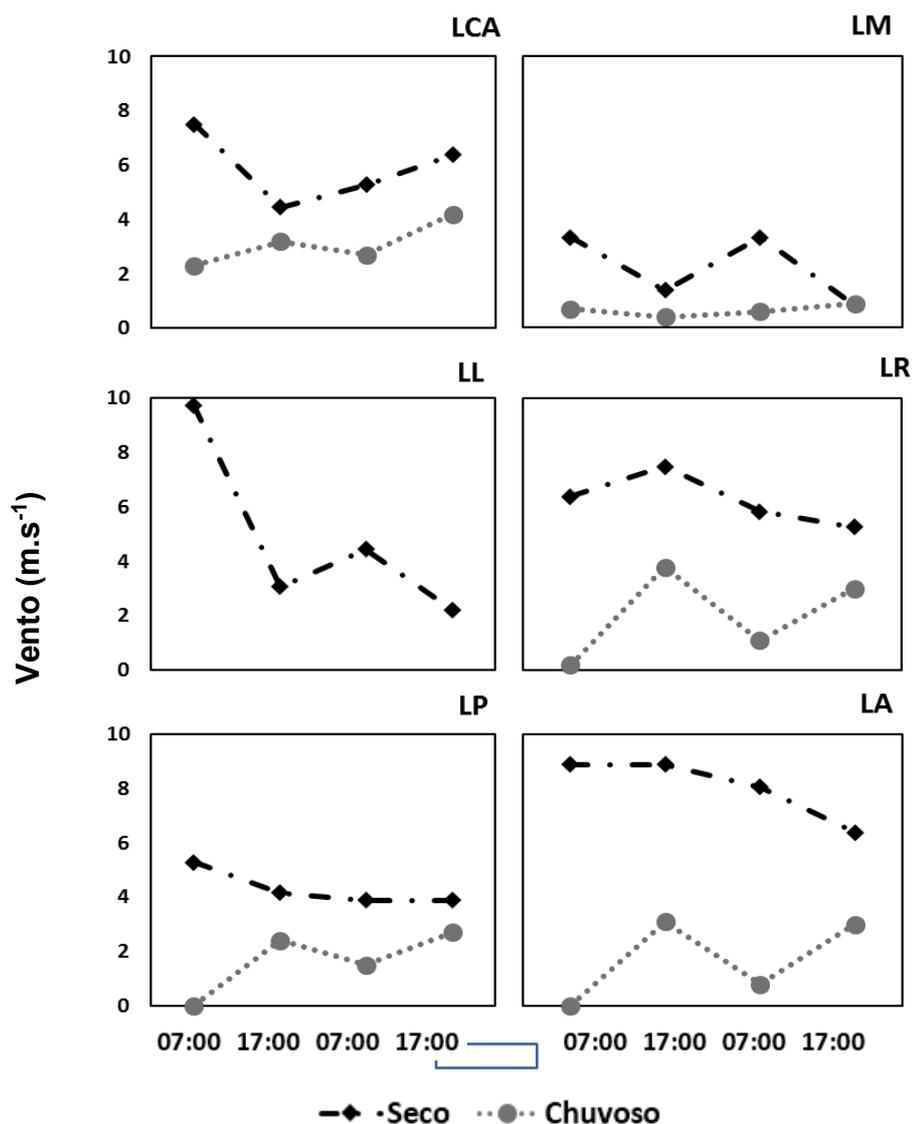


Figura 11: Variação nictemeral (36h) da velocidade do vento em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

A alcalinidade total apresentou pequena variação entre as lagoas e entre os períodos (Figura 12), com exceção da lagoa do Canto do Atins no período seco, em que a alcalinidade atingiu 0,8 mEq.L⁻¹ e não ultrapassou 0,15 mEq.L⁻¹.

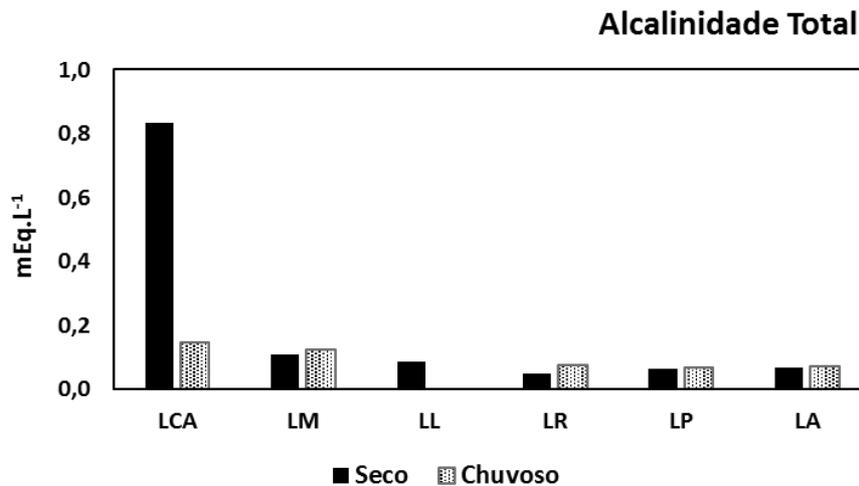


Figura 12: Variação dos valores de alcalinidade total em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

Em relação à turbidez, apenas a lagoa do Peixe apresentou valor maior do que 1 NTU, chegando à 4,3 NTU no período seco e 2,7 NTU no período chuvoso. Todas as demais apresentaram turbidez menor que 1 NTU, em ambos os períodos (Figura 13). Apenas as lagoas do Canto do Atins e Azul apresentaram diferença significativa nos valores de turbidez entre os períodos.

A profundidade, no ponto central, de todas as lagoas teve incremento em cerca de 45% no período chuvoso: a lagoa do Canto do Atins passou de 0,4 m para 0,6 m, a lagoa do Mário passou de 1 m para 1,5 m, a lagoa da Risada passou de 0,5 m para 0,8 m, a lagoa do Peixe passou de 1,5 m para 1,8 m, a lagoa Azul passou de 1 m para 1,5 m e na Lagoa Lorena (amostrada apenas no período seco) foi medido 1 m de profundidade (Figura 14).

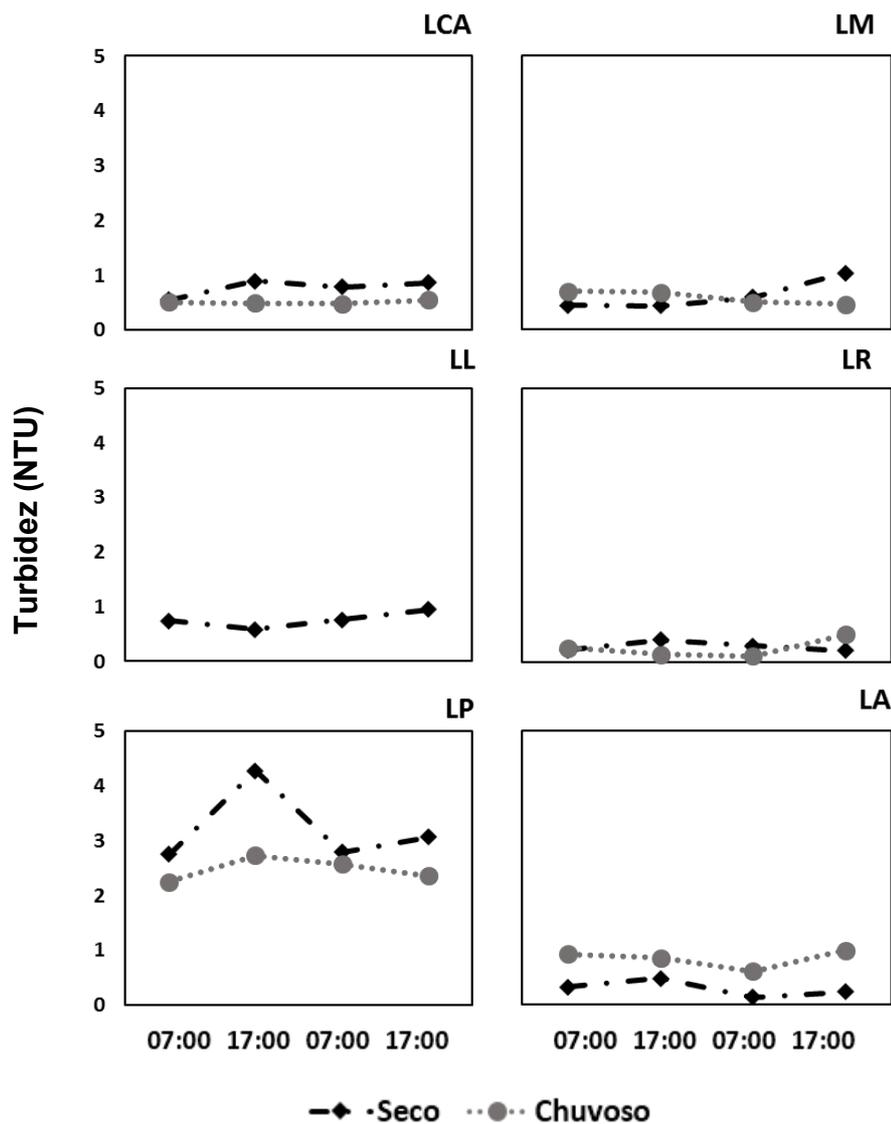


Figura 13: Variação nictemeral (36h) dos valores de turbidez em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

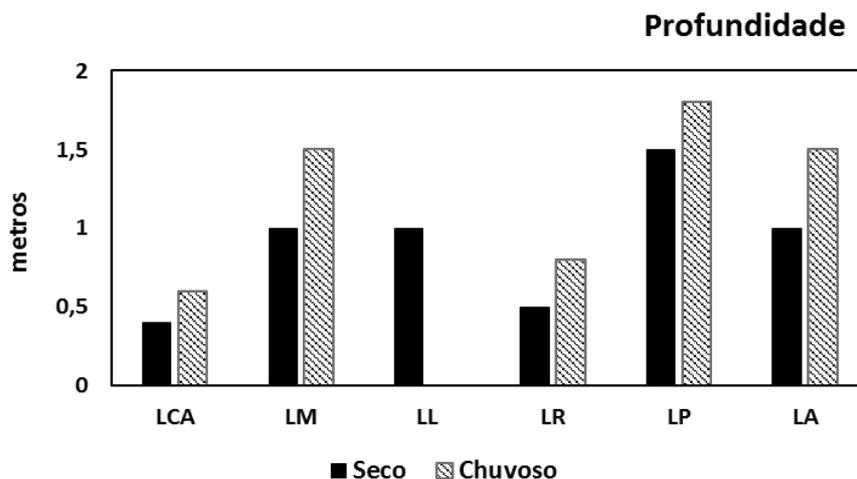


Figura 14: Variação da profundidade em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

6.2 – Atividade biológica.

A atividade biológica calculada foi maior no período seco, apresentando variação entre as lagoas e entre os períodos de estudo. A Tabela 3 traz os valores de atividade biológica para o período seco, devido ao erro analítico que inutilizou os valores de pH e CO₂ do período da tarde no primeiro dia, foram definidos dois intervalos, um de 24 horas, abrangendo um período diurno e um noturno e um período de 12 horas diurno. No primeiro período diário de 24 horas, as lagoas do Canto de Atins, Mário, Lorena e Peixe apresentaram balanço autotrófico, enquanto as lagoas da Risada e Azul apresentaram balanço heterotrófico. O segundo período diurno apresentou valores menores de produção primária líquida, e as lagoas do Mário e Peixe apresentaram heterotrofia diurna.

Tabela 3: Atividade biológica em seis lagoas de dunas no PNLN, no período seco de 2013. Os valores positivos (vermelho) indicam balanço heterotrófico e os valores negativos indicam balanço autotrófico. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

	 	
	24h	12h
	mmol CID m ⁻² período ⁻¹	
LCA	-2112	-10
LM	-1625	91
LL	-160	-23
LR	7	-1
LP	-1163	60
LA	99	-80

Durante o período chuvoso, três intervalos de 12 horas foram definidos, e para estabelecer os valores de um dia, esses intervalos foram somados gerando dois períodos de 24 horas, abrangendo um período diurno e o noturno e o período noturno e o diurno subsequente (Tabela 4).

Os períodos diurnos apresentaram produção primária líquida em quase todas as lagoas, excetuando-se as lagoas do Canto de Atins e Azul no segundo dia; e heterotrofia (respiração/degradação) no período noturno. Neste período, a lagoa da Risada apresentou os maiores valores de balanço autotrófico diário, contrastando com a heterotrofia (24h) e baixa autotrofia (12h) apresentada no período seco. A predominância dos processos degradativos/respiração gerou balanço heterotrófico diário nas lagoas do Canto de Atins, Mário e Azul no segundo dia do período chuvoso.

Tabela 4: Atividade biológica em seis lagoas de dunas no PNLM, no período chuvoso de 2014. Os valores positivos (vermelho) indicam balanço heterotrófico e os valores negativos indicam balanço autotrófico. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

					
	12h	12h	12h	24h	24h
	mmol CID m ⁻² período ⁻¹				
LCA	-12	12	61	0	72
LM	-654	358	-97	-296	261
LR	-2053	248	-318	-1806	-70
LP	-177	46	-47	-131	0
LA	-728	530	180	-198	710

6.3 – Nutrientes.

As tabelas 5 e 6 mostram as medianas das concentrações dos nutrientes determinadas nas seis lagoas selecionadas e nos dois períodos amostrados nesse estudo. Na primeira encontram-se as concentrações de nitrogênio nas formas total dissolvida e inorgânica dissolvida, orto-fosfato, fósforo total, carbono orgânico dissolvido e clorofila *a*. Na segunda tabela encontram-se as medianas das concentrações dos macronutrientes (sódio, potássio, cálcio e magnésio), silicato reativo dissolvido e cloreto.

