

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

RELATÓRIO ANUAL:

**Anexo 3 Dulcícola - Ácidos Graxos, Composição Elementar e
Isótopos**

RT-18E RRDM/NOV19

Coordenação Geral

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Novembro de 2019

COORDENAÇÕES

Anexo 1

Adalto Bianchini (FURG)

Anexo 3

Edmilson Costa Teixeira (UFES)

Fabian Sá (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

Subprojetos

Alessandra Delazari Barroso (FAESA)

Alex Cardoso Bastos (UFES)

Ana Cristina Teixeira Bonecker (UFRJ)

Anderson Geyson Alves de Araújo (UFES)

Björn Gücker (UFSJ)

Camilo Dias Júnior (UFES)

Daniel Rigo (UFES)

Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna (UFOP)

Gilberto Amado Filho (IPJB) *in memoriam*

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Iola Gonçalves Boechat (UFSJ)

Leila Lourdes Longo (UFRB)

Leonardo Tavares Salgado (IPJB)

Luís Fernando Loureiro (UFES)

Marco Aurélio Caiado (UFES)

Renato David Ghisolfi (UFES)

Renato Rodrigues Neto (UFES)

Rodrigo Leão de Moura (UFRJ)

Valéria da Silva Quaresma (UFES)

Valéria de Oliveira Fernandes (UFES)

Vanya Marcia Duarte Pasa (UFMG)

Anexo 4

Jacqueline Albino (UFES)

Subprojetos

Karla Costa (UFES)

Maria Tereza Carneiro (UFES)

Anexo 5

Diolina Moura Silva (UFES)

Mônica Tognella (UFES)

Anexo 6

Agnaldo Silva Martins (UFES)

Subprojetos

Ana Paula Cazerta Farro (UFES)

Leandro Bugoni (FURG)

Sarah Vargas (UFES)

Anexo 7

Maurício Hostim (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

Subprojetos

Carlos W. Hackradt (UFSB)

Fabiana Felix Hackradt (UFSB)

Jean-Christophe Joyeux (UFES)

Luis Fernando Duboc (UFV)

Anexo 8

Heitor Evangelista (UERJ)

Coordenação Técnica (CTEC)

Alex Cardoso Bastos

Lara Gabriela Magioni Santos

Laura Silveira Vieira Salles

Tarcila Franco Menandro

Coordenação Escritório de Projetos

Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

Patrícia Bourguignon Soares

Paulo Roberto Filgueiras

Valdemar Lacerda Junior

Walter Luiz Alda Junior

Coordenação Núcleo de Atuação Integrada em Rede (NAIR)

Edmilson Costa Teixeira

Karla Libardi Gallina

Andressa Christiane Pereira

Anna Paula Lage Ribeiro

Caroline De Marchi Pignaton

Paulo Eduardo Marques

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	METODOLOGIA	8
3	RESULTADOS	9
3.1	ELEMENTAR E ISÓTOPOS.....	9
3.1.1	Sedimento.....	9
3.2	ÁCIDOS GRAXOS.....	35
4	REFERÊNCIAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Conteúdos de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos sedimentos coletados nas primeiras sete coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que $Q1-1.5*IQR$ (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que $Q3+1.5*IQR$. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas (baseadas em dados logaritmizados). Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey $P < 0,05$).....13

Figura 2: Isotopia do carbono orgânico total ($\delta^{13}C$) e do nitrogênio total ($\delta^{15}N$) nos sedimentos coletados nas primeiras sete coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que $Q1-1.5*IQR$ (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que $Q3+1.5*IQR$. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas (baseadas em dados logaritmizados). Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey $P < 0,05$).....14

Figura 3: Conteúdos de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) no seston coletado nas primeiras sete coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que $Q1-1.5*IQR$ (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que $Q3+1.5*IQR$. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas (baseadas em dados logaritmizados). Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey $P < 0,05$).....20

Figura 4: Isotopia do carbono orgânico total ($\delta^{13}C$) e do nitrogênio total ($\delta^{15}N$) no seston coletado nas primeiras sete coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que $Q1-1.5*IQR$ (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que $Q3+1.5*IQR$. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas (baseadas em dados logaritmizados). Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey $P < 0,05$).....21

Figura 5: Concentração de lipídeos totais (mediana, valores mínimo e máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação) no sedimento do Rio Guandu (em preto), Rio Doce (em azul), lagos (em vermelho) e lagoas (em cinza), durante as coletas 1 a 9.22

Figura 6: Concentração de lipídeos totais na biomassa (mediana, valores mínimo e máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação) em amostras de sedimento do Rio Guandu (em preto), Rio Doce (em azul), lagos (em vermelho) e lagoas (em cinza), durante as coletas 1 a 9.24

Figura 7: Variação temporal na concentração de lipídeos totais em amostras de sedimento das estações amostrais durante as coletas 1 a 9.....	27
Figura 8: Variação temporal na concentração de lipídeos totais na biomassa em amostras de sedimento das estações amostrais, durante as coletas 1 a 9.....	28
Figura 9: Concentração de lipídeos totais (mediana, valores mínimo e máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação) em amostras de seston, durante as coletas 1 a 9. Superfície (S), fundo (F), meia profundidade (MP) representam as profundidades de coleta para as diferentes estações amostrais.....	29
Figura 10: Concentração de lipídeos totais na biomassa do seston (mediana, valores mínimo e máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação), durante as coletas 1 a 7. Superfície (S), fundo (F), meia profundidade (MP) representam as profundidades de coleta para as diferentes estações amostrais.....	30
Figura 11: Variação temporal na concentração de lipídeos totais no seston do Rio Guandú e do Rio Doce (painel superior), nos lagos (painel intermediário) e lagoas (painel inferior) durante as coletas 1 a 9.	33
Figura 12: Variação temporal na concentração de lipídeos totais na biomassa do seston do Rio Guandú e do Rio Doce (painel superior), nos lagos (painel intermediário) e lagoas (painel inferior) durante as coletas 1 a 7.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentração (mediana, mín-máx.) de lipídeos totais (Lip. Tot.) no sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}_{\text{sed}}$) e na biomassa do sedimento ($\text{mg gC}^{-1}_{\text{sed}}$) nas estações amostrais. Letras distintas representam diferenças estatísticas significativas a 95% de confiança (ANOVA, $F=6,154$ e $F=5,51$, respectivamente; seguido de teste Tukey <i>a posteriori</i>).....	24
Tabela 2: Concentração (mediana, mín-máx.) de lipídeos totais (Lip. Tot.) no seston ($\text{mg L}^{-1}_{\text{ses}}$) e na biomassa do seston ($\text{mg gC}^{-1}_{\text{sed}}$) nas estações amostrais. Letras distintas representam diferenças estatísticas significativas a 95% de confiança (ANOVA, $F=0,236$ e $F=3,562$, respectivamente; seguido de teste Tukey <i>a posteriori</i>).....	30
Tabela 3: Concentração (mediana, mín-máx.) de ácidos graxos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) e totais no sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}_{\text{sed}}$) nas estações amostrais durante as coletas 1 a 8.	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resumo do conteúdo de carbono orgânico total (COT; em % da matéria seca total) no sedimento nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.	10
Quadro 2: Resumo do conteúdo de nitrogênio total (NT; em % da matéria seca total) no sedimento nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.	10
Quadro 3: Resumo dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (em ‰) no sedimento nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.	11
Quadro 4: Resumo dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (em ‰) no sedimento nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.	11
Quadro 5: Resumo do conteúdo de carbono orgânico total (COT; em % da matéria seca total) no seston nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.	15
Quadro 6: Resumo do conteúdo de nitrogênio total (NT; em % da matéria seca total) no seston nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.	16
Quadro 7: Resumo dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (em ‰) no seston nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.	17
Quadro 8: Resumo dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (em ‰) no seston nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.	18

ANEXO 3 DULCÍCOLA - ÁCIDOS GRAXOS, COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E ISÓTOPOS

1 INTRODUÇÃO

A deposição e processamento de matéria orgânica nos sedimentos de sistemas aquáticos constitui um importante passo da ciclagem de C no sistema aquático e representa um elo de ligação entre as fontes de C na água e seu processamento no sedimento. Sedimento de rios e sistemas lacustres recebem material orgânico de diversas fontes, tanto internas (produção primária e secundária sestônica e bentônica) quanto externas (aportes laterais de material vegetal e animal dos ecossistemas adjacentes, fontes difusas e pontuais de poluição orgânica e inorgânica, etc) e, por isso, são formados por uma mistura heterogênea de componentes orgânicos, que só pode ser elucidada a partir de uma combinação de técnicas (Pedrosa-Pàmies et al., 2015). Estas incluem análises elementares, de C e N, seus isótopos estáveis e marcadores bioquímicos (lipídeos totais, ácidos graxos, dentre outros).

2 METODOLOGIA

Para o subprojeto “Elementar e isótopos, lipídeos totais e ácidos graxos”, as amostras de seston e sedimento coletadas mensalmente foram transportadas congeladas até o laboratório onde foram processadas para posterior encaminhamento ao Laboratório de Limnologia Aplicada da UFSJ, onde as análises são realizadas. Neste laboratório, as amostras foram liofilizadas e, quando necessário, posteriormente extraídas (Alhgreen e Merino, 1991 para lipídeos totais e ácidos graxos), de acordo com a metodologia detalhada no plano de trabalho, para cada análise. As amostras de seston e sedimento destinadas à análise de lipídeos totais são analisadas por espectrofotometria, após reação colorimétrica utilizando reagente de fosfovanilina (Zöllner e Kirsch, 1962), com leitura a 528nm (UV-Visible Spectrophotometer Evolution 201, Thermo Scientific, USA). As amostras destinadas à determinação e quantificação de ácidos graxos são analisadas em cromatografia gasosa e espectrometria de massas, após liofilização, extração e esterificação dos ácidos graxos extraídos e injeção de alíquota em sistema automatizado (GC-Agilent Technologies 7890B, MSD- Agilent Technologies 5977B, Alemanha). As análises das razões isotópicas nas amostras de sedimento, seston e fontes da MO são realizadas por meio da técnica de Oxidação Catalítica em Alta Temperatura (em inglês, High Temperature Catalytic Oxidation – HTCO), com o aparelho CHNO Analyser (FLASH HT Plus, Thermo, Alemanha), acoplado a um espectrômetro de massa de razão isotópica (Isotope Ratio Mass Spectrometer – IRMS, Delta V, Thermo, Alemanha), que mede a composição isotópica concomitantemente às medidas elementares de C e N. Os resultados são expressos pela unidade padrão δ como: $\delta X = [(R \text{ substrato} - R \text{ produto}) - 1] \times 1000$, onde X é ^{13}C ou ^{15}N e R é a razão correspondente $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. As concentrações elementares de C e N são expressas em termos de porcentagem de peso em relação à quantidade definida de amostra analisada.

3 RESULTADOS

Neste subprojeto foram realizadas até o momento, com resultados apresentados neste relatório:

- Amostras de C, N e isótopos estáveis de C e N da água e do sedimento das coletas 1 a 7;
- Amostras de lipídeos totais das amostras de água e sedimento das coletas 1 a 9;
- Amostras de ácidos graxos do sedimento das coletas 1 a 8;

Se encontram em processamento:

- Amostras de C, N e isótopos da água e sedimento das coletas 8 a 12;
- Amostras de lipídeos totais da água e sedimento das coletas 10 a 12;
- Amostras de ácidos graxos da água das coletas 1 a 12;
- Amostras de ácidos graxos do sedimento das coletas 9 a 12;

3.1 ELEMENTAR E ISÓTOPOS

3.1.1 Sedimento

Os valores absolutos de carbono orgânico total (COT, em % de massa seca; Quadro 1, Figura 1), de nitrogênio total (NT, em % de massa seca;

Quadro 2, Figura 1), da isotopia do carbono orgânico total ($\delta^{13}\text{C}$, em ‰ referente ao padrão VPDB; Quadro 3; Figura 2) e do nitrogênio total ($\delta^{15}\text{N}$, em ‰ referente ao N_2 atmosférico;

; Figura 2) dos sedimentos durante as primeiras sete coletas apresentaram valores dentro da faixa de valores amplamente achados e a serem esperados em sedimentos límnicos (Sturner & Elser, 2002; Fry, 2006; Finlay & Kendall, 2007). Talvez, a única exceção sejam dois valores de $\delta^{13}\text{C}$ extremamente baixos nas estações de coleta fluviais e21 e e22 (Figura 2; Rio Doce em Linhares e Rio Doce 13.2 km a montante da foz). Valores tão baixos são tipicamente associados com a presença de bactérias metanotróficas (Fry, 2006; Finlay & Kendall, 2007).

Quadro 1: Resumo do conteúdo de carbono orgânico total (COT; em % da matéria seca total) no sedimento nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.

