

**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 – Limnologia**

**RT-18B 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

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>23</b>  |
| <b>2</b> | <b>METODOLOGIA</b> .....   | <b>24</b>  |
| 2.1      | COLUNA D'ÁGUA .....  | 26         |
| 2.1.1    | <b>Amostragem em campo</b> .....   | <b>26</b>  |
| 2.1.2    | <b>Análises laboratoriais</b> .....                                      | <b>27</b>  |
| 2.2      | SEDIMENTO .....  | 28         |
| 2.2.1    | <b>Amostragem em campo</b> .....   | <b>28</b>  |
| 2.2.2    | <b>Análises laboratoriais</b> .....                                      | <b>28</b>  |
| 2.3      | TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS .....                                   | 30         |
| 2.3.1    | <b>Estatística descritiva</b> .....                                      | <b>30</b>  |
| 2.3.2    | <b>Variabilidade espacial e temporal</b> .....                           | <b>30</b>  |
| <b>3</b> | <b>RESULTADOS</b> .....  | <b>30</b>  |
| 3.1      | AMBIENTE FLUVIAL: RIO GUADU E CALHA DO RIO DOCE .....                    | 30         |
| 3.1.1    | <b>Parâmetros físicos nos cursos d'água</b> .....                        | <b>31</b>  |
| 3.1.2    | <b>Parâmetros físico-químicos nos cursos d'água</b> .....                | <b>33</b>  |
| 3.1.3    | <b>Parâmetros hidroquímicos nos cursos d'água</b> .....                  | <b>38</b>  |
| 3.1.4    | <b>Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos no sedimento</b> ..... | <b>60</b>  |
| 3.1.5    | <b>Fluxos de nutrientes</b> .....  | <b>69</b>  |
| 3.2      | AMBIENTE LACUSTRE: LAGOS .....   | 75         |
| 3.2.1    | <b>Parâmetros físicos na coluna d'água</b> .....                         | <b>75</b>  |
| 3.2.2    | <b>Parâmetros físico-químicos na coluna d'água</b> .....                 | <b>84</b>  |
| 3.2.3    | <b>Parâmetros hidroquímicos na coluna d'água</b> .....                   | <b>101</b> |
| 3.2.4    | <b>Sedimento</b> .....   | <b>124</b> |
| 3.3      | AMBIENTE LACUSTRE: LAGOAS .....  | 132        |
| 3.3.1    | <b>Parâmetros físicos na coluna d'água</b> .....                         | <b>132</b> |

|              |  |            |
|--------------|--|------------|
| <b>3.3.2</b> | <b>Parâmetros físico-químicos na coluna d'água .....</b>   | <b>134</b> |
| <b>3.3.3</b> | <b>Parâmetros hidroquímicos na coluna d'água.....</b>  | <b>138</b> |
| <b>3.3.4</b> | <b>Integração do sistema lacustre costeiro.....</b>  | <b>146</b> |
| <b>3.3.5</b> | <b>Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos do sedimento .....</b>   | <b>167</b> |
| <b>3.3.6</b> | <b>Integração para o sedimento do sistema lacustre raso (costeiro): Lagoa do Areão (E23), Lagoa do Areal (E24) e Lagoa Monsarás (E25 e E25a) .....</b> | <b>170</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>INDICADORES DE IMPACTO .....</b>  | <b>175</b> |
| <b>4</b>     | <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>184</b> |
| <b>5</b>     | <b>APÊNDICE.....</b>   | <b>186</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Estações amostrais do Anexo 3 dulcícola no Baixo Rio Doce (ES).....  | 25 |
| Figura 2: Variação mensal de parâmetros físicos turbidez (A), material particulado em suspensão (B) e transparência (C), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. Linha tracejada vermelha representa o limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005.....  | 49 |
| Figura 3: Variação mensal de parâmetros físico-químicos salinidade (A) e condutividade elétrica (B), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 51 |
| Figura 4: Variação mensal de parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido (A), potencial redox (B) e pH (C), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. ....   | 52 |
| Figura 5: Variação mensal de parâmetros químicos alcalinidade total (A), carbono orgânico total (B), fósforo total (C) e fosfato (D), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. ....                              | 56 |
| Figura 6: Variação mensal de parâmetros químicos nitrogênio total (A), nitrato (B), nitrito (C) e amônio (D), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 57 |
| Figura 7: Variação mensal de parâmetros químicos silicato (A) e clorofila a (B), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 58 |
| Figura 8: Box-plots para diferenças entre as Estações Amostrais no rio Guandu e no rio Doce, das concentrações de nitrito (A), amônio (B) e clorofila a (C). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes..... | 59 |
| Figura 9: Box-plots para diferenças entre as Estações Amostrais no rio Guandu e no rio Doce, das concentrações de clorofila a. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.....                            | 60 |
| Figura 10: Variação mensal da densidade do sedimento (A), pH (B) e condutividade elétrica (C), mensurados no sedimento do sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.....  | 67 |
| Figura 11: Variação mensal da matéria orgânica (A) e fósforo na água intersticial (B), mensurados no sedimento do sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 68 |
| Figura 12: Box-plots para diferenças entre as Estações Amostrais no rio Guandu e no rio Doce, da porcentagem de matéria orgânica no sedimento. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.....               | 69 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 13: Variação dos fluxos de N e P (t/d) e vazão (m <sup>3</sup> /s) na estação E21. ....  | 71 |
| Figura 14: Variação dos fluxos de NID, SiD e PID (t/d) e vazão (m <sup>3</sup> /s) na estação E21. ....   | 71 |
| Figura 15: Box-plots de exportação de fósforo total (P), nitrogênio total (N) e silício inorgânico dissolvido (SiD) em t/d para estação amostral E21 na calha do Rio Doce. ....   | 72 |
| Figura 16: Diagramas de profundidade/tempo para a temperatura (A) e turbidez (B), mensurados na coluna d'água da lagoa do Limão (E18), entre 10/2018 e 09/2019.. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura. ....  | 76 |
| Figura 17: Box-plots para diferenças entre as profundidades no lago do Limão (E18), para a temperatura. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. ....  | 77 |
| Figura 18: Box-plots para diferenças entre as profundidades no lago do Limão (E18), para os parâmetros físicos turbidez (A) e material particulado em suspensão (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. .... | 78 |
| Figura 19: Diagramas de profundidade/tempo para a temperatura (A) e turbidez (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Nova (E18), entre 10/2018 e 09/2019.. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura. ....  | 80 |
| Figura 20: Box-plots para diferenças entre as profundidades no lago Nova (E19), para os parâmetros físicos temperatura (A) e turbidez (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. ....                           | 81 |
| Figura 21: Diagramas de profundidade/tempo para a temperatura (A) e turbidez (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura. ....   | 83 |
| Figura 22: Diagramas de profundidade/tempo para a concentração de oxigênio dissolvido (A) e o potencial redox (B), mensurados na coluna d'água da lagoa do Limão (E18), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura. ....  | 86 |
| Figura 23: Diagramas de profundidade/tempo para pH (A) e a condutividade elétrica (B), mensurados na coluna d'água da lagoa do Limão (E18), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura. ....  | 87 |
| Figura 24: Box-plots para diferenças entre as profundidades no lago do Limão (E18), para o pH. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. ....   | 88 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 25: Diagramas de profundidade/tempo para a concentração de oxigênio dissolvido (A) e o potencial redox (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Nova (E18), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura. ....  | 91  |
| Figura 26: Diagramas de profundidade/tempo para pH (A) e a condutividade elétrica (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Nova (E18), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura. ....  | 92  |
| Figura 27: Box-plots para diferenças entre as profundidades na lagoa Nova (E19), para o parâmetro físico-químico oxigênio dissolvido. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e C Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. ....                                | 93  |
| Figura 28: Box-plots para diferenças entre as profundidades na lagoas Nova (E19), para os parâmetros físico-químicos pH (A) e condutividade elétrica (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e C Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.....             | 94  |
| Figura 29: Diagramas de profundidade/tempo para a concentração de oxigênio dissolvido (A) e o potencial redox (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.....   | 97  |
| Figura 30: Diagramas de profundidade/tempo para pH (A) e a condutividade elétrica (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.....   | 98  |
| Figura 31: Box-plots para diferenças entre as profundidades na lagoa Juparanã (E20), para os parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido (A) e potencial Redox (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. .... | 99  |
| Figura 32: Box-plots para diferenças entre as profundidades na lagoa Juparanã (E20), para o parâmetro físico-químico pH. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. ....   | 100 |
| Figura 33: Diagrama de profundidade/tempo para a concentração de clorofila a, mensurada na coluna d'água da lagoa do Limão (E18), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.....   | 103 |
| Figura 34: Box-plots para diferenças entre as profundidades na lagoa Nova (E19), para a concentração de clorofila a. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.....  | 106 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 35: Diagrama de profundidade/tempo para a concentração de clorofila a, mensurada na coluna d'água da lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.....   | 107 |
| Figura 36: Diagrama de profundidade/tempo para a concentração de clorofila a, mensurada na coluna d'água da lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.....   | 110 |
| Figura 37: Variação mensal da transparência da água no sistema lacustre profundo (lagos), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 111 |
| Figura 38: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para os parâmetros físicos transparência (A) e turbidez (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.....  | 112 |
| Figura 39: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para o parâmetro físico material particulado em suspensão. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.....  | 113 |
| Figura 40: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para o parâmetro físico-químico oxigênio dissolvido. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. As linhas vermelhas e tracejadas representam os limites mínimos estabelecidos pela Resolução CONAM 357/2005. ....  | 116 |
| Figura 41: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para os parâmetros físico-químicos pH (A) e condutividade elétrica (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. As linhas vermelhas e tracejadas representam os limites mínimos e máximos para o pH, estabelecidos pela Resolução CONAM 357/2005..... | 117 |
| Figura 42: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para os parâmetros químicos alcalinidade total (A) e carbono orgânico total (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.....  | 120 |
| Figura 43: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para os parâmetros fósforo total (A) e fosfato (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. As linhas vermelhas e tracejadas representam os limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAM 357/2005. ....   | 121 |

- Figura 44: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para os parâmetros químicos nitrogênio total (A) e silicato (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes..... 122
- Figura 45: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para as concentrações de clorofila a. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. .... 123
- Figura 46: Variação mensal da densidade (A), pH (B) e condutividade elétrica (C), mensurados no sedimento do sistema lacustre profundo (lagos), entre 10/2018 e 09/2019. .... 129
- Figura 47: Variação mensal da matéria orgânica (A) e fosfato na água intersticial (B), mensurados no sedimento do sistema lacustre profundo (lagos), entre 10/2018 e 09/2019. .... 130
- Figura 48: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para a condutividade elétrica. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis. .... 131
- Figura 49: Variação mensal de parâmetros físicos transparência (A), turbidez (B), material particulado em suspensão (C) e temperatura (D), mensurados no sistema lacustre profundo (lagos), 10/2018 e 09/2019. Linha tracejada vermelha representa o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. .... 147
- Figura 50: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para o parâmetro físico transparência. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes..... 148
- Figura 51: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros físicos turbidez (A) e material particulado em suspensão (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. As linhas vermelhas e tracejadas representam os limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAM 357/2005. .... 149
- Figura 52: Variação mensal de parâmetros físico-químicos salinidade (A), oxigênio dissolvido (B), pH (C), condutividade elétrica (D) e potencial redox (E), mensurados no sistema lacustre raso (costeiro), entre 10/2018 e 09/2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005..... 152
- Figura 53: Variação mensal de parâmetros físico-químicos pH (A) e condutividade elétrica (B), mensurados no sistema lacustre raso (costeiro), entre outubro de 2018 e setembro de 2019. 10/2018 e

|  |     |
|--|-----|
| 09/2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.....  | 153 |
| Figura 54: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros físico-químicos salinidade (A), pH (B) condutividade elétrica (C) e potencial Redox (D). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.....   | 154 |
| Figura 55: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros físico-químicos pH (A) e condutividade elétrica (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. (.....  | 155 |
| Figura 56: Variação mensal de parâmetros químicos alcalinidade total (A) e carbono orgânico total (B), mensurados no sistema lacustre costeiro, entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 158 |
| Figura 57: Variação mensal de parâmetros químicos fósforo total (A), fosfato (B) e silicato (C), mensurados no sistema lacustre costeiro, entre 10/2018 e 09/2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. ....   | 159 |
| Figura 58: Variação mensal de parâmetros químicos nitrogênio total (A), nitrato (B), nitrito (C) e amônio (D), mensurados no sistema lacustre costeiro, entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 160 |
| Figura 59: Variação mensal da clorofila a, mensurada no sistema lacustre costeiro, entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 161 |
| Figura 60: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros químicos alcalinidade total (A) e fósforo total (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. Para o fósforo total, o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAM 357/2005 é de 30,00 µg/L, com a linha de referência não sendo representada no gráfico B. .... | 162 |
| Figura 61: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para o parâmetro químico silicato. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.....  | 163 |
| Figura 62: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros químicos nitrogênio total (A) e nitrato (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.....   | 164 |

- Figura 63: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros químicos nitrito (A) e amônio (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes..... 165
- Figura 64: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para a concentração de clorofila a. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes..... 166
- Figura 65: A) Variação mensal da densidade do sedimento do sistema lacustre costeiro, entre 10/2018 e 09/2019; B) Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para a densidade do sedimento. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes..... 172
- Figura 66: Variação mensal dos parâmetros pH (A) e condutividade elétrica (B), matéria orgânica (C) e fosfato na água intersticial (D), mensurados no sedimento do sistema lacustre raso (costeiro), entre 10/2018 e 09/2019. .... 173
- Figura 67: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros do sedimento condutividade elétrica (A) e matéria orgânica (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. .... 174
- Figura 68: Box-plots para diferenças entre os períodos chuvosos dos anos de 2006 a 2019, para os parâmetros turbidez (A) e sólidos totais dissolvidos (B), mensurados ao longo do rio Doce. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis..... 178
- Figura 69: Box-plots para diferenças entre os períodos chuvosos dos anos de 2006 a 2019, para os parâmetros condutividade elétrica (A) e pH (B), mensurados ao longo do rio Doce. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis..... 181
- Figura 70: Box-plots para diferenças entre os períodos chuvosos dos anos de 2006 a 2019, para a concentração de fósforo total, mensurada ao longo do rio Doce. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis..... 183

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Coordenadas das estações amostrais do Anexo 3 dulcícola no Baixo Rio Doce (ES). .....   | 25 |
| Tabela 2: Parâmetros morfométricos dos ecossistemas lacustres.....  | 26 |
| Tabela 3: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no rio Guandu (E17), entre 10/2018 e 09/2019. ....                                   | 31 |
| Tabela 4: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no rio Doce (E0), entre 10/2018 e 09/2019. ....                                      | 32 |
| Tabela 5: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no rio Doce (E21), entre 10/2018 e 09/2019. ....                                     | 32 |
| Tabela 6: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no rio Doce (E22), entre 10/2018 e 09/2019. ....                                     | 32 |
| Tabela 7: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no rio Doce (E26), entre 10/2018 e 09/2019. ....                                     | 33 |
| Tabela 8: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no rio Guandu (E17), entre 10/2018 e 09/2019. ....                           | 35 |
| Tabela 9: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no rio Doce (E0), entre 10/2018 e 09/2019. ....                              | 35 |
| Tabela 10: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no rio Doce (E21), entre 10/2018 e 09/2019. ....                            | 36 |
| Tabela 11: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no rio Doce (E22), entre 10/2018 e 09/2019. ....                            | 36 |
| Tabela 12: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no rio Doce (E26), entre 10/2018 e 09/2019. ....                            | 37 |
| Tabela 13: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no rio Guandu (E17), entre 10/2018 e 09/2019. ....                                   | 39 |
| Tabela 14: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no rio Guandu (E17), entre 10/2018 e 09/2019. .... | 39 |
| Tabela 15: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no rio Doce (E0), entre 10/2018 e 09/2019. ....                                      | 41 |
| Tabela 16: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no rio Doce (E0), entre 10/2018 e 09/2019. ....    | 41 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 17: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no rio Doce (E21), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 43 |
| Tabela 18: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no rio Doce (E21), entre 10/2018 e 09/2019. ....                        | 43 |
| Tabela 19: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no rio Doce (E22), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 45 |
| Tabela 20: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no rio Doce (E22), entre 10/2018 e 09/2019. ....                        | 45 |
| Tabela 21: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no rio Doce (E26), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 47 |
| Tabela 22: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no rio Doce (E26), entre 10/2018 e 09/2019. ....                        | 47 |
| Tabela 23: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 48 |
| Tabela 24: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 51 |
| Tabela 25: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 55 |
| Tabela 26: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. ....                       | 55 |
| Tabela 27: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do rio Guandu (E17), entre 10/2018 e 09/2019. ....                | 62 |
| Tabela 28: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do rio Doce (Itapina - E0), entre 10/2018 e 09/2019. ....         | 62 |
| Tabela 29: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do rio Doce (Linhares E21), entre 10/2018 e 09/2019. ....         | 63 |
| Tabela 30: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do rio Doce (Jusante Linhares E22), entre 10/2018 e 09/2019. .... | 63 |
| Tabela 31: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do rio Doce (E26), entre 10/2018 e 09/2019. ....                  | 64 |
| Tabela 32: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. ....                 | 66 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 33: Fluxos de fósforo total (P), fósforo inorgânico dissolvido (PID), nitrogênio total (N), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e silício inorgânico dissolvido (SiD) em t/d da estação amostral E21 no Rio Doce.....                                | 70  |
| Tabela 34: Estatística descritiva para os fluxos de fósforo total (P), fósforo inorgânico dissolvido (PID), nitrogênio total (N), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e silício inorgânico dissolvido (SiD) em t/d da estação amostral E21 no Rio Doce..... | 72  |
| Tabela 35: Produção anual (t) e produção anual específica (kg/km <sup>2</sup> ) de fósforo (P), nitrogênio (N) e silício inorgânico dissolvido (SiD) em kg/km <sup>2</sup> para área de drenagem a montante da estação amostral E21 no rio Doce.....           | 73  |
| Tabela 36: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados na lagoa do Limão (E8), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 75  |
| Tabela 37: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 79  |
| Tabela 38: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no lago Juparanã (E20), entre 10/2018 e 08/2019. ....   | 82  |
| Tabela 39: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no lago do Limão (E18), entre outubro de 2018 e setembro de 2019.....  | 85  |
| Tabela 40: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados na lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 90  |
| Tabela 41: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no lago Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019.....   | 96  |
| Tabela 42: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa do Limão (E8), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 102 |
| Tabela 43: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa do Limão (E8), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 102 |
| Tabela 44: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 105 |
| Tabela 45: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 105 |
| Tabela 46: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 109 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 47: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. ....                               | 109 |
| Tabela 48: Estatística descritiva integrada para os parâmetros físicos, mensurados no sistema lacustre profundo, entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 111 |
| Tabela 49: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no sistema lacustre (lagos), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 115 |
| Tabela 50: Estatística descritiva para parâmetros químicos, no sistema lacustre (lagos), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 119 |
| Tabela 51: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no sistema lacustre (lagos), entre 10/2018 e 09/2019. ....                           | 119 |
| Tabela 52: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa do Limão (E8), entre 10/2018 e 09/2019. ....                          | 125 |
| Tabela 53: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019. ....                             | 125 |
| Tabela 54: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do lago Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. ....                          | 126 |
| Tabela 55: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados de forma integrada no sedimento do sistema lacustre profundo, entre 10/2018 e 09/2019. .... | 128 |
| Tabela 56: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados na lagoa do Areão (E23), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 133 |
| Tabela 57: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados na lagoa do Areal (E24), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 133 |
| Tabela 58: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados na lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 133 |
| Tabela 59: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados na lagoa Monsarás (E25a), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 134 |
| Tabela 60: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados na lagoa do Areão (E23), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 136 |
| Tabela 61: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados na lagoa do Areal (E24), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 136 |
| Tabela 62: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados na lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 137 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 63: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados na lagoa Monsarás (E25a), entre 10/2018 e 09/2019.....                                | 137 |
| Tabela 64: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa do Areão (E23), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 139 |
| Tabela 65: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa do Areão (E23), entre 10/2018 e 09/2019. ....       | 139 |
| Tabela 66: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa do Areal (E24), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 141 |
| Tabela 67: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa do Areal (E24), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 141 |
| Tabela 68: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019. ....   | 143 |
| Tabela 69: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019. ....       | 143 |
| Tabela 70: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019. ....       | 145 |
| Tabela 71: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa Monsarás (E25a), entre 10/2018 e 09/2019. ....      | 145 |
| Tabela 72: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados no sistema lacustre raso, entre 10/2018 e 09/2019. ....                                      | 146 |
| Tabela 73: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no sistema lacustre raso, entre 10/2018 e 09/2019. ....                               | 151 |
| Tabela 74: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no sistema lacustre raso, entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 157 |
| Tabela 75: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no sistema lacustre raso, entre 10/2018 e 09/2019.....       | 157 |
| Tabela 76: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa do Areão (E23), entre 10/2018 e 09/2019.....  | 168 |
| Tabela 77: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa do Areal (E24), entre 10/2018 e 09/2019. .... | 168 |
| Tabela 78: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019.....  | 169 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 79: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa Monsarás (E25a), entre 10/2018 e 09/2019.....   | 169 |
| Tabela 80: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do sistema lacustre raso, entre 10/2018 e 09/2019. ....  | 171 |
| Tabela 81: Estatística descritiva para os valores de turbidez, mensurados ao longo do rio Doce, nos períodos chuvosos dos anos de 2006 e 2019. ....   | 176 |
| Tabela 82: Estatística descritiva para as concentrações de sólidos totais dissolvidos (mg/L), mensurados ao longo do rio Doce, nos períodos chuvosos dos anos de 2006 e 2019.....   | 177 |
| Tabela 83: Estatística descritiva para os valores de condutividade elétrica, mensurados ao longo do rio Doce, nos períodos chuvosos dos anos de 2006 e 2019. ....   | 179 |
| Tabela 84: Estatística descritiva para os valores de pH, mensurados ao longo do rio Doce, nos períodos chuvosos dos anos de 2006 e 2019. ....   | 179 |
| Tabela 85: Estatística descritiva para as concentrações de fósforo total, mensuradas ao longo do rio Doce, nos períodos chuvosos dos anos de 2006 e 2019. ....  | 182 |
| Tabela 86: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as Estações Amostrais no rio Doce e no rio Guandu dos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com * apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais..                  | 186 |
| Tabela 87: Multiple Comparisons z' and p values; NO <sub>2</sub> (Rio Doce). Independent (grouping) variable: Cod PA. Kruskal-Wallis test: H ( 4, N= 59) =22,73555 p =,0001 .....   | 186 |
| Tabela 88: Multiple Comparisons z' and p values; NH <sub>4</sub> (Rio Doce). Independent (grouping) variable: Cod PA. Kruskal-Wallis test: H ( 4, N= 59) =16,30256 p =,0026 .....   | 187 |
| Tabela 89: Multiple Comparisons z' and p values; Clorofila (Rio Doce). Independent (grouping) variable: Cod PA. Kruskal-Wallis test: H ( 4, N= 59) =31,71703 p =,0000 .....   | 188 |
| Tabela 90: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as Estações Amostrais no rio Doce e no rio Guandu, quanto aos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos do sedimento. Parâmetros marcados com * apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais. .... | 188 |
| Tabela 91: Multiple Comparisons z' and p values; MO Sed (Rio Doce). Independent (grouping) variable: Cod PA. Kruskal-Wallis test: H ( 4, N= 59) =13,86854 p =,0077 .....  | 189 |
| Tabela 92: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as profundidades na lagoa do Limão, para os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com * apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais..                            | 189 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 93: Multiple Comparisons z' and p values; Turbidez (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 35) =17,74044 p =,0001 .....   | 190 |
| Tabela 94: Multiple Comparisons z' and p values; Temperatura (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 35) =6,418612 p =,0404.....   | 190 |
| Tabela 95: Multiple Comparisons z' and p values; pH (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 35) =18,82775 p =,0001 .....   | 190 |
| Tabela 96: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as profundidades na lagoa Nova, para os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com * apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais..      | 191 |
| Tabela 97: Multiple Comparisons z' and p values; Turbidez (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =9,157670 p =,0103 .....   | 191 |
| Tabela 98: Multiple Comparisons z' and p values; Temperatura (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =11,62273 p =,0030.....   | 192 |
| Tabela 99: Multiple Comparisons z' and p values; OD (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =22,05556 p =,0000 .....   | 192 |
| Tabela 100: Multiple Comparisons z' and values; pH (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =20,17189 p =,0000 .....  | 192 |
| Tabela 101: Multiple Comparisons z' values; Condutividade (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =11,81687 p =,0027 .....   | 193 |
| Tabela 102: Multiple Comparisons z' and p values; Clorofila (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 35) =8,420067 p =,0148 .....   | 193 |
| Tabela 103: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as profundidades na lagoa Juparanã, para os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com * apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.. | 193 |
| Tabela 104: Multiple Comparisons z' and p values; OD (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =11,19970 p =,0037 .....  | 194 |
| Tabela 105: Multiple Comparisons z' and p values; PRedox (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =10,33053 p =,0057 .....  | 195 |
| Tabela 106: Multiple Comparisons z' and p values; pH (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =8,062224 p =,0178. ....  | 195 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 107: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas do Limão, Nova e Juparanã, para os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com * apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais..         | 195 |
| Tabela 108: Multiple Comparisons z' and p values; DS (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =29,20388 p =,0000 .....   | 196 |
| Tabela 109: Multiple Comparisons z' and p values; Turbidez (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =61,82942 p =,0000.....   | 196 |
| Tabela 110: Multiple Comparisons z'and p values; MPS (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =51,64117 p =,0000 .....  | 197 |
| Tabela 111: Multiple Comparisons z' and p values; OD (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =9,573440 p =,0083 .....  | 197 |
| Tabela 112: Multiple Comparisons z' and p values; pH (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =9,976476 p =,0068 .....  | 197 |
| Tabela 113: Multiple Comparisons z' and p values; Condutividade (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =93,42449 p =0,000 .....   | 198 |
| Tabela 114: Multiple Comparisons z' and p values; Alcalinidade (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =39,49228 p =,0000 .....  | 198 |
| Tabela 115: Multiple Comparisons z' and p values; COT (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 106) =21,97886 p =,0000 .....   | 198 |
| Tabela 116: Multiple Comparisons z' and p values; PT (Lagos).Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =42,75322 p =,0000 .....   | 199 |
| Tabela 117: Multiple Comparisons z' and p values; PO4 (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =8,163979 p =,0169 .....   | 199 |
| Tabela 118: Multiple Comparisons z' and p values; Silicato (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =7,307315 p =,0259.....   | 199 |
| Tabela 119: Multiple Comparisons z' and p values; NT (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 87) =25,86387 p =,0000 .....   | 200 |
| Tabela 120: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas do Limão, Nova e Juparanã, quanto aos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos do sedimento. Parâmetros marcados com * apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.. | 200 |
| Tabela 121: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas do Areão, do Areal e Monsarás (E25 e 25a), para os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da  |     |

|   |     |
|---|-----|
| água. Parâmetros marcados com * apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.<br>.....  | 200 |
| Tabela 122: Multiple Comparisons z' and p values; DS (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA.<br>Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =27,99517 p =,0000 .....  | 201 |
| Tabela 123: Multiple Comparisons z' and p values; Turbidez (Lagoas). Independent (grouping) variable:<br>EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =29,19501 p =,0000.....   | 201 |
| Tabela 124: Multiple Comparisons z' and p values; MPS (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA.<br>Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =20,52048 p =,0001 .....   | 202 |
| Tabela 125: Multiple Comparisons z' and p values; PRedox (Lagoas). Independent (grouping) variable:<br>EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =12,16501 p =,0068.....   | 202 |
| Tabela 126: Multiple Comparisons z' and p values; Condutividade (Lagoas). Independent (grouping)<br>variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =39,26920 p =,0000 .....   | 202 |
| Tabela 127: Multiple Comparisons z' and p values; Alcalinidade (Lagoas). Independent (grouping)<br>variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =36,31071 p =,0000 .....  | 203 |
| Tabela 128: Multiple Comparisons z' and p values; PT (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA.<br>Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =15,37274 p =,0015 .....  | 203 |
| Tabela 129: Multiple Comparisons z' and p values; Silicato (Lagoas). Independent (grouping) variable:<br>EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =12,69495 p =,0053.....   | 204 |
| Tabela 130: Multiple Comparisons z' and p values; NT (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA.<br>Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 35) =9,937245 p =,0191 .....  | 204 |
| Tabela 131: Multiple Comparisons z' and p values; NO3 (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA.<br>Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 38) =15,16482 p =,0017 .....   | 204 |
| Tabela 132: Multiple Comparisons z' and p values; NO2 (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA.<br>Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =12,17687 p =,0068 .....   | 205 |
| Tabela 133: Multiple Comparisons z' and p values; NH4 (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA.<br>Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =14,33172 p =,0025 .....   | 205 |
| Tabela 134: Multiple Comparisons z' and p values; Clorofila (Lagoas). Independent (grouping) variable:<br>EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =19,07295 p =,0003.....  | 206 |
| Tabela 135: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas<br>do Areão, do Areal e Monsarás (E25 e 25a), quanto aos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos<br>do sedimento. Parâmetros marcados com * apresentaram diferenças significativas entre as Estações<br>Amostrais. .... | 206 |

Tabela 136: Multiple Comparisons  $z'$  and  $p$  values; Dens Sed (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test:  $H(3, N=46) = 15,62312$   $p = ,0014$  .....206

Tabela 137: Multiple Comparisons  $z'$  and  $p$  values; Cond Sed (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test:  $H(3, N=30) = 21,55211$   $p = ,0001$  .....207

Tabela 138: Multiple Comparisons  $z'$  and  $p$  values; MO Sed (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test:  $H(3, N=46) = 31,87369$   $p = ,0000$ .....207

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Subprojetos do Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola no Baixo Rio Doce. ....23

## ANEXO 3 – MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE IMPACTO NO AMBIENTE DULCÍCOLA

### SUB-PROJETO: Limnologia – Caracterização dos Ecossistemas Aquáticos da Calha do Rio Doce, Lagos e Estuário: parâmetros físico-químicos, nutrientes e poluentes

#### 1 INTRODUÇÃO

O presente documento é parte integrante do Relatório Anual do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – PMBA do Termo de Referência 4 para o Anexo 3 dulcícola, Estudo e Monitoramento Ambiental no Rio Doce, Área Estuarina e Marinha (Área Ambiental 1). O período de abrangência do Relatório Anual é de 12 meses, outubro de 2018 a setembro de 2019, tendo como foco os ecossistemas aquáticos continentais do Baixo Rio Doce (ES). O Anexo 3 dulcícola visa avaliar os impactos ambientais do rejeito de minério de ferro e efeitos correlatos ao desastre ambiental do colapso da barragem de Fundão da Samarco em Mariana (MG) no alto Rio Doce. O Programa abrange 11 subprojetos com temas relacionados à hidrologia, hidroquímica, hidrobiologia e ações de gestão e governança no sistema fluvio-estuarino (Quadro 1). Os objetivos do Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola no Baixo Rio Doce visam caracterizar as condições limnológicas dos ecossistemas fluviais, lacustres e estuarino para a comunidade biótica aquática considerando parâmetros físicos (e.g., temperatura, turbidez, material particulado em suspensão), físico-químicos (e.g., pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e potencial Redox), hidroquímicos (i.e., salinidade, nutrientes) e hidrobiológicos (clorofila *a*).

Quadro 1: Subprojetos do Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola no Baixo Rio Doce.

| Subprojeto  | Coordenador(a)              | Instituição |
|---|-----------------------------|-------------|
| Caracterização dos ecossistemas aquáticos da calha do Rio Doce, lagos e estuário: parâmetros físico-químicos, nutrientes e poluentes (Limnologia) | Gilberto Fonseca Barroso    | UFES        |
| Fitoplâncton dulcícola  | Alessandra Delazari-Barroso | FAESA       |
| Zooplâncton dulcícola   | Eneida Eskinazi SantaAna    | UFOP        |
| Composição e estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas  | Anderson Alves Araújo       | CEUNES-UFES |
| Perifíton   | Valéria Fernandes           | UFES        |
| Ácidos graxos, composição elementar e isótopos idos graxos, elementar e isótopos  | Iola Boechat                | UFSJ        |
| Metais e contaminantes orgânicos  | Vânia Marcia Duarte Pasa    | UFMG        |
| Hidrologia - Monitoramento de fluxos de água e sedimentos   | Daniel Rigo                 | UFES        |
| Caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce no ambiente estuarino-marinho do rio Doce                               | Marco Aurélio Caiado        | IFES        |

| Subprojeto  | Coordenador(a)           | Instituição |
|---|--------------------------|-------------|
| Fluxos hidrológicos   | Gilberto Fonseca Barroso | UFES        |
| Subsídios a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxo de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho | Edmilson Teixeira        | UFES        |

UFES: Universidade Federal do Espírito Santo; FAESA: Faculdades Integradas Espírito Santenses; UFOP: Universidade Federal de Ouro Preto; UFSJ: Universidade Federal de São João del-Rei; UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais; CEUNES-UFES: Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

## 2 METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta a malha de estações amostrais do Anexo 3 dulcícola no Baixo Rio Doce, composta por doze estações, sendo quatro localizadas na calha do Rio Doce (E0, E21, E22 e E26), uma no rio tributário (Rio Guandu, E17) e sete estações em seis lagos (E18, E19 e E20) e lagoas (E23, E24 e E25 e E25a) (Tabela 1). Os lagos consistem em ecossistemas lacustres profundos ( $Z_{\text{méd}} > 3,0$  m) com propensão para estratificação térmica, química e hidrobiológica. Já, as lagoas são consideradas sistemas lacustres rasos ( $Z_{\text{méd}} < 3,0$  m) com propensão a mistura da coluna d'água (Scheffer, 1998; Padišák & Reynolds, 2003). A gênese geomorfológica do Baixo Rio Doce reconhece os lagos profundos como aqueles formados nos interflúvios dos tabuleiros da Formação Barreiras, enquanto as lagoas são características da planície costeira (Martin et al., 1996).

Figura 1: Estações amostrais do Anexo 3 dulcícola no Baixo Rio Doce (ES).

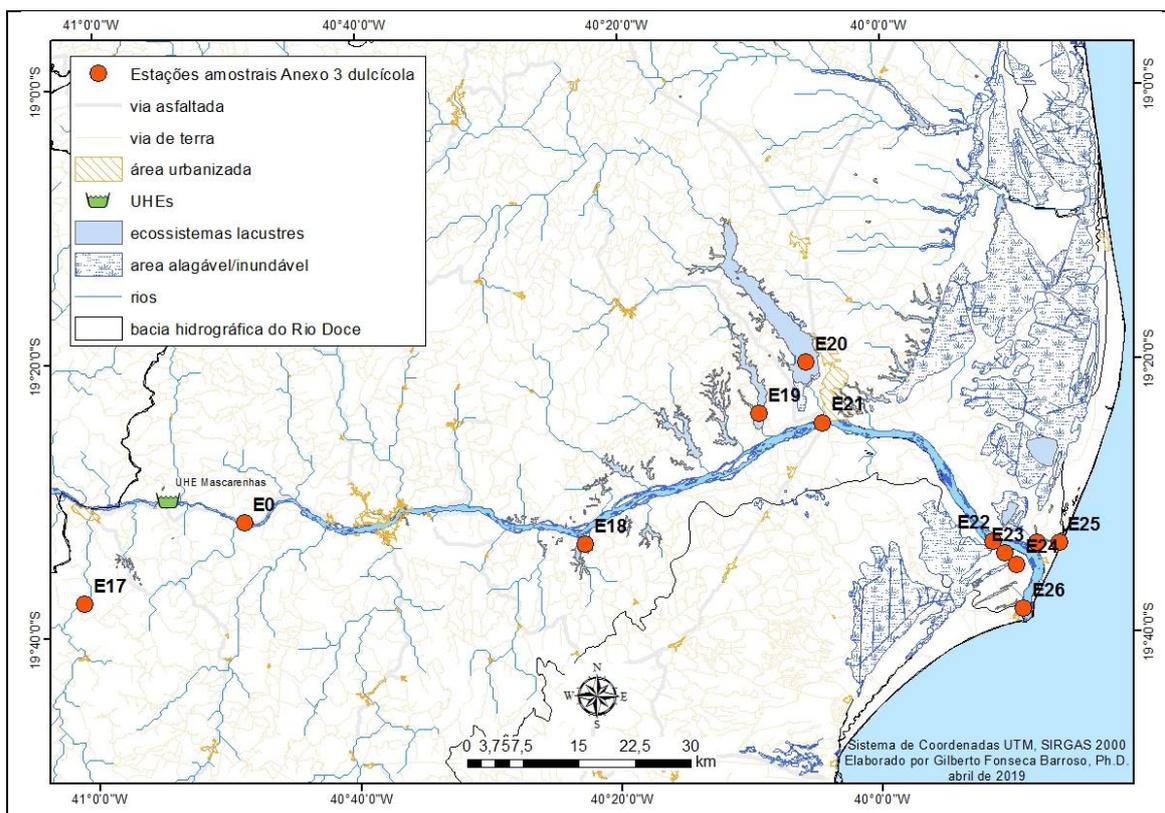


Tabela 1: Coordenadas das estações amostrais do Anexo 3 dulcícola no Baixo Rio Doce (ES).

| Nome da estação            | Código da estação amostral | Localidade   | Northing   | Easting   |
|----------------------------|----------------------------|--------------|------------|-----------|
| Rio Guandu                 | 17                         | Baixo Guandu | 7828800,21 | 288391,72 |
| Jusante da UHE Mascarenhas | 0                          | Itapina      | 7839784,07 | 309812,02 |
| Lagoa do Limão             | 18                         | Colatina     | 7836909,17 | 355432,10 |
| Lagoa Nova                 | 19                         | Linhares     | 7854566,84 | 378711,07 |
| Lagoa Juparanã             | 20                         | Linhares     | 7861435,44 | 384935,41 |
| Rio Doce                   | 21                         | Linhares     | 7853303,85 | 387184,71 |
| Rio Doce                   | 22                         | Linhares     | 7837362,97 | 410065,52 |
| Lagoa do Areão             | 23                         | Linhares     | 7835704,36 | 411560,58 |
| Lagoa do Areal             | 24                         | Linhares     | 7834124,45 | 413143,12 |
| Lagoa Monsarás             | 25                         | Linhares     | 7837160,79 | 415913,62 |
| Lagoa Monsarás             | 25a                        | Linhares     | 7837139,22 | 418868,44 |
| Foz do Rio Doce            | 26                         | Linhares     | 7828233,84 | 414080,55 |

## 2.1 COLUNA D'ÁGUA

### 2.1.1 Amostragem em campo

A frequência amostral para as matrizes coluna d'água e sedimentos superficiais foi mensal com início em outubro de 2018 e resultados até setembro de 2019. Para coleta de água foi utilizada uma garrafa de Niskin (2,8 L) reversível, sendo utilizada na posição vertical nos ecossistemas lacustres e horizontal nos ecossistemas fluviais. As coletas de água na calha dos rios Doce e Guandu foram realizadas na subsuperfície (15 cm) devido ao efeito de turbulência da correnteza fluvial. Nas lagoas costeiras (profundidade média < 3,0m), devido à mistura da coluna d'água pela turbulência do vento, as coletas de águas foram realizadas em meia profundidade. Já, nos lagos profundos (profundidade média > 3,0m) as amostragens foram realizadas em subsuperfície (15 cm), na profundidade de 1% de radiação fotossintética ativa e no fundo (~50 cm acima do fundo). Os dados morfométricos dos ecossistemas lacustres são apresentados na Tabela 1.

Tabela 2: Parâmetros morfométricos dos ecossistemas lacustres

| Ecosistema lacustre | Perímetro (km) | Área (km <sup>2</sup> ) | IDM <sup>#</sup> | Volume (km <sup>3</sup> ) | Z <sub>méd</sub> (m) | Z <sub>máx</sub> (m) | Z <sub>EstAmo</sub> (m) |
|---------------------|----------------|-------------------------|------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| Lagoa do Areal      | 1,4            | 0,06                    | 2,3              | -                         | -                    | -                    |                         |
| Lagoa Areão         | 3,5            | 0,65                    | 1,8              | -                         | -                    | -                    |                         |
| Lagoa Monsarás      | 42,1           | 1,52                    | 13,4             | -                         | -                    | -                    |                         |
| Lago do Limão       | 33,8           | 4,01                    | 6,6              | -                         | -                    | -                    | 12,0                    |
| Lago Nova           | 62,9           | 15,54                   | 6,2              | 0,23*                     | 14,7*                | 33,9*                | 30,0                    |
| Lago Juparanã       | 109,9          | 62,06                   | 5,5              | -                         | -                    | -                    | 12,0                    |

<sup>#</sup>índice de desenvolvimento de margem; \*dados conforme Gonçalves et al., (2016).

Conforme previsto no Protocolo de Amostragem, nas estações amostrais da calha fluvial foram feitas amostragens de água nas profundidades sub-superfície (15 cm) e, quando a profundidade excedeu a 3,0 m, foi feita amostragem do fundo da coluna d'água (~ 50 cm acima do fundo), com uma garrafa de Niskin (horizontal). A amostra foi transferida cuidadosamente, sem a formação de bolhas de ar, para um balde, para mensuração *in situ* de parâmetros físicos e físico-químicos com uso da sonda multiparâmetro YSI Horiba U-53 ou Exo2.

Nos lagos foi realizada perfilagem com a sonda multiparâmetros a cada metro de profundidade para determinação dos parâmetros físicos e físico-químicos. A coleta de água para análises hidroquímicas foi feita na subsuperfície, na profundidade de 1% da radiação fotossintética ativa (zona eufótica) e próximo ao fundo (~ 50 cm acima do fundo).

#### 2.1.1.1 Parâmetros físicos

- Temperatura, turbidez, material particulado em suspensão, transparência e estrutura térmica da coluna d'água lacustre

Os parâmetros físicos temperatura (°C), turbidez (UNT) e sólidos totais dissolvidos (mg/L) foram determinados por meio de mensuração in situ com uso da sonda multiparâmetro YSI Horiba U-53 ou Exo2.

- Parâmetros físico-químicos
- Condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido e potencial de oxirredução

Os parâmetros físico-químicos condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH, oxigênio dissolvido (mg/L) e potencial de oxirredução (mV) foram mensurados in situ com sonda multiparâmetros YSI do tipo Horiba U-53 ou Exo2.

#### 2.1.1.2 Parâmetros hidroquímicos

- Nutrientes totais e dissolvidos

As amostras para determinação dos nutrientes totais (N e P) nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrato, nitrito, amônio, fosfato e silicato) foram coletadas com garrafa de Niskin e acondicionadas em frascos de polipropileno (1L) e mantidas refrigeradas para transporte ao laboratório.

- Matéria orgânica dissolvida cromófora

As amostras para determinação da matéria orgânica dissolvida cromófora foram coletadas foram coletadas com garrafa de Niskin e acondicionadas em frascos de vidro ambar (150 ml) e mantidas refrigeradas para transporte ao laboratório.

### 2.1.2 Análises laboratoriais

#### 2.1.2.1 Parâmetros hidroquímicos

As amostras de N e P total foram digeridas com solução de persulfato de potássio e reduzidas simultaneamente a nitrato e fosfato, respectivamente para posterior determinação das formas iônicas (Valderrama, 1981).

A separação da fração dos nutrientes inorgânicos dissolvidos foi feita com filtração à vácuo em membranas de acetato de celulose de 47 mm e porosidade nominal de 0,45  $\mu\text{m}$ . Para determinação dos íons nitrato, nitrito, amônio, fosfato e silicato foi utilizada a análise de fluxo contínuo ("Continuous Flow Analysis" - CFA), com o uso de um Seal Autoanalyzer (AA3), o qual possui métodos certificados pela USEPA.

A determinação de nitrato foi feita com a redução em coluna de cádmio para nitrito e reação com sulfanilamida, seguida de leitura em célula de 10mm e a absorbância medida a 520nm. O fosfato foi determinado com por meio de reação com ácido ascórbico. O silicato foi determinado por meio de reação ácida de molibdato seguida de redução pelo ácido ascórbico para formar o azul de molibdênio e medição da absorbância a 660nm. O íon amônio foi determinado pelo método do azul de indofenol.

Os fluxos de nutrientes para estação E21 foram determinados pelo produto entre a concentração do nutriente ( $\mu\text{g/L}$ ) pela vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) sendo convertido em fluxo diário ( $\text{t/d}$ ). A média dos fluxos diários foi utilizada para estimativa da produção anual ( $\text{t/a}$ ) e a produção específica normalizada pela área de drenagem à montante da estação E21 ( $81.933.49 \text{ km}^2$ ).

## 2.2 SEDIMENTO

### 2.2.1 Amostragem em campo

#### 2.2.1.1 Parâmetros físico-químicos

Foram determinados in situ nas amostras por meio de sondas do tipo Hach para determinação do pH e condutividade elétrica da água intersticial.

#### 2.2.1.2 Parâmetros hidroquímicos

A coleta de amostras de sedimento foi feita em cada estação amostral por meio de coletor de sedimentos superficiais do tipo Ekman em aço inox. As amostras de sedimento foram abertas na própria embarcação em bandejas plásticas para coleta de alíquotas de sedimento para análises físicas e químicas.

### 2.2.2 Análises laboratoriais

#### 2.2.2.1 Parâmetros físicos

- Densidade

As amostras de sedimento foram coletadas em tubo ependorf de volume conhecido, previamente pesados e identificados. Os ependorfs foram pesados com sedimento úmido em balança analítica ( $0,1 \text{ mg}$ ). Em seguida, foram colocados, levemente abertos, em estufa à  $40^\circ\text{C}$  por 48 horas. Terminadas as 48 horas, posteriormente, pesados. Os pesos antes e após a secagem foram registrados em planilha e calculadas as densidades seca e úmida.

Densidade do sedimento molhado ( $\text{kg/m}^3$ ) = peso sedimento molhado/volume do ependorf

Densidade do sedimento seco ( $\text{kg/m}^3$ ) = peso sedimento seco/volume do ependorf

- Granulometria

O sedimento foi colocado para secar em estufa a 40°C para completa remoção de água. Após o sedimento seco, o mesmo foi pesado e peneirado via úmida em peneira de 63 µm para separação da fração areia. O procedimento de secagem da fração arenosa foi repetido, sendo realizada nova pesagem em balança analítica (0,1 mg) para determinação dos teores de lama e areia. A granulometria da fração areia foi determinada por peneiramento de 0,5 em 0,5 Fi e a fração lama foi levada ao granulômetro a laser Malvern, após queima de matéria orgânica por peróxido de hidrogênio. Os valores dos teores foram determinados a partir da diferença entre o peso total e o peso da fração areia, chegando-se assim ao peso da fração de lama.

#### 2.2.2.2 Parâmetros químicos

- Matéria orgânica

Cerca de 2 g de peso úmido de sedimento bruto foi acondicionado em cadinho de porcelana seco em estufa a 40°C por 24h. Após 24h, o sedimento seco foi pesado em balança analítica (0,1 mg), sendo posteriormente queimado em mufla a 450°C por 4h. Terminadas as 4h, foi feita a pesagem do sedimento.

A massa de matéria orgânica total corresponde ao peso do sedimento antes de ser levado à mufla, subtraído do peso do cadinho de porcelana e do sedimento após queima.

(MOT = sedimento pré-queima – sedimento pós-queima – cadinho de porcelana).

O teor é a conversão deste valor em porcentagem.

Teor de MOT (%) =  $100 * [\text{peso inicial da amostra (g)} - (\text{peso final da amostra c/ cadinho (g)} - \text{peso do cadinho (g)})] / \text{peso inicial da amostra (g)}$ .

- Mineralogia

A determinação da mineralogia foi realizada com a fração fina e pulverizada do sedimento, sendo injetada em um difratômetro de raios-x configurado com radiação Cu K-alpha (40 kV, 20 mA), counter de cintilação e monocromator de grafite. Os padrões de difração foram gravados em modo stepscan em intervalos de dois segundos por passo, em passos de 0.02°. As configurações dos slits de divergência, recebimento e espalhamento foram de 0.5°, 0.3 mm e 0.5°, respectivamente. Os padrões de difração foram gravados de 4° a 120°.

- Fósforo

O método utilizado foi descrito por Anschutz & Deborde (2016) com extração sequencial para a mensuração de fósforo em água intersticial P-trocável, P-ligado a ferro, P associado a apatita biogênica, P associado a apatita autigênica e carbonato, P associado a apatita detrital e formas inorgânicas e P orgânico. Os extratos foram lidos em espectrofotômetro a 885nm.

## 2.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Os dados foram tratados para avaliar a tendência central e dispersão por meio de estatística descritiva considerando as estações amostrais individualmente e agrupadas por ambiente fluvial e lacustre (i.e., lagos e lagoas). O agrupamento por ambiente considerou os sistemas fluviais com as estações amostrais da calha do Rio Doce (E0, E21, E22 e E26) e a estação do Rio Guandú (E17), tributário do Rio Doce. Os lagos (E18, E19 e E20) foram agrupados em ecossistemas lacustres profundos ( $Z_{\text{máx}} > 3,0$  m) considerando a propensão para estratificação térmica, química e hidrobiológica. Já, as lagoas (E23, E24 e E25 e E25a) são considerados sistemas lacustres rasos ( $Z_{\text{máx}} < 3,0$  m) com propensão a mistura da coluna d'água (Scheffer, 1998; Padisák & Reynolds, 2003). A gênese geomorfológica do Baixo Rio Doce reconhece os lagos profundos como aqueles formados nos interflúvios dos tabuleiros da Formação Barreiras, enquanto as lagoas são características da planície costeira (Martin et al., 1996).

### 2.3.1 Estatística descritiva

A análise estatística descritiva foi baseada no N amostral, e valores mínimos, máximos, médios, medianas, desvio padrão e coeficiente de variação.

### 2.3.2 Variabilidade espacial e temporal

Para avaliação da variação entre estações de um dado ambiente foi aplicada a análise de Kruskal-Wallis com comparações múltiplas entre os valores de Z' e  $p < 0,05$ .

## 3 RESULTADOS

### 3.1 AMBIENTE FLUVIAL: RIO GUADU E CALHA DO RIO DOCE

O sistema fluvial é composto pelas quatro estações amostrais, localizadas ao longo da calha do rio Doce – E0 (Itapina), E21 (Linhares), E22 (jusante de Linhares) e E26 (Regência) –, e pela estação amostral E17, localizada no rio Guandu, à montante da cidade de Baixo Guandu. São apresentados, a seguir, os resultados para cada ambiente em separado (para cada estação amostral), considerando as características físicas, físico-químicas e químicas para a água e o sedimento; são apresentadas as estatísticas descritivas para cada parâmetro, em cada estação amostral e, posteriormente, são apresentados os resultados das variações espaciais – entre os pontos amostrais – com os resultados das estatísticas para essas variações.

### 3.1.1 Parâmetros físicos nos cursos d'água

#### 3.1.1.1 Sistema fluvial: Rio Guandu (E17) e Rio Doce (E0, E21, E22, E26)

##### E 17 – Rio Guandu

No rio Guandu, a turbidez variou entre 2,63 e 561,00 UNT, o material particulado em suspensão (MPS) entre 2,13 e 315,20 mg/L e a temperatura da água entre 21,18 e 28,74 °C (

). O limite máximo admissível para as Classes 2 e 3 da Resolução CONAMA 357 é de 100 UNT. Os picos de turbidez registrados no rio Guandu estão relacionados aos aportes de sedimentos em suspensão conforme indicado correlação significativa entre os dois parâmetros ( $R = 0,9720$ ).

##### EA 0 – Rio Doce (Itapina)

No rio Doce, em Itapina (E0), a turbidez variou entre 1,52 e 174,00 UNT, o material particulado em suspensão entre 0,53 e 97,60 mg/L e a temperatura entre 23,31 e 31,48 °C (Tabela 4). Assim como no rio Guandu, foi registrada uma correlação significativa entre a turbidez e o material particulado em suspensão ( $R = 0,9860$ ).

##### E21 – Rio Doce (Linhares)

No rio Doce, em Linhares (E21), a turbidez variou entre 3,68 e 209,00 UNT, o material particulado em suspensão entre 4,13 e 145,00 mg/L e a temperatura entre 20,73 e 32,01 °C (Tabela 5). A correlação entre a turbidez e o material particulado também foi elevada ( $R = 0,9720$ ).

##### E22 – Rio Doce (Jusante de Linhares)

No rio Doce, à jusante de Linhares (E22), a turbidez variou entre 4,41 e 93,70 UNT, o material particulado em suspensão entre 5,47 e 64,60 e a temperatura da água entre 22,56 e 32,63 °C Tabela 6). A correlação entre a turbidez e o material particulado também foi elevada ( $R = 0,9636$ ).

##### E26 – Rio Doce (Regência)

No rio Doce, próximo à foz, em Regência (E26), a turbidez variou entre 3,14 e 77,80 NTU, o material particulado em suspensão entre 2,50 e 61,00 mg/L e a temperatura da água entre 23,60 e 30,49°C (Tabela 7). A correlação entre a turbidez e o material particulado também foi elevada ( $R = 0,8391$ ).

Tabela 3: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no rio Guandu (E17), entre 10/2018 e 09/2019.

| Estatística | Turbidez (UNT) | MPS (mg/L) | Temperatura (°C) |
|-------------|----------------|------------|------------------|
| N amostral  | 12             | 12         | 104              |
| Média       | 123,54         | 88,82      | 25,45            |
| Mediana     | 58,45          | 43,90      | 25,94            |
| Mínima      | 2,63           | 2,13       | 21,18            |

| <b>Estatística</b>           | <b>Turbidez (UNT)</b> | <b>MPS (mg/L)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>Máxima</b>                | 561,00                | 315,20            | 28,74                   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 172,42                | 107,25            | 2,38                    |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 139,57                | 120,75            | 9,35                    |

Tabela 4: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no rio Doce (E0), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Turbidez (UNT)</b> | <b>MPS (mg/L)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 14                    | 14                | 47                      |
| <b>Média</b>                 | 40,02                 | 22,36             | 27,29                   |
| <b>Mediana</b>               | 24,15                 | 10,15             | 27,16                   |
| <b>Mínima</b>                | 1,52                  | 0,53              | 23,31                   |
| <b>Máxima</b>                | 174,00                | 97,60             | 31,48                   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 51,68                 | 32,67             | 2,39                    |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 129,15                | 146,10            | 8,75                    |

Tabela 5: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no rio Doce (E21), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Turbidez (UNT)</b> | <b>MPS (mg/L)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 12                    | 12                | 30                      |
| <b>Média</b>                 | 40,73                 | 27,21             | 27,67                   |
| <b>Mediana</b>               | 26,05                 | 12,70             | 27,97                   |
| <b>Mínima</b>                | 3,68                  | 4,13              | 20,73                   |
| <b>Máxima</b>                | 209,00                | 145,00            | 32,01                   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 56,57                 | 38,87             | 3,09                    |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 138,89                | 142,87            | 11,17                   |

Tabela 6: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no rio Doce (E22), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Turbidez (UNT)</b> | <b>MPS (mg/L)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 11                    | 11                | 27                      |
| <b>Média</b>                 | 30,50                 | 23,04             | 27,50                   |
| <b>Mediana</b>               | 17,20                 | 18,60             | 27,05                   |
| <b>Mínima</b>                | 4,41                  | 5,47              | 22,56                   |
| <b>Máxima</b>                | 93,70                 | 64,60             | 32,63                   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 30,90                 | 19,41             | 3,51                    |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 101,31                | 84,25             | 12,76                   |

Tabela 7: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no rio Doce (E26), entre 10/2018 e 09/2019.

| Estatística           | Turbidez (UNT) | MPS (mg/L) | Temperatura (°C) |
|-----------------------|----------------|------------|------------------|
| N amostral            | 13             | 13         | 43               |
| Média                 | 24,92          | 17,02      | 26,39            |
| Mediana               | 10,70          | 6,40       | 26,38            |
| Mínima                | 3,14           | 2,50       | 23,31            |
| Máxima                | 77,80          | 61,00      | 30,49            |
| Desvio padrão         | 25,65          | 19,38      | 2,35             |
| Coef. de variação (%) | 102,94         | 113,85     | 8,89             |

### 3.1.2 Parâmetros físico-químicos nos cursos d'água

A seguir, são apresentadas as estatísticas descritivas para os resultados dos parâmetros físico-químicos, mensurados em campo: salinidade, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, potencial Redox e pH.

#### E 17 – Rio Guandu

No rio Guandu a salinidade variou entre 0,04 e 0,05, a condutividade elétrica entre 68,20 e 89,16  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a concentração de oxigênio dissolvido variou entre 5,33 e 9,24 mg/L, o potencial Redox entre 110,00 e 226,28 mV e o pH entre 7,30 e 8,49 (Tabela 8).

#### E 0 – Rio Doce (Itapina)

Já no rio Doce, na estação amostral E0 (Itapina) a salinidade variou entre 0,03 e 0,05, a condutividade elétrica entre 56,15 e 94,84  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a concentração de oxigênio dissolvido variou entre 5,07 e 8,72 mg/L, o potencial Redox entre 121,00 e 277,23 mV e o pH entre 6,86 e 8,20 (Tabela 9).

#### E21 – Rio Doce (Linhares)

Na estação amostral E21, (Linhares), a salinidade variou entre 0,03 e 0,05, a condutividade elétrica entre 53,58 e 91,67  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a concentração de oxigênio dissolvido variou entre 6,25, e 9,53 mg/L, o potencial Redox entre 114,00 e 225,00 mV e o pH entre 7,28 e 8,27 (Tabela 10).

#### E22 – Rio Doce (Jusante de Linhares)

Na estação amostral E22, (jusante de Linhares), a salinidade variou entre 0,04 e 0,05, a condutividade elétrica entre 61,69 e 105,59  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a concentração de oxigênio dissolvido variou entre 5,62 e 9,06 mg/L, o potencial Redox entre 107,00 e 267,93 mV e o pH entre 7,26 e 8,32 (Tabela 11).

### **E26 – Rio Doce (Regência)**

Na estação amostral E26, (Regência), a salinidade variou entre 0,04 e 27,95 e a condutividade elétrica entre 62,64 e 43434,32  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sendo esses valores elevados de salinidade e condutividade elétrica registrada em outubro de 2018, no fundo do rio, refletindo a entrada da pluma da maré na parte profunda do rio Doce. A concentração de oxigênio dissolvido variou entre 5,07 e 9,31 mg/L, o potencial Redox entre 111,00 e 251,03 mV e o pH entre 7,27 e 8,54 mg/L (Tabela 12).

Tabela 8: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no rio Guandu (E17), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Salinidade</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> |
|------------------------------|-------------------|---|----------------------|---------------------------------|-----------|
| <b>N amostral</b>            | 104               | 104   | 12                   | 12                              | 12        |
| <b>Média</b>                 | 0,04              | 76,93   | 7,84                 | 171,18                          | 7,95      |
| <b>Mediana</b>               | 0,04              | 76,01   | 8,71                 | 187,50                          | 7,97      |
| <b>Mínima</b>                | 0,04              | 68,20   | 5,33                 | 110,00                          | 7,30      |
| <b>Máxima</b>                | 0,05              | 89,16   | 9,24                 | 226,28                          | 8,49      |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,00              | 5,86  | 1,54                 | 42,57                           | 0,43      |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 6,04              | 7,62  | 19,69                | 24,87                           | 5,44      |

Tabela 9: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no rio Doce (E0), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Salinidade</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> |
|------------------------------|-------------------|---|----------------------|---------------------------------|-----------|
| <b>N amostral</b>            | 47                | 47  | 14                   | 14                              | 14        |
| <b>Média</b>                 | 0,04              | 76,99   | 7,14                 | 189,78                          | 7,58      |
| <b>Mediana</b>               | 0,04              | 71,73   | 7,62                 | 186,96                          | 7,47      |
| <b>Mínima</b>                | 0,03              | 56,15   | 5,07                 | 121,00                          | 6,86      |
| <b>Máxima</b>                | 0,05              | 94,84   | 8,72                 | 277,23                          | 8,20      |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,01              | 12,79   | 1,33                 | 42,90                           | 0,43      |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 12,79             | 16,61   | 18,63                | 22,61                           | 5,72      |

Tabela 10: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no rio Doce (E21), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Salinidade</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> |
|------------------------------|-------------------|---|----------------------|---------------------------------|-----------|
| <b>N amostral</b>            | 30                | 30  | 12                   | 12                              | 12        |
| <b>Média</b>                 | 0,04              | 75,95   | 8,16                 | 171,28                          | 7,87      |
| <b>Mediana</b>               | 0,04              | 73,81   | 8,42                 | 175,87                          | 7,90      |
| <b>Mínima</b>                | 0,03              | 53,58   | 6,25                 | 114,00                          | 7,28      |
| <b>Máxima</b>                | 0,05              | 91,67   | 9,53                 | 225,00                          | 8,27      |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,00              | 11,54   | 0,90                 | 34,10                           | 0,31      |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 11,52             | 15,20   | 11,02                | 19,91                           | 3,98      |

Tabela 11: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no rio Doce (E22), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Salinidade</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> |
|------------------------------|-------------------|---|----------------------|---------------------------------|-----------|
| <b>N amostral</b>            | 27                | 27  | 11                   | 11                              | 11        |
| <b>Média</b>                 | 0,04              | 83,56   | 7,48                 | 162,45                          | 7,96      |
| <b>Mediana</b>               | 0,04              | 77,00   | 7,53                 | 151,57                          | 8,12      |
| <b>Mínima</b>                | 0,04              | 61,62   | 5,62                 | 107,00                          | 7,26      |
| <b>Máxima</b>                | 0,05              | 105,59  | 9,06                 | 267,93                          | 8,32      |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,00              | 16,19   | 1,24                 | 47,46                           | 0,39      |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 8,01              | 19,37   | 16,61                | 29,22                           | 4,96      |

Tabela 12: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no rio Doce (E26), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Salinidade</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> |
|------------------------------|-------------------|---|----------------------|---------------------------------|-----------|
| <b>N amostral</b>            | 43                | 43  | 13                   | 13                              | 13        |
| <b>Média</b>                 | 1,65              | 2630,12   | 7,66                 | 180,24                          | 7,94      |
| <b>Mediana</b>               | 0,04              | 79,51   | 8,40                 | 181,00                          | 8,02      |
| <b>Mínima</b>                | 0,04              | 62,69   | 5,07                 | 111,00                          | 7,27      |
| <b>Máxima</b>                | 27,95             | 43434,52  | 9,31                 | 252,49                          | 8,54      |
| <b>Desvio padrão</b>         | 5,97              | 9388,49   | 1,42                 | 45,36                           | 0,39      |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 362,45            | 356,96  | 18,52                | 25,16                           | 4,97      |

### **3.1.3 Parâmetros hidroquímicos nos cursos d'água**

#### **3.1.3.1 Sistema fluvial: Rio Guandu (E17) e Rio Doce (E0, E21, E22, E26)**

A seguir, são apresentadas as estatísticas descritivas para os parâmetros hidroquímicos determinados em laboratório, sendo eles a alcalinidade total, o carbono orgânico dissolvido, fósforo total e fósforo dissolvido (fosfato), silicato e a série nitrogenada: nitrogênio total, nitrato, nitrito e amônio. Também são apresentadas as estatísticas descritivas para a concentração de clorofila *a*.

