



RELATÓRIO TÉCNICO DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE
DA ÁGUA, DA QUALIDADE DO SEDIMENTO E DA ALTURA
ORTOMÉTRICA DA CAMADA DE LODO DA LAGOA DE
PIRATININGA, NITERÓI/ RJ

Preparado para
UGP/ CAF



Preparado por: Hydrosience Consultoria e Restauração Ambiental- Porto
Alegre/ RS

DEZEMBRO/ 2022

RELATÓRIO TÉCNICO

RELATÓRIO TÉCNICO DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA, DA QUALIDADE DO SEDIMENTO E DA ALTURA ORTOMÉTRICA DA CAMADA DE LODO DA LAGOA DE PIRATININGA, NITERÓI/ RJ.

Preparado por:
Hydroscience Consultoria e Restauração Ambiental
Porto Alegre – RS

Distribuição:
01 CÓPIA – HIDROSCIENCE Consultoria e Restauração Ambiental.
01 CÓPIA – SMO Secretária Municipal de Obras

Mês/Ano	Versão	Pág.	Rev.	Código Documento
Dezembro, 2022	02	139	1	Relatorio_Tecnico_3ª_Campanha_RV1.pdf

Índice

1. Apresentação	12
2. Escopo do Serviço	12
3. Introdução.....	13
4. Objetivos	14
4.1. Objetivo Geral.....	14
4.2. Objetivos Específicos	14
5. Área de estudo.....	15
6. Metodologia.....	16
6.1. Subprograma de Monitoramento da Qualidade da Água.....	17
6.2. Subprograma de Monitoramento da Qualidade do Sedimento	21
6.3. Subprograma de Monitoramento para Avaliação da Camada de Lodo através da Medição da Altitude Ortométrica do Fundo Lagunar.	25
6.3.1. Detalhes do processamento dos dados oriundos de receptores GNSS 27	
7. Resultados.....	29
7.1. Monitoramento da Qualidade da Água.....	30
7.1.1. Panorama Geral da Qualidade da Água para as três áreas experimentais	32
a. Condutividade, Temperatura e Salinidade	36
b. pH	38
c. Turbidez	42
d. Transparência Coluna d'água – Secchi.....	45
e. Oxigênio Dissolvido - OD	48
f. Carbono Orgânico Total – COT	53

g.	Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e Demanda Química de Oxigênio – DQO.	56
h.	Fósforo Total – PT.....	59
i.	Nitrogênio Amoniacal – NA	62
j.	Nitrato e Nitrito	66
k.	Coliformes Termotolerantes – E. Coli	69
l.	Sulfetos	73
m.	Metais.....	76
7.2.	Monitoramento da Qualidade do Sedimento	77
7.2.1.	Panorama Geral da Qualidade do Sedimento	81
a.	Teor de Umidade.....	88
b.	Teor de Sólidos	91
c.	Teor de Matéria Orgânica	94
d.	Carbono Orgânico Total	98
e.	Fósforo Total – Fosfato	101
f.	Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT)	104
g.	Sulfetos – Enxofre	108
h.	Coliformes Termotolerantes – E. Coli	111
i.	Chumbo.....	114
j.	Cobre.....	118
k.	Zinco.....	121
7.3.	Monitoramento da Altitude Ortométrica da Camada de Lodo.....	124
8.	Discussão.....	133
9.	Referências bibliográficas	136
10.	Anexos	138