	Mediana	Min	Max	Média	DP	CV
Rio Guandú						
e17	0.08	0.04	0.43	0.16	0.15	0.94
Rio Doce						
e0	0.04	0.02	0.08	0.05	0.02	0.46
e21	0.06	0.01	0.12	0.06	0.03	0.59
e22	0.04	0.03	0.09	0.05	0.02	0.42
e26	0.07	0.03	0.13	0.07	0.04	0.49
Lagos						
e18	3.22	2.97	3.62	3.26	0.22	0.07
e19	2.98	2.09	3.46	2.94	0.44	0.15
e20	2.09	1.85	2.75	2.15	0.28	0.13
Lagoas						
e23	2.13	0.64	4.51	2.29	1.27	0.56
e24	9.04	1.85	13.74	8.44	3.97	0.47
e25	0.28	0.15	9.00	1.90	3.32	1.75
e25	3.99	0.13	14.96	5.00	5.02	1.00

Quadro 2: Resumo do conteúdo de nitrogênio total (NT; em % da matéria seca total) no sedimento nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.

	Mediana	Min	Max	Média	DP	CV
Rio Guandú						
e17	0.009	0.002	0.022	0.009	0.006	0.69
Rio Doce						
e0	0.004	0.002	0.008	0.004	0.002	0.60
e21	0.003	0.001	0.008	0.004	0.002	0.60
e22	0.002	0.001	0.007	0.003	0.002	0.65
e26	0.004	0.002	0.013	0.006	0.005	0.78
Lagos						
e18	0.311	0.261	0.334	0.307	0.026	0.09
e19	0.329	0.285	0.394	0.335	0.038	0.11
e20	0.250	0.211	0.296	0.246	0.033	0.13
Lagoas						
e23	0.205	0.067	0.232	0.179	0.064	0.36
e24	0.594	0.208	0.855	0.541	0.230	0.43
e25	0.021	0.010	0.406	0.123	0.154	1.25
e25	0.293	0.011	0.498	0.241	0.186	0.77

Quadro 3: Resumo dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (em ‰) no sedimento nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.

	Mediana	Min	Max	Média	DP	CV
Rio Guandú						
e17	-23.51	-25.20	-19.53	-23.09	1.99	0.09
Rio Doce						
e0	-23.14	-26.34	-22.50	-23.75	1.34	0.06
e21	-26.26	-100.32	-24.11	-37.11	27.95	0.75
e22	-26.08	-75.75	-23.07	-34.22	20.50	0.60
e26	-24.90	-31.61	-23.41	-25.60	2.76	0.11
Lagos						
e18	-27.95	-28.16	-27.49	-27.90	0.23	0.01
e19	-29.31	-31.37	-28.53	-29.44	0.95	0.03
e20	-26.52	-28.45	-26.25	-26.78	0.75	0.03
Lagoas						
e23	-25.28	-25.75	-25.01	-25.33	0.28	0.01
e24	-31.22	-31.26	-25.83	-30.26	2.18	0.07
e25	-27.81	-44.38	-27.52	-30.30	6.23	0.21
e25	-29.28	-45.82	-27.07	-31.13	6.58	0.21

Quadro 4: Resumo dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (em ‰) no sedimento nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.

	Mediana	Min	Max	Média	DP	CV
Rio Guandú						
e17	4.00	3.08	11.12	5.59	2.90	0.52
Rio Doce						
e0	3.87	0.57	9.39	4.45	3.15	0.71
e21	1.73	0.90	10.65	4.92	4.40	0.90
e22	3.71	1.29	12.20	5.38	4.10	0.76
e26	5.05	3.43	7.45	5.38	1.63	0.30
Lagos						
e18	10.43	8.68	12.01	10.28	1.28	0.12
e19	10.17	7.98	11.09	10.07	1.07	0.11
e20	10.76	8.04	13.10	10.46	1.66	0.16
Lagoas						
e23	7.98	6.68	11.18	8.33	1.61	0.19
e24	6.21	4.90	11.23	6.93	2.33	0.34
e25	5.76	2.62	8.11	5.12	1.91	0.37
e25	4.82	1.09	8.11	4.51	1.82	0.40

Para a maioria das variáveis elementares dos sedimentos (COT, NT, e $\delta^{15}\text{N}$) não foram encontradas diferenças significativas entre as sete coletas (Figura 1 e Figura 2; ANOVA, $P > 0,1$). Apenas para a isotopia de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) foram encontradas diferenças significativas entre as coletas 3 (dezembro 2018) e 4 (janeiro 2019) (Figura 2; ANOVA, $P < 0,05$, teste pós-hoc Tukey, $P < 0,05$).

No entanto, foram encontradas diferenças significativas entre estações de coleta para as variáveis COT, NT e $\delta^{15}\text{N}$ (Figura 1 e Figura 2; ANOVA, $P < 0,001$, teste pós-hoc Tukey, $P < 0,05$). De uma maneira geral, estações de coleta lacustres (lagos e18–e20; e lagoas e23–e25a) mostraram uma tendência para valores de COT e NT maiores do que estações fluviais (e0, e21, e22, e26, incl. o rio tributário Guandú e17, Figura 1 e Figura 2). Valores maiores de $\delta^{15}\text{N}$ em ambientes lacustres, especialmente entre 9‰ e 12‰ nos lagos mais profundos L. Limão, L. Nova e L. Juparanã (e18-e20, Figura 2), correspondem com resultados de estudos anteriores, que reportaram valores maiores de $\delta^{15}\text{N}$ para biomassa algal do que para solos terrestres, folhagem e macrófitas aquáticas (Finlay & Kendall, 2007). Do mesmo modo, valores de $\delta^{13}\text{C}$ relativamente altos nas estações riverinas e0, e17 e e26 correspondem com estudos na literatura que evidenciaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais altos para algas bentônicas do que para algas planctônicas, e que contribuem significativamente para a biomassa de sedimentos em lagoas mais profundas (Finlay & Kendall, 2007).

Os valores de COT do sedimento nas estações do Rio Doce nas primeiras sete coletas (Quadro 1; 0,05% [0,01–0,13%], mediana [mínimo–máximo]) foram baixos em comparação com os valores do tributário - Rio Guandú (Quadro 1; 0,08% [0,04–0,43%]) e do Córrego Tripuí e do Rio Carmo, na mesma bacia hidrográfica (0,2% [0,04–0,91]; Silva et al., 2018) e podem ser um indício para a dominância de material mineral de origem da barragem do Fundão nessas estações. Na mesma forma, os valores de COT e NT nos sedimentos lacustres no presente estudo (Quadro 1 e Quadro 2; 0,13–15,0% COT e 0,01–0,86% NT) parecem baixos em comparação com a L. Canto Grande, localizada próxima a Linhares (0,6–37,2% COT e 0,08–1,7% NT; Lorente et al., 2018). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (-45,8 a -25,0; Quadro 3) e $\delta^{15}\text{N}$ (1,1 a 13,2; Quadro 4) dos ambientes lacustres mostraram uma variabilidade isotópica maior do que os valores publicados para a Lagoa Canto Grande ($\delta^{13}\text{C}$ entre -32 e -28, e $\delta^{15}\text{N}$ entre 0 e 5). Atualmente estão sendo analisadas amostras de vegetação ripária e de dejetos da Barragem do Fundão, coletadas na época do rompimento, para possibilitar a avaliação dos valores de isotopia dos sedimentos no contexto das suas fontes de carbono e nitrogênio.

Figura 1: Conteúdos de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos sedimentos coletados nas primeiras sete coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que $Q1 - 1.5 * IQR$ (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que $Q3 + 1.5 * IQR$. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas (baseadas em dados logaritmizados). Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey $P < 0,05$).

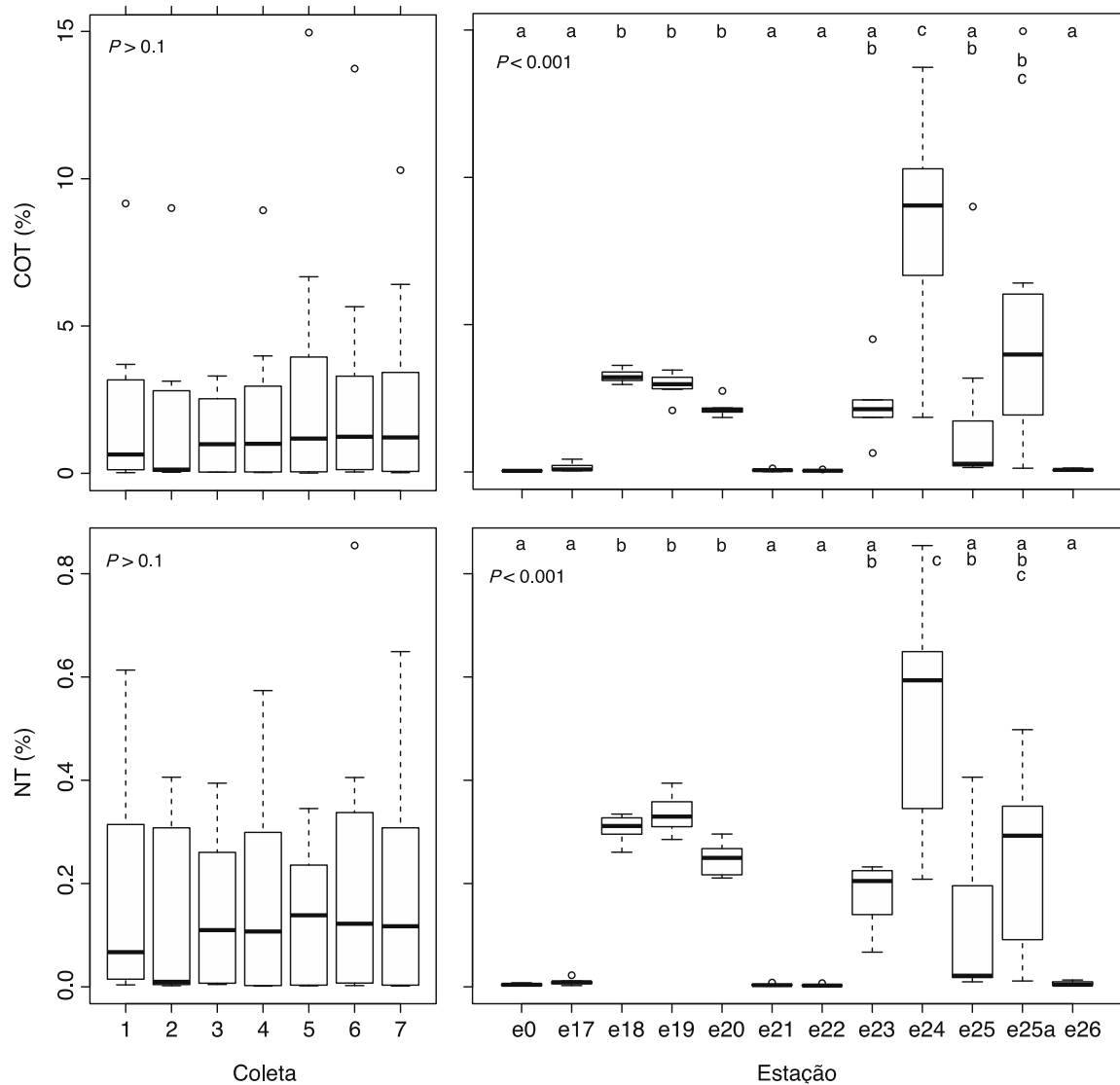
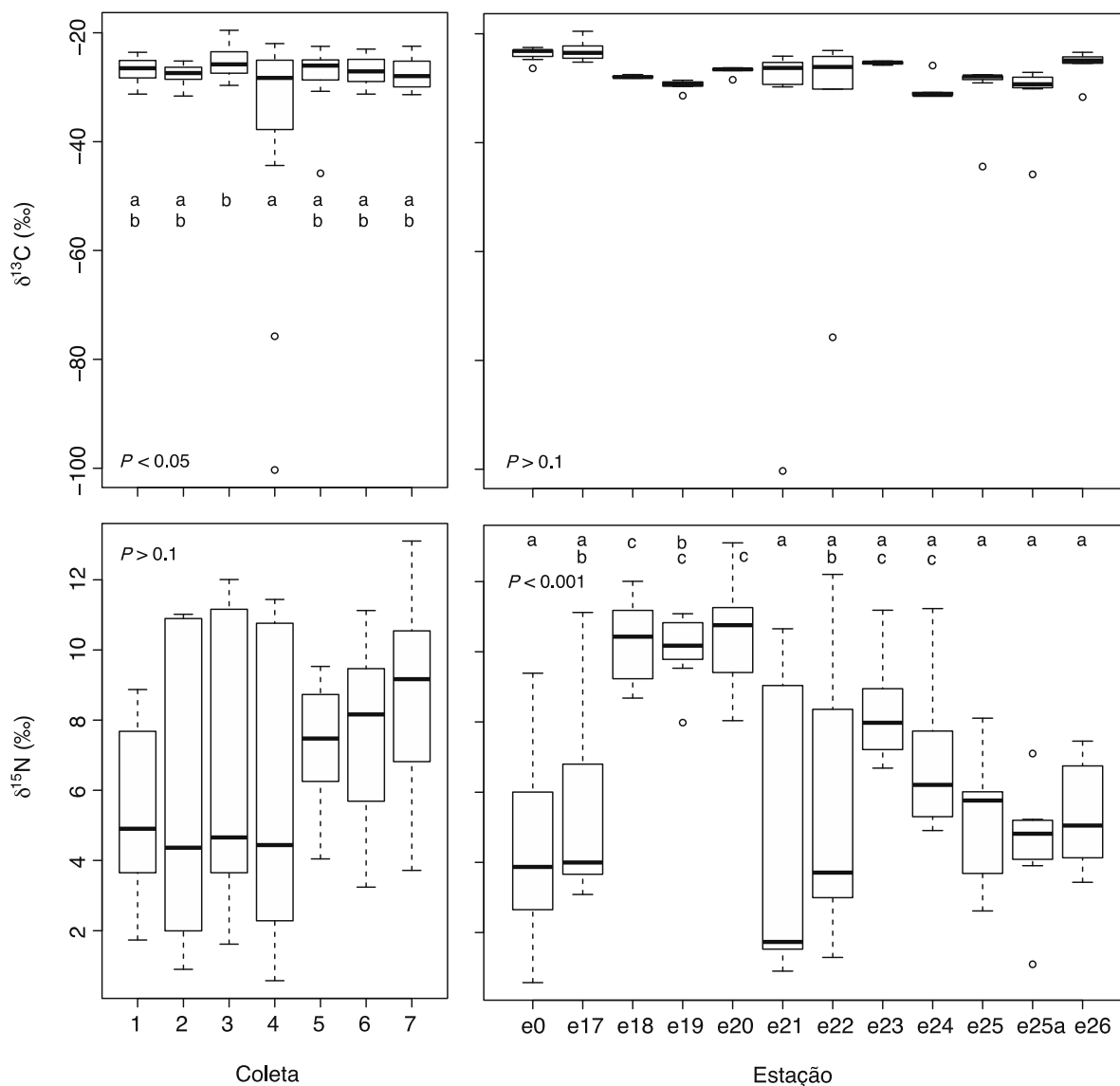