Tabela 5: Medianas das concentrações de NTD, NID, COD, P-total e Clorofila *a* nas seis lagoas nos dois períodos estudados (n=4). (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

Período	Lagoa	NTD $\mu\text{mol.L}^{-1}$	NID $\mu\text{mol.L}^{-1}$	P- PO_4^{3-} $\mu\text{mol.L}^{-1}$	P-total $\mu\text{mol.L}^{-1}$	COD $\mu\text{mol.L}^{-1}$	Chl <i>a</i> $\mu\text{g.L}^{-1}$
Seco	LCA	24,5	0,2	0,2	0,8	719	0,7
	LM	27,6	0,5	0,1	0,6	749	1,2
	LL	13,6	0,4	0,1	0,5	559	0,7
	LR	35,0	10,2	0,1	0,7	362	0,5
	LP	24,4	0,5	0,2	1,0	1652	6,3
	LA	21,3	1,8	0,1	0,7	479	0,9
Chuvoso	LCA	10,2	0,6	0,1	0,2	46	0,8
	LM	20,4	0,9	0,1	0,2	249	0,8
	LR	18,5	7,9	0,1	0,4	81	0,8
	LP	24,1	2,3	0,2	0,4	357	5,6
	LA	10,5	1,2	0,2	0,4	116	2,7

Tabela 6: Medianas das concentrações de Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Si-SiO₂ e Cl^- e nas seis lagoas nos dois períodos estudados (n=4). (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

Período	Lagoa	Ca^{2+} $\mu\text{mol.L}^{-1}$	K^+ $\mu\text{mol.L}^{-1}$	Mg^{2+} $\mu\text{mol.L}^{-1}$	Na^+ $\mu\text{mol.L}^{-1}$	Si-SiO ₂ $\mu\text{mol.L}^{-1}$	Cl^- $\mu\text{mol.L}^{-1}$
Seco	LCA	58,9	27,0	342,7	466,0	26,1	1259,5
	LM	30,4	44,1	155,9	1370,2	20,5	1910,7
	LL	18,1	29,9	69,2	487,3	8,4	735,4
	LR	10,1	17,2	32,9	283,9	4,8	504,9
	LP	24,9	32,2	55,7	496,6	13,3	1001,6
	LA	8,2	20,3	20,0	244,4	15,2	638,1
Chuvoso	LCA	12,7	11,8	107,6	126,8	0,6	264,0
	LM	21,6	25,9	90,5	742,2	13,2	1252,2
	LR	5,2	12,8	12,4	121,2	1,1	732,6
	LP	24,0	33,6	45,9	461,1	1,4	639,1
	LA	3,8	12,9	6,0	105,0	ND	437,7

A maioria dos nutrientes determinados apresentou diminuição das concentrações no período chuvoso, se comparado ao período seco. Um agrupamento entre as lagoas com maior frequência de visitação (Azul, Peixe e Lorena) e aquelas não visitadas frequentemente não diferenciou estes grupos em rela o aos nutrientes relacionados ao processo de eutrofiza o (nitrogênio e fósforo), uma vez que as maiores concentra es de nutrientes foram encontradas, de forma geral, na lagoa da Risada.

Os valores de concentra o de nitrogênio inorgânico dissolvido se mantiveram abaixo de $2,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$ em quase todas as lagoas. Apenas a lagoa da Risada apresentou concentra es mais elevadas, variando entre 9,6 e $13,6 \mu\text{mol.L}^{-1}$ no período seco e entre 6,6 e $9,2 \mu\text{mol.L}^{-1}$ no período chuvoso (Figura 15). O nitrogênio na forma total dissolvida variou entre $15 \mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa Lorena e $36,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa da Risada no período seco e entre $11 \mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa Azul e $22 \mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Peixe no período chuvoso (Figura 16). Apenas as lagoas do Canto do Atins e Azul apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) nas concentra es de NTD entre os períodos.

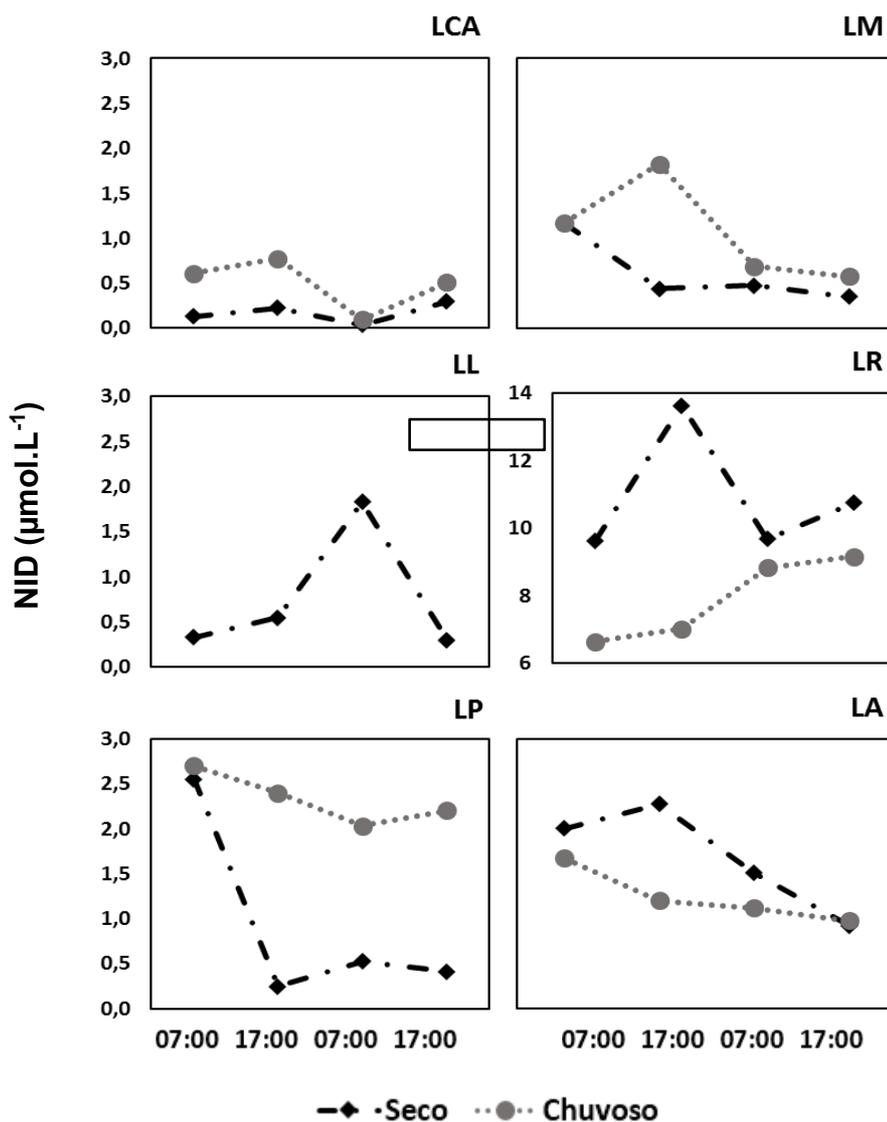


Figura 15: Variação nictemeral (36h) das concentrações de NID em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

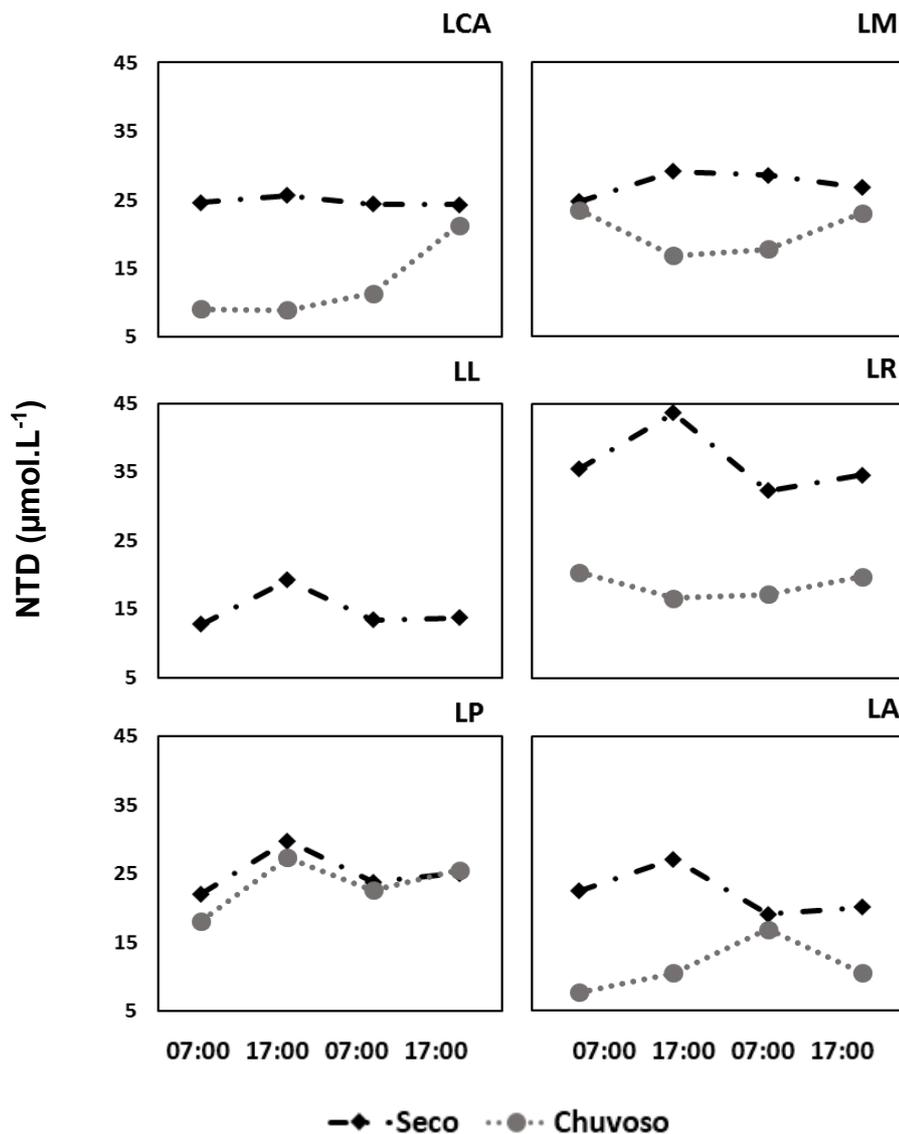


Figura 16: Variação nictemeral (36h) das concentrações de NTD em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

As concentrações de orto-fosfato variaram entre 0,03 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa Lorena e 0,38 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa da Risada no período seco e entre 0,04 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Mário e 0,45 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ também na lagoa da Risada no período chuvoso (Figura 17). O P-total apresentou concentrações com variação entre 0,53 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa Lorena e 0,97 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Peixe no

período seco e $0,18 \mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Canto do Atins e $0,45 \mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa Azul no período chuvoso (Figura 18). Tanto as concentrações de ortofosfato quanto as concentrações de P-total apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos na lagoa do Canto do Atins e na lagoa Azul.

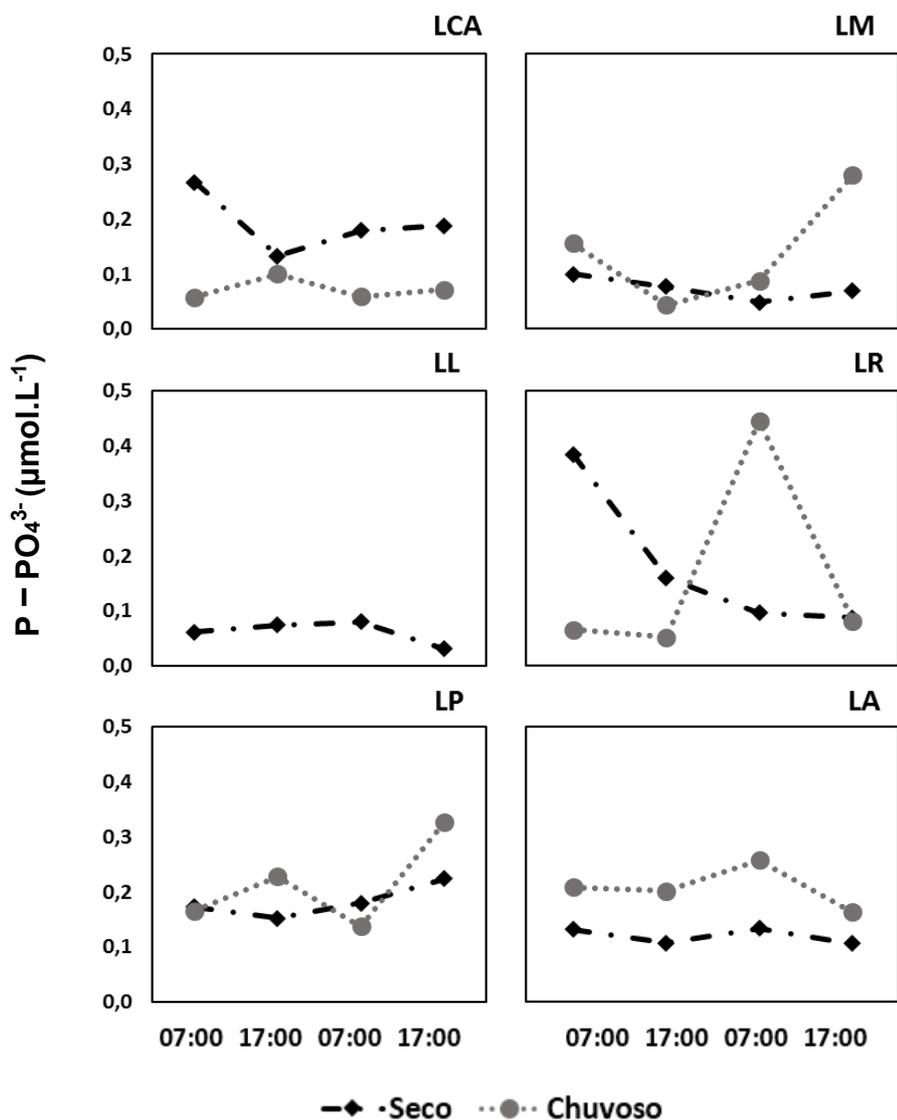


Figura 17: Variação nictermeral (36h) das concentrações de PO_4^{3-} em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