Lista de Figuras

Figura 1: Localização do município de Niterói e cidades ao entorno.	15
Figura 2: Localização das Áreas Experimentais e Pontos de Monitoramento na Lagoa de Piratininga, no município de Niterói/RJ.	16
Figura 3: Localização dos pontos de monitoramento de qualidade da água na Lagoa de Piratininga.....	17
Figura 4: A) Sonda Multiparamétrica HORIBA U-50 e B) Disco de Secchi.....	19
Figura 5: Localização dos pontos de monitoramento da qualidade do sedimento na Lagoa de Piratininga.	22
Figura 6: Amostrador Gravity Corer utilizado para amostragem de sedimento	23
Figura 7: Esboço do método de levantamento da espessura e altitude ortométrica da superfície da camada de lodo da Lagoa.	26
Figura 8: Medidas para confecção do disco	26
Figura 9: Relação entre Elipsoide, Geoide e o Relevo Local.....	28
Figura 10: Relação de altitude entre os principais níveis de referência e aqueles obtidos na lagoa de Piratininga. (Dutra de Andrade, 2017).....	29
Figura 11: Embarcação, material de coleta e armazenamento de amostras utilizado durante as campanhas de monitoramento.....	33
Figura 12: Registro da aferição dos parâmetros <i>in situ</i> com a sonda multiparâmetros Horiba U-50 e o disco de Secchi.	33
Figura 13: Ficha de campo utilizada para registro das variáveis aferidas <i>in situ</i> durante as campanhas de monitoramento.....	34
Figura 14: Transferência do material amostral para o frasco de armazenamento para envio ao laboratório de análises na primeira campanha de monitoramento.	34
Figura 15: Coleta de água e transferência para o frasco na segunda campanha de monitoramento.	35
Figura 16: Coleta de água e transferência para o frasco na terceira campanha de monitoramento.	35
Figura 17: Valores de pH medidos <i>in situ</i> para todos os pontos de monitoramento na primeira e segunda campanha	40

Figura 18: Valores de turbidez observados durante as três campanhas de monitoramento por área experimental, e nos pontos de controle.....	44
Figura 19: Valores da transparência da coluna d'água observada durante as três campanhas de monitoramento nas três áreas experimentais e seus respectivos controles.....	47
Figura 20: Concentrações de Oxigênio Dissolvido para todos os pontos durante as três campanhas de monitoramento.....	50
Figura 21: Registro da primeira campanha de monitoramento.	52
Figura 22: Registro da terceira campanha de monitoramento.....	53
Figura 23: Representação gráfica das concentrações de COT para as três campanhas de monitoramento por área experimental, nos pontos de controle e os limites presentes na legislação.	55
Figura 24: Concentrações de DBO para as três áreas experimentais e nos pontos de controle, durante as três campanhas de monitoramento.	58
Figura 25: Concentrações de PT nas áreas experimentais, nos pontos de controle e os limites.....	61
Figura 26: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal nas áreas experimentais e nos pontos de controle.	65
Figura 27: Concentrações de E. Coli durante as três campanhas de monitoramento por área experimental e nos pontos de controle.....	72
Figura 28: Concentrações de Sulfetos observadas nas três campanhas de monitoramento por área experimental, e nos pontos de controle.....	75
Figura 29: Coleta de sedimento na primeira campanha de monitoramento.	78
Figura 30: Coleta do material sedimentar com o auxílio do tubo cilíndrico em acrílico na segunda campanha.....	79
Figura 31: Transferência do material coletado para os frascos devidamente identificados na segunda campanha.....	79
Figura 32: Transferência do material coletado para os sacos ziplock devidamente identificados para envio ao laboratório na terceira campanha de monitoramento.	80

Figura 33: Teor de umidade na camada superficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.	88
Figura 34: Teor de umidade na camada subsuperficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.	90
Figura 35: Teor de sólidos na camada superficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.	92
Figura 36: Teor de sólidos na camada subsuperficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.	93
Figura 37: Teor de Matéria Orgânica na camada superficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.	95
Figura 38: Teor de Matéria Orgânica na camada subsuperficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.	97
Figura 39: Concentrações de COT na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle.	99
Figura 40: Concentrações de COT na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle.	100
Figura 41: Concentrações de Fósforo Total na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as três campanhas de monitoramento.	102
Figura 42: Concentrações de Fósforo Total na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as três campanhas de monitoramento.	103
Figura 43: Concentrações de NKT na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	105

Figura 44: Concentrações de NKT na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	107
Figura 45: Concentrações de Sulfetos (Enxofre) na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	108
Figura 46: Concentrações de Sulfetos (Enxofre) na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	110
Figura 47: Concentrações de <i>E. Coli</i> na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	112
Figura 48: Concentrações de <i>E. Coli</i> na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	113
Figura 49: Concentrações de chumbo na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	115
Figura 50: Concentrações de chumbo na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	116
Figura 51: Concentrações de cobre na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	119
Figura 52: Concentrações de cobre na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	120
Figura 53: Concentrações de zinco na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	121