Figura 2: Isotopia do carbono orgânico total ($\delta^{13}\text{C}$) e do nitrogênio total ($\delta^{15}\text{N}$) nos sedimentos coletados nas primeiras sete coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que $Q1-1.5*IQR$ (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que $Q3+1.5*IQR$. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas (baseadas em dados logaritmizados). Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey $P < 0,05$).



3.1.1.1 Seston

Os valores absolutos de carbono orgânico total (COT, em % de massa seca; Quadro 5, Figura 3), de nitrogênio total (NT, em % de massa seca; Quadro 6, Figura 3), da isotopia do carbono orgânico total ($\delta^{13}\text{C}$, em ‰ referente ao padrão VPDB; Quadro 7 e Figura 4) e do nitrogênio total ($\delta^{15}\text{N}$, em ‰ referente ao N_2 atmosférico; Quadro 8, Figura 4) do seston durante as primeiras sete coletas apresentaram

valores dentro da faixa de valores amplamente achados e a serem esperados para seston límnic (Sternier & Elser, 2002; Fry, 2006; Finlay & Kendall, 2007).

Quadro 5: Resumo do conteúdo de carbono orgânico total (COT; em % da matéria seca total) no seston nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.

	Mediana	Min	Max	Média	DP	CV
Rio Guandú						
e17_M	2.15 (n=1)					
e17_S	1.92	0.19	4.46	2.21	1.45	0.66
Rio Doce						
e0_F	5.82 (n=1)					
e0_S	2.96	0.75	7.50	3.31	2.22	0.67
e21_M	3.18	0.98	5.38	3.18	3.11	0.98
e21_S	2.88	1.75	3.27	2.63	0.79	0.30
e22_M	4.12 (n=1)					
e22_S	2.50	2.17	6.31	3.21	1.74	0.54
e26_F	3.86	1.94	11.37	4.96	3.14	0.63
Lagos						
e18_PC	13.09	9.10	28.42	15.78	6.72	0.43
e18_F	15.69	6.35	22.31	14.19	6.43	0.45
e18_S	29.20	9.95	55.99	30.55	14.64	0.48
e19_PC	35.06	31.13	50.63	37.91	7.12	0.19
e19_F	15.59	8.96	42.02	20.38	13.24	0.65
e19_S	34.51	6.50	85.05	38.97	28.54	0.73
e20_PC	17.86	4.72	35.45	18.58	10.82	0.58
e20_F	12.53	5.97	49.33	19.28	17.33	0.90
e20_S	14.08	9.76	46.88	25.31	16.69	0.66
Lagoas						
e23_M	18.73	8.69	32.04	18.36	8.88	0.48
e24_M	15.60	11.54	27.27	17.37	5.61	0.32
e25_M	11.79	8.73	21.55	13.26	4.85	0.37
e25a_M	14.77	7.69	21.57	14.59	5.19	0.36

Quadro 6: Resumo do conteúdo de nitrogênio total (NT; em % da matéria seca total) no seston nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.

	Mediana	Min	Max	Média	DP	CV
Rio Guandú						
e17_M	0.20 (n=1)					
e17_S	0.20	0.02	0.45	0.22	0.15	0.65
Rio Doce						
e0_F	0.61 (n=1)					
e0_S	0.36	0.23	0.80	0.39	0.20	0.53
e21_M	0.57	0.42	0.72	0.57	0.21	0.38
e21_S	0.39	0.21	0.41	0.33	0.11	0.33
e22_M	0.56 (n=1)					
e22_S	0.32	0.26	0.95	0.50	0.31	0.62
e26_F	0.50	0.25	1.41	0.66	0.44	0.66
Lagos						
e18_PC	1.48	0.88	5.21	2.07	1.48	0.71
e18_F	2.04	0.62	2.99	1.91	0.89	0.46
e18_S	3.03	1.11	5.89	3.06	1.46	0.48
e19_PC	4.90	3.81	7.62	5.10	1.36	0.27
e19_F	1.80	0.80	4.29	2.13	1.36	0.64
e19_S	3.19	0.58	9.12	3.80	3.18	0.84
e20_PC	1.36	0.66	5.25	1.96	1.54	0.79
e20_F	1.52	0.72	6.38	2.55	2.35	0.92
e20_S	1.57	0.95	5.85	3.08	2.22	0.72
Lagoas						
e23_M	2.10	1.06	3.27	1.98	0.81	0.41
e24_M	1.46	1.17	2.83	1.63	0.60	0.37
e25_M	1.47	0.79	1.95	1.43	0.46	0.32
e25a_M	0.91	0.67	1.78	1.11	0.42	0.38

Quadro 7: Resumo dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (em ‰) no seston nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.

	Mediana	Min	Max	Média	DP	CV
Rio Guandú						
e17_M	-23.93 (n=1)					
e17_S	-24.41	-24.86	-23.93	-24.40	0.34	0.01
Rio Doce						
e0_F	-26.29 (n=1)					
e0_S	-26.22	-29.74	-23.53	-26.12	2.20	0.08
e21_M	-26.07	-28.17	-23.98	-26.07	2.96	0.11
e21_S	-25.46	-25.95	-23.30	-24.90	1.41	0.06
e22_M	-25.68 (n=1)					
e22_S	-27.32	-27.96	-24.17	-26.42	1.81	0.07
e26_F	-25.89	-29.19	-24.09	-26.07	1.59	0.06
Lagos						
e18_PC	-29.87	-41.17	-26.05	-31.01	4.81	0.16
e18_F	-27.56	-41.45	-26.04	-29.46	5.39	0.18
e18_S	-30.65	-40.09	-29.99	-32.17	3.55	0.11
e19_PC	-30.06	-33.22	-28.97	-30.77	1.74	0.06
e19_F	-29.57	-30.18	-27.79	-29.36	0.94	0.03
e19_S	-28.75	-29.72	-28.11	-28.95	0.64	0.02
e20_PC	-28.21	-31.66	-22.60	-26.89	3.20	0.12
e20_F	-26.73	-28.24	-24.56	-26.65	1.52	0.06
e20_S	-26.05	-28.72	-22.31	-25.87	2.64	0.10
Lagoas						
e23_M	-29.84	-34.49	-27.57	-30.15	2.33	0.08
e24_M	-34.74	-36.39	-32.36	-34.58	1.68	0.05
e25_M	-32.47	-33.43	-29.43	-31.78	1.63	0.05
e25a_M	-31.31	-32.95	-29.14	-30.87	1.36	0.04

Quadro 8: Resumo dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (em ‰) no seston nas coletas 1 a 7. DP, desvio padrão; CV, coeficiente de variação.

	Mediana	Min	Max	Média	DP	CV
Rio Guandú						
e17_M	9.41					
e17_S	8.92	6.98	9.66	8.71	1.06	0.12
Rio Doce						
e0_F	7.14					
e0_S	7.11	6.60	8.00	7.24	0.55	0.08
e21_M	7.67	4.22	11.12	7.67	4.88	0.64
e21_S	8.51	7.07	15.93	10.51	4.75	0.45
e22_M	7.79					
e22_S	8.27	2.72	11.65	7.68	3.37	0.44
e26_F	8.69	6.70	9.55	8.53	0.89	0.10
Lagos						
e18_PC	8.06	2.25	12.19	7.83	3.08	0.39
e18_F	6.59	1.99	8.82	5.78	2.82	0.49
e18_S	6.69	5.72	8.62	6.90	1.21	0.18
e19_PC	9.82	1.87	11.02	8.56	3.38	0.39
e19_F	7.41	1.11	13.52	7.75	4.29	0.55
e19_S	8.02	7.49	15.79	10.85	4.15	0.38
e20_PC	7.67	5.62	14.63	8.47	3.20	0.38
e20_F	4.43	2.04	7.60	4.77	2.30	0.48
e20_S	6.31	3.78	8.58	6.52	1.69	0.26
Lagoas						
e23_M	5.16	1.82	6.80	4.52	1.96	0.43
e24_M	7.80	3.95	12.18	7.74	2.69	0.35
e25_M	7.96	2.94	11.47	7.04	2.93	0.42
e25a_M	6.57	3.78	10.45	6.63	2.04	0.31

Para as variáveis dos seston COT, NT, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ não foram encontradas diferenças significativas entre as sete coletas (Figura 3 e Figura 4; ANOVA, $P > 0,1$). No entanto, foram encontradas diferenças significativas entre estações de coleta para as variáveis COT, NT, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (Figura 3 e Figura 4; ANOVA, $P < 0,05$, teste pós-hoc Tukey, $P < 0,05$). De uma maneira geral, estações de coleta lacustres (lagos e18–e20; e lagoas e23–e25a) mostraram uma tendência para valores de COT e NT maiores do que estações fluviais (e0, e21, e22, e26, incl. o rio tributário- Guandú e17, Figura 3). Valores menores de $\delta^{13}\text{C}$ em ambientes lacustres, especialmente valores mínimos entre -33,0‰ e -36,4‰ nas lagoas mais rasas L. do Areão, L. do Areal e L. Monsarás (e23-e25a, Figura 4), sugerem uma intensa produção primária de algas planctônicas, cujo fracionamento isotópico do CO_2 atmosférico (-8‰) ou de CO_2 proveniente da respiração microbiana (até -20‰) pode resultar em valores até -45‰ (Fry, 2006; Finlay & Kendall, 2007). Valores de $\delta^{13}\text{C}$ relativamente altos no seston das estações riverinas e0, e17, e21 e

e26 podem indicar uma maior contribuição de matéria orgânica proveniente de solos e da vegetação terrestre, devido ao fato de que algas normalmente mostram valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais baixos do que a matéria orgânica de solos e de plantas terrestres C3 e C4 (Finlay & Kendall, 2007).

Os conteúdos de COT do seston nas estações riverinas nas primeiras sete coletas (Quadro 5; 2,92% [0,19–11,4%], mediana [mínimo–máximo]) foram baixos em comparação com os valores geralmente relatados para outros rios tropicais (Richey et al., 1980; Schlesinger & Melack, 1981; Sterner & Elser, 2002) e podem ser um indício para a dominância de material mineral de origem da barragem do Fundão nessas estações. Os conteúdos de COT e NT no seston lacustre no presente estudo (Quadro 5 e Quadro 6; 4,72–85,1% COT e 0,58–9,12% NT) se encontram dentro da faixa de valores amplamente encontrados na literatura (Sterner & Elser, 2002). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (Quadro 7; entre -41,5 e -22,3) e $\delta^{15}\text{N}$ (Quadro 8; entre 1,1 e 15,8) do seston de ambientes lacustres no presente estudo mostraram uma variabilidade isotópica considerável em comparação com a literatura, quase abrangendo a faixa inteira de valores de seston lacustre reportados na literatura (Fry, 2006; Finlay & Kendall, 2007). Atualmente estão sendo analisadas amostras de vegetação riparia e de dejetos da Barragem do Fundão, coletadas na época do rompimento, para possibilitar a avaliação dos valores de isotopia do seston no contexto das suas fontes de carbono e nitrogênio.

Figura 3: Conteúdos de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) no seston coletado nas primeiras sete coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que $Q1 - 1.5 \cdot IQR$ (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que $Q3 + 1.5 \cdot IQR$. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas (baseadas em dados logaritmicados). Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey $P < 0,05$).