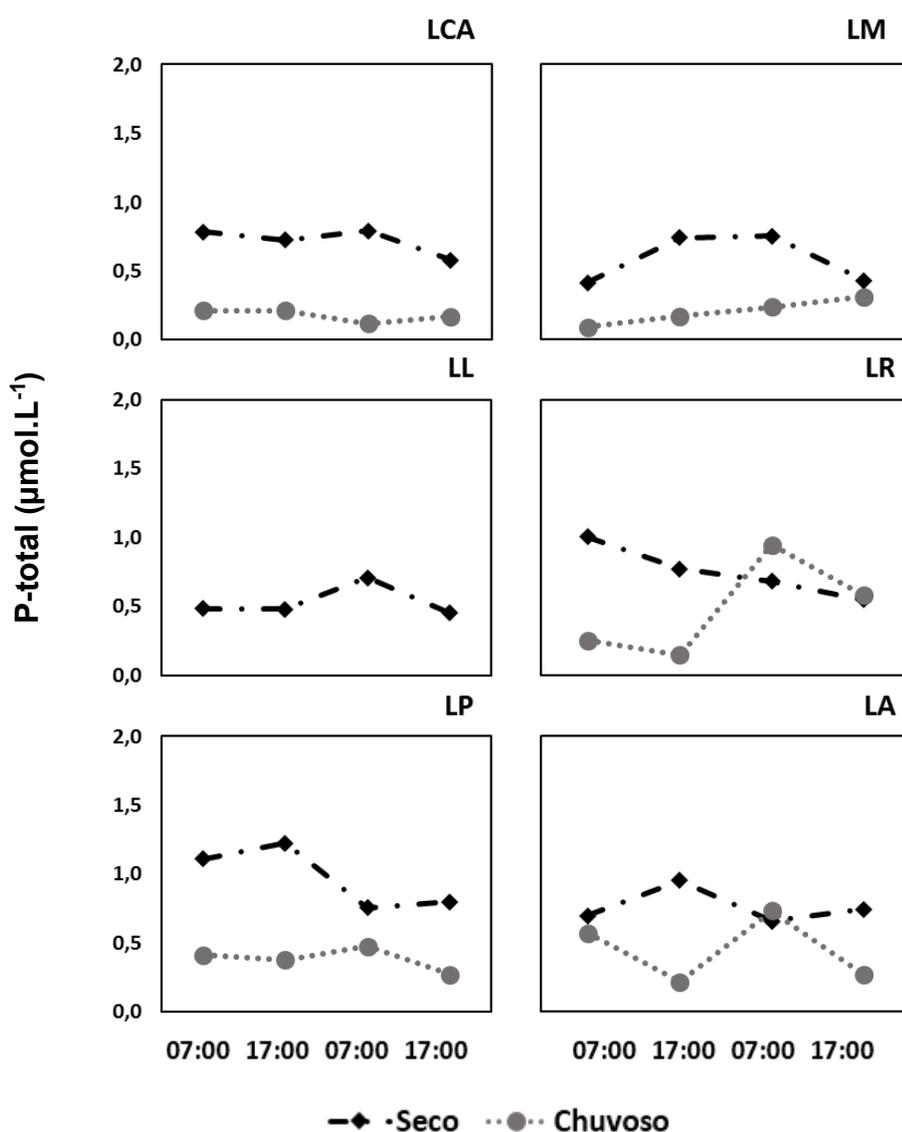


Figura 18: Variação nictemeral (36h) das concentrações de P-total em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

No período seco o COD variou entre 330 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa da Risada e 1610 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Peixe. Já no período chuvoso a variação ficou entre 62 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Canto do Atins e 364 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Peixe (Figura 19). Assim, a caracterização de ambientes mais eutrofizados e enriquecidos em COD também não pode ser atribuído ao agrupamento das

lagoas com maior frequência de visitação. Apenas as lagoas do Canto do Atins e Azul apresentaram diferença significativa nas concentrações de COD entre os períodos.

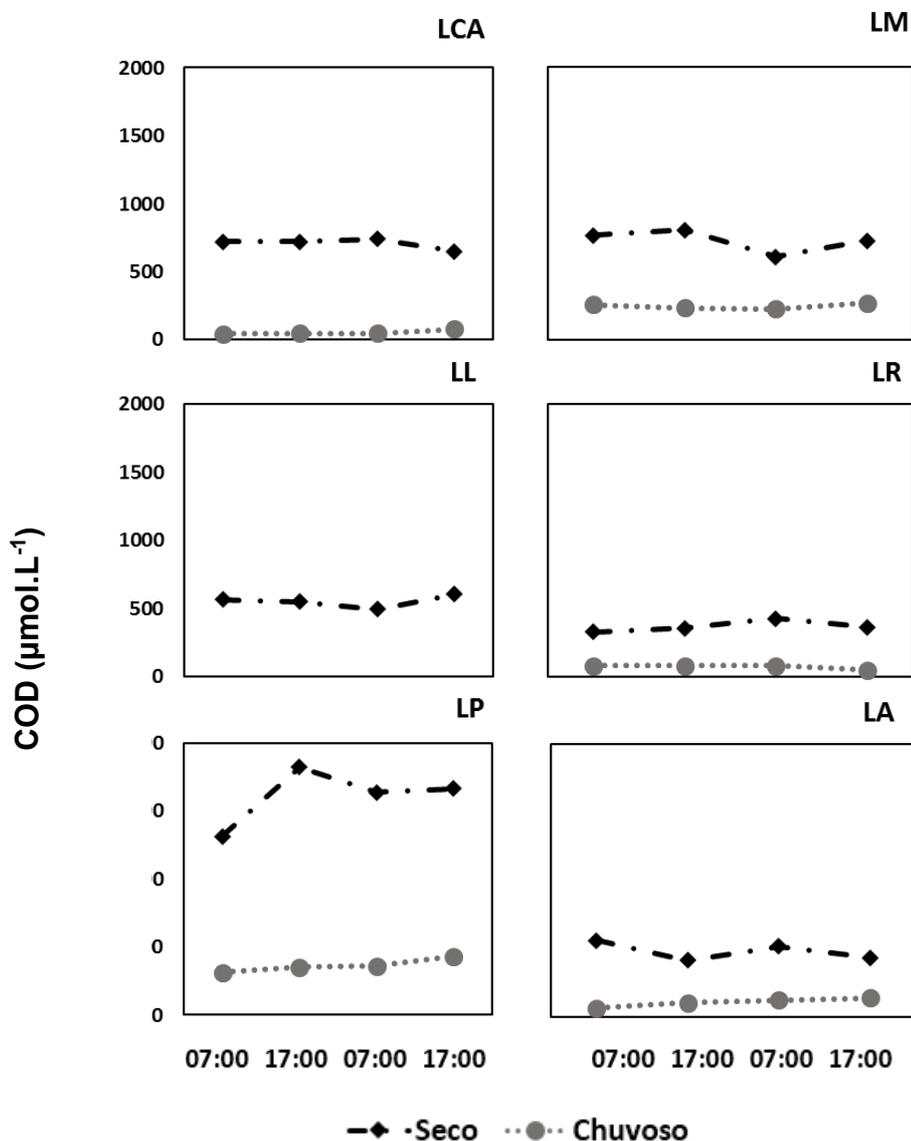


Figura 19: Variação nictemeral (36h) das concentrações de C-COD em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

As concentrações de clorofila *a* mostraram valores, de forma geral, em torno de 1 µg.L⁻¹, exceto na lagoa do Peixe, onde a mediana da concentração

foi de $6,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período seco e de $5,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso. (Figura 20). No período chuvoso a lagoa Azul apresentou maior biomassa fitoplanctônica expressa em clorofila *a*, em torno de $2,72 \mu\text{g.L}^{-1}$. Assim, em relação à clorofila *a*, pode-se notar uma tendência de maiores concentrações naquelas lagoas agrupadas entre as mais visitadas. A lagoa Azul apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) nas concentrações de clorofila *a* entre os períodos.

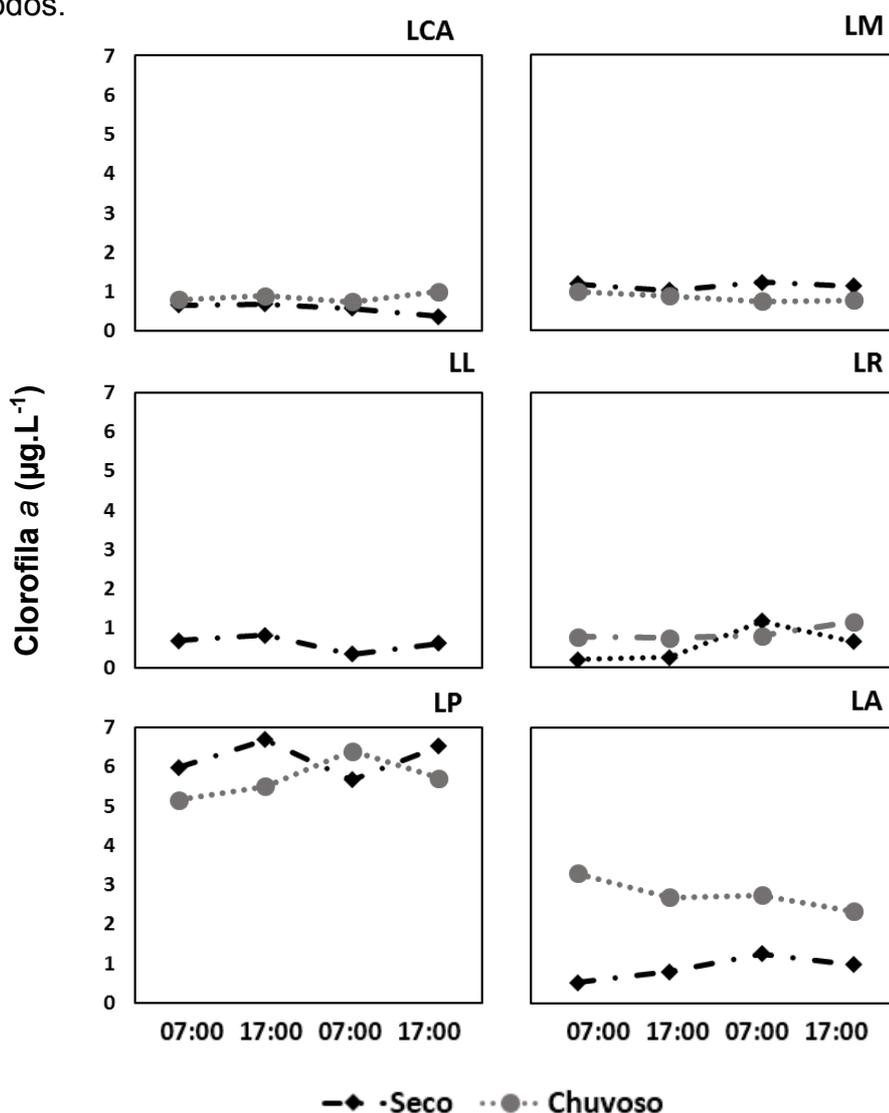


Figura 20: Variação das concentrações de Clorofilas em seis lagoas no PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

O cloreto foi o nutriente que apareceu em maior concentração nesse estudo, e com exceção da lagoa da Risada, todas as lagoas apresentaram maior concentração no período seco. As concentrações variaram entre 508 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa da Risada e 1808 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Mário no período seco e entre 263 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Canto do Atins e 1112 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Mário no período chuvoso (Figura 21). Como um traçador de influência marinha, o cloreto apresentou maiores medianas no agrupamento de lagoas mais próximas ao mar, especialmente no período seco, onde apresentou valores cerca de duas vezes maiores que no período chuvoso.