Figura 54: Concentrações de zinco na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.	123
Figura 55: Definição do Marco base utilizado como referência.	125
Figura 56: Aferição da altimetria do topo da estaca na primeira campanha de monitoramento.	126
Figura 57: Aferição da altimetria do topo da estaca na segunda campanha de monitoramento.	126
Figura 58: Aferição da altimetria do topo da estaca na terceira campanha de monitoramento.	127
Figura 59: Aferição da altura da camada de lodo em relação ao nível d'água com a utilização do disco de acrílico.	127
Figura 60: Localização dos pontos de monitoramento da altitude ortométrica do fundo lagunar.	128
Figura 61: Altimetria do fundo lagunar na área de aplicação da tecnologia Mudball.	131
Figura 62: Altimetria do fundo lagunar na área de aplicação da tecnologia Mudball + Pulmão	132
Figura 63: Altimetria do fundo lagunar da área experimental com aplicação da tecnologia Biocaixa.	133

Lista de Tabelas

Tabela 1: Coordenadas dos pontos de monitoramento de qualidade da água na Lagoa de Piratininga.	18
Tabela 2: Parâmetros e referência metodológica de análise.....	19
Tabela 3: Coordenadas dos pontos de monitoramento da qualidade do sedimento na Lagoa de Piratininga.	22
Tabela 4: Parâmetros de Qualidade do Sedimento e Metodologia de Referência	24
Tabela 5: Valores de referência para parâmetros de qualidade da água segundo a resolução CONAMA nº 357/2005.....	30
Tabela 6: Limites de quantificação fornecidos pelo laboratório por parâmetro analisado.....	31
Tabela 7: Valores de pH observados durante as três campanhas de monitoramento por área experimental, nos controles e as respectivas médias.	39
Tabela 8: Valores tabulados de turbidez aferidos <i>in situ</i> para as três áreas experimentais, para os controles e os valores médios por área experimental.	43
Tabela 9: Valores da transparência da coluna d'água por área experimental, nos controles e respectivas médias observadas durante as três campanhas de monitoramento.	46
Tabela 10: Valores de OD aferidos durante as três campanhas de monitoramento para todas as áreas experimentais, os pontos de controle e as respectivas médias	49
Tabela 11: Concentrações de COT nas áreas experimentais, nos pontos de controle e as respectivas médias por área experimental.....	54
Tabela 12: Concentrações de DBO durante as três campanhas de monitoramento nas áreas experimentais, nos pontos de controle e as médias por área.....	57
Tabela 13: Concentrações de PT medidas nas três campanhas de monitoramento nas áreas experimentais, nos pontos de controle e as médias.....	60
Tabela 14: Concentração de Nitrogênio Amoniacal nas áreas experimentais, nos pontos de controle e as médias por área nas três campanhas.....	64
Tabela 15: Concentrações de Nitrato observadas nas três campanhas de monitoramento por área experimental, ponto de controle e média.	68

Tabela 16: Concentração de E. Coli durante as três campanhas de monitoramento por área experimental, nos pontos de controle e médias.....	70
Tabela 17: Concentrações de Sulfeto durante as três campanhas de monitoramento por área experimental, nos pontos de controle e médias.....	74
Tabela 18: Limites de quantificação pelo laboratório de análises por parâmetro.	78
Tabela 19: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada superficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Biocaixas.	82
Tabela 20: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada subsuperficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Biocaixas.	83
Tabela 21: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada superficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Mudballs.	84
Tabela 22: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada subsuperficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Mudballs.	85
Tabela 23: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada superficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Mudballs associada com um aerador mecânico.	86
Tabela 24: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada subsuperficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Mudballs associada com um aerador mecânico.	87
Tabela 25: Grade de coordenadas UTM, e elevação do fundo lagunar em relação ao nível do mar do marco do IBGE Imbituba, e a diferença altimétrica observada entre as campanhas de monitoramento nas áreas experimentais.....	129

1. APRESENTAÇÃO

A empresa HIDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL EIRELI, com sede à Rua Joaquim Nabuco nº 15/304, Bairro Cidade Baixa, CEP 90050-340 em Porto Alegre – RS, vem por meio deste, apresentar o RELATÓRIO TÉCNICO PARCIAL referente à execução do “PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA, DA QUALIDADE DO SEDIMENTO E DA ALTURA DA CAMADA DE LODO DA LAGOA DE PIRATININGA DURANTE A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS PARA A REDUÇÃO DA CAMADA DE LODO DA LAGOA DE PIRATININGA”.