#### **E 17 – Rio Guandu**

No rio Guandu, a alcalinidade variou entre 23,00 e 42,00 mgCaCO<sub>3</sub>/L, o carbono total entre 0,27 e 6,04 mg/L, a concentração de fósforo total entre 121,54 e 1647,83 µg/L e a de fosfato entre 33,32 e 87,92 µg/L e a concentração de silicato *a* entre 0,07 e 5,36 mg/L (Tabela 13). As concentrações de fósforo total estiveram sempre acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (100 µg/L) e apresentaram uma elevada correlação com o material particulado em suspensão ( $R = 0,8462$ ).

Para a série nitrogenada, as concentrações de nitrogênio total variaram entre 2.803,64 e 6.203,72 µg/L, as de nitrato entre 878,54 e 3.918,40 µg/L, as de nitrito entre 3,45 e 84,41 µg/L e a de amônio entre 23,04 e 179,46 µg/L, sendo que as concentrações de nitrato, nitrito e amônio estiveram sempre abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (10.000 e 1.000 µg/L para nitrato e nitrito, respectivamente); para amônio os valores, de acordo com a variação no pH da água, também estiveram abaixo da Resolução CONAMA 357/2005 (2.000 µg/L para faixa de pH entre 7,5 e 8,0). As concentrações de clorofila *a* variaram entre 0,14 e 1,67 µg/L (Tabela 14).

Tabela 13: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no rio Guandu (E17), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total *<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|------------------------------|--|--|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 12   | 12                                     | 12                              | 12                        | 12                           |
| <b>Média</b>                 | 32,53  | 3,45                                   | 368,52                          | 62,79                     | 3,16                         |
| <b>Mediana</b>               | 34,35  | 3,63                                   | 214,68                          | 61,56                     | 2,68                         |
| <b>Mínima</b>                | 23,00  | 0,27                                   | 121,54                          | 33,32                     | 0,07                         |
| <b>Máxima</b>                | 42,00  | 6,04                                   | 1647,83                         | 87,92                     | 5,36                         |
| <b>Desvio padrão</b>         | 6,75   | 1,79                                   | 439,50                          | 20,05                     | 1,59                         |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 20,74  | 52,02                                  | 119,26                          | 31,92                     | 50,36                        |

Tabela 14: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no rio Guandu (E17), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 10                                 | 10                        | 12                        | 12                       | 12                            |
| <b>Média</b>                 | 3620,80                            | 1668,64                   | 14,20                     | 85,18                    | 0,56                          |
| <b>Mediana</b>               | 3357,30                            | 1313,47                   | 8,05                      | 72,36                    | 0,44                          |
| <b>Mínima</b>                | 2803,64                            | 878,54                    | 3,45                      | 23,04                    | 0,14                          |
| <b>Máxima</b>                | 6203,72                            | 3918,40                   | 84,41                     | 179,46                   | 1,67                          |
| <b>Desvio padrão</b>         | 1004,79                            | 957,86                    | 22,38                     | 44,13                    | 0,40                          |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 27,75                              | 57,40                     | 157,60                    | 51,81                    | 71,69                         |

### **EA 0 – Rio Doce (Itapina)**

No rio Doce, em Itapina, a alcalinidade variou entre 23,00 e 38,10 mgCaCO<sub>3</sub>/L, o carbono total entre 1,86 e 5,77 mg/L, a concentração de fósforo total entre 139,71 e 408,41 µg/L e a de fosfato entre 29,17 e 160,63 µg/L e a concentração de silicato a entre 0,33 e 4,61 mg/L (Tabela 15). Nessa estação, as concentrações de fósforo total também estiveram sempre acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (100 µg/L) e apresentaram uma elevada correlação com o material particulado em suspensão (R = 0,7483).

Para a série nitrogenada, as concentrações de nitrogênio total variaram entre 2051,58 e 4.615,90 µg/L, as de nitrato entre 516,46 e 1467,23 µg/L, as de nitrito entre 9,20 e 35,42 µg/L e a de amônio entre 45,90 e 213,48 µg/L, sendo que as concentrações de nitrato, nitrito e amônio estiveram sempre abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (10000 e 1000 µg/L para nitrato e nitrito, respectivamente); para amônio os valores, de acordo com a variação no pH da água, também estiveram abaixo da Resolução CONAMA 357/2005 (2.000 µg/L para faixa de pH entre 7,5 e 8,0). As concentrações de clorofila a variaram entre 0,18 e 1,99 µg/L (Tabela 16).

Tabela 15: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no rio Doce (E0), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total *</b><br>(mg/L) | <b>Fósforo total</b><br>(µg/L) | <b>Fosfato</b><br>(µg/L) | <b>Silicato *</b><br>(mg/L) |
|------------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 14   | 14                                    | 14                             | 14                       | 14                          |
| <b>Média</b>                 | 30,85  | 3,35                                  | 217,39                         | 78,44                    | 2,25                        |
| <b>Mediana</b>               | 32,20  | 3,59                                  | 191,00                         | 76,25                    | 2,08                        |
| <b>Mínima</b>                | 23,00  | 1,86                                  | 139,71                         | 29,17                    | 0,33                        |
| <b>Máxima</b>                | 38,10  | 5,77                                  | 408,41                         | 160,63                   | 4,61                        |
| <b>Desvio padrão</b>         | 5,28   | 1,26                                  | 79,48                          | 33,47                    | 1,50                        |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 17,12  | 37,52                                 | 36,56                          | 42,68                    | 66,44                       |

Tabela 16: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no rio Doce (E0), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Nitrogênio total</b><br>(µg/L) | <b>Nitrato</b><br>(µg/L) | <b>Nitrito</b><br>(µg/L) | <b>Amônio</b><br>(µg/L) | <b>Clorofila a</b><br>(µg/L) |
|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 12                                | 12                       | 14                       | 14                      | 14                           |
| <b>Média</b>                 | 3273,34                           | 1080,56                  | 21,92                    | 113,93                  | 0,94                         |
| <b>Mediana</b>               | 2956,47                           | 1192,42                  | 21,62                    | 117,68                  | 0,83                         |
| <b>Mínima</b>                | 2051,58                           | 516,46                   | 9,20                     | 45,90                   | 0,18                         |
| <b>Máxima</b>                | 4964,34                           | 1467,23                  | 35,42                    | 213,48                  | 1,99                         |
| <b>Desvio padrão</b>         | 856,10                            | 338,81                   | 8,37                     | 43,07                   | 0,44                         |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 26,15                             | 31,35                    | 38,19                    | 37,80                   | 46,37                        |

### **E21 – Rio Doce (Linhares)**

No rio Doce, em Linhares, a alcalinidade variou entre 15,00 e 35,70 mgCaCO<sub>3</sub>/L, o carbono total entre 1,68 e 7,03 mg/L, a concentração de fósforo total entre 135,51 e 315,04 µg/L a de fosfato entre 35,00 e 89,33 µg/L e a concentração de silicato a entre 1,03 e 4,46 mg/L (Tabela 17). Nessa estação, as concentrações de fósforo total também estiveram sempre acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (100 µg/L) e apresentaram uma elevada correlação com o material particulado em suspensão (R = 0,6690).

Para a série nitrogenada (Tabela 18), as concentrações de nitrogênio total variaram entre 2.464,50 e 4.417,50 µg/L, as de nitrato entre 735,94 e 1.424,76 µg/L, as de nitrito entre 6,67 e 16,56 µg/L e a de amônio entre 16,11 e 72,36 µg/L, sendo que as concentrações de nitrato, nitrito e amônio estiveram sempre abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (10.000 e 1.000 µg/L para nitrato e nitrito, respectivamente); para amônio os valores, de acordo com a variação no pH da água, também estiveram abaixo da Resolução CONAMA 357/2005 (2.000 µg/L para faixa de pH entre 7,5 e 8,0). As concentrações de clorofila a variaram entre 0,26 e 4,99 µg/L (Tabela 18).

Tabela 17: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no rio Doce (E21), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 12   | 12                                   | 12                              | 12                        | 12                           |
| <b>Média</b>                 | 28,15  | 3,37                                 | 237,54                          | 63,64                     | 2,74                         |
| <b>Mediana</b>               | 28,60  | 2,93                                 | 233,31                          | 62,17                     | 2,44                         |
| <b>Mínima</b>                | 15,00  | 1,68                                 | 135,51                          | 35,00                     | 1,03                         |
| <b>Máxima</b>                | 35,70  | 7,03                                 | 315,04                          | 89,33                     | 4,46                         |
| <b>Desvio padrão</b>         | 5,29   | 1,61                                 | 54,42                           | 17,10                     | 1,24                         |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 18,81  | 47,80                                | 22,91                           | 26,87                     | 45,42                        |

Tabela 18: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no rio Doce (E21), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 10                                 | 10                        | 12                        | 12                       | 12                            |
| <b>Média</b>                 | 3020,02                            | 1125,55                   | 10,81                     | 49,19                    | 2,54                          |
| <b>Mediana</b>               | 2827,82                            | 1097,25                   | 10,47                     | 56,43                    | 2,46                          |
| <b>Mínima</b>                | 2464,50                            | 735,94                    | 6,67                      | 16,11                    | 0,26                          |
| <b>Máxima</b>                | 4417,50                            | 1424,76                   | 16,56                     | 77,94                    | 4,99                          |
| <b>Desvio padrão</b>         | 598,49                             | 192,52                    | 2,91                      | 22,32                    | 1,33                          |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 19,82                              | 17,10                     | 26,88                     | 45,39                    | 52,32                         |

## **E22 – Rio Doce (Jusante de Linhares)**

No rio Doce, a jusante de Linhares, a alcalinidade variou entre 21,70 e 41,70 mgCaCO<sub>3</sub>/L, o carbono total entre 1,63 e 11,48 mg/L, a concentração de fósforo total entre 144,36 e 338,79 µg/L e de fosfato entre 20,63 e 90,75 µg/L e a concentração de silicato a entre 0,88 e 4,90 mg/L (Tabela 19). Nessa estação, as concentrações de fósforo total também estiveram sempre acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (100 µg/L) e apresentaram uma elevada correlação com o material particulado em suspensão (R = 0,7455).

Para a série nitrogenada (Tabela 20) as concentrações de nitrogênio total variaram entre 2.155,12 e 3.529,66 µg/L, as de nitrato entre 833,28 e 1.390,04 µg/L, as de nitrito entre 4,83 e 15,87 µg/L e a de amônio entre 20,16 e 133,29 µg/L, sendo que as concentrações de nitrato, nitrito e amônio estiveram sempre abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (10.000 e 1.000 µg/L para nitrato e nitrito, respectivamente); para amônio os valores, de acordo com a variação no pH da água, também estiveram abaixo da Resolução CONAMA 357/2005 (2.000 µg/L para faixa de pH entre 7,5 e 8,0). As concentrações de clorofila a variaram entre 0,40 e 6,10 µg/L (Tabela 20).

Tabela 19: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no rio Doce (E22), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 11   | 11                                   | 11                              | 11                        | 11                           |
| <b>Média</b>                 | 31,31  | 3,66                                 | 237,77                          | 62,97                     | 2,91                         |
| <b>Mediana</b>               | 31,90  | 3,10                                 | 219,34                          | 63,13                     | 2,58                         |
| <b>Mínima</b>                | 21,70  | 1,63                                 | 144,36                          | 20,63                     | 0,88                         |
| <b>Máxima</b>                | 41,70  | 11,48                                | 338,79                          | 90,75                     | 4,90                         |
| <b>Desvio padrão</b>         | 6,20   | 2,78                                 | 56,66                           | 18,90                     | 1,49                         |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 19,80  | 75,94                                | 23,83                           | 30,02                     | 51,05                        |

Tabela 20: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no rio Doce (E22), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 9                                  | 9                         | 11                        | 11                       | 11                            |
| <b>Média</b>                 | 2707,95                            | 1067,43                   | 9,60                      | 59,70                    | 3,82                          |
| <b>Mediana</b>               | 2586,64                            | 1078,49                   | 8,74                      | 44,10                    | 3,67                          |
| <b>Mínima</b>                | 2155,12                            | 833,28                    | 4,83                      | 20,16                    | 0,40                          |
| <b>Máxima</b>                | 3529,66                            | 1390,04                   | 15,87                     | 133,29                   | 6,10                          |
| <b>Desvio padrão</b>         | 421,24                             | 188,31                    | 3,83                      | 31,65                    | 1,74                          |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 15,56                              | 17,64                     | 39,87                     | 53,01                    | 45,43                         |

## **E26 – Rio Doce (Regência)**

No rio Doce, em Regência, a alcalinidade variou entre 25,00 e 116,90 mgCaCO<sub>3</sub>/L, valores máximos relacionados com a influência da pluma da maré no rio Doce, o carbono total entre 1,59 e 6,74 mg/L, a concentração de fósforo total entre 144,83 e 421,21 µg/L a de fosfato entre 36,25 e 98,33 µg/L e a concentração de silicato a entre 0,55 e 4,96 mg/L (Tabela 21). Nessa estação, as concentrações de fósforo total também estiveram sempre acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (100 µg/L), mas diferente das outras estações no rio Doe as concentrações de fósforo total não apresentaram uma correlação forte com o material particulado em suspensão (R = 0,4406).

Para a série nitrogenada (Tabela 22), as concentrações de nitrogênio total variaram entre 2184,26 e 4822,98 µg/L, as de nitrato entre 523,28 e 1.409,88 µg/L, as de nitrito entre 4,60 e 12,42 µg/L e a de amônio entre 21,60 e 140,40 µg/L, sendo que as concentrações de nitrato, nitrito e amônio estiveram sempre abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (10.000 e 1.000 µg/L para nitrato e nitrito, respectivamente); para amônio os valores, de acordo com a variação no pH da água, também estiveram abaixo da Resolução CONAMA 357/2005 (2.000 µg/L para faixa de pH entre 7,5 e 8,0), o mesmo acontecendo para o amônio. As concentrações de clorofila a variaram entre 0,31 e 6,86 µg/L (Tabela 22).

Tabela 21: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no rio Doce (E26), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 13   | 13                                   | 13                              | 13                        | 13                           |
| <b>Média</b>                 | 39,37  | 3,04                                 | 231,60                          | 64,16                     | 2,70                         |
| <b>Mediana</b>               | 33,00  | 2,62                                 | 200,71                          | 60,00                     | 2,55                         |
| <b>Mínima</b>                | 25,00  | 1,48                                 | 144,83                          | 36,25                     | 0,55                         |
| <b>Máxima</b>                | 116,90   | 6,74                                 | 421,21                          | 98,33                     | 4,96                         |
| <b>Desvio padrão</b>         | 24,45  | 1,67                                 | 88,46                           | 17,13                     | 1,52                         |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 62,09  | 54,78                                | 38,19                           | 26,69                     | 56,16                        |

Tabela 22: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no rio Doce (E26), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 11                                 | 11                        | 13                        | 13                       | 13                            |
| <b>Média</b>                 | 3081,46                            | 987,27                    | 7,94                      | 58,35                    | 2,69                          |
| <b>Mediana</b>               | 2725,52                            | 1027,03                   | 7,13                      | 54,63                    | 2,10                          |
| <b>Mínima</b>                | 2184,26                            | 346,27                    | 4,60                      | 21,60                    | 0,31                          |
| <b>Máxima</b>                | 4822,98                            | 1409,88                   | 12,42                     | 140,40                   | 6,86                          |
| <b>Desvio padrão</b>         | 840,08                             | 318,17                    | 2,45                      | 34,13                    | 1,78                          |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 27,26                              | 32,23                     | 30,81                     | 58,48                    | 66,18                         |

### 3.1.3.2 Integração do sistema fluvial: rio Doce e rio Baixo Guandu

#### Parâmetros físicos

Com relação aos parâmetros físicos, quando todas as estações amostrais no rio Guandu e no rio Doce são consideradas de forma integrada, os maiores valores de turbidez foram registrados no rio Guandu (E17) em outubro de 2018 (561,00 UNT), acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (100 UNT), e em março de 2019 (369,00 UNT) (Figura 2). Os valores de turbidez nas estações amostrais da calha do rio Doce apresentaram variações semelhantes ao longo do período de estudo, com os maiores valores sendo registrados na Estação amostral E21 (Linhares) (209,00 UNT), em dezembro de 2018. Não foram registradas diferenças estatísticas significativas entre as estações amostrais no rio Guandu e rio Doce. Com relação à concentração de material particulado em suspensão (MPS), os maiores valores também foram registrados no rio Guandu em outubro de 2018 (315,20 mg/L), com outros dois picos em dezembro e março de 2019 (Tabela 23, Figura 2).

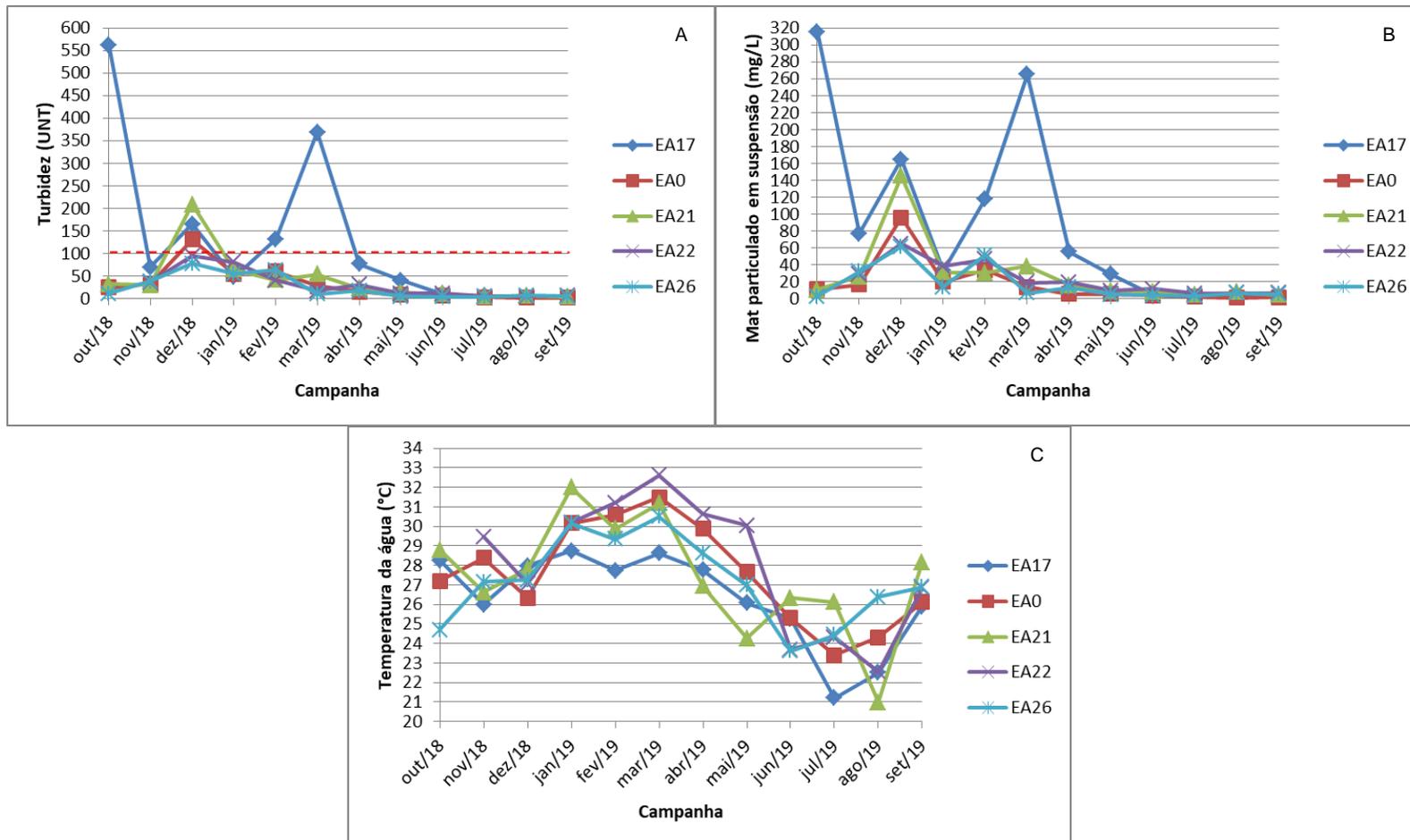
Na calha do rio Doce as maiores concentrações de MPS também foram registradas na estação amostral E21, em março de 2019 (145,00 mg/L), sem diferenças significativas entre as estações amostrais no rio Guandu e rio Doce. Porém, a correlação entre o MPS e a turbidez é significativa para o sistema fluvial ( $R = 0,9509$ ).

Tabela 23: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Turbidez<br/>(UNT)</b> | <b>MPS<br/>(mg/L)</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 62                        | 62                    | 252                         |
| <b>Média</b>                 | 51,47                     | 35,16                 | 26,44                       |
| <b>Mediana</b>               | 24,15                     | 13,10                 | 26,16                       |
| <b>Mínima</b>                | 1,52                      | 0,53                  | 20,73                       |
| <b>Máxima</b>                | 561,00                    | 315,20                | 32,63                       |
| <b>Desvio padrão</b>         | 89,98                     | 58,50                 | 2,74                        |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 174,84                    | 166,38                | 10,37                       |

Como relação à temperatura da água, os valores foram muito próximos em todas as estações amostrais, tanto no rio Guandu quanto na calha do rio Doce, variando entre 20,73 °C na estação amostral E21, em Linhares a 32,63 °C na estação E22, à jusante de Linhares. Também não foram registradas diferenças significativas entre as estações amostrais (Tabela 23, Figura 2).

Figura 2: Variação mensal de parâmetros físicos turbidez (A), material particulado em suspensão (B) e transparência (C), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. Linha tracejada vermelha representa o limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005.



### Parâmetros físico-químicos

Com relação aos parâmetros físico-químicos, o sistema fluvial dos rios Doce e Guandu é caracterizado como doce (i.e., salinidade  $0,34 \pm 2,65$ ), com pH neutro ( $7,76 \pm 0,44$ ), bem oxigenadas ( $>5,07$  mg/L) e com condições oxidantes ( $178,27 \pm 42,91$  mV) (Tabela 24, Figura 3).

Não foram encontradas diferenças significativas entre as estações amostrais, para os todos os parâmetros físico-químicos. A salinidade variou muito pouco entre as estações amostrais e o período de estudo, com apenas um pico de salinidade na estação E26, em Regência, próximo à foz do rio Doce, em outubro de 2018, onde a 3,5 metros de profundidade foi registrado 27,95 de salinidade, valor esse relacionado com intrusão da cunha salina na fase de maré enchente. No entanto, na superfície do rio Doce, sem o efeito da maré, o maior valor foi de 0,09 (Tabela 24, Figura 3). Nos demais meses não foi constatada influência halina na estação E26 que indicasse condições oligohalinas (salinidade entre 0,5 a 5,0) ou superiores, caracterizando esta localidade como porção do estuário superior do Baixo Rio Doce (Kramer, 1994).

A condutividade elétrica variou entre 53,58 e 43.434,52  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com esse pico de condutividade também sendo registrado na estação 26, em Regência, no mesmo evento descrito acima, para a salinidade, quando da intrusão da cunha salina na maré enchente. Nos restante do período foi registrado apenas um pico de condutividade, em julho de 2019 (191,13  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Figura 3, Tabela 24).

A concentração de oxigênio dissolvido variou entre 5,07 e 9,53 mg/L, com os valores sempre acima do mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (5,00 mg/L) (Figura 3). Com relação ao potencial Redox, os valores variaram entre 107,00 e 277,23 mV, demonstrando a condição oxidante do curso d'água, em toda calha do rio Doce e também no rio Guandu (Tabela 24, Figura 4).

O pH variou entre 6,83 e 8,54, dentro dos limites mínimos e máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (6,00 a 9,00), com os maiores valores sendo registrados no período seco (entre abril e agosto de 2019) (Tabela 24, Figura 4).

Tabela 24: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.

| Estatística           | Salinidade | Condutividade elétrica (µS/cm) | OD (mg/L) | Potencial Redox (mV) | pH   |
|-----------------------|------------|--------------------------------|-----------|----------------------|------|
| N amostral            | 252        | 248                            | 62        | 62                   | 62   |
| Média                 | 0,32       | 520,36                         | 7,64      | 175,75               | 7,85 |
| Mediana               | 0,04       | 76,07                          | 8,30      | 178,87               | 7,93 |
| Mínima                | 0,03       | 53,58                          | 5,07      | 107,00               | 6,86 |
| Máxima                | 27,95      | 43434,52                       | 9,53      | 277,23               | 8,54 |
| Desvio padrão         | 2,51       | 3990,68                        | 1,31      | 42,33                | 0,41 |
| Coef. de variação (%) | 797,40     | 766,91                         | 17,19     | 24,09                | 5,26 |

Figura 3: Variação mensal de parâmetros físico-químicos salinidade (A) e condutividade elétrica (B), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.

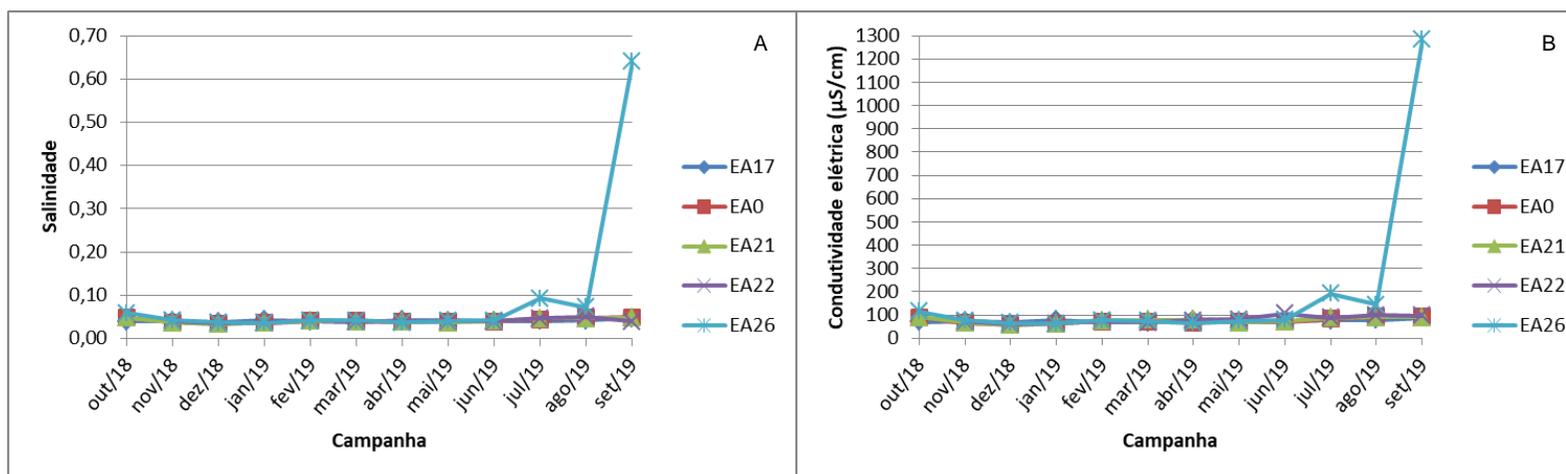
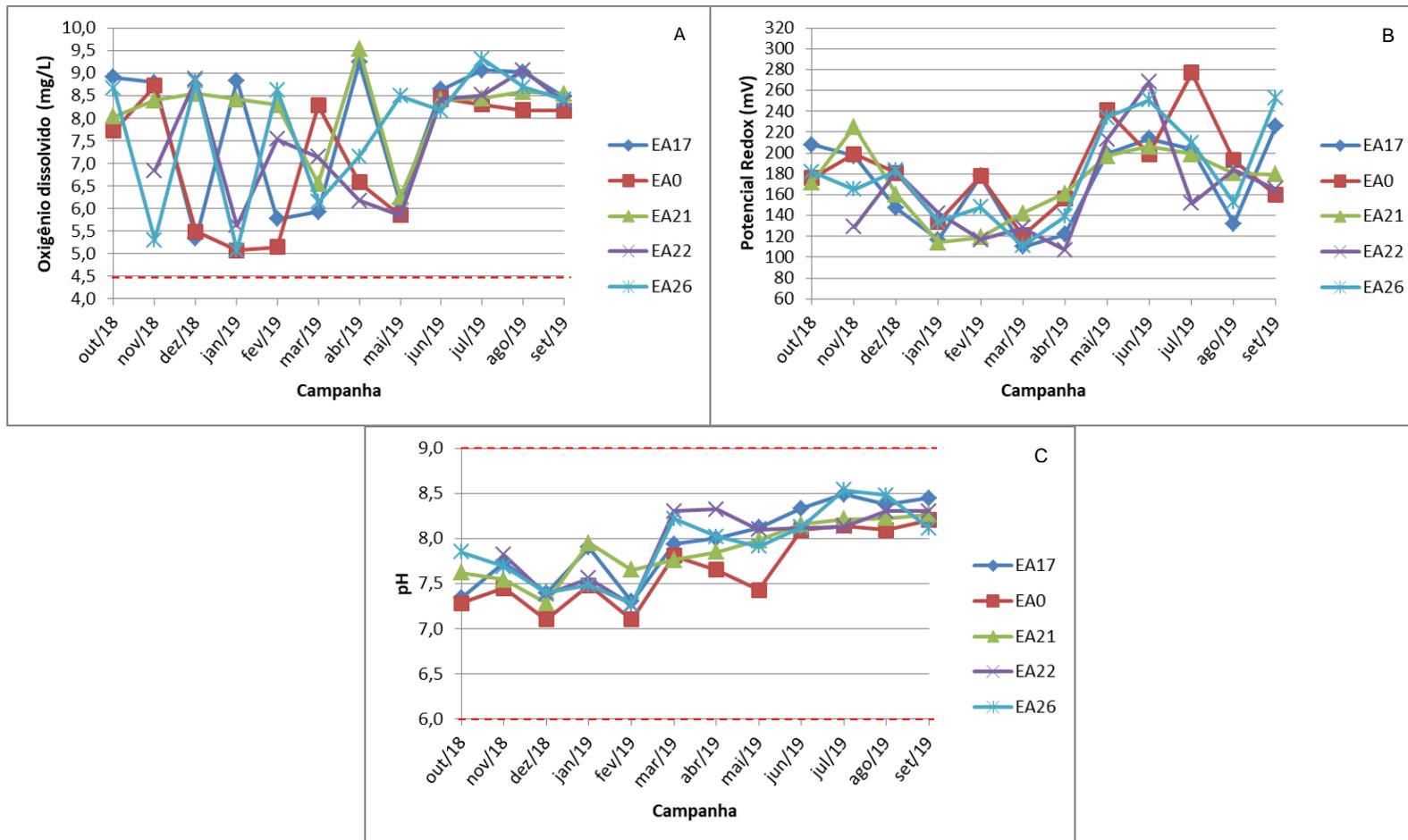


Figura 4: Variação mensal de parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido (A), potencial redox (B) e pH (C), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



### Parâmetros hidroquímicos

Com relação aos parâmetros hidroquímicos, a alcalinidade total variou entre 15,00 e 116,90 mgCaCO<sub>3</sub>/L o que representa a condição típica de capacidade de neutralização de ácidos em rios (5 a 250 mgCaCO<sub>3</sub>/L) com pH entre 6,0 e 9,0 (Mattson, 2010). Os maiores valores foram registrados no rio Doce, na estação E26, em Regência, em maio de 2019 e os menores também no rio doce, na estação E21, em Linhares, em março de 2019 (Tabela 25, Figura 5). Na estação E26 (Regência) em outubro de 2018, foi detectada a intrusão da cunha salina a 3,0 metros de profundidade (maré enchente) com registro de 116,90 mgCaCO<sub>3</sub>/L. Com relação à variação espacial, não foram registradas diferenças significativas para alcalinidade total entre as estações amostrais.

Com reação ao carbono orgânico total, as concentrações variaram entre 0,27 e 11,48 mg/L, com os menores valores sendo registrados na estação E17 (rio Guandu) e os maiores na estação 22 (rio Doce, jusante de Linhares), ambos em maio de 2019, não sendo registradas diferenças significativas entre as estações amostrais (Tabela 25, Figura 5).

Com relação ao fósforo total, as concentrações variaram entre 121,54 e 1,647,83 µg/L, com os menores e maiores valores sendo registrados no rio Guandu (E17), em julho de 2019 e outubro de 2018, respectivamente (Tabela 25, Figura 5). Também no rio Guandu houve um segundo pico de concentração de fósforo total em março de 2019 (785,15 µg/L). Não foram registradas diferenças significativas na concentração de fósforo total entre as estações amostrais. Em todo o período de estudo as concentrações de fósforo total estiveram acima do limite estabelecido para águas de classe 2 pela Resolução CONAMA 357/05 (100 µg/L). Considerando o sistema fluvial como um todo, foi registrada uma forte correlação entre o fósforo total e a concentração de material particulado em suspensão ( $R = 0,7175$ ), indicando a predominância da fração particulada no fósforo total. A faixa de concentração encontrada nos ecossistemas fluviais do Baixo Rio Doce é equivalente a condições eutróficas para córregos dos EUA ( $> 75 \mu\text{g/L}$ ) (Dodds & Smith, 2016). A razão N:P foi de  $13,91 \pm 5,34$  o que indica o enriquecimento de fósforo.

Para o fosfato, as concentrações variaram entre 20,63 e 160,63 µg/L, com os menores valores sendo registrados no rio Doce, a jusante de Linhares (E22), em janeiro de 2019 e os maiores no rio Doce, em Itapina (E0), em dezembro de 2018. Não houve diferenças significativas entre as estações amostrais (Tabela 25, Figura 5).

As concentrações de silicato variaram entre 0,55 e 5,36 mg/L, com os menores valores sendo registrados no rio Doce, na estação E26 (Regência), em outubro de 2018 e as maiores no rio Guandu (E17), em novembro de 2019 (Tabela 25, Figura 7). Não foram registradas diferenças significativas entre as estações amostrais. A razão silicato dissolvido – SiD e nitrogênio inorgânico dissolvido – NID (i.e., nitrito + nitrato + amônio) são muito baixas  $2,22 \pm 1,47$  o que sugere o incremento de NID devido a aportes de nitrogênio inorgânico na bacia hidrográfica (Turner et al., 2003).

Com relação à série nitrogenada, as concentrações de nitrogênio total variaram entre 2.051,58 e 6.203,72 µg/L, com os menores valores sendo registrados no rio Doce, em Itapina (E0), em junho de 2019 e os maiores no rio Guandu (E17), em outubro de 2018 (Figura 6, Tabela 26). Não foram registradas diferenças significativas entre as estações amostrais. Tal como as elevadas concentrações de fósforo total as concentrações de nitrogênio total nos sistemas fluviais do BRD também indicam condições eutróficas (> 1.500 µg/L) (Dodds & Smith, 2016).

Para o nitrato, as concentrações variaram entre 346,27 e 3.918,40 µg/L, com os menores valores sendo registrados no rio Doce, em Itapina (E0), em julho de 2019 e os maiores no rio Guandu (E17), em outubro de 2018 (Figura 6, Tabela 26) não sendo registradas diferenças significativas entre as estações amostrais. Em todo o período estudado as concentrações de nitrato permaneceram abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (1.000 µg/L).

As concentrações de nitrito variaram entre 3,45 e 84,41 µg/L, valores mínimos e máximos registrados no rio Guandu (E17), em janeiro e maio de 2019, respectivamente (Figura 6, Tabela 26).

Apesar dessa maior variação registrada no rio Guandu, a estação amostral E0, no rio Doce, em Itapina, apresentou concentrações de nitrito significativamente maiores que as demais estações no rio Doce e também no rio Guandu (Figura 8). As demais estações do rio Doce e a do rio Guandu não apresentaram diferenças significativas para as concentrações de nitrito.

Com relação ao amônio, as concentrações variaram entre 16,11 e 213,48 µg/L, com as menores concentrações sendo registradas no rio Doce, em Linhares (E21) em julho de 2019 e as maiores no rio Doce, em Itapina (E0), em março de 2019 (Figura 6, Tabela 26) essas duas estações no rio Doce (E0 e E21), apresentaram diferenças significativas para a concentração de amônio, o mesmo não acontecendo para as demais estações, inclusive a E17 no rio Guandu (Figura 8).

A razão de NID com o fósforo inorgânico dissolvido - PID foi  $25,07 \pm 16,24$  o que sugere a limitação ao desenvolvimento do fitoplâncton fluvial por fósforo. O incremento da razão NID:PID é indicativo do desenvolvimento da bacia hidrográfica com aportes de nitrogênio, sobretudo na forma de nitrato (Turner et al., 2003). Nos sistemas fluviais do Baixo Rio Doce o nitrato compõe  $92,92 \pm 4,98$  e  $45,70 \pm 17,80$  % do NID e NT, respectivamente.

Como relação à clorofila a, as concentrações variaram entre 0,14 e 6,86 µg/L, com as menores concentrações sendo registradas no rio Guandu (E17) em julho de 2019 e as maiores no rio Doce, a jusante de Linhares (E22), em março de 2019 (Tabela 26, Figura 7) Com relação à variação espacial, a estação E17 no rio Guandu é significativamente diferente das estações E21, E22 e E26 no rio Doce, mas não da E0, em Itapina; a E0 também é significativamente diferente da E22, à jusante de Linhares (Figura 9).

Tabela 25: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 62   | 62                                   | 62                              | 62                        | 62                           |
| <b>Média</b>                 | 32,52  | 3,36                                 | 257,13                          | 66,81                     | 2,84                         |
| <b>Mediana</b>               | 31,85  | 3,21                                 | 205,36                          | 63,13                     | 2,55                         |
| <b>Mínima</b>                | 15,00  | 0,27                                 | 121,54                          | 20,63                     | 0,55                         |
| <b>Máxima</b>                | 116,90   | 11,48                                | 1647,83                         | 160,63                    | 5,36                         |
| <b>Desvio padrão</b>         | 12,56  | 1,80                                 | 204,61                          | 22,82                     | 1,39                         |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 38,62  | 53,48                                | 79,57                           | 34,15                     | 48,95                        |

Tabela 26: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 52                                 | 52                        | 62                        | 62                       | 62                            |
| <b>Média</b>                 | 3153,00                            | 1180,30                   | 13,16                     | 74,56                    | 2,06                          |
| <b>Mediana</b>               | 2877,11                            | 1113,37                   | 10,24                     | 66,33                    | 1,68                          |
| <b>Mínima</b>                | 2051,58                            | 346,27                    | 3,45                      | 16,11                    | 0,14                          |
| <b>Máxima</b>                | 6203,72                            | 3918,40                   | 84,41                     | 213,48                   | 6,86                          |
| <b>Desvio padrão</b>         | 807,16                             | 527,82                    | 11,72                     | 42,78                    | 1,71                          |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 25,60                              | 44,72                     | 89,07                     | 57,38                    | 83,10                         |

Figura 5: Variação mensal de parâmetros químicos alcalinidade total (A), carbono orgânico total (B), fósforo total (C) e fosfato (D), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.

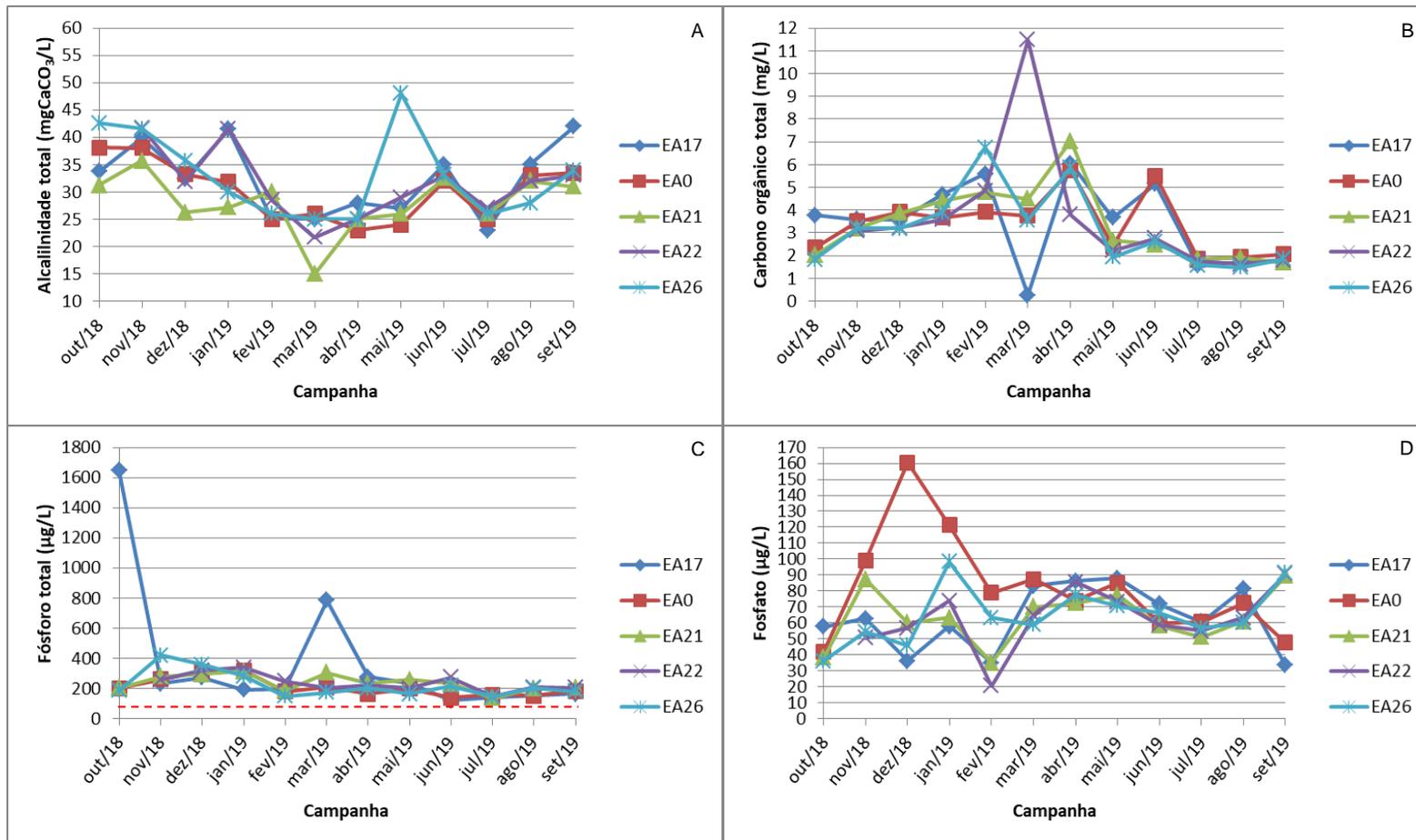


Figura 6: Variação mensal de parâmetros químicos nitrogênio total (A), nitrato (B), nitrito (C) e amônio (D), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.

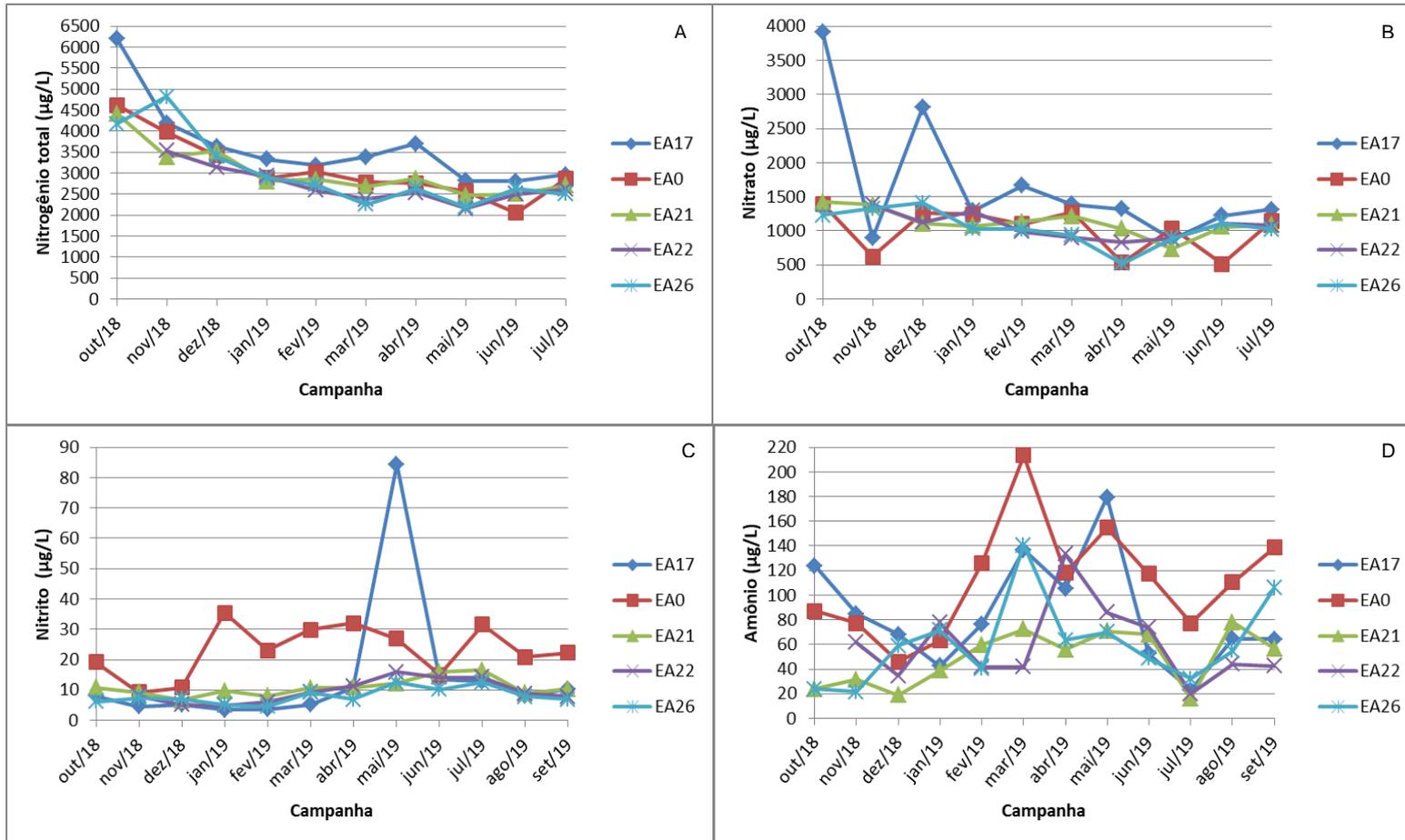


Figura 7: Variação mensal de parâmetros químicos silicato (A) e clorofila a (B), mensurados no sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.

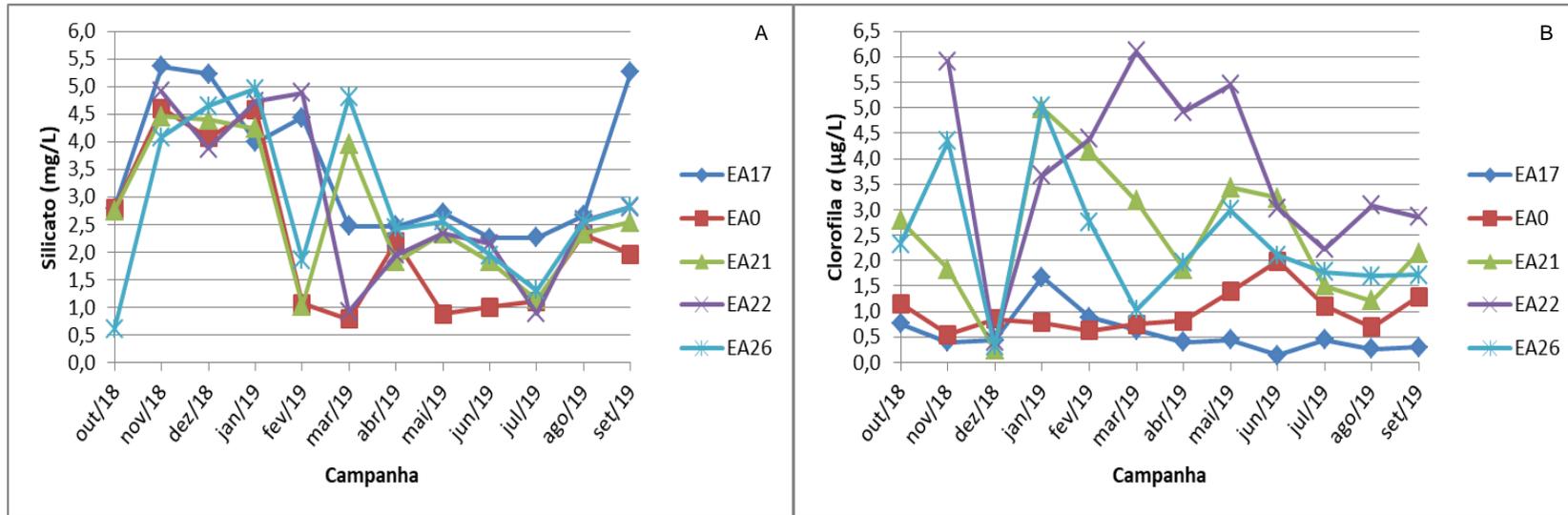


Figura 8: Box-plots para diferenças entre as Estações Amostrais no rio Guandu e no rio Doce, das concentrações de nitrito (A), amônio (B) e clorofila a (C). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

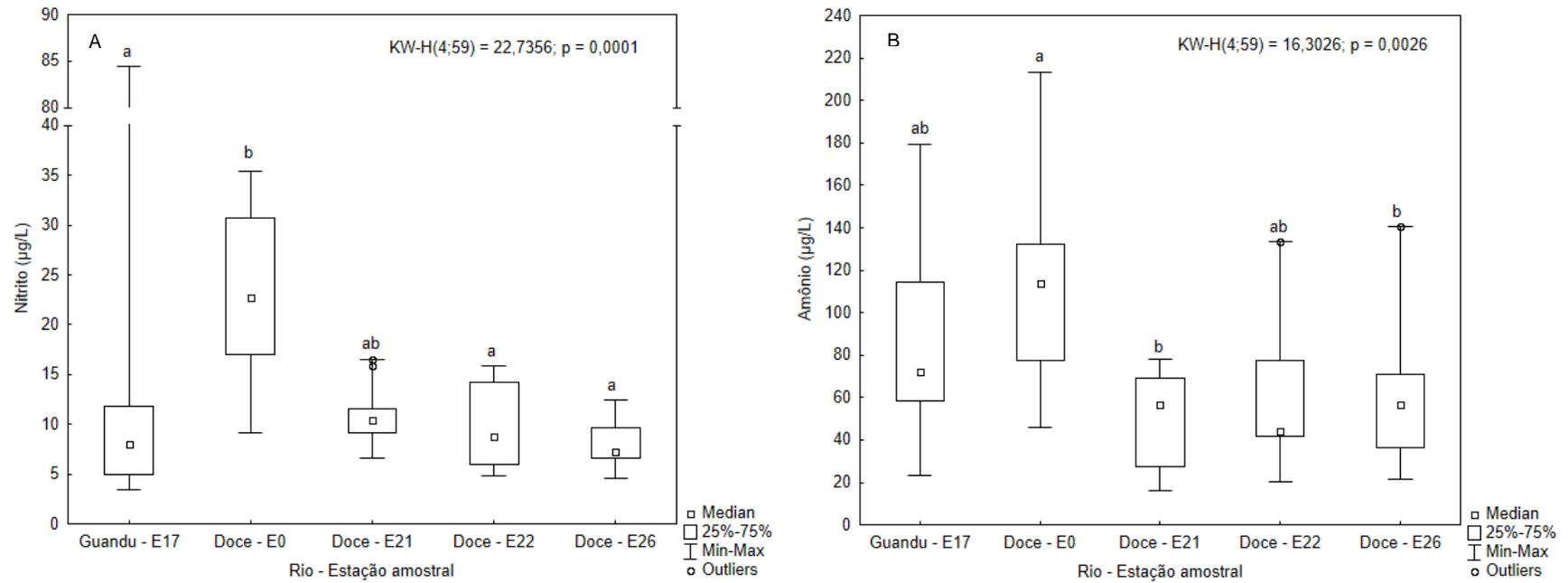
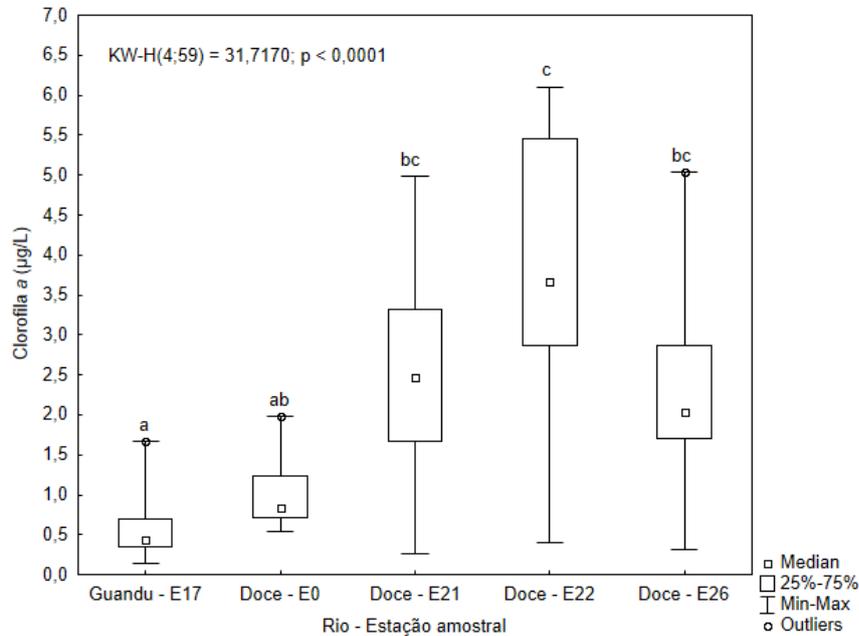


Figura 9: Box-plots para diferenças entre as Estações Amostrais no rio Guandu e no rio Doce, das concentrações de clorofila a. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



### 3.1.4 Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos no sedimento

#### 3.1.4.1 Sistema fluvial: Rio Guandu (E17) e Rio Doce (E0, E21, E22, E26)

##### E 17 – Rio Guandu

No rio Guandu, a densidade do sedimento variou entre 2095,33 e 3130,60 kg/m<sup>3</sup>, o pH entre 6,60 e 8,90, a condutividade elétrica entre 30,00 e 80,00 µS/cm, o percentual de matéria orgânica entre 0,14 e 1,20% e a concentração de fosfato na água intersticial entre 68,75 e 637,06 µg/L (Tabela 27).

##### EA 0 – Rio Doce (Itapina)

No rio Doce, em Itapina, a densidade do sedimento variou entre 1871,33 e 3149,00 kg/m<sup>3</sup>, o pH entre 6,20 e 8,30, a condutividade elétrica entre 20,00 e 50,00 µS/cm, o percentual de matéria orgânica entre 0,02 e 1,38% e a concentração de fosfato na água intersticial entre 71,25 e 6946,18 µg/L (Tabela 28).

##### E21 – Rio Doce (Linhares)

No rio Doce, em Linhares, a densidade do sedimento variou entre 1615,40 e 3150,13 kg/m<sup>3</sup>, o pH entre 5,50 e 7,60, a condutividade elétrica entre 30,00 e 60,00 µS/cm, o percentual de matéria orgânica entre 0,07 e 1,70% e a concentração de fosfato na água intersticial entre 60,07 e 364,63 µg/L (Tabela 29).

##### E22 – Rio Doce (Jusante de Linhares)

No rio Doce, em Linhares, a densidade do sedimento variou entre 2051,00 e 3141,40 kg/m<sup>3</sup>, o pH entre 6,40 e 8,00, a condutividade elétrica entre 20,00 e 40,00 µS/cm, o percentual de matéria orgânica entre 0,10 e 0,51% e a concentração de fosfato na água intersticial entre 34,93 e 3003,68 µg/L (Tabela 30).

#### **E26 – Rio Doce (Regência)**

No rio Doce, em Linhares, a densidade do sedimento variou entre 2041,60 e 3101,33 kg/m<sup>3</sup>, o pH entre 5,40 e 7,70. A condutividade elétrica variou entre e 10,00 e 60,00 µS/cm, sem considerar o mês de agosto de 2019, quando ficou acima de 4000,00 µS/cm, valor esse maior que o limite de detecção do sensor, não sendo assim considerado nas estatísticas descritivas e analíticas. O percentual de matéria orgânica entre 0,08 e 1,26% e a concentração de fosfato na água intersticial entre 32,13 e 416,32 µg/L (Tabela 31).

Tabela 27: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do rio Guandu (E17), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(μS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(μg/L)</b> |
|------------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>            | 12                                      | 8         | 8   | 12                              | 12   |
| <b>Média</b>                 | 2831,76                                 | 7,35      | 43,75                                     | 0,52                            | 188,37   |
| <b>Mediana</b>               | 2973,83                                 | 7,20      | 40,00                                     | 0,46                            | 147,39   |
| <b>Mínima</b>                | 2095,33                                 | 6,60      | 30,00                                     | 0,14                            | 68,75  |
| <b>Máxima</b>                | 3130,60                                 | 8,90      | 80,00                                     | 1,20                            | 637,06   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 358,41                                  | 0,71      | 16,85                                     | 0,28                            | 155,04   |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 12,66                                   | 9,59      | 38,51                                     | 53,42                           | 82,31  |

Tabela 28: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do rio Doce (Itapina - E0), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(μS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(μg/L)</b> |
|------------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>            | 12                                      | 8         | 8   | 12                              | 12   |
| <b>Média</b>                 | 2790,53                                 | 7,06      | 32,50                                     | 0,29                            | 747,46   |
| <b>Mediana</b>               | 2934,87                                 | 6,90      | 30,00                                     | 0,20                            | 145,99   |
| <b>Mínima</b>                | 1871,33                                 | 6,20      | 20,00                                     | 0,02                            | 71,25  |
| <b>Máxima</b>                | 3149,00                                 | 8,30      | 50,00                                     | 1,38                            | 6946,18  |
| <b>Desvio padrão</b>         | 414,99                                  | 0,71      | 10,35                                     | 0,35                            | 1957,34  |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 14,87                                   | 10,01     | 31,85                                     | 120,16                          | 261,87   |

Tabela 29: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do rio Doce (Linhares E21), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(μS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(μg/L)</b> |
|------------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>            | 12                                      | 8         | 8   | 12                              | 12   |
| <b>Média</b>                 | 2759,54                                 | 7,01      | 36,25                                     | 0,41                            | 140,87   |
| <b>Mediana</b>               | 2968,00                                 | 7,20      | 30,00                                     | 0,33                            | 117,02   |
| <b>Mínima</b>                | 1615,40                                 | 5,50      | 30,00                                     | 0,07                            | 60,07  |
| <b>Máxima</b>                | 3150,13                                 | 7,60      | 60,00                                     | 1,70                            | 364,63   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 489,70                                  | 0,64      | 10,61                                     | 0,44                            | 79,46  |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 17,75                                   | 9,16      | 29,26                                     | 105,23                          | 56,41  |

Tabela 30: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do rio Doce (Jusante Linhares E22), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(μS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(μg/L)</b> |
|--------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 11                                      | 8         | 8   | 11                              | 11   |
| <b>Média</b>             | 2894,90                                 | 7,18      | 30,00                                     | 0,27                            | 599,78   |
| <b>Mediana</b>           | 2966,53                                 | 7,20      | 30,00                                     | 0,24                            | 103,38   |
| <b>Mínima</b>            | 2051,00                                 | 6,40      | 20,00                                     | 0,10                            | 34,93  |
| <b>Máxima</b>            | 3141,40                                 | 8,00      | 40,00                                     | 0,51                            | 3003,68  |
| <b>Desvio padrão</b>     | 295,82                                  | 0,55      | 7,56                                      | 0,12                            | 1098,66  |
| <b>Coef. de variação</b> | 10,22                                   | 7,66      | 25,20                                     | 44,62                           | 183,18   |

Tabela 31: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do rio Doce (E26), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(μS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(μg/L)</b> |
|--------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 12                                      | 8         | 8   | 12                              | 12   |
| <b>Média</b>             | 2790,09                                 | 6,91      | 34,29                                     | 0,50                            | 192,95   |
| <b>Mediana</b>           | 2983,73                                 | 7,10      | 30,00                                     | 0,46                            | 159,26   |
| <b>Mínima</b>            | 2041,60                                 | 5,40      | 10,00                                     | 0,08                            | 32,13  |
| <b>Máxima</b>            | 3110,60                                 | 7,70      | 60,00                                     | 1,26                            | 416,32   |
| <b>Desvio padrão</b>     | 415,08                                  | 0,75      | 18,63                                     | 0,30                            | 142,37   |
| <b>Coef. de variação</b> | 14,88                                   | 10,81     | 54,35                                     | 60,27                           | 73,78  |

#### 3.1.4.2 Integração do sistema fluvial para os dados do sedimento: rio Doce e rio Baixo Guandu

Considerando todo o sistema fluvial – rio Guandu e rio Doce – a variável física densidade do sedimento variou entre 1615,40 e 3150,13 kg/m<sup>3</sup>, com os menores e maiores valores sendo registrados no rio Doce, em Linhares (E21), em outubro de 2018 e janeiro de 2019, respectivamente (Tabela 32, Figura 10).