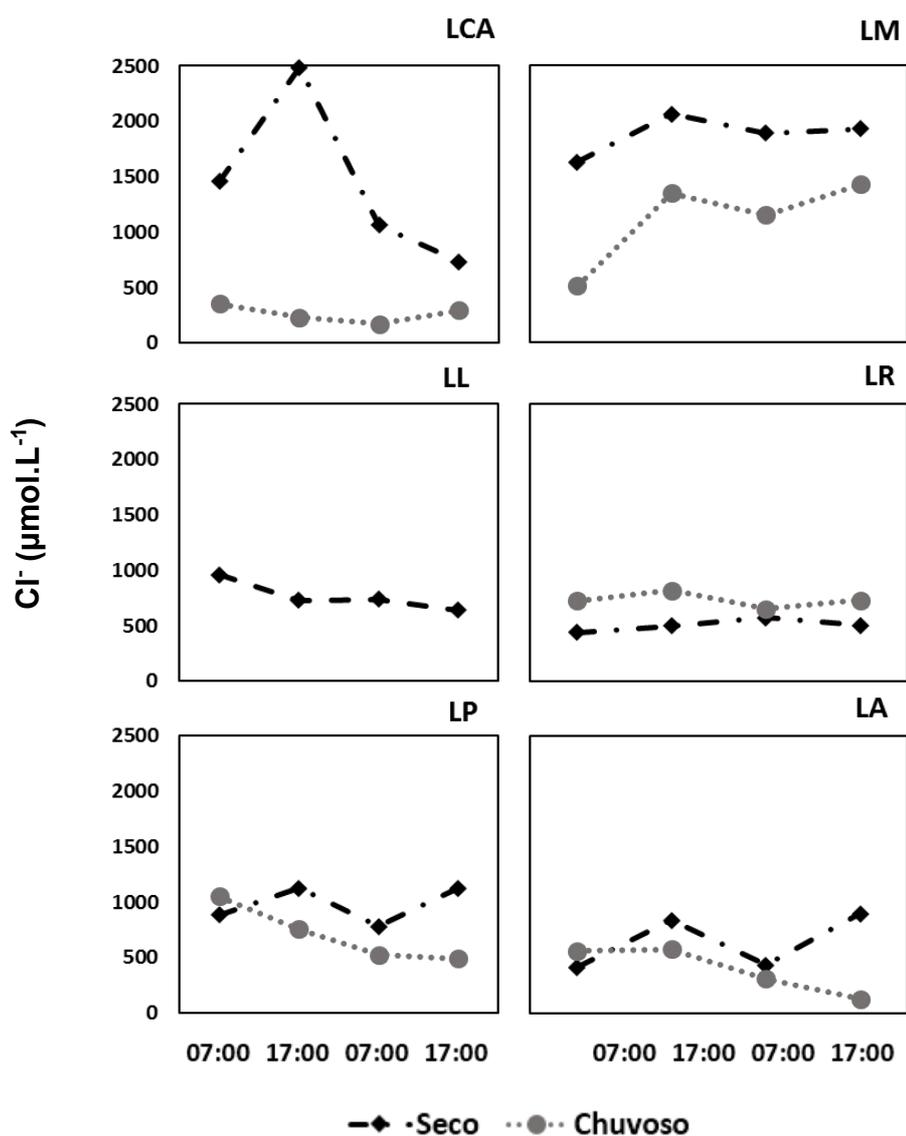


Figura 21: Variação nictemeral (36h) das concentrações de cloreto em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

Os macronutrientes sódio e magnésio foram os que apareceram em maior concentração se comparados ao cálcio e o potássio. A maior concentração de sódio determinada no período seco foi de 1367 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Mário e a menor foi de 229 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa Azul. Já no período chuvoso, a maior concentração determinada foi de 739 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Mário e de 103 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa Azul (Figura 22).

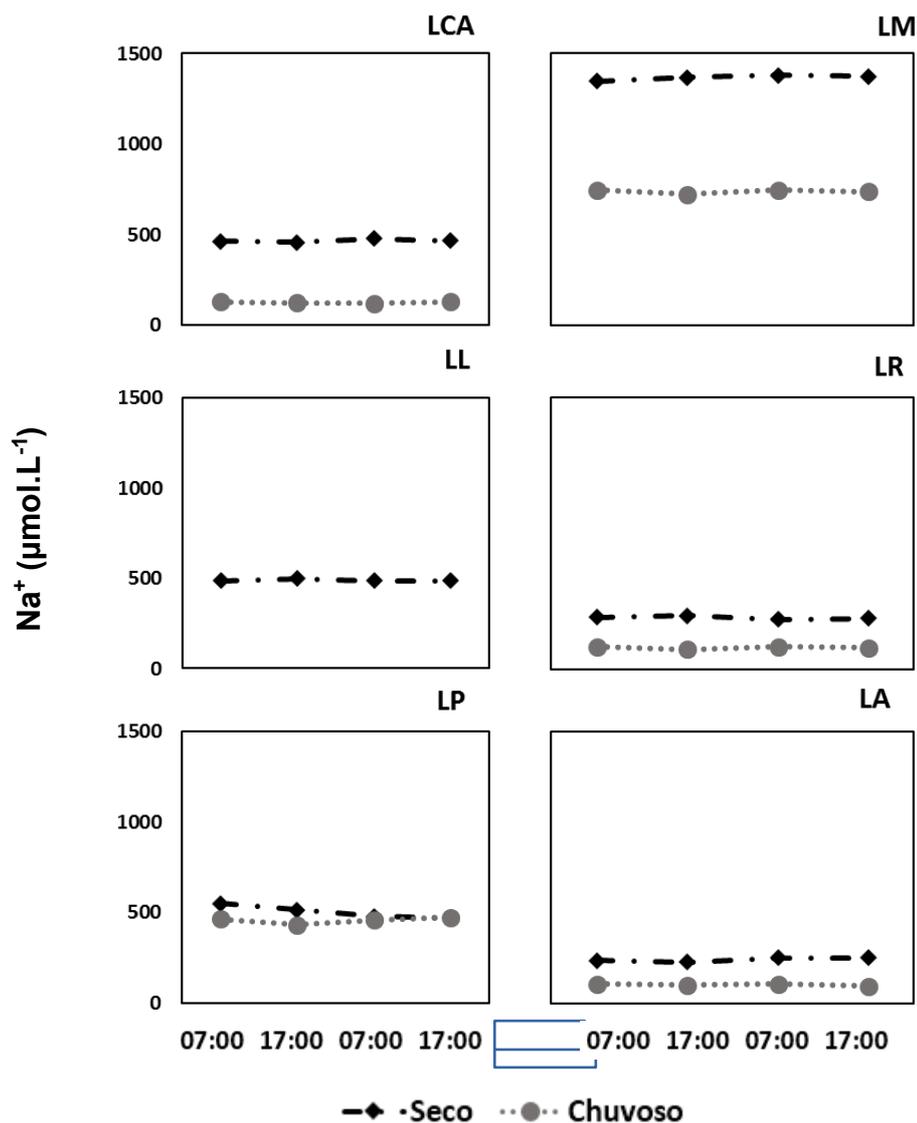


Figura 22: Variação nictemeral (36h) das concentrações de sódio em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

Em relação ao magnésio, no período seco a concentração desse elemento variou entre 20 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa da Azul e 343 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Canto do Atins. No período chuvoso essa variação ficou entre 6,5 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa Azul e 107 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Canto do Atins (Figura 23). Tanto as concentrações de sódio quanto as de magnésio apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos nas lagoas do Canto do Atins e Azul.

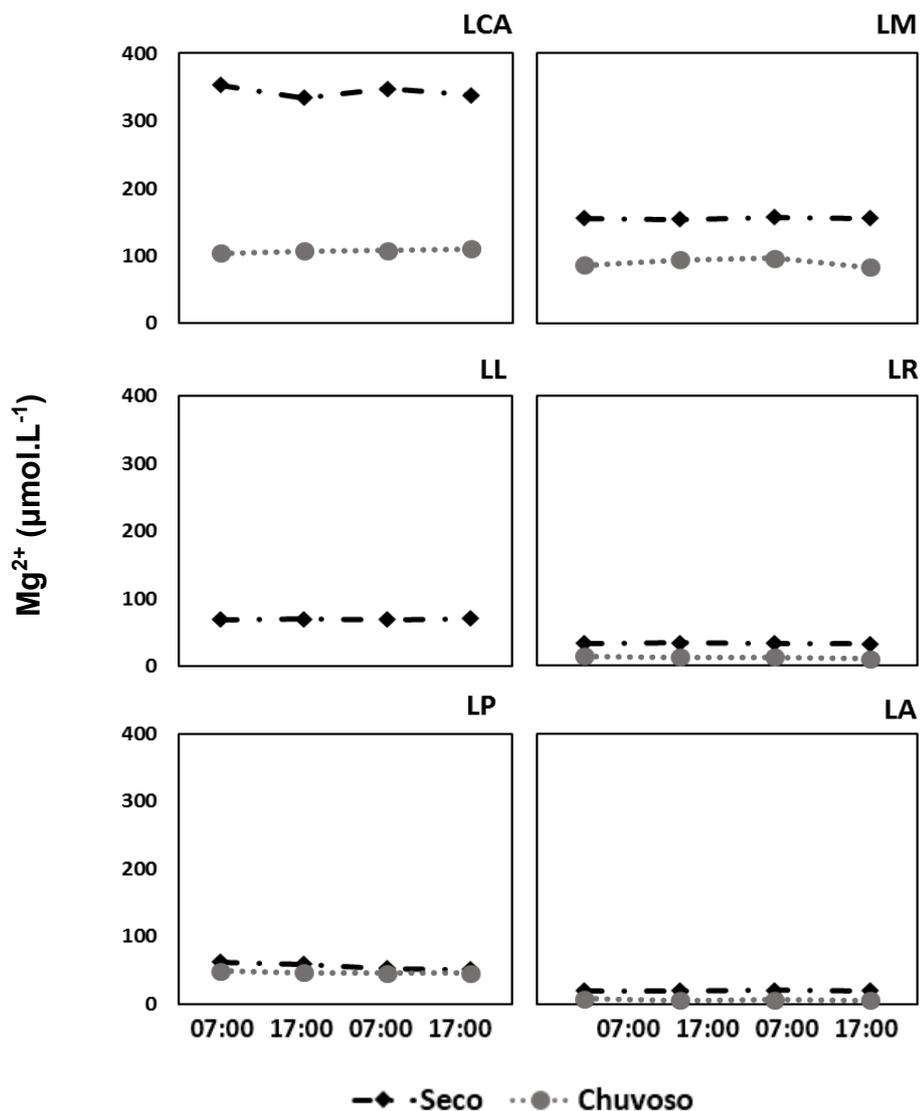


Figura 23: Variação nictemeral (36h) das concentrações de magnésio em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

As concentrações de cálcio e potássio não apresentaram variações nictemerais, e assim como a maioria dos demais compostos analisados apresentou menores concentrações no período chuvoso quando comparados ao período seco. No período seco as concentrações de cálcio variaram entre 7,1 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa Azul e 62,1 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Canto do Atins e as concentrações de potássio variaram entre 15,9 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa da Risada e 124 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Canto do Atins. Já no período chuvoso as concentrações de cálcio variaram entre 3,2 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa Azul e 28 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Peixe; e as concentrações de potássio variaram entre 10 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Canto do Atins e 35 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na lagoa do Peixe. Apenas a lagoa do Peixe mostrou comportamento distinto, com incremento da concentração desses elementos no período chuvoso.

Quando agrupadas, as lagoas mais próximas ao mar apresentaram mediana das concentrações até 10 vezes maiores do que o agrupamento das lagoas mais afastadas para todos os macronutrientes, em ambos períodos.

6.4 – Classificação das águas.

Através do Diagrama de Piper, utilizando o software livre Qualigraf, foi possível classificar o tipo de água das lagoas desse estudo (Figura 24), com exceção da lagoa do Canto do Atins que foi classificada como 'Águas Sulfatadas ou Cloretadas ou Cálcicas Magnesianas', todas as demais lagoas foram classificadas como 'Águas Sulfatadas ou Cloretadas Sódicas'. Não houve diferença na classificação entre os períodos do estudo.

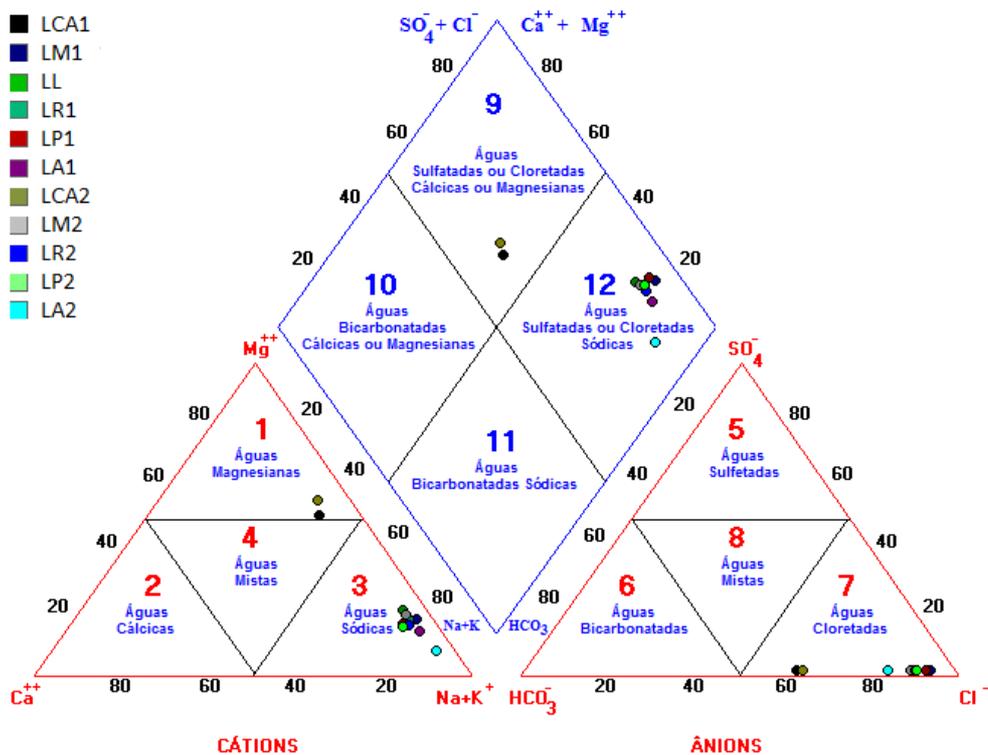


Figura 24: Diagrama de Piper com a classificação das águas em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul) (1 – Período seco; 2 – Período chuvoso).

6.5 – Composição elementar e isotópica da matéria orgânica dissolvida, particulada e sedimentar.