Este RELATÓRIO TÉCNICO refere-se ao contrato SMO/UGP/CAF nº 008/2021 celebrado entre a empresa HIDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL EIRELI (doravante denominada de HYDROSCIENCE) e a SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS DA PREFEITURA DE NITERÓI – SMO (CONTRATANTE) originado do processo licitatório Tomada de preço Nº 001/2021.

A seguir consta a descrição do escopo do trabalho bem como das metodologias utilizadas para a execução dos serviços em campo, das amostragens de qualidade de água, de sedimentos e da aferição da altura de lodo realizadas na lagoa de Piratininga. As metodologias utilizadas seguem métodos padronizados e foram executadas por profissionais devidamente treinados e qualificados para a realização das amostragens.

2. ESCOPO DO SERVIÇO

Os serviços contratados incluem o monitoramento de qualidade da água, da qualidade do sedimento e da altitude ortométrica da camada de lodo em três áreas experimentais. O monitoramento foi realizado em três campanhas, a saber:

- Primeira campanha: pré-experimento, realizada antes do início dos experimentos como referência para avaliação das tecnologias;
- Segunda campanha: realizada na metade do período estipulado para o experimento;

- Terceira campanha: realizada após a finalização dos experimentos.

No monitoramento da qualidade da água e sedimento foram realizadas coletas em 3 pontos de cada área experimental e em um ponto de controle referente a cada experimento, totalizando 9 pontos no interior das áreas experimentais e 3 pontos de controle.

3. INTRODUÇÃO

A lagoa de Piratininga compõe o sistema ambiental da Região Oceânica do município de Niterói, Região Metropolitana do Rio de Janeiro, posicionada em um contexto geomorfológico de sistemas lagunares isolados por cordões litorâneos (FONTENELLE & CORRÊA, 2014).

O bairro de Piratininga é de grande importância do ponto de vista ambiental, é considerado um grande polo de turismo e lazer no Estado do Rio de Janeiro. A lagoa de Piratininga está inserida no bioma Mata Atlântica, sendo considerada um *hotspot*: região de elevada biodiversidade, mas que estão sob constante ameaça e pressão extrema (SILVA et al., 2021).

A área que compreende o sistema lagunar e a área costeira adjacente é um dos mais importantes polos de turismo e lazer da cidade. Porém, ao longo das últimas décadas, a lagoa vem sofrendo um acelerado processo de urbanização e antropização, que resultou na transformação de diversas características originais do local. Tais modificações foram causadas principalmente por intervenções antrópicas no sistema lagunar e também pelo maior aporte de esgoto doméstico lançado *in natura* nos corpos d'água, pela população que foi se estabelecendo em seu entorno (Projconsult, 2015).

Os principais problemas que o sistema lagunar enfrenta hoje são a perda de espelho d'água e a qualidade precária das águas devido ao elevado despejo de esgoto doméstico “in natura”. Portanto, a Lagoa de Piratininga apresenta problemas decorrentes da eutrofização com ocorrência frequente de baixos níveis de oxigênio na água. Além dos impactos diretos, as modificações e obras na bacia hidrográfica resultaram no aumento

da descarga de sólidos, acelerando o processo de assoreamento do sistema (FONTENELLE & CORRÊA, 2014).

Em 2018 a Hydrosience realizou o monitoramento da Lagoa de Piratininga ao longo de um ano, assim como de todos tributários da bacia. O estudo, com base em campanhas amostrais, demonstrou o grau de eutrofização da Lagoa e cargas de poluentes aportadas da bacia. Adicionalmente, foram realizadas modelagens matemáticas para simular cenários de implementação de obras estruturais e ações de saneamento na bacia que resultassem na redução de cargas e melhorias da qualidade da água.

Diante desse cenário, a Prefeitura de Niterói passou a buscar tecnologias e métodos para recuperação da qualidade da água e redução da camada de lodo (sedimento) na Lagoa de Piratininga. Para tanto, a Prefeitura elaborou um termo de referência para testar a eficiência de tecnologias com potencial para reduzir a camada de lodo pré-selecionadas a partir da chamada TP nº 001/2021 realizada em 16/08/2021.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Levantar dados em campo de qualidade da água, qualidade do sedimento e altitude ortométrica da camada de lodo, para auxiliar e subsidiar a tomada de decisão dos gestores da lagoa de Piratininga em relação aos experimentos de recuperação ambiental implementados na lagoa.