Com relação às variáveis físico-químicas, o pH variou entre 5,40 e 8,90, com os menores valores sendo registrados no rio Doce, em Regência (E26), em junho de 2019 e os maiores no rio Guandu (E17), em agosto de 2019 (Tabela 32, Figura 10). A condutividade elétrica variou entre 10,00 e 80,00 µS/cm, com os menores valores sendo registrados no rio Doce, em Regência (E26), em maio de 2019 e os maiores valores sendo registrados no rio Doce, em Linhares (E21), em fevereiro de 2019 e em Regência (26), em agosto de 2019 (Tabela 32, Figura 10); em regência, em setembro de 2019, a condutividade elétrica ficou acima de 4000,00 µS/cm, valor essa maior que o limite de detecção do sensor, não sendo considerado nas estatísticas descritivas e analíticas. Esse valor elevado provavelmente está relacionado com a entrada da pluma da maré no rio Doce, no período que antecedeu a amostragem. Com isso o sedimento ainda apresentava valores elevados de condutividade elétrica.

Com relação às variáveis químicas, o percentual de matéria orgânica variou entre 0,02 e 1,38%, com os menores valores sendo registrados no rio Doce, em Itapina (E0), em Linhares (E21) e a Jusante de Linhares (E22), em maio e junho de 2019 (Tabela 32, Figura 11). A estação amostral E17, no rio Guando, apresentou valores significativamente maiores que a estação E0, no rio Doce (Figura 12), mas sem diferenças significativas entre as demais estações.

A concentração de fosfato na água intersticial variou entre 32,13 e 6946,18µg/L, com os menores valores sendo registrados no rio Doce, em Regência (E26), em outubro de 2018 e os maiores em Itapina (E0), em agosto de 2019 (Tabela 32, Figura 11).

No sedimento do sistema fluvial só houve diferenças significativas entre as estações amostrais para o percentual de matéria orgânica, como apresentado no parágrafo anterior, não havendo diferenças significativas para os demais parâmetros.

Tabela 32: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(μS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(μg/L)</b> |
|------------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>            | 59                                      | 40        | 40  | 59                              | 59   |
| <b>Média</b>                 | 2811,98                                 | 7,10      | 35,38                                     | 0,40                            | 370,50   |
| <b>Mediana</b>               | 2970,53                                 | 7,15      | 30,00                                     | 0,32                            | 129,03   |
| <b>Mínima</b>                | 1615,40                                 | 5,40      | 10,00                                     | 0,02                            | 32,13  |
| <b>Máxima</b>                | 3150,13                                 | 8,90      | 80,00                                     | 1,70                            | 6946,18  |
| <b>Desvio padrão</b>         | 390,41                                  | 0,66      | 13,46                                     | 0,32                            | 1003,87  |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 13,88                                   | 9,24      | 38,03                                     | 80,74                           | 270,95   |

Figura 10: Variação mensal da densidade do sedimento (A), pH (B) e condutividade elétrica (C), mensurados no sedimento do sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.

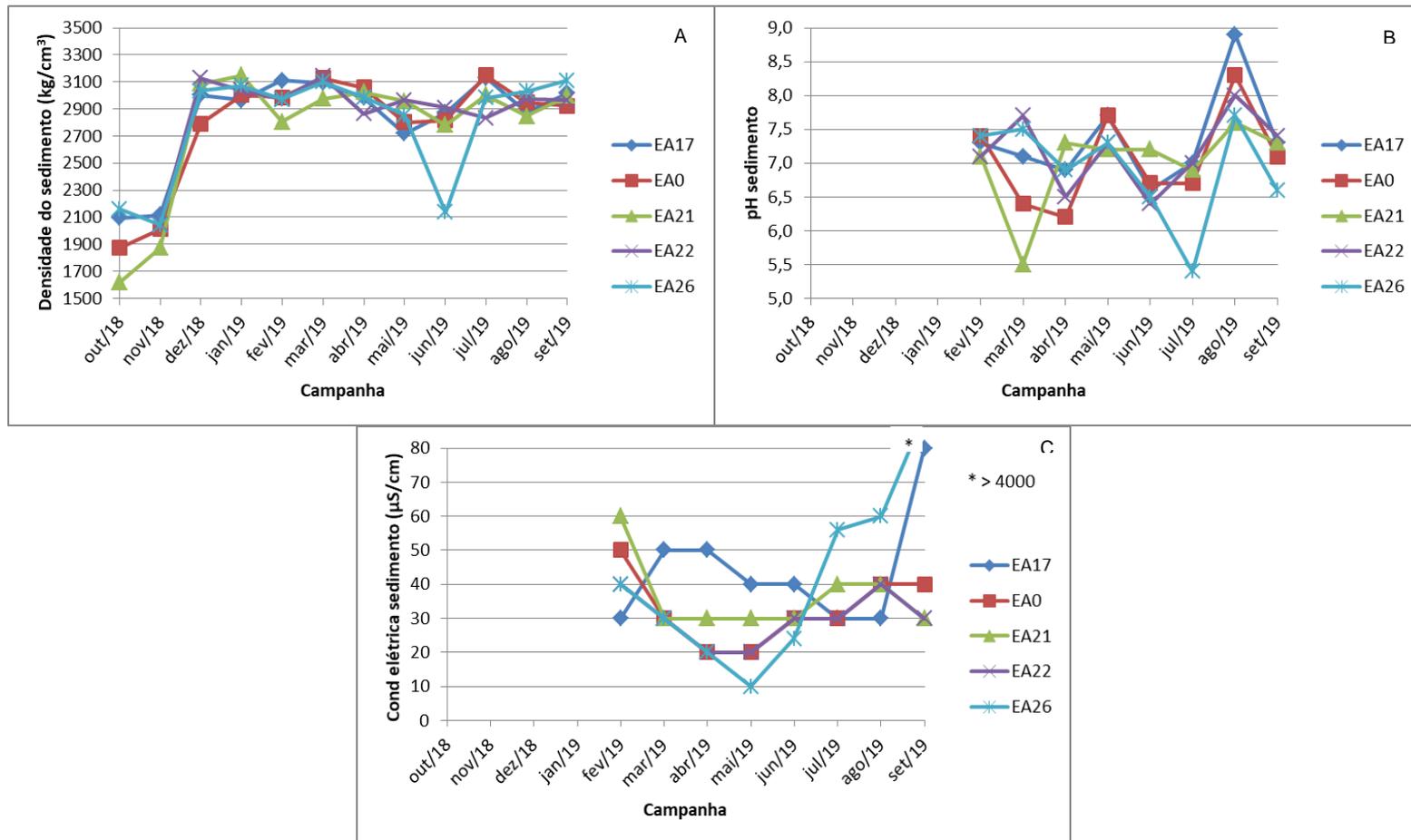


Figura 11: Variação mensal da matéria orgânica (A) e fósforo na água intersticial (B), mensurados no sedimento do sistema fluvial, entre 10/2018 e 09/2019.

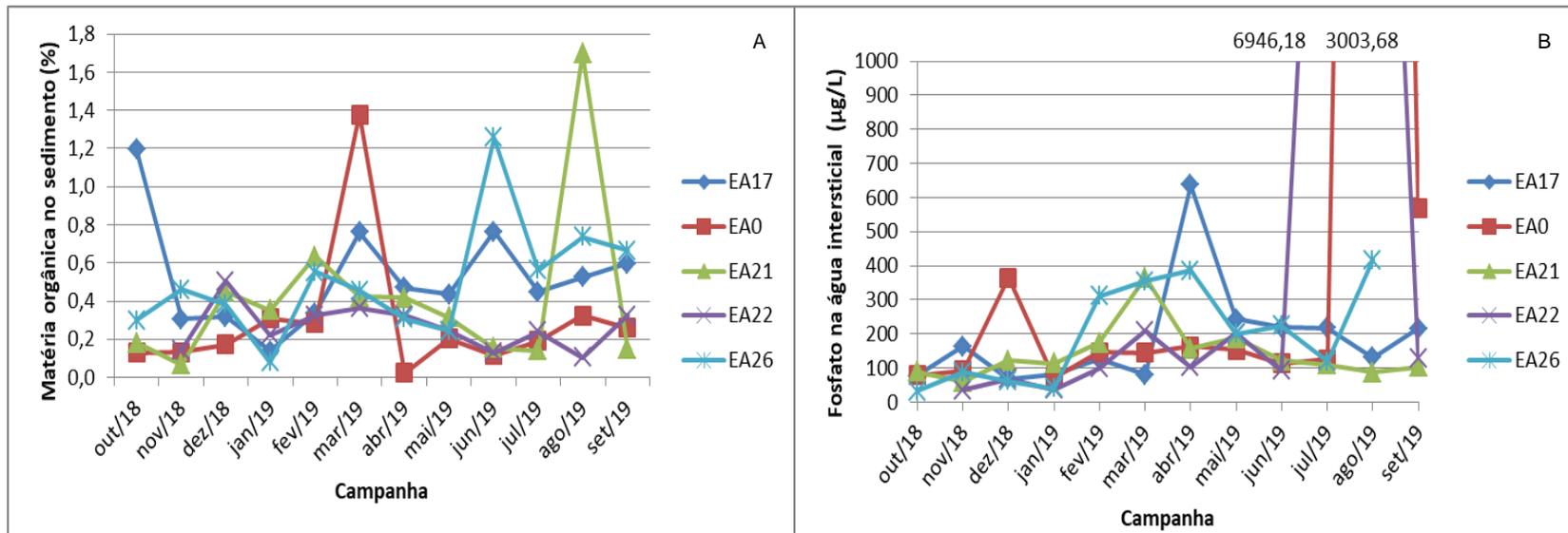
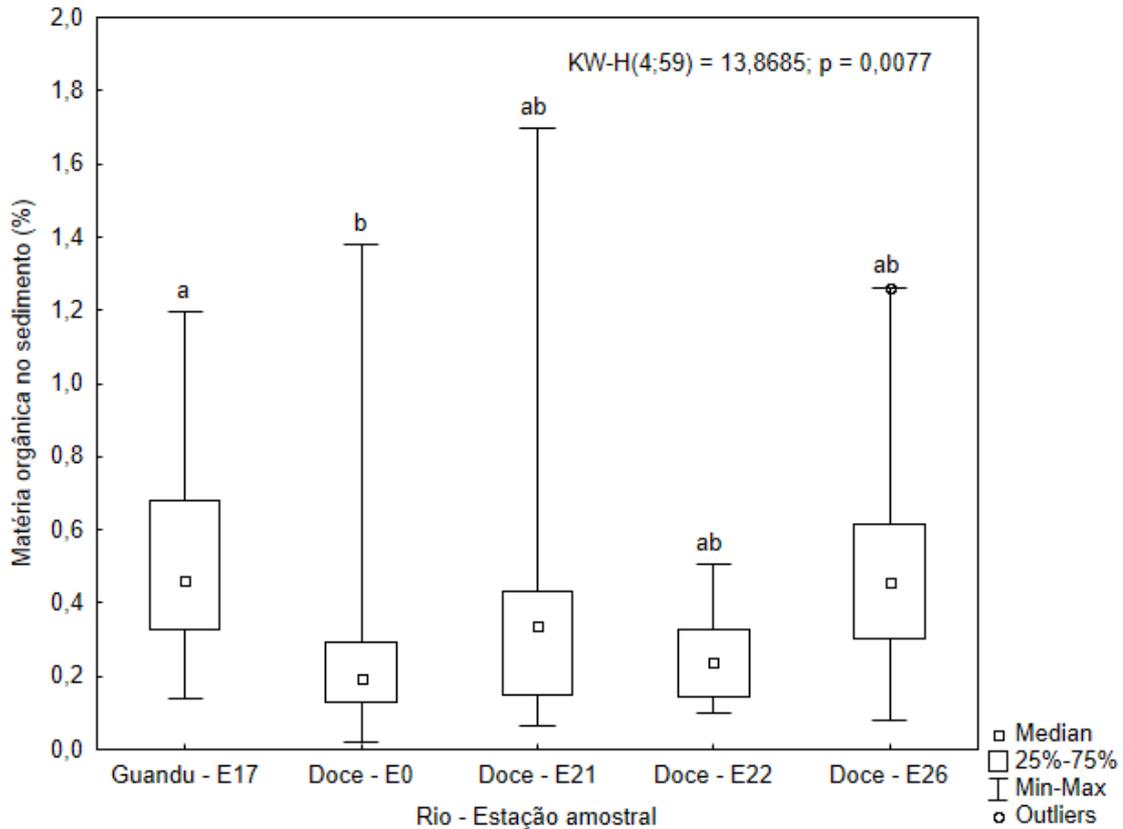


Figura 12: Box-plots para diferenças entre as Estações Amostrais no rio Guandu e no rio Doce, da porcentagem de matéria orgânica no sedimento. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



### 3.1.5 Fluxos de nutrientes

Os fluxos de nutrientes, fósforo total (P), fósforo inorgânico dissolvido (PID), nitrogênio total (N), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e silício inorgânico dissolvido (SiD), foram determinados a partir da estação amostral E21 no rio Doce. A área drenada pela estação E21 compreende 81.933,49 km<sup>2</sup> (95,3% da área da bacia hidrográfica). Embora diste 46,6 km da foz a estação E21 foi considerada como referência para a estimativa dos fluxos de nutrientes para o oceano adjacente. Na estação E22 (14,7 km da foz) as dificuldades logísticas para determinação da vazão fluvial sob condições de baixa vazão e formação de extensos bancos de areia impossibilitam o uso desta como referência. A estação E26 (1,3 da foz) não pode ser considerada devido influência da maré, seja pelo efeito de represamento e/ou pela intrusão halina na maré enchente, sobretudo sob condições de baixa vazão fluvial, condição predominante no ano de 2019.

Os fluxos diários de P, PID, N, NID e SiD são apresentados na Tabela 33 e a análise estatística descritiva Tabela 34. A Figura 13 e a Figura 14 apresentam as variações da vazão e dos fluxos no período de estudo: os maiores fluxos foram registrados na amostragem de dezembro de 2018, quando

ocorreu a maior vazão durante as amostragens (891 m<sup>3</sup>/s na estação E21), enquanto os menores fluxos foram registrados em julho de 2019, quando ocorreu a menor vazão da série (77 m<sup>3</sup>/s na estação E21). A Figura 15 apresenta dispersão dos fluxos diários de N, P e SiD. Os fluxos médios diários de P, PID, N, NID e SiD, em toneladas, foram 7.70±5,72, 1,90±1,26, 84,98±55,98, 38,39±20,41 e 93,41±91,14, respectivamente. Em média o fluxo de fósforo inorgânico dissolvido compõe 27,48±14,21% do fluxo de fósforo total, enquanto o fluxo de nitrogênio é composto por 49,08±14,21 % por nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), sendo que 95,35±2,41% do NID é constituído por nitrato.

Tabela 33: Fluxos de fósforo total (P), fósforo inorgânico dissolvido (PID), nitrogênio total (N), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e silício inorgânico dissolvido (SiD) em t/d da estação amostral E21 no Rio Doce.

| Campanha | Data       | Fluxos     |              |            |              |               |
|----------|------------|------------|--------------|------------|--------------|---------------|
|          |            | P<br>(t/d) | PID<br>(t/d) | N<br>(t/d) | NID<br>(t/d) | SiD.<br>(t/d) |
| 1        | 24/10/2018 | 4,31       | 4,31         | 76,86      | 30,85        | 58,07         |
| 2        | 22/11/2018 | 12,56      | 12,56        | 133,92     | 64,73        | 201,54        |
| 3        | 13/12/2018 | 22,80      | 22,80        | 233,20     | 86,77        | 338,76        |
| 4        | 15/01/2019 | 10,67      | 10,67        | 83,83      | 38,05        | 143,66        |
| 5        | 14/02/2019 | 8,54       | 8,54         | 119,73     | 54,90        | 47,60         |
| 6        | 21/03/2019 | 8,39       | 8,39         | 66,40      | 35,64        | 108,78        |
| 7        | 11/04/2019 | 8,35       | 8,35         | 102,01     | 38,36        | 65,17         |
| 8        | 16/05/2019 | 6,92       | 6,92         | 59,57      | 21,92        | 62,74         |
| 9        | 11/06/2019 | 4,92       | 4,92         | 51,73      | 24,17        | 38,38         |
| 10       | 16/07/2019 | 0,90       | 0,90         | 17,54      | 7,39         | 7,58          |
| 11       | 16/08/2019 | 1,99       | 1,99         | 36,06      | 31,58        | 22,94         |
| 12       | 17/09/2019 | 2,08       | 2,08         | 38,91      | 26,27        | 25,72         |

Figura 13: Variação dos fluxos de N e P (t/d) e vazão (m<sup>3</sup>/s) na estação E21.

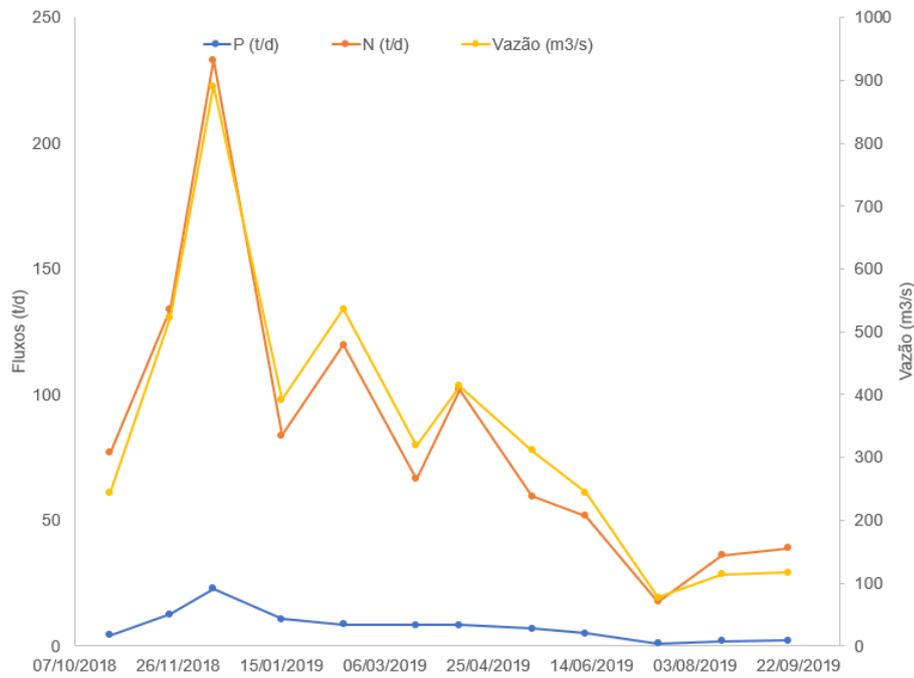


Figura 14: Variação dos fluxos de NID, SiD e PID (t/d) e vazão (m<sup>3</sup>/s) na estação E21.

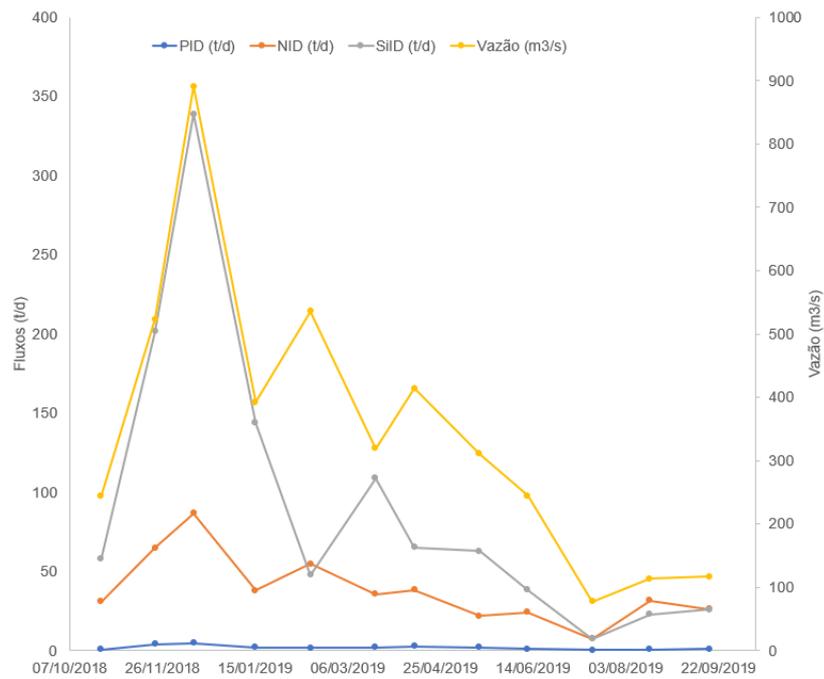
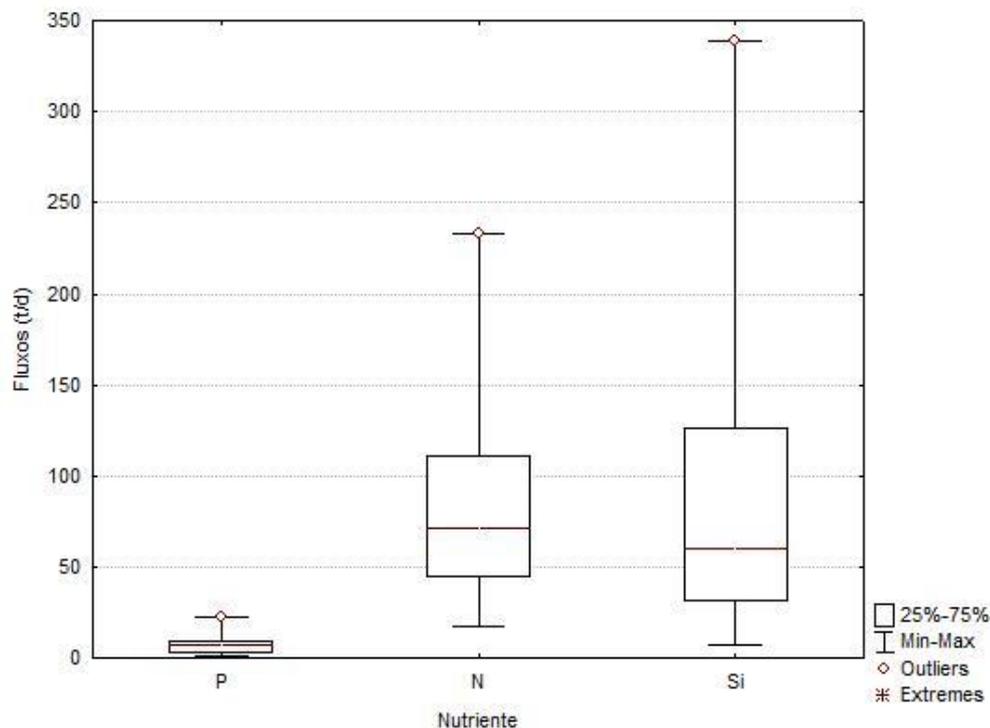


Tabela 34: Estatística descritiva para os fluxos de fósforo total (P), fósforo inorgânico dissolvido (PID), nitrogênio total (N), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e silício inorgânico dissolvido (SiD) em t/d da estação amostral E21 no Rio Doce.

|                | <b>P</b>     | <b>PID</b>   | <b>N</b>     | <b>NID</b>   | <b>SiD</b>   |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                | <b>(t/d)</b> | <b>(t/d)</b> | <b>(t/d)</b> | <b>(t/d)</b> | <b>(t/d)</b> |
| <b>Mínima</b>  | 0,90         | 0,34         | 17,54        | 7,39         | 7,58         |
| <b>Máxima</b>  | 22,80        | 4,62         | 233,20       | 86,77        | 338,76       |
| <b>Média</b>   | 7,70         | 1,90         | 84,98        | 38,39        | 93,41        |
| <b>DP</b>      | 5,72         | 1,26         | 55,60        | 20,41        | 91,14        |
| <b>CV (%)</b>  | 134,71       | 150,96       | 152,86       | 188,07       | 102,49       |
| <b>Mediana</b> | 7,63         | 1,78         | 71,63        | 33,61        | 60,40        |

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

Figura 15: Box-plots de exportação de fósforo total (P), nitrogênio total (N) e silício inorgânico dissolvido (SiD) em t/d para estação amostral E21 na calha do Rio Doce.



A produção anual de P, N e SiD no rio Doce, em toneladas, foi 2.811,49, 31.018,08 e 34.095, respectivamente. A produção anual de P do rio Doce é 2,4 vezes maior do que a da bacia do Rio São Francisco ( $1,16 \times 10^3$  t/a), cuja bacia hidrográfica é cerca de oito vezes maior do que a área da bacia do rio Doce (Medeiros et al., 2011). A magnitude dos fluxos depende de vários fatores como o tamanho da bacia hidrográfica, regime hidrológico, tipologia de rocha matriz e solos, cobertura florestal na bacia, nível de domesticação da bacia (i.e., uso agropecuário e extensão da área urbana), densidade populacional e nível de saneamento ambiental, além da fragmentação e regulação fluvial por

represamentos. Tong et al. (2019) compilaram os fluxos anuais de P e N de oito principais rios chineses para águas costeiras, ao longo de oito anos, em  $4,73 \times 10^1$  a  $2,38 \times 10^5$  e  $1,21 \times 10^3$  a  $2,09 \times 10^6$  t, respectivamente. Os maiores fluxos foram registrados com a maior vazão fluvial, seguindo a tendência de incremento do período seco para o período chuvoso. O rio Yangtzé contribui com 66 e 84% dos aportes de N e P com produção anual de  $1,35 \times 10^6$  a  $2,09 \times 10^6$  e  $1,22 \times 10^5$  a  $2,38 \times 10^5$  t, respectivamente.

A produção anual de SiD do rio São Francisco foi estimada em  $4,48 \times 10^4$  t para o ano de 2002, sendo esta taxa cerca de 30% inferior ao início dos anos 90. A diferença deve-se ao efeito em cascata de retenção de Si nos reservatórios das usinas hidrelétricas do rio São Francisco (Medeiros et al., 2011). Mesmo com a redução do fluxo, a produção de SiD pelo rio Doce é cerca da metade da produção do rio São Francisco. Globalmente os fluxos de fósforo e silício tendem a ser atenuados pelos efeitos de sumidouro dos represamentos naturais e artificiais, lagos e reservatórios, respectivamente. Cabe ressaltar, porém, o potencial de incremento dos aportes de N e P por práticas agrícolas subsidiadas com fertilizantes artificiais, além dos aportes associados aos efluentes domésticos tratados ou *in natura* (Howarth, 2000). O incremento dos aportes de N nas bacias tende a aumentar a razão NID:PID e a reduzir a razão SID:NID (Turner et al., 2003), que para calha do Rio Doce apresentou razões de  $25,07 \pm 16,24$  e  $2,22 \pm 1,47$ , respectivamente.

A Tabela 35 apresenta a produção específica, considerando a produção por unidade de área da bacia de drenagem, com taxas de 34,3, 8,47, 378,5, 171,00 e 416,1 kg/km<sup>2</sup>/a para P, PID, N, NID e SiD, respectivamente. Valores de 133 kg de N/km<sup>2</sup>/a e 50 kg de P/km<sup>2</sup>/a têm sido utilizados como referência para fluxos de bacias hidrográficas não perturbadas em regiões temperadas (Howarth, 2000). Uma compilação recente em 56 bacias hidrográficas ( $566$  a  $5,8 \times 10^6$  km<sup>2</sup>) no mundo, sob diferentes regimes climáticos, características geomorfológicas e padrões de uso e ocupação da terra, resultou em valores médios de  $884,1 + 493,2$  e  $70,7 + 132,8$  kg/km<sup>2</sup>/a para N e P, respectivamente (Oelsner et al., 2019). Para o SiD a produção específica entre 100 a 400 kg/km<sup>2</sup>/a é representativa para bacias hidrográficas não reguladas (i.e., sem represamentos) da América do Sul (Beusen et al., 2009).

Tabela 35: Produção anual (t) e produção anual específica (kg/km<sup>2</sup>) de fósforo (P), nitrogênio (N) e silício inorgânico dissolvido (SiD) em kg/km<sup>2</sup> para área de drenagem a montante da estação amostral E21 no rio Doce.

|            | <b>Produção</b> | <b>Produção Específica</b>   |
|------------|-----------------|------------------------------|
|            | <b>(t/a)</b>    | <b>(kg/km<sup>2</sup>/a)</b> |
| <b>P</b>   | 2.811,49        | 34,31                        |
| <b>PID</b> | 694,01          | 8,47                         |
| <b>N</b>   | 31.018,08       | 378,55                       |
| <b>NID</b> | 14.010,93       | 171,00                       |
| <b>SiD</b> | 34.095,09       | 416,13                       |

Dados de produção anual e produção específica de nutrientes ainda são escassos para grande maioria das bacias hidrográficas. Esforços têm sido feitos para estimar os aportes fluviais para o oceano

costeiro, sendo utilizadas diferentes abordagens como medições discretas e sistemáticas de vazão e concentração dos constituintes hidroquímicos em suspensão e dissolvidos, bem como com a modelagem por meio de proxies da bacia hidrográfica como morfometria, clima, hidrologia e uso e ocupação da terra (Turner et al., 2003; Smith et al., 2003; Meybeck, 2010; Oelsner et al., 2019). A avaliação da variabilidade intra e interanual dos fluxos depende em grande parte do esforço amostral em relação a frequência anual de amostragens e a duração do monitoramento ao longo dos anos.

Os resultados de fluxos do presente estudo referem-se a um ano amostral (2018-2019), sendo dependente das condições climáticas prevalentes no período, sobretudo de pluviosidade e do regime fluvial do rio Doce e seus tributários. A vazão média de longo termo na estação fluviométrica de Colatina (56994500) é 914 m<sup>3</sup>/s, com vazões médias para os períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) de 1.299 e 600 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. A vazão média mensurada na estação amostral E21 durante as doze campanhas amostrais de outubro de 2018 a setembro de 2019 foi 348,48±218,44 m<sup>3</sup>/s, 2,6 vezes menor do que a média de longo termo. A condição de estiagem na bacia do rio Doce persiste desde 2014 (CPRM, 2015), com período crítico de seca entre 2014 e 2015 (Nobre et al., 2016). Considerando que os fluxos de nutrientes aumentam com a vazão fluvial espera-se que com a continuidade dos estudos nos anos subsequentes seja possível constituir uma base de dados mais representativa para condições regulares de pluviosidade e vazões fluviais na bacia hidrográfica do rio Doce.

Os fluxos estimados no presente estudo para estação amostral E21, localizada à montante da zona estuarina superior (i.e., fora da influência de maré e intrusão halina), foram considerados como referência para o aporte ao oceano costeiro. Cabe ressaltar, no entanto, que os processos de adsorção, dessorção e floculação dos constituintes químicos na zona estuarina de mistura (i.e., águas salobras) podem alterar os fluxos, sobretudo em relação as frações particuladas, que são predominantes para frações dissolvidas, mais biodisponíveis (Bianchi, 2007). Nesse contexto, foi sugerido o reposicionamento da estação amostral E22 para área de remanso próximo à foz do Rio Doce, onde predominam condições salobras durante períodos de baixa vazão fluvial.

A tendência nos países desenvolvidos de redução das contribuições de P e N em bacias urbanas deve-se a cobertura e eficiência do tratamento de efluentes domésticos, inclusive com a remoção de nutrientes por tratamento terciário e ao controle de fontes pontuais. Por outro lado, as fontes difusas ainda constituem as principais fontes de nutrientes para o oceano costeiro (Howarth, 2000; Oelsner et al., 2019).

## 3.2 AMBIENTE LACUSTRE: LAGOS

### 3.2.1 Parâmetros físicos na coluna d'água

#### E18 – Lagoa do Limão

Na lagoa do Limão, a transparência da água variou entre 1,10 e 3,20 m (Tabela 36). Em setembro de 2019 foi registrada a maior transparência e, conseqüentemente maior zona eufótica, enquanto as menores transparência e zona eufótica foram registradas em julho de 2019 (Figura 16).

As maiores temperaturas foram registradas no epilímnio da coluna d'água (entre 4,0 e 6,0 metros), entre janeiro e março de 2019, profundidades esses limites da zona de mistura, com a maior temperatura (32,21 °C) sendo registrada em março de 2019. Entre junho e setembro de 2019 a coluna d'água permaneceu desestratificada e com as menores temperaturas, sendo o menor valor registrado em agosto de 2019 (23,09 °C), no hipolímnio do lago (Tabela 36, Figura 16). As diferenças na temperatura entre superfície e fundo foram estatisticamente significativas, (Figura 17), diferenças essas ocorrendo principalmente no período de estratificação térmica.

A turbidez, mensurada nas profundidades subsuperfície, 1% e fundo variou entre 0,10 e 29,00 UNT (Tabela 36, Figura 16), com os menores valores sendo registrados em fevereiro de 2019 e os maiores em outubro de 2018. Os valores de turbidez foram significativamente maiores no fundo da lagoa (Figura 18), principalmente em novembro de 2018 e abril e julho de 2019, como demonstrado no diagrama profundidade/tempo (Figura 16).

As concentrações de material particulado em suspensão (MPS) variaram entre 0,20 e 17,60 mg/L (Tabela 36), com os menores valores sendo registrados em dezembro de 2018 e os maiores em novembro de 2018. Assim como para a turbidez, os valores foram significativamente maiores no fundo do lago (Figura 18).

Tabela 36: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados na lagoa do Limão (E8), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Transparência<br/>(m)</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> | <b>Turbidez<br/>(UNT)</b> | <b>MPS<br/>(mg/L)</b> |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| <b>N amostral</b>        | 12,00                        | 156,00                      | 35,00                     | 35,00                 |
| <b>Média</b>             | 2,48                         | 26,62                       | 4,53                      | 3,24                  |
| <b>Mediana</b>           | 2,55                         | 26,28                       | 2,72                      | 2,00                  |
| <b>Mínima</b>            | 1,10                         | 23,09                       | 0,10                      | 0,20                  |
| <b>Máxima</b>            | 3,20                         | 32,21                       | 29,00                     | 17,60                 |
| <b>Desvio padrão</b>     | 0,57                         | 2,23                        | 5,26                      | 3,51                  |
| <b>Coef. de variação</b> | 22,92                        | 8,40                        | 114,92                    | 108,47                |

Figura 16: Diagramas de profundidade/tempo para a temperatura (A) e turbidez (B), mensurados na coluna d'água da lagoa do Limão (E18), entre 10/2018 e 09/2019.. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.

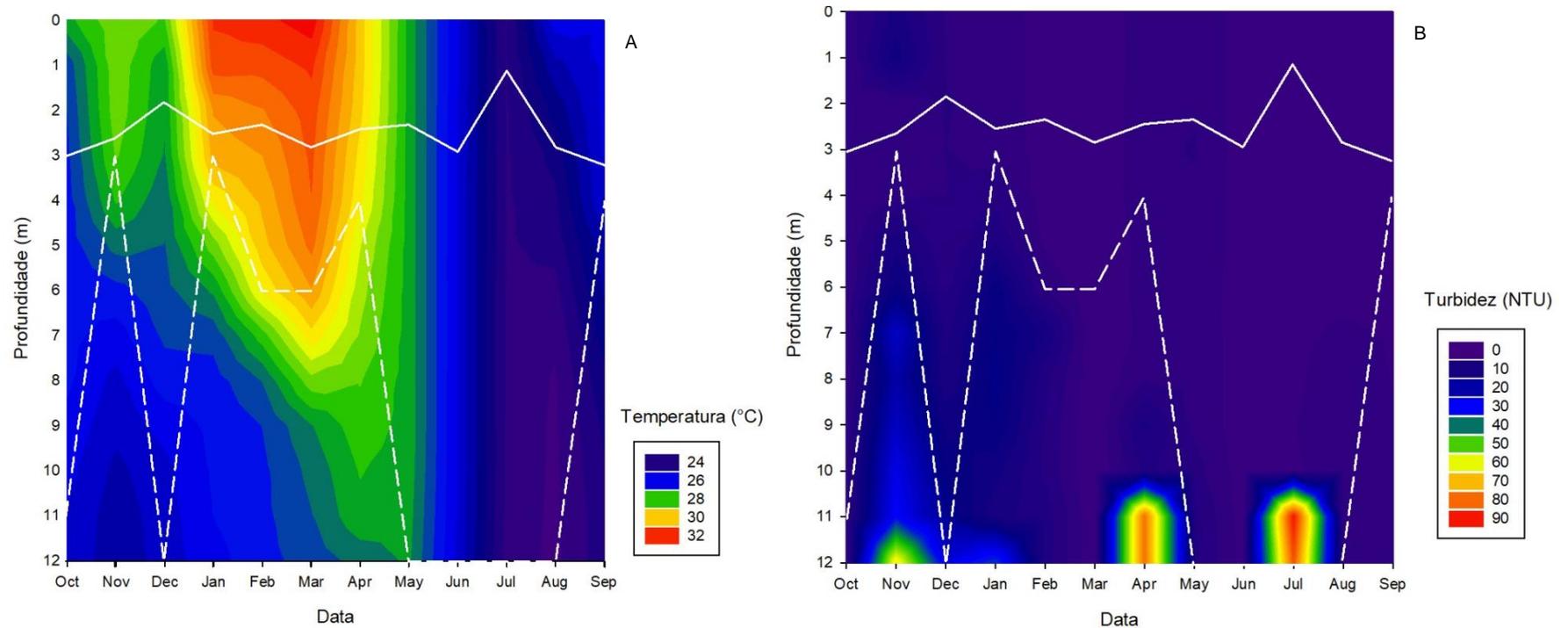


Figura 17: Box-plots para diferenças entre as profundidades no lago do Limão (E18), para a temperatura. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

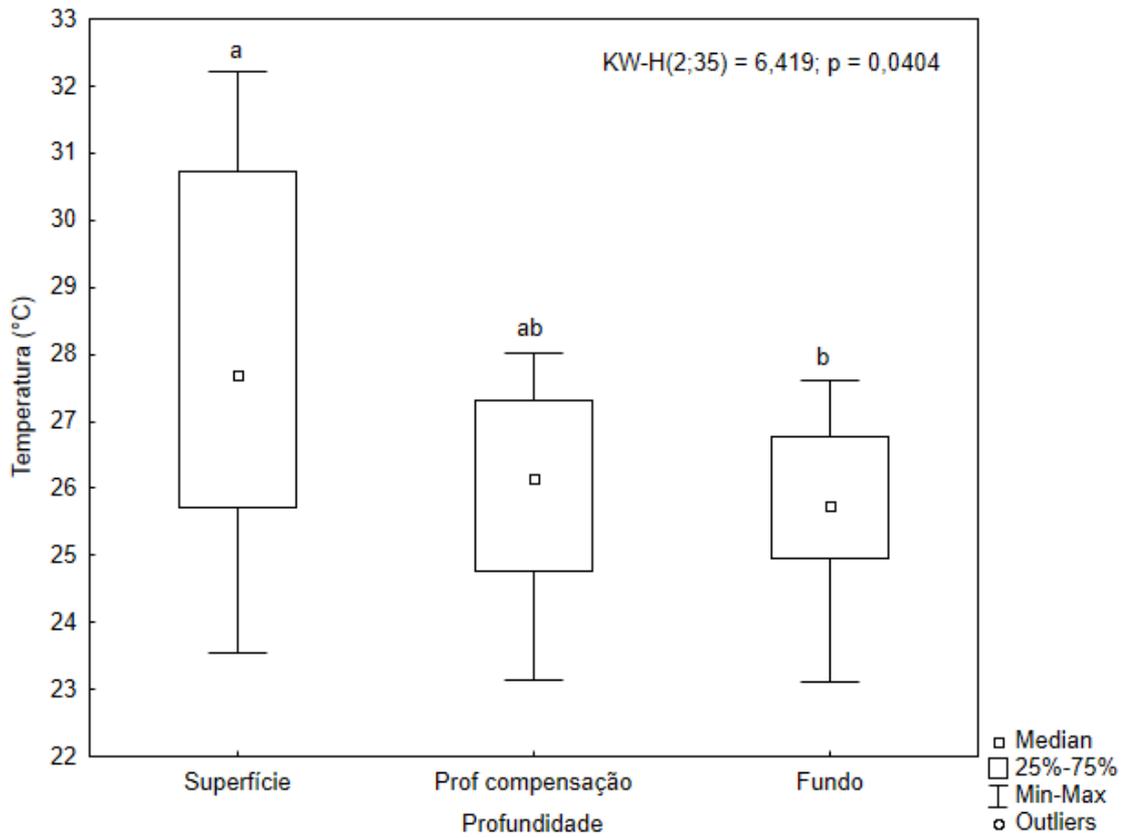
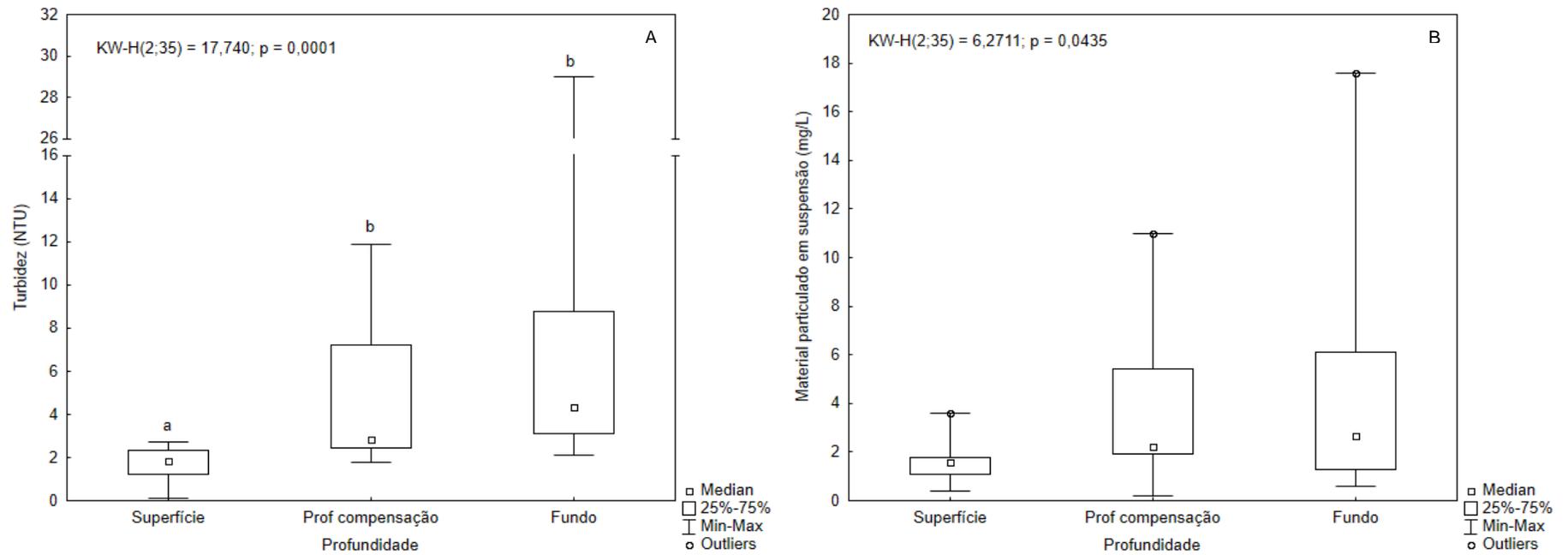


Figura 18: Box-plots para diferenças entre as profundidades no lago do Limão (E18), para os parâmetros físicos turbidez (A) e material particulado em suspensão (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



## E19 – Lago Nova

Na lagoa Nova a transparência da água veio entre 3,00 e 5,50 metros (Tabela 37). A menor transparência e zona eufótica foi registrada em dezembro de 2012, já as maiores transparência e zona eufótica foram registradas em setembro de 2019 (Figura 19).

A temperatura da água variou entre 23,42 e 30,77 °C (Tabela 37, Figura 19). A coluna d'água permaneceu estratificada entre novembro de 2018 e maio de 2019, com as temperaturas sendo significativamente maiores no epilímnio, que variou entre 4,00 e 16,00 metros (Figura 20). Nos meses de junho e setembro de 2019 a coluna d'água permaneceu desestratificada, sendo nesse período registradas as menores temperaturas na coluna d'água (figura 16). O padrão térmico monomítico quente é característico de lagos tropicais profundos, que no caso da Lagoa Nova apresenta profundidades máxima e média de 33,9 e 14,7m, respectivamente (Gonçalves et al., 2016).

A turbidez da água variou entre 0,00 e 6,40 UNT (Tabela 37), com os menores valores sendo registrados de novembro de 2018 a janeiro de 2019, na região superficial e o maior em janeiro de 2019, no fundo do lago (Figura 19); os valores de turbidez foram significativamente maiores na região profunda do lago (Figura 20 Figura 21). Com relação ao material particulado em suspensão (MPS), as concentrações variaram entre 0,10 e 4,49 mg/L (Tabela 37), sem diferenças significativas entre as profundidades.

Tabela 37: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Transparência<br/>(m)</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> | <b>Turbidez<br/>(UNT)</b> | <b>MPS<br/>(mg/L)</b> |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| <b>N amostral</b>        | 12,00                        | 384,00                      | 36,00                     | 36,00                 |
| <b>Média</b>             | 4,18                         | 25,91                       | 1,34                      | 1,22                  |
| <b>Mediana</b>           | 4,15                         | 25,50                       | 1,17                      | 1,07                  |
| <b>Mínima</b>            | 3,00                         | 23,42                       | 0,00                      | 0,10                  |
| <b>Máxima</b>            | 5,50                         | 30,77                       | 6,40                      | 4,49                  |
| <b>Desvio padrão</b>     | 0,67                         | 1,82                        | 1,26                      | 0,96                  |
| <b>Coef. de variação</b> | 16,09                        | 7,02                        | 93,92                     | 78,48                 |

Figura 19: Diagramas de profundidade/tempo para a temperatura (A) e turbidez (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Nova (E18), entre 10/2018 e 09/2019.. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.

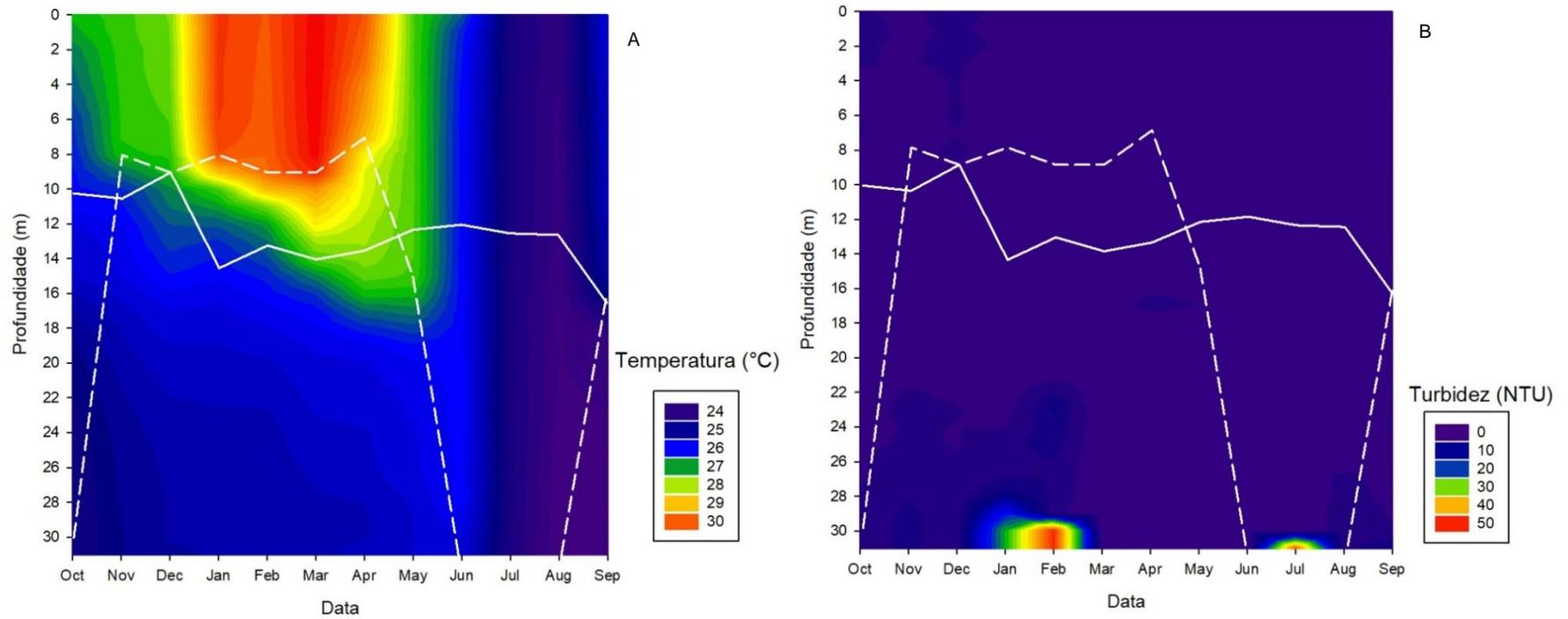
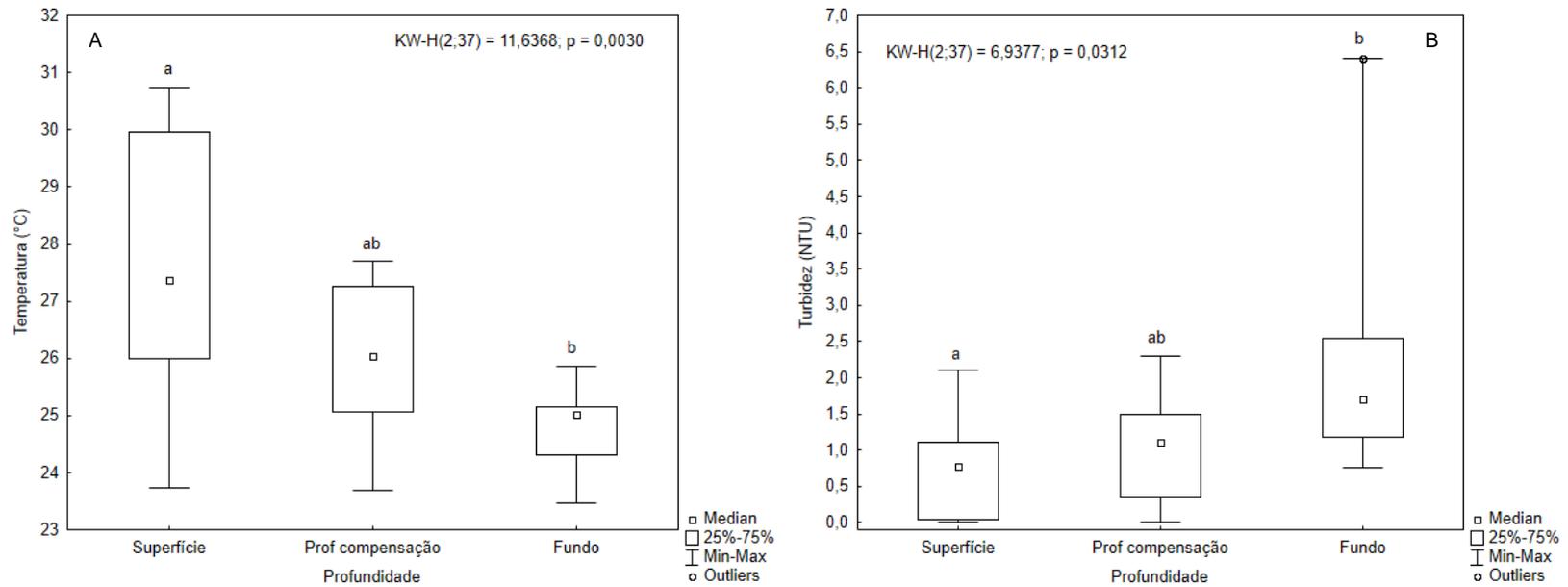


Figura 20: Box-plots para diferenças entre as profundidades no lago Nova (E19), para os parâmetros físicos temperatura (A) e turbidez (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



## E20 – Lago Juparanã

No lago Juparanã a transparência da água variou entre 0,8 e 2,2 metros (Tabela 38). Os menores valores de transparência e zona eufótica foram registrados em outubro de 2018 e setembro de 2019, já os maiores foram registrados em fevereiro de 2019 (Figura 21).

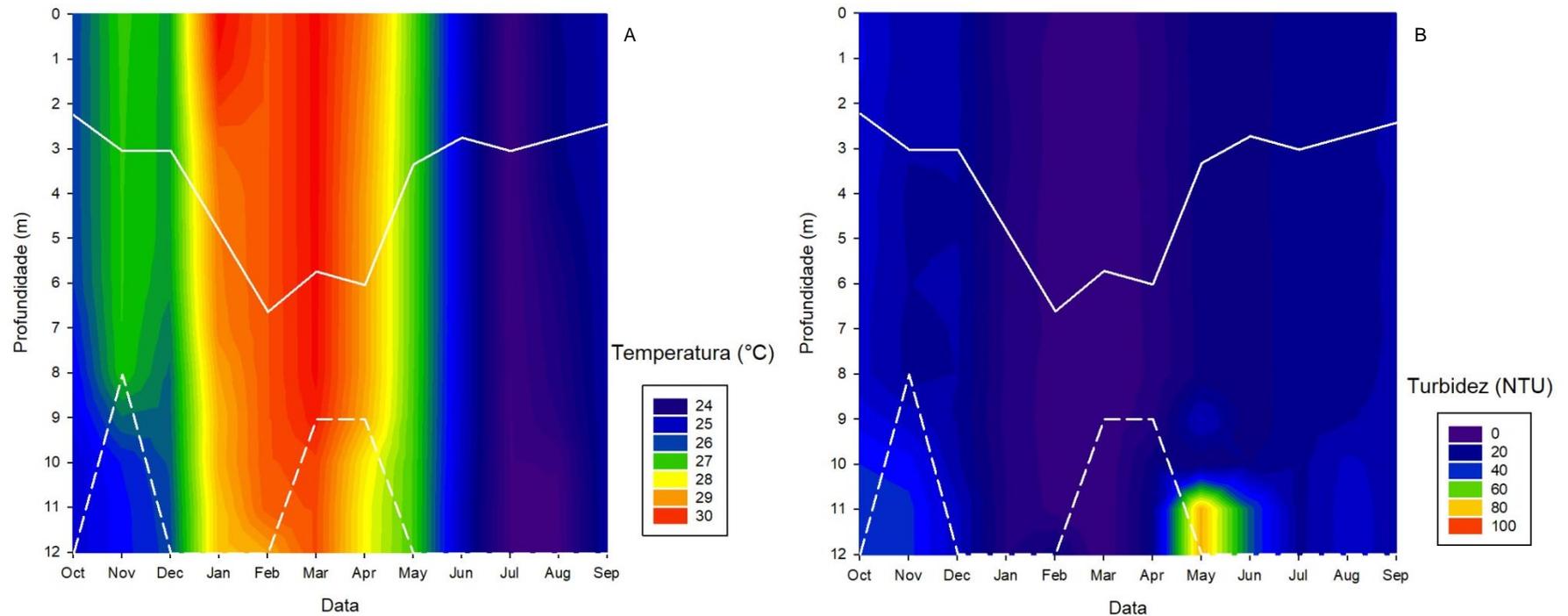
A temperatura da água variou entre 23,12 e 30,31 °C (Tabela 38). As maiores temperaturas foram registradas entre janeiro e abril de 2019 e as menores entre junho e setembro de 2019, de forma relativamente homogênea na coluna d'água (Figura 21), não sendo registradas diferenças significativas entre as profundidades.

A turbidez da água variou entre 1,2 e 35,9 UNT (Tabela 38), com os menores valores sendo registrados em fevereiro de 2019 e os maiores em outubro de 2018. Apesar dos maiores valores serem registrados na região profunda da lagoa (Figura 21), não foram registradas diferenças significativas entre as profundidades. Com relação ao material particulado em suspensão (MPS), as concentrações variaram entre 0,4 e 21,2 mg/L (Tabela 38), com os menores valores sendo registrados em outubro de 2018 e os maiores em novembro de 2018, também sem diferenças significativas entre as profundidades.

Tabela 38: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no lago Juparanã (E20), entre 10/2018 e 08/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Transparência<br/>(m)</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> | <b>Turbidez<br/>(UNT)</b> | <b>MPS<br/>(mg/L)</b> |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| <b>N amostral</b>        | 12                           | 151                         | 36                        | 36                    |
| <b>Média</b>             | 1,28                         | 26,67                       | 14,19                     | 8,85                  |
| <b>Mediana</b>           | 1,05                         | 26,51                       | 16,05                     | 8,53                  |
| <b>Mínima</b>            | 0,80                         | 23,12                       | 1,20                      | 0,40                  |
| <b>Máxima</b>            | 2,20                         | 30,31                       | 35,90                     | 21,20                 |
| <b>Desvio padrão</b>     | 0,51                         | 2,25                        | 8,86                      | 5,55                  |
| <b>Coef. de variação</b> | 39,73                        | 8,42                        | 62,46                     | 62,70                 |

Figura 21: Diagramas de profundidade/tempo para a temperatura (A) e turbidez (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.



### 3.2.2 Parâmetros físico-químicos na coluna d'água

#### E18 – Lago do Limão

No lago do Limão a concentração de oxigênio dissolvido variou entre 0,33 e 18,60 mg/L (Tabela 39). Entre outubro de 2018 e março de 2019 a coluna d'água apresentou duas condições distintas: em outubro de 2018, dezembro e janeiro de 2019, maiores concentrações de oxigênio dissolvido foram registradas nas maiores profundidades; essa característica coincide com um aprofundamento da zona de mistura até o fundo do lago, já em novembro de 2018 e a partir de fevereiro de 2019 maiores concentrações foram registradas no epilímnio do lago, coincidindo com a presença da zona de mistura no meio da coluna d'água (Figura 22). A partir de abril de 2019 é observada uma maior homogeneidade e uma redução nas concentrações de oxigênio dissolvido em toda a coluna d'água. Na lagoa do Limão não foram encontradas diferenças significativas para a concentração de oxigênio dissolvido entre as três profundidades.

O potencial Redox variou entre -172,00 e 279,50 mV (Tabela 39), com as condições mais redutoras sendo registradas entre janeiro e abril de 2019, no fundo da coluna d'água, abaixo da zona de mistura e as mais oxidantes em toda a coluna d'água entre outubro e dezembro de 2018 e entre maio e setembro de 2019, assim como no epilímnio da coluna d'água entre janeiro e abril de 2019 (Figura 22). Não foram registradas diferenças significativas para o potencial Redox entre as três profundidades na coluna d'água.

O pH variou entre 6,19 e 8,48 (Tabela 39). Como demonstrado na Figura 23, condições neutras a ácidas ( $\text{pH} < 7,00$ ) foram registradas no hipolímnio da lagoa entre outubro de 2018 e fevereiro de 2019, assim como em maio de 2019. Já condições alcalinas ( $\text{pH} > 7,00$ ) foram registradas no epilímnio da lagoa entre outubro de 2018 e fevereiro de 2019, em maio de 2019 e em toda a coluna d'água em março de 2019 e a partir de junho de 2019, condição essa que permaneceu até setembro de 2019. Os valores de pH foram significativamente maiores na região superficial que nas demais profundidades da lagoa do Limão (Figura 24).

A condutividade elétrica variou entre 99,33 e 162,76  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 39), com os menores valores sendo registrados em novembro de 2018, principalmente no hipolímnio, e os maiores em março de 2019, também no hipolímnio. (Figura 23), no entanto, não foram registradas diferenças significativas entre as três profundidades.