Os resultados da composição elementar e isotópica e da razão C/N ^(a) (MOD e MOP) estão na tabela 7. Destaca-se a diminuição na composição isotópica do carbono, com o $\delta^{13}\text{C}$ mais leve em todas as lagoas no período chuvoso, tanto na fração dissolvida quanto na particulada. A composição isotópica do nitrogênio apresentou maior variação entre as lagoas e entre os períodos. A fração particulada apresentou valores mais elevados, com o $\delta^{15}\text{N}$ mais pesado do que o da fração dissolvida. A razão C/N ^(a) na fração dissolvida

diminuiu (foi menor) em quase todas as lagoas no período chuvoso, a exceção foi a lagoa Azul, onde ocorreu elevação em relação ao período seco; na fração particulada, as lagoas de Canto do Atins e Mário apresentaram incremento e nas lagoas Risada, Peixe e Azul, os valores da razão C/N diminuíram ligeiramente no período chuvoso.

Tabela 7: Composição elementar, composição isotópica e razão atômica da MOD e MOP em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

Período	Lagoa	C		N		C/N _(a)		δC ¹³		δN ¹⁵	
		(%)	(%)	(‰)	(‰)	C (%)	N (%)	(‰)	(‰)	C/N _(a)	
Seco		Fração Dissolvida				Fração Particulada					
	LCA	47,5	2,7	-16,7	1,4	17,3	28,7	4,4	-16,0	2,2	6,5
	LM	53,3	2,5	-25,1	2,8	21,1	28,5	3,7	-23,4	4,6	7,7
	LL	47,2	2,2	-17,9	1,9	21,3	26,6	2,9	-20,6	3,0	9,3
	LR	44,6	2,0	-17,5	1,8	21,8	20,1	2,1	-17,6	3,6	9,5
	LP	52,5	2,4	-19,4	5,2	22,2	15,7	1,4	-17,1	6,3	11,5
	LA	46,6	2,1	-15,0	1,6	22,2	36,0	4,8	-18,3	6,0	7,4
Chuvoso	LCA	43,6	3,7	-20,0	2,3	11,9	34,2	4,0	-21,7	2,9	8,6
	LM	17,5	1,4	-27,0	2,1	12,8	17,2	1,7	-25,7	3,9	10,1
	LR	42,9	2,1	-20,7	2,5	20,9	23,5	2,7	-19,7	4,7	8,6
	LP	32,5	1,9	-21,9	1,8	17,5	20,4	2,6	-18,8	5,2	8,0
	LA	19,8	0,8	-20,8	2,0	26,4	22,8	5,3	-24,4	3,3	4,3

No sedimento os resultados das composições elementar e isotópica do N não ficaram abaixo do limite de detecção. O teor de carbono foi menor na lagoa da Risada e maior na lagoa do Mário, com valores de 0,06 e 0,13 %, respectivamente (Figura 25a). A composição isotópica do carbono foi mais leve na lagoa Lorena e mais pesada na lagoa do Canto do Atins, com valores de δC¹³ de -25 e -20 ‰, respectivamente (Figura 25b). Apenas o período seco de 2013 foi amostrado para essa fração.

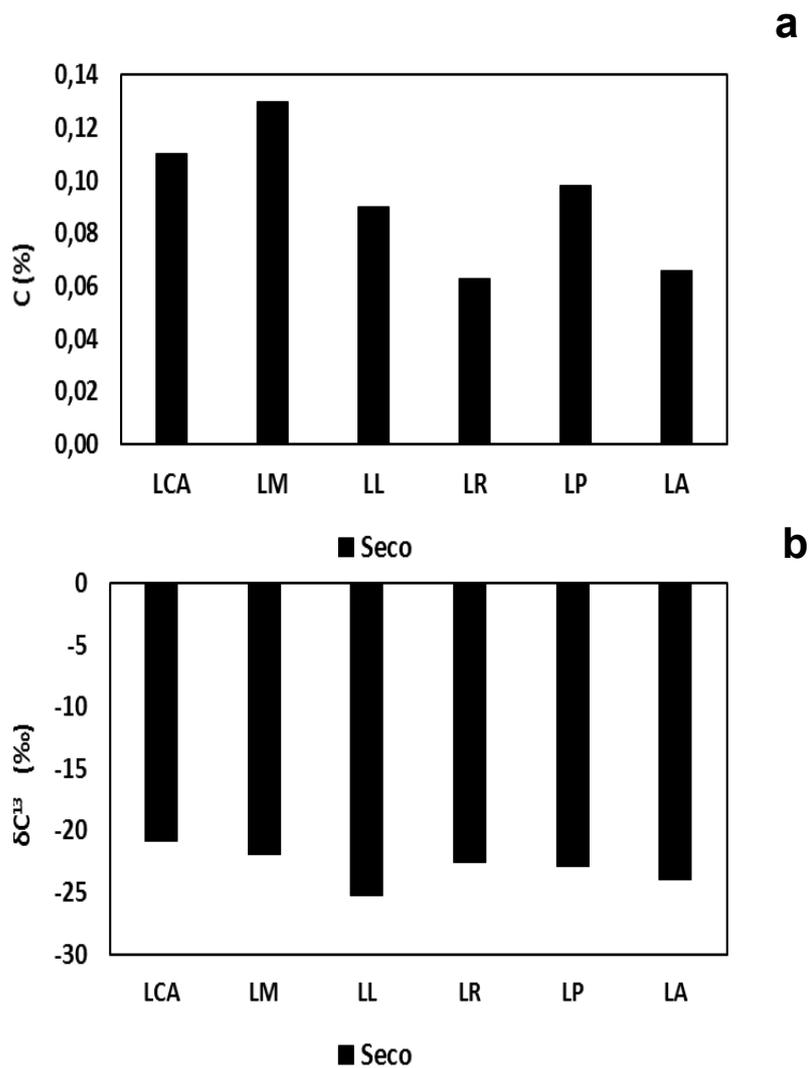


Figura 25: Composição elementar (a) e isotópica (b) do carbono no sedimento em seis lagoas do PNLM, no período seco de 2013. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul).

6.6 – Análise de Componentes Principais

A figura 26 mostra a análise de componentes principais (PCA), com projeções das variáveis e a figura 27 mostra a projeção dos casos sobre os planos. A soma dos dois primeiros fatores explicou aproximadamente 50% da variabilidade dos dados. O eixo 1 esteve positivamente relacionado com as variáveis temperatura e precipitação pluviométrica e negativamente relacionado com as variáveis condutividade elétrica, alcalinidade, cálcio, magnésio, silicato reativo dissolvido e P-total; enquanto o eixo 2 esteve positivamente relacionado com as variáveis oxigênio dissolvido, vento e o $\delta^{13}\text{C}$ da fração dissolvida e negativamente relacionado com as variáveis profundidade e potássio.

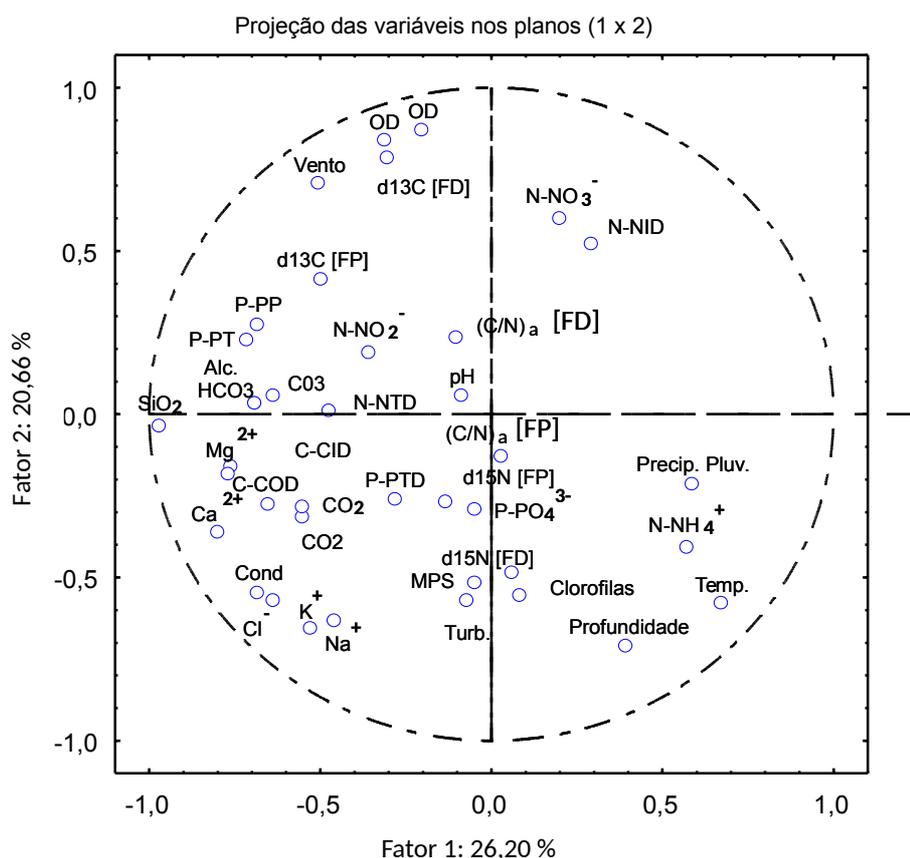


Figura 26: Projeção das variáveis sobre os planos.

O arranjo das coletas separou no eixo 1 as amostragens do período chuvoso (positivo) e as amostragens do período seco (negativo). Enquanto no eixo 2, as lagoas da Risada, Canto do Atins, Azul e Lorena relacionaram-se positivamente e as lagoas do Peixe e do Mário relacionaram-se negativamente.

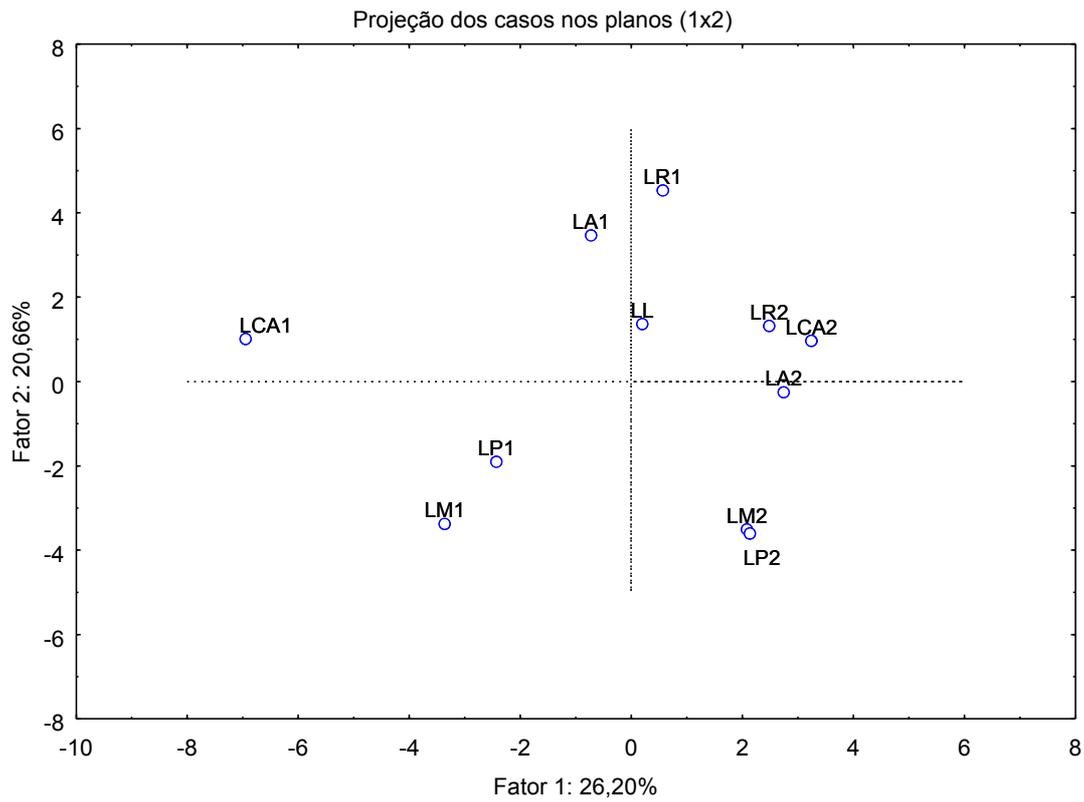


Figura 27: Projeção dos casos sobre os planos. (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul) (1 – Período seco; 2 – Período chuvoso).

7 – Discussão

7.1 – Características físico-químicas, nutrientes e metabolismo.

O aumento da precipitação pluviométrica e do volume das lagoas, medido como incremento da profundidade, causaram um efeito de diluição na maioria dos compostos estudados no período chuvoso, com exceção das concentrações de NID e de P-PO₄³⁻ em algumas lagoas. Esse padrão é o inverso do que acontece em alguns outros tipos de lagoas, onde o aumento da precipitação proporciona o aumento da concentração de nutrientes devido aos processos de lixiviação e escoamento superficial e sub-superficial (Camargo & Esteves, 1994; Meier *et al.*, 2015). Por outro lado, lagos amazônicos de águas claras são caracterizados pela diminuição drástica na concentração de nutrientes no período chuvoso. Este fato estaria relacionado à pobreza dos solos em sua bacia de drenagem (Furch, 1984a).

Segundo Tundisi & Mussara (1986), o ciclo anual de precipitação na região dos Lençóis Maranhenses controla o formato, a profundidade e a duração das lagoas, o que influencia as características químicas, físicas e biológicas desses ecossistemas. A ausência de vegetação no entorno da maioria das lagoas estudadas e o solo com características quartzosas e empobrecido de nutrientes (ICMBio, 2014) explicam esse efeito de diluição causado pela elevada precipitação pluviométrica.