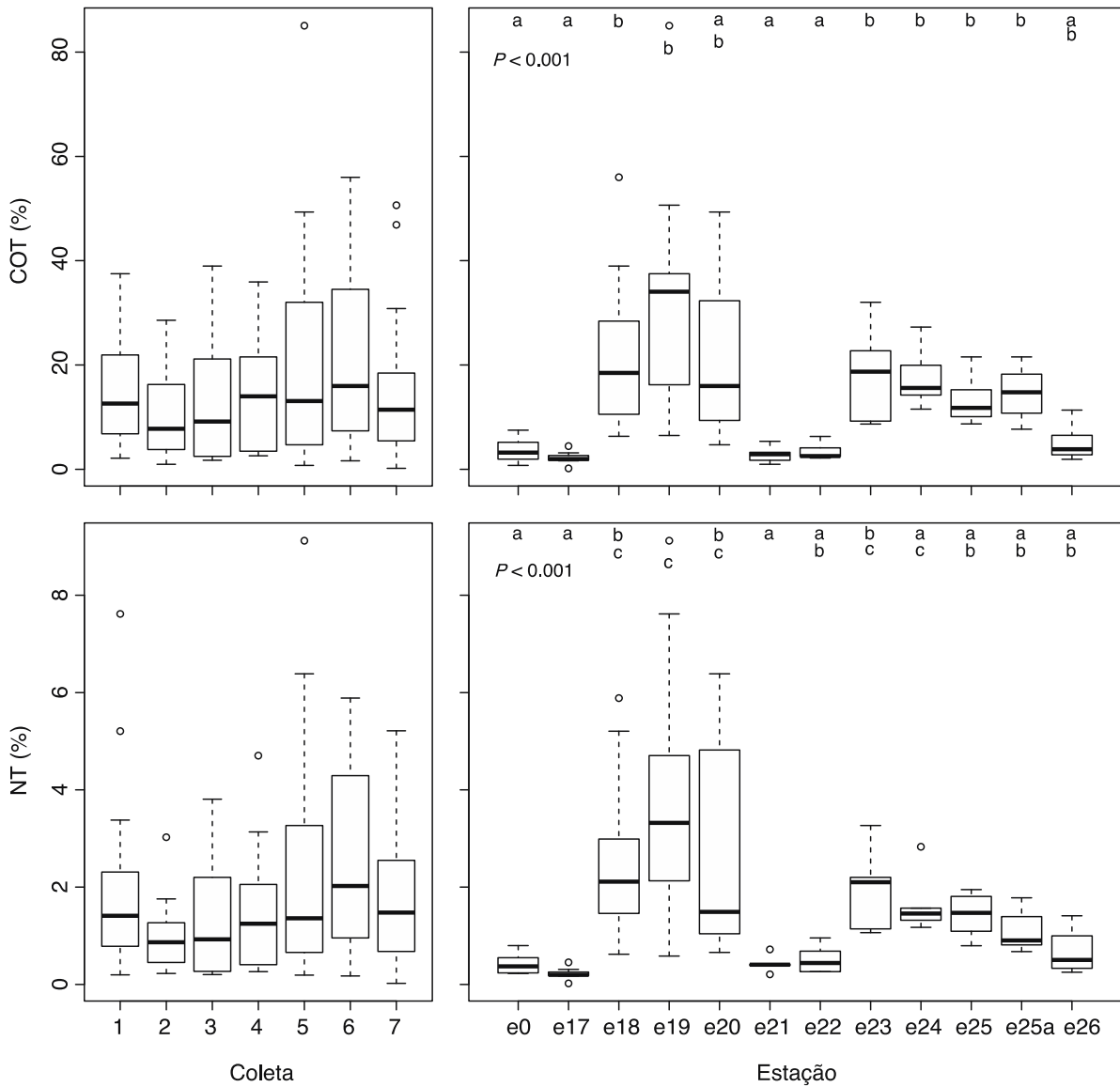
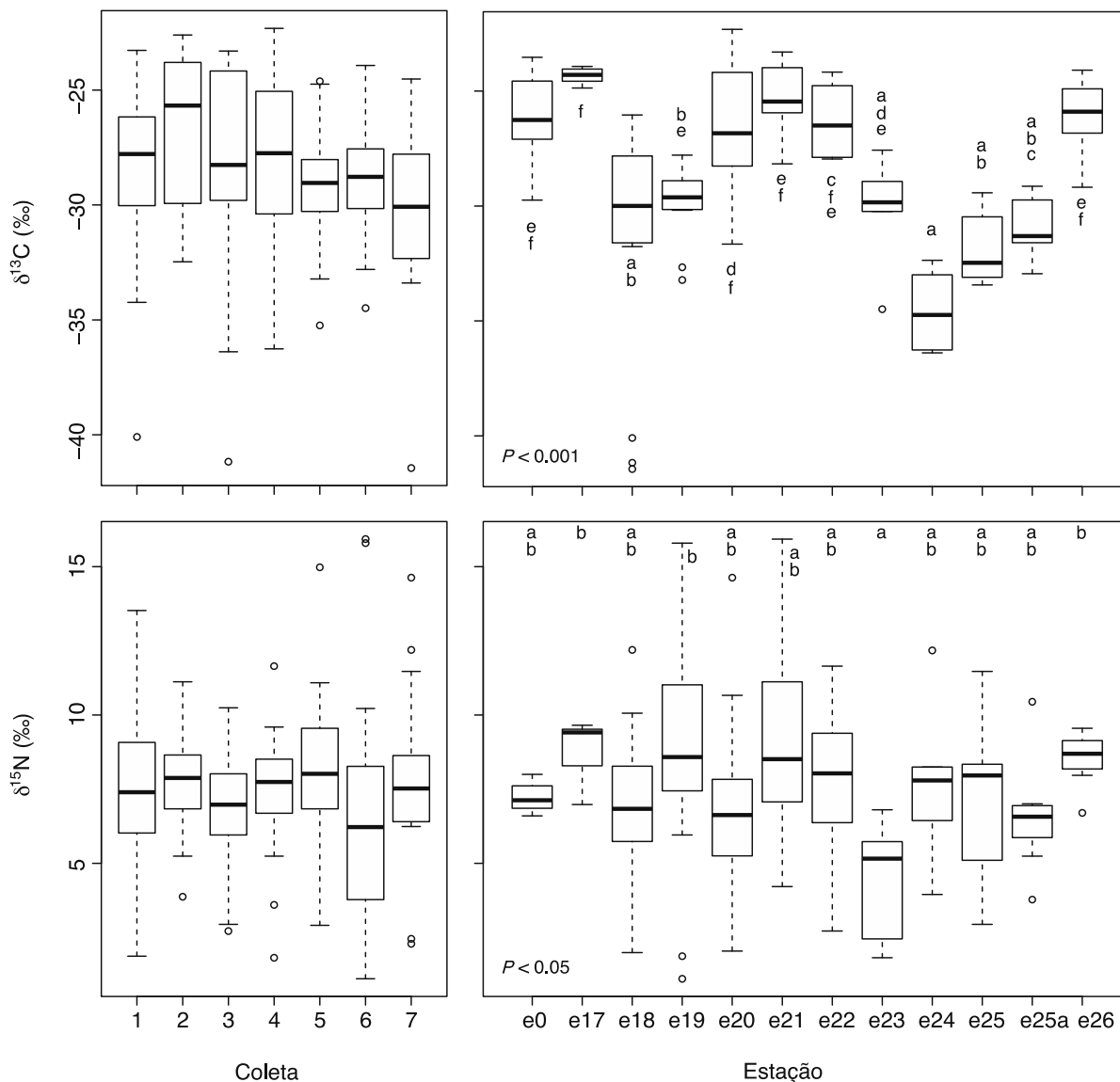


Figura 4: Isotopia do carbono orgânico total ($\delta^{13}\text{C}$) e do nitrogênio total ($\delta^{15}\text{N}$) no seston coletado nas primeiras sete coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que $Q1 - 1.5 \cdot \text{IQR}$ (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que $Q3 + 1.5 \cdot \text{IQR}$. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas (baseadas em dados logaritmizados). Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey $P < 0,05$).



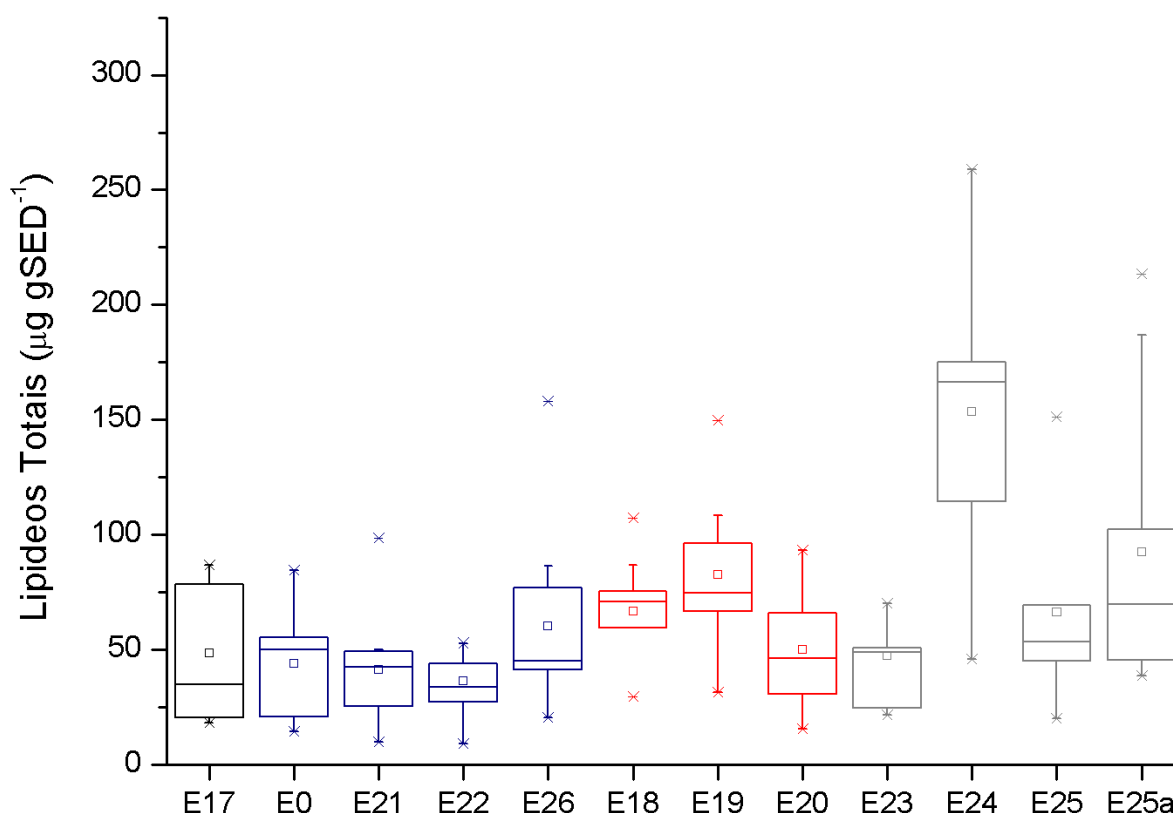
3.1.1.2 Lipídeos Totais

Foram realizadas as análises de lipídeos totais da água e do sedimento das coletas 1 a 9.

De uma maneira geral, as concentrações de lipídeos encontradas nas amostras de sedimento das estações amostrais estiveram sempre abaixo de $150 \mu\text{g}$ por g de sedimento (Figura 5) e de $300 \mu\text{g}$ por g de carbono no sedimento (Figura 6), representando menos do que 20% do conteúdo total de C para a maioria das estações. Em termos de concentração por amostra de sedimento, não houve diferença

significativa para as concentrações de lipídeos totais entre as estações amostrais (Tabela 1), com exceção da estação e24 (Lagoa Areal), que apresentou maior concentração de C por g de sedimento (ver dados de C apresentados neste relatório). Esse sistema é caracterizado por baixa profundidade e por receber aporte de dejetos provenientes de uma pocilga instalada em suas imediações, o que justifica os elevados valores de matéria orgânica, carbono e lipídeos totais no sedimento. Assim, em linhas gerais, os valores encontrados para a maioria das estações, em termos de concentração de lipídeos por g de sedimento, estão coerentes com valores encontrados na literatura (Pusceddu et al., 1999; Silva et al., 2008; Guan et al., 2019). Importante ressaltar que a concentração de lipídeos totais em amostras do rejeito, coletadas no dia do desastre, foi de 27,48 $\mu\text{g gSed}^{-1}$, ou seja, também similar às concentrações medidas no sedimento das estações amostrais do Rio Doce.

Figura 5: Concentração de lipídeos totais (mediana, valores mínimo e máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação) no sedimento do Rio Guandu (em preto), Rio Doce (em azul), lagos (em vermelho) e lagoas (em cinza), durante as coletas 1 a 9.