Na lagoa no Limão a salinidade variou entre 0,05 e 0,08 (Tabela 39).

Tabela 39: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no lago do Limão (E18), entre outubro de 2018 e setembro de 2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Salinidade</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> |
|--------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|--|
| <b>N amostral</b>        | 156,00            | 150,00               | 150,00                          | 150,00    | 156,00   |
| <b>Média</b>             | 0,06              | 8,06                 | 160,48                          | 7,27      | 116,07   |
| <b>Mediana</b>           | 0,06              | 7,45                 | 191,00                          | 7,33      | 115,09   |
| <b>Mínima</b>            | 0,05              | 0,33                 | -172,00                         | 6,19      | 99,33  |
| <b>Máxima</b>            | 0,08              | 18,60                | 279,50                          | 8,48      | 162,76   |
| <b>Desvio padrão</b>     | 0,00              | 3,93                 | 111,68                          | 0,48      | 8,47   |
| <b>Coef. de variação</b> | 6,45              | 48,80                | 69,59                           | 6,56      | 7,30   |

Figura 22: Diagramas de profundidade/tempo para a concentração de oxigênio dissolvido (A) e o potencial redox (B), mensurados na coluna d'água da lagoa do Limão (E18), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.

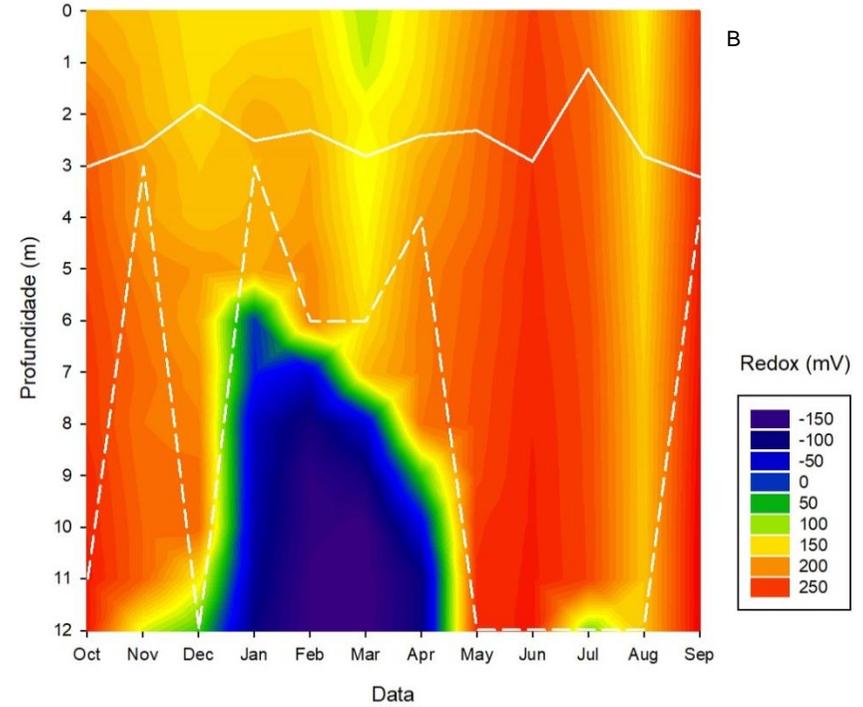
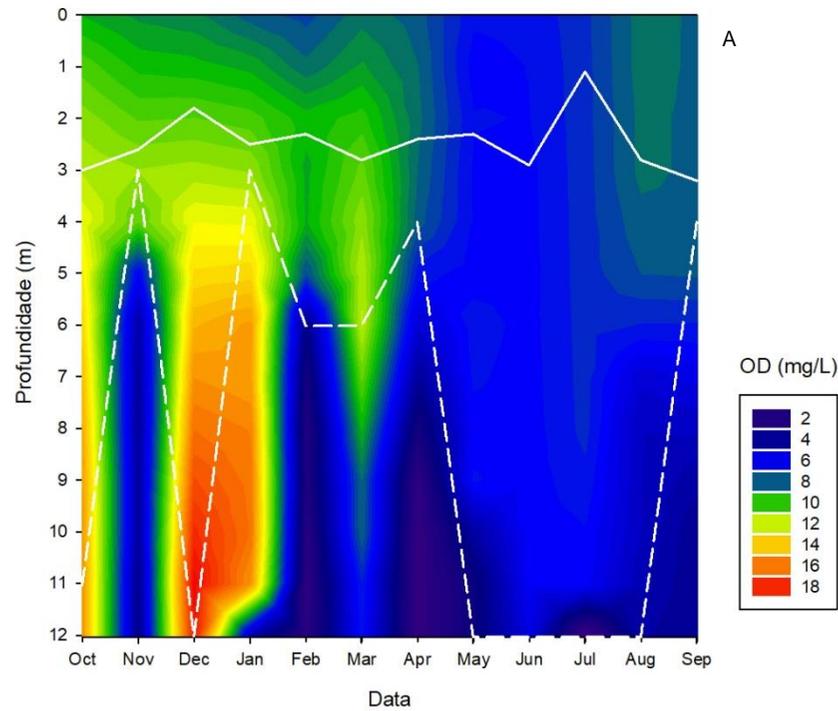


Figura 23: Diagramas de profundidade/tempo para pH (A) e a condutividade elétrica (B), mensurados na coluna d'água da lagoa do Limão (E18), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.

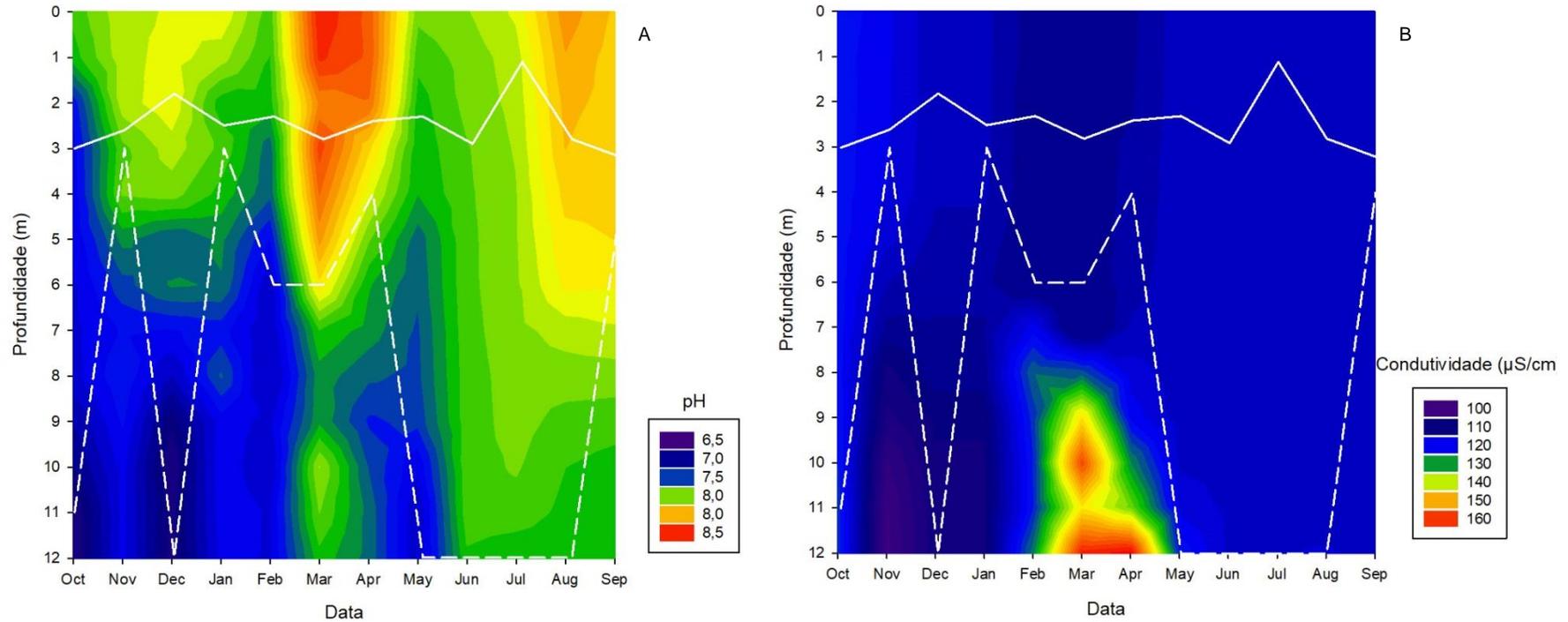
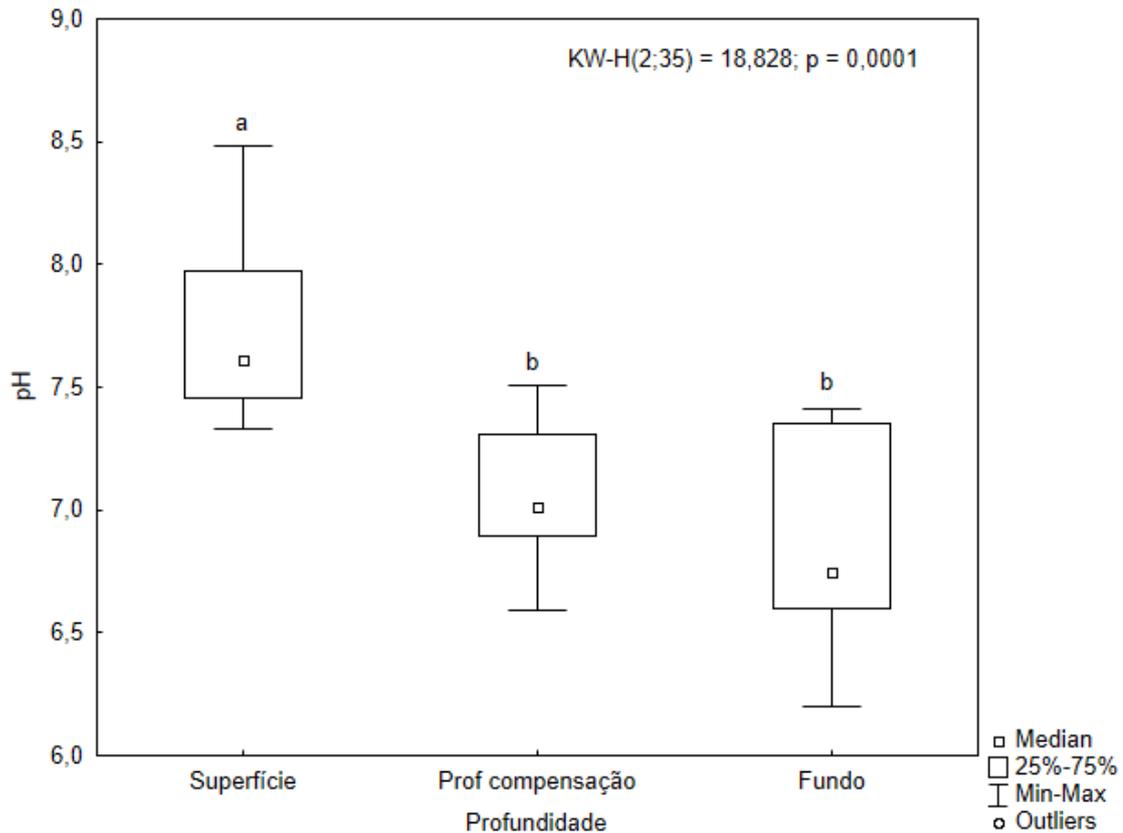


Figura 24: Box-plots para diferenças entre as profundidades no lago do Limão (E18), para o pH. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



### E19 – Lago Nova

No lago Nova a concentração de oxigênio dissolvido variou entre 0,38 e 16,20 mg/L (Tabela 40, Figura 25), com as maiores concentrações sendo registradas no epimetalmnio do lago, entre janeiro e maio de 2019 e as menores concentrações no hipoplímnio do lago no mesmo período. Em julho e agosto de 2019 são registradas condições mais homogêneas, com menor variação nas concentrações na coluna d'água como um todo. Os valores registrados no epi/metalímnio foram significativamente maiores que os do hipolímnio (Figura 27).

O potencial Redox variou entre -133,00 e 308,00 mV (Tabela 40, Figura 25), com as condições oxidantes sendo registradas em toda a coluna d'água entre outubro e dezembro de 2018 e entre julho e setembro de 2019, assim como no epimetalmnio entre janeiro e junho de 2019. Já condições redutoras são observadas no hipoplímnio do lago entre janeiro e junho de 2019. Não foram registradas diferenças significativas entre as três profundidades.

Os valores de pH variaram entre 5,99 e 9,21 (Tabela 40, Figura 26), com os menores valores sendo registrados em outubro de 2018 e os maiores em maio de 2019. Nos meses de estratificação térmica maiores valores de pH foram registrados no epi/metalímnio e menores no hipolímnio, enquanto nos meses de desestratificação térmica os valores de pH tendem a ser mais homogêneos na coluna d'água. Considerando todo o período, os valores foram significativamente maiores na superfície que nas demais profundidades (Figura 28).

A condutividade elétrica variou entre 94,16 e 119,29  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 40, Figura 26), com os menores valores sendo registrados entre outubro e dezembro de 2018 e os maiores entre março e maio de 2019, no hipolímnio, sendo que os valores de condutividade elétrica foram significativamente maiores no hipolímnio que no epilímnio (Figura 28).

A salinidade variou entre 0,05 e 0,06 (Tabela 40).

Tabela 40: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados na lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Salinidade</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> |
|--------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|--|
| <b>N amostral</b>        | 384,00            | 373,00               | 373,00                          | 373,00    | 384,00   |
| <b>Média</b>             | 0,05              | 5,90                 | 175,14                          | 7,02      | 98,64  |
| <b>Mediana</b>           | 0,05              | 6,67                 | 217,30                          | 7,11      | 98,02  |
| <b>Mínima</b>            | 0,05              | 0,38                 | -133,00                         | 5,99      | 94,16  |
| <b>Máxima</b>            | 0,06              | 16,20                | 308,00                          | 8,21      | 119,29   |
| <b>Desvio padrão</b>     | 0,00              | 3,32                 | 105,96                          | 0,56      | 3,78   |
| <b>Coef. de variação</b> | 3,20              | 56,22                | 60,50                           | 7,90      | 3,83   |

Figura 25: Diagramas de profundidade/tempo para a concentração de oxigênio dissolvido (A) e o potencial redox (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Nova (E18), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.

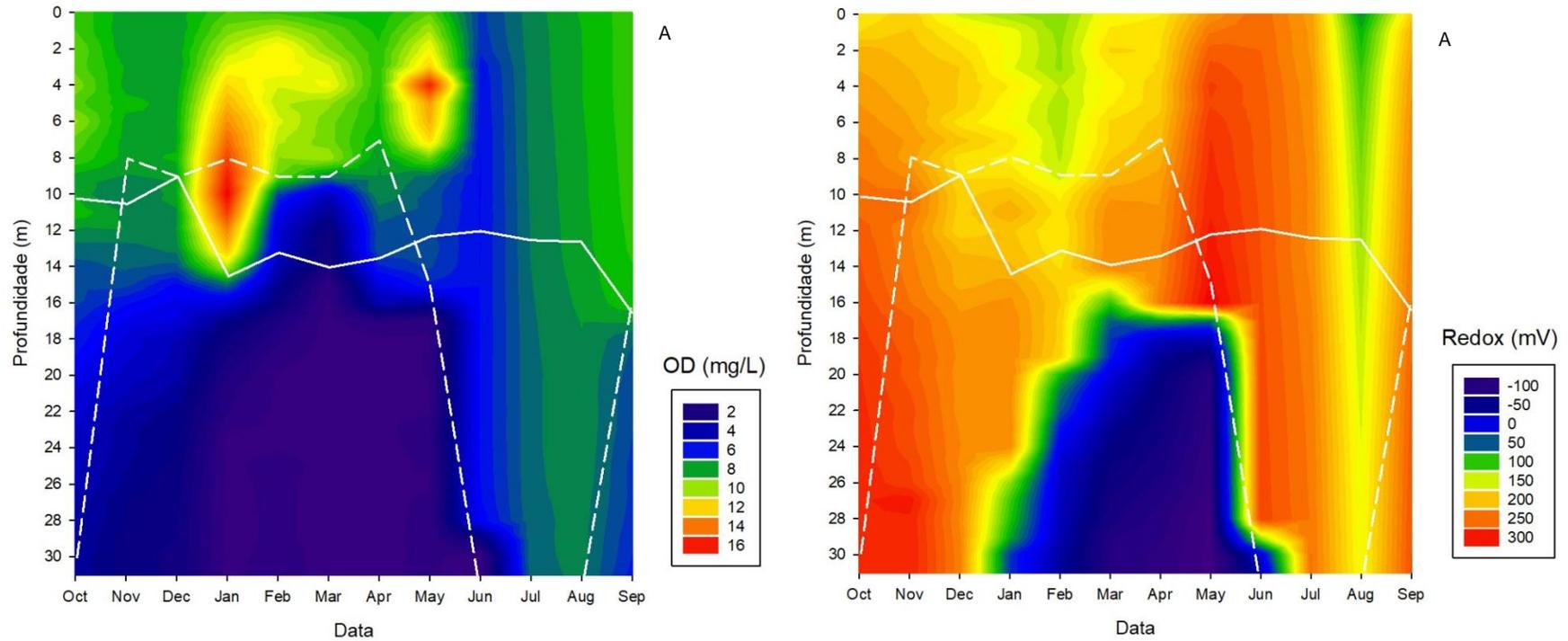


Figura 26: Diagramas de profundidade/tempo para pH (A) e a condutividade elétrica (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Nova (E18), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.

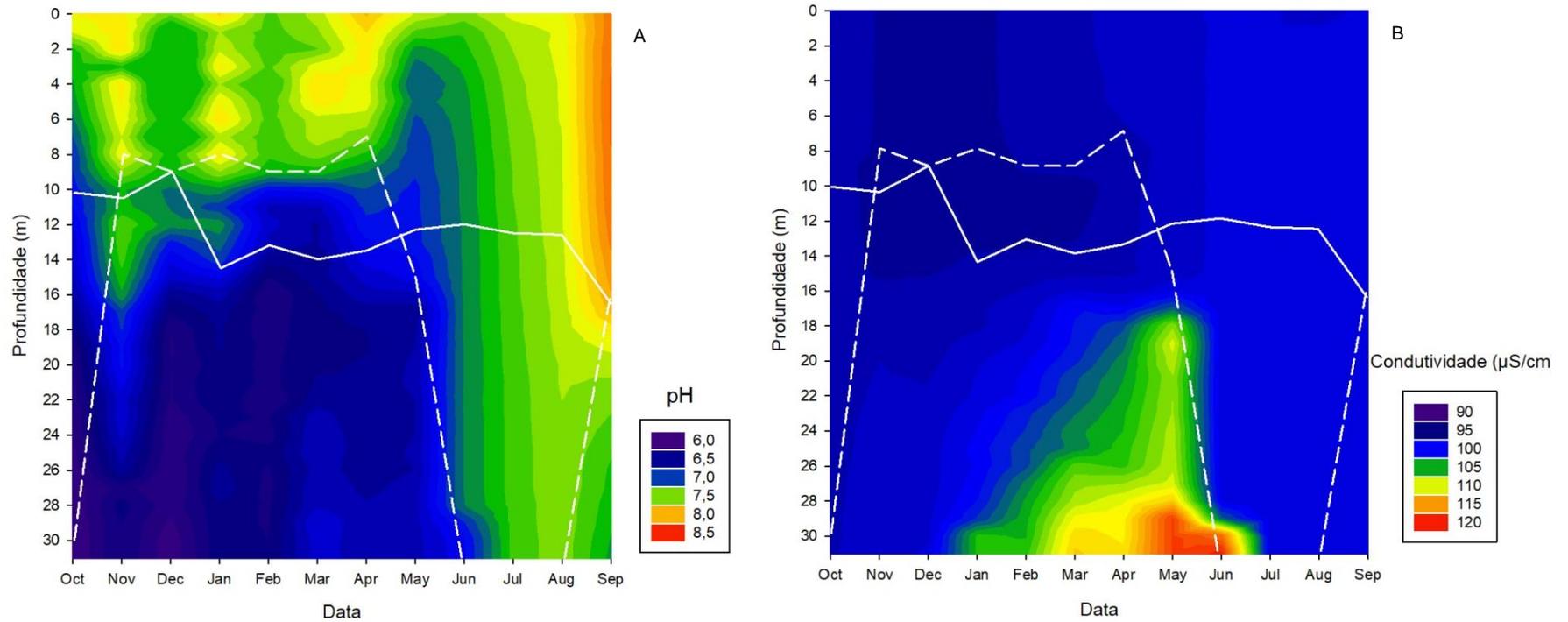


Figura 27: Box-plots para diferenças entre as profundidades na lagoa Nova (E19), para o parâmetro físico-químico oxigênio dissolvido. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e C Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

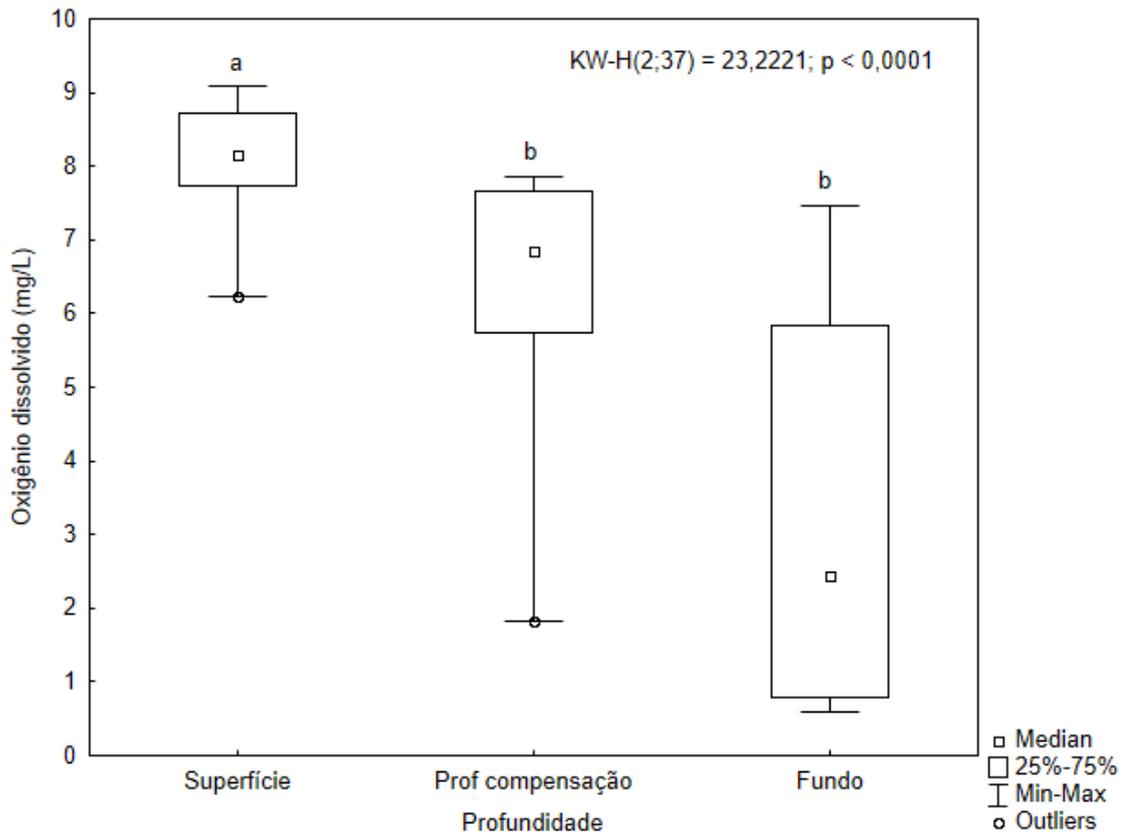
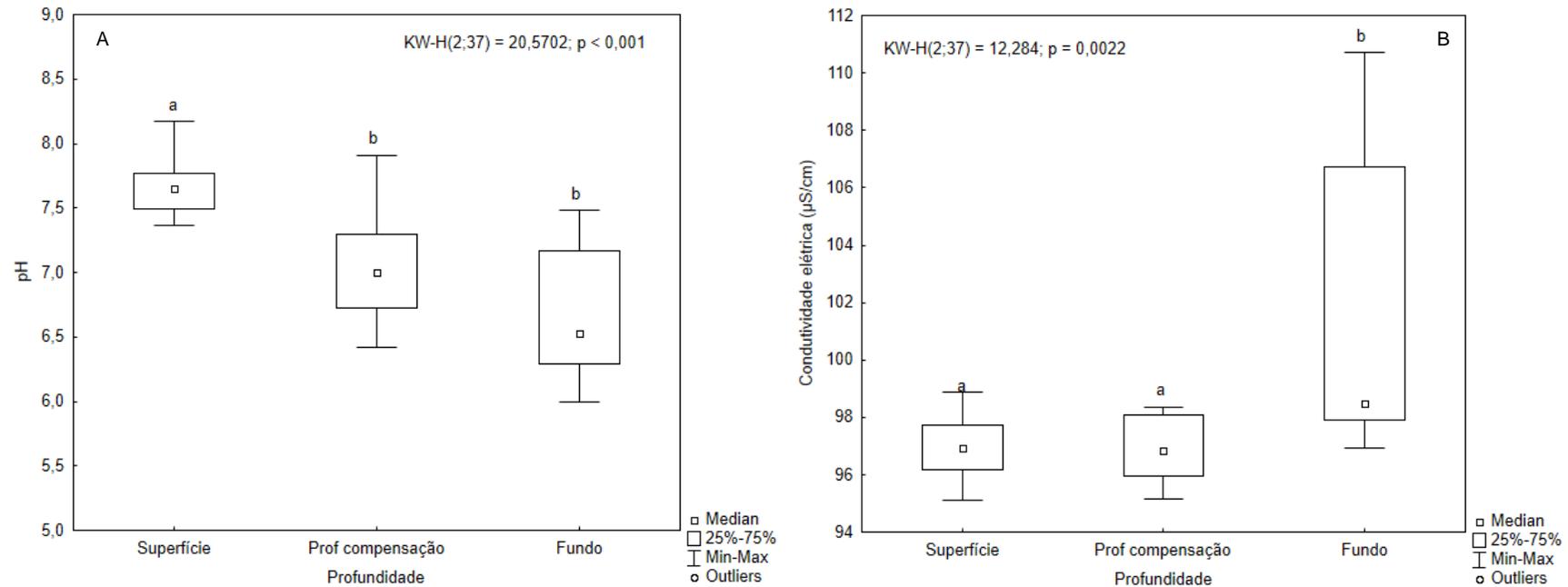


Figura 28: Box-plots para diferenças entre as profundidades na lagoas Nova (E19), para os parâmetros físico-químicos pH (A) e condutividade elétrica (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e C Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



## **E20 – Lago Juparanã**

No lago Juparanã a concentração de oxigênio dissolvido (OD) variou entre 2,51 e 16,50 mg/L (Tabela 41), com os menores valores sendo registrados na região profunda, entre fevereiro e abril de 2019 e os maiores em dezembro de 2018, também na região profunda do lago (Figura 29). Apesar desse pico de concentração registrado em dezembro de 2018, na região profunda, concentrações significativamente menores foram registradas na região profunda do lago (Figura 31).

O potencial Redox no lago Juparanã variou entre 60,00 e 307,00 mV (Tabela 41), apresentando assim condições oxidantes em toda a coluna d'água (Figura 29), sendo que os valores na região profunda foram significativamente maiores que os observados na superfície (Figura 31).

O pH variou entre 6,55 e 8,52 na coluna d'água da lagoa Juparanã (Tabela 41), com os menores valores sendo registrados de outubro a dezembro de 2018 e entre fevereiro e maio de 2019, no hipolímnio do lago, enquanto maiores valores foram registrados em janeiro, principalmente, abril e agosto de 2019, nas regiões meta e epilimnéticas (Figura 30). Os valores de pH foram significativamente maiores na região superficial e intermediária, em relação à profunda (Figura 32).

A condutividade elétrica variou entre 87,96 e 114,58  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na coluna d'água do lago Juparanã (Tabela 41), com os menores valores sendo registrados em janeiro e fevereiro de 2019, em toda a coluna d'água, e os maiores em outubro de 2018 (Figura 30). Na coluna d'água, maiores variações ocorreram somente próximo ao fundo do lago, provavelmente como reflexo da ressuspensão de sedimento que possa ter ocorrido nos meses de abril e maio de 2019. Não foram registradas diferenças significativas entre as profundidades.

A salinidade variou entre 0,05 e 0,06 no lago Juparanã (Tabela 41).

Tabela 41: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no lago Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Salinidade</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> |
|--------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|--|
| <b>N amostral</b>        | 151               | 146                  | 146                             | 146       | 151  |
| <b>Média</b>             | 0,05              | 8,31                 | 198,27                          | 7,48      | 90,34  |
| <b>Mediana</b>           | 0,05              | 7,97                 | 195,50                          | 7,56      | 90,13  |
| <b>Mínima</b>            | 0,05              | 2,51                 | 60,00                           | 6,55      | 87,96  |
| <b>Máxima</b>            | 0,06              | 16,50                | 307,00                          | 8,52      | 114,58   |
| <b>Desvio padrão</b>     | 0,00              | 2,21                 | 37,33                           | 0,39      | 2,51   |
| <b>Coef. de variação</b> | 2,36              | 26,53                | 18,83                           | 5,15      | 2,78   |

Figura 29: Diagramas de profundidade/tempo para a concentração de oxigênio dissolvido (A) e o potencial redox (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.

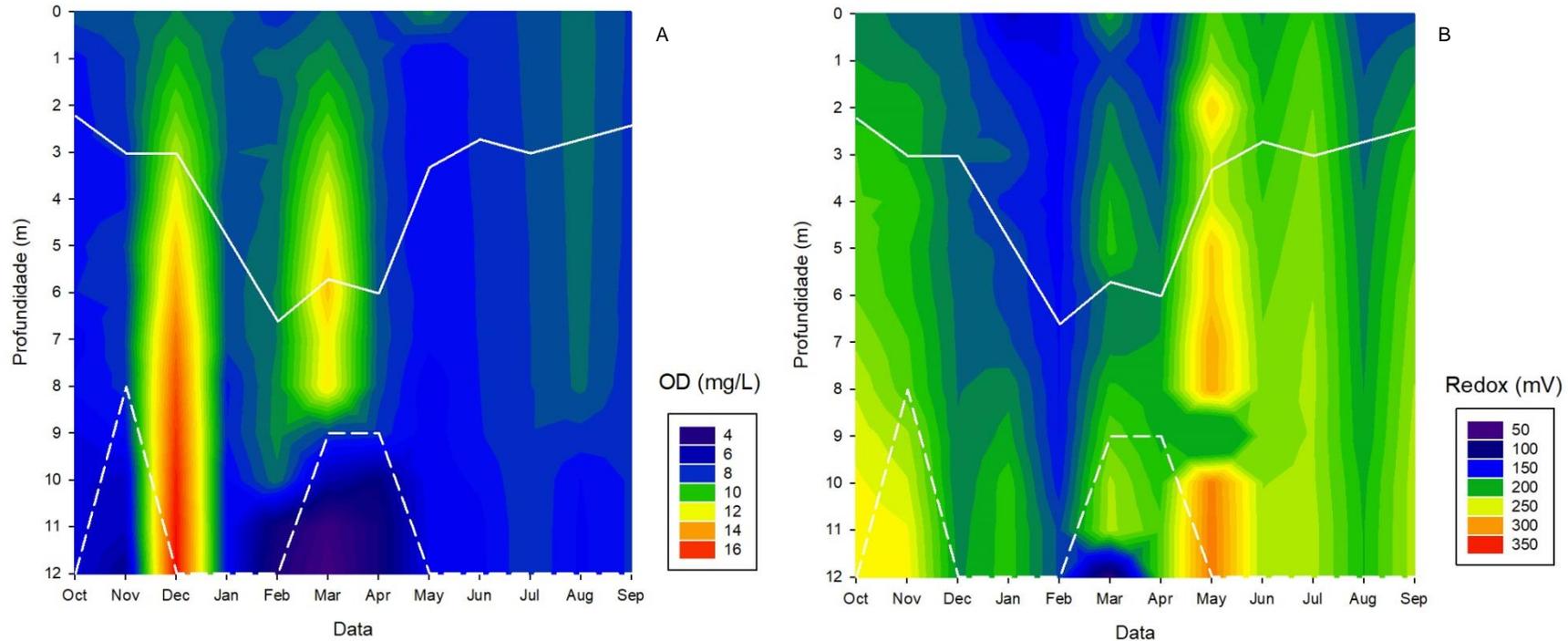


Figura 30: Diagramas de profundidade/tempo para pH (A) e a condutividade elétrica (B), mensurados na coluna d'água da lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.

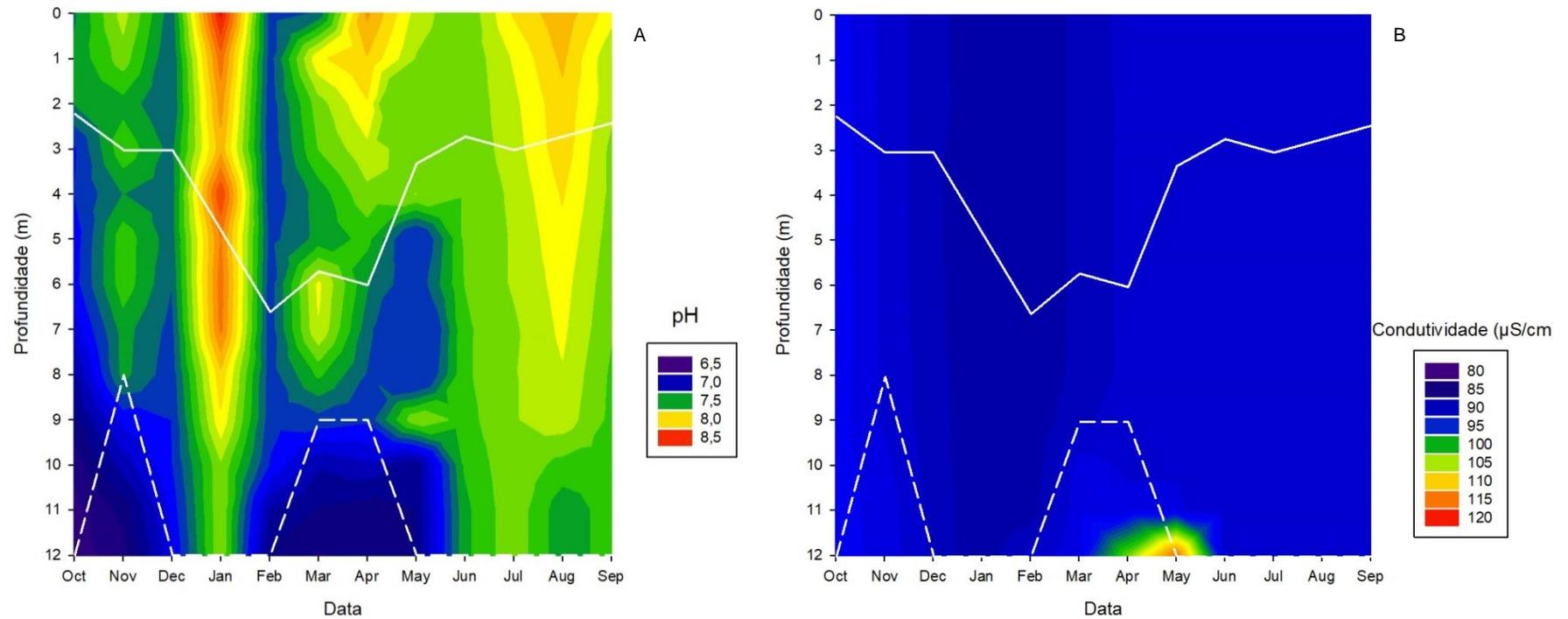


Figura 31: Box-plots para diferenças entre as profundidades na lagoa Juparanã (E20), para os parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido (A) e potencial Redox (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

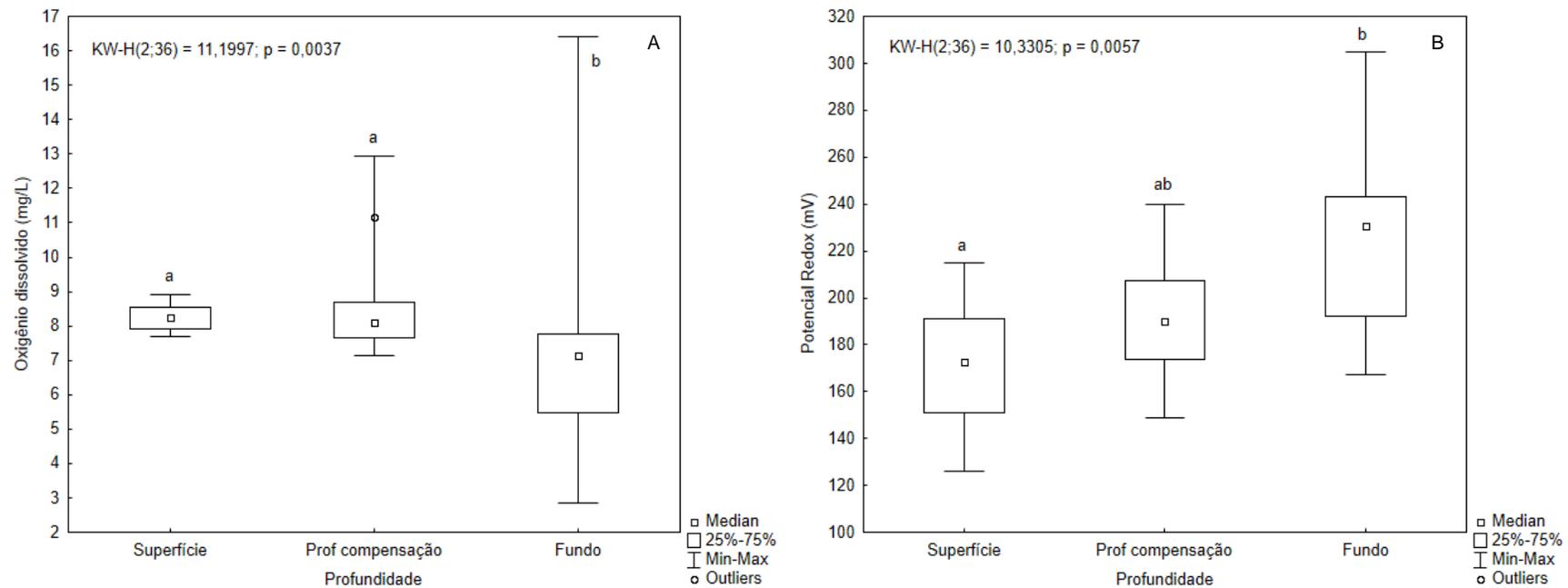
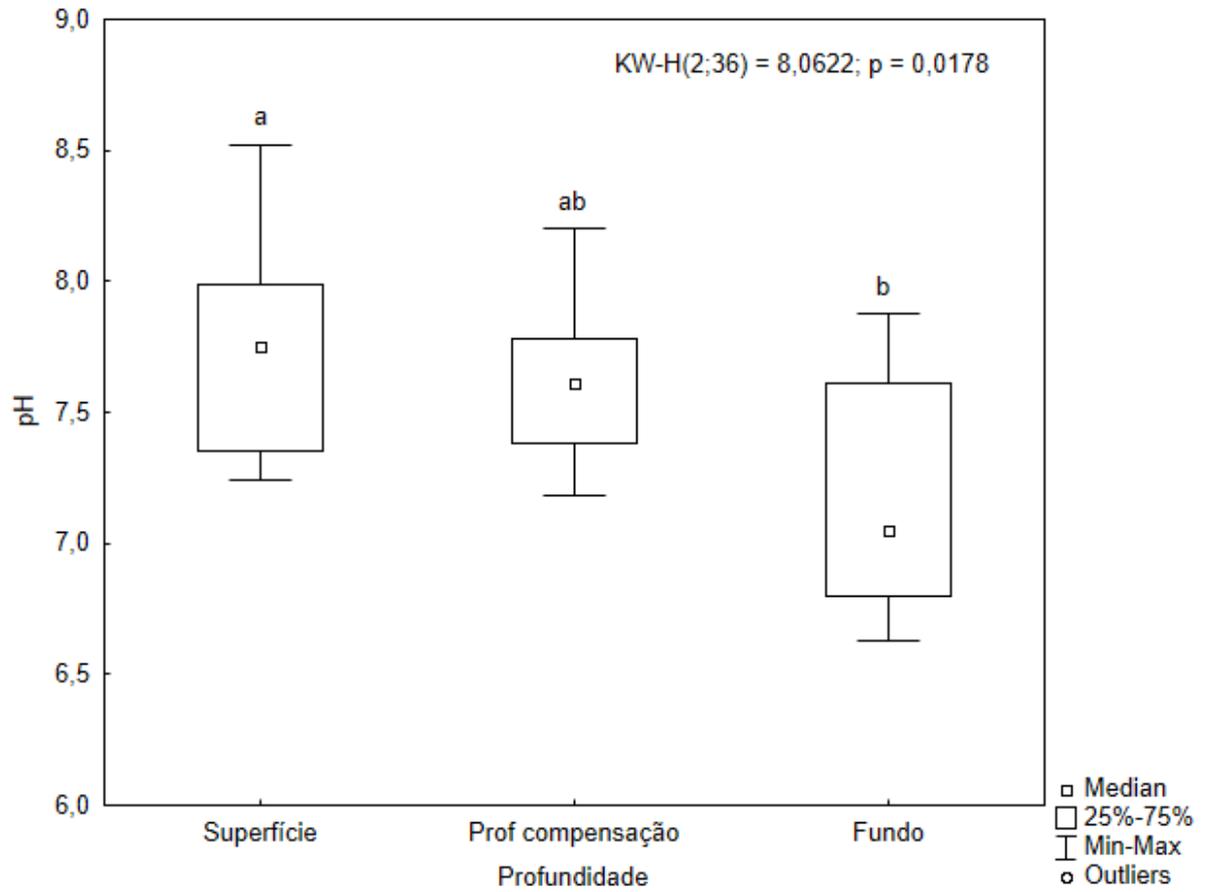


Figura 32: Box-plots para diferenças entre as profundidades na lagoa Juparanã (E20), para o parâmetro físico-químico pH. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



### 3.2.3 Parâmetros hidroquímicos na coluna d'água

#### E18 – Lago do Limão

No lago do Limão a alcalinidade total variou entre 23,00 e 43,50 mgCaCO<sub>3</sub>/L (Tabela 42), com os menores valores sendo registrados em julho de 2019 e os maiores em março de 2019. As concentrações de carbono orgânico total (COT) variaram entre 3,49 e 7,16 mg/L (Tabela 42), com os menores valores sendo registrados em outubro de 2018 e os maiores em junho de 2019. Não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades para alcalinidade total e COT.

As concentrações de fósforo total (PT) variaram entre 112,46 e 204,67 µg/L (Tabela 42), valores esses acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (100,00 µg/L), com os menores valores sendo registrados em abril de 2019 e os maiores em junho de 2018. Já as concentrações de fosfato variaram entre 17,92 e 103,33 µg/L (Tabela 42), com os menores valores sendo registrados em janeiro de 2019 e os maiores em março e setembro de 2019. Não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades para PT e fosfato.

As concentrações de silicato variaram entre 0,64 e 5,26 mg/L (Tabela 42), com os menores valores sendo registrados em maio de 2019 e os maiores em março de 2019, sem diferenças significativas entre as profundidades.

Com relação à série nitrogenada, as concentrações de nitrogênio total (NT) variaram entre 665,26 e 2119,16 µg/L (Tabela 43), com os menores valores sendo registrados em junho de 2019 e os maiores em março de 2019. As concentrações nitrato variaram entre 12,71 e 545,29 µg/L (Tabela 43), com os menores valores sendo registrados em outubro de 2019 e os maiores em abril de 2019. As concentrações de nitrito variaram entre 0,46 e 18,40 µg/L (Tabela 43), com os menores valores sendo registrados em fevereiro de 2019 e os maiores em abril de 2019. As concentrações de amônio variaram entre 11,25 e 1443,96 µg/L (Tabela 43), com os menores valores sendo registrados em julho de 2019 e os maiores em março de 2019. Não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades para todos os compostos da série nitrogenada.

Com relação à clorofila *a*, as concentrações variaram entre 0,21 e 14,88 µg/L (Tabela 43), com os menores valores sendo registrados em janeiro de 2019, no hipolímnio e os maiores em fevereiro e, principalmente, em março de 2019, no metalímnio (Figura 33), não sendo registradas diferenças significativas entre as profundidades.

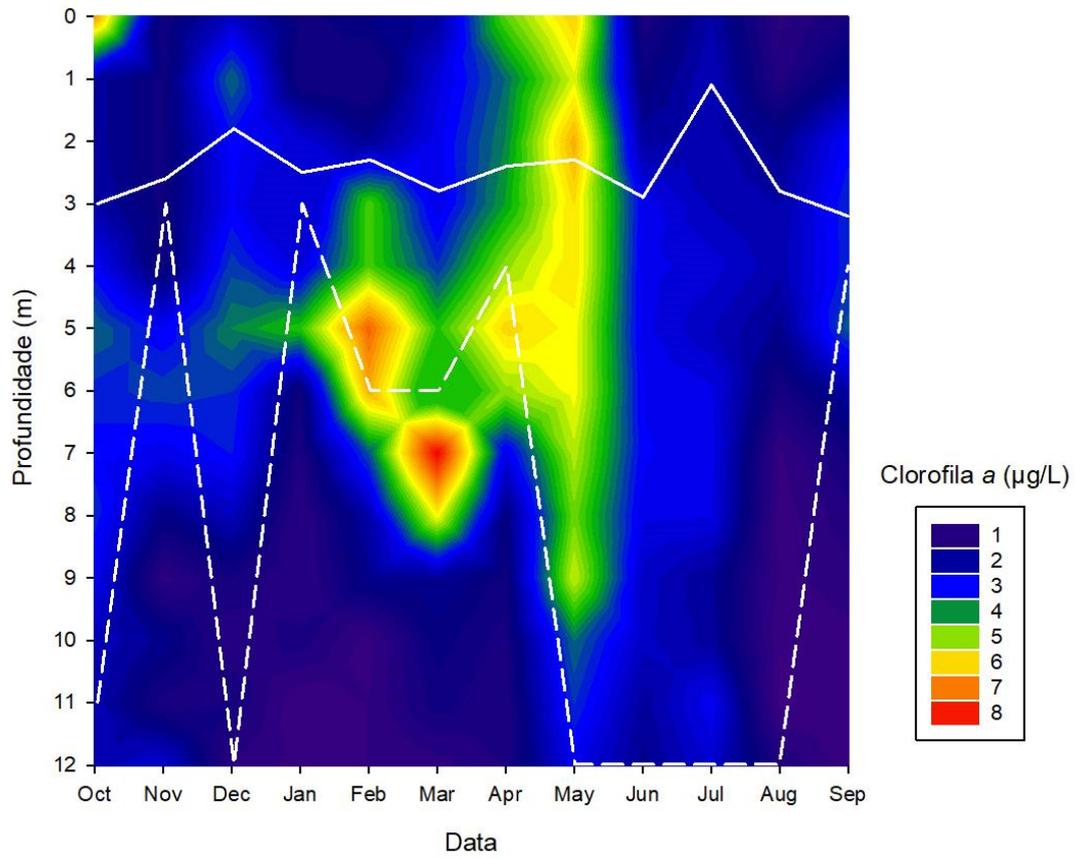
Tabela 42: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa do Limão (E8), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO3/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|--------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 35,00                                     | 34,00                                | 35,00                           | 35,00                     | 35,00                        |
| <b>Média</b>             | 31,57                                     | 4,89                                 | 167,16                          | 53,33                     | 2,76                         |
| <b>Mediana</b>           | 31,00                                     | 4,48                                 | 169,04                          | 54,38                     | 2,49                         |
| <b>Mínima</b>            | 23,00                                     | 3,49                                 | 112,46                          | 17,92                     | 0,64                         |
| <b>Máxima</b>            | 43,50                                     | 7,16                                 | 204,67                          | 103,33                    | 5,26                         |
| <b>Desvio padrão</b>     | 4,89                                      | 1,09                                 | 23,27                           | 22,16                     | 1,34                         |
| <b>Coef. de variação</b> | 15,50                                     | 22,33                                | 13,92                           | 41,56                     | 48,47                        |

Tabela 43: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa do Limão (E8), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 30,00                              | 29,00                     | 35,00                     | 35,00                    | 35,00                         |
| <b>Média</b>             | 1318,74                            | 119,63                    | 4,80                      | 175,46                   | 2,76                          |
| <b>Mediana</b>           | 1317,66                            | 91,76                     | 2,99                      | 91,80                    | 1,88                          |
| <b>Mínima</b>            | 665,26                             | 12,71                     | 0,46                      | 11,25                    | 0,21                          |
| <b>Máxima</b>            | 2119,16                            | 545,29                    | 18,40                     | 1443,96                  | 14,88                         |
| <b>Desvio padrão</b>     | 359,95                             | 114,82                    | 4,25                      | 263,14                   | 3,36                          |
| <b>Coef. de variação</b> | 27,30                              | 95,98                     | 88,50                     | 149,97                   | 121,77                        |

Figura 33: Diagrama de profundidade/tempo para a concentração de clorofila a, mensurada na coluna d'água da lagoa do Limão (E18), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.



## E19 – Lago Nova

No lago Nova a alcalinidade total variou entre 15,00 e 37,50 mgCaCO<sub>3</sub>/L (Tabela 44), com os menores valores sendo registrados em julho de 2019 e os maiores em janeiro de 2019. As concentrações de carbono orgânico total (COT) variaram entre 2,46 e 10,57 mg/L (Tabela 44), com os menores valores sendo registrados em agosto de 2019 e os maiores em outubro de 2018. Não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades para alcalinidade total e COT.

As concentrações de fósforo total (PT) variaram entre 93,14 e 196,99 µg/L (Tabela 44), valores esses acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, para ambientes lênticos (30,00 µg/L), com os menores valores sendo registrados em fevereiro de 2019 e os maiores em maio e junho de 2018. Já as concentrações de fosfato variaram entre 16,67 e 120,00 µg/L (Tabela 44), com os menores valores sendo registrados em fevereiro de 2019 e os maiores em abril de 2019. Não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades para PT e fosfato.

As concentrações de silicato variaram entre 0,004 e 3,94 mg/L (Tabela 44), com os menores valores sendo registrados em maio de 2019 e os maiores em novembro de 2018, sem diferenças significativas entre as profundidades.

Com relação à série nitrogenada, as concentrações de nitrogênio total (NT) variaram entre 111,29 e 1386,63 µg/L (Tabela 45), com os menores valores sendo registrados em maio de 2019 e os maiores em julho de 2019. As concentrações nitrato variaram entre 20,15 e 588,07 µg/L (Tabela 45), com os menores valores sendo registrados em maio de 2019 e os maiores em novembro de 2018. As concentrações de nitrito variaram entre 0,23 e 13,80 µg/L (Tabela 45), com os menores e maiores valores sendo em janeiro de 2019, ao longo da coluna d'água. As concentrações de amônio variaram entre 11,70 e 543,96 µg/L (Tabela 45), com os menores valores sendo registrados em outubro de 2018 e os maiores em abril de 2019. Não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades para todos os compostos da série nitrogenada.

As concentrações de clorofila *a*, mensuradas nas três profundidades, variaram entre 0,09 e 3,73 µg/L (Tabela 45), com os menores valores sendo registrados em janeiro de 2019 e os maiores em março de 2019. Com relação à variação na coluna d'água, concentrações significativamente maiores foram registradas na superfície e na profundidade a zona de compensação (Figura 34). Nas medições feitas com a sonda multiparâmetros, a cada metro de profundidade, foram registrados picos de clorofila *a* na profundidade de compensação (P/R = 1), provavelmente refletindo crescimento de cianobactérias nessa região da coluna d'água, com condições de luz e nutrientes que beneficiam esse grupo do fitoplâncton (Figura 35).

Tabela 44: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO3/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|--------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 36,00                                     | 36,00                                | 36,00                           | 36,00                     | 36,00                        |
| <b>Média</b>             | 24,11                                     | 3,87                                 | 143,63                          | 49,31                     | 1,90                         |
| <b>Mediana</b>           | 23,10                                     | 3,40                                 | 146,28                          | 49,79                     | 1,82                         |
| <b>Mínima</b>            | 15,00                                     | 2,46                                 | 93,14                           | 16,67                     | 0,00                         |
| <b>Máxima</b>            | 37,50                                     | 10,57                                | 196,99                          | 120,00                    | 3,94                         |
| <b>Desvio padrão</b>     | 4,76                                      | 1,58                                 | 21,45                           | 27,93                     | 1,00                         |
| <b>Coef. de variação</b> | 19,75                                     | 40,91                                | 14,94                           | 56,63                     | 52,70                        |

Tabela 45: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 28,00                              | 28,00                     | 36,00                     | 36,00                    | 35,00                         |
| <b>Média</b>             | 779,03                             | 129,55                    | 3,88                      | 115,92                   | 1,45                          |
| <b>Mediana</b>           | 811,12                             | 71,46                     | 2,99                      | 65,48                    | 1,17                          |
| <b>Mínima</b>            | 111,29                             | 20,15                     | 0,23                      | 11,70                    | 0,09                          |
| <b>Máxima</b>            | 1386,63                            | 588,07                    | 13,80                     | 543,96                   | 3,73                          |
| <b>Desvio padrão</b>     | 311,62                             | 126,01                    | 3,16                      | 135,07                   | 1,06                          |
| <b>Coef. de variação</b> | 40,00                              | 97,27                     | 81,60                     | 116,52                   | 72,72                         |

Figura 34: Box-plots para diferenças entre as profundidades na lagoa Nova (E19), para a concentração de clorofila a. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

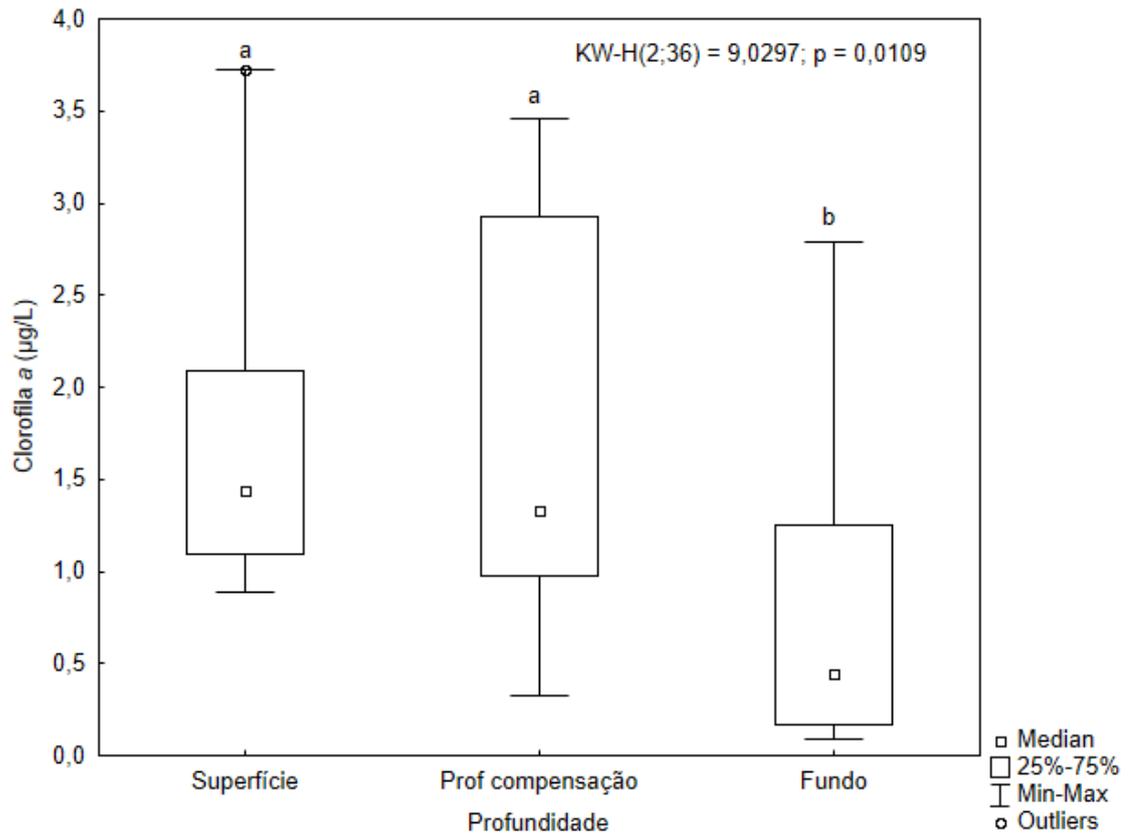
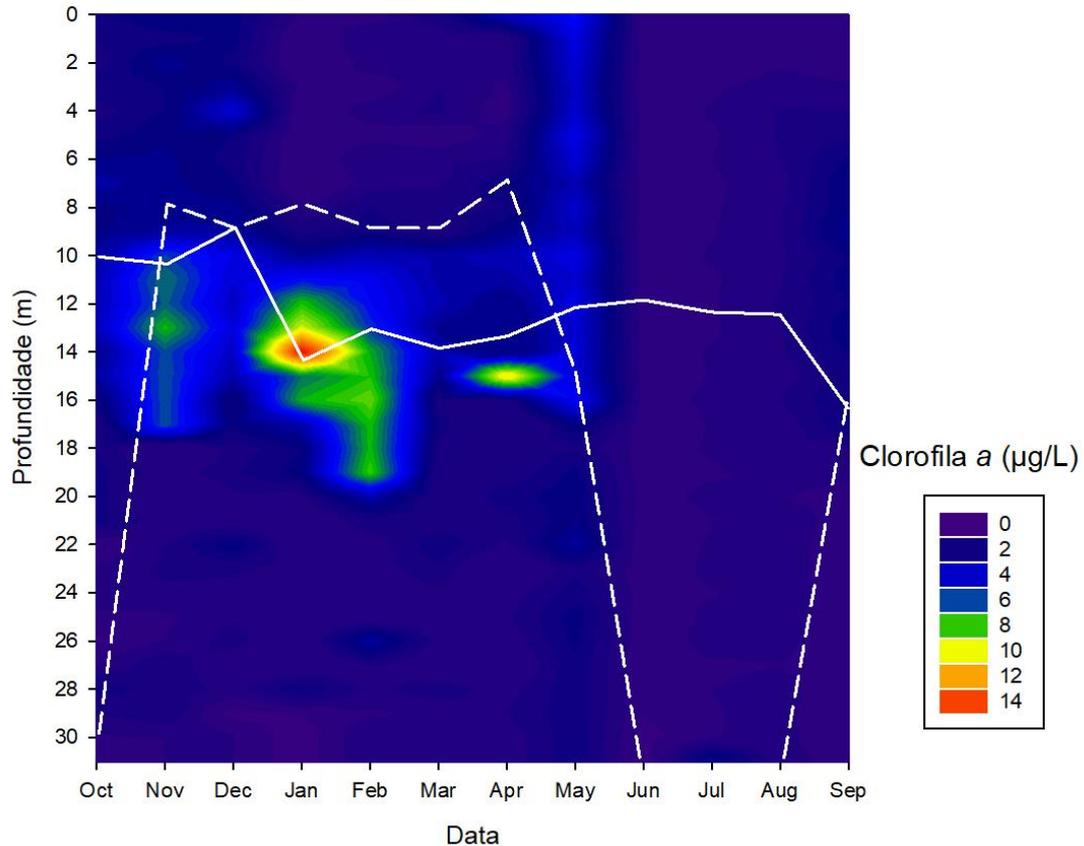


Figura 35: Diagrama de profundidade/tempo para a concentração de clorofila a, mensurada na coluna d'água da lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.



## E20 – Lago Juparanã

No lago Juparanã a alcalinidade total variou entre 15,00 e 31,10 mgCaCO<sub>3</sub>/L (Tabela 46), com os menores valores sendo registrados em março de 2019 e os maiores em novembro de 2018. As concentrações de carbono orgânico total (COT) variaram entre 3,53 e 33,13 mg/L (Tabela 46), com os menores valores sendo registrados em outubro e novembro de 2018 e entre julho e setembro de 2019, e os maiores em fevereiro de 2019. Não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades para alcalinidade total e COT.

As concentrações de fósforo total (PT) variaram entre 114,56 e 608,42 µg/L (Tabela 46), valores esses acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, para ambientes lênticos (30,00 µg/L), com os menores valores sendo registrados em março de 2019 e os maiores em outubro de 2018. Já as concentrações de fosfato variaram entre 27,50 e 210,63 µg/L (Tabela 46), com os menores valores sendo registrados em novembro e dezembro de 2018 e os maiores em outubro de 2019. Não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades para PT e fosfato.

As concentrações de silicato variaram entre 0,02 e 5,42 mg/L (Tabela 46), com os menores valores sendo registrados em julho de 2019 e os maiores em novembro e dezembro de 2018, sem diferenças significativas entre as profundidades.