Um resultado interessante para as lagoas costeiras do PNLM é que, apesar da baixa disponibilidade de nutrientes, variáveis relacionadas à atividade biológica sugerem que os processos produtivos e degradativos da matéria orgânica são importantes no funcionamento destes sistemas. Assim, percebe-se que o balanço metabólico está relacionado com as variações diárias dos parâmetros físico-químicos e nutrientes nas águas das lagoas, principalmente pH, oxigênio dissolvido e dióxido de carbono.

Com o decorrer do período diurno e o aquecimento das águas, a atividade biológica produtiva deve suplantar a degradativa, incrementando o pH e a saturação de oxigênio dissolvido, consumindo os nutrientes dissolvidos e o CID (Carmouze, 1994). O incremento do pH está relacionado ao consumo de CO₂ no processo fotossintético, que tem como um dos subprodutos a liberação de OD. De fato, este padrão pode ser observado na maior parte das lagoas estudadas, especialmente em relação à pH, OD e CID. Os nutrientes dissolvidos não apresentaram variação temporal padronizada, exceto quando comparado período seco e chuvoso. E para esta comparação, assim como houve declínio nos valores de condutividade elétrica e na concentração de nutrientes, os valores de atividade biológica foram inferiores no período chuvoso em relação ao período seco.

Os baixos valores de alcalinidade total e de concentrações de carbonato caracterizaram as lagoas estudadas como ambientes com baixa capacidade de tamponamento, resultando na elevada variação de pH durante os horários.

Resultados encontrados por Marotta e colaboradores (2008) sugeriram que lagos brasileiros podem apresentar incremento na saturação de CO₂ em períodos chuvosos, relacionado à intensificação do aporte de compostos orgânicos e inorgânicos de origem terrestre, entretanto, esse padrão não foi encontrado nas lagoas de dunas dos Lençóis Maranhenses. Por outro lado, o padrão de variação do grau de saturação de CO₂ exposto por Carmouze (1994), no qual durante o dia ocorre diminuição das concentrações desse composto (produção líquida da matéria orgânica) e durante a noite ocorre o incremento (mineralização), foi observado na maioria das lagoas nos dois períodos do estudo. Apenas as lagoas do Mário e do Peixe no período seco e Azul e do Canto do Atins no período chuvoso não apresentaram esse padrão: nessas lagoas ocorreu incremento do grau de saturação de CO₂ durante o dia, principalmente no segundo dia de amostragem, corroborando o predomínio de processos degradativos da matéria orgânica nestas lagoas.

No período seco o incremento da saturação de oxigênio nas lagoas do Canto do Atins, do Peixe e Lorena corroborou com a predominância do metabolismo autotrófico desses sistemas, com atividade biológica mais negativa, isto é, com maior consumo de CID. Nesse caso, o processo de produção primária superou os processos de respiração e mineralização. Nas lagoas da Risada e Azul ocorreu a diminuição da saturação de oxigênio, corroborando com o metabolismo heterotrófico dessas lagoas. Na lagoa do Mário, o balanço heterotrófico do período diurno, corroborou com a diminuição da saturação de oxigênio.

As variações intensas nos processos produtivos e degradativos na lagoa do Peixe podem auxiliar a explicar alguns aspectos observados nesta lagoa, especialmente no período seco. Cabe ressaltar que esta lagoa é a que apresenta maior biomassa de macrófitas aquáticas submersas, e esta comunidade, num período de menor coluna d'água pode ser influenciada rapidamente por outros fatores como radiação solar, incidência de ventos e comunidade algal associada (Thomaz et al. 2001). Ressalta-se também que esta lagoa foi a que apresentou as maiores concentrações de clorofila a, sugerindo desenvolvimento algal significativo em ambos períodos.

A menor atividade biológica produtiva no período chuvoso pode estar relacionada à menor disponibilidade de nutrientes nesse período, causada pelo efeito de diluição provocado pelo incremento da precipitação pluviométrica. Quando separados em dois períodos de 24 horas, observa-se a maior ocorrência de balanço heterotrófico no segundo intervalo, possivelmente relacionado as fortes pancadas de chuva e o tempo nublado observados nesse período.

As transições entre metabolismo autotrófico e heterotrófico causadas pelas mudanças nas condições limnológicas, como concentração de fósforo, carbono orgânico dissolvido e temperatura corroboram com outros estudos em lagoas (Hagerthey, 2010; Montero, 2011; Tonetta, 2012).

Quanto ao nível trófico das lagoas selecionadas, em relação às concentrações de P-total, utilizando limites proposto por Wetzel (2001), as lagoas estudadas variaram entre os estados oligotróficos e mesotróficos, corroborando com estudo de Leentvaar (1997).

Hennemann & Petrucio (2010), em estudo realizado na lagoa do Peri (Florianópolis -SC), encontraram valores de orto-fosfato entre 0,95 e 2,5 $\mu\text{mol.L}^{-1}$, e consideraram baixos comparados à outras lagoas costeiras. Os valores encontrados nas lagoas dos Lençóis Maranhenses foram ainda mais baixos. Assim como as lagoas desse estudo, a lagoa do Peri encontra-se em uma área de proteção ambiental.

Em um estudo realizado em 25 lagoas no estado do Michigan (EUA) Hanson (2003) encontrou valores de concentrações de P-total e COD como propulsores do metabolismo de diversas lagoas. No presente estudo, as maiores medianas de concentrações desses componentes corresponderam aos valores mais negativos de atividade biológica na soma dos períodos (36 horas) correspondendo aos metabolismos autotróficos de quase todas as lagoas.

Estudos realizados por Moschini-Carlos & Pompeo (2001) e Mochini-Carlos e colaboradores (2008) no PNLM, mais especificamente na lagoa Azul, durante o ano de 1998, corroboram com os resultados desse estudo quanto à dinâmica de nutrientes, com maior concentração dos elementos no período seco, além das mudanças constantes nas concentrações do nutrientes e dos parâmetros físico-químicos durante o dia. No entanto, os resultados encontrados nesse estudo apresentam concentrações mais elevadas para a maioria dos nutrientes e elevação na escala de pH, quando comparados aos estudos de Moschini-Carlos (Tabela 8).

Tabela 8: Comparação entre os resultados obtidos por Moschini-Carlos e colaboradores nas medições em 1998 e os resultados obtidos no presente estudo, na lagoa Azul.

	Lagoa Azul 1998	Lagoa Azul 2013/2014	Unidade
pH	4,8 – 5,7	3,6 – 7,6	
Cond	36 – 55	17 – 94	$\mu\text{S.cm}^{-1}$
OD	92 – 107	80 – 104	%
Temp.	27,5 – 30	25 -30	$^{\circ}\text{C}$
Alc.	0,01 – 0,07	0,06 – 0,07	mEq.L^{-1}
SiO ₂	0,26 - 14	2,2 - 21,2	$\mu\text{mol.L}^{-1}$
N-NH ₄ ⁺	0,24 - 8,28	0,15 - 1,1	$\mu\text{mol.L}^{-1}$
N-NO ₃ ⁻	0,01 - 0,72	0,02 - 1,66	$\mu\text{mol.L}^{-1}$
N-NO ₂ ⁻	0,01 - 0,02	0,02 - 0,35	$\mu\text{mol.L}^{-1}$
P-PO ₄ ³⁻	0,02 - 0,09	0,11 - 0,26	$\mu\text{mol.L}^{-1}$
MPS	0,6 – 7,4	0,5 – 2,9	mg.L^{-1}
Clorofila	0,5 – 1,1	0,5 – 3,3	$\mu\text{g.L}^{-1}$
Cloreto	20 - 35	130 - 897	$\mu\text{mol.L}^{-1}$

O incremento da concentração de nutrientes, principalmente de PO₄³⁻, pode estar relacionado ao crescimento da atividade turística na região. A lagoa Azul é a mais visitada por turistas dentre as lagoas selecionadas para esse estudo. Observa-se também uma grande elevação das concentrações de cloreto, seguido pelas concentrações de sódio, o que sugere o incremento também da influência marinha, a despeito da distância em relação ao mar. Esta influência pode vir especialmente pela deposição atmosférica desses elementos e até mesmo do próprio lençol freático.

7.2 – Influência marinha.

Apesar de ser o principal traçador de influência marinha, as concentrações de cloreto não mostraram correlação significativa em relação à proximidade das lagoas estudadas com o mar. No entanto, o agrupamento entre as lagoas mais próximas mostrou medianas maiores em ambos períodos do estudo. Além disso, o cloreto apresentou elevada correlação com a condutividade elétrica ($r^2 = 0,88$; $p < 0,05$) (Figura 28). Devido à maior concentração, esse ânion aparece como principal responsável pela condutividade elétrica nessas lagoas.

Em um estudo realizado na lagoa de Viana, distante 60 km do mar, também localizada no Maranhão, em 2000, Ibañez e colaboradores encontraram concentrações de cloreto entre 20 e 130 mg.L⁻¹, valores ainda mais altos do que os encontrados no presente estudo. Em outros estudos realizados na região Nordeste do Brasil, Pereira (2004), Fernandes (2005) e Granjeiro (2014) encontraram concentrações entre 50 e 250 mg.L⁻¹ de cloreto, indicando que a região possui naturalmente concentrações mais altas desse elemento, explicando, juntamente com o processo de deposição atmosférica, as elevadas concentrações de cloreto encontradas nas lagoas dos Lençóis Maranhenses.

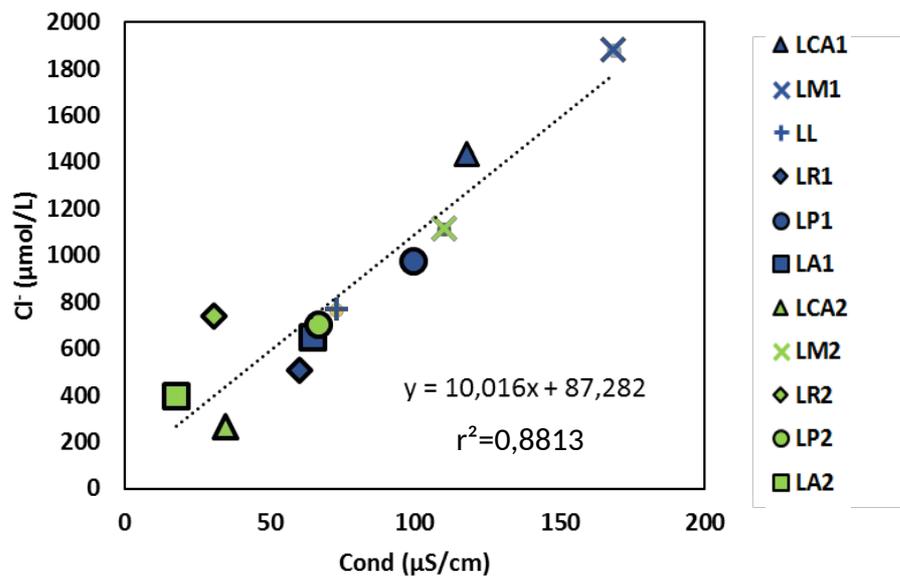


Figura 28: Correlação entre as concentrações de cloreto e os valores de condutividade elétrica, em seis lagoas de dunas no PNLM, nos períodos seco de 2013 (azul) e chuvoso de 2014 (verde). (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul) (1 – Período seco; 2 – Período chuvoso).

Os macronutrientes Na^+ e Mg^{2+} apareceram em elevadas concentrações nas lagoas estudadas, e além disso, apresentaram o gradiente costa-continente que era esperado para as concentrações de Cl^- , com maiores concentrações nas lagoas mais próximas à costa e menores nas lagoas mais distantes. O gradiente costa-continente das concentrações de Mg^{2+} apresentou valor de regressão mais significativo ($R^2 = 0,81$ e $R^2 = 0,73$; $p < 0,05$) (Figura 29). A concentração dos macronutrientes (sódio, potássio, cálcio e magnésio) foi, em média, duas vezes menor no período chuvoso, corroborando com o estudo de Furch (1984a) no Lago Camaleão na Amazônia, ressaltando o efeito de diluição causado pelo grande aumento da precipitação pluviométrica e do conseqüente aumento da profundidade.

Também foi possível observar esse gradiente no Diagrama de Piper, que é adequado para distinguir a influência dos macro constituintes iônicos das águas naturais (Bittencourt, 2003). Este diagrama também se caracteriza por

evidenciar possíveis processos de mistura de águas diferentes. Os resultados plotados no Diagrama de Piper acompanham os resultados encontrados para as concentrações de nutrientes, todas as lagoas foram classificadas como cloretadas, sódicas e magnesianas, sendo que esses nutrientes apareceram com elevadas concentrações quando comparadas com as concentrações de carbonatos e sulfatos, por exemplo.