No entanto, ao compararmos a concentração de lipídeos totais por biomassa de C no sedimento (Figura 6, Tabela 1), ressalta-se a maior concentração verificada nas amostras provenientes do Rio Doce, em comparação com os sistemas lacustres e lagunares. Embora as concentrações relativas de matéria orgânica nos sedimentos dos sistemas lacustres e lagunares tenham sido, em geral, mais elevadas do que no sedimento do Rio Doce, as estações e0 (calha do Rio Doce à jusante da UHE de Mascarenhas), e21 (Rio Doce, em Linhares), e22 (calha do Rio Doce a 13.2 km da foz), e26 (foz do Rio Doce), assim

como o tributário (e17, Rio Guandú) apresentaram concentrações de lipídeos totais mais altas por unidade de carbono do que os sistemas lênticos analisados (mediana=94,47, mín.=18,71, máx.=487,86 mg gC⁻¹). A título de comparação, um estudo realizado em sedimentos da baía da Guanabara (RJ), que recebe esgoto doméstico em elevadas concentrações, apontou uma concentração média de lipídeos totais da ordem de 714.9 mg gC⁻¹ (Silva et al., 2011). Tal fato pode indicar o processamento aumentado de matéria orgânica rica em lipídeos na calha do Rio Doce. Concentrações de lipídeos mais altas em sedimentos aquáticos, em termos de porcentagem de carbono orgânico, sugerem a acumulação de uma fração orgânica de rápido processamento, mais lábil, em detrimento de locais com menores concentrações de lipídeos totais (Pusceddu et al., 2009). Dependendo da caracterização de suas frações lipídicas e da razão estequiométrica C:N é possível inferir se essa deposição está associada a processos microbiológicos internos ou se representa um acúmulo de material alóctone, transportado e depositado. Apesar de ainda não terem sido finalizados, dados preliminares qualitativos de ácidos graxos no sedimento apontam para o predomínio de matéria orgânica em processamento, com dominância de ácidos graxos saturados de cadeia curta (C12 a C22, e dominância de C16), indicadores da presença de bactérias (Volkman et al., 1980, 1988; Robinson et al., 1984; Meyers e Eadie, 1993; Guan et al., 2019), sugerindo um substrato com intensa atividade decompositora. Aliado a esta observação, o fato de que as razões estequiométricas C:N estiveram em geral acima de 10 para as estações do Rio Doce apontam para o predomínio de matéria alóctone no sedimento do Rio Doce, e pouca contribuição de material autóctone, que normalmente é indicada por razões C:N < 10 (Guan et al., 2019). Os dados de fitoplâncton, que apontam menores densidades algais no seston das estações do Rio Doce corroboram a possibilidade, de que a maior parte da matéria orgânica em processamento no Rio Doce, seja de origem externa.

Figura 6: Concentração de lipídeos totais na biomassa (mediana, valores mínimo e máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação) em amostras de sedimento do Rio Guandu (em preto), Rio Doce (em azul), lagos (em vermelho) e lagoas (em cinza), durante as coletas 1 a 9.

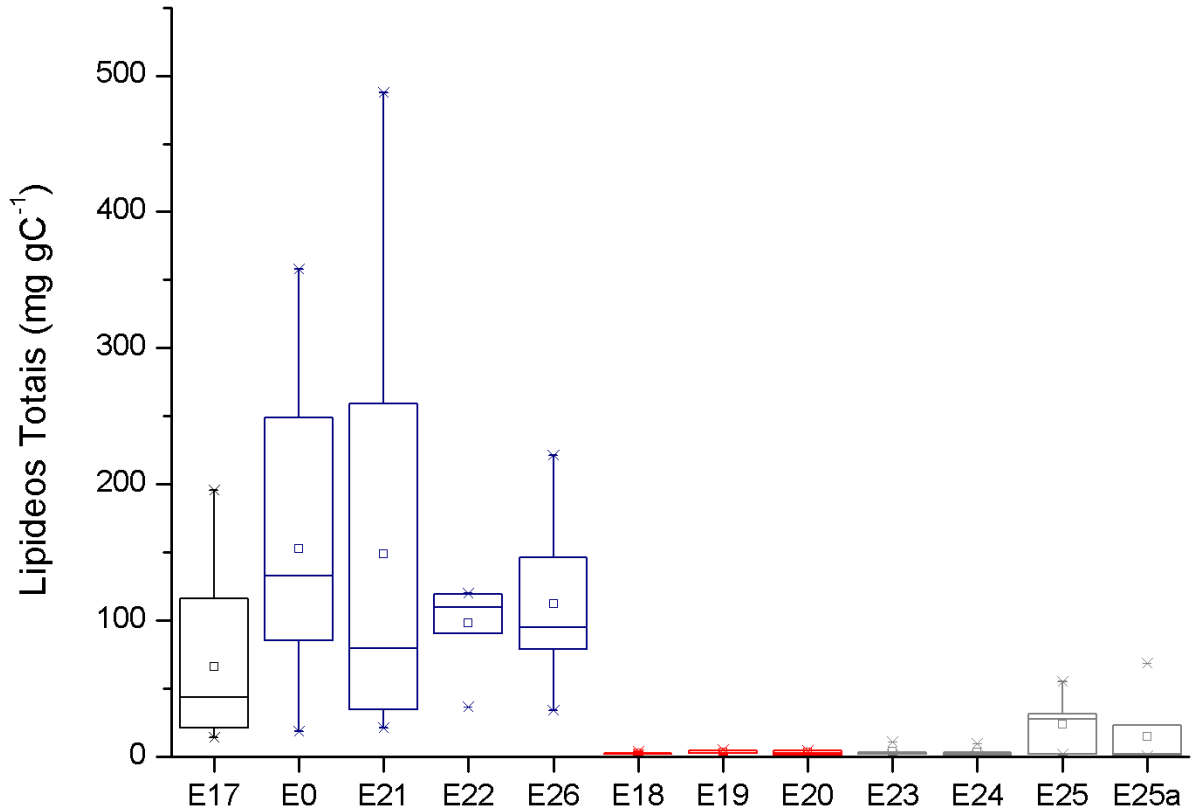


Tabela 1: Concentração (mediana, mín-máx.) de lipídeos totais (Lip. Tot.) no sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}_{\text{sed}}$) e na biomassa do sedimento ($\text{mg gC}^{-1}_{\text{sed}}$) nas estações amostrais. Letras distintas representam diferenças estatísticas significativas a 95% de confiança (ANOVA, $F=6,154$ e $F=5,51$, respectivamente; seguido de teste Tukey *a posteriori*).

Sistema	Estação	Lip. Tot. ($\mu\text{g g}^{-1}_{\text{sed}}$)	Lip. Tot. ($\text{mg gC}^{-1}_{\text{sed}}$)
Rio Tributário	E17 Rio Guandu (tributário-referência)	34,67 (17,96-86,78) ^a	43,34 (14,03-195,54) ^{ab}
Rio Doce	E0 Rio Doce - UHE Mascarenhas	49,82 (14,35-84,26) ^a	132,62 (18,71-357,96) ^b
	E21 Rio Doce - Linhares	42,44 (9,61-98,55) ^a	79,40 (21,08-487,86) ^b
	E22 Rio Doce - calha	37,97 (8,99-52,84) ^a	111,48 (36,17-119,91) ^{ab}
	E26 Rio Doce - Foz	45,00 (20,28-158,08) ^a	94,47 (33,89-221,01) ^{ab}

Sistema	Estação	Lip. Tot. ($\mu\text{g g}^{-1}_{\text{sed}}$)	Lip. Tot. ($\text{mg gC}^{-1}_{\text{sed}}$)
Mediana, mín-máx (Rio Doce)		43,92 (8,99-158,08) ^a	94,47 (18,71-487,86)
Lagos	E18 Lago Limão	70,73 (29,36-107,00) ^a	2,23 (0,93-3,60) ^a
	E19 Lago Nova	74,69 (31,43-149,59) ^a	2,66 (1,11-4,60) ^a
	E20 Lago Juparanã	46,36 (15,60-93,21) ^a	2,29 (1,31-4,31) ^a
Mediana, mín-máx (lagos)		66,56 (15,60-149,59)	2,29 (0,93-4,60) ^a
Lagoas	E23 Lagoa do Areão	49,67 (21,59-69,94) ^a	2,35 (1,13-10,89) ^a
	E24 Lagoa do Areal	167,85 (45,84-258,82) ^b	2,31 (0,45-9,44) ^a
	E25 Lagoa Monsarás	53,39 (19,87-151,27) ^a	27,40 (1,39-54,69) ^a
	E25a Lagoa Monsarás	69,76 (38,49-213,54) ^a	1,81 (0,71-68,29) ^a
Mediana, mín-máx (lagoas)		62,86 (19,87-258,82)	2,70 (0,45-68,29)

Embora ainda não se possa avaliar a existência de um padrão sazonal nos dados analisados até a 9ª coleta, ao se analisar a variação temporal na concentração de lipídeos totais nas amostras de sedimento do Rio Doce observamos que os valores mais elevados, por massa de sedimento (Figura 7), foram registrados durante as primeiras campanhas de coleta, especialmente na 1ª coleta, seguidos por uma tendência de redução ao longo do ano, sobretudo nas estações mais a jusante (Anova, $F=3.512$, $p<0.05$). No entanto, embora as concentrações de lipídeos totais aparentem sofrer redução ao longo do período amostral, os valores de lipídeos totais na biomassa (Figura 8) não sofreram alteração significativa (Anova, $F=0.512$, $p=0.797$), provavelmente em função da elevada variabilidade observada entre as coletas, sobretudo para os sistemas lacustres. Nos sistemas de lagos, a variação temporal é normalmente mais influenciada por aspectos climáticos associados à chuva, onde se percebe que, durante meses chuvosos, tais como janeiro, as concentrações de nutrientes e biomassa sofrem uma queda, provavelmente devido à diluição do sistema. Após o período de chuvas as concentrações voltam a sofrer um aumento, o que pode ser um reflexo da redução de volume durante o período seco. No entanto, esse padrão não pôde ser evidenciado para as amostras de sedimento analisadas até o momento, o que pode sugerir uma certa independência do processamento da matéria orgânica no sedimento de fatores climáticos e/ou associados à vazão e outros aspectos hidrodinâmicos. Já nas lagoas, aspectos associados à influência da bacia e à morfometria podem ser mais determinantes do

processamento da matéria orgânica no sedimento, levando a ausência de um padrão temporal geral para todas as estações analisadas (Figura 8).

Figura 7: Variação temporal na concentração de lipídeos totais em amostras de sedimento das estações amostrais durante as coletas 1 a 9.