Com relação à série nitrogenada, as concentrações de nitrogênio total (NT) variaram entre 580,63 e 4.990,38 µg/L (Tabela 47), com os menores valores sendo registrados em maio e junho de 2019 e os maiores em julho de 2019. As concentrações nitrato variaram entre 9,30 e 194,37 µg/L (Tabela 47), com os menores valores sendo registrados em outubro de 2019 e os maiores em março de 2019. As concentrações de nitrito variaram entre 0,46 e 23,23 µg/L (Tabela 47), com os menores valores sendo registrados em outubro e novembro de 2018, janeiro e abril de 2019 e os maiores em dezembro de 2018 e março de 2019. As concentrações de amônio variaram entre 15,30 e 163,80 µg/L (Tabela 47), com os menores valores sendo registrados em outubro de 2018 e os maiores entre fevereiro e abril de 2019. Não foram encontradas diferenças significativas entre as profundidades para todos os compostos da série nitrogenada.

As concentrações de clorofila a variaram entre 0,86 e 17,37 µg/L (Tabela 47), com os menores valores sendo registrados em maio e julho de 2019 e os maiores em outubro e novembro de 2018, não sendo registradas diferenças significativas entre as profundidades. Com relação aos perfis de clorofila a (Figura 36), observa-se maiores concentrações no epi/metalimnio de outubro a dezembro de 2018 e em março de 2019. Já de junho a setembro de 2019 observa-se baixas concentrações em toda a coluna d'água.

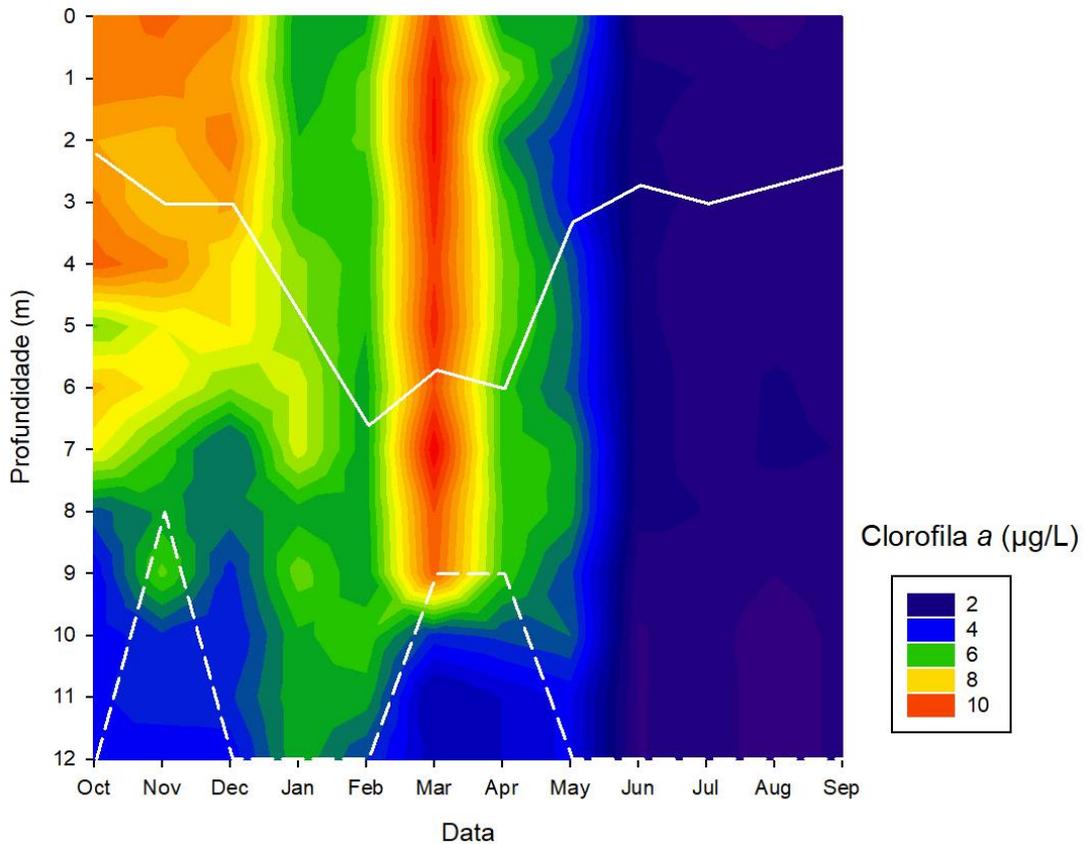
Tabela 46: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|--------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 36   | 36                                   | 36                              | 36                        | 36                           |
| <b>Média</b>             | 24,17  | 6,56                                 | 233,47                          | 69,60                     | 2,58                         |
| <b>Mediana</b>           | 24,00  | 4,37                                 | 210,02                          | 60,63                     | 2,53                         |
| <b>Mínima</b>            | 15,00  | 3,53                                 | 114,56                          | 27,50                     | 0,02                         |
| <b>Máxima</b>            | 31,10  | 33,13                                | 608,42                          | 210,63                    | 5,42                         |
| <b>Desvio padrão</b>     | 3,74   | 5,39                                 | 95,84                           | 36,95                     | 1,41                         |
| <b>Coef. de variação</b> | 15,49  | 82,28                                | 41,05                           | 53,10                     | 54,85                        |

Tabela 47: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 29                                 | 29                        | 36                        | 36                       | 36                            |
| <b>Média</b>             | 1191,47                            | 97,30                     | 6,48                      | 67,46                    | 4,89                          |
| <b>Mediana</b>           | 969,99                             | 101,99                    | 3,80                      | 57,74                    | 3,85                          |
| <b>Mínima</b>            | 580,63                             | 9,30                      | 0,46                      | 15,30                    | 0,86                          |
| <b>Máxima</b>            | 4990,38                            | 194,37                    | 23,23                     | 163,80                   | 17,37                         |
| <b>Desvio padrão</b>     | 896,98                             | 53,94                     | 6,05                      | 36,25                    | 4,36                          |
| <b>Coef. de variação</b> | 75,28                              | 55,44                     | 93,36                     | 53,74                    | 89,24                         |

Figura 36: Diagrama de profundidade/tempo para a concentração de clorofila a, mensurada na coluna d'água da lagoa Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019. Linha sólida: profundidade da zona eufótica; linha tracejada: profundidade da zona de mistura.



### Integração do sistema lacustre (lagos): Lagoa do Limão (E18), Lagoa Nova (E19) e Lagoa Juparanã (E20)

#### Parâmetros físicos

O sistema lacustre do Baixo Rio Doce é formado por lagoas da planície costeira que são caracterizadas por serem ecossistemas lacustres rasos e dinâmicos, com tendência a polimixia, e por lagos, como ecossistemas lacustres profundos e intermitentes, com padrão monomítico quente (Bozelli et al., 1992; Barroso et al, 2014; Gonçalves et al., 2016).

Considerando o sistema lacustre profundo de forma integrada, a lagoa Nova apresenta os maiores valores de transparência da água (até 5,50 m), valor esse registrado em setembro de 2109, enquanto o lago Juparanã apresenta os menores valores (mínimo de 0,80 m), registrados em outubro de 2018 (Tabela 48, Figura 37). A lagoa Nova apresentou os valores de transparência significativamente maiores do que os registrados nos lagos do Limão e Juparanã (Figura 38).

A temperatura da água variou entre 23,09 e 32,21 °C (Tabela 48), não sendo registradas diferenças significativas entre os lagos.

Com relação à turbidez, a lagoa Nova apresentou valores significativamente menores que as demais (entre 0,00 e 6,40 UNT), sendo seguido pelos lagos do Limão (entre 0,10 e 29,00 UNT) e Juparanã (entre 1,20 e 35,90 UNT). O lago do Limão apresentou um pico de turbidez na região profunda, mas o lago Juparanã apresenta um conjunto de valores estatisticamente maiores que os registrados para a lagoa do Limão (Figura 38). Com relação ao material particulado em suspensão, o lago Nova também apresentou concentrações estatisticamente menores que os demais (entre 0,10 e 4,49 mg/L), seguido pelos lagos do Limão (entre 0,20 e 17,60 mg/L) e Juparanã (entre 0,40 e 21,20 mg/L) (Figura 39). A correlação entre o MPS e a turbidez foi significativa para os lagos ( $R = 0,7856$ ), indicando a influência do material particulado em suspensão sobre a turbidez.

Tabela 48: Estatística descritiva integrada para os parâmetros físicos, mensurados no sistema lacustre profundo, entre 10/2018 e 09/2019.

| Estatística       | Transparência (m) | Turbidez (UNT) | MPS (mg/L) | Temperatura (°C) |
|-------------------|-------------------|----------------|------------|------------------|
| N amostral        | 35,00             | 104,00         | 104,00     | 679,00           |
| Média             | 2,69              | 6,29           | 4,32       | 26,26            |
| Mediana           | 2,60              | 2,66           | 2,07       | 25,84            |
| Mínima            | 0,80              | 0,00           | 0,10       | 23,09            |
| Máxima            | 5,50              | 35,90          | 21,20      | 32,21            |
| Desvio padrão     | 1,32              | 7,82           | 5,02       | 2,05             |
| Coef. de variação | 48,84             | 124,37         | 116,11     | 7,82             |

Figura 37: Variação mensal da transparência da água no sistema lacustre profundo (lagos), entre 10/2018 e 09/2019.

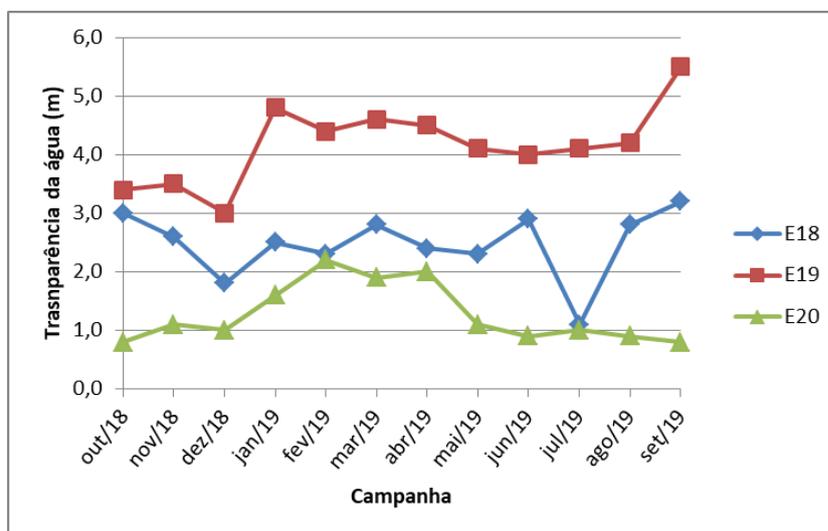


Figura 38: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para os parâmetros físicos transparência (A) e turbidez (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

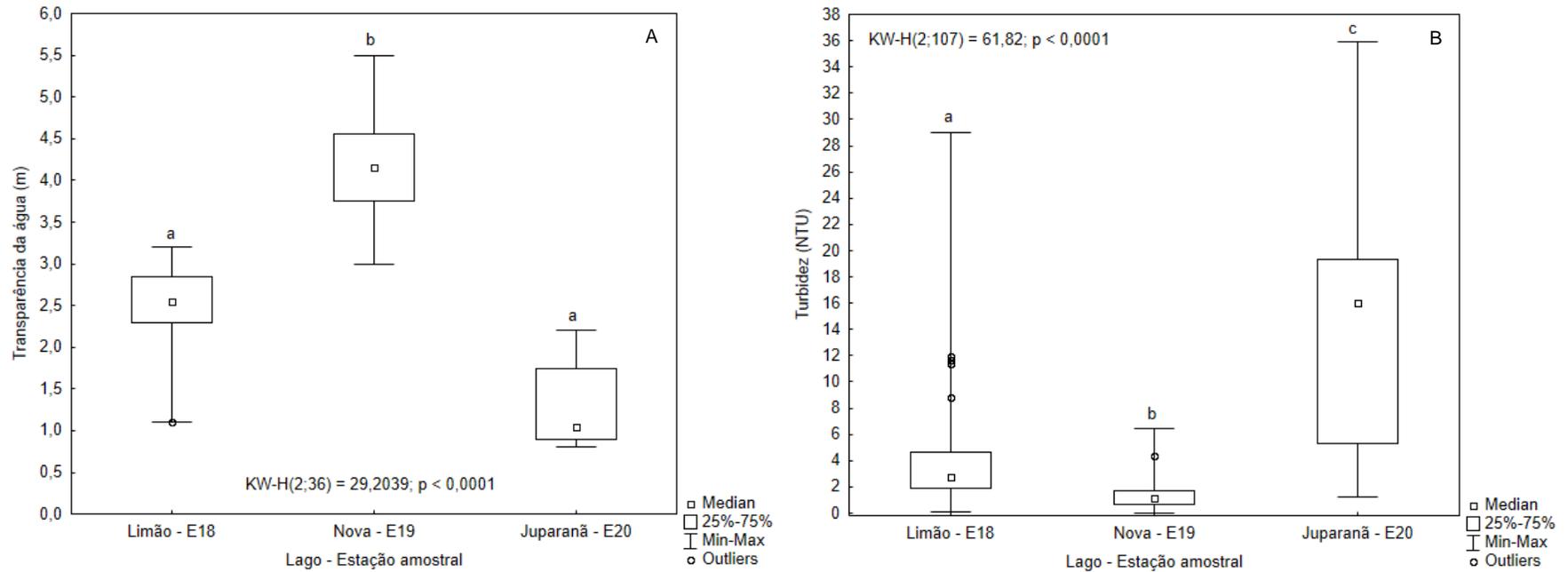
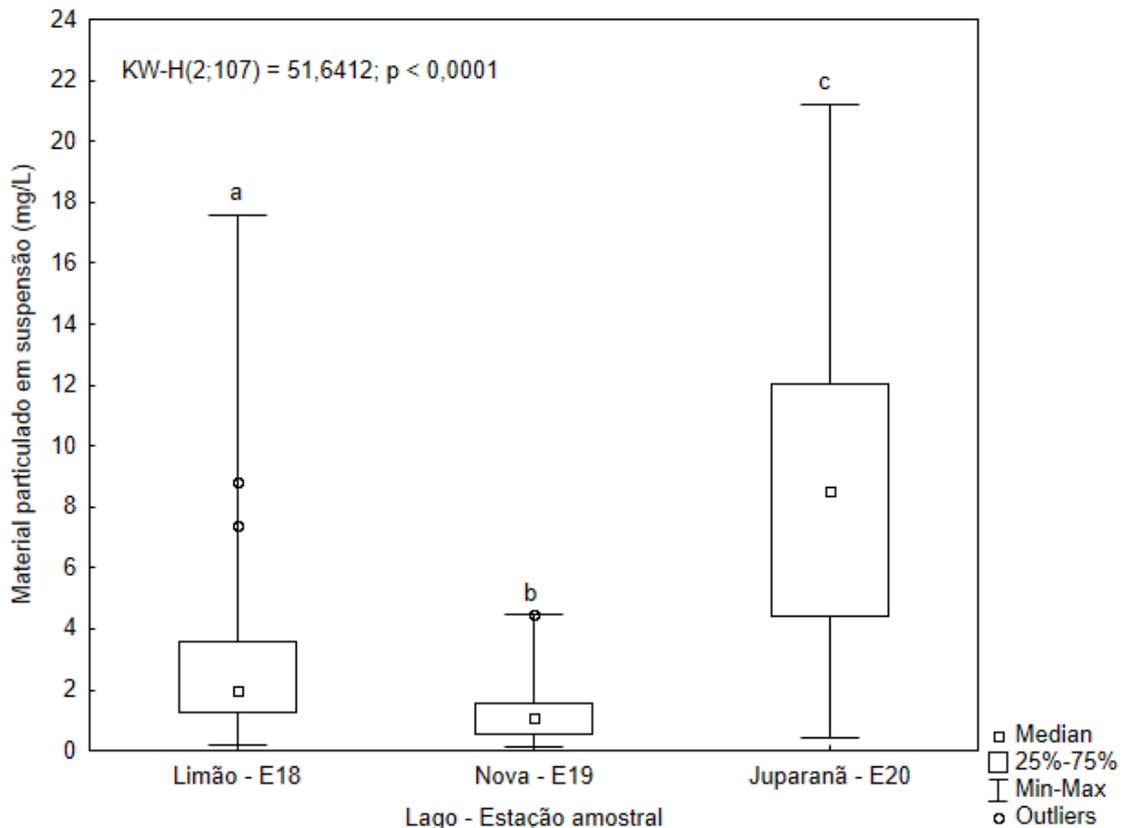


Figura 39: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para o parâmetro físico material particulado em suspensão. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



### Parâmetros físico-químicos

Com relação aos parâmetros físico-químicos, as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) variou entre 0,33 e 18,60 mg/L (Tabela 49), sendo que, a lagoa do Limão (entre 0,33 e 18,60 mg/L) e a lagoa Juparanã (entre 2,51 e 16,50 mg/L) apresentaram diferenças significativas em relação à lagoa Nova (entre 0,38 e 16,20 mg/L) (Figura 40). Os valores abaixo do limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 foram registrados principalmente no hipoplímnio desses lagos, onde naturalmente predominam condições de hipoxia e mesmo anoxia. A maior profundidade do lago Nova (31,5 m), assim como do hipolímnio, onde predominam condições anoxia e hipoxia, na maior parte do ano, faz com que a lagoa Nova apresente concentrações de OD significativamente menores. O padrão de condições hipóxicas a partir do metalímnio e hipóxia no fundo dos lagos do Baixo Rio Doce tem sido constatado não apenas para o lago Nova (Gonçalves et al., 2016), mas também para o lago Palmas ( $Z_{\text{máx}} = 50,7\text{m}$  e  $Z_{\text{méd}} = 20,4\text{m}$ ) (Barroso et al., 2014). Segundo Bozelli et al (1992) os lagos localizados nos vales dos tabuleiros da Formação Barreiras apresentam padrão de funcionamento intermitente, com estratificação térmica na maior parte do ano e desestratificação no outono-inverno, enquanto os lagos localizadas na planície costeira são dinâmicas com eventual estratificação diurna e mistura noturna.

Com relação ao potencial Redox, que variou entre -172,00 e 308,00 mV no sistema lacustre profundo (Tabela 49), Enquanto as lagoas do Limão e Nova apresentaram um padrão bem definido, com condições oxidantes em toda coluna d'água no período de desestratificação e, no período de estratificação condições oxidantes no epimetalmnio e redutoras no hipolímnio, a lagoa Juparanã apresentou condições oxidantes em todo o período, com um padrão mais homogêneo na coluna d'água e uma maior variação ao longo do ano. No entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre os três lagos.

Com relação ao pH, que variou entre 5,99 e 8,52 no sistema lacustre (Tabela 49), valores esses dentro da amplitude definida pela Resolução CONAMA 356/2005 (6,00 A 9,00). A lagoa Nova apresentou os menores valores de pH, principalmente no hipolímnio, sendo que os valores de pH desse lago foram significativamente menores que na Juparanã e no Limão (Figura 41).

Com relação à condutividade elétrica, que variou entre 87,96 e 162,74  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 49), foram encontradas diferenças significativas entre todos os lagos (Figura 41). O lago do Limão apresentou os maiores valores (entre 99,33 e 162,76  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), seguido pelo lago Nova (entre 94,16 e 119,29  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e lago Juparanã (entre 87,96 e 114,58  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Para a salinidade, que variou entre 0,05 e 0,8 (Tabela 49) não foram encontradas diferenças significativas entre os lagos.

Tabela 49: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no sistema lacustre (lagos), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Salinidade</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> |
|--------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|--|
| <b>N amostral</b>        | 679,00            | 658,00               | 658,00                          | 658,00    | 679,00   |
| <b>Média</b>             | 0,05              | 6,90                 | 176,31                          | 7,17      | 100,94   |
| <b>Mediana</b>           | 0,05              | 7,32                 | 202,30                          | 7,25      | 98,05  |
| <b>Mínima</b>            | 0,05              | 0,33                 | -172,00                         | 5,99      | 87,96  |
| <b>Máxima</b>            | 0,08              | 18,60                | 308,00                          | 8,52      | 162,76   |
| <b>Desvio padrão</b>     | 0,00              | 3,48                 | 98,13                           | 0,54      | 10,23  |
| <b>Coef. de variação</b> | 8,75              | 50,46                | 55,66                           | 7,52      | 10,13  |

Figura 40: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para o parâmetro físico-químico oxigênio dissolvido. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. As linhas vermelhas e tracejadas representam os limites mínimos estabelecidos pela Resolução CONAM 357/2005.

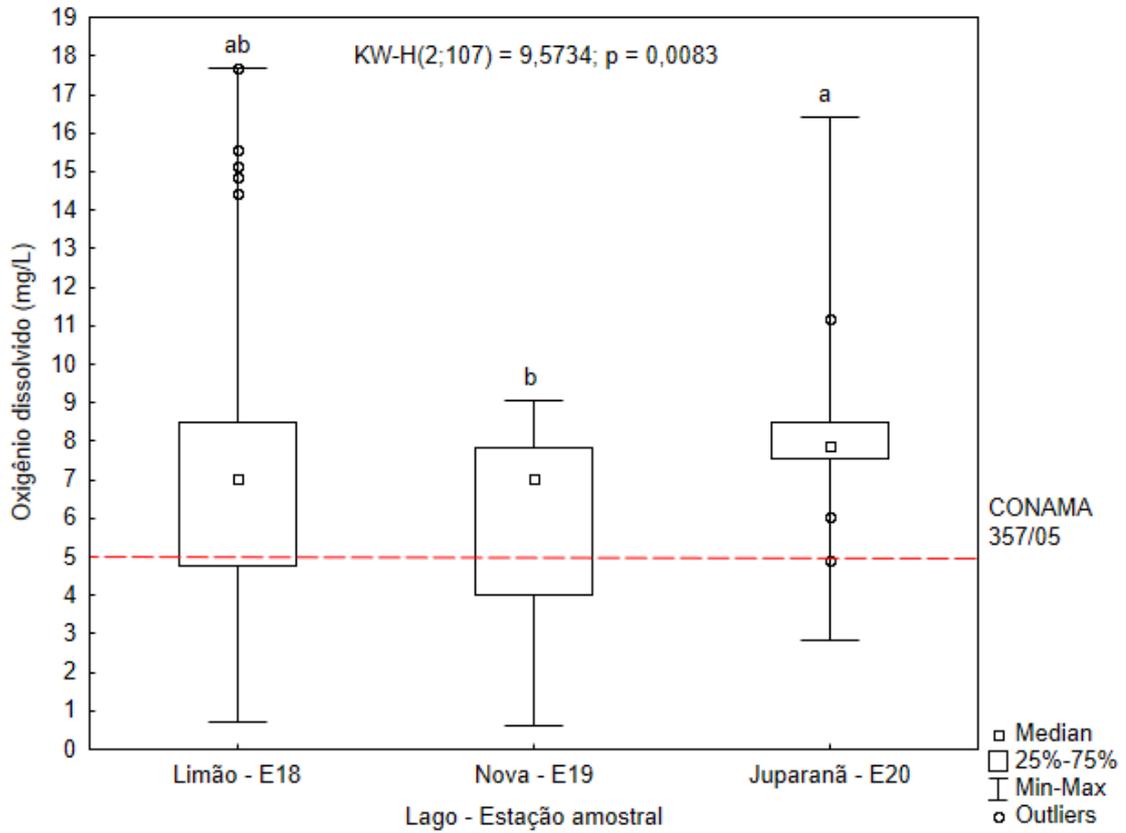
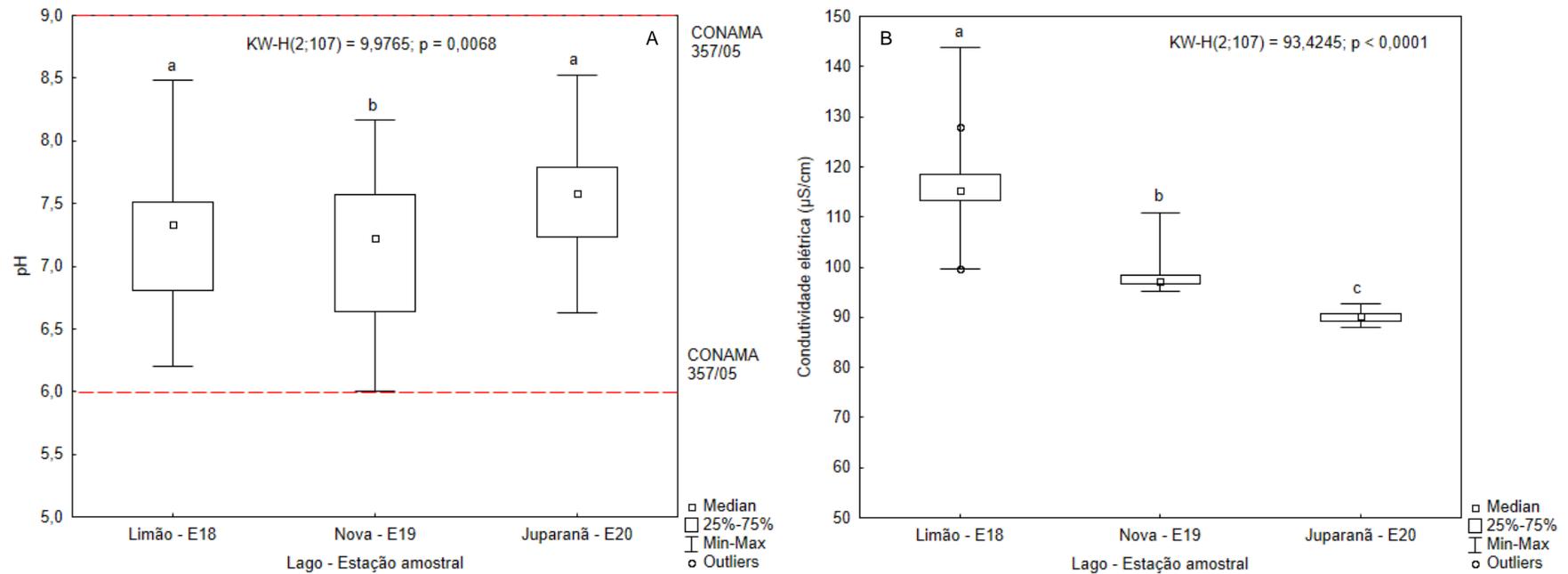


Figura 41: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para os parâmetros físico-químicos pH (A) e condutividade elétrica (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. As linhas vermelhas e tracejadas representam os limites mínimos e máximos para o pH, estabelecidos pela Resolução CONAM 357/2005.



### Parâmetros hidroquímicos

Com relação aos parâmetros hidroquímicos (Tabela 50, Tabela 51), os maiores valores de alcalinidade total foram registrados no lago do Limão (entre 23,00 e 43,50 mgCaCO<sub>3</sub>/L), com diferenças significativas para as lagoas Nova (entre 15,00 e 37,50 mgCaCO<sub>3</sub>/L) e Juparanã (entre 15,00 e 31,10 mgCaCO<sub>3</sub>/L) (Figura 42). Para o carbono orgânico dissolvido, as maiores concentrações foram registradas no lago Juparanã (entre 3,53 e 33,13 mg/L) e no lago do Limão (entre 3,49 e 7,16 mg/L), com diferenças significativas para a lagoa Nova (entre 2,52 e 10,57 mg/L) (Figura 42).

Com relação ao fósforo total (PT), as concentrações foram significativamente diferentes entre os lagos, com as maiores concentrações sendo registradas na lagoa Juparanã (entre 114,56 e 608,42 µg/L), seguida pela lagoa do Limão (entre 112,46 e 204,67 µg/L), e pela lagoa Nova (entre 93,14 e 196,99 µg/L) (Figura 43). Em todos os lagos as concentrações de PT estiveram acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, para ambientes lênticos (30,00 µg/L). Nos lagos o fósforo total também apresentou uma correlação com o material particulado em suspensão ( $R = 0,5496$ ). Para o fosfato as maiores concentrações também foram registradas no lago Juparanã (entre 27,50 e 210,63 µg/L), sem diferenças significativas para a lagoa do Limão (entre 17,92 e 103,33 µg/L), mas com diferenças significativas para a lagoa Nova (entre 16,67 e 120,00 µg/L) (Figura 43).

Com relação à série nitrogenada, maiores concentrações de nitrogênio total (NT) foram registradas no lago do Limão (entre 665,26 e 2119,16 µg/L), com diferenças significativas para a lagoa Juparanã, onde foi registrado um pico na concentração (entre 580,63 e 4990,38 µg/L) e Nova (entre 111,29 e 1386,63 µg/L) (Figura 44). Para nitrato, nitrito e amônio, não foram registradas diferenças significativas entre os lagos.

Com relação ao silicato, as maiores concentrações foram registradas nas lagoas do Limão (entre 0,64 e 5,26 mg/L) e Juparanã (entre 0,02 e 5,42 mg/L), com diferenças significativas para a lagoa Nova (entre 0,00 e 3,94 mg/L) (Figura 44).

Com relação à clorofila *a*, as concentrações na lagoa Juparanã (entre 0,86 e 17,37 µg/L) e no Limão (entre 0,21 e 14,88 µg/L) foram significativamente maiores que as registradas para a lagoa Nova (entre 0,09 e 3,73 µg/L), mas sem diferenças significativas para as duas primeiras (Figura 45).

Tabela 50: Estatística descritiva para parâmetros químicos, no sistema lacustre (lagos), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|--------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 104,00   | 104,00                               | 104,00                          | 104,00                    | 104,00                       |
| <b>Média</b>             | 26,64  | 8,24                                 | 182,01                          | 55,54                     | 2,39                         |
| <b>Mediana</b>           | 25,00  | 4,28                                 | 165,55                          | 55,42                     | 2,18                         |
| <b>Mínima</b>            | 15,00  | 2,46                                 | 93,14                           | 16,67                     | 0,00                         |
| <b>Máxima</b>            | 43,50  | 326,30                               | 608,42                          | 210,63                    | 5,42                         |
| <b>Desvio padrão</b>     | 5,73   | 31,69                                | 70,44                           | 28,90                     | 1,32                         |
| <b>Coef. de variação</b> | 21,50  | 384,53                               | 38,70                           | 52,04                     | 55,19                        |

Tabela 51: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no sistema lacustre (lagos), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 87,00                              | 86,00                     | 104,00                    | 104,00                   | 103,00                        |
| <b>Média</b>             | 1102,62                            | 115,33                    | 5,08                      | 120,97                   | 3,06                          |
| <b>Mediana</b>           | 984,56                             | 91,76                     | 3,11                      | 65,97                    | 1,88                          |
| <b>Mínima</b>            | 111,29                             | 9,30                      | 0,23                      | 11,25                    | 0,09                          |
| <b>Máxima</b>            | 4990,38                            | 588,07                    | 23,23                     | 1443,96                  | 17,37                         |
| <b>Desvio padrão</b>     | 623,84                             | 102,61                    | 4,80                      | 177,17                   | 3,57                          |
| <b>Coef. de variação</b> | 56,58                              | 88,98                     | 94,39                     | 146,45                   | 116,58                        |

Figura 42: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para os parâmetros químicos alcalinidade total (A) e carbono orgânico total (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

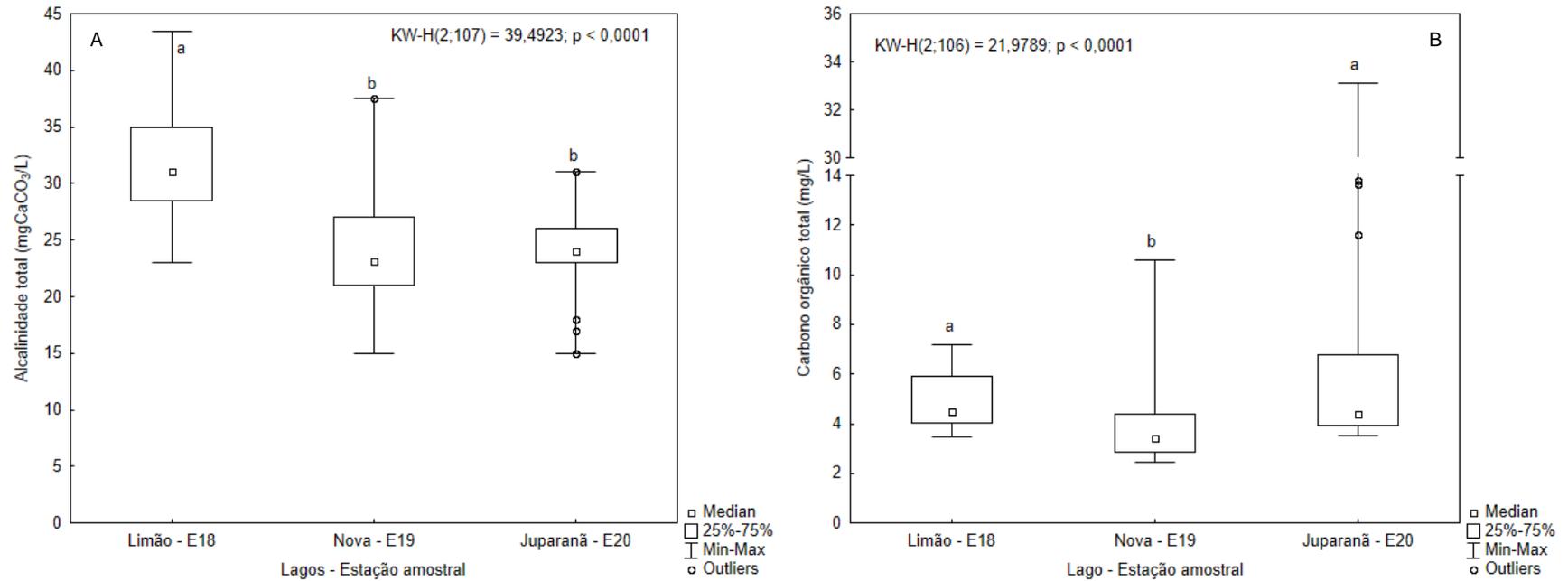


Figura 43: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para os parâmetros fósforo total (A) e fosfato (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. As linhas vermelhas e tracejadas representam os limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAM 357/2005.

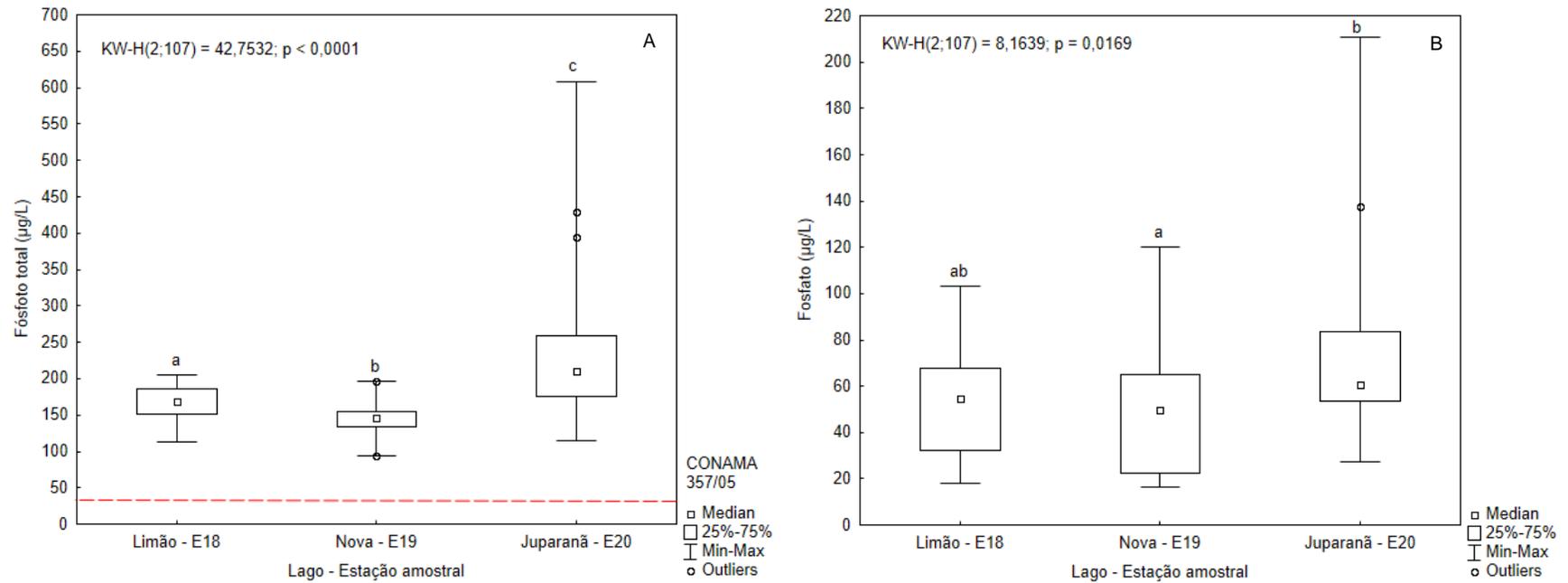


Figura 44: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para os parâmetros químicos nitrogênio total (A) e silicato (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

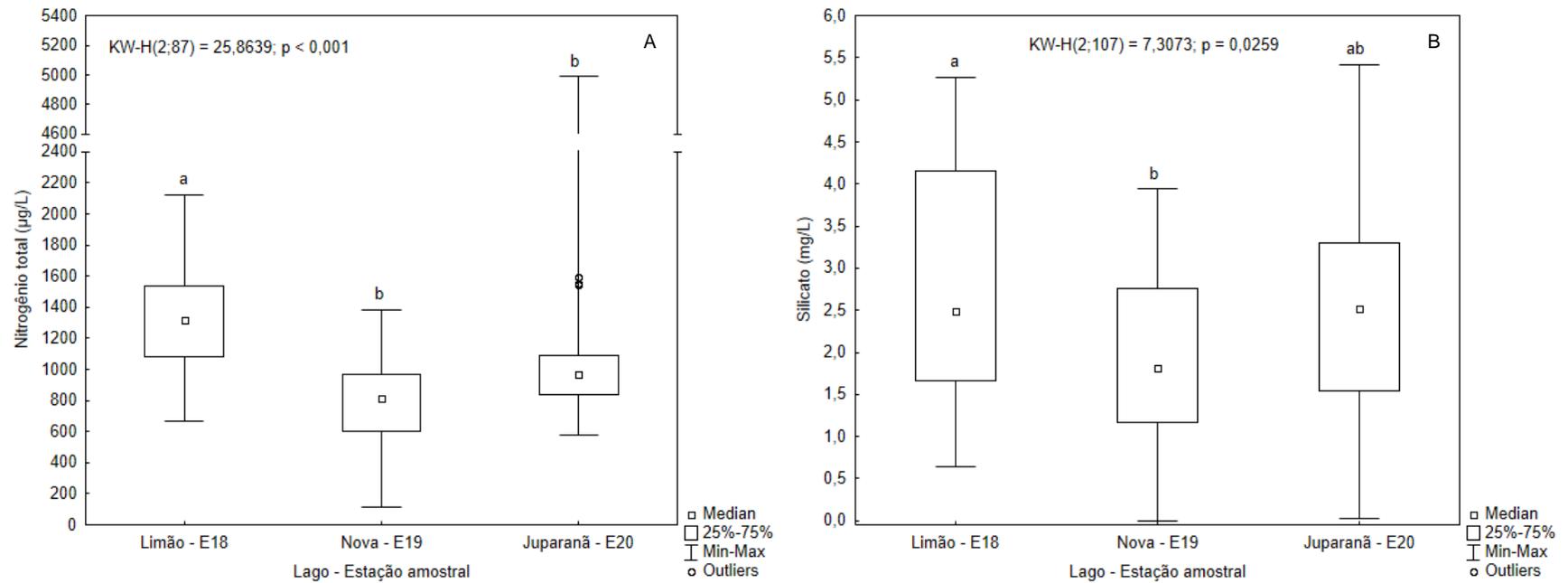
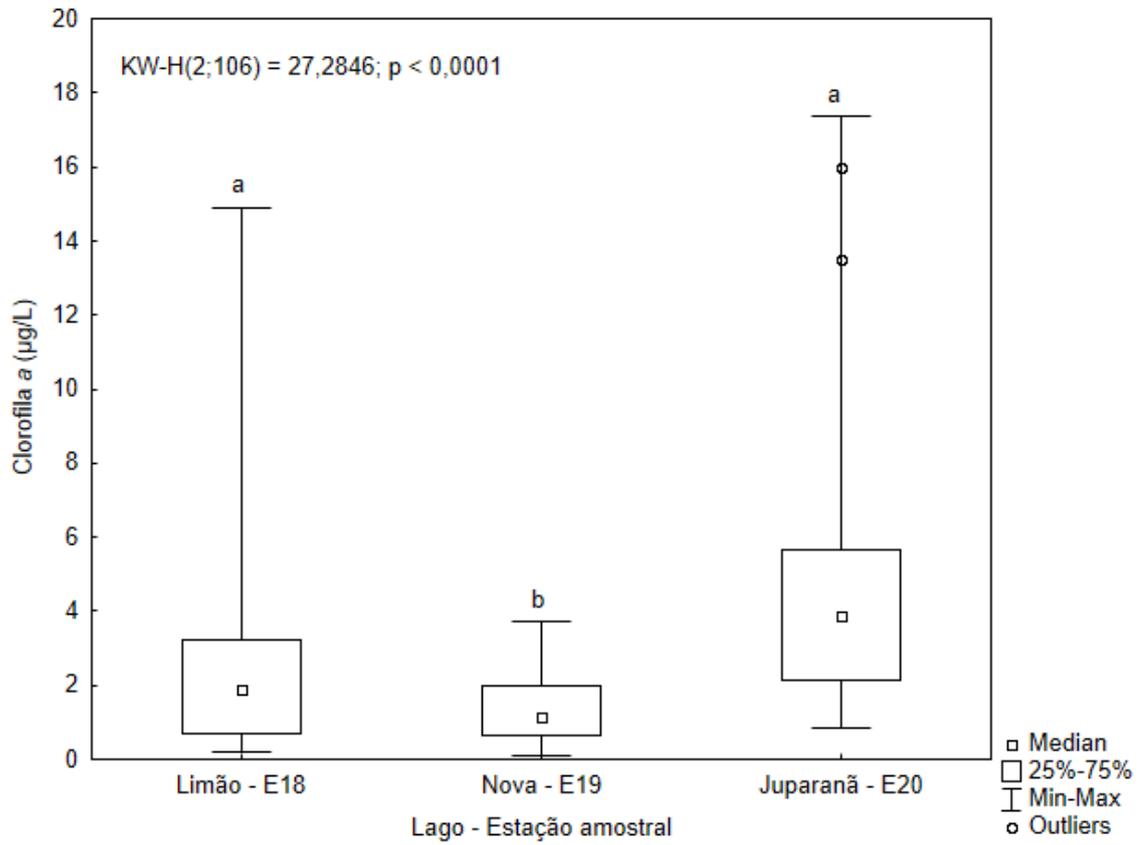


Figura 45: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para as concentrações de clorofila a. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



#### **3.2.4 Sedimento**

São apresentados a seguir as características físicas, físico-químicas e químicas obtidas para o sedimento dos ambientes lacustres profundos. É apresentada uma caracterização por ambiente e, posteriormente, uma análise integrada para todos os ambientes.

##### **E18 – Lago do Limão**

No lago do Limão a densidade do sedimento variou entre 1760,00 kg/m<sup>3</sup>, em novembro de 2018, e 2463,60 kg/m<sup>3</sup>, em dezembro de 2018. O pH variou entre 5,80, em junho de 2019, e 7,80, em agosto de 2019. A condutividade elétrica variou entre 220,00 µS/cm, em setembro de 2019, e 430,00 µS/cm, em abril de 2019. A matéria orgânica variou entre 8,83%, em agosto de 2019, e 33,66%, em dezembro de 2018. A concentração de fosfato na água intersticial variou entre 79,63 µg/L, em maio de 2019, e 742,99 µg/L, em setembro de 2019 (Tabela 52).

##### **E19 – Lago Nova**

No lago Nova a densidade do sedimento variou entre 1503,33 kg/m<sup>3</sup>, em outubro de 2018, e 2274,27 kg/m<sup>3</sup>, em janeiro de 2019. O pH variou entre 5,60, em março de 2019, e 7,40, em agosto de 2019. A condutividade elétrica variou entre 310,00 µS/cm, em setembro de 2019, e 430,00 µS/cm, em abril de 2019. A matéria orgânica variou entre 3,95%, em maio de 2019, e 43,71%, em dezembro de 2018. A concentração de fosfato na água intersticial variou entre 48,90 µg/L, em novembro de 2018, e 592,35 µg/L, em abril de 2019 (Tabela 53).

##### **E20 – Lago Juparanã**

No lago Nova a densidade do sedimento variou entre 1689,27 kg/m<sup>3</sup>, em outubro de 2018, e 2433,67 kg/m<sup>3</sup>, em dezembro de 2018. O pH variou entre 6,50, em maio de 2019, e 8,10, em agosto de 2019. A condutividade elétrica variou entre 179,00 µS/cm, em setembro de 2019, e 350,00 µS/cm, em junho de 2019. A matéria orgânica variou entre 7,59%, em junho de 2019, e 99,37%, em maio. A concentração de fosfato na água intersticial variou entre 76,25 µS/cm, em dezembro de 2018, e 2963,16 µS/cm, em maio de 2019 (Tabela 54).

Tabela 52: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa do Limão (E8), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica (µS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica (%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial (µg/L)</b> |
|--------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 12,00                               | 8,00      | 8,00                                  | 12,00                       | 12,00                                      |
| <b>Média</b>             | 2127,75                             | 6,70      | 347,50                                | 14,70                       | 360,94                                     |
| <b>Mediana</b>           | 2063,13                             | 6,55      | 375,00                                | 11,95                       | 318,53                                     |
| <b>Mínima</b>            | 1760,00                             | 5,80      | 220,00                                | 8,83                        | 79,63                                      |
| <b>Máxima</b>            | 2463,60                             | 7,80      | 430,00                                | 33,66                       | 742,99                                     |
| <b>Desvio padrão</b>     | 248,20                              | 0,65      | 68,82                                 | 7,36                        | 246,17                                     |
| <b>Coef. de variação</b> | 11,67                               | 9,67      | 19,80                                 | 50,05                       | 68,20                                      |

Tabela 53: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa Nova (E19), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica (µS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica (%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial (µg/L)</b> |
|--------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 12,00                               | 8,00      | 8,00                                  | 12,00                       | 12,00                                      |
| <b>Média</b>             | 2000,74                             | 6,49      | 350,00                                | 17,42                       | 244,67                                     |
| <b>Mediana</b>           | 2019,33                             | 6,45      | 345,00                                | 11,80                       | 211,18                                     |
| <b>Mínima</b>            | 1503,33                             | 5,60      | 310,00                                | 3,95                        | 48,90                                      |
| <b>Máxima</b>            | 2274,27                             | 7,40      | 430,00                                | 43,71                       | 592,35                                     |
| <b>Desvio padrão</b>     | 255,23                              | 0,57      | 37,03                                 | 12,64                       | 157,85                                     |
| <b>Coef. de variação</b> | 12,76                               | 8,74      | 10,58                                 | 72,57                       | 64,52                                      |

Tabela 54: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do lago Juparanã (E20), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(µS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(µg/L)</b> |
|--------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 12                                      | 8         | 8   | 12                              | 12   |
| <b>Média</b>             | 2055,82                                 | 6,98      | 287,50                                    | 21,59                           | 595,18   |
| <b>Mediana</b>           | 2023,03                                 | 6,80      | 295,00                                    | 11,24                           | 215,15   |
| <b>Mínima</b>            | 1689,27                                 | 6,50      | 170,00                                    | 7,59                            | 76,25  |
| <b>Máxima</b>            | 2433,67                                 | 8,10      | 350,00                                    | 99,37                           | 2963,16  |
| <b>Desvio padrão</b>     | 238,54                                  | 0,53      | 58,25                                     | 25,45                           | 881,49   |
| <b>Coef. de variação</b> | 11,60                                   | 7,58      | 20,26                                     | 117,90                          | 148,10   |

#### 3.2.4.1 Integração dos parâmetros do sedimento no sistema lacustre profundo (lagos)

São apresentados a seguir os resultados da análise integrada dos resultados obtidos para o sedimento dos lagos que compõem o sistema lacustre profundo, considerando as variáveis densidade (física), pH e condutividade elétrica (físico-química), e matéria orgânica e fósforo na água intersticial (química) (Tabela 55).

A densidade do sedimento variou entre 1503,33 e 2463,60 kg/m<sup>3</sup>, com os maiores valores sendo registrados na lagoa do Limão, seguido pela lagoa Juparanã e depois a lagoa Nova, sem diferenças significativas entre os lagos (Figura 46).

O pH do sedimento variou entre 5,60 e 8,10, com os maiores valores sendo registrados na lagoa Juparanã, seguido pela lagoa do Limão e depois a lagoa Nova, sem diferenças significativas entre os lagos (Figura 46). Já para a condutividade elétrica, os valores foram significativamente maiores no lago do Limão (entre 290,00 e 430,00 µS/cm) e na lagoa Nova (entre 310,00 e 430,00 µS/cm) em relação à lagoa Juparanã (entre 170,00 e 350,00 µS/cm) (Figura 46, Figura 48).

A matéria orgânica no sedimento variou entre 3,95 e 99,37%, com os maiores valores sendo registrados na lagoa Nova, mas sem diferenças significativas entre os lagos (Figura 47). Já, as concentrações de fosfato na água intersticial variaram entre 48,90 e 2963,16 µg/L, com os maiores valores sendo registrados na lagoa do Limão, um pico de concentração sendo registrado na lagoa Juparanã, mas sem diferenças significativas para os demais lagos (Figura 47).

Tabela 55: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados de forma integrada no sedimento do sistema lacustre profundo, entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(µS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(µg/L)</b> |
|--------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 35,00                                   | 23,00     | 23,00                                     | 35,00                           | 35,00  |
| <b>Média</b>             | 2064,79                                 | 6,70      | 335,22                                    | 18,02                           | 407,39   |
| <b>Mediana</b>           | 2051,80                                 | 6,60      | 340,00                                    | 11,47                           | 219,34   |
| <b>Mínima</b>            | 1503,33                                 | 5,60      | 220,00                                    | 3,95                            | 48,90  |
| <b>Máxima</b>            | 2463,60                                 | 8,10      | 430,00                                    | 99,37                           | 2963,16  |
| <b>Desvio padrão</b>     | 248,72                                  | 0,60      | 52,39                                     | 16,93                           | 547,42   |
| <b>Coef. de variação</b> | 12,05                                   | 8,92      | 15,63                                     | 93,94                           | 134,37   |

Figura 46: Variação mensal da densidade (A), pH (B) e condutividade elétrica (C), mensurados no sedimento do sistema lacustre profundo (lagos), entre 10/2018 e 09/2019.

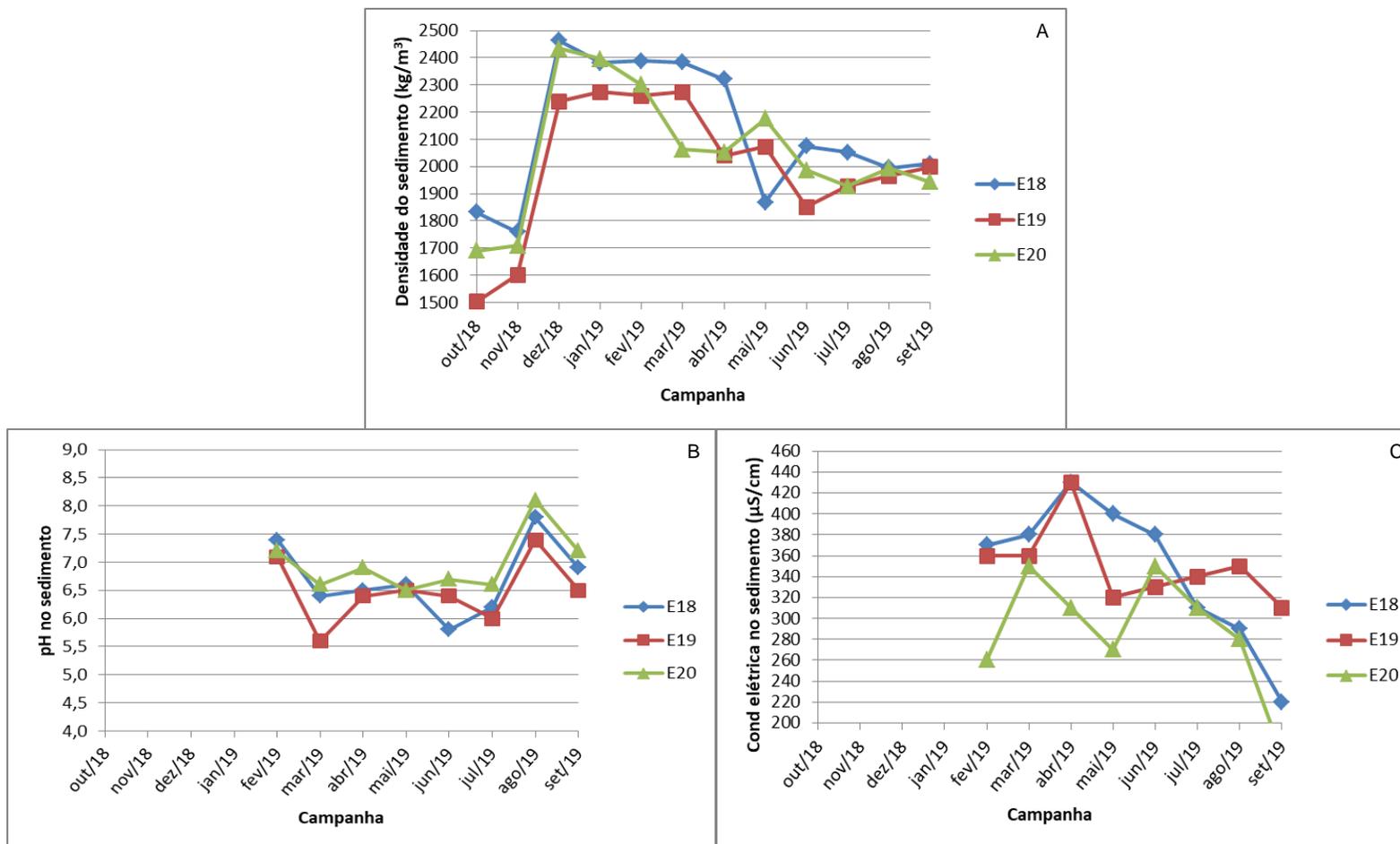


Figura 47: Variação mensal da matéria orgânica (A) e fosfato na água intersticial (B), mensurados no sedimento do sistema lacustre profundo (lagos), entre 10/2018 e 09/2019.

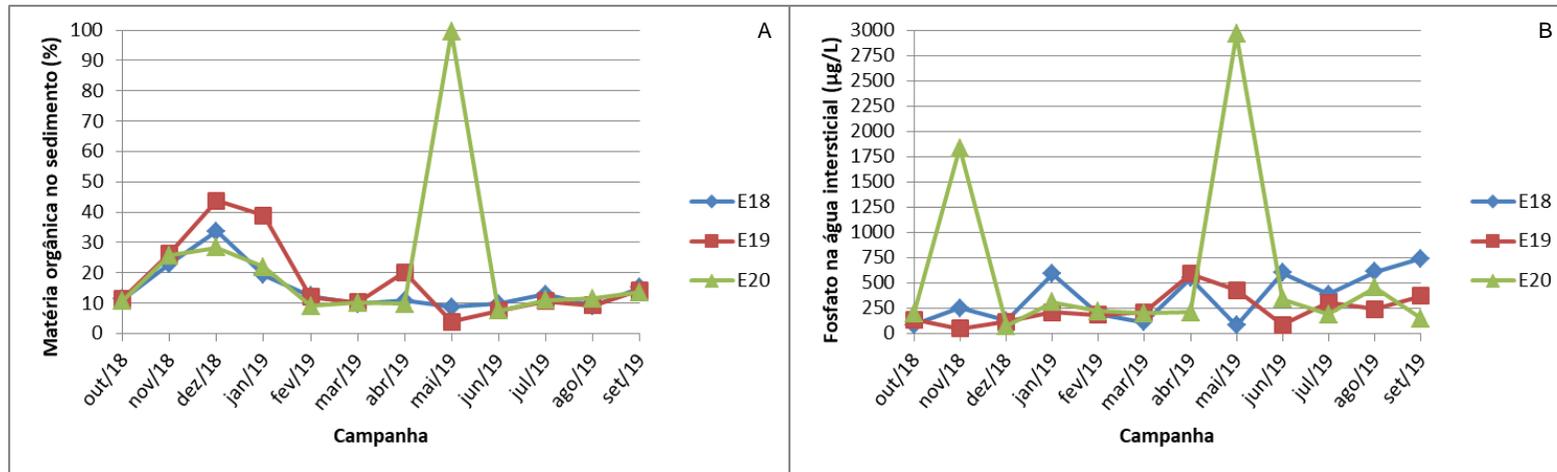
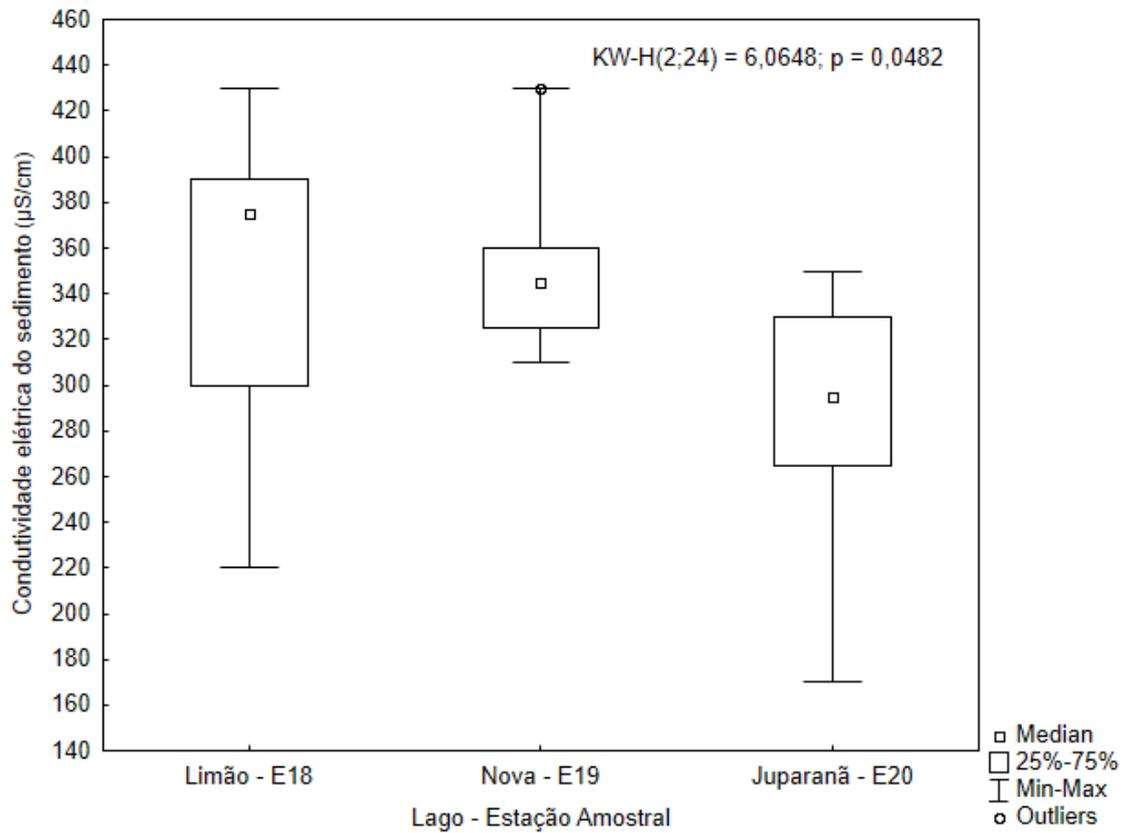


Figura 48: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Limão (E18), Nova (E19) e Juparanã (E20), para a condutividade elétrica. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis.



### 3.3 AMBIENTE LACUSTRE: LAGOAS

#### **Lagoa do Areão (E23), Lagoa do Areal (E24) e Lagoa Monsarás (E25 e E25a)**

##### **3.3.1 Parâmetros físicos na coluna d'água**

São descritos a seguir os dados referentes aos parâmetros físicos (transparência, turbidez, material particulado em suspensão e temperatura da água), obtidos para as lagoas da planície costeira.

Como nas lagoas foram feitos perfis de temperatura, os valores apresentados nas tabelas são diferentes daqueles apresentados nas figuras, que consideram apenas os valores mensurados no meio da coluna d'água.

##### **E23 – Lagoa do Areão**

Na lagoa do Areão a transparência d'água variou de 0,70 m, em outubro de 2018, a 2,10 m, em agosto de 2019. A turbidez variou entre 2,3 UNT, em maio de 2019, a 24,60 UNT em outubro de 2018. A concentração de material particulado em suspensão variou entre 0,60 mg/L, em janeiro de 2019, a 19,20 mg/L, em outubro de 2018. A temperatura da água variou entre 23,69 °C, em junho de 2019, a 31,78 °C, em março de 2019 (Tabela 56).