4.2. Objetivos Específicos

- I. Avaliar a qualidade da água da lagoa de Piratininga, para as três áreas experimentais, tendo como referência pontos de controle para cada área;
- II. Avaliar a qualidade do sedimento da lagoa de Piratininga, para as três áreas experimentais, tendo como referência pontos de controle para cada área experimental. A coleta de sedimento foi realizada em duas profundidades, superfície (0-10 cm) e sub-superfície (10-30 cm);

- III. Determinar a altitude ortométrica do início da camada de lodo em cada área experimental e nos respectivos controles;
- IV. Discutir e interpretar os resultados dos monitoramentos realizados e avaliar as eficiências das tecnologias testadas quanto à redução da camada de lodo (sedimento) na lagoa de Piratininga;

5. ÁREA DE ESTUDO

O município de Niterói está localizado na porção oriental da Baía de Guanabara e tem como limites ao norte o município de São Gonçalo, a leste o município de Maricá, ao sul o oceano Atlântico e a oeste a baía de Guanabara (Figura 1). De acordo com o último censo realizado pelo IBGE (IBGE, 2010), Niterói apresentava uma densidade demográfica de 3.640,8 hab/km², com um total de 487.562 habitantes e uma área territorial de 133.757 km². Para o ano de 2021, a população estimada no município é de 516.981 habitantes¹.

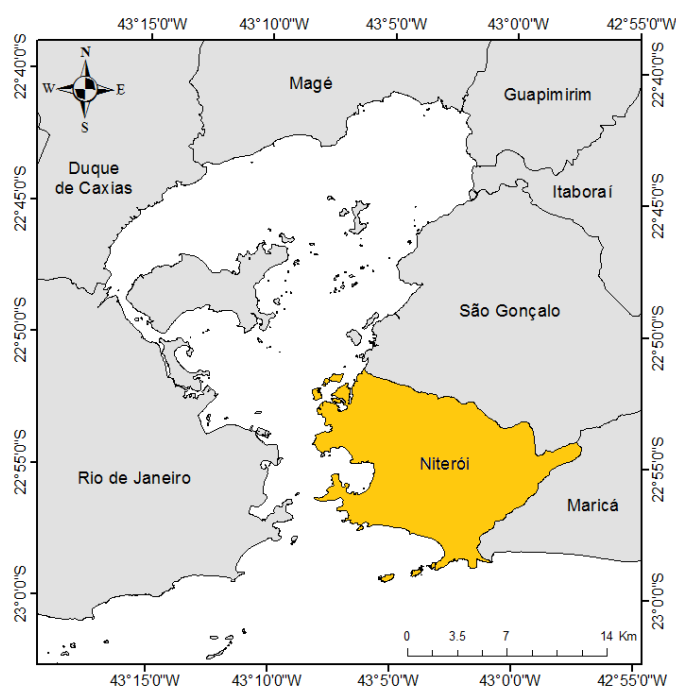


Figura 1: Localização do município de Niterói e cidades ao entorno.

¹ Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/niteroi/panorama> >

A área de estudo está localizada na porção oeste da lagoa de Piratininga (Figura 2), próximo ao túnel do Tibau.



Figura 2: Localização das Áreas Experimentais e Pontos de Monitoramento na Lagoa de Piratininga, no município de Niterói/RJ.

A área experimental próxima da costa sul da lagoa, referente à tecnologia BIOCAIXA – SISNATE, apresenta uma área de 50x50 m, com três pontos de monitoramento interno (P7, PC e P2) e um ponto de controle (C2).

As áreas experimentais das tecnologias MUDBALL e MUDBALL + PULMÃO estão situadas na porção noroeste da lagoa, cada área experimental apresenta três pontos de monitoramento e um de controle, sendo A1A, A1B, A1C e C1 (Mudball) e A2A, A2B, A2C e C2 (Mudball + pulmão), com área experimental de 20x20 m.

6. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, o programa de monitoramento da lagoa foi dividido em três subprogramas: **i) subprograma de monitoramento da qualidade da**

água; ii) subprograma de monitoramento da qualidade do sedimento; e iii) subprograma de monitoramento para a avaliação da camada de lodo através da medição da altitude ortométrica do fundo lagunar.

Nos tópicos que seguem, será apresentada a metodologia de trabalho de cada subprograma de monitoramento.