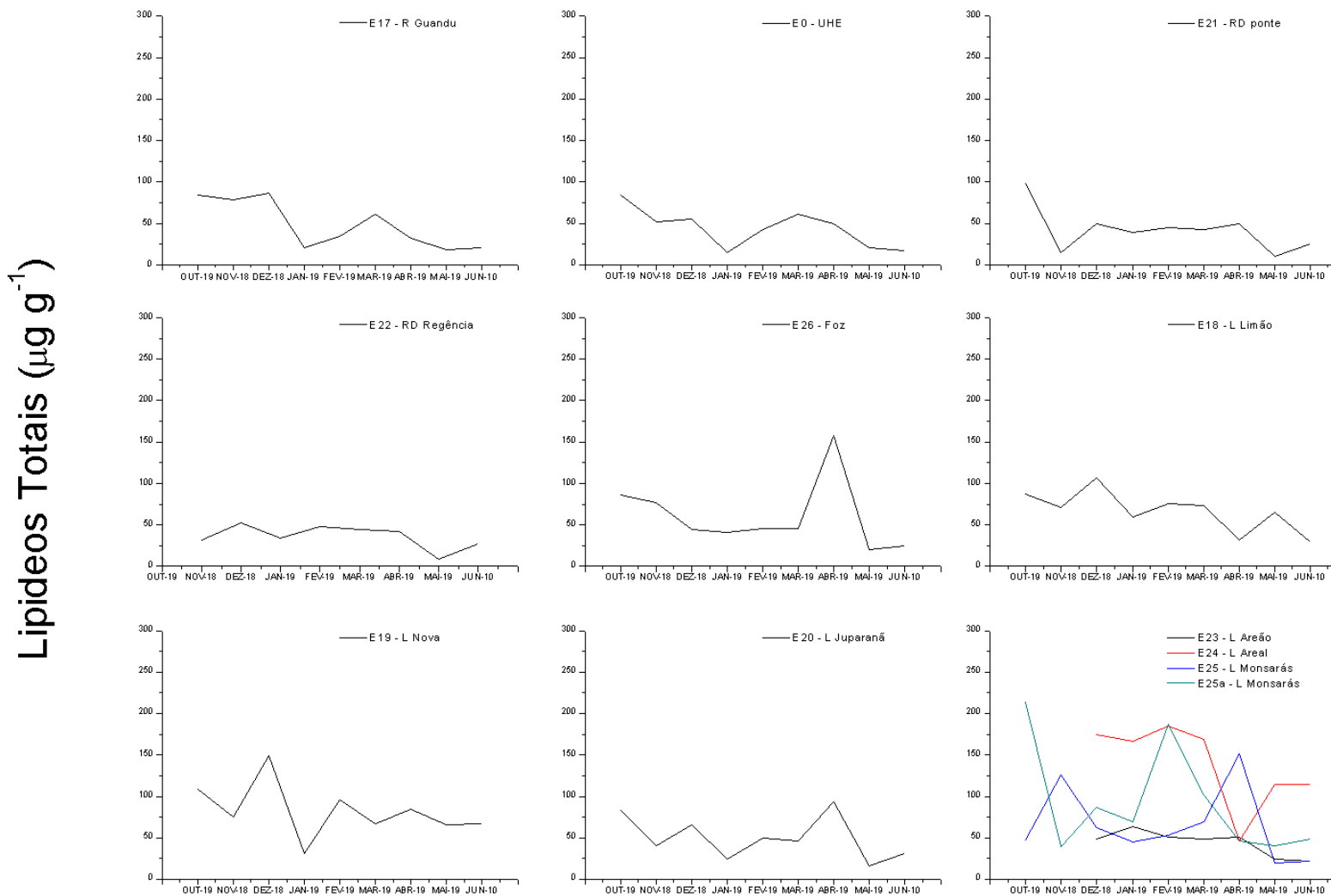
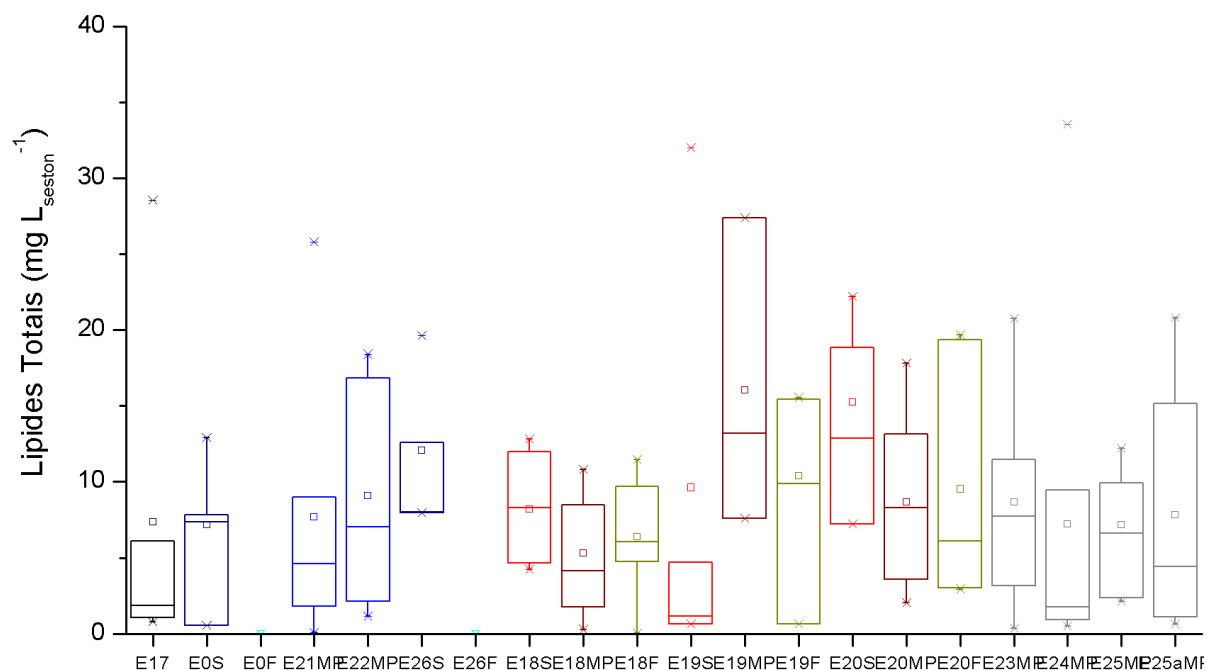


Figura 8: Variação temporal na concentração de lipídeos totais na biomassa em amostras de sedimento das estações amostrais, durante as coletas 1 a 9.



No seston, as concentrações de lipídeos totais (mg L^{-1}) não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as estações amostrais (ANOVA, $F=0.236$, $p=0.995$; Figura 9; Tabela 2). Os valores registrados não ultrapassaram a concentração de 35 mg L^{-1} , estando a maioria localizado abaixo de 10 mg L^{-1} (valores de mediana para Rio Guandú=3,82; Rio Doce=7,85; Lagos=8,29; Lagoas=4,42; Tabela 2). Esses valores estão de acordo com a literatura disponível, que aponta valores de lipídeos totais no seston geralmente inferiores a 10 mg L^{-1} (Parrish et al., 1995; Boëchat e Giani, 2000, 2008).

Figura 9: Concentração de lipídeos totais (mediana, valores mínimo e máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação) em amostras de seston, durante as coletas 1 a 9. Superfície (S), fundo (F), meia profundidade (MP) representam as profundidades de coleta para as diferentes estações amostrais.



No entanto, ao se analisar as concentrações de lipídeos totais na biomassa (carbono sestônico), da mesma forma como observado para as análises de sedimento, observa-se maiores concentrações de lipídeos em estações do Rio Doce, especialmente nas estações mais a jusante, como e22 (montante da foz) e e26 (foz), assim como no tributário (e17, Rio Guandú) (Anova, $F=3.562$, $p<0.05$; Figura 10; Tabela 2). Nestes locais, as concentrações de lipídeos alcançam até mais de 30% do carbono total no seston, um valor tipicamente alto em comparação com dados da literatura (Boëchat e Giani, 2008). No Rio Guandú, os elevados valores de lipídeos podem ser explicados pelas elevadas densidades de fitoplâncton e de cianobactérias encontradas. Já para as amostras de material particulado em suspensão provenientes do Rio Doce, de maneira análoga ao padrão já observado para as amostras de sedimento e, em especial, para estações mais à jusante, a concentração de matéria orgânica pode ser, por um lado, resultado de processos de ressuspensão local e de transporte de material sedimentado, que entra em suspensão durante o transporte rio abaixo. Por outro lado, o aumento nas concentrações de lipídeos na biomassa em suspensão poderia refletir a maior contribuição de material

alóctone nessas estações, e precisa ser investigado em conjunto com os dados biológicos destas estações. Uma análise inicial da densidade de fitoplâncton nos pontos amostrais do Rio Doce revelam valores em geral abaixo daqueles registrados para os sistemas lacustres e lagunares, o que é esperado pela literatura. Assim, é possível que a concentração de lipídeos na biomassa sestônica seja um resultado mais provável de fenômenos de ressuspensão e transporte de sedimentos, caracterizados por matéria orgânica alóctone em decomposição.

Figura 10: Concentração de lipídeos totais na biomassa do seston (mediana, valores mínimo e máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação), durante as coletas 1 a 7. Superfície (S), fundo (F), meia profundidade (MP) representam as profundidades de coleta para as diferentes estações amostrais.

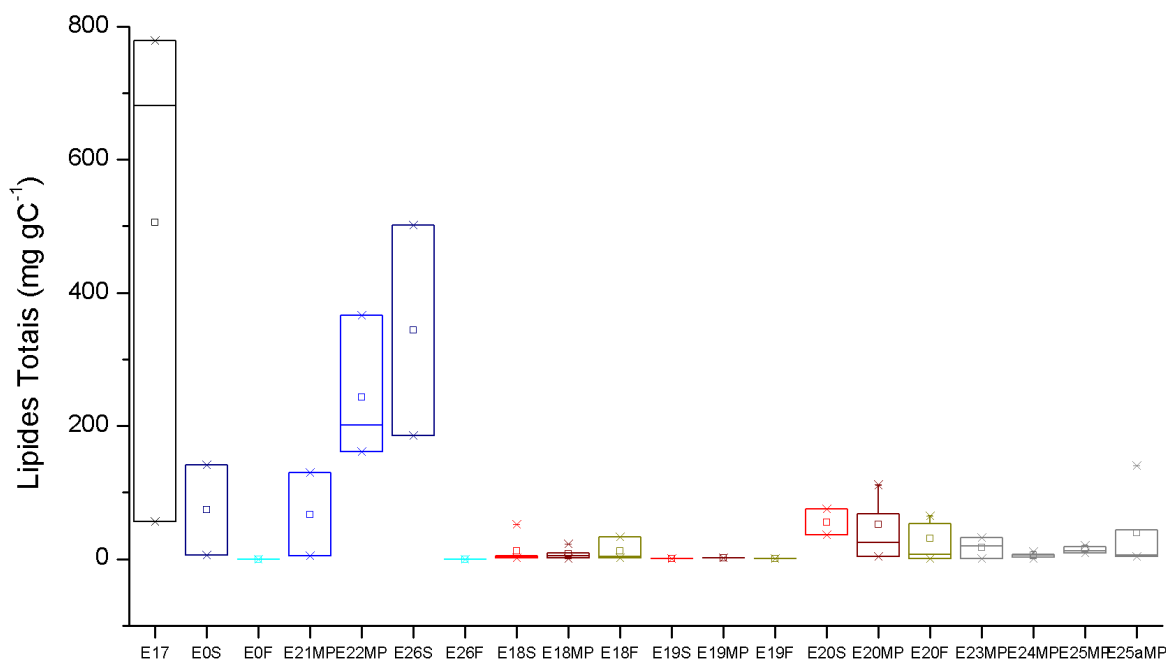


Tabela 2: Concentração (mediana, mín-máx.) de lipídeos totais (Lip. Tot.) no seston ($\text{mg L}^{-1}_{\text{ses}}$) e na biomassa do seston ($\text{mg gC}^{-1}_{\text{sed}}$) nas estações amostrais. Letras distintas representam diferenças estatísticas significativas a 95% de confiança (ANOVA, $F=0,236$ e $F=3,562$, respectivamente; seguido de teste Tukey *a posteriori*).

Sistema	Estação	Profundidade	Lip. Tot. ($\text{mg L}^{-1}_{\text{ses}}$)	Lip. Tot. ($\text{mg gC}^{-1}_{\text{ses}}$)
Rio Tributário	E17 Rio Guandu (tributário-referência)	S	3,82 (0,80-28,57) ^a	680,57 (56,66-779,23) ^b
Rio Doce	E0 Rio Doce - UHE Mascarenhas	S	7,61 (0,54-12,91) ^a	73,60 (5,68-141,51) ^a
	E0	F	ND	ND

Sistema	Estação	Profundidade	Lip. Tot. (mg L ⁻¹ _{ses})	Lip. Tot. (mg gC ⁻¹ _{ses})
	Rio Doce - UHE Mascarenhas			
	E21 Rio Doce - Linhares	MP	4,71 (0,07-25,79) ^a	66,83 (4,31-129,34) ^a
	E22 Rio Doce - calha	MP	7,03 (1,17-18,40) ^a	201,58 (161,48- 365,97) ^{ab}
	E26 Rio Doce - Foz	S	10,31 (7,97-19,66) ^a	343,48 (185,65- 501,31) ^{ab}
	E26 Rio Doce - Foz	F	ND	ND
Mediana, mín-máx (Rio Doce)			7,85 (0,07-25,79)	161,48 (4,31-501,31)
Lagos	E18 Lago Limão	S	8,29 (4,22-12,82) ^a	2,34 (1,56-51,53) ^a
	E18 Lago Limão	MP	4,91 (0,29-10,81) ^a	6,93 (0,60-22,66) ^a
	E18 Lago Limão	F	6,06 (0,03-11,47) ^a	3,18 (1,36-33,18) ^a
	E19 Lago Nova	S	2,93 (0,62-32,02) ^a	0,41 (0,41-0,41) ^a
	E19 Lago Nova	MP	13,20 (7,58-27,39) ^a	2,12 (2,12-2,12) ^a
	E19 Lago Nova	F	12,66 (0,66-15,56) ^a	0,08 (0,08-0,08) ^a
	E20 Lago Juparanã	S	15,84 (7,20-22,19) ^a	55,59 (36,30-74,87) ^a
	E20 Lago Juparanã	MP	8,32 (2,04-17,83) ^a	46,20 (3,27-111,34) ^a
	E20 Lago Juparanã	F	6,11 (2,95-19,69) ^a	29,63 (0,55-64,37) ^a
Mediana, mín-máx (lagos)			8,29 (0,03-32,02)	5,21 (0,08-111,34)
Lagoas	E23 Lagoa do Areão	MP	7,73 (0,35-20,77) ^a	19,32 (0,08-32,14) ^a
	E24 Lagoa do Areal	MP	1,74 (0,48-33,53) ^a	5,65 (1,02-10,87) ^a
	E25 Lagoa Monsarás	MP	8,20 (2,16-12,21) ^a	15,68 (9,38-21,00) ^a
	E25a Lagoa Monsarás	MP	4,42 (0,66-20,81) ^a	6,29 (3,35-139,87) ^a

Sistema	Estação	Profundidade	Lip. Tot. (mg L ⁻¹ _{ses})	Lip. Tot. (mg gC ⁻¹ _{ses})
Mediana, mín-máx (lagoas)			4,42 (0,35-33,53)	9,38 (0,08-139,87)

MP: meia profundidade; S: superfície; F: fundo;

Ao se analisar a variabilidade temporal das concentrações lipídicas na água (Figura 11) e na biomassa (Figura 12), observa-se dois períodos de claro aumento nas concentrações, entre outubro e dezembro de 2018 e entre abril e junho de 2019. Embora não se possa falar de tendências sazonais, pois não possuímos o ciclo completo de dados, percebe-se o efeito do período amostral nas concentrações lipídicas, com aumentos durante a seca que perduram eventualmente até meados da estação chuvosa. Com o avançar do período de chuvas percebe-se um provável efeito de diluição nas concentrações, que voltam a subir com a chegada do próximo período de seca. Esta tendência foi confirmada pelos testes estatísticos realizados com os dados disponíveis até o momento, que apontam para maiores concentrações de lipídeos na água (mg L⁻¹) durante o período de secas (Anova, $F=36.85$, $p<0.05$). Esta mesma tendência foi observada em estudos anteriores (Boëchat e Giani, 2000), sugerindo que as concentrações de compostos bioquímicos no seston são diretamente influenciadas pela vazão e por fatores climáticos, além de representarem alterações nas comunidades planctônicas.