##### **E24 – Lagoa do Areal**

Na lagoa do Areal a transparência d'água variou de 0,30 m, em março de 2019, a 0,80 m, em janeiro de 2019. A turbidez variou entre 13,90 UNT, em janeiro de 2019, a 98,70 UNT em fevereiro de 2019. A concentração de material particulado em suspensão variou entre 5,60 mg/L, em janeiro de 2019, a 20,80 mg/L, em março de 2019. A temperatura da água variou entre 23,87 °C, em junho de 2019, a 32,05 °C, em março de 2019 (Tabela 57).

##### **E25 – Lagoa Monsarás**

Na lagoa do Areal a transparência d'água variou de 0,45 m, em fevereiro de 2019, a 1,10 m, em abril, maio, agosto e setembro de 2019. A turbidez variou entre 5,49 UNT, em setembro de 2019, a 23,10 UNT em fevereiro de 2019. A concentração de material particulado em suspensão variou entre 2,80 mg/L, em julho de 2019, a 20,20 mg/L, em março de 2019. A temperatura da água variou entre 22,91 °C, em julho de 2019, a 30,85 °C, em março de 2019 (Tabela 58).

##### **E25a – Lagoa Monsarás**

Na lagoa do Areal a transparência d'água variou de 0,25 m, em dezembro de 2018, a 1,00 m, em janeiro de 2019. A turbidez variou entre 12,50 UNT, em janeiro de 2019, a 103,00 UNT em dezembro de 2018. A concentração de material particulado em suspensão variou entre 4,20 mg/L, em agosto de 2019, a 26,00 mg/L, em dezembro de 2018. A temperatura da água variou entre 22,29 °C, em junho de 2019, a 32,95 °C, em janeiro de 2019 (Tabela 59).

Tabela 56: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados na lagoa do Areão (E23), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Transparência (m)</b> | <b>Turbidez (UNT)</b> | <b>MPS (mg/L)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 11                       | 11                    | 11                | 55                      |
| <b>Média</b>                 | 1,68                     | 7,51                  | 3,76              | 26,64                   |
| <b>Mediana</b>               | 1,90                     | 5,10                  | 1,87              | 26,51                   |
| <b>Mínima</b>                | 0,70                     | 2,13                  | 0,60              | 23,69                   |
| <b>Máxima</b>                | 2,10                     | 24,60                 | 19,20             | 31,78                   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,46                     | 6,11                  | 5,27              | 2,50                    |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 27,22                    | 81,38                 | 140,34            | 9,39                    |

Tabela 57: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados na lagoa do Areal (E24), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Transparência (m)</b> | <b>Turbidez (UNT)</b> | <b>MPS (mg/L)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 11                       | 11                    | 11                | 43                      |
| <b>Média</b>                 | 0,52                     | 39,27                 | 12,18             | 27,10                   |
| <b>Mediana</b>               | 0,50                     | 35,10                 | 11,80             | 27,00                   |
| <b>Mínima</b>                | 0,30                     | 13,90                 | 5,60              | 23,87                   |
| <b>Máxima</b>                | 0,80                     | 98,70                 | 20,80             | 32,05                   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,17                     | 23,91                 | 4,07              | 2,36                    |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 32,37                    | 60,88                 | 33,38             | 8,72                    |

Tabela 58: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados na lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Transparência (m)</b> | <b>Turbidez (UNT)</b> | <b>MPS (mg/L)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 12                       | 12                    | 12                | 72                      |
| <b>Média</b>                 | 0,88                     | 13,12                 | 9,27              | 26,37                   |
| <b>Mediana</b>               | 0,90                     | 11,20                 | 7,70              | 26,11                   |
| <b>Mínima</b>                | 0,45                     | 5,49                  | 2,80              | 22,91                   |
| <b>Máxima</b>                | 1,10                     | 23,10                 | 20,20             | 30,85                   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,22                     | 6,00                  | 4,75              | 2,47                    |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 24,55                    | 45,71                 | 51,26             | 9,36                    |

Tabela 59: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados na lagoa Monsarás (E25a), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Transparência<br/>(m)</b> | <b>Turbidez<br/>(UNT)</b> | <b>MPS<br/>(mg/L)</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 12                           | 12                        | 12                    | 101                         |
| <b>Média</b>                 | 0,70                         | 32,58                     | 8,50                  | 25,67                       |
| <b>Mediana</b>               | 0,70                         | 26,10                     | 7,00                  | 25,31                       |
| <b>Mínima</b>                | 0,25                         | 12,50                     | 4,20                  | 22,29                       |
| <b>Máxima</b>                | 1,00                         | 103,00                    | 26,00                 | 32,95                       |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,20                         | 24,42                     | 5,93                  | 2,19                        |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 28,98                        | 74,96                     | 69,73                 | 8,54                        |

### 3.3.2 Parâmetros físico-químicos na coluna d'água

São descritos a seguir os parâmetros físico-químicos (salinidade, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e potencial Redox), obtidos para as lagoas.

Como nas lagoas foram feitos perfis dos parâmetros físico-químicos na coluna d'água, para os parâmetros físico-químicos, os valores apresentados nas tabelas são diferentes daqueles apresentados nas figuras, que consideram apenas os valores mensurados no meio da coluna d'água.

#### E23 – Lagoa do Areão

Na lagoa do Areão a salinidade variou entre 0,05 e 0,06. A concentração de oxigênio dissolvido variou entre 6,22 mg/L, em janeiro de 2019, e 10,14 mg/L, em maio de 2019. O potencial Redox variou entre 146,00, em abril de 2019, e 280,20 mV, em junho de 2019. O pH variou entre 6,27, em outubro de 2018, e 7,97, em março de 2019. A condutividade elétrica variou entre 90,15, em dezembro de 2018, e 113,74 µS/cm, em abril de 2019 (Tabela 60).

#### E24 – Lagoa do Areal

Na lagoa do Areal a salinidade variou entre 0,07 e 0,08. A concentração de oxigênio dissolvido variou entre 0,16 mg/L, em agosto de 2019, e 10,42 mg/L, em dezembro de 2018. O potencial Redox variou entre -38,90, em agosto de 2019, e 263,90 mV, em junho de 2019. O pH variou entre 6,57, em dezembro de 2018, e 7,79, em setembro de 2019. A condutividade elétrica variou entre 138,08, em julho de 2019, e 160,24 µS/cm, em abril de 2019 (Tabela 61).

#### E25 – Lagoa Monsarás

Na estação 25 da lagoa do Areal a salinidade variou entre 0,04, em junho de 2019, e 2,49, em agosto de 2019. A concentração de oxigênio dissolvido variou entre 1,22 mg/L, em janeiro de 2019, e 11,09 mg/L, em dezembro de 2018. O potencial Redox variou entre 0,00, em janeiro de 2019, e 273,10 mV, em junho de 2019. O pH variou entre 6,78, em janeiro de 2019, e 8,05, em maio de 2019. A

condutividade elétrica variou entre 542,66, em fevereiro de 2019, e 4673,32  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , em agosto de 2019 (Tabela 62).

#### **E25a – Lagoa Monsarás**

Na estação 25a da lagoa do Areal a salinidade variou entre 0,09, em junho de 2019, e 9,94, em janeiro de 2019, com os maiores valores sempre sendo registrados a partir de 2,0 a 3,0 metros de profundidade. A concentração de oxigênio dissolvido variou entre 0,02 mg/L, em junho de 2019, e 10,76 mg/L, em fevereiro de 2019. O potencial Redox variou entre -297,00 em agosto de 2019, e 263,00 mV em outubro de 2018. O pH variou entre 6,43, em julho de 2019, e 7,94, em março de 2019. A condutividade elétrica variou entre 188,70, em julho de 2019, e 16939,05  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , em janeiro de 2019, com os maiores valores, assim como para a salinidade, sendo registrados a partir de 2,0 ou 3,0 metros de profundidade (Tabela 63).

Tabela 60: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados na lagoa do Areão (E23), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Salinidade</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> |
|------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|--|
| <b>N amostral</b>            | 55                | 47                   | 47                              | 47        | 55   |
| <b>Média</b>                 | 0,05              | 8,17                 | 206,36                          | 7,46      | 105,30   |
| <b>Mediana</b>               | 0,05              | 8,36                 | 207,00                          | 7,66      | 105,84   |
| <b>Mínima</b>                | 0,05              | 6,22                 | 146,00                          | 6,27      | 90,15  |
| <b>Máxima</b>                | 0,06              | 10,14                | 280,20                          | 7,97      | 113,74   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,00              | 0,87                 | 39,22                           | 0,44      | 7,11   |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 5,80              | 10,62                | 19,00                           | 5,92      | 6,75   |

Tabela 61: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados na lagoa do Areal (E24), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Salinidade</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> |
|------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|--|
| <b>N amostral</b>            | 43                | 33                   | 33                              | 33        | 43   |
| <b>Média</b>                 | 0,07              | 6,23                 | 176,63                          | 7,22      | 146,99   |
| <b>Mediana</b>               | 0,07              | 6,71                 | 177,00                          | 7,20      | 147,44   |
| <b>Mínima</b>                | 0,07              | 0,16                 | -38,90                          | 6,57      | 138,08   |
| <b>Máxima</b>                | 0,08              | 10,42                | 263,90                          | 7,79      | 160,24   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,00              | 2,38                 | 68,93                           | 0,38      | 5,37   |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 3,64              | 41,16                | 39,03                           | 5,13      | 3,89   |

Tabela 62: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados na lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Salinidade</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> |
|------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|--|
| <b>N amostral</b>            | 72                | 59                   | 59                              | 59        | 72   |
| <b>Média</b>                 | 0,91              | 7,56                 | 187,35                          | 7,60      | 1812,65  |
| <b>Mediana</b>               | 0,42              | 7,66                 | 171,40                          | 7,67      | 858,76   |
| <b>Mínima</b>                | 0,04              | 1,22                 | 0,00                            | 6,78      | 542,66   |
| <b>Máxima</b>                | 2,49              | 11,09                | 273,10                          | 8,05      | 4673,32  |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,86              | 1,87                 | 59,46                           | 0,36      | 1545,48  |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 95,12             | 24,76                | 31,74                           | 4,72      | 85,26  |

Tabela 63: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados na lagoa Monsarás (E25a), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Salinidade</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> |
|------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|--|
| <b>N amostral</b>            | 101               | 83                   | 83                              | 83        | 101  |
| <b>Média</b>                 | 2,94              | 3,93                 | 1,59                            | 7,14      | 5196,11  |
| <b>Mediana</b>               | 0,50              | 3,47                 | 50,70                           | 7,08      | 1021,55  |
| <b>Mínima</b>                | 0,09              | 0,02                 | -297,00                         | 6,43      | 188,70   |
| <b>Máxima</b>                | 9,94              | 10,76                | 263,00                          | 7,94      | 16939,05   |
| <b>Desvio padrão</b>         | 3,33              | 3,57                 | 166,49                          | 0,35      | 5752,50  |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 113,22            | 84,15                | 10476,58                        | 4,86      | 115,44   |

### 3.3.3 Parâmetros hidroquímicos na coluna d'água

#### E23 – Lagoa do Areão

Na lagoa do Areão a alcalinidade total variou entre 9,00 mgCaCO<sub>3</sub>/L, em julho de 2019, e 26,10 mgCaCO<sub>3</sub>/L, em outubro de 2018 (Tabela 64). A concentração de carbono orgânico total variou entre 7,39 mg/L, em agosto de 2019, e 16,33 mg/L, em fevereiro de 2019 (Tabela 64).

A concentração de fósforo total variou entre 110,37 µg/L, em julho de 2019, e 187,21 µg/L, em dezembro de 2018 (Tabela 64), valores esses acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (100,00 µg/L). Já a concentração de fosfato variou entre 36,88 µg/L, em outubro de 2018, e 91,25 µg/L, em agosto de 2019 (Tabela 64).

A concentração de silicato variou entre 0,11 mg/L, em janeiro de 2019 e 2,71 mg/L, em fevereiro de 2019 (Tabela 64).

Com relação à série nitrogenada (Tabela 65), a concentração de nitrogênio total variou entre 520,80 µg/L, em outubro de 2018, e 2791,55 µg/L, em julho de 2019. A concentração de nitrato variou entre 24,80 µg/L, em maio de 2019, e 124,31 µg/L, em abril de 2019. A concentração de nitrito variou entre 0,92 µg/L, em janeiro de 2019, e 13,11 µg/L, em abril de 2019. A concentração de amônio variou entre 23,58 µg/L, em outubro de 2018, e 695,34 µg/L, em fevereiro de 2019.

Como relação à clorofila *a*, a concentração variou entre 0,54 µg/L, em agosto de 2019, e 1,33 µg/L, fevereiro de 2019 (Tabela 65).

Tabela 64: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa do Areão (E23), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|--------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 11   | 11                                   | 11                              | 11                        | 11                           |
| <b>Média</b>             | 16,20  | 12,87                                | 160,29                          | 63,50                     | 0,93                         |
| <b>Mediana</b>           | 15,00  | 14,02                                | 173,24                          | 61,25                     | 0,84                         |
| <b>Mínima</b>            | 9,00   | 7,39                                 | 110,37                          | 36,88                     | 0,11                         |
| <b>Máxima</b>            | 26,10  | 16,33                                | 187,21                          | 91,25                     | 2,71                         |
| <b>Desvio padrão</b>     | 4,89   | 2,82                                 | 30,63                           | 17,94                     | 0,78                         |
| <b>Coef. de variação</b> | 30,20  | 21,87                                | 19,11                           | 28,25                     | 84,07                        |

Tabela 65: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa do Areão (E23), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 8                                  | 9                         | 11                        | 11                       | 11                            |
| <b>Média</b>             | 1337,03                            | 56,83                     | 4,50                      | 123,83                   | 0,96                          |
| <b>Mediana</b>           | 1235,97                            | 46,19                     | 2,99                      | 60,75                    | 0,88                          |
| <b>Mínima</b>            | 520,80                             | 24,80                     | 0,92                      | 23,58                    | 0,54                          |
| <b>Máxima</b>            | 2791,55                            | 124,31                    | 13,11                     | 695,34                   | 1,33                          |
| <b>Desvio padrão</b>     | 669,99                             | 34,74                     | 3,58                      | 193,10                   | 0,35                          |
| <b>Coef. de variação</b> | 50,11                              | 61,13                     | 79,73                     | 155,94                   | 36,73                         |

#### **E24 – Lagoa do Areal**

Na lagoa do Areal a alcalinidade total variou entre 19,50 mgCaCO<sub>3</sub>/L, em junho de 2019, e 40,50 mgCaCO<sub>3</sub>/L, em dezembro de 2018 (Tabela 66). A concentração de carbono orgânico total variou entre 8,18 mg/L, em setembro de 2019, e 26,66 mg/L, em fevereiro de 2019 (Tabela 66).

A concentração de fósforo total variou entre 148,09 µg/L, em abril de 2019, e 649,63 µg/L, em outubro de 2018 (Tabela 66), valores esses acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (100,00 µg/L). Já a concentração de fosfato variou entre 32,50 µg/L, em dezembro de 2018, e 174,58 µg/L, em outubro de 2018 (Tabela 66).

A concentração de silicato variou entre 0,28 mg/L, em maio de 2019 e 3,75 mg/L, em setembro de 2019 (Tabela 66).

Com relação à série nitrogenada (Tabela 67), a concentração de nitrogênio total variou entre 1182,65 µg/L, em abril de 2019, e 5989,82 µg/L, em julho de 2019. A concentração de nitrato variou entre 95,79 µg/L, em janeiro de 2019, e 370,14 µg/L, em março de 2019. A concentração de nitrito variou entre 1,15 µg/L, em dezembro de 2018, e 18,86 µg/L, em junho de 201. A concentração de amônio variou entre 56,25 µg/L, em setembro de 2019, e 352,08 µg/L, em março de 2019. Como relação à clorofila a, a concentração variou entre 0,84 µg/L, em junho de 2019, e 5,64 µg/L, em outubro de 2018 (Tabela 67).

Tabela 66: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa do Areal (E24), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 11   | 11                                   | 11                              | 11                        | 11                           |
| <b>Média</b>                 | 26,85  | 12,71                                | 239,97                          | 88,47                     | 2,06                         |
| <b>Mediana</b>               | 27,00  | 11,96                                | 175,33                          | 80,63                     | 2,12                         |
| <b>Mínima</b>                | 19,50  | 8,18                                 | 148,09                          | 32,50                     | 0,28                         |
| <b>Máxima</b>                | 40,50  | 26,66                                | 649,63                          | 174,58                    | 3,75                         |
| <b>Desvio padrão</b>         | 7,22   | 5,25                                 | 148,82                          | 45,53                     | 1,05                         |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 26,89  | 41,27                                | 62,02                           | 51,46                     | 51,20                        |

Tabela 67: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa do Areal (E24), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 7                                  | 9                         | 11                        | 11                       | 11                            |
| <b>Média</b>                 | 2363,44                            | 233,43                    | 9,35                      | 146,16                   | 2,75                          |
| <b>Mediana</b>               | 1793,04                            | 258,23                    | 9,89                      | 112,95                   | 2,32                          |
| <b>Mínima</b>                | 1182,65                            | 95,79                     | 1,15                      | 56,25                    | 0,84                          |
| <b>Máxima</b>                | 5989,82                            | 370,14                    | 18,86                     | 352,08                   | 5,64                          |
| <b>Desvio padrão</b>         | 1645,85                            | 93,56                     | 5,97                      | 98,14                    | 1,63                          |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 69,64                              | 40,08                     | 63,89                     | 67,15                    | 59,42                         |

## **E25 – Lagoa Monsarás**

Na lagoa Monsarás a alcalinidade total variou entre 45,00 mgCaCO<sub>3</sub>/L, novembro de 2018, e 75,60 mgCaCO<sub>3</sub>/L, em outubro de 2018 (Tabela 68). A concentração de carbono orgânico total variou entre 7,81 mg/L, em novembro de 2018, e 26,74 mg/L, em março de 2019 (Tabela 68).

A concentração de fósforo total variou entre 184,88 µg/L, em abril de 2019, e 271,03 µg/L, em novembro de 2018 (Tabela 68), valores esses acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (100,00 µg/L). Já a concentração de fosfato variou entre 30,00 µg/L, em novembro de 2018, e 85,00 µg/L, em fevereiro de 2019 (Tabela 68).

A concentração de silicato variou entre 1,14 mg/L, em janeiro de 2019 e 3,86 mg/L, em dezembro de 2018 (Tabela 68).

Com relação à série nitrogenada (Tabela 69), a concentração de nitrogênio total variou entre 841,65 µg/L, em maio de 2019, e 7533,31 µg/L, em julho de 2019. A concentração de nitrato variou entre 79,98 µg/L, em julho de 2019, e 398,04 µg/L, em março de 2019. A concentração de nitrito variou entre 1,84 µg/L, em agosto e setembro de 2019, e 85,33 µg/L, em novembro de 2018. A concentração de amônio variou entre 24,66 µg/L, em outubro de 2018, e 309,96 µg/L, em novembro de 2018.

Como relação à clorofila *a*, a concentração variou entre 0,70 µg/L, em abril de 2019, e 4,15 µg/L, em junho de 2019 (Tabela 69).

Tabela 68: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados na lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 12   | 12                                   | 12                              | 12                        | 12                           |
| <b>Média</b>                 | 58,40  | 16,64                                | 231,98                          | 57,11                     | 2,15                         |
| <b>Mediana</b>               | 58,25  | 14,05                                | 235,75                          | 59,38                     | 1,78                         |
| <b>Mínima</b>                | 45,00  | 7,81                                 | 184,88                          | 30,00                     | 1,14                         |
| <b>Máxima</b>                | 75,60  | 26,74                                | 271,03                          | 85,00                     | 3,86                         |
| <b>Desvio padrão</b>         | 8,07   | 7,05                                 | 31,61                           | 16,63                     | 0,95                         |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 13,82  | 42,35                                | 13,63                           | 29,11                     | 44,29                        |

Tabela 69: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 10                                 | 10                        | 12                        | 12                       | 12                            |
| <b>Média</b>                 | 3156,14                            | 242,42                    | 25,55                     | 140,50                   | 2,36                          |
| <b>Mediana</b>               | 3203,85                            | 299,46                    | 15,53                     | 119,07                   | 2,08                          |
| <b>Mínima</b>                | 841,65                             | 79,98                     | 1,84                      | 24,66                    | 0,70                          |
| <b>Máxima</b>                | 7533,31                            | 398,04                    | 85,33                     | 309,96                   | 4,15                          |
| <b>Desvio padrão</b>         | 1900,40                            | 134,82                    | 25,02                     | 90,27                    | 0,97                          |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 60,21                              | 55,62                     | 97,91                     | 64,25                    | 41,36                         |

### **E25a – Lagoa Monsarás**

Na estação 25a da lagoa Monsarás a alcalinidade total variou entre 42,00 mgCaCO<sub>3</sub>/L, em julho de 2019, e 69,80 mgCaCO<sub>3</sub>/L, em outubro de 2018 (Tabela 70). A concentração de carbono orgânico total variou entre 5,66 mg/L, em setembro de 2019, e 23,33 mg/L, em dezembro de 2018 (Tabela 70).

A concentração de fósforo total variou entre 170,44 µg/L, em março de 2019, e 273,82 µg/L, em janeiro (Tabela 70), valores esses acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (100,00 µg/L). Já a concentração de fosfato variou entre 32,08 µg/L, em outubro de 2018, e 84,38 µg/L, em agosto de 2019 (Tabela 70).

A concentração de silicato variou entre 0,98 mg/L, em abril de 2019 e 3,99 mg/L, dezembro de 2018 (Tabela 70).

Com relação à série nitrogenada (Tabela 71), a concentração de nitrogênio total variou entre 1602,01 µg/L, em março de 2019, e 8749,44 µg/L, em julho de 2019. A concentração de nitrato variou entre 35,34 µg/L, em maio de 2019, e 443,92 µg/L, em abril de 2019. A concentração de nitrito variou entre 2,53 µg/L, em janeiro de 2019, e 31,97 µg/L, em abril de 2019. A concentração de amônio variou entre 52,92 µg/L, em outubro de 2018, e 1094,76 µg/L, em março de 2019.

Como relação à clorofila *a*, a concentração variou entre 0,91 µg/L, em setembro de 2019, e 6,41 µg/L, em outubro de 2018 (Tabela 71).

Tabela 70: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 12   | 12                                   | 12                              | 12                        | 12                           |
| <b>Média</b>                 | 56,55  | 12,74                                | 220,13                          | 57,00                     | 2,38                         |
| <b>Mediana</b>               | 55,50  | 11,97                                | 216,89                          | 55,42                     | 2,00                         |
| <b>Mínima</b>                | 42,00  | 5,66                                 | 170,44                          | 32,08                     | 0,98                         |
| <b>Máxima</b>                | 69,80  | 23,33                                | 273,82                          | 84,38                     | 3,99                         |
| <b>Desvio padrão</b>         | 8,45   | 5,43                                 | 36,90                           | 19,00                     | 1,14                         |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 14,94  | 42,59                                | 16,76                           | 33,34                     | 47,97                        |

Tabela 71: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados na lagoa Monsarás (E25a), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 10                                 | 10                        | 12                        | 12                       | 12                            |
| <b>Média</b>                 | 3256,61                            | 150,23                    | 10,16                     | 370,07                   | 2,82                          |
| <b>Mediana</b>               | 2528,98                            | 105,40                    | 9,32                      | 275,58                   | 2,34                          |
| <b>Mínima</b>                | 1262,01                            | 35,34                     | 2,53                      | 52,92                    | 0,91                          |
| <b>Máxima</b>                | 8749,44                            | 443,92                    | 31,97                     | 1094,76                  | 6,41                          |
| <b>Desvio padrão</b>         | 2141,63                            | 127,87                    | 7,67                      | 276,55                   | 1,56                          |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 65,76                              | 85,12                     | 75,54                     | 74,73                    | 55,28                         |

### 3.3.4 Integração do sistema lacustre costeiro

Quando os resultados obtidos para as lagoas são analisados de forma integrada, considerando as variações entre lagoas, a transparência variou entre 0,25 e 2,10 m, os maiores valores sendo registrados na lagoa Areão (E23) e os menores na lagoa Areal (E24), com diferenças significativas entre essas duas lagoas, mas não entre essas com as demais (Tabela 72,).

Com relação à turbidez, que variou entre 2,13 e 103,00 UNT (Tabela 72, Figura 49, Figura 50), os menores valores foram registrados nas lagoas Areão (E23) e Monsarás (E25), com diferenças significativas para as lagoas Areal (E24) e Monsarás (E25a) (Figura 49, Figura 51). Na estação 25a da lagoa Monsarás, em dezembro de 2018, foram registrados valores acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (100,00 UNT) (Figura 49).

O material particulado em suspensão (MPS) variou entre 0,60 e 26,00 mg/L (Tabela 72), sendo os menores valores registrados na lagoa Areão (E23) e os maiores na lagoa Areal (E24) (Figura 49). Diferenças significativas foram registradas para o MPS entre a lagoa Areão e as demais (Figura 51). Para as lagoas também foi encontrada uma correlação significativa entre turbidez e MPS ( $R = 0,7315$ ), indicando a influência do material particulado em suspensão na turbidez da água.

Com relação à temperatura da água, os valores variaram entre 22,29 e 32,95 °C (Tabela 72), sem diferenças significativas entre as lagoas.

Tabela 72: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados no sistema lacustre raso, entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Transparência<br/>(m)</b> | <b>Turbidez<br/>(UNT)</b> | <b>MPS<br/>(mg/L)</b> | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 46                           | 46                        | 46                    | 254                         |
| <b>Média</b>                 | 0,94                         | 21,79                     | 8,45                  | 26,25                       |
| <b>Mediana</b>               | 0,80                         | 18,05                     | 7,50                  | 25,88                       |
| <b>Mínima</b>                | 0,25                         | 2,13                      | 0,60                  | 22,29                       |
| <b>Máxima</b>                | 2,10                         | 103,00                    | 26,00                 | 32,95                       |
| <b>Desvio padrão</b>         | 0,52                         | 18,43                     | 5,74                  | 2,47                        |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 55,33                        | 84,60                     | 67,93                 | 9,42                        |

Figura 49: Variação mensal de parâmetros físicos transparência (A), turbidez (B), material particulado em suspensão (C) e temperatura (D), mensurados no sistema lacustre profundo (lagos), 10/2018 e 09/2019. Linha tracejada vermelha representa o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.

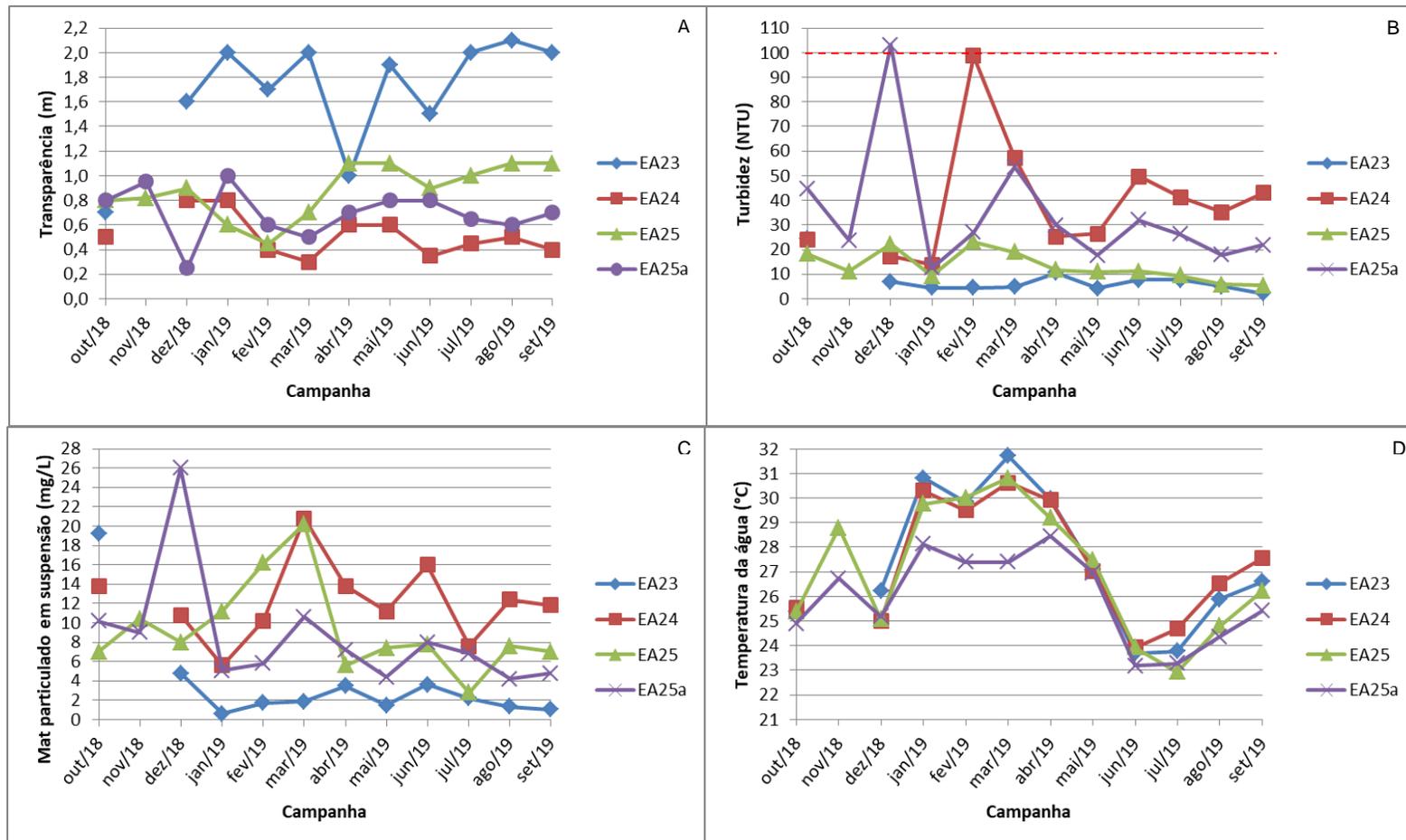


Figura 50: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para o parâmetro físico transparência. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

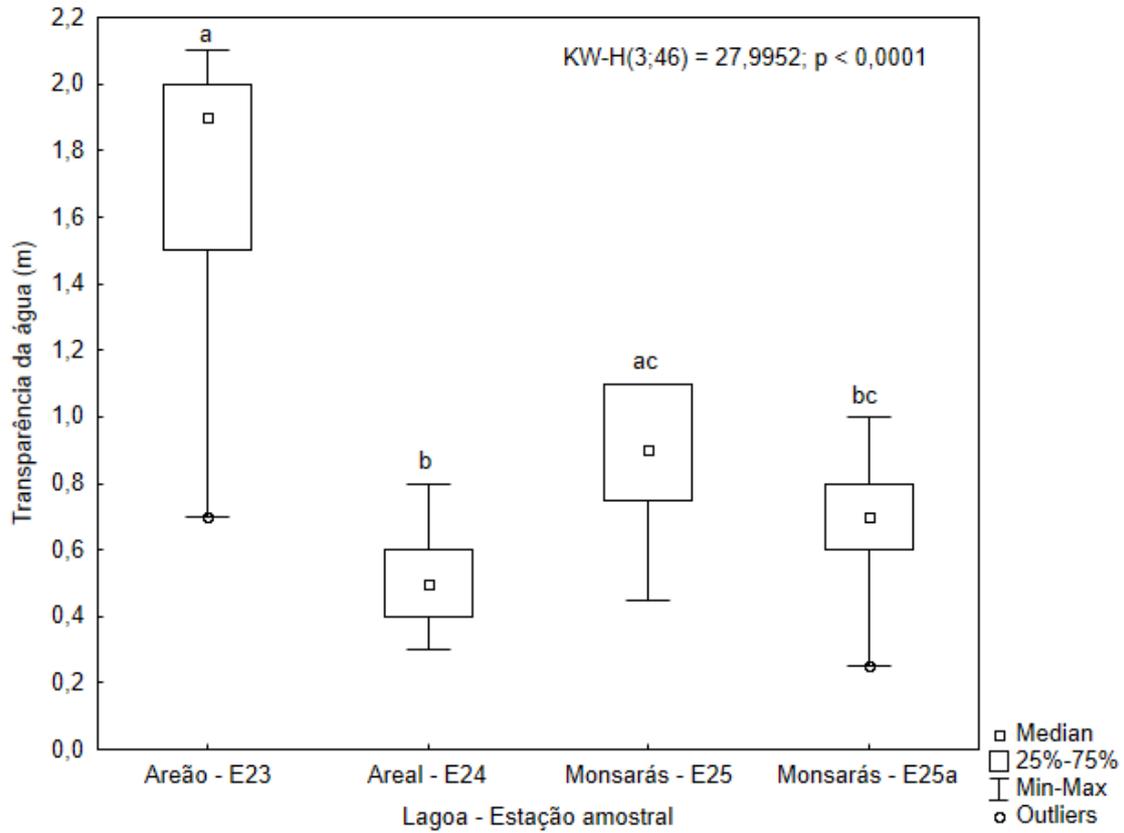
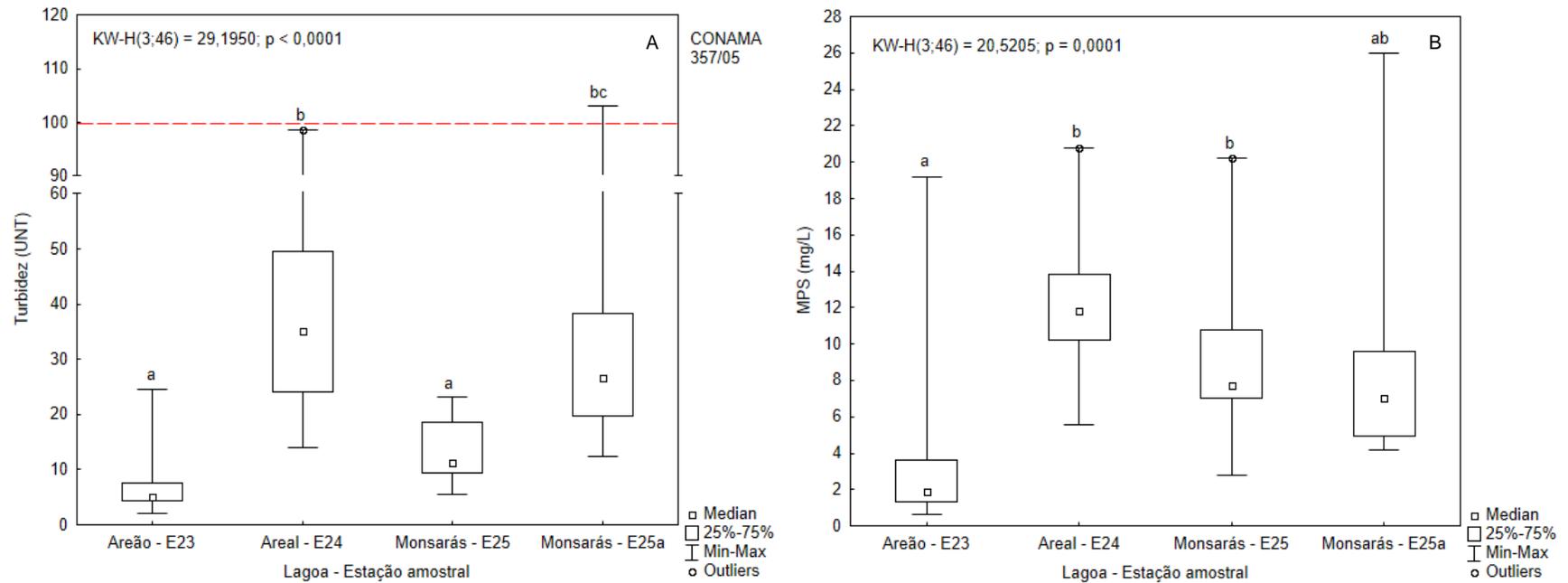


Figura 51: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros físicos turbidez (A) e material particulado em suspensão (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. As linhas vermelhas e tracejadas representam os limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAM 357/2005.



Com relação aos parâmetros físico-químicos, a salinidade variou entre 0,04 e 9,94 (Tabela 73), com os menores valores sendo registrados nas lagoas Areão (E23) e Areal (E24) e os maiores nas duas estações da lagoa Monsarás (Figura 52). Foram registradas diferenças significativas entre a lagoa Areão a lagoa Monsarás, entre a lagoa Areal e a estação 25 da lagoa Monsarás, assim como entre as duas estações 25 e 25 a da lagoa Monsarás (Figura 54).

A concentração de oxigênio dissolvido variou entre 0,02 e 11,09 mg/L (Tabela 73), com os menores e maiores valores sendo registrados na estação 25a da lagoa Monsarás (Figura 52), mas sem diferenças significativas entre as lagoas.

Para o potencial Redox, que variou entre -297,00 e 280,20 mV (Tabela 73), condições totalmente oxidantes foram registradas nas lagoas Areão, Areal e na estação E25 da lagoa Monsarás. Na estação E25a da lagoa Monsarás foram registradas condições redutoras nas maiores profundidades. Os valores registrados na lagoa Areal foram significativamente maiores que os registrados na estação 25a da lagoa Monsarás (Figura 52, Figura 54).

Com relação ao pH, que variou entre 6,27 e 8,05 (Tabela 73), os menores valores foram registrados na estação 25a da lagoa Monsarás e os maiores na estação 25 da lagoa Monsarás (Figura 53). Foram registradas diferenças significativas do pH entre as duas estações da lagoa Monsarás (Figura 55). Para a condutividade elétrica, que variou entre 90,15 e 16939,05  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 73), os menores valores foram registrados nas lagoas Areão (E23) e Areal (E24) e os maiores na lagoa Monsarás, principalmente na estação 25 (Figura 53). Foram registradas diferenças significativas dos valores registrados na lagoa Areão para as duas estações da lagoa Monsarás e entre a lagoa Areal com a estação 25 da lagoa Monsarás (Figura 55).

Tabela 73: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos mensurados no sistema lacustre raso, entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Salinidade</b> | <b>OD<br/>(mg/L)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(<math>\mu</math>S/cm)</b> | <b>Potencial Redox<br/>(mV)</b> |
|--------------------------|-------------------|----------------------|-----------|--|---------------------------------|
| <b>N amostral</b>        | 254               | 222                  | 222       | 254  | 221                             |
| <b>Média</b>             | 1,39              | 6,13                 | 7,34      | 2522,62  | 119,92                          |
| <b>Mediana</b>           | 0,18              | 7,31                 | 7,38      | 417,19   | 163,00                          |
| <b>Mínima</b>            | 0,04              | 0,02                 | 6,27      | 90,15  | -297,00                         |
| <b>Máxima</b>            | 9,94              | 11,09                | 8,05      | 16939,05   | 280,20                          |
| <b>Desvio padrão</b>     | 2,46              | 3,14                 | 0,42      | 4271,70  | 144,29                          |
| <b>Coef. de variação</b> | 176,74            | 51,22                | 5,77      | 169,34   | 120,32                          |

Figura 52: Variação mensal de parâmetros físico-químicos salinidade (A), oxigênio dissolvido (B), pH (C), condutividade elétrica (D) e potencial redox (E), mensurados no sistema lacustre raso (costeiro), entre 10/2018 e 09/2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.

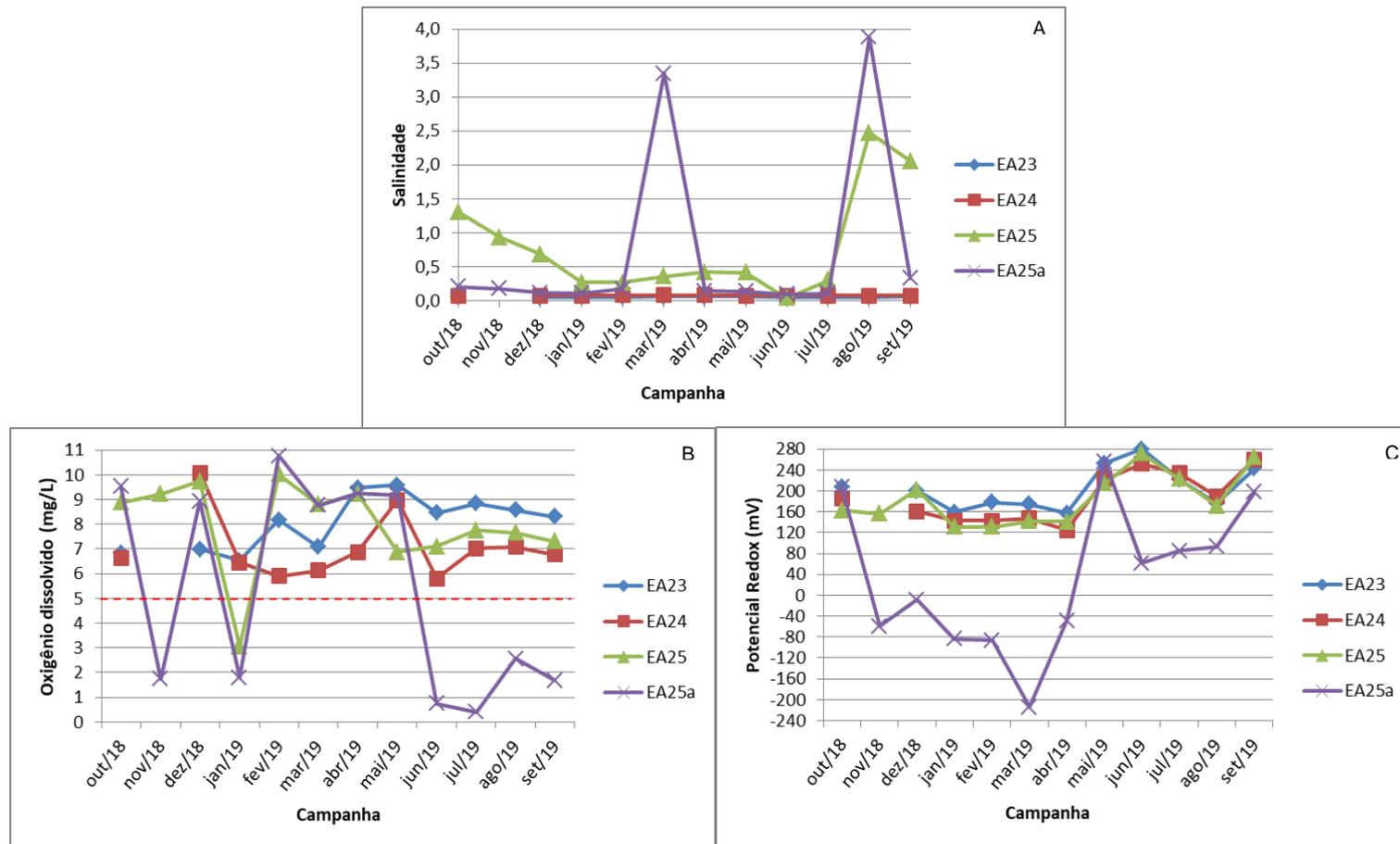


Figura 53: Variação mensal de parâmetros físico-químicos pH (A) e condutividade elétrica (B), mensurados no sistema lacustre raso (costeiro), entre outubro de 2018 e setembro de 2019. 10/2018 e 09/2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.

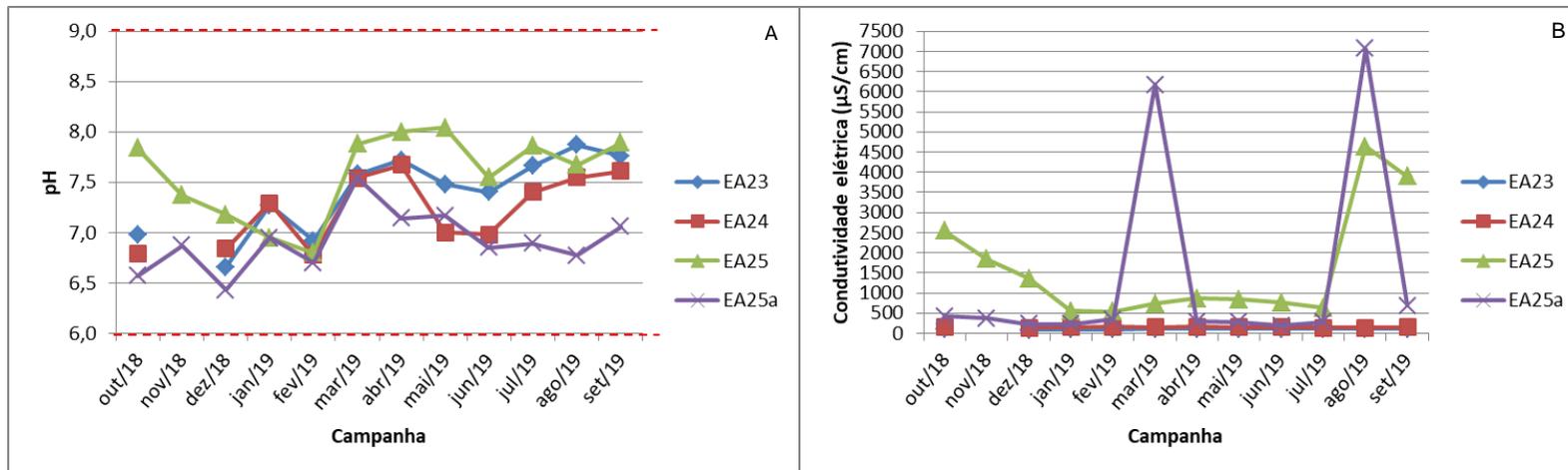


Figura 54: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros físico-químicos salinidade (A), pH (B) condutividade elétrica (C) e potencial Redox (D). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

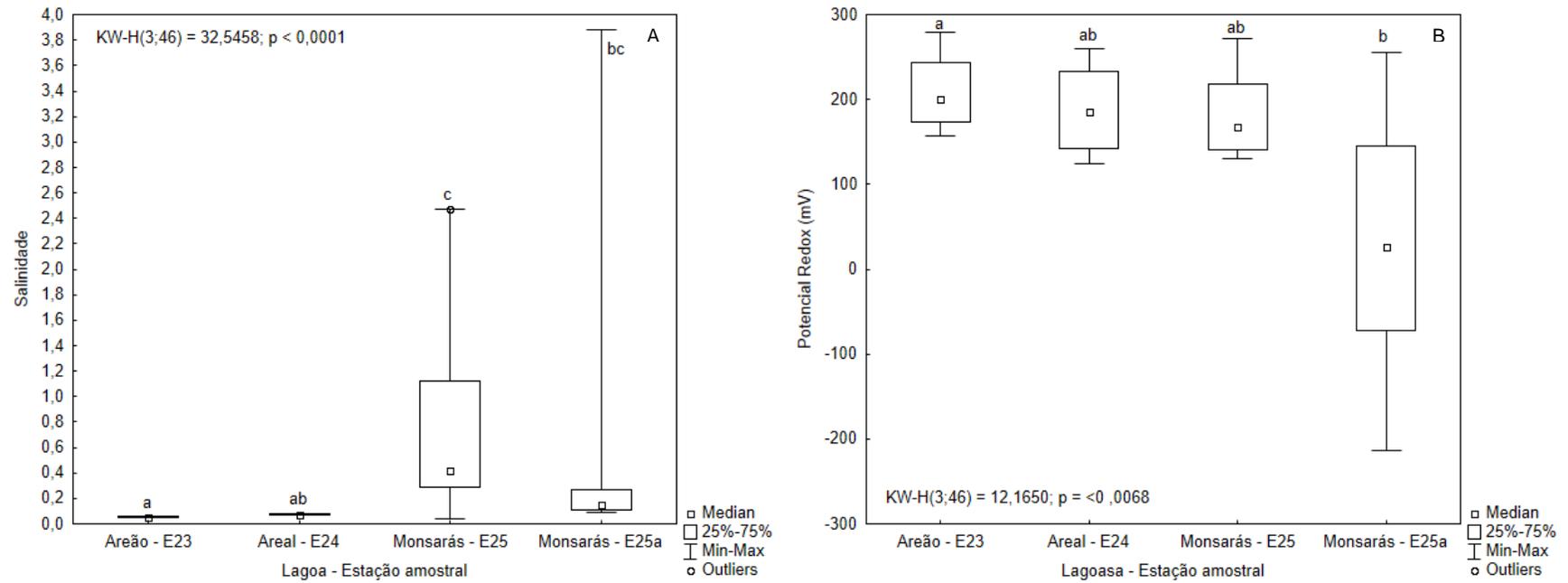
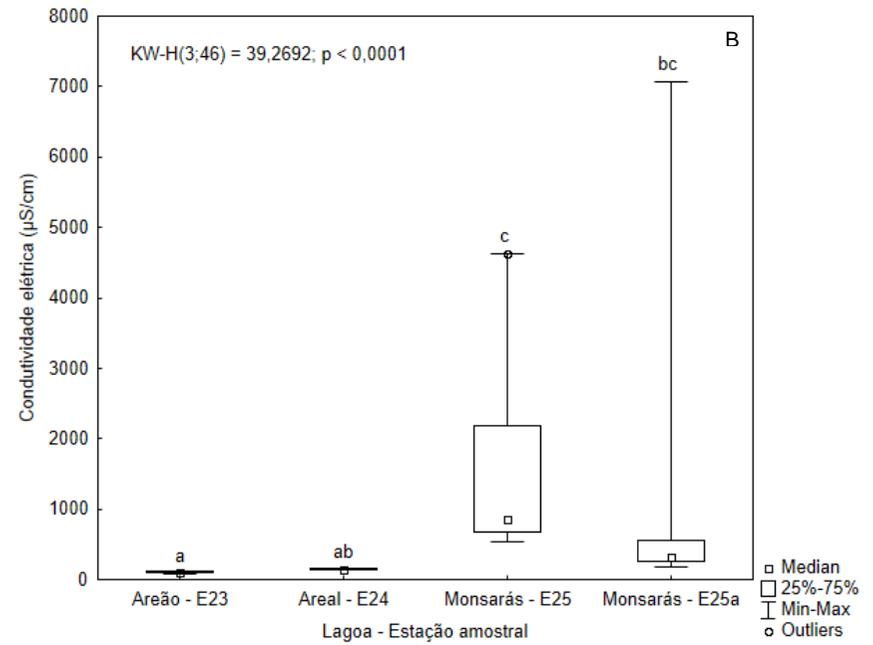
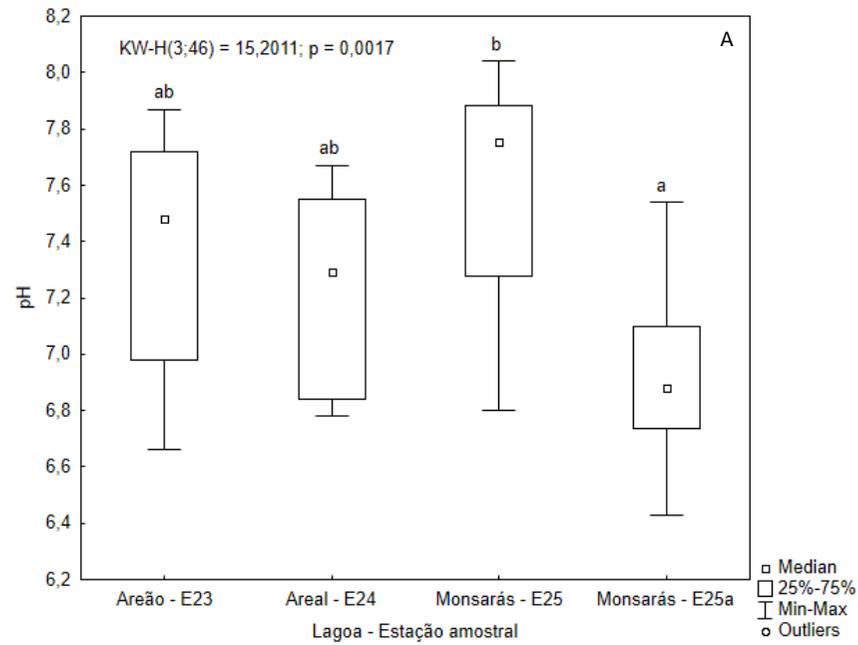


Figura 55: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros físico-químicos pH (A) e condutividade elétrica (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. (



Com relação aos parâmetros hidroquímicos, a alcalinidade total variou entre 9,00 e 75,60 mgCaCO<sub>3</sub>/L (Tabela 74), com os valores sendo significativamente menores nas lagoas Areão (E23) e Areal (E24) que na lagoa Monsarás (Figura 56, Figura 60). Com relação ao carbono orgânico total, as concentrações variaram entre 5,66 e 26,74 mg/L (Tabela 74), com os menores valores sendo registrados nas lagoas Areão e Areal e os maiores na lagoa Monsarás, principalmente na estação E25 (Figura 56), sem diferenças significativas entre as estações amostrais.

Com relação ao fósforo total, as concentrações variaram entre 110,37 e 649,63 µg/L (Tabela 74, Figura 57), valores esses acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (100,00 µg/L), com os menores valores sendo registrados na lagoa Areão e os maiores na lagoa Monsarás. Foram registradas diferenças significativas somente entre a lagoa Areão e as duas estações da lagoa Monsarás (Figura 60). Para o fosfato, as concentrações variaram entre 30,00 e 174,48 µg/L (Tabela 74, Figura 57), com os menores valores sendo registrados nas duas estações da lagoa Monsarás e os maiores na lagoa Areal, mas sem diferenças significativas entre as estações.

Com relação ao silicato, as concentrações variaram entre 0,11 e 3,99 mg/L (Tabela 74), com os menores valores sendo registrados na lagoa Areão e os maiores nas duas estações da lagoa Monsarás (Figura 57), com diferenças significativas entre essas estações (Figura 61).

Com relação à série nitrogenada (Tabela 75, Figura 58), a concentração de nitrogênio total variou entre 520,80 e 8749,44 µg/L; os menores valores foram registrados na lagoa do Areão e os maiores nas duas estações da lagoa Monsarás, com diferenças significativas entre essas lagoas (Figura 62). As concentrações de nitrato variaram entre 24,80 e 443,92 µg/L, com as menores concentrações sendo registradas na lagoa Areão e as maiores na estação E25 da lagoa Monsarás e na lagoa Areal, com diferenças significativas entre a lagoa Areão e a lagoa do Areal, e a estação 25 da lagoa Monsarás (Figura 62). As concentrações de nitrito variaram entre 0,92 e 85,33 µg/L, com os menores valores sendo registrados na lagoa Areão e os maiores na estação 25 da lagoa Monsarás, com diferenças significativas entre essas estações (Figura 63). As concentrações de amônio variaram entre 23,58 e 1094,76 µg/L, com as menores concentrações sendo registradas na lagoa Areão e as maiores na estação 25a da lagoa Monsarás, com diferenças significativas entre essas estações (Figura 63).

As razões N:P e NID:PID,  $7,28 \pm 5,84$  e  $6,62 \pm 7,81$ , respectivamente, são muito baixas o que indica condições eutróficas e limitação por nitrogênio (Downing & McCauley, 1992), o que pode favorecer o desenvolvimento de cianobactérias fixadoras de nitrogênio nos ecossistemas lacustres, sobretudo os mais profundos e sujeitos a estratificação térmica (Paerl, 1996; Marinho & Huszar, 2002).

Com relação à clorofila *a*, as concentrações variaram entre 0,54 e 6,41 µg/L (Tabela 75), com os menores valores sendo registrados na lagoa Areão e os maiores na estação 25a da lagoa Monsarás e na lagoa Areal, com diferenças significativas entre essas lagoas (Figura 64). As concentrações relativamente baixas de clorofila *a*, não indicam condições necessariamente oligotróficas, uma vez que a comunidade fitoplânctônica pode apresentar dominância de cianobactérias, cujo principal pigmento fotossintetizante é ficocianina.

Tabela 74: Estatística descritiva para parâmetros químicos, mensurados no sistema lacustre raso, entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Alcalinidade total<br/>(mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b> | <b>Carbono org. total<br/>(mg/L)</b> | <b>Fósforo total<br/>(µg/L)</b> | <b>Fosfato<br/>(µg/L)</b> | <b>Silicato *<br/>(mg/L)</b> |
|------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 46   | 46                                   | 46                              | 46                        | 46                           |
| <b>Média</b>                 | 40,28  | 13,78                                | 213,66                          | 66,11                     | 1,90                         |
| <b>Mediana</b>               | 43,00  | 12,52                                | 194,54                          | 62,08                     | 1,65                         |
| <b>Mínima</b>                | 9,00   | 5,66                                 | 110,37                          | 30,00                     | 0,11                         |
| <b>Máxima</b>                | 75,60  | 26,74                                | 649,63                          | 174,58                    | 3,99                         |
| <b>Desvio padrão</b>         | 19,86  | 5,49                                 | 81,69                           | 29,25                     | 1,11                         |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 49,30  | 39,85                                | 38,24                           | 44,25                     | 58,71                        |

Tabela 75: Estatística descritiva para parâmetros químicos (série nitrogenada) e clorofila a, mensurados no sistema lacustre raso, entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>           | <b>Nitrogênio total<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrato<br/>(µg/L)</b> | <b>Nitrito<br/>(µg/L)</b> | <b>Amônio<br/>(µg/L)</b> | <b>Clorofila a<br/>(µg/L)</b> |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>N amostral</b>            | 35                                 | 38                        | 46                        | 46                       | 46                            |
| <b>Média</b>                 | 2610,51                            | 172,07                    | 12,63                     | 197,76                   | 2,28                          |
| <b>Mediana</b>               | 2121,33                            | 117,03                    | 9,32                      | 131,09                   | 1,93                          |
| <b>Mínima</b>                | 520,80                             | 24,80                     | 0,92                      | 23,58                    | 0,54                          |
| <b>Máxima</b>                | 8749,44                            | 443,92                    | 85,33                     | 1094,76                  | 6,41                          |
| <b>Desvio padrão</b>         | 1828,94                            | 127,14                    | 15,59                     | 204,68                   | 1,40                          |
| <b>Coef. de variação (%)</b> | 70,06                              | 73,89                     | 123,50                    | 103,50                   | 61,28                         |

Figura 56: Variação mensal de parâmetros químicos alcalinidade total (A) e carbono orgânico total (B), mensurados no sistema lacustre costeiro, entre 10/2018 e 09/2019.

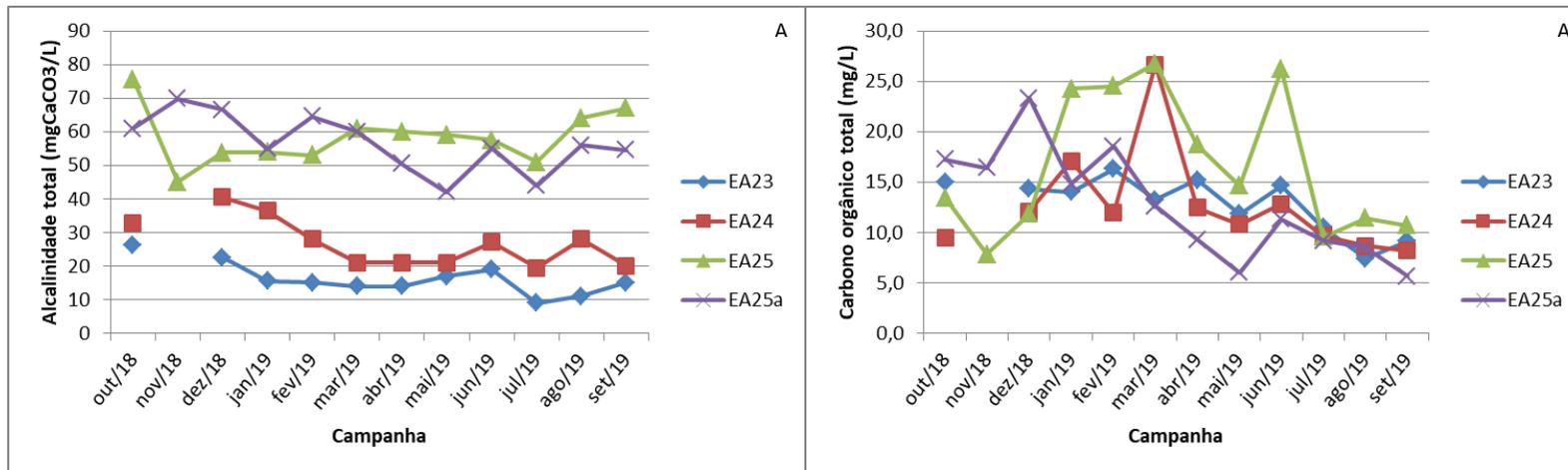


Figura 57: Variação mensal de parâmetros químicos fósforo total (A), fosfato (B) e silicato (C), mensurados no sistema lacustre costeiro, entre 10/2018 e 09/2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.