6.1. Subprograma de Monitoramento da Qualidade da Água

O monitoramento ocorreu em três áreas de tratamento que foram definidas pelas partes que estão realizando os experimentos. Em cada uma dessas áreas foi realizada a amostragem de três pontos de monitoramento, totalizando nove pontos amostrais nas áreas dos experimentos. Em complementação, foram definidas três áreas de controle para monitoramento, sendo em cada área controle monitorado um ponto. Ao final de uma campanha de monitoramento foram obtidas 12 amostras para avaliação da qualidade da água.

A seguir, a Figura 3 apresenta a localização das áreas experimentais e dos pontos de controle onde foram realizadas as coletas de água para o monitoramento.

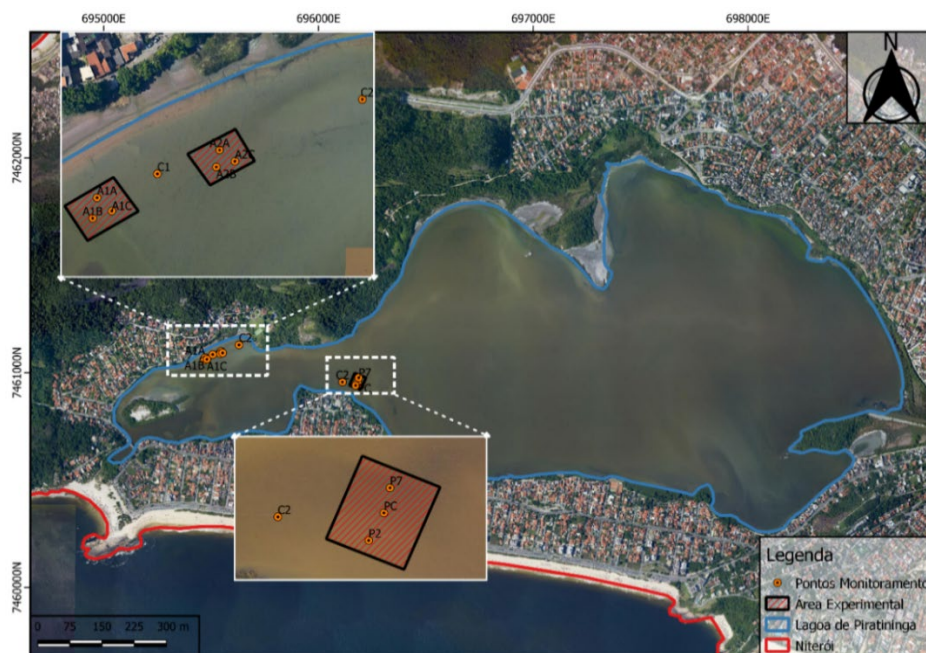


Figura 3: Localização dos pontos de monitoramento de qualidade da água na Lagoa de Piratininga.

A Tabela 1 apresenta as coordenadas (Longitude e Latitude) dos pontos que foram monitorados.

Tabela 1: Coordenadas dos pontos de monitoramento de qualidade da água na Lagoa de Piratininga.

Área Experimental	Ponto	Longitude	Latitude
Biocaixa Sisnate	PC	696183.420	7460959.380
Biocaixa Sisnate	P2	696173.150	7460940.830
Biocaixa Sisnate	P7	696187.540	7460976.340
Controle	C2	696111.748	7460956.741
MudBall	A1A	695471.726	7461070.491
MudBall	A1B	695469.131	7461058.287
MudBall	A1C	695480.563	7461062.635
Controle	C1	695507.689	7461084.732
MudBall + Pulmão	A2A	695544.787	7461098.937
MudBall + Pulmão	A2B	695542.822	7461088.799
MudBall + Pulmão	A2C	695553.891	7461092.212
Controle	C2	695629.862	7461129.150

A execução da campanha foi realizada por meio da utilização de um barco de madeira de pequeno porte e de baixo calado, com a utilização de remos e motor de popa do tipo rabeta.

As amostras foram coletadas pela empresa Hydrosience com a mesma metodologia em cada ponto amostral, sendo que uma alíquota foi entregue para cada empresa/instituição responsável pelo experimento referente ao ponto de coleta em questão. As amostragens foram realizadas sempre na presença da equipe fiscal do contrato e da empresa/instituição executora do experimento.