Figura 11: Variação temporal na concentração de lipídeos totais no seston do Rio Guandú e do Rio Doce (painel superior), nos lagos (painel intermediário) e lagoas (painel inferior) durante as coletas 1 a 9.

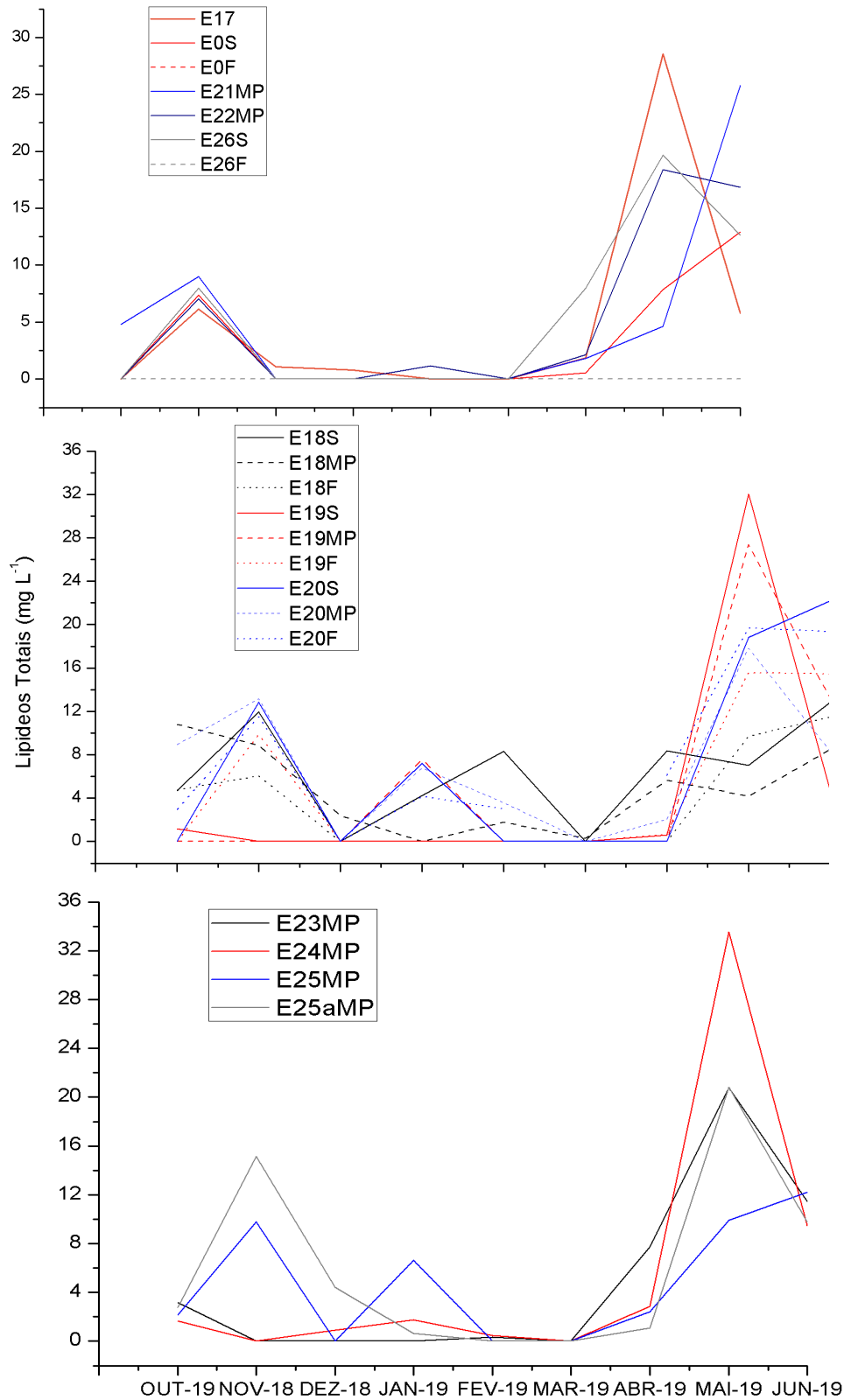
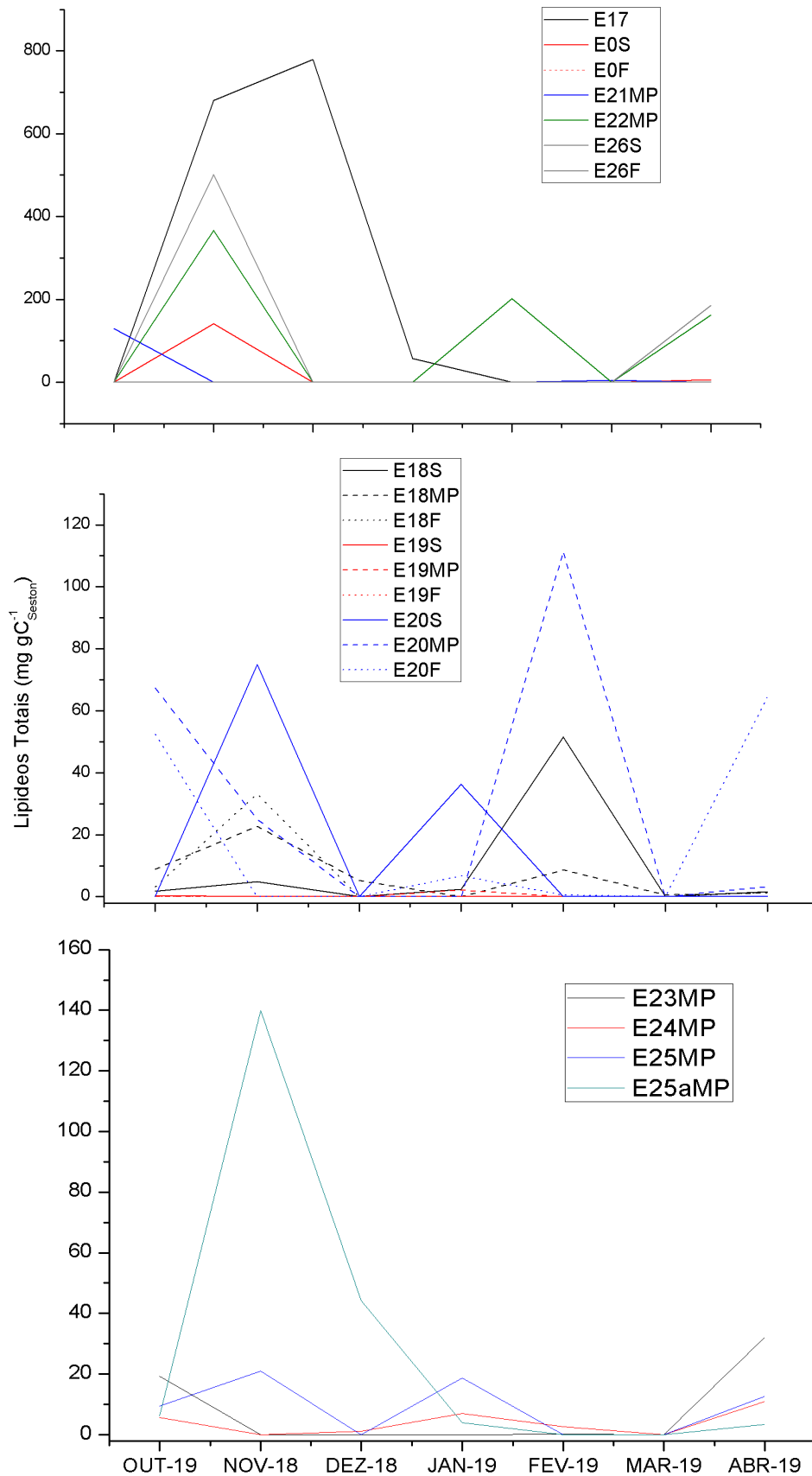


Figura 12: Variação temporal na concentração de lipídeos totais na biomassa do seston do Rio Guandú e do Rio Doce (painel superior), nos lagos (painel intermediário) e lagoas (painel inferior) durante as coletas 1 a 7.



3.2 ÁCIDOS GRAXOS

A análise de ácidos graxos teve início em março de 2019, após a chegada e instalação do equipamento importado adquirido no projeto (Liofilizador), sem o qual não é possível pré-tratar as amostras adequadamente para a extração, primeira fase do procedimento analítico de ácidos graxos. A análise de ácidos graxos é realizada em cromatografia gasosa, de forma que a presença de água nas amostras, mesmo que em quantidade mínimas, interfere com o funcionamento do aparelho e causa erros de medição, que podem se tornar significativos, especialmente no caso de baixas concentrações nas amostras, fato recorrente em amostras de potamoseton, por exemplo. Assim, apenas após a chegada do equipamento foi possível dar início à extração das amostras e ao teste da metodologia em nosso sistema analítico. Até o momento, todas as amostras de sedimento das coletas 1 a 11 foram extraídas, assim como das amostras de seston das coletas 1 a 7. Os extratos foram armazenados para posterior análise cromatográfica, que teve início após a calibração do equipamento. Este foi outro fator complicador para o desenvolvimento das análises: o enorme atraso na chegada das soluções padrão importadas, sem as quais não é possível realizar a calibração do equipamento, a fim de associarmos as medidas feitas (área dos picos gerados nos cromatogramas) às concentrações reais de cada ácido graxo nas amostras de seston e sedimento. Os padrões foram entregues em meados de 2019 e apenas após sua chegada demos início à confecção das curvas de calibração. Aliado à demora na entrega do liofilizador e dos reagentes de padronização analítica, soma-se a demora na entrega de material de laboratório essencial à execução das amostras, e que atrasou consideravelmente a fase de extração das mesmas. Para a extração das amostras necessitamos de uma vidraria especial, denominada balão de fundo cônico para uso em sistema de evaporação rotativa. São gastos 2 balões por amostra a ser extraída. No laboratório, dispomos de 8 destes balões, que são bastante caros e de difícil aquisição, por se tratar de material importado. Sabendo destas dificuldades, a solicitação de compra deste material foi uma das primeiras enviadas pela coordenação do presente sub-projeto à FEST, ainda no final de 2018. Até o presente, após inúmeros percalços com a FEST e com o fornecedor, ainda não recebemos esse material. Estamos trabalhando com nosso material, que também é necessário em outros projetos desenvolvidos em nosso laboratório, incluindo dissertações de alunos e projetos de pesquisa, que possuem, igualmente, prazos para serem finalizados. A utilização compartilhada deste material limita a quantidade de amostras que podemos processar por semana, de forma que a análise, como um todo, fica prejudicada. Até o momento, as amostras da matriz sedimento das coletas 1 a 8 foram processadas e quantificadas por completo. As análises das coletas 9 a 11 se encontram em fase de quantificação. As amostras da matriz água (seston) das coletas 1 a 11 foram processadas, mas ainda estão em fase de quantificação. As amostras das coletas 8 e 9 estão em fase de extração. As amostras da coleta 12 apenas chegaram a nosso laboratório em 17 de outubro, e serão extraídas nos próximos dias. A seguir, apresentamos os resultados das análises de ácidos graxos para a matriz sedimento, referentes às coletas 1 a 8.

Em termos quantitativos (Tabela 3), as concentrações de ácidos graxos totais detectadas nas amostras de sedimentos provenientes das estações dulcícolas foram bastante baixas, em comparação com

valores normalmente encontrados na literatura. Por exemplo, no Rio Nilo as concentrações de ácidos graxos totais no sedimento foram em torno de $200 \mu\text{g gSED}^{-1}$ (Saad et al., 2016). No Rio das Mortes, localizado na bacia do Rio Grande em Minas Gerais, foram medidas concentrações igualmente em torno de $200 \mu\text{g gPOM}^{-1}$ (Boëchat et al., 2014). Concentrações tão baixas no sedimento podem representar (i) uma baixa concentração de matéria orgânica no sedimento, que pode se apresentar majoritariamente inorgânico, em função do maior transporte e/ou deposição de material mineral; tal fato encontra suporte nas concentrações de COT e NT, bastante baixas no sedimento de todos os sistemas em comparação com a literatura, conforme relatado anteriormente nesse relatório; (ii) alternativamente, o rápido processamento de matéria orgânica pode resultar em valores mais baixos de ácidos graxos e valores de isotopia de C mais elevados, fato este também detectado nas amostras provenientes do Rio Doce neste estudo.