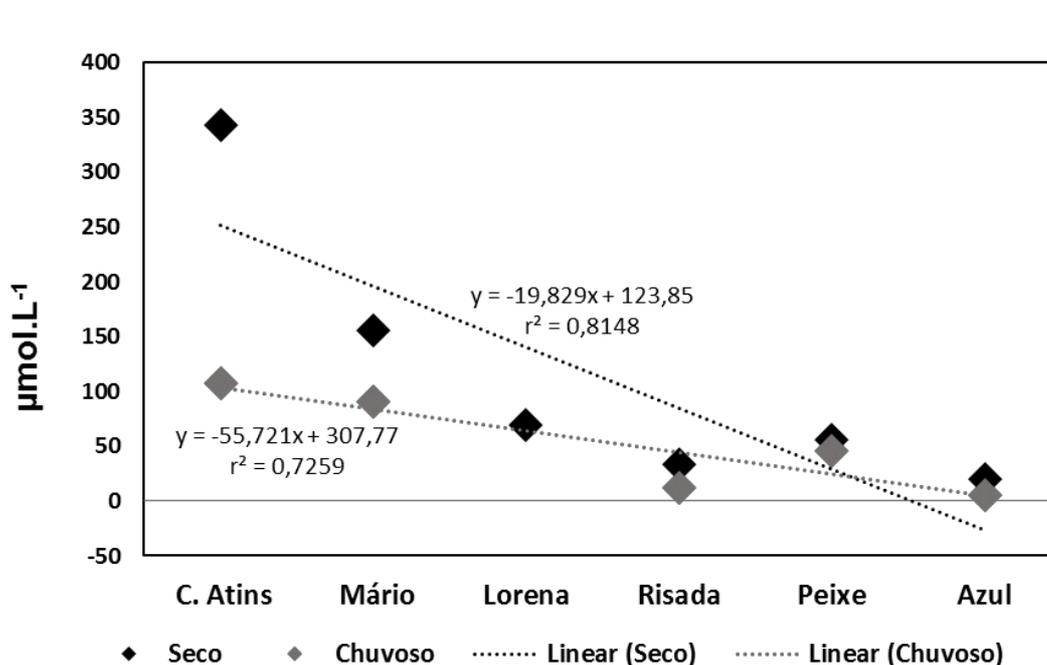


Figura 29: Gradiente costa-continente das concentrações de magnésio em seis lagoas de dunas no PNLN, nos períodos seco de 2013 e chuvoso de 2014. A lagoa do Canto do Atins é a mais próxima ao mar, e a lagoa Azul é a mais afastada.

7.3 – Composição isotópica da matéria orgânica dissolvida e particulada.

De acordo com Farquhar *et al.* (1982), em ambientes aquáticos, a ampla variação nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ é determinada por três fatores: a discriminação isotópica enzimática durante a fixação de carbono (RuBPCarboxilase [C3] e PEP-carboxilase [C4]), a taxa de difusão do CO_2 e a composição isotópica do carbono inorgânico dissolvido (CID).

A comparação entre os dados da composição isotópica da MOD e MOP mostra que as fontes podem diferir entre as frações, corroborando com dados de Brito (2014), em estudo no manguezal do rio Paraíba do Sul.

A composição isotópica do carbono, tanto da fração particulada quando da dissolvida, tornou-se mais leve no período chuvoso, se comparado ao período seco. O efeito de diluição e o carregamento de material proveniente das margens (Lee, 2014; Biggs, 2015), em lagoas com vegetação marginal (Mário e Peixe), podem explicar esse empobrecimento da composição. Em relação à frequência de visitação turística e à distância do mar, a composição isotópica não mostrou um padrão significativo de variação.

A lagoa do Mário é a que aparece mais claramente como tendo plantas C3 como fonte da matéria orgânica presente no sistema, principalmente na fração dissolvida, nos dois períodos do estudo. No período chuvoso, a fração dissolvida apresentou sinal de origem fitoplanctônica para todas as lagoas, com exceção à do Mário, que, como dito anteriormente, apresentou matéria orgânica proveniente de plantas C3.

O incremento das concentrações de fosfato para a maioria das lagoas, menos a do Canto do Atins, proporcionou a maior proliferação da comunidade fitoplanctônica e o consequente aumento da produção primária líquida, resultando nos balanços autotróficos dessas lagoas. Possivelmente, a atividade biológica no período chuvoso foi o responsável pelo sinal de origem fitoplanctônica nas lagoas do PNLM (Figura 30).

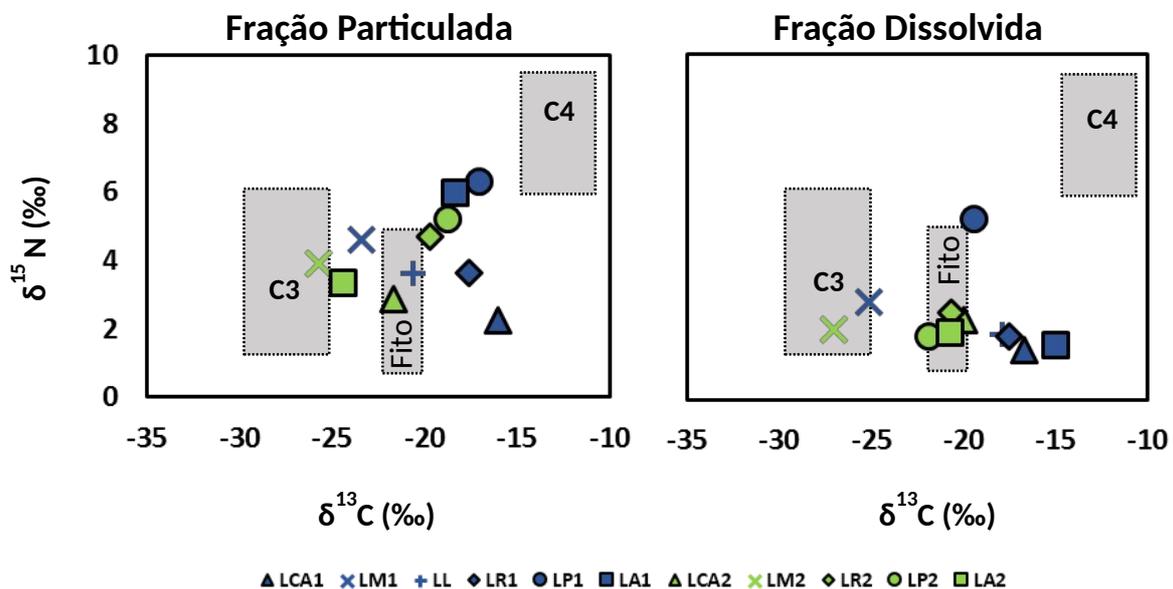


Figura 30: Relação entre composição isotópica do nitrogênio e do carbono, nas frações particulada e dissolvida, em seis lagoas do PNLM, nos períodos seco de 2013 (azul) e chuvoso de 2014 (verde). (LCA – Lagoa do Canto do Atins; LM – Lagoa do Mário; LL – Lagoa Lorena; LR – Lagoa da Risada; LP – Lagoa do Peixe; LA – Lagoa Azul) (1 – Período seco; 2 – Período chuvoso).

A composição isotópica do carbono no sedimento superficial foi determinada apenas no período seco. Esse compartimento apresentou valores de $\delta^{13}C$ mais leves quando comparado às frações dissolvida e particulada. No entanto, os valores determinados não caracterizaram fontes distintas. A lagoa do Mário apresentou sinal de vegetação C3 e as demais lagoas sinal de origem fitoplanctônica. Em um estudo realizado no lago Grande de Curuai no Pará, Amorim e colaboradores (2009) encontraram valores de $\delta^{13}C$ mais negativos do que a fração particulada, corroborando o padrão apresentado nesse estudo.

7.4 – Análise de Componentes Principais.

A Análise de Componentes Principais (PCA) tem sido utilizada para identificar os grupos e os fatores mais importantes que afetam a qualidade da água (Liou *et al.*, 2004). A PCA gerada explicou aproximadamente 50% da variabilidade dos dados. Na projeção dos casos no plano foi possível observar uma separação clara entre os dois períodos do estudo, onde as medições do campo no período chuvoso estão negativamente relacionados ao eixo 1, enquanto as medições do campo no período seco estão positivamente relacionadas a esse fator. Quando observadas juntamente com a projeção nas variáveis no plano, essa separação entre os períodos está associada principalmente às variáveis profundidade, vento, precipitação pluviométrica e P-total.

As variáveis abióticas (velocidade do vento, precipitação pluviométrica e profundidade) foram as principais responsáveis pela variabilidade dos dados. Como descrito anteriormente, a formação e a dinâmica das lagoas de dunas no PNLM são dependentes da ação conjunta dos ventos e dos níveis de precipitação pluviométrica. O grande volume de chuvas acarretou no aumento da profundidade das lagoas e causou um efeito de diluição considerável.

Também foi possível observar na PCA a separação entre os grupos de lagoas, com as lagoas do Mário e do Peixe separadas das demais. Apesar de não terem sido significativamente relacionados, as concentrações de COD e, principalmente, os valores de turbidez mais elevados nesses dois ecossistemas foram os responsáveis por essa separação. Essa separação é explicada pela presença de vegetação marginal nas lagoas do Mário e do Peixe, além da composição isotópica do carbono mais incrementada em relação às outras lagoas amostradas.

8 – Conclusões

Quando observadas as lagoas mais e menos visitadas no PNLM não foi possível determinar diferenças significativas em relação a concentração dos componentes analisados, do padrão de variação diária desses componentes, tão pouco no metabolismo das lagoas. Entretanto, os resultados obtidos no presente estudo e comparados com os do estudo realizado na lagoa Azul em 1998 mostram o incremento da concentração de alguns nutrientes nessa lagoa, que vem a ser a mais visitada do parque. Desta forma, a hipótese de que a maior visitação turística em algumas lagoas influencia no metabolismo aquático, através do incremento da concentração de nutrientes e da atividade biológica foi refutada em parte, já que não houve diferença entre as lagoas analisadas nesse estudo. Mas a comparação com estudo pretérito revela a participação do aumento da atividade turística na concentração de alguns componentes analisados na lagoa Azul. Apesar de não ser um incremento alarmante, o controle e a fiscalização do turismo no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses devem ser mantidos para que não haja danos futuros à dinâmica desse ecossistema.

As lagoas mais próximas à costa não apresentaram gradiente significativo em relação ao cloreto. No entanto, os gradientes de sódio e principalmente de magnésio refletiram a influência marinha nessas lagoas. E quando analisados os agrupamentos das três lagoas mais próximas ao mar (Canto do Atins, Mário e Lorena) essa influência é ainda mais marcante, com mediana das concentrações dos elementos marcadores de influência marinha e também de condutividade elétrica. Sendo assim, a segunda hipótese, de que as lagoas mais próximas à costa apresentariam maior influência marinha, com maiores concentrações de elementos como sódio e cloro, além de maior condutividade elétrica foi confirmada.

A elevada precipitação pluviométrica no período chuvoso de 2014 influenciou variações sazonais, com menores valores de condutividade elétrica,

oxigênio dissolvido, nutrientes e no metabolismo das lagoas no período chuvoso, com diminuição de cerca de duas vezes quando comparado ao período seco de 2013.

O aumento da precipitação também foi responsável pela diferença entre as composições isotópicas da matéria orgânica particulada e dissolvida nos períodos seco e chuvoso, promovendo a diminuição dos valores para todas as lagoas no período chuvoso. Em relação a fonte da matéria orgânica, a lagoa do Mário possui fonte C3, explicada pela vegetação mais desenvolvida do entorno.

9 – Perspectivas Futuras

Os próximos desafios para estudos nessa região seriam: um acompanhamento temporal, com coletas e análises mensais, para um melhor entendimento do funcionamento desses ecossistemas; uma classificação fitoplanctônica detalhada; uma análise estatística do agrupamento entre as lagoas mais próximas ao mar e mais visitadas; além da utilização de um modelo de misturas para a melhor determinação das fontes de matéria orgânica para esses ecossistemas.

10 – Referências Bibliográficas

- Amorim, M. A.; Moreira-Turcq, P. F.; Turcq, B. J. & Cordeiro, R. C. (2009)
Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. Acta Amazonica vol. 39(1) 2009: 165 – 172.
- Azevedo, A. C. G.; Feitosa, F. A. N. & Koenig, M. L. (2008). *Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil. Acta Botanica Brasilica*, 22(3): 870-877. 2008.
- Barnes, R. S. K. (1980). *Coastal Lagoons*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 106 pp.
- Benner, R. (2002). *Chemical composition and reactivity*. Em: Hansell, D.A., Carlson, C.A. (eds.), *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter*. Academic Press, New York, NY, 59 –85.
- Biggs, W. T.; Lai, C.; Chandan, P.; Lee, M. R.; Messina, A.; Lesher, R. S. & Khatoon, N. (2015). *Evaporative fractions and elevation effects on stable isotopes of high elevation lakes and streams in arid western Himalaya. Journal of Hydrology* 522 (2015) 239–249.
- Bittencort, A. V. L.; Rosa Filho, E. F.; Hindi, E. C. & Buchmann Filho, A. C. (2003). *A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra- Geral na bacia do rio Piquiri, Paraná – BR. Rev. Águas Subterrâneas* no 17/ Maio 2003. 67

- Brito, F. P. (2014). *Composição e fluxo da matéria orgânica em um canal de maré no ecossistema de manguezal do estuário do rio paraíba do sul, costa norte do rio de janeiro*. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 95p.
- Brodie, R. C.; Leng, M. J.; Casford, J. S. L.; Kendrick, C. P.; Lloyd, M.; Yongqiang, Z. & Bird, M. I. (2011). *Evidence for bias in C and N concentrations and $\delta^{13}C$ composition of terrestrial and aquatic organic materials due to pre-analysis acid preparation methods*. *Chemical Geology* 282 (2011) 67–83.
- Camargo, A. F. M. & Esteves, F. A. (1994). *Influence of water level variation on fertilization of an oxbow lake of Rio Mogi-Guacu, state of Sao Paulo, Brazil*. *Hydrobiologia* 299 : 185-193, 1995 .
- Carmouze, J. P. (1994). *O Metabolismo dos Ecossistemas Aquáticos: Fundamentos Teóricos, Métodos de Estudo e Análises Químicas*. Ed. Edgard Blücher Ltda, 254p.
- Cifuentes, L. A. (1988). *Stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry in the Delaware estuary*. *Limnol. Oceanogr.*, Lawrence, v. 33, n.5, p. 1102-1115, 1988.
- Cole, J. J., Caraco, N. F., Kling, G. W., and Kratz, T. K. (1994). *Carbon dioxide supersaturation in the surface waters of lakes*. *Science* 265, 1568–70.
- del Giorgio P. A. & Peters. R. H. (1994). *Patterns in planktonic P: R ratios in lakes: Influence of lake trophic and dissolved organic carbon*. *Limnology. Oceanography*, 39(4), 1994, 772-787 0 1994.