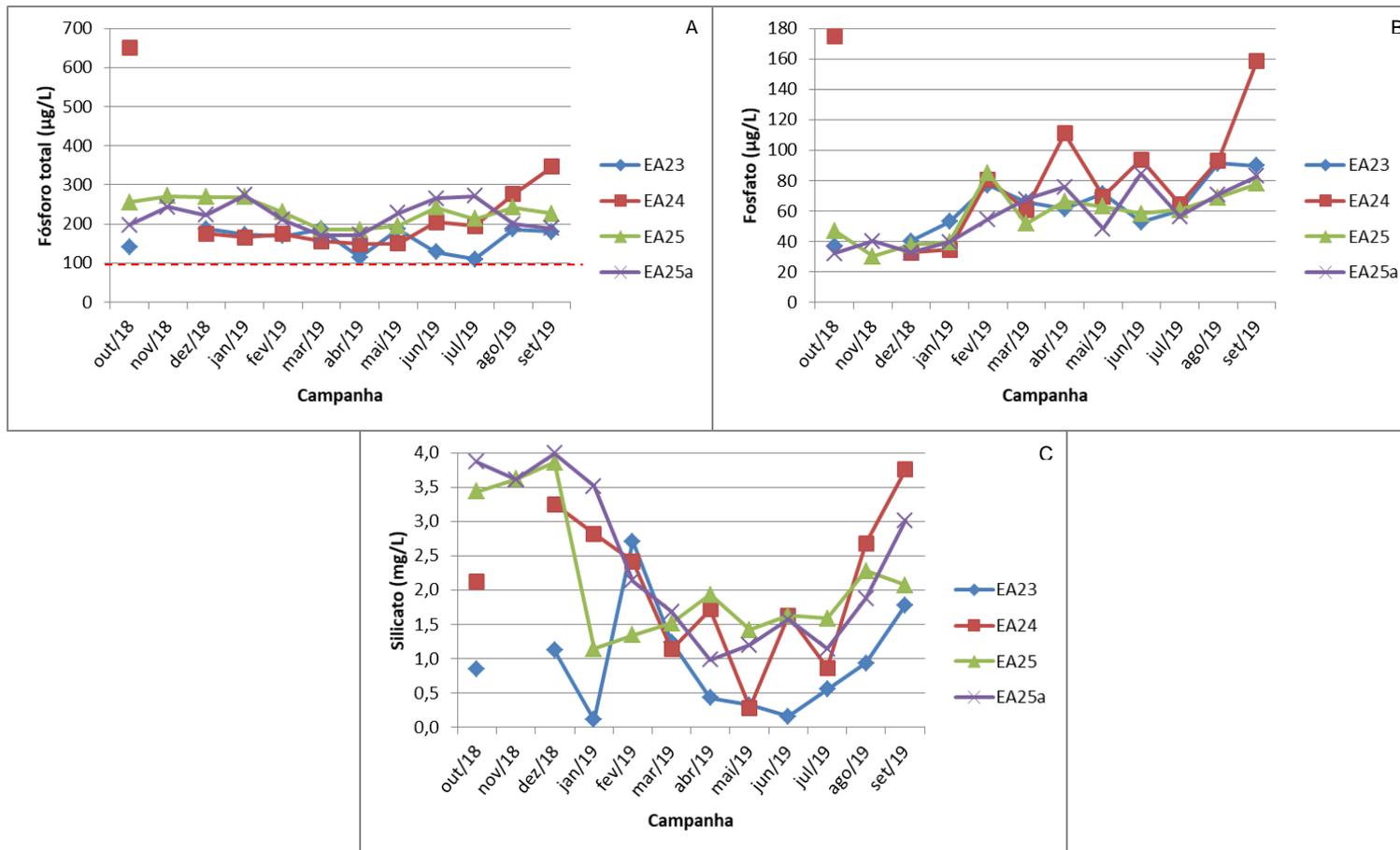


Figura 58: Variação mensal de parâmetros químicos nitrogênio total (A), nitrato (B), nitrito (C) e amônio (D), mensurados no sistema lacustre costeiro, entre 10/2018 e 09/2019.

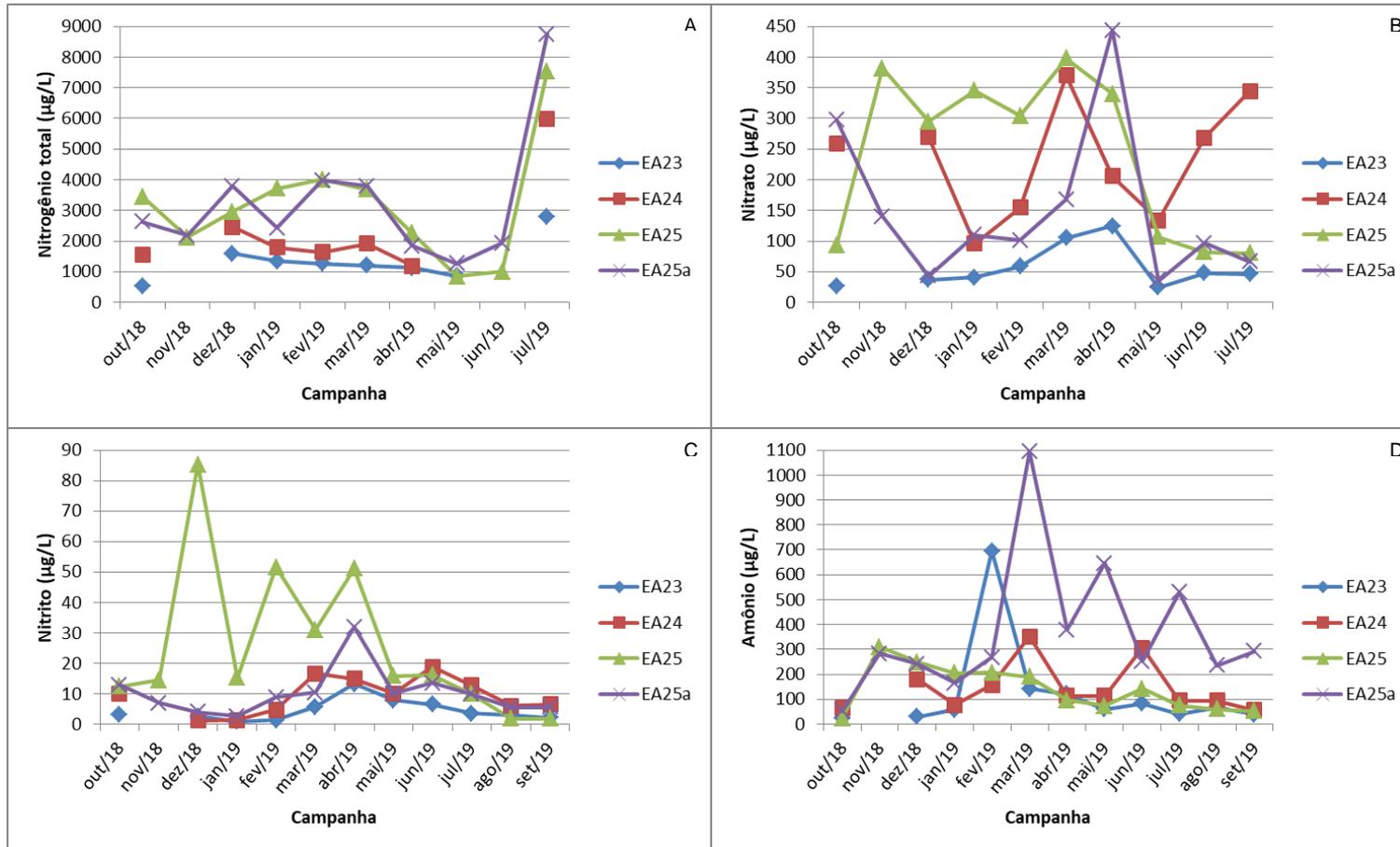


Figura 59: Variação mensal da clorofila a, mensurada no sistema lacustre costeiro, entre 10/2018 e 09/2019.

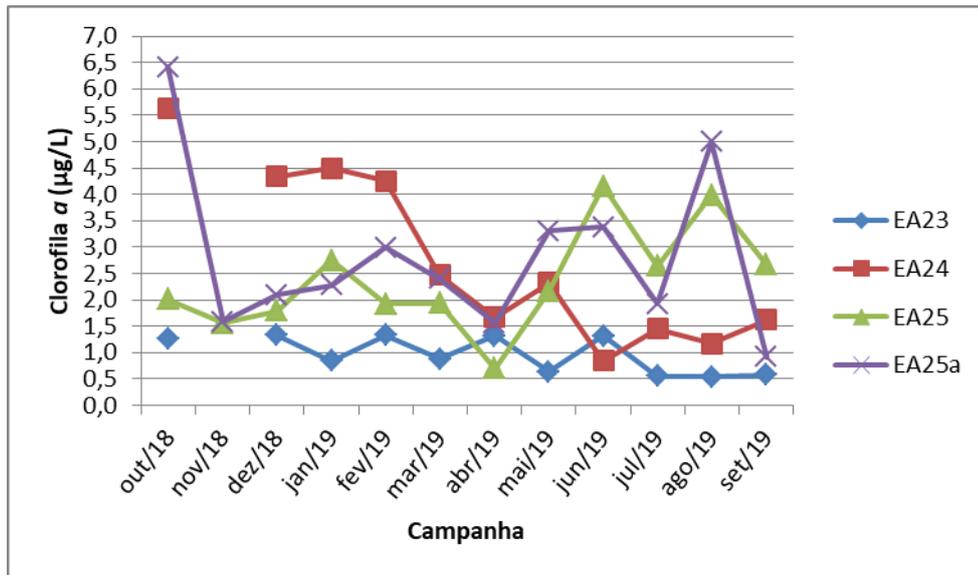


Figura 60: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros químicos alcalinidade total (A) e fósforo total (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes. Para o fósforo total, o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAM 357/2005 é de 30,00 µg/L, com a linha de referência não sendo representada no gráfico B.

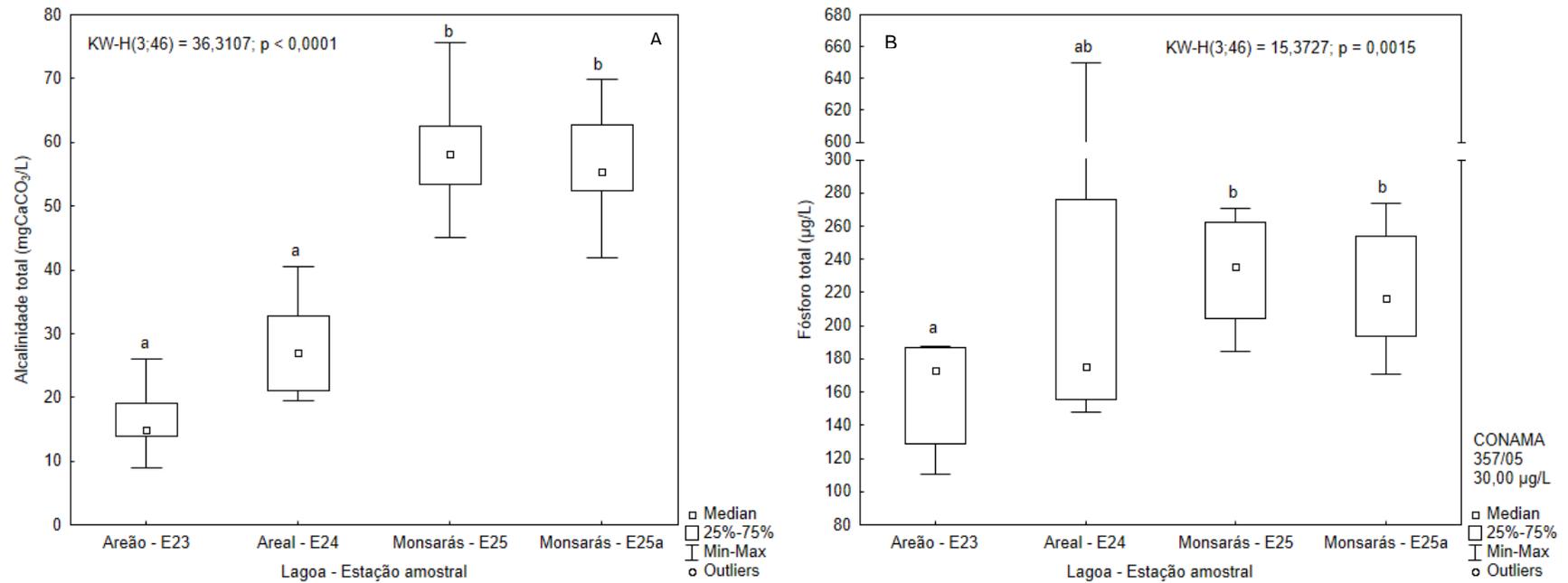


Figura 61: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para o parâmetro químico silicato. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

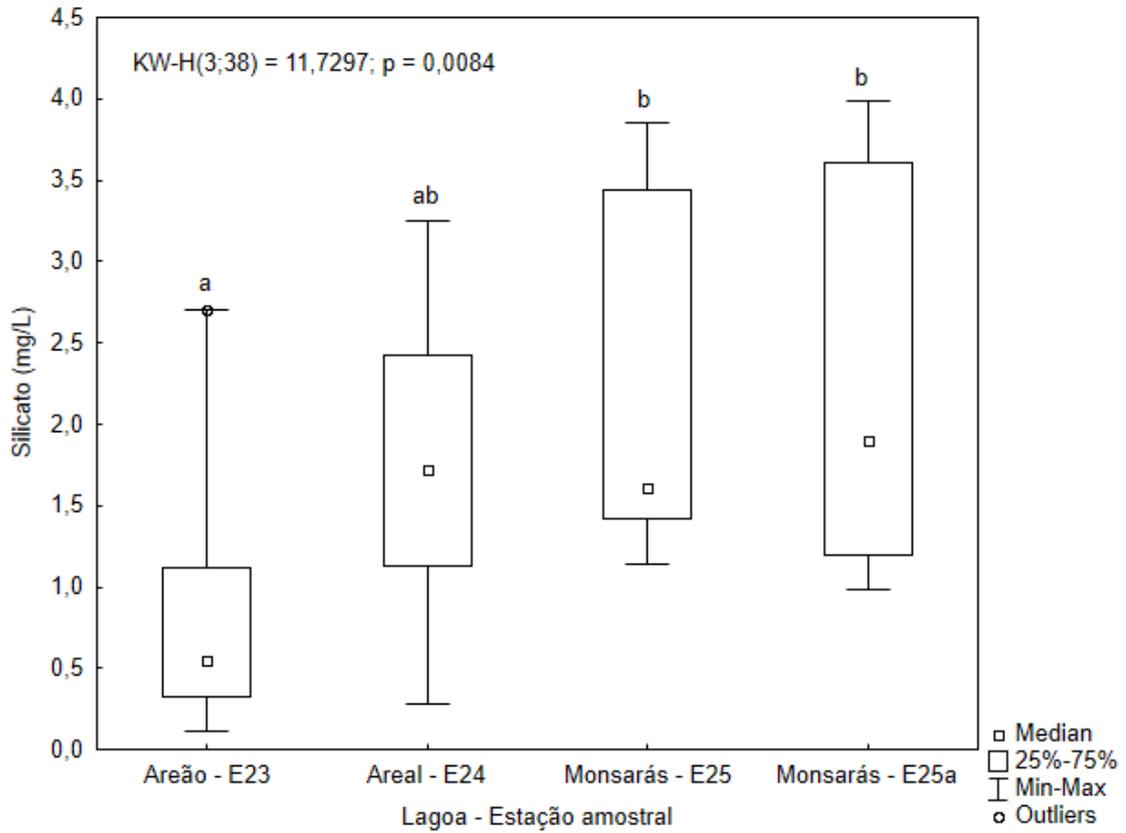


Figura 62: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros químicos nitrogênio total (A) e nitrato (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

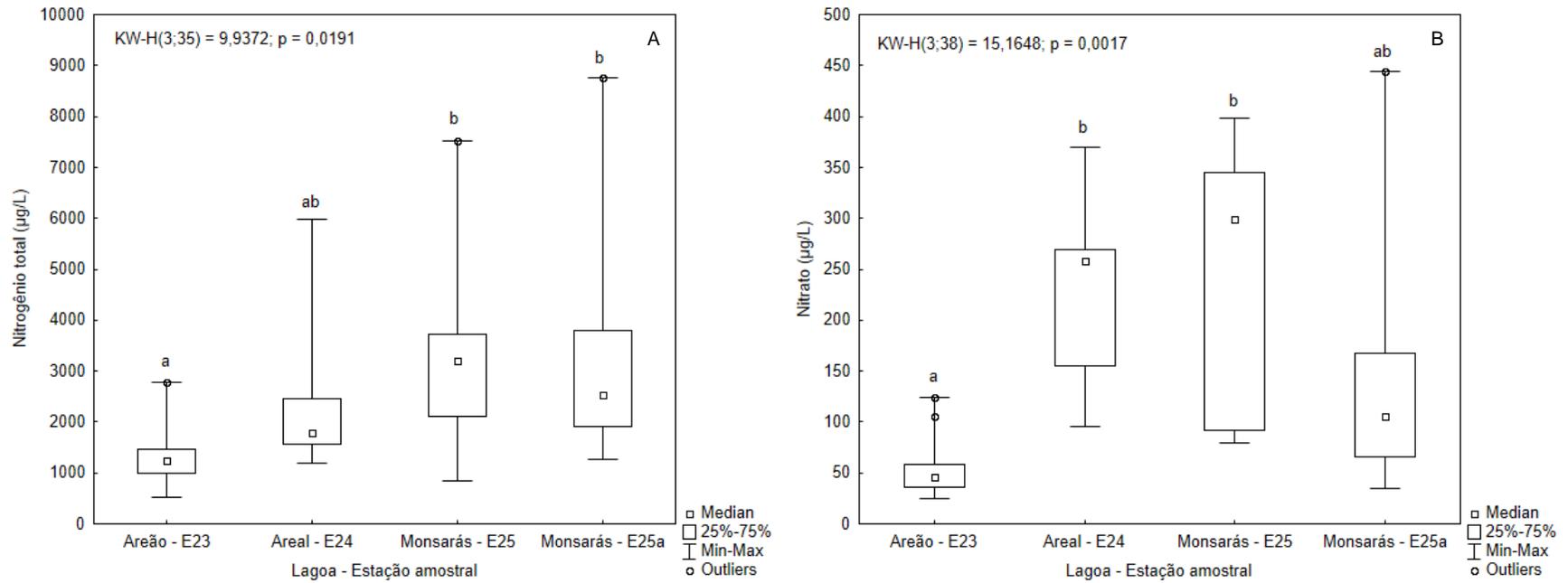


Figura 63: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros químicos nitrito (A) e amônio (B). Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

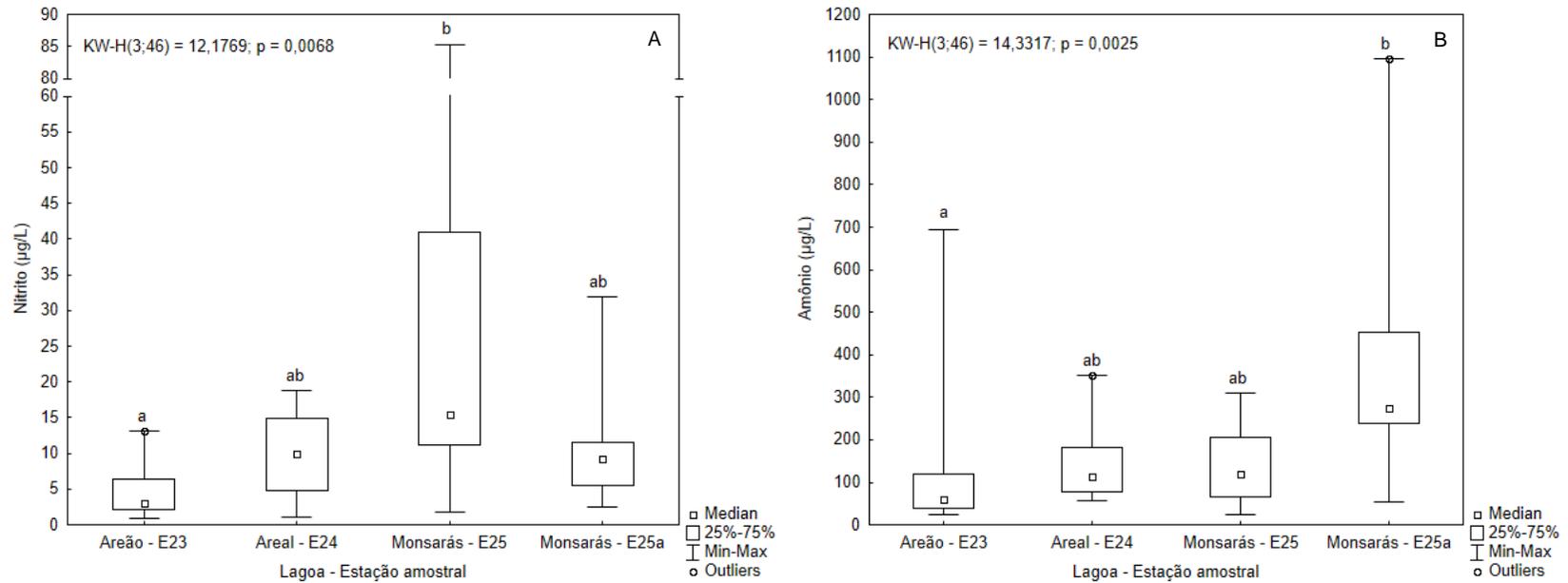
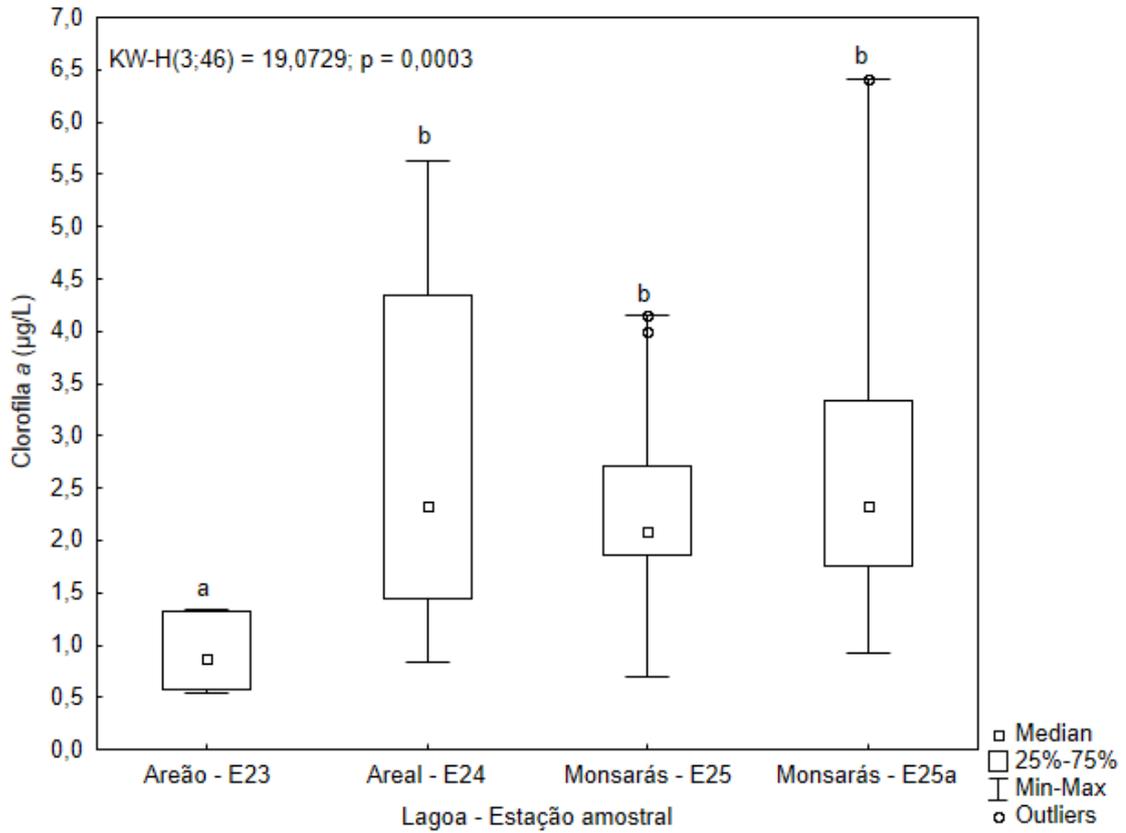


Figura 64: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para a concentração de clorofila *a*. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



### 3.3.5 Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos do sedimento

#### E23 – Lagoa do Areão

Na lagoa do Areão a densidade do sedimento variou entre 1839,00 kg/m<sup>3</sup>, em outubro de 2018, e 2824,40 kg/m<sup>3</sup>, em junho de 2019 (Tabela 76). O pH do sedimento variou entre 6,30, em junho de 2019, e 7,60, em agosto de 2019 (Tabela 76). A condutividade elétrica do sedimento variou entre 230,00 µS/cm, em agosto de 2019, e 350,00 µS/cm, em abril de 2019 (Tabela 76). A matéria orgânica no sedimento variou entre 0,52%, em julho de 2019, e 32,23%, em novembro de 2018 (Tabela 76), com baixos valores também sendo registrados nos meses de junho e agosto de 2019. A concentração de fosfato na água intersticial variou entre 106,18 µg/L, em julho de 2019, e 2963,16 µg/L, em maio de 2019 (Tabela 76).

#### E24 – Lagoa do Areal

Na lagoa do Areal a densidade do sedimento variou entre 1486,40 kg/m<sup>3</sup>, em outubro de 2018, e 2483,13 kg/m<sup>3</sup>, em fevereiro de 2019 (Tabela 77). O pH do sedimento variou entre 6,20, em abril de 2019, e 7,70, em agosto de 2019 (Tabela 77). A condutividade elétrica do sedimento variou entre 260,00 µS/cm, em fevereiro e em junho de 2019, e 430,00 µS/cm, em abril de 2019 (Tabela 77). A matéria orgânica no sedimento variou entre 22,75%, em junho de 2019, e 50,80%, em novembro de 2018 (Tabela 77), com baixos valores também sendo registrados nos meses de julho e agosto de 2019. A concentração de fosfato na água intersticial variou entre 142,50 µg/L, em janeiro de 2019, e 9592,21 µg/L, em julho de 2019 (Tabela 77).

#### E25 – Lagoa Monsarás

Na estação 25 da lagoa Monsarás a densidade do sedimento variou entre 1940,53 kg/m<sup>3</sup>, em outubro de 2018, e 2953,73 kg/m<sup>3</sup>, em agosto de 2019 (Tabela 78). O pH do sedimento variou entre 5,90, em junho de 2019, e 7,50, em fevereiro de 2019 (Tabela 78). A condutividade elétrica do sedimento variou entre 300,00 µS/cm, em julho de 2019, e 3260,00 µS/cm, em agosto de 2019 (Tabela 78). A matéria orgânica no sedimento variou entre 0,31%, em janeiro de 2019, e 17,41%, em julho de 2019 (Tabela 78). A concentração de fosfato na água intersticial variou entre 54,49 µg/L, em outubro de 2018, e 2253,46 µg/L, em março de 2019 (Tabela 78).

#### E25a – Lagoa Monsarás

Na estação 25a da lagoa Monsarás a densidade do sedimento variou entre 1528,80 kg/m<sup>3</sup>, em junho de 2019, e 2967,40 kg/m<sup>3</sup>, em março de 2019 (Tabela 79). O pH do sedimento variou entre 6,00, em julho de 2019, e 7,80, em março de 2019 (Tabela 79). A condutividade elétrica do sedimento esteve, em todos os meses, acima de 4000,00 µS/cm (Tabela 79). A matéria orgânica no sedimento variou entre 5,17%, em abril de 2019, e 63,86%, em novembro de 2018, com baixos valores também sendo registrados nos meses de junho e agosto de 2019 (Tabela 79). A concentração de fosfato na água intersticial variou entre 26,54 µg/L, em março de 2019, e 1884,63 µg/L, em junho de 2019 (Tabela 79).

Tabela 76: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa do Areão (E23), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(μS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(μg/L)</b> |
|--------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 11                                      | 8         | 8   | 11                              | 11   |
| <b>Média</b>             | 2258,60                                 | 7,03      | 288,75                                    | 13,04                           | 863,66   |
| <b>Mediana</b>           | 2238,53                                 | 7,00      | 285,00                                    | 9,63                            | 678,97   |
| <b>Mínima</b>            | 1839,00                                 | 6,30      | 230,00                                    | 7,99                            | 106,18   |
| <b>Máxima</b>            | 2824,40                                 | 7,60      | 350,00                                    | 32,23                           | 2963,16  |
| <b>Desvio padrão</b>     | 248,93                                  | 0,50      | 41,21                                     | 7,51                            | 833,77   |
| <b>Coef. de variação</b> | 11,02                                   | 7,09      | 14,27                                     | 57,64                           | 96,54  |

Tabela 77: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa do Areal (E24), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(μS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(μg/L)</b> |
|--------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 11                                      | 8         | 8   | 11                              | 11   |
| <b>Média</b>             | 2100,91                                 | 7,03      | 301,25                                    | 29,63                           | 1302,82  |
| <b>Mediana</b>           | 2112,13                                 | 7,10      | 280,00                                    | 25,04                           | 353,46   |
| <b>Mínima</b>            | 1486,40                                 | 6,20      | 260,00                                    | 22,75                           | 142,50   |
| <b>Máxima</b>            | 2483,13                                 | 7,70      | 430,00                                    | 50,80                           | 9592,21  |
| <b>Desvio padrão</b>     | 310,60                                  | 0,43      | 56,43                                     | 9,42                            | 2782,02  |
| <b>Coef. de variação</b> | 14,78                                   | 6,12      | 18,73                                     | 31,78                           | 213,54   |

Tabela 78: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa Monsarás (E25), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH *</b> | <b>Condutividade elétrica *<br/>(µS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(µg/L)</b> |
|--------------------------|---|-------------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 12                                      | 8           | 8   | 12                              | 12   |
| <b>Média</b>             | 2733,73                                 | 6,86        | 941,25                                      | 2,36                            | 370,99   |
| <b>Mediana</b>           | 2825,50                                 | 6,90        | 415,00                                      | 0,88                            | 134,34   |
| <b>Mínima</b>            | 1940,53                                 | 5,90        | 300,00                                      | 0,31                            | 54,49  |
| <b>Máxima</b>            | 2953,73                                 | 7,50        | 3260,00                                     | 17,41                           | 2253,46  |
| <b>Desvio padrão</b>     | 277,48                                  | 0,52        | 1077,50                                     | 4,76                            | 615,42   |
| <b>Coef. de variação</b> | 10,15                                   | 7,59        | 114,48                                      | 201,90                          | 165,89   |

Tabela 79: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento da lagoa Monsarás (E25a), entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>Estatística</b>       | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH *</b> | <b>Condutividade elétrica *<br/>(µS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(µg/L)</b> |
|--------------------------|---|-------------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 12                                      | 8           | 8   | 12                              | 12   |
| <b>Média</b>             | 2149,99                                 | 6,70        |   | 18,20                           | 502,56   |
| <b>Mediana</b>           | 2033,30                                 | 6,60        |   | 15,60                           | 291,79   |
| <b>Mínima</b>            | 1525,80                                 | 6,00        |   | 5,17                            | 26,54  |
| <b>Máxima</b>            | 2967,40                                 | 7,80        | > 4000                                      | 63,86                           | 1884,63  |
| <b>Desvio padrão</b>     | 403,70                                  | 0,63        |   | 14,95                           | 554,22   |
| <b>Coef. de variação</b> | 18,78                                   | 9,34        |   | 82,16                           | 110,28   |

### 3.3.6 Integração para o sedimento do sistema lacustre raso (costeiro): Lagoa do Areão (E23), Lagoa do Areal (E24) e Lagoa Monsarás (E25 e E25a)

Quando os resultados dos parâmetros, obtidos para o sedimento, são analisados de forma integrada, a densidade do sedimento variou entre 1.486,40 e 2.967,40 Kg/m<sup>3</sup> (Tabela 80), com os menores valores sendo registrados para a lagoa Areal (E24) e os maiores na estação 25 da lagoa Monsarás, sendo as diferenças entre essas duas estações estatisticamente significativas (Figura 65).

Com relação ao pH do sedimento, que variou entre 5,90 e 7,80 (Tabela 80), houve grande variação nos valores dentro de cada estação amostral (Figura 66), não sendo registradas diferenças significativas entre essas estações. Já para a condutividade elétrica, que variou entre 230,00 e 3260,00 µS/cm (Tabela 80), os menores valores foram registrados na lagoa Areão (E23) e Areal (E24), com diferenças significativas para a estação E25a da lagoa Monsarás, que apresentou os maiores valores (Figura 66, Figura 67).

A matéria orgânica no sedimento variou entre 0,31 e 63,86% (Tabela 80), com os menores valores sendo registrados na estação 25 da lagoa Monsarás e os maiores na lagoa Areão, sendo as diferenças entre esses valores estatisticamente significativos (Figura 66, Figura 67).

Para a concentração de fosfato na água intersticial, que variou entre 26,54 e 9592,21 µg/L (Tabela 80), os menores valores foram registrados na estação 25 da lagoa Monsarás e os maiores na lagoa Areão, além de ser registrado um pico de concentração na lagoa Areal, em agosto de 2019, mas as diferenças entre as estações não foram significativa (Figura 66).

As lagoas Areal, Areão e Minsarás são ecossistemas costeiros rasos e suscetíveis a turbulência do vento na coluna d'água, o que promove a desestratificação térmica da coluna. O formato mais arredondado com índice de desenvolvimento de margem (IDM) de 1,81 e 2,31 para as lagoas Areão e Areal, respectivamente, favorecem a incidência do evento. Por outro lado, a lagoa Monsarás apresenta elevado IDM (13,43) devido ao formato irregular dos canais e embaiamentos associados.

Tabela 80: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, mensurados no sedimento do sistema lacustre raso, entre 10/2018 e 09/2019.

| <b>.Estatística</b>      | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade elétrica<br/>(μS/cm)</b> | <b>Matéria orgânica<br/>(%)</b> | <b>Fosfato na água intersticial<br/>(μg/L)</b> |
|--------------------------|---|-----------|---|---------------------------------|--|
| <b>N amostral</b>        | 46                                      | 32        | 24  | 46                              | 46   |
| <b>Média</b>             | 2316,51                                 | 6,90      | 510,42                                    | 15,57                           | 745,95   |
| <b>Mediana</b>           | 2257,67                                 | 6,90      | 305,00                                    | 14,16                           | 344,71   |
| <b>Mínima</b>            | 1486,40                                 | 5,90      | 230,00                                    | 0,31                            | 26,54  |
| <b>Máxima</b>            | 2967,40                                 | 7,80      | 3260,00                                   | 63,86                           | 9592,21  |
| <b>Desvio padrão</b>     | 399,83                                  | 0,52      | 672,09                                    | 13,81                           | 1474,63  |
| <b>Coef. de variação</b> | 17,26                                   | 7,47      | 131,68                                    | 88,72                           | 197,68   |

Figura 65: A) Variação mensal da densidade do sedimento do sistema lacustre costeiro, entre 10/2018 e 09/2019; B) Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para a densidade do sedimento. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.

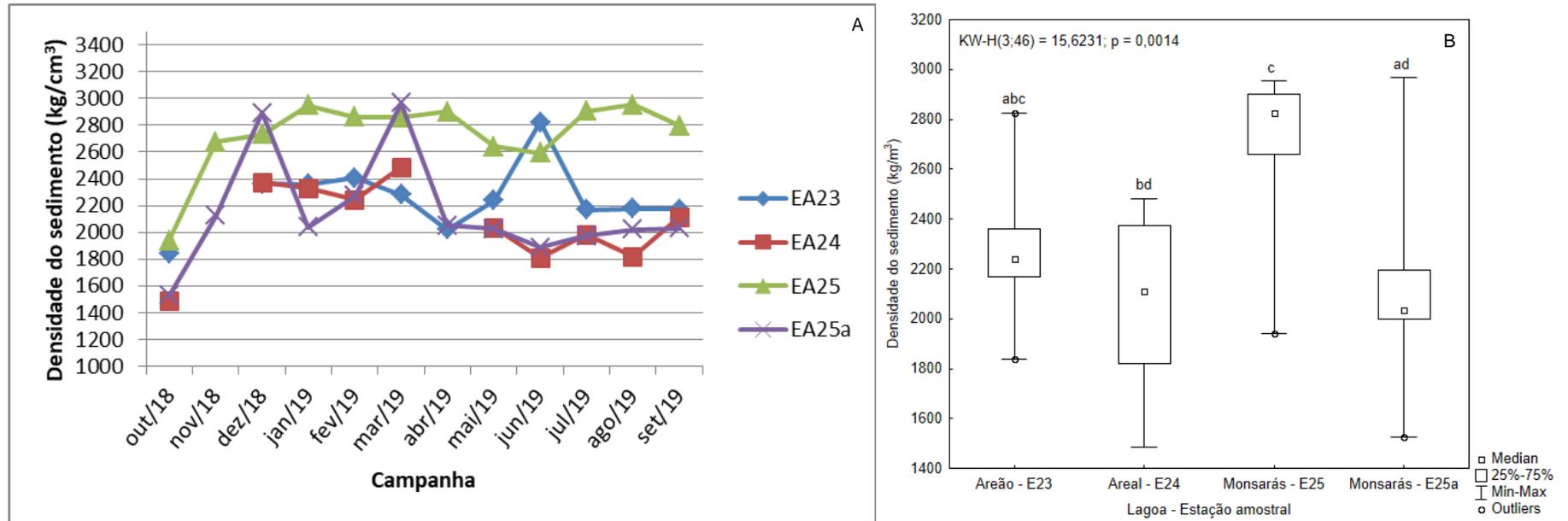


Figura 66: Variação mensal dos parâmetros pH (A) e condutividade elétrica (B), matéria orgânica (C) e fosfato na água intersticial (D), mensurados no sedimento do sistema lacustre raso (costeiro), entre 10/2018 e 09/2019.

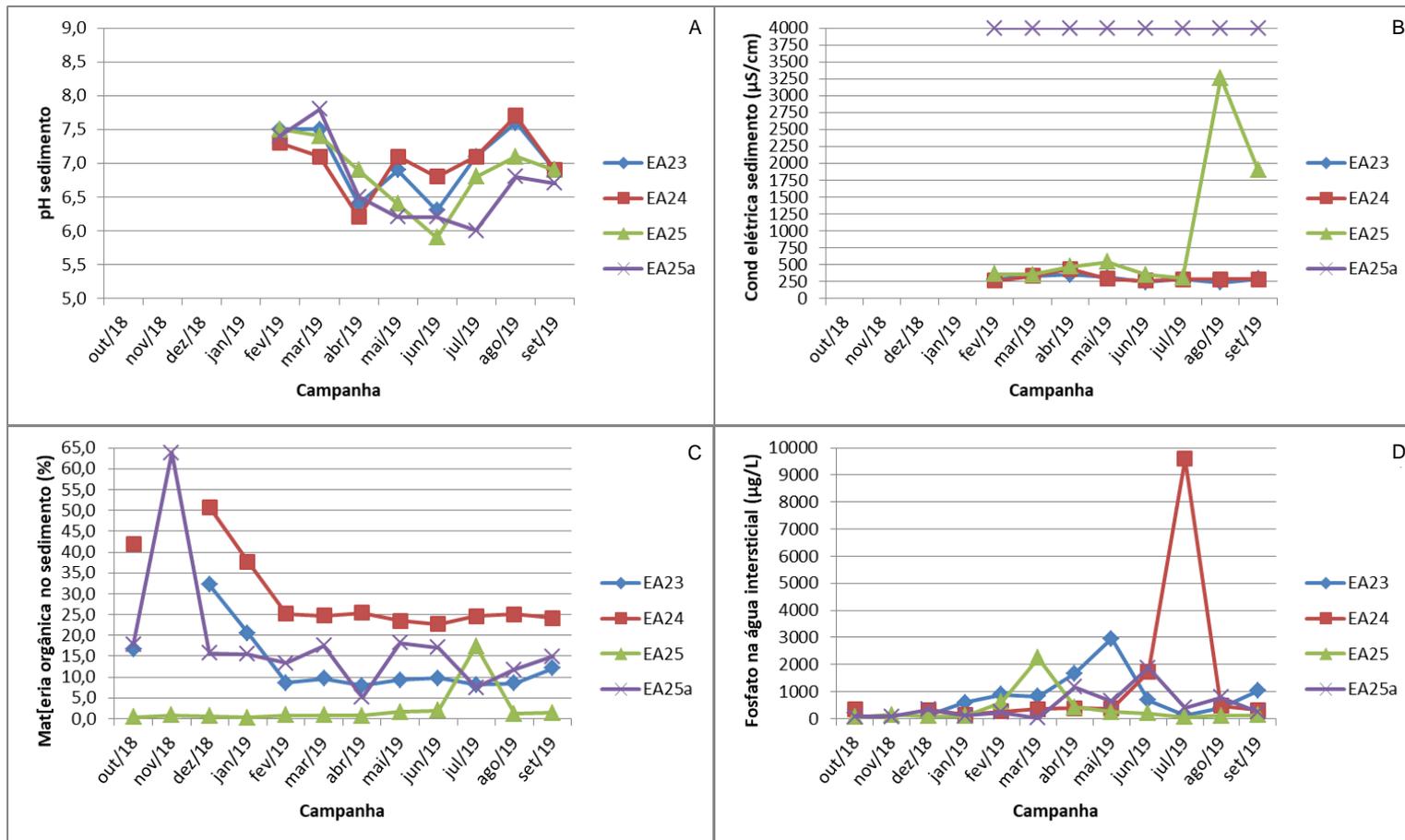
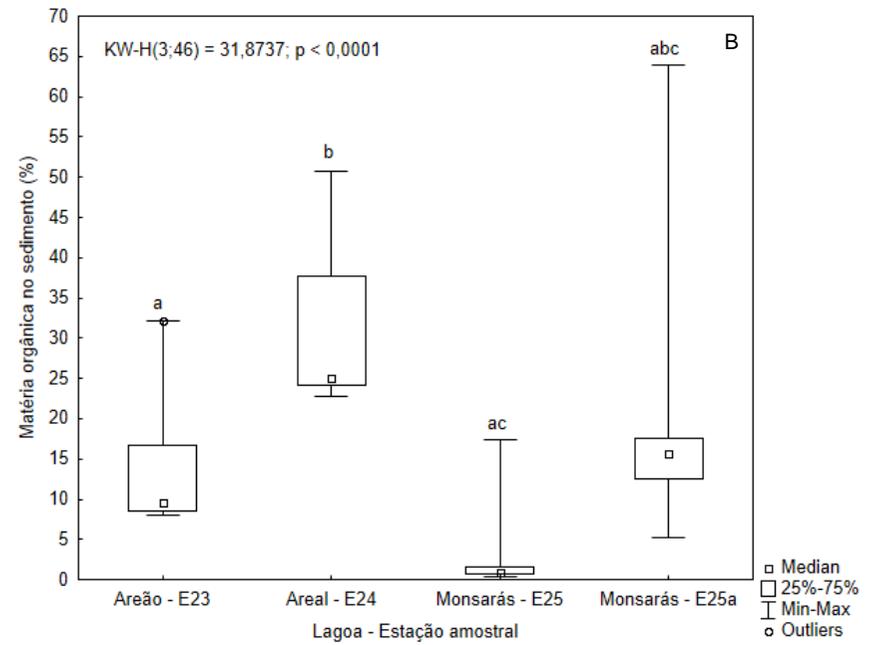
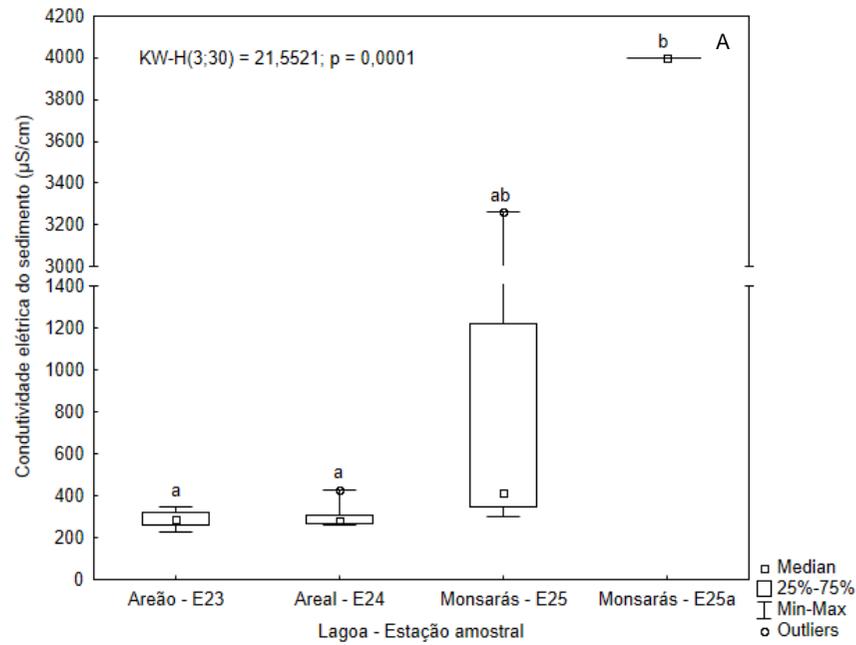


Figura 67: Box-plots para diferenças entre as lagoas do Areão (E23), do Areal (E24) e Monsarás (E25 e E25a), para os parâmetros do sedimento condutividade elétrica (A) e matéria orgânica (B).  
Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p são representadas por letras diferentes.



### 3.4 INDICADORES DE IMPACTO

No estado do Espírito Santo, são escassos os dados pretéritos sobre as características limnológicas do rio Doce, assim como das lagoas da sua bacia de drenagem. Devido a essa escassez, principalmente de dados referentes ao período anteriores à passagem da pluma de rejeitos de minério de ferro pelo rio Doce – período anterior ao ano de 2015 –, são poucos os parâmetros que possam efetivamente ser usados como indicadores de impacto, tanto no rio Doce quanto, principalmente, nas lagoas onde houve a intrusão dos rejeitos com o evento de cheia em janeiro de 2016 (lagoas do Limão, Nova, do Areão, do Areal e Monsarás).

Monitoramentos anteriores à passagem da pluma de rejeitos foram realizados pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), entre 2006 e 2015. Além disso, imediatamente após o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, foi realizado um monitoramento emergencial pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA), a partir do dia 09 de novembro de 2015 até agosto de 2016. Posteriormente ao monitoramento do IEMA, foram feitos monitoramentos pela SAMARCO, entre 2016 e 2017 e, a partir de agosto de 2017, pelo Programa de Monitoramento Quanti-Qualitativo Sistemático (PMQQS), monitoramento esse em desenvolvimento.

A partir dos parâmetros monitorados no período anterior ao rompimento da barragem de Fundão, incluindo os do período emergencial, logo após o rompimento, e os monitorados após o rompimento, foi possível avaliar as variações temporais dos parâmetros turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, pH e fósforo total na calha do rio Doce, considerando as Estações Amostrais de Itapina, Colatina (não monitorada pela PMBA), Linhares e Regência. Para cada parâmetro foi aplicado o teste estatístico Kruskal-Wallis para verificar a existência de diferenças entre cada ano amostral. A partir desses resultados foi possível identificar variações na magnitude dos parâmetros que refletissem a passagem da pluma de rejeito pela calha do Baixo Rio Doce, sendo assim considerados indicadores de impactos.

São apresentados a seguir os resultados para a análise temporal, considerando os períodos chuvosos dos anos de 2006 a 2019. Considerando que os maiores valores para esses parâmetros foram registrados no período chuvoso dos anos de 2015/2016, para esta análise foram considerados os períodos chuvosos de cada ano. Entre os anos de 2006 a 2008 só existem dados para os meses de chuva do fim do ano (novembro e dezembro), já para os anos subsequentes são considerados os meses de novembro de um ano a março do ano subsequente, quando esses dados estão disponíveis. Para 2015 ocorrem duas situações: 1) 2015, isolado, que considera somente o período de chuvas do início do ano (janeiro a março), pois não existem dados para os meses de chuva do final de 2014 e, 2) 2015/2016, a partir de 10 de novembro de 2015, até março de 2016, período chuvoso com o efeito da passagem da pluma de rejeitos.

Para o período chuvoso de 2015/2016 não foram considerados os valores da condutividade elétrica e das concentrações de MPS referentes à Regência, na foz do rio Doce, para evitar as influências das

entradas na pluma da maré no rio Doce, que pode provocar o aumento nos valores desses dois parâmetros, interferindo assim nas análises.

A partir das análises, fica evidenciado para todos os parâmetros o efeito da passagem da pluma de rejeitos sobre os valores, que ficaram significativamente maiores no período de chuvas de 2015/2016. Nos anos subsequentes os valores praticamente retornam às condições anteriores à passagem da pluma de rejeitos, exceto para a turbidez, que ainda apresenta valores significativamente elevados.

A turbidez da água no rio Doce, no período chuvoso de 2015/2016 variou de 1,19 a 6.690 UNT, com média de 1.006,97 UNT e um coeficiente de variação de 132,60% (Tabela 81, Figura 68), valores esses nunca antes registrados na porção capixaba do rio Doce e muito acima do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/05 (100 UNT). No período chuvoso de 2016/17 ainda podem ser evidenciados reflexos da passagem da pluma de rejeitos, pelos elevados valores de turbidez (máximo de 1.252,00 UNT), ainda acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05. Somente no período chuvoso de 2018/19 os valores tenderam para condições abaixo da Resolução CONAMA 357/05. Nos anos anteriores à passagem da pluma o maior valor registrado foi de 242,00 UNT, no período chuvoso de 2010/11 e na maioria dos anos os valores estiveram abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05.

Tabela 81: Estatística descritiva para os valores de turbidez, mensurados ao longo do rio Doce, nos períodos chuvosos dos anos de 2006 e 2019.

| <b>Ano</b>     | <b>N amostral</b> | <b>Média (UNT)</b> | <b>Mediana (UNT)</b> | <b>Mínima (UNT)</b> | <b>Máxima (UNT)</b> | <b>Desvio padrão</b> | <b>Coeficiente de variação (%)</b> |
|----------------|-------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|
| <b>2006</b>    | 3                 | 164,67             | 174,00               | 144,00              | 176,00              | 17,93                | 10,89                              |
| <b>2007</b>    | 5                 | 170,40             | 169,00               | 148,00              | 185,00              | 15,76                | 181,00                             |
| <b>2009/10</b> | 6                 | 65,67              | 65,00                | 43,00               | 90,00               | 18,72                | 185,00                             |
| <b>2010/11</b> | 4                 | 152,75             | 101,00               | 80,00               | 242,00              | 75,67                | 178,00                             |
| <b>2011/12</b> | 10                | 39,50              | 34,00                | 32,00               | 52,00               | 7,53                 | 160,00                             |
| <b>2013</b>    | 5                 | 62,42              | 56,10                | 46,80               | 87,30               | 16,10                | 148,00                             |
| <b>2013/14</b> | 6                 | 45,16              | 50,60                | 7,66                | 92,00               | 32,21                | 5,000                              |
| <b>2015</b>    | 5                 | 65,02              | 30,25                | 24,60               | 124,00              | 50,37                | 170,400                            |
| <b>2015/16</b> | 136               | 1006,97            | 378,00               | 1,19                | 6690,00             | 1331,60              | 132,24                             |
| <b>2016/17</b> | 33                | 355,95             | 65,80                | 12,60               | 1252,00             | 444,99               | 125,01                             |
| <b>2017/18</b> | 37                | 124,89             | 100,00               | 7,10                | 394,00              | 102,91               | 82,40                              |
| <b>2019/19</b> | 20                | 60,67              | 54,05                | 9,55                | 209,00              | 44,78                | 73,81                              |

Com relação às concentrações de MPS, no período chuvoso de 2015/16 foram registrados valores máximos de 686,00 mg/L, com média de 223,83 mg/L e coeficiente de variação de 57,22% (Tabela 82, Figura 68). Nesse período, alguns dos valores estiveram acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (500 mg/L) No período chuvoso de 2016/2017 os valores ainda foram ligeiramente

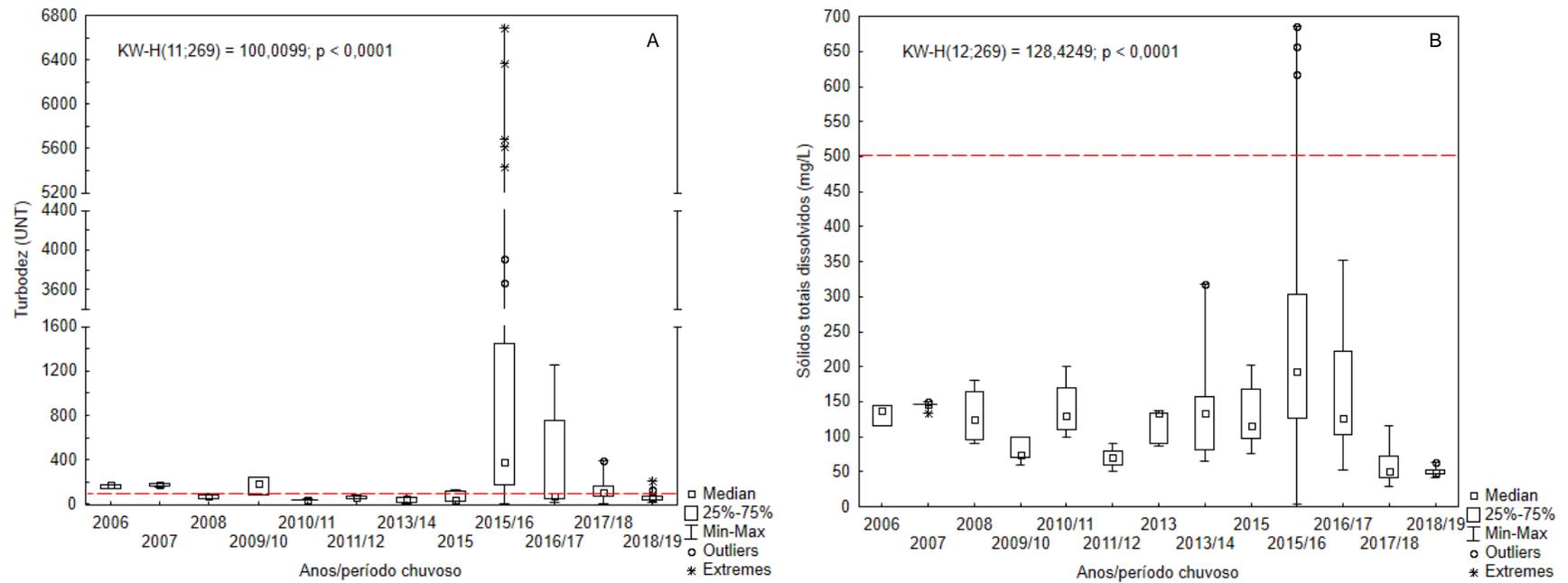
maiores que os registrados nos anos anteriores. Já nos anos subsequentes houve uma redução significativa e os valores foram semelhantes aos registrados para os anos anteriores.

Tabela 82: Estatística descritiva para as concentrações de sólidos totais dissolvidos (mg/L), mensurados ao longo do rio Doce, nos períodos chuvosos dos anos de 2006 e 2019.

| <b>Ano</b> | <b>N amostral</b> | <b>Média (mg/L)</b> | <b>Mediana (mg/L)</b> | <b>Mínima (mg/L)</b> | <b>Máxima (mg/L)</b> | <b>Desvio padrão</b> | <b>Coefficiente de variação (%)</b> |
|------------|-------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 2006       | 3                 | 132,67              | 138,00                | 116,00               | 144,00               | 14,74                | 11,11                               |
| 2007       | 5                 | 144,60              | 146,00                | 134,00               | 150,00               | 6,15                 | 4,25                                |
| 2008       | 4                 | 130,00              | 100,00                | 90,00                | 180,00               | 42,43                | 32,64                               |
| 2009/10    | 6                 | 70,00               | 70,00                 | 60,00                | 100,00               | 16,73                | 23,90                               |
| 2010/11    | 4                 | 140,00              | 120,00                | 100,00               | 200,00               | 43,20                | 30,86                               |
| 2011/12    | 20                | 93,86               | 80,00                 | 4,00                 | 200,00               | 48,98                | 57,56                               |
| 2013       | 21                | 82,80               | 75,00                 | 4,00                 | 200,00               | 42,66                | 51,54                               |
| 2013/14    | 6                 | 148,33              | 126,00                | 66,00                | 318,00               | 90,14                | 60,77                               |
| 2015       | 5                 | 131,84              | 107,00                | 75,20                | 202,00               | 52,04                | 39,47                               |
| 2015/16    | 111               | 223,83              | 194,00                | 4,61                 | 686,00               | 128,07               | 57,22                               |
| 2016/17    | 36                | 159,21              | 126,85                | 53,40                | 352,40               | 81,17                | 50,98                               |
| 2017/18    | 24                | 59,25               | 51,00                 | 29,00                | 115,00               | 25,58                | 43,17                               |
| 2018/19    | 20                | 49,50               | 49,00                 | 42,00                | 63,00                | 4,83                 | 9,75                                |

Figura 68: Box-plots para diferenças entre os períodos chuvosos dos anos de 2006 a 2019, para os parâmetros turbidez (A) e sólidos totais dissolvidos (B), mensurados ao longo do rio Doce.

Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis.



A condutividade elétrica, um parâmetro conservativo que pode ser um forte indicador de poluição e alterações geoquímicas, chegou a 551  $\mu\text{S/cm}$  no período de chuvoso de 2015/16, com média de 92,33 e coeficiente de variação de 61,17% (Tabela 83, Figura 69), um forte indicativo da passagem da pluma de rejeito, quando comparado com os anos anteriores e mesmo os anos subsequentes. Somente no período chuvoso de 2018/2019 os valores foram semelhantes aos registrados nos anos anteriores.

Tabela 83: Estatística descritiva para os valores de condutividade elétrica, mensurados ao longo do rio Doce, nos períodos chuvosos dos anos de 2006 e 2019.

| Ano     | N amostral | Média ( $\mu\text{S/cm}$ ) | Mediana ( $\mu\text{S/cm}$ ) | Mínima ( $\mu\text{S/cm}$ ) | Máxima ( $\mu\text{S/cm}$ ) | Desvio padrão | Coeficiente de variação (%) |
|---------|------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| 2006    | 3          | 69,30                      | 73,10                        | 61,20                       | 73,60                       | 7,02          | 10,13                       |
| 2007    | 5          | 96,62                      | 96,10                        | 94,40                       | 100,20                      | 2,36          | 2,44                        |
| 2008    | 4          | 71,00                      | 71,00                        | 66,00                       | 76,00                       | 4,08          | 5,75                        |
| 2009/10 | 6          | 116,67                     | 115,00                       | 110,00                      | 130,00                      | 8,16          | 7,00                        |
| 2010/11 | 4          | 72,53                      | 70,50                        | 59,40                       | 89,70                       | 14,18         | 19,56                       |
| 2011/12 | 10         | 68,64                      | 68,55                        | 54,50                       | 82,60                       | 11,18         | 16,29                       |
| 2013/14 | 6          | 78,57                      | 77,75                        | 76,20                       | 81,90                       | 2,20          | 2,79                        |
| 2015    | 5          | 79,22                      | 74,70                        | 72,80                       | 99,30                       | 11,26         | 14,21                       |
| 2015/16 | 117        | 92,44                      | 83,20                        | 7,19                        | 551,00                      | 56,54         | 61,17                       |
| 2016/17 | 21         | 86,38                      | 87,00                        | 59,00                       | 123,00                      | 20,80         | 24,09                       |
| 2017/18 | 33         | 81,49                      | 67,00                        | 49,00                       | 244,92                      | 45,42         | 55,74                       |
| 2018/19 | 20         | 68,49                      | 67,92                        | 55,85                       | 78,00                       | 6,53          | 9,53                        |

No período chuvoso de 2015/16, os valores de pH variaram entre 4,83 – condições bem ácidas e abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (entre 6,00 e 9,00) – a 8,45, condições alcalinas, maior variação observada dentre toda série amostral (Figura 69, Tabela 84). Nos anos subsequentes os valores de pH voltaram às condições observadas nos anos posteriores à passagem da pluma de rejeitos.