As maiores concentrações de lipídeos totais foram detectadas nas estações do Rio Doce (em média $3,09 \mu\text{g gSED}^{-1}$), sobretudo na foz (e26), quando comparado aos lagos ($1,58 \mu\text{g gSED}^{-1}$) e lagoas ($2,78 \mu\text{g gSED}^{-1}$) e ao tributário de referência, Rio Guandú ($1,95 \mu\text{g gSED}^{-1}$), assim como a amostras de rejeito provenientes da Mina do Fundão ($1,75 \mu\text{g gSED}^{-1}$). Esse fato corrobora as maiores concentrações de lipídeos totais encontradas no sedimento das amostras do Rio Doce. Os maiores valores médios foram detectados na foz do Rio Doce, o que pode indicar um padrão de acúmulo e processamento de matéria orgânica ao longo do trajeto do Rio.

Em termos qualitativos, de uma maneira geral foram detectados apenas ácidos graxos saturados (cujas moléculas apresentam apenas ligações simples), com 12 a 22 carbonos (Tabela 3), e predominância dos ácidos graxos com menos de 20 carbonos: mirístico (C14:0), palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0). Ocasionalmente foram detectados os ácidos láurico (C12:0), araquídico (C20:0) e behênico (C22:0), além dos ácidos graxos de cadeia ímpar pentadecanóico (C15:0) e margárico (C17:0). Enquanto os ácidos graxos C16:0 e C18:0 são considerados mais abundantes na maioria dos organismos planctônicos, sobretudo de natureza autóctone, ácidos graxos saturados de cadeia longa ($\geq 20\text{C}$) são considerados marcadores da presença de material vegetal externo, de origem terrestre, enquanto os ácidos graxos de cadeia ímpar são frequentemente mais abundantes em bactérias (Volkman et al., 1980, 1988; Guan et al., 2019). A dominância de ácidos graxos saturados de cadeia curta ($\leq 18\text{C}$), com número par de átomos de carbono, indica uma provável dominância de matéria orgânica autóctone, de origem interna, ou de elevadas taxas de processamento de matéria orgânica no sedimento do Rio Doce, fato este corroborado pelos altos valores de isotopia de C detectados no sedimento deste sistema e pela composição do rejeito, que também apresentou apenas os ácidos graxos C16:0 e C18:0.

O único ácido graxo insaturado (molécula contendo uma única ligação dupla) detectado nas amostras de sedimento analisadas até o momento, foi o ácido erúico (C22:1 ω 9), ácido graxo comumente encontrado em sementes e óleos de vegetais superiores, principalmente de plantas da família das Brassicas, como couve e mostarda. Seus usos industriais incluem a produção de emolientes e lubrificantes, matrizes orgânicas diversas e como óleo de transmissão (devido à elevada resistência a

altas temperaturas). A sua presença em amostras de sedimento da foz do Rio Doce, em concentrações mais elevadas, pode indicar a presença de material vegetal terrestre em processamento, fato este corroborado pela presença de concentrações mais elevadas de ácidos graxos saturados de cadeia longa, com mais de 20 átomos de carbono (C20 e C22).

Portanto, até o presente, tendo por base as amostras já analisadas de ácidos graxos no sedimento, é possível estimar que as baixas concentrações medidas indiquem ausência de biomassa orgânica considerável no sedimento das amostras analisadas, ou o rápido processamento desta fração. Ambas as possibilidades encontram respaldo nas análises de COT e de isotopia de C, e poderiam ser o resultado de alterações no metabolismo dos sistemas estudados, com o favorecimento de processos de decomposição e de transporte de material inorgânico.

Tabela 3: Concentração (mediana, mín-máx.) de ácidos graxos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) e totais no sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}_{\text{sed}}$) nas estações amostrais durante as coletas 1 a 8.

Sistema	Estação	C12:0	C14:0	C15:0	C16:0	C18:0	C20:0	C22:0	C22:1 ω 9	SFA ($\mu\text{g g}^{-1}_{\text{sed}}$)	MUFA ($\mu\text{g g}^{-1}_{\text{sed}}$)	Total ($\mu\text{g g}^{-1}_{\text{sed}}$)
Rio Tributário	E17 Rio Guandu (tributário-referência)		0,05 (0,00-0,07)		0,52 (0,35-2,37)	0,67 (0,40-3,14)				1,08 (0,01-5,59)		1,08 (0,01-5,59)
Rio Doce	E0 Rio Doce - UHE Mascarenhas	0,01 (0,01-0,01)	0,06 (0,04-0,07)		1,02 (0,30-2,10)	1,50 (0,24-2,99)				2,55 (0,55-5,13)		2,55 (0,55-5,13)
	E21 Rio Doce - Linhares		0,07 (0,05-0,09)	0,01 (0,01-0,01)	0,94 (0,32-3,56)	1,13 (0,50-5,43)				2,03 (0,83-9,08)		2,03 (0,83-9,08)
	E22 Rio Doce - calha		0,05 (0,00-0,09)		1,09 (0,48-3,60)	1,48 (0,84-5,49)				2,59 (1,32-9,19)		2,59 (1,32-9,19)
	E26 Rio Doce - Foz	0,08 (0,08-0,08)	0,08 (0,03-0,26)	0,01 (0,01-0,32)	2,02 (0,60-3,36)	2,68 (0,87-3,71)	0,36 (0,36-0,36)	0,23 (0,23-0,23)	0,11 (0,11-0,11)	5,06 (1,50-6,94)	0,11 (0,11-0,11)	5,17 (1,50-6,94)

Tabela 3 (cont.): Concentração (mediana, mín-máx.) de ácidos graxos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) e totais no sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}_{\text{sed}}$) nas estações amostrais durante as coletas 1 a 8.

Letras distintas representam diferenças estatísticas significativas entre as estações amostrais a 95% de confiança (ANOVA, $F=0,236$ e $F=3,562$, respectivamente; seguido de teste Tukey a posteriori).

Lagos	E18 Lago Limão	0,01 (0,01- 0,01)	0,05 (0,02- 0,29)	0,01 (0,01- 0,01)	0,73 (0,34- 2,82)	0,89 (0,34- 3,73)		0,01 (0,01- 0,01)		1,80 (0,71- 6,64)		1,80 (0,71- 6,64)
	E19 Lago Nova	0,01 (0,01- 0,01)	0,07 (0,05- 0,46)	0,02 (0,01- 0,04)	0,71 (0,42- 2,68)	0,74 (0,49- 3,60)			0,16 (0,16- 0,16)	1,49 (1,39- 6,94)	0,16 (0,16- 0,16)	1,53 (1,40- 6,39)
	E20 Lago Juparanã		0,06 (0,04- 0,08)	0,01 (0,01- 0,01)	0,57 (0,28- 3,22)	0,73 (0,39- 4,34)			0,18 (0,18- 0,18)	1,32 (0,67- 7,64)	0,18 (0,18- 0,18)	1,41 (0,67- 7,64)
Lagoas	E23 Lagoa do Areão		0,06 (0,04- 0,23)	0,01 (0,01- 0,01)	1,44 (0,46- 2,62)	1,84 (0,65- 3,48)			0,10 (0,10- 0,10)	3,36 (1,15- 6,17)	0,10 (0,10- 0,10)	3,36 (1,15- 6,17)
	E24 Lagoa do Areal	0,01 (0,01- 0,01)	0,06 (0,04- 0,38)	0,02 (0,01- 0,02)	0,88 (0,43- 2,83)	0,85 (0,44- 3,19)	0,01 (0,01- 0,01)		0,09 (0,09- 0,09)	1,93 (0,92- 6,14)	0,09 (0,09- 0,09)	2,02 (0,92- 6,14)
	E25 Lagoa Monsarás		0,05 (0,04- 0,19)	0,03 (0,01- 0,04)	1,16 (0,54- 2,46)	1,59 (0,71- 3,24)				2,76 (1,37- 5,74)		2,76 (1,37- 5,74)
	E25a Lagoa Monsarás		0,08 (0,05- 0,26)	0,03 (0,01- 0,03)	1,48 (0,79- 3,13)	1,32 (0,88- 4,40)	0,12 (0,12- 0,12)	0,04 (0,04- 0,04)		2,98 (1,72- 7,62)		2,98 (1,72- 7,62)

4 REFERÊNCIAS

- Boëchat, I.G., Giani, A. (2000) Factors affecting biochemical composition of seston in an eutrophic reservoir (Pampulha reservoir, Belo Horizonte, MG). *Revista Brasileira de Biologia*, 60(1), 63-71.
- Boëchat, I.G., Giani, A. (2008) Seasonality affects diel cycles of seston biochemical composition in a tropical reservoir. *Journal of Plankton Research*, 30(12), 1417-1430.
- Boëchat, I.G., Kruger, A., Chaves, R. C., Graeber, D. & Gücker, B. (2014) Land-use impacts on fatty acid profiles of suspended particulate organic matter along a larger tropical river. *Science of the Total Environment* 482, 62-70.
- Finlay, J. C., & Kendall, C. (2007). Stable isotope tracing of temporal and spatial variability in organic matter sources to freshwater ecosystems. Pp. 283–333 In: Michener, R., & Lajtha, K. *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Blackwell Publishing
- Fry, B. (2006). *Stable isotope ecology*. Springer, 308 p.
- Guan, H.X., Chen, L.Y., Luo, M., Liu, L.H., Mao, S.Y., Ge, H.M., et al. (2019) Composition and origin of lipid biomarkers in the surface sediments from the southern Challenger Deep, Mariana Trench. *Geoscience Frontiers*, 10, 351–60.
- Lorente, F. L., Pessenda, L. C. R., Oboh-Ikuenobe, F., Junior, A. A. B., de Fátima Rossetti, D., Giannini, P. C. F., Cohen, M. C. E., de Oliveira, P.E., Mayle, F. D., Francisquini, M. I., França, M. C., Bendassolli, J. A., & Macario, K. (2018). An 11,000-year record of depositional environmental change based upon particulate organic matter and stable isotopes (C and N) in a lake sediment in southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 84, 373-384.
- Meyers, P. A., Eadie, B. J. (1993) Sources, degradation and recycling of organic matter associated with sinking particles in lake Michigan. *Organic Geochemistry*, 20, 47-56.
- Parrish, C.C., McKenzie, C.H., MacDonald, B.A., Hatfield, E.A. (1995) Seasonal studies of seston lipids in relation to microplankton species composition and scallop growth in South Broad Cove, Newfoundland. *Marine Ecology Progress Series*, 129, 151–164.
- Pusceddu, A., Dell'Anno, A., Fabiano, M., Danovaro, R. (2009) Quantity and bioavailability of sediment organic matter as signatures of benthic trophic status. *Marine Ecology Progress Series*, 75, 41– 52.
- Richey, J. E., Brock, J. T., Naiman, R. J., Wissmar, R. C., & Stallard, R. F. (1980) Organic carbon: oxidation and transport in the Amazon River. *Science*, 207, 1348-1351.
- Robinson, N., Cranwell, P. A., Finlay, B. J., Eglinton, G. (1984) Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments. *Organic Geochemistry* 6,143-152.

- Saad, M., Mahmoud, A. M. A. & Ali, M. H. H. (2016) Fatty Acids composition and sources of organic matter in surface sediments of four River Nile sub-branches, Egypt. *Journal of Fisheries and Aquatic Science* 11, 216-224.
- Schlesinger, W. H., & Melack, J. M. (1981) Transport of organic carbon in the world's rivers. *Tellus*, 33, 172-187.
- Silva, F. S., Bitencourt, J. A. P., Savergnini, F., Guerra, L. V., Neto, J. A. B. & Crapez, M. A. C. (2011) Bioavailability of Organic Matter in the Superficial Sediment of Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 34, 52-63.
- Silva, D. D. C., Bellato, C. R., Marques Neto, J. D. O., & Fontes, M. P. (2018). Trace elements in river waters and sediments before and after a mining dam breach (Bento Rodrigues, Brazil). *Química Nova*, 41, 857-866.
- Sturner, R. W., & Elser, J. J. (2002) *Ecological stoichiometry: The biology of elements from molecules to the biosphere*. Princeton University Press, 439 p.
- Volkman, J. K., Johns, R. B., Gillan, F.T., Perry, G. J., Bavor Jr., H. J. (1980) Microbial lipids of an intertidal sediment. Fatty acids and hydrocarbons. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44, 1133-1143.
- Volkman, J. K., Jeffrey, S. W., Nichols, P. D., Rogers, G. I., Garland, C. D. (1988) Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 128, 219-240.