- Delgadillo-Hinojosa, F, Zirino , A.; Holm-Hansen, O.; Hernández-Ayón, J. M.; Boyd, T. J.; Chadwick, B. & Rivera-Duarte, I. (2008). *Dissolved nutrient balance and net ecosystem metabolism in a Mediterranean-climate coastal lagoon: San Diego Bay*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 76 (2008) 594-607.
- Dellamano-Oliveira, M. J; Senna, P. A.C. & Taniguchi, G. M. (2003). *Limnological Characteristics and Seasonal Changes in Density and Diversity of the Phytoplanktonic Community at the Caçó Pond, Maranhão State, Brazil*. Brazilian Archives Of Biology And Technology, Vol.46, n. 4 : pp. 641-651, December 2003 ISSN 1516-8913.
- Dittmar, T., Koch; B., Hertkorn, N. & Kattner, G. (2008). *A simple and efficient method for the solid-phase extraction of dissolved organic matter (SPEDOM) from seawater*. Limnol. Oceanogr.: Methods, 6, 230–235.
- Esteves, F. A. (coordenador). (2011). *Fundamentos da Limnologia – 3ª Edição*. Rio de Janeiro: Interciência, 826p.
- Farquar, G. D. & Richards, R. A. (1984) *Isotopic Composition of Plant Carbon Correlates With Water-Use Efficiency of Wheat Genotypes*. Australian Journal of Plant Physiology 11(6) 539 – 552.
- Fernandes, M. A. B.; Santiago, M. M. F.; Gomes, D. F.; Mendes Filho, J.; Frischkorn, H. & Lima, J. O. G. (2005) *A origem dos cloretos nas águas subterrâneas na chapada do Apodi – Ceará*. Águas Subterrâneas, v. 19, n. 1, p. 25-34, 2005.
- Furch, K. (1984a). *Seasonal variation of the major cation content of várzea – Lake Camelão, middle Amazon, Brazil, in 1981 and 1982*. Verh Int Ver Limnol 22:1288-1293.

- Granjeiro, M. L.; Santiago, M. M. F.; Silva, C. M. S. V.; Mesquita, B. A.; Frischkorn, H & Mendes Filho, J. (2014). *Factor Analysis in the Study of Geochemical Processes in the Apodi Sedimentary Basin, Northeast of Brazil*. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.2 – Abr/Jun 2014, 115-122.
- Hagerthey, S. E.; Cole, J. J. & Kilbane, D. (2010). *Aquatic metabolism in the Everglades: Dominance of water column heterotrophy*. *Limnol. Oceanogr.*, 55(2), 2010, 653–666.
- Hamilton, S. K. & Lewis Jr., W. M. (1992). *Stable carbon and nitrogen isotopes in algae and detritus from the Orinoco river floodplain, Venezuela*. *Geochim. Cosmochim. Acta*, London, v. 56, p. 4237-4246, 1992.
- Hanson, P. C.; Bade, D. L.; Carpenter, S. R. & Kratz, T. K. (2003). *Lake metabolism: Relationships with dissolved organic carbon and phosphorus*. *Limnol. Oceanogr.*, 48(3), 2003, 1112–1119.
- Hedges, J. I. (1992). *Global biogeochemical cycles: progress and problems*. *Mar. Chem.*, 39: 67-93.
- Hennemann, M. C. & Petrucio, M. M. (2010). *Spatial and temporal dynamic of trophic relevant parameters in a subtropical coastal lagoon in Brazil*. *Environ Monit Assess* (2011) 181:347–361.
- Huszar, V. L. M. (1996). *Planktonic algae, other than desmids, of three Amazonian systems (Lake Batata, Lake Mussará and Trombetas River), Pará, Brazil*. *Amazoniana*, 14 : (1/2), 37-73.

Ibañez, M.S.R.; Cavalcante, P.R.S.; Costa Neto, J.P.; Barbieri, R.; Pontes, J. P.; Santana, S.C.C.; Serra, C.L.M.; Nakamoto, N & Mitamura, O. (2000) *Limnological characteristics of three aquatic systems of the pre-amazonian foodplain, Baixada Maranhense (Maranhão, Brazil)*. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 3 (2000) 521-531.

ICMBio (2014). *Encarte 5 – Unidade de Conservação*.

Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/07ENCARTE_5.PDF. Acessado em: 08/10/2014.

Kjerfve, B. (1994). *Coastal Lagoons*. In: Kjerfve, B. (ed) *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Oceanographic Series 60. Amsterdam, p: 1 - 8.

Knoppers, B. (1994). *Aquatic primary production in coastal lagoons*. In: Kjerfve, B. (ed) *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Oceanographic Series 60. Amsterdam, p: 239 – 263.

Lee, Y.; Hur, J. & Shin, K. H. (2014). *Characterization and source identification of organic matter in view of land uses and heavy rainfall in the Lake Shihwa, Korea*. *Marine Pollution Bulletin* 84 (2014) 322–329.

Leentvaar, P. (1997). *Communities of dune lakes*. In: Van der Maarel, E. (ed). *Dry Coastal Ecosystems, Part C. Ecosystems of the world*. Amsterdam: Elsevier, 1997. p. 297-322.

Levin, N.; Tsoar, H.; Herrmann, H. J.; Maia, L. O. & Claudino-Slaes V. (2009). *Modelling the formation of residual dune ridges behind barchans dunes in North-east Brazil*. *Sedimentology* 56, 1623-1641.

- Liou, S. M.; Lo, S. L., & Wang, S. H. (2004). *A generalized water quality index for Taiwan*. Environmental Monitoring and Assessment, 96, 35–52.
- Lopes, C. A. & Benedito-Cecilio, E. (2002). *Variabilidade isotópica ($d^{13}C$ e $d^{15}N$) em produtores primários de ambientes terrestres e de água doce*. Acta Scientiarum Maringá, v. 24, n. 2, p. 303-312, 2002
- Luna, M. C. M. M.; Parteli, E. J. R.; Durán, O. & Herrmann, H. J. (2011). *Model for the genesis of coastal dune fields with vegetation*. Geomorphology 129 (2011) 215-224.
- Luna, M. C. M. M.; Parteli, E. J. R. & Herrmann, H. J. (2012). *Model for a dune field with an exposed water table*. Geomorphology 159-160 (2012) 169-177.
- Margalef, R. (1983). *Limnologia*. Barcelona: Omega, 1020 p.
- Marotta, H. (2006). Os fatores reguladores do metabolismo aquático e sua influência sobre o fluxo de dióxido de carbono entre os lagoas e a atmosfera. Oecol. Bras., 10 (2): 177-185, 2006.
- Marotta, H.; Pinho, L. & Enrich-Prast, A. (2008). *Relação positiva entre pluviosidade, carbono orgânico dissolvido e a supersaturação de CO_2 em uma lagoa costeira tropical*. Oecol. Bras., 12 (1): 92-99, 2008.
- Martinelli, L.A, Ometto; J.P.H.B., Ferraz, E.S., Victoria, R.L, Camargo, P.B & Moreira, M.Z. (2009). *Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis*. São Paulo. Oficina de Textos. 144p.

McCallister, S.L.; Bauer, J.E.; Ducklow, H.W. & Canuel, E. (2006). *Sources of estuarine dissolved and particulate organic matter: A multi-tracer approach. Organic Geochemistry*, 37(4), 454–468.

Meier, S. D.; Atekwana, E. A.; Molwalefhe, L. & Atekwana, E. A. (2015) Processes that control water chemistry and stable isotopic composition during the refilling of Lake Ngami in semiarid northwest Botswana. *Journal of Hydrology* 527 (2015) 420–432

Menezes, G. I. (2010). *Barreirinhas em tempos de mudança: reconstrução de identidades nas rotas do turismo*. Tese (Doutorado em Linguas e Culturas) Universidade de Aveiro – 371p.

Meyers, P. (1994). *Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. Chemical Geology*, 114, 289-302.

Ministério do Meio Ambiente. (1996). *Programa Nacional de Meio Ambiente – Macrodiagnóstico da zona costeira do Brasil na escala da união*. Brasil: UFRJ, FUJB, LAGET, Brasília, 200p.

Ministério do Turismo. (2007). *Avaliação Ambiental Estratégica da Costa Norte*. COPPE/UFRJ, 95p.

Montero, P.; Daneri, G.; Gonzáles, E. H.; Iriarte, J. L.; Tapia, F. J; Lizarrága, L.; Sanchez, N. & Pizarro, O. (2011). *Seasonal variability of primary production in a fjord ecosystem of the Chilean Patagonia: Implications for the transfer of carbon within pelagic food webs*. *Continental Shelf Research* 31 (2011) 202–215.

- Moschini-Carlos, V. & Pompeo, M. L. M. (2001). *Dinâmica do fitoplâncton de uma lagoa de duna (Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, Maranhão, Brasil)*. Acta Limnologica Brasiliensia, 13 (2): 53 – 68, 2001.
- Moschini-Carlos, V; Pereira, D. & Pompêo, M. L. M. (2008). *The planktonic community in tropical internodal ponds (Lençóis Maranhenses National Park, Maranhão State, Brazil)*. Acta Limnol. Bras., 2008, vol. 20, no. 2, p. 99-110
- Naumann, E. (1930). *Einführung in die Bodenkunde der Seen*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Parteli, E. J. R.; Durán, O.; Tsoar, H.; Schwammle, V. & Herrmann, H. J. (2008). *Dune formation under bimodal winds*. PNAS, volume 106, nº52, 22085-22089.
- Pereira, E. A. (2000). *Metabolismo total e pelágico e hidroquímica na Lagoa de Grussaí – São João da Barra – RJ*. Dissertação (Mestrado em Biociências – Área de Concentração em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 78p.
- Pereira, L.; Santiago, M. M. F.; Mendonça, L. A. R.; Frischkorn, H.; Lima, J. O. G. & Mendes Filho, J. (2004). *Medidas hidroquímicas e isotópicas em águas subterrâneas que abastecem o município de São Luís – Maranhão*. Rev. Águas Subterrâneas no 18/ Janeiro 2004.

- Pedrosa, P. & Rezende, C. E. (2000). *Dissolved inorganic carbon and metabolism of an eutrophic lacustrine system: variations from a 36-hours study*. *Rev. Brasil. Biol.*, 60(4): 607-614.
- Rebouças, A., Braga, B. & Tundisi, J.G. (2002). *Águas Doces do Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação*. Escrituras Editora, 2ª edição, 709p
- Schindler, D. E.; Carpenter, S. R.; Cole, J. J.; Kitchell, J. F. & Pace, M. L. (1997). Influence of food web structure on carbon exchange between lakes and the atmosphere. *Science* 277: 248–251.
- Smith, S. V. & Hollibaugh, J. T. (1997). *Annual cycle and interannual variability of ecosystem metabolism in a temperate climate embayment*. *Ecological Monographs*, 67(4), 1997, pp. 509 –533 q 1997 by the Ecological Society of America.
- Souza Filho, P.W.M. (2005). *Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos*. *Revista Brasileira de Geofísica* 23: 427-435
- Staeher, P. A. & K. Sand-Jensen. (2007). *Temporal dynamics and regulation of lake metabolism*. *Limnology and Oceanography*., 52(1), 2007, 108–120.
- Staeher, P. A.; Bastrup-Spohr, L.; Sand-Jensen, K. & Stedmon, C. (2012). *Lake metabolism scales with lake morphometry and catchment conditions*. *Aquat Sci* (2012) 74:155–169.

Peter A. Staehr, P. A.; Sand-Jensen, K. Raun, L. A.; Nilsson, B. & Kidmosec, J. (2010). Drivers of metabolism and net heterotrophy in contrasting lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 55(2), 2010, 817–830.

Suzuki, M. S. (1997). *Abertura da barra na lagoa de Grussaí, São João da Barra, RJ: aspectos hidroquímicos, dinâmica da comunidade fitoplanctônica e metabolismo*. Tese (Doutorado em Biociências e Biotecnologia – Área de concentração em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 125p.

Suzuki, M.S.; Figueiredo, R.O.; Silva, C.F.; Pereira, E. A.; Silva, J. A. and Aragon, G.T. (2002). *Sand bar opening in a coastal lagoon (Iquipari) in the northern region of Rio de Janeiro State: Hydrological and hydrochemical changes*, *Braz. J. Biol.*, 62(1): 51-62.

Tonetta, D. (2012). *Produção primária e respiração pelágica em um lago costeiro subtropical (lagoa do peri, brasil): variações vertical e temporal e suas relações com a comunidade fitoplanctônica*. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 82p.

Tundisi, J.G. & Mussarra, M.L. (1986). *Morphometry of four lakes in the Rio Doce Valley Lakes system and its relationships with primary production of phytoplankton*. *Rev. Brasil. Biol.*, vol. 46, no. 1, p. 159-171.

Vollender, N & Kell, V. (1991). *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. IBP, Handbook nº 12, 213p.

Wetzel, R. A. & Likens, G. E. (1991). *Limnological analyses*. Springer-Verlag, New York, 2nd, 391p.

Wetzel, R. A. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Elsevier, California, 3rd, 1006p.

Yoshioka, T. (1988). *Analysis of lacustrine food web with natural carbon and nitrogen isotope ratios*. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, Stuttgart, v. 23, p. 573-578, 1988.

Yoshii, K.; Melnik, N. G.; Timoshkin, O. A.; Bondarenko, N. A.; Anoshko, P. N.; Yoshioka, T. & Wada, E. (1999). *Stableisotope analyses of the pelagic food web in Lake Baikal*. *Limnol. Oceanogr.*, 44(3), 1999, 503-511.