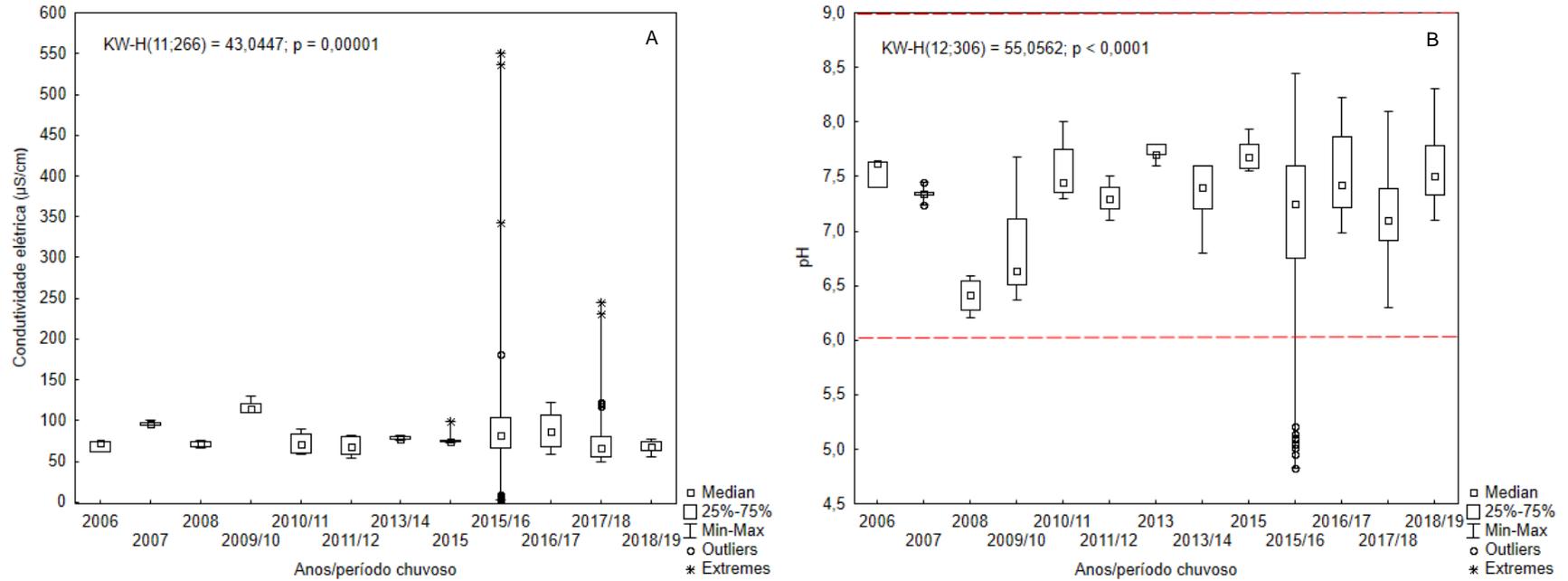
O pH influencia diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente nos meios intracelular e na coluna d'água e sedimento. Além disso, o pH pode contribuir para a dissolução/precipitação de elementos químicos, como metais-traço e nutrientes (Danielsson et al., 1999; Bartolomeo et al., 2004).

Tabela 84: Estatística descritiva para os valores de pH, mensurados ao longo do rio Doce, nos períodos chuvosos dos anos de 2006 e 2019.

| Ano     | N amostral | Média | Mediana | Mínima | Máxima | Desvio padrão | Coeficiente de variação (%) |
|---------|------------|-------|---------|--------|--------|---------------|-----------------------------|
| 2006    | 3          | 7,55  | 7,62    | 7,40   | 7,63   | 0,13          | 1,72                        |
| 2007    | 5          | 7,34  | 7,34    | 7,24   | 7,45   | 0,08          | 1,02                        |
| 2008    | 4          | 6,41  | 6,33    | 6,21   | 6,59   | 0,17          | 2,66                        |
| 2009/10 | 6          | 6,82  | 6,59    | 6,37   | 7,68   | 0,49          | 7,16                        |

| Ano            | N amostral | Média       | Mediana     | Mínima      | Máxima      | Desvio padrão | Coefficiente de variação0 (%) |
|----------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------------------------|
| 2010/11        | 4          | 7,55        | 7,40        | 7,30        | 8,00        | 0,31          | 4,12                          |
| 2011/12        | 10         | 7,30        | 7,30        | 7,10        | 7,50        | 0,13          | 1,83                          |
| 2013           | 5          | 7,72        | 7,70        | 7,60        | 7,80        | 0,08          | 1,08                          |
| 2013/14        | 6          | 7,33        | 7,30        | 6,80        | 7,60        | 0,31          | 4,20                          |
| 2015           | 5          | 7,71        | 7,63        | 7,55        | 7,93        | 0,16          | 2,05                          |
| <b>2015/16</b> | <b>145</b> | <b>7,09</b> | <b>7,25</b> | <b>4,83</b> | <b>8,45</b> | <b>0,73</b>   | <b>10,29</b>                  |
| 2016/17        | 38         | 7,53        | 7,42        | 6,98        | 8,22        | 0,37          | 4,87                          |
| 2017/18        | 55         | 7,17        | 7,10        | 6,30        | 8,10        | 0,34          | 4,77                          |
| 2018/19        | 20         | 7,58        | 7,51        | 7,10        | 8,30        | 0,33          | 4,37                          |

Figura 69: Box-plots para diferenças entre os períodos chuvosos dos anos de 2006 a 2019, para os parâmetros condutividade elétrica (A) e pH (B), mensurados ao longo do rio Doce. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis.

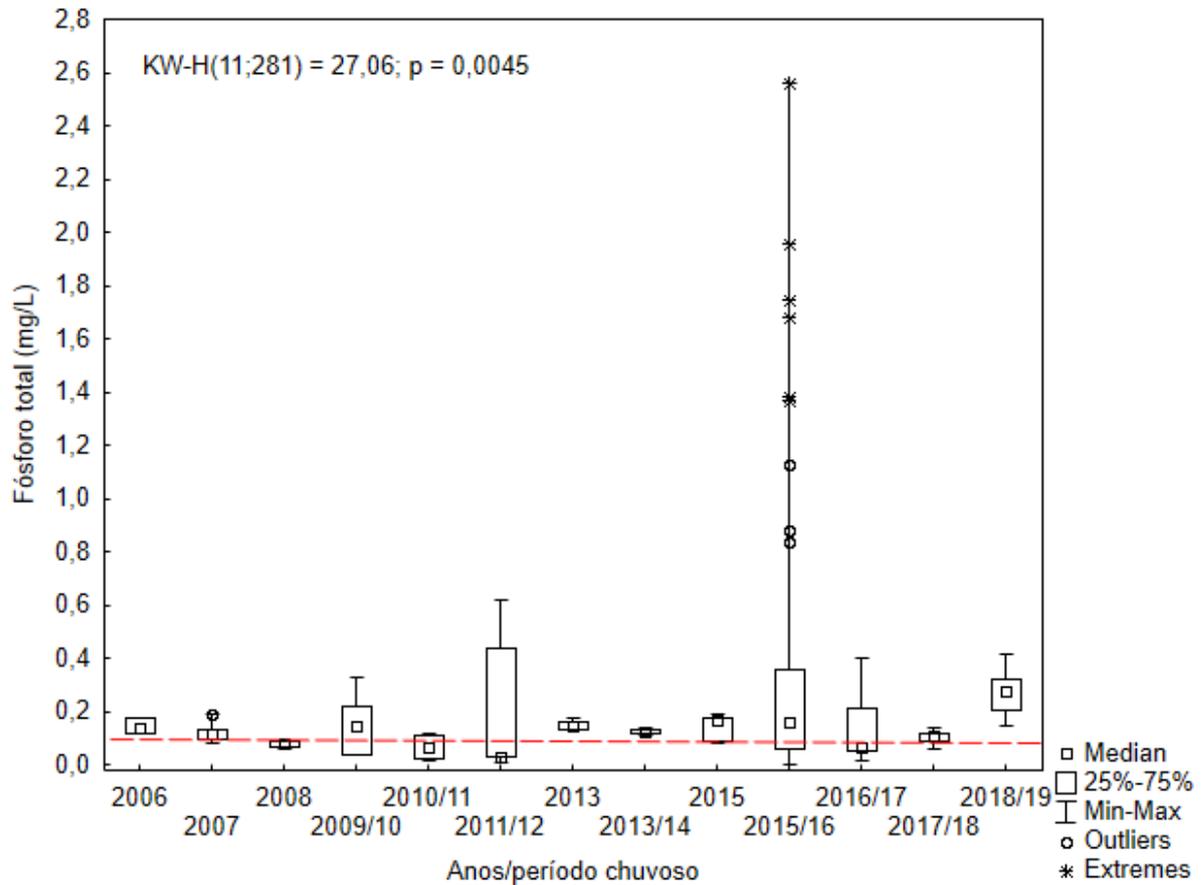


Com relação à concentração de fósforo total, no período chuvoso de 2015/2016 as concentrações chegaram a 2,56 mg/L, média de 0,28 mg/L e coeficiente de variação de 131,11% (Tabela 85, Figura 70), valores significativamente maiores que os registrados nos anos posteriores e muito acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (0,10 mg/L). Nos anos subsequentes, apesar das elevadas concentrações ainda registradas no rio Doce, que podem refletir atividades desenvolvidas na bacia de drenagem, como a agricultura, atividade forte na região, que contribui com grande carga de fertilizantes, ricos em fósforo, para os corpos d'água, não foram registrados os picos de valores como os registrados no período de chuvoso de 2015/16, que constitui um forte indicativo da passagem da pluma de rejeito pelo rio Doce.

Tabela 85: Estatística descritiva para as concentrações de fósforo total, mensuradas ao longo do rio Doce, nos períodos chuvosos dos anos de 2006 e 2019.

| Ano     | N amostral | Média (mg/L) | Mediana (mg/L) | Mínima (mg/L) | Máxima (mg/L) | Desvio padrão | Coeficiente de variação (%) |
|---------|------------|--------------|----------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| 2006    | 3          | 0,15         | 0,14           | 0,12          | 0,18          | 0,03          | 21,82                       |
| 2007    | 5          | 0,12         | 0,13           | 0,08          | 0,19          | 0,04          | 34,07                       |
| 2008    | 4          | 0,08         | 0,09           | 0,06          | 0,09          | 0,02          | 19,35                       |
| 2009/10 | 4          | 0,21         | 0,22           | 0,12          | 0,33          | 0,09          | 43,25                       |
| 2010/11 | 4          | 0,07         | 0,11           | 0,02          | 0,12          | 0,05          | 73,37                       |
| 2011/12 | 10         | 0,21         | 0,04           | 0,01          | 0,62          | 0,26          | 121,43                      |
| 2013    | 5          | 0,15         | 0,15           | 0,13          | 0,18          | 0,02          | 14,14                       |
| 2013/14 | 6          | 0,13         | 0,13           | 0,11          | 0,14          | 0,01          | 8,39                        |
| 2015    | 5          | 0,14         | 0,18           | 0,08          | 0,19          | 0,05          | 37,06                       |
| 2015/16 | 169        | 0,28         | 0,16           | 0,00          | 2,56          | 0,37          | 131,11                      |
| 2016/17 | 36         | 0,13         | 0,07           | 0,02          | 0,40          | 0,11          | 87,02                       |
| 2017/18 | 8          | 0,10         | 0,11           | 0,06          | 0,14          | 0,03          | 25,18                       |
| 2018/19 | 20         | 0,27         | 0,28           | 0,15          | 0,42          | 0,07          | 26,16                       |

Figura 70: Box-plots para diferenças entre os períodos chuvosos dos anos de 2006 a 2019, para a concentração de fósforo total, mensurada ao longo do rio Doce. Diferenças significativas entre os ambientes: Análise de kruskal-Wallis.



### Considerações finais

Apesar de todos os parâmetros mostrarem um retorno às condições anteriores à passagem da pluma, os reflexos dessas alterações sobre a biota precisam ser analisados a médio e longo prazo, devido aos possíveis efeitos diretos e indiretos dessas alterações na biota (efeitos crônicos).

#### 4 REFERÊNCIAS

- Anschutz, P. & Deborde, J. (2016). Spectrophotometric determination of phosphate in matrices from Sequential leaching of sediments. *Limnology and Oceanography Methods*, 14:245-256.
- Barroso, G.F., Goncalves, M.A. & Garcia, F.C. (2014). The morphometry of Lake Palmas, a deep natural lake in Brazil. *PLoS ONE*. 9 (11): e111469.
- Beusen, A. H. W., Bouwman, A. F., Dürr, H. H., Dekkers, A. L. M. & Hartmann, J. (2009). Global patterns of dissolved silica export to the coastal zone: Results from a spatially explicit global model. *Global Biogeochemical Cycles*. 23(4).
- Bianchi, T. (2007). *Biogeochemistry of estuaries*. New York, Oxford University Press.
- Bozelli, R.L., Esteves, F.A., Roland, F. & Suzuki, M.S. (1992). Padrões de funcionamento das lagoas do Baixo Rio Doce: variáveis abióticas e clorofila-a (Espírito Santo - Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 4: 13-31.
- Brasil (2005). Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- Dodds, W.E. & Smith, V.H. (2016). Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. *Inland Waters*, 6(2): 155-164.
- Downing, J. A. & McCauley, E. (1992). The Nitrogen:Phosphorus relationship in lakes. *Limnology and Oceanography*, 37(5): 936-945.
- Esteves, F.A., Suzuki, M.S., Callisto, M.F.P. & Peres-Neto, P.R. (1995). Teores de matéria orgânica, carbono, nitrogênio, fósforo e feopigmentos do sedimento de alguns ecossistemas lacustres do litoral do Estado do Espírito Santo. In: Esteves, F. A. *Oecologia Brasiliensis*. Rio de Janeiro, UFRJ. 1: Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas Brasileiros.: 407-417.
- Gonçalves, M. A., Garcia, F. C. & Barroso, G. F. (2016). Morphometry and mixing regime of a tropical lake: Lake Nova (Southeastern Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(3): 1341-1356.
- Howarth, R. (Ed.). (2000). *Clean coastal waters: understanding and reducing the effects of nutrient pollution*. Washington, D.C., National Academy Press.
- Kramer, K. J. M., Brockmann, U. W. & Warwick, R. M. (1994). *Tidal estuaries: manual sampling and analytical procedures*. Rotterdam, A.A. Balkema Publishers.
- Marinho, M.M. & Huszar, V.L. de M. (2002). Nutrient availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical reservoir (Southeastern Brazil). *Archiv für Hydrobiologie*, 153(3): 443-468.

- Martin, L., Suguio, K., Flexor, J. M. & Archanjo, J. D. (1996). Coastal quaternary formations of the southern part of the State of Espírito Santo (Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68(3): 389-404.
- Mattson, M.D. (2010). Alkalinity. In: Likens, G. E. *Biogeochemistry of inland waters*. San Diego, Academic Press: 348-353.
- Medeiros, P. R. P., Knoppers, B. A., Cavalcante, G. H. & Souza, W. F. L. (2011). Changes in nutrient loads (N, P and Si) in the São Francisco estuary after the construction of dams. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 54(2): 387-397.
- Meybeck, M. (2010). Fluvial export. In: Likens, G.E. (ed.). *Biogeochemistry of inland waters: a derivative of encyclopedia of inland waters* San Diego, Elsevier: 118-130.
- Nobre, C. A., Marengo, J. A., Seluchi, M. E., Cuartas, L. A. & Alves, L. M. (2016). Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *Journal of Water Resource and Protection*, 8(2): 252-262.
- Oelsner, G.P. & Stets, E.G. (2019). Recent trends in nutrient and sediment loading to coastal areas of the conterminous U.S.: Insights and global context. *Science of The Total Environment*, 654:1225-1240.
- Padisák, J. & Reynolds, C.S. (2003). Shallow lakes: the absolute, the relative, the functional and the pragmatic. *Hydrobiologia*, 506-509: 1-11.
- Paerl, H.W. (1996). A comparison of cyanobacterial bloom dynamics in freshwater, estuarine and marine environments. *Phycologia*, 35(6): 25-35.
- Scheffer, M. (1998). *Ecology of shallow lakes*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Smith, S. V., Swaney, D.P., Talaue-Mcmanus, L., Bartley, J.D., Sandhei, P. T., McLaughlin, C. J., Dupra, V.C., Crossland, C.J., Buddemeier, R.W., Maxwell, B.A. & Wulff, F. (2003). Humans, hydrology, and the distribution of inorganic nutrient loading to the ocean. *BioScience*, 53(2): 235-243.
- Tong, Y., Zhao, Y., Zhen, G., Chi, J., Liu, X., Lu, X., Wang, X., Yao, R., Chen, J. & Zhang, W. (2015). Nutrient loads flowing into coastal waters from the main rivers of China (2006–2012). *Scientific Reports*, 5: 16678.
- Turner, R. E., Rabalais, N. N., Justic, D. & Dortch, Q. (2003). Global patterns of dissolved N, P and Si in large rivers. *Biogeochemistry*, 64(3): 297-317.
- Valderrama, J.C. (1981). The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, 10: 109-122.
- Wetzel, R.G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. New York, Academic Press.

## 5 APÊNDICE

Tabela 86: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as Estações Amostrais no rio Doce e no rio Guandu dos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com \* apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais

| Parâmetro                         | H (4, N= 59) | p      |
|-----------------------------------|--------------|--------|
| Turbidez                          | 4,036417     | 0,4011 |
| Material particulado em suspensão | 5,523345     | 0,2377 |
| Temperatura                       | 2,480183     | 0,6482 |
| Oxigênio dissolvido               | 5,980275     | 0,2006 |
| Potencial redox                   | 1,669005     | 0,7963 |
| pH                                | 4,717009     | 0,3176 |
| Condutividade elétrica            | 2,006704     | 0,7345 |
| Salinidade                        | 2,663115     | 0,6157 |
| Alcalinidade total                | 2,724520     | 0,6049 |
| Carbono orgânico total            | 1,093894     | 0,8952 |
| Fósforo total                     | 3,752961     | 0,4405 |
| Fosfato                           | 3,532337     | 0,4730 |
| Silicato                          | 7,893014     | 0,0956 |
| Nitrogênio total                  | 8,864167     | 0,0646 |
| Nitrato                           | 6,315483     | 0,1768 |
| Nitrito*                          | 22,73555     | 0,0001 |
| Amônio *                          | 16,30256     | 0,0026 |
| Clorofila a *                     | 31,71703     | 0,0000 |

Resultados dos testes estatísticos de comparações múltiplas dos valores de Z' e p, para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas nos testes de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as Estações Amostrais no rio Doce e no rio Guandu.

Tabela 87: Multiple Comparisons z' and p values; NO2 (Rio Doce). Independent (grouping) variable: Cod PA. Kruskal-Wallis test: H ( 4, N= 59) =22,73555 p =,0001

| z' values | 1<br>(R:22,833) | 2<br>(R:49,458) | 3<br>(R:31,958) | 4<br>(R:25,818) | 5<br>(R:19,583) |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1         |                 | 0,001464        | 1,000000        | 1,000000        | 1,000000        |
| 2         | 0,001464        |                 | 0,125688        | 0,009761        | 0,000204        |
| 3         | 1,000000        | 0,125688        |                 | 1,000000        | 0,775876        |
| 4         | 1,000000        | 0,009761        | 1,000000        |                 | 1,000000        |
| 5         | 1,000000        | 0,000204        | 0,775876        | 1,000000        |                 |

|          | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| p values | (R:22,833) | (R:49,458) | (R:31,958) | (R:25,818) | (R:19,583) |
| 1        |            | 3,797119   | 1,301360   | 0,416327   | 0,463498   |
| 2        | 3,797119   |            | 2,495759   | 3,297329   | 4,260617   |
| 3        | 1,301360   | 2,495759   |            | 0,856429   | 1,764858   |
| 4        | 0,416327   | 3,297329   | 0,856429   |            | 0,869637   |
| 5        | 0,463498   | 4,260617   | 1,764858   | 0,869637   |            |

Tabela 88: Multiple Comparisons z' and p values; NH4 (Rio Doce). Independent (grouping) variable: Cod PA. Kruskal-Wallis test:  $H(4, N=59) = 16,30256$   $p = ,0026$

|           | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:35,167) | (R:44,917) | (R:20,167) | (R:24,818) | (R:24,500) |
| 1         |            | 1,000000   | 0,324177   | 1,000000   | 1,000000   |
| 2         | 1,000000   |            | 0,004160   | 0,050577   | 0,035945   |
| 3         | 0,324177   | 0,004160   |            | 1,000000   | 1,000000   |
| 4         | 1,000000   | 0,050577   | 1,000000   |            | 1,000000   |
| 5         | 1,000000   | 0,035945   | 1,000000   | 1,000000   |            |
| p values  | (R:35,167) | (R:44,917) | (R:20,167) | (R:24,818) | (R:24,500) |
| 1         |            | 1,390494   | 2,139222   | 1,443407   | 1,521225   |
| 2         | 1,390494   |            | 3,529716   | 2,803337   | 2,911719   |
| 3         | 2,139222   | 3,529716   |            | 0,648793   | 0,617997   |
| 4         | 1,443407   | 2,803337   | 0,648793   |            | 0,044380   |
| 5         | 1,521225   | 2,911719   | 0,617997   | 0,044380   |            |

Tabela 89: Multiple Comparisons z' and p values; Clorofila (Rio Doce). Independent (grouping) variable: Cod PA. Kruskal-Wallis test:  $H(4, N=59) = 31,71703$   $p = 0,0000$

|           |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| z' values | 1<br>(R:11,083) | 2<br>(R:20,750) | 3<br>(R:37,667) | 4<br>(R:46,455) | 5<br>(R:35,417) |
| 1         |                 | 1,378610        | 3,791177        | 4,933578        | 3,470294        |
| 2         | 1,378610        |                 | 2,412567        | 3,585271        | 2,091684        |
| 3         | 3,791177        | 2,412567        |                 | 1,225734        | 0,320883        |
| 4         | 4,933578        | 3,585271        | 1,225734        |                 | 1,539564        |
| 5         | 3,470294        | 2,091684        | 0,320883        | 1,539564        |                 |
| p values  | 1<br>(R:11,083) | 2<br>(R:20,750) | 3<br>(R:37,667) | 4<br>(R:46,455) | 5<br>(R:35,417) |
| 1         |                 | 1,000000        | 0,001499        | 0,000008        | 0,005199        |
| 2         | 1,000000        |                 | 0,158406        | 0,003367        | 0,364668        |
| 3         | 0,001499        | 0,158406        |                 | 1,000000        | 1,000000        |
| 4         | 0,000008        | 0,003367        | 1,000000        |                 | 1,000000        |
| 5         | 0,005199        | 0,364668        | 1,000000        | 1,000000        |                 |

Tabela 90: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as Estações Amostrais no rio Doce e no rio Guandu, quanto aos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos do sedimento. Parâmetros marcados com \* apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.

| Parâmetro                    | H                      | p      |
|------------------------------|------------------------|--------|
| Densidade                    | (4, N= 59) = ,5478428  | 0,9687 |
| pH                           | (4, N= 40) = ,6780167  | 0,9540 |
| Condutividade elétrica       | (4, N= 40) = 3,934202  | 0,4150 |
| Matéria orgânica *           | (4, N = 59) = 13,86854 | 0,0077 |
| Fosfato da água intersticial | (4, N= 59) = 1,067422  | 0,8994 |

Resultados dos testes estatísticos de comparações múltiplas dos valores de Z' e p, para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas nos testes de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as Estações Amostrais no rio Doce e no rio Guandu (sedimento).

Tabela 91: Multiple Comparisons z' and p values; MO Sed (Rio Doce). Independent (grouping) variable: Cod PA. Kruskal-Wallis test:  $H(4, N=59) = 13,86854$   $p = 0,0077$

| z' values | 1<br>(R:40,458) | 2<br>(R:18,875) | 3<br>(R:28,792) | 4<br>(R:23,273) | 5<br>(R:38,042) |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1         |                 | 3,078103        | 1,663839        | 2,397049        | 0,344652        |
| 2         | 3,078103        |                 | 1,414263        | 0,613395        | 2,733450        |
| 3         | 1,663839        | 1,414263        |                 | 0,769782        | 1,319187        |
| 4         | 2,397049        | 0,613395        | 0,769782        |                 | 2,059972        |
| 5         | 0,344652        | 2,733450        | 1,319187        | 2,059972        |                 |
| p values  | 1<br>(R:40,458) | 2<br>(R:18,875) | 3<br>(R:28,792) | 4<br>(R:23,273) | 5<br>(R:38,042) |
| 1         |                 | 0,020832        | 0,961445        | 0,165277        | 1,000000        |
| 2         | 0,020832        |                 | 1,000000        | 1,000000        | 0,062675        |
| 3         | 0,961445        | 1,000000        |                 | 1,000000        | 1,000000        |
| 4         | 0,165277        | 1,000000        | 1,000000        |                 | 0,394012        |
| 5         | 1,000000        | 0,062675        | 1,000000        | 0,394012        |                 |

Tabela 92: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as profundidades na lagoa do Limão, para os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com \* apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.

| Parâmetro                           | H                       | p      |
|-------------------------------------|-------------------------|--------|
| Turbidez *                          | (2, N = 35) = 17,74044  | 0,0001 |
| Material particulado em suspensão * | (2, N = 35) = 6,271103  | 0,0435 |
| Temperatura *                       | (2, N = 35) = 6,418612  | 0,0404 |
| Oxigênio dissolvido                 | (2, N = 35) = 3,751659  | 0,1532 |
| Potencial redox                     | (2, N = 35) = 0,7050505 | 0,7029 |
| pH *                                | (2, N = 35) = 18,82775  | 0,0001 |
| Condutividade elétrica              | (2, N = 35) = 0,4684393 | 0,7912 |
| Alcalinidade total                  | (2, N = 35) = 3,239391  | 0,1980 |
| Carbono orgânico total              | (2, N = 34) = 0,0742587 | 0,9636 |
| Fósforo total                       | (2, N = 35) = 0,8026599 | 0,6694 |
| Fosfato                             | (2, N = 35) = 0,1665955 | 0,9201 |
| Silicato                            | (2, N = 35) = 1,015729  | 0,6018 |
| Nitrogênio total                    | (2, N = 30) = 1,372903  | 0,5034 |
| Nitrato                             | (2, N = 29) = 0,1390340 | 0,9328 |
| Nitrito                             | (2, N = 35) = 1,992329  | 0,3693 |
| Amônio                              | (2, N = 35) = 2,014646  | 0,3652 |
| Clorofila a                         | (2, N = 35) = 4,956538  | 0,0839 |

Resultados dos testes estatísticos de comparações múltiplas dos valores de Z' e p, para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas nos testes de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as profundidades na lagoa do Limão.

Tabela 93: Multiple Comparisons z' and p values; Turbidez (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 35) =17,74044 p =,0001

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:8,1667) | (R:21,167) | (R:25,273) |
| 1         |            | 3,107594   | 3,999249   |
| 2         | 3,107594   |            | 0,959961   |
| 3         | 3,999249   | 0,959961   |            |
| p values  | (R:8,1667) | (R:21,167) | (R:25,273) |
| 1         |            | 0,005659   | 0,000191   |
| 2         | 0,005659   |            | 1,000000   |
| 3         | 0,000191   | 1,000000   |            |

Tabela 94: Multiple Comparisons z' and p values; Temperatura (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 35) =6,418612 p =,0404

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:23,792) | (R:16,542) | (R:13,273) |
| 1         |            | 1,733081   | 2,459237   |
| 2         | 1,733081   |            | 0,764250   |
| 3         | 2,459237   | 0,764250   |            |
| p values  | (R:23,792) | (R:16,542) | (R:13,273) |
| 1         |            | 0,249244   | 0,041770   |
| 2         | 0,249244   |            | 1,000000   |
| 3         | 0,041770   | 1,000000   |            |

Tabela 95: Multiple Comparisons z' and p values; pH (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 35) =18,82775 p =,0001

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:28,250) | (R:14,167) | (R:11,000) |
| 1         |            | 3,366561   | 4,032900   |
| 2         | 3,366561   |            | 0,740339   |
| 3         | 4,032900   | 0,740339   |            |
| p values  | (R:28,250) | (R:14,167) | (R:11,000) |
| 1         |            | 0,002283   | 0,000165   |

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:28,250) | (R:14,167) | (R:11,000) |
| 2         | 0,002283   |            | 1,000000   |
| 3         | 0,000165   | 1,000000   |            |

Tabela 96: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as profundidades na lagoa Nova, para os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com \* apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.

| Parâmetro                         | H                       | p      |
|-----------------------------------|-------------------------|--------|
| Turbidez *                        | (2, N = 37) = 6,937720  | 0,0312 |
| Material particulado em suspensão | (2, N = 37) = 0,6104165 | 0,7370 |
| Temperatura *                     | (2, N = 37) = 11,63683  | 0,0030 |
| Oxigênio dissolvido *             | (2, N = 37) = 23,22207  | 0,0000 |
| Potencial redox                   | (2, N = 37) = 4,074516  | 0,1304 |
| pH *                              | (2, N = 37) = 20,57015  | 0,0000 |
| Condutividade elétrica *          | (2, N = 37) = 12,28410  | 0,0022 |
| Alcalinidade total                | (2, N = 37) = 1,136412  | 0,5665 |
| Carbono orgânico total            | (2, N = 37) = 2,192965  | 0,3340 |
| Fósforo total                     | (2, N = 37) = 1,173798  | 0,5560 |
| Fosfato                           | (2, N = 37) = 0,6121860 | 0,7363 |
| Silicato                          | (2, N = 37) = 1,193407  | 0,5506 |
| Nitrogênio total                  | (2, N = 29) = 2,685615  | 0,2611 |
| Nitrato                           | (2, N = 29) = 0,1094505 | 0,9467 |
| Nitrito                           | (2, N = 37) = 0,5838236 | 0,7468 |
| Amônio                            | (2, N = 37) = 1,213748  | 0,5451 |
| Clorofila a *                     | (2, N = 36) = 9,029737  | 0,0109 |

Resultados dos testes estatísticos de comparações múltiplas dos valores de Z' e p, para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas nos testes de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as profundidades na lagoa Nova.

Tabela 97: Multiple Comparisons z' and p values; Turbidez (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =9,157670 p =,0103

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:12,917) | (R:16,958) | (R:25,625) |
| 1         |            | 0,939668   | 2,954627   |
| 2         | 0,939668   |            | 2,014959   |
| 3         | 2,954627   | 2,014959   |            |

|          | 1          | 2          | 3          |
|----------|------------|------------|------------|
| p values | (R:12,917) | (R:16,958) | (R:25,625) |
| 1        |            | 1,000000   | 0,009391   |
| 2        | 1,000000   |            | 0,131727   |
| 3        | 0,009391   | 0,131727   |            |

Tabela 98: Multiple Comparisons z' and p values; Temperatura (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade.

Kruskal-Wallis test:  $H(2, N=36) = 11,62273$   $p = ,0030$

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:25,125) | (R:19,750) | (R:10,625) |
| 1         |            | 1,249662   | 3,371182   |
| 2         | 1,249662   |            | 2,121519   |
| 3         | 3,371182   | 2,121519   |            |
| p values  | (R:25,125) | (R:19,750) | (R:10,625) |
| 1         |            | 0,634269   | 0,002245   |
| 2         | 0,634269   |            | 0,101634   |
| 3         | 0,002245   | 0,101634   |            |

Tabela 99: Multiple Comparisons z' and p values; OD (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis

test:  $H(2, N=36) = 22,05556$   $p = ,0000$

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:28,917) | (R:17,833) | (R:8,7500) |
| 1         |            | 2,576823   | 4,688655   |
| 2         | 2,576823   |            | 2,111832   |
| 3         | 4,688655   | 2,111832   |            |
| p values  | (R:28,917) | (R:17,833) | (R:8,7500) |
| 1         |            | 0,029914   | 0,000008   |
| 2         | 0,029914   |            | 0,104103   |
| 3         | 0,000008   | 0,104103   |            |

Tabela 100: Multiple Comparisons z' and values; pH (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis

test:  $H(2, N=36) = 20,17189$   $p = ,0000$

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:28,958) | (R:16,625) | (R:9,9167) |
| 1         |            | 2,867442   | 4,427098   |
| 2         | 2,867442   |            | 1,559656   |

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:28,958) | (R:16,625) | (R:9,9167) |
| 3         | 4,427098   | 1,559656   |            |
| 1         |            | 0,012414   | 0,000029   |
| 2         | 0,012414   |            | 0,356524   |
| 3         | 0,000029   | 0,356524   |            |

Tabela 101: Multiple Comparisons z' values; Condutividade (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test:  $H(2, N=36) = 11,81687$   $p = 0,0027$

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:14,917) | (R:13,583) | (R:27,000) |
| 1         |            | 0,309994   | 2,809318   |
| 2         | 0,309994   |            | 3,119312   |
| 3         | 2,809318   | 3,119312   |            |
| p values  | (R:14,917) | (R:13,583) | (R:27,000) |
| 1         |            | 1,000000   | 0,014894   |
| 2         | 1,000000   |            | 0,005438   |
| 3         | 0,014894   | 0,005438   |            |

Tabela 102: Multiple Comparisons z' and p values; Clorofila (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test:  $H(2, N=35) = 8,420067$   $p = 0,0148$

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:21,750) | (R:21,042) | (R:10,591) |
| 1         |            | 0,169324   | 2,608899   |
| 2         | 0,169324   |            | 2,443296   |
| 3         | 2,608899   | 2,443296   |            |
| p values  | (R:21,750) | (R:21,042) | (R:10,591) |
| 1         |            | 1,000000   | 0,027250   |
| 2         | 1,000000   |            | 0,043661   |
| 3         | 0,027250   | 0,043661   |            |

Tabela 103: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as profundidades na lagoa Juparanã, para os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com \* apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.

| Parâmetro | H (2, N = 36) | p      |
|-----------|---------------|--------|
| Turbidez  | 0,8665894     | 0,6484 |

| Parâmetro                         | H (2, N = 36) | p      |
|-----------------------------------|---------------|--------|
| Material particulado em suspensão | 0,0972848     | 0,9525 |
| Temperatura                       | 0,4385513     | 0,8031 |
| Oxigênio dissolvido *             | 11,19970      | 0,0037 |
| Potencial redox *                 | 10,33053      | 0,0057 |
| pH *                              | 8,062224      | 0,0178 |
| Condutividade elétrica *          | 1,197689      | 0,5494 |
| Alcalinidade total                | 0,5259439     | 0,7688 |
| Carbono orgânico total            | 0,8007787     | 0,6701 |
| Fósforo total                     | 0,5150813     | 0,7730 |
| Fosfato                           | 0,8475495     | 0,6546 |
| Silicato                          | 0,6230685     | 0,7323 |
| Nitrogênio total                  | 0,0800000     | 0,9608 |
| Nitrato                           | 0,9663683     | 0,6168 |
| Nitrito                           | 0,0033853     | 0,9983 |
| Amônio                            | 0,6726727     | 0,7144 |
| Clorofila a                       | 3,947337      | 0,1389 |

Resultados dos testes estatísticos de comparações múltiplas dos valores de Z' e p, para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas nos testes de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as profundidades na lagoa Juparanã.

Tabela 104: Multiple Comparisons z' and p values; OD (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test: H (2, N= 36) =11,19970 p =,0037

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:23,917) | (R:21,250) | (R:10,333) |
| 1         |            | 0,619987   | 3,158061   |
| 2         | 0,619987   |            | 2,538073   |
| 3         | 3,158061   | 2,538073   |            |
| p values  | (R:23,917) | (R:21,250) | (R:10,333) |
| 1         |            | 1,000000   | 0,004765   |
| 2         | 1,000000   |            | 0,033439   |
| 3         | 0,004765   | 0,033439   |            |

Tabela 105: Multiple Comparisons z' and p values; PRedox (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test:  $H(2, N=36) = 10,33053$   $p = 0,0057$

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:11,875) | (R:17,958) | (R:25,667) |
| 1         |            | 1,414346   | 3,206497   |
| 2         | 1,414346   |            | 1,792151   |
| 3         | 3,206497   | 1,792151   |            |
| p values  | (R:11,875) | (R:17,958) | (R:25,667) |
| 1         |            | 0,471781   | 0,004031   |
| 2         | 0,471781   |            | 0,219326   |
| 3         | 0,004031   | 0,219326   |            |

Tabela 106: Multiple Comparisons z' and p values; pH (Lagos). Independent (grouping) variable: Profundidade. Kruskal-Wallis test:  $H(2, N=36) = 8,062224$   $p = 0,0178$ .

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:23,292) | (R:20,583) | (R:11,625) |
| 1         |            | 0,629675   | 2,712445   |
| 2         | 0,629675   |            | 2,082770   |
| 3         | 2,712445   | 2,082770   |            |
| p values  | (R:23,292) | (R:20,583) | (R:11,625) |
| 1         |            | 1,000000   | 0,020037   |
| 2         | 1,000000   |            | 0,111817   |
| 3         | 0,020037   | 0,111817   |            |

Tabela 107: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas do Limão, Nova e Juparanã, para os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com \* apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.

| Parâmetro                           | H                       | p      |
|-------------------------------------|-------------------------|--------|
| Transparência (DS) *                | (2, N = 36) = 29,20388  | 0,0000 |
| Turbidez *                          | (2, N = 107) = 61,82942 | 0,0000 |
| Material particulado em suspensão * | (2, N = 107) = 51,64117 | 0,0000 |
| Temperatura                         | (2, N = 107) = 1,185107 | 0,5529 |
| Oxigênio dissolvido *               | (2, N = 107) = 9,573440 | 0,0083 |
| Potencial redox                     | (2, N = 107) = 0,815587 | 0,6651 |
| pH *                                | (2, N = 107) = 9,976476 | 0,0068 |
| Condutividade elétrica *            | (2, N = 107) = 93,42449 | 0,0000 |
| Alcalinidade total *                | (2, N = 107) = 39,49228 | 0,0000 |
| Carbono orgânico total *            | (2, N = 106) = 21,97886 | 0,0000 |

| Parâmetro          | H                       | p      |
|--------------------|-------------------------|--------|
| Fósforo total *    | (2, N = 107) = 42,75322 | 0,0000 |
| Fosfato *          | (2, N = 107) = 8,163979 | 0,0169 |
| Silicato *         | (2, N = 107) = 7,307315 | 0,0259 |
| Nitrogênio total * | (2, N = 87) = 25,86387  | 0,0000 |
| Nitrato            | (2, N = 86) = 0,0609085 | 0,9700 |
| Nitrito            | (2, N = 107) = 2,714507 | 0,2574 |
| Amônio             | (2, N = 107) = 3,664398 | 0,1601 |
| Clorofila a        | (2, N = 106) = 27,28461 | 0,0000 |

Resultados dos testes estatísticos de comparações múltiplas dos valores de Z' e p, para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas nos testes de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas do Limão, Nova e Juparanã.

Tabela 108: Multiple Comparisons z' and p values; DS (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 36) =29,20388 p =,0000

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:17,958) | (R:30,375) | (R:7,1667) |
| 1         |            | 2,886816   | 2,509012   |
| 2         | 2,886816   |            | 5,395828   |
| 3         | 2,509012   | 5,395828   |            |
| p values  | (R:17,958) | (R:30,375) | (R:7,1667) |
| 1         |            | 0,011675   | 0,036321   |
| 2         | 0,011675   |            | 0,000000   |
| 3         | 0,036321   | 0,000000   |            |

Tabela 109: Multiple Comparisons z' and p values; Turbidez (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =61,82942 p =,0000

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:54,571) | (R:24,972) | (R:82,472) |
| 1         |            | 4,018121   | 3,787560   |
| 2         | 4,018121   |            | 7,861238   |
| 3         | 3,787560   | 7,861238   |            |
| p values  | (R:54,571) | (R:24,972) | (R:82,472) |
| 1         |            | 0,000176   | 0,000456   |
| 2         | 0,000176   |            | 0,000000   |
| 3         | 0,000456   | 0,000000   |            |

Tabela 110: Multiple Comparisons z' and p values; MPS (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =51,64117 p =,0000

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:51,571) | (R:28,986) | (R:81,375) |
| 1         |            | 3,065979   | 4,045864   |
| 2         | 3,065979   |            | 7,162461   |
| 3         | 4,045864   | 7,162461   |            |
| p values  | (R:51,571) | (R:28,986) | (R:81,375) |
| 1         |            | 0,006509   | 0,000156   |
| 2         | 0,006509   |            | 0,000000   |
| 3         | 0,000156   | 0,000000   |            |

Tabela 111: Multiple Comparisons z' and p values; OD (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =9,573440 p =,0083

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:52,171) | (R:43,681) | (R:66,097) |
| 1         |            | 1,152644   | 1,890440   |
| 2         | 1,152644   |            | 3,064744   |
| 3         | 1,890440   | 3,064744   |            |
| p values  | (R:52,171) | (R:43,681) | (R:66,097) |
| 1         |            | 0,747169   | 0,176097   |
| 2         | 0,747169   |            | 0,006536   |
| 3         | 0,176097   | 0,006536   |            |

Tabela 112: Multiple Comparisons z' and p values; pH (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =9,976476 p =,0068

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:49,029) | (R:45,667) | (R:67,167) |
| 1         |            | 0,456382   | 2,462264   |
| 2         | 0,456382   |            | 2,939419   |
| 3         | 2,462264   | 2,939419   |            |
| p values  | (R:49,029) | (R:45,667) | (R:67,167) |
| 1         |            | 1,000000   | 0,041419   |
| 2         | 1,000000   |            | 0,009865   |
| 3         | 0,041419   | 0,009865   |            |

Tabela 113: Multiple Comparisons z' and p values; Condutividade (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test:  $H(2, N=107) = 93,42449$   $p = 0,000$

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:89,686) | (R:54,806) | (R:18,500) |
| 1         |            | 4,735016   | 9,663530   |
| 2         | 4,735016   |            | 4,963593   |
| 3         | 9,663530   | 4,963593   |            |
| p values  | (R:89,686) | (R:54,806) | (R:18,500) |
| 1         |            | 0,000007   | 0,000000   |
| 2         | 0,000007   |            | 0,000002   |
| 3         | 0,000000   | 0,000002   |            |

Tabela 114: Multiple Comparisons z' and p values; Alcalinidade (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test:  $H(2, N=107) = 39,49228$   $p = 0,000$

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:80,943) | (R:39,194) | (R:42,611) |
| 1         |            | 5,667388   | 5,203572   |
| 2         | 5,667388   |            | 0,467117   |
| 3         | 5,203572   | 0,467117   |            |
| p values  | (R:80,943) | (R:39,194) | (R:42,611) |
| 1         |            | 0,000000   | 0,000001   |
| 2         | 0,000000   |            | 1,000000   |
| 3         | 0,000001   | 1,000000   |            |

Tabela 115: Multiple Comparisons z' and p values; COT (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test:  $H(2, N=106) = 21,97886$   $p = 0,000$

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:62,721) | (R:34,000) | (R:64,292) |
| 1         |            | 3,906437   | 0,213691   |
| 2         | 3,906437   |            | 4,180279   |
| 3         | 0,213691   | 4,180279   |            |
| p values  | (R:62,721) | (R:34,000) | (R:64,292) |
| 1         |            | 0,000281   | 1,000000   |
| 2         | 0,000281   |            | 0,000087   |
| 3         | 1,000000   | 0,000087   |            |

Tabela 116: Multiple Comparisons z' and p values; PT (Lagos).Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =42,75322 p =,0000

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:53,614) | (R:30,278) | (R:78,097) |
| 1         |            | 3,167954   | 3,323582   |
| 2         | 3,167954   |            | 6,537740   |
| 3         | 3,323582   | 6,537740   |            |
| p values  | (R:53,614) | (R:30,278) | (R:78,097) |
| 1         |            | 0,004605   | 0,002666   |
| 2         | 0,004605   |            | 0,000000   |
| 3         | 0,002666   | 0,000000   |            |

Tabela 117: Multiple Comparisons z' and p values; PO4 (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =8,163979 p =,0169

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:52,543) | (R:44,333) | (R:65,083) |
| 1         |            | 1,114451   | 1,702382   |
| 2         | 1,114451   |            | 2,836882   |
| 3         | 1,702382   | 2,836882   |            |
| p values  | (R:52,543) | (R:44,333) | (R:65,083) |
| 1         |            | 0,795257   | 0,266051   |
| 2         | 0,795257   |            | 0,013667   |
| 3         | 0,266051   | 0,013667   |            |

Tabela 118: Multiple Comparisons z' and p values; Silicato (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 107) =7,307315 p =,0259

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:61,343) | (R:42,764) | (R:58,097) |
| 1         |            | 2,522113   | 0,440598   |
| 2         | 2,522113   |            | 2,096330   |
| 3         | 0,440598   | 2,096330   |            |
| p values  | (R:61,343) | (R:42,764) | (R:58,097) |
| 1         |            | 0,034996   | 1,000000   |
| 2         | 0,034996   |            | 0,108159   |
| 3         | 1,000000   | 0,108159   |            |

Tabela 119: Multiple Comparisons z' and p values; NT (Lagos). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 87) =25,86387 p =,0000

|           | 1          | 2          | 3          |
|-----------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:60,967) | (R:27,304) | (R:42,569) |
| 1         |            | 5,071884   | 2,796964   |
| 2         | 5,071884   |            | 2,281068   |
| 3         | 2,796964   | 2,281068   |            |
| p values  | (R:60,967) | (R:27,304) | (R:42,569) |
| 1         |            | 0,000001   | 0,015476   |
| 2         | 0,000001   |            | 0,067633   |
| 3         | 0,015476   | 0,067633   |            |

Tabela 120: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas do Limão, Nova e Juparanã, quanto aos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos do sedimento. Parâmetros marcados com \* apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.

| Parâmetro                    | H                      | p      |
|------------------------------|------------------------|--------|
| Densidade                    | (2, N = 36) = 1,536807 | 0,4638 |
| pH                           | (2, N = 23) = 4,222430 | 0,1211 |
| Condutividade elétrica *     | (2, N = 24) = 6,064827 | 0,0482 |
| Matéria orgânica             | (2, N = 36) = 0,040927 | 0,9797 |
| Fosfato da água intersticial | (2, N = 36) = 1,088353 | 0,5803 |

Tabela 121: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas do Areão, do Areal e Monsarás (E25 e 25a), para os parâmetros físicos, físico-químicos e químicos da água. Parâmetros marcados com \* apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.

| Parâmetro                           | H                      | p      |
|-------------------------------------|------------------------|--------|
| Transparência (DS) *                | (3, N = 46) = 27,99517 | 0,0000 |
| Turbidez *                          | (3, N = 46) = 29,19501 | 0,0000 |
| Material particulado em suspensão * | (3, N = 46) = 20,52048 | 0,0001 |
| Temperatura                         | (3, N = 46) = 2,095330 | 0,5529 |
| Oxigênio dissolvido                 | (3, N = 46) = 4,559546 | 0,2070 |
| Potencial redox *                   | (3, N = 46) = 12,16501 | 0,0068 |
| pH *                                | (3, N = 46) = 15,20110 | 0,0017 |
| Condutividade elétrica *            | (3, N = 46) = 39,26920 | 0,0000 |
| Alcalinidade total *                | (3, N = 46) = 36,31071 | 0,0000 |
| Carbono orgânico total              | (3, N = 46) = 2,488538 | 0,4774 |
| Fósforo total *                     | (3, N = 46) = 15,3727  | 0,0015 |
| Fosfato                             | (3, N = 46) = 5,219061 | 0,1564 |
| Silicato *                          | (3, N = 46) = 12,69495 | 0,0053 |

| Parâmetro          | H                      | p      |
|--------------------|------------------------|--------|
| Nitrogênio total * | (3, N = 35) = 9,937245 | 0,0191 |
| Nitrato *          | (3, N = 38) = 15,16482 | 0,0017 |
| Nitrito *          | (3, N = 46) = 12,17687 | 0,0068 |
| Amônio *           | (3, N = 46) = 14,33172 | 0,0025 |
| Clorofila a *      | (3, N = 46) = 19,07295 | 0,0003 |

Resultados dos testes estatísticos de comparações múltiplas dos valores de Z' e p, para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas nos testes de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas do Areão, do Areal e Monsarás (E25 e 25a).

Tabela 122: Multiple Comparisons z' and p values; DS (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =27,99517 p =,0000

|           |            |            |            |            |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
| z' values | (R:38,955) | (R:10,136) | (R:26,625) | (R:18,458) |
| 1         |            | 5,035130   | 2,200558   | 3,658133   |
| 2         | 5,035130   |            | 2,942867   | 1,485292   |
| 3         | 2,200558   | 2,942867   |            | 1,490333   |
| 4         | 3,658133   | 1,485292   | 1,490333   |            |
| p values  | (R:38,955) | (R:10,136) | (R:26,625) | (R:18,458) |
| 1         |            | 0,000003   | 0,166604   | 0,001524   |
| 2         | 0,000003   |            | 0,019511   | 0,824798   |
| 3         | 0,166604   | 0,019511   |            | 0,816821   |
| 4         | 0,001524   | 0,824798   | 0,816821   |            |

Tabela 123: Multiple Comparisons z' and p values; Turbidez (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =29,19501 p =,0000

|           |            |            |            |            |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
| z' values | (R:8,7273) | (R:35,000) | (R:17,500) | (R:32,500) |
| 1         |            | 4,590387   | 1,565743   | 4,242920   |
| 2         | 4,590387   |            | 3,123373   | 0,446196   |
| 3         | 1,565743   | 3,123373   |            | 2,737346   |
| 4         | 4,242920   | 0,446196   | 2,737346   |            |
| p values  | (R:8,7273) | (R:35,000) | (R:17,500) | (R:32,500) |
| 1         |            | 0,000027   | 0,704453   | 0,000132   |
| 2         | 0,000027   |            | 0,010727   | 1,000000   |
| 3         | 0,704453   | 0,010727   |            | 0,037162   |
| 4         | 0,000132   | 1,000000   | 0,037162   |            |

Tabela 124: Multiple Comparisons z' and p values; MPS (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =20,52048 p =,0001

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:9,3636) | (R:34,682) | (R:26,667) | (R:23,042) |
| 1         |            | 4,423608   | 3,088218   | 2,441234   |
| 2         | 4,423608   |            | 1,430532   | 2,077516   |
| 3         | 3,088218   | 1,430532   |            | 0,661525   |
| 4         | 2,441234   | 2,077516   | 0,661525   |            |
| p values  | (R:9,3636) | (R:34,682) | (R:26,667) | (R:23,042) |
| 1         |            | 0,000058   | 0,012082   | 0,087823   |
| 2         | 0,000058   |            | 0,915386   | 0,226524   |
| 3         | 0,012082   | 0,915386   |            | 1,000000   |
| 4         | 0,087823   | 0,226524   | 1,000000   |            |

Tabela 125: Multiple Comparisons z' and p values; PRedox (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =12,16501 p =,0068

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:30,682) | (R:26,545) | (R:25,250) | (R:12,375) |
| 1         |            | 0,722708   | 0,969463   | 3,267373   |
| 2         | 0,722708   |            | 0,231211   | 2,529121   |
| 3         | 0,969463   | 0,231211   |            | 2,349555   |
| 4         | 3,267373   | 2,529121   | 2,349555   |            |
| p values  | (R:30,682) | (R:26,545) | (R:25,250) | (R:12,375) |
| 1         |            | 1,000000   | 1,000000   | 0,006513   |
| 2         | 1,000000   |            | 1,000000   | 0,068609   |
| 3         | 1,000000   | 1,000000   |            | 0,112775   |
| 4         | 0,006513   | 0,068609   | 0,112775   |            |

Tabela 126: Multiple Comparisons z' and p values; Condutividade (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =39,26920 p =,0000

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:6,0000) | (R:17,000) | (R:38,250) | (R:30,750) |
| 1         |            | 1,921927   | 5,755931   | 4,417342   |
| 2         | 1,921927   |            | 3,792667   | 2,454079   |
| 3         | 5,755931   | 3,792667   |            | 1,368673   |
| 4         | 4,417342   | 2,454079   | 1,368673   |            |

|          | 1          | 2          | 3          | 4          |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| p values | (R:6,0000) | (R:17,000) | (R:38,250) | (R:30,750) |
| 1        |            | 0,327690   | 0,000000   | 0,000060   |
| 2        | 0,327690   |            | 0,000894   | 0,084748   |
| 3        | 0,000000   | 0,000894   |            | 1,000000   |
| 4        | 0,000060   | 0,084748   | 1,000000   |            |

Tabela 127: Multiple Comparisons z' and p values; Alcalinidade (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis

test: H ( 3, N= 46) =36,31071 p =,0000

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:6,9091) | (R:16,091) | (R:34,833) | (R:34,167) |
| 1         |            | 1,604253   | 4,983876   | 4,864890   |
| 2         | 1,604253   |            | 3,345119   | 3,226133   |
| 3         | 4,983876   | 3,345119   |            | 0,121660   |
| 4         | 4,864890   | 3,226133   | 0,121660   |            |
| p values  | (R:6,9091) | (R:16,091) | (R:34,833) | (R:34,167) |
| 1         |            | 0,651950   | 0,000004   | 0,000007   |
| 2         | 0,651950   |            | 0,004935   | 0,007528   |
| 3         | 0,000004   | 0,004935   |            | 1,000000   |
| 4         | 0,000007   | 0,007528   | 1,000000   |            |

Tabela 128: Multiple Comparisons z' and p values; PT (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3,

N= 46) =15,37274 p =,0015

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:11,182) | (R:21,636) | (R:31,417) | (R:28,583) |
| 1         |            | 1,826624   | 3,611485   | 3,105796   |
| 2         | 1,826624   |            | 1,745573   | 1,239884   |
| 3         | 3,611485   | 1,745573   |            | 0,517054   |
| 4         | 3,105796   | 1,239884   | 0,517054   |            |
| p values  | (R:11,182) | (R:21,636) | (R:31,417) | (R:28,583) |
| 1         |            | 0,406537   | 0,001827   | 0,011386   |
| 2         | 0,406537   |            | 0,485311   | 1,000000   |
| 3         | 0,001827   | 0,485311   |            | 1,000000   |
| 4         | 0,011386   | 1,000000   | 1,000000   |            |

Tabela 129: Multiple Comparisons z' and p values; Silicato (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =12,69495 p =,0053

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:11,091) | (R:25,864) | (R:27,125) | (R:29,083) |
| 1         |            | 2,581100   | 2,861740   | 3,211260   |
| 2         | 2,581100   |            | 0,225126   | 0,574647   |
| 3         | 2,861740   | 0,225126   |            | 0,357376   |
| 4         | 3,211260   | 0,574647   | 0,357376   |            |
| p values  | (R:11,091) | (R:25,864) | (R:27,125) | (R:29,083) |
| 1         |            | 0,059092   | 0,025279   | 0,007929   |
| 2         | 0,059092   |            | 1,000000   | 1,000000   |
| 3         | 0,025279   | 1,000000   |            | 1,000000   |
| 4         | 0,007929   | 1,000000   | 1,000000   |            |

Tabela 130: Multiple Comparisons z' and p values; NT (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 35) =9,937245 p =,0191

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:8,8750) | (R:16,429) | (R:21,600) | (R:22,800) |
| 1         |            | 1,424315   | 2,618014   | 2,864899   |
| 2         | 1,424315   |            | 1,024095   | 1,261731   |
| 3         | 2,618014   | 1,024095   |            | 0,261861   |
| 4         | 2,864899   | 1,261731   | 0,261861   |            |
| p values  | (R:8,8750) | (R:16,429) | (R:21,600) | (R:22,800) |
| 1         |            | 0,926132   | 0,053066   | 0,025029   |
| 2         | 0,926132   |            | 1,000000   | 1,000000   |
| 3         | 0,053066   | 1,000000   |            | 1,000000   |
| 4         | 0,025029   | 1,000000   | 1,000000   |            |

Tabela 131: Multiple Comparisons z' and p values; NO3 (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 38) =15,16482 p =,0017

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:8,1111) | (R:25,778) | (R:25,300) | (R:18,300) |
| 1         |            | 3,372309   | 3,366346   | 1,995436   |
| 2         | 3,372309   |            | 0,093570   | 1,464480   |
| 3         | 3,366346   | 0,093570   |            | 1,408476   |
| 4         | 1,995436   | 1,464480   | 1,408476   |            |

|          | 1          | 2          | 3          | 4          |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| p values | (R:8,1111) | (R:25,778) | (R:25,300) | (R:18,300) |
| 1        |            | 0,004472   | 0,004570   | 0,275972   |
| 2        | 0,004472   |            | 1,000000   | 0,858377   |
| 3        | 0,004570   | 1,000000   |            | 0,953940   |
| 4        | 0,275972   | 0,858377   | 0,953940   |            |

Tabela 132: Multiple Comparisons z' and p values; NO2 (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H (3, N= 46) =12,17687 p =,0068

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:13,136) | (R:23,364) | (R:32,667) | (R:23,958) |
| 1         |            | 1,786915   | 3,485739   | 1,931489   |
| 2         | 1,786915   |            | 1,660391   | 0,106141   |
| 3         | 3,485739   | 1,660391   |            | 1,589181   |
| 4         | 1,931489   | 0,106141   | 1,589181   |            |
| p values  | (R:13,136) | (R:23,364) | (R:32,667) | (R:23,958) |
| 1         |            | 0,443707   | 0,002945   | 0,320536   |
| 2         | 0,443707   |            | 0,581015   | 1,000000   |
| 3         | 0,002945   | 0,581015   |            | 0,672117   |
| 4         | 0,320536   | 1,000000   | 0,672117   |            |

Tabela 133: Multiple Comparisons z' and p values; NH4 (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H (3, N= 46) =14,33172 p =,0025

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:14,182) | (R:22,727) | (R:21,333) | (R:34,917) |
| 1         |            | 1,493067   | 1,276391   | 3,700724   |
| 2         | 1,493067   |            | 0,248788   | 2,175544   |
| 3         | 1,276391   | 0,248788   |            | 2,478819   |
| 4         | 3,700724   | 2,175544   | 2,478819   |            |
| p values  | (R:14,182) | (R:22,727) | (R:21,333) | (R:34,917) |
| 1         |            | 0,812518   | 1,000000   | 0,001290   |
| 2         | 0,812518   |            | 1,000000   | 0,177536   |
| 3         | 1,000000   | 1,000000   |            | 0,079091   |
| 4         | 0,001290   | 0,177536   | 0,079091   |            |

Tabela 134: Multiple Comparisons z' and p values; Clorofila (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test:

H ( 3, N= 46) =19,07295 p =,0003

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:8,1818) | (R:27,818) | (R:27,250) | (R:29,833) |
| 1         |            | 3,430877   | 3,403260   | 3,864329   |
| 2         | 3,430877   |            | 0,101408   | 0,359661   |
| 3         | 3,403260   | 0,101408   |            | 0,471432   |
| 4         | 3,864329   | 0,359661   | 0,471432   |            |
| p values  | (R:8,1818) | (R:27,818) | (R:27,250) | (R:29,833) |
| 1         |            | 0,003610   | 0,003995   | 0,000668   |
| 2         | 0,003610   |            | 1,000000   | 1,000000   |
| 3         | 0,003995   | 1,000000   |            | 1,000000   |
| 4         | 0,000668   | 1,000000   | 1,000000   |            |

Tabela 135: Resultado dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas do Areão, do Areal e Monsarás (E25 e 25a), quanto aos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos do sedimento. Parâmetros marcados com \* apresentaram diferenças significativas entre as Estações Amostrais.

| Parâmetro                    | H                      | p      |
|------------------------------|------------------------|--------|
| Densidade *                  | (3, N = 46) = 15,62312 | 0,0014 |
| pH                           | (3, N = 32) = 2,713648 | 0,4379 |
| Condutividade elétrica *     | (3, N = 30) = 21,55211 | 0,0001 |
| Matéria orgânica *           | (3, N = 46) = 31,87369 | 0,0000 |
| Fosfato da água intersticial | (3, N = 42) = 5,393718 | 0,1451 |

Resultados dos testes estatísticos de comparações múltiplas dos valores de Z' e p, para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas nos testes de Kruskal-Wallis (H) para as diferenças entre as lagoas do Areão, do Areal e Monsarás (E25 e 25a).

Tabela 136: Multiple Comparisons z' and p values; Dens Sed (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =15,62312 p =,0014

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:22,273) | (R:17,182) | (R:36,250) | (R:17,667) |
| 1         |            | 0,889487   | 2,494642   | 0,822083   |
| 2         | 0,889487   |            | 3,403260   | 0,086535   |
| 3         | 2,494642   | 3,403260   |            | 3,391267   |
| 4         | 0,822083   | 0,086535   | 3,391267   |            |

|          | 1          | 2          | 3          | 4          |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| p values | (R:22,273) | (R:17,182) | (R:36,250) | (R:17,667) |
| 1        |            | 1,000000   | 0,075651   | 1,000000   |
| 2        | 1,000000   |            | 0,003995   | 1,000000   |
| 3        | 0,075651   | 0,003995   |            | 0,004174   |
| 4        | 1,000000   | 1,000000   | 0,004174   |            |

Tabela 137: Multiple Comparisons z' and p values; Cond Sed (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 30) =21,55211 p =,0001

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:9,0000) | (R:9,1250) | (R:19,375) | (R:27,500) |
| 1         |            | 0,028398   | 2,357042   | 3,891146   |
| 2         | 0,028398   |            | 2,328644   | 3,864854   |
| 3         | 2,357042   | 2,328644   |            | 1,708949   |
| 4         | 3,891146   | 3,864854   | 1,708949   |            |
| p values  | (R:9,0000) | (R:9,1250) | (R:19,375) | (R:27,500) |
| 1         |            | 1,000000   | 0,110527   | 0,000599   |
| 2         | 1,000000   |            | 0,119268   | 0,000667   |
| 3         | 0,110527   | 0,119268   |            | 0,524762   |
| 4         | 0,000599   | 0,000667   | 0,524762   |            |

Tabela 138: Multiple Comparisons z' and p values; MO Sed (Lagoas). Independent (grouping) variable: EA. Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 46) =31,87369 p =,0000

|           | 1          | 2          | 3          | 4          |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| z' values | (R:22,091) | (R:39,273) | (R:7,9167) | (R:25,917) |
| 1         |            | 3,002018   | 2,529797   | 0,682815   |
| 2         | 3,002018   |            | 5,596382   | 2,383769   |
| 3         | 2,529797   | 5,596382   |            | 3,284815   |
| 4         | 0,682815   | 2,383769   | 3,284815   |            |
| p values  | (R:22,091) | (R:39,273) | (R:7,9167) | (R:25,917) |
| 1         |            | 0,016092   | 0,068477   | 1,000000   |
| 2         | 0,016092   |            | 0,000000   | 0,102818   |
| 3         | 0,068477   | 0,000000   |            | 0,006123   |
| 4         | 1,000000   | 0,102818   | 0,006123   |            |