Para avaliação da qualidade da água, as amostras foram coletadas na região superficial da coluna da água, com auxílio de balde de inox, conforme proposto no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB & ANA, 2011).

As análises *in situ* contemplaram os seguintes parâmetros físico-químicos: **Temperatura da água (°C)**, **pH**, **Turbidez (NTU)**, **Salinidade (ppt)**, **Oxigênio Dissolvido (mg/L)** e **Transparência da coluna da água (m)**. A determinação desses parâmetros foi realizada por meio de uma sonda multiparamétrica (HOBIBA U-50) e de um disco de Secchi, respectivamente, conforme Figura 4.

Em laboratório, foram analisados os seguintes parâmetros: **Carbono Orgânico Total** (mg/L), **Cádmio** (mg/L), **Cobre Dissolvido** (mg/L), **Coliformes Totais** (NMP/100mL), **Chumbo** (mg/L), **DBO** (mg/L), **DQO** (mg/L), **Escherichia Coli** (NMP/100mL), **Fósforo Total – Fosfatos** (mg/L), **Fósforo Total Dissolvido** (mg/L), **Níquel** (mg/L), **Nitrogênio Amoniacal** (mg/L), **Nitrato** (mg/L), **Nitrito** (mg/L), **Sulfeto** (mg/L) e **Zinco** (mg/L). Na tabela 2 estão sumarizados os parâmetros monitorados com indicação da metodologia de referência aplicada. As análises foram realizadas de acordo com a metodologia de referência proposta pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ª Ed. E por outros métodos padronizados.

A



B



Figura 4: A) Sonda Multiparamétrica HORIBA U-50 e B) Disco de Secchi

Tabela 2: Parâmetros e referência metodológica de análise

Parâmetro	Unidade	Volume (mL)	Preservante	Validade*	Método de Referência
Carbono Orgânico Total	mg/L	200	4°C +/- 2°C	7 dias	Farmacopeia Brasileira, 6ª edição
Coliformes Totais	NMP/100mL	100	Tiosulfato de Sódio	24 horas	SMEWW, 23ª Ed – 9221-A
DBO	mg/L	1000	Apenas Refrigeração	48 horas	SMEWW, 23ª Ed – 5210-B
DQO	mg/L	100	H2SO4 até ph <2	14 dias	SMEWW, 23ª Ed – 5220-D
Escherichia coli	NMP/100mL	100	Tiosulfato de Sódio	24 horas	SMEWW, 23ª Ed – 9221-A

Fósforo Total – Fosfato	mg/L	100	H2SO4 até pH <2	28 dias	SMEWW, 23ª Ed – 4500-P B e 4500-P E
Fósforo Dissolvido Total	mg/L	100	H2SO4 até pH <2	28 dias	SMEWW, 23ª Ed – 4500-P B e 4500-P E
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	1000	H2SO4 até pH <2	28 dias	SMEWW, 23ª Ed – 4500-NH3 B e 4500-NH3 D
Nitrato	mg/L	100	Apenas Refrigeração	48 horas	SMEWW, 23ª Ed – 4500-NO3 E
Nitrito	mg/L	100	Apenas Refrigeração	48 horas	SMEWW, 23ª Ed – 4500-NO2 B
Sulfeto	mg/L	1000	Acetado de Zinco e NaOH	7 dias	SMEWW, 23ª Ed – 4500-S-2 e 4500-S2-F
Cádmio	mg/L	500	HNO3 até pH <2	180 dias	SMEWW, 23ª Ed – 3500-Cd
Chumbo	mg/L	500	HNO3 até pH <2	180 dias	SMEWW, 23ª Ed – 3500-Pb A
Cobre Dissolvido	mg/L	500	HNO3 até pH <2	180 dias	SMEWW, 23ª Ed – 3500-Cu A
Níquel	mg/L	500	HNO3 até pH <2	180 dias	SMEWW, 23ª Ed – 3500-Ni
Zinco	mg/L	500	HNO3 até pH <2	180 dias	SMEWW, 23ª Ed – 3500-Zn A

* A validade da amostra é referente ao tempo para a realização do ensaio a contar a partir do momento da coleta.

Após a realização das coletas as amostras foram acondicionadas em frascos apropriados e identificados. O laboratório responsável pela execução das análises foi o responsável pelo fornecimento das frascarias e das fichas de identificação, com registro de todas as informações de campo (<http://www.qualylab.com.br/>). O material coletado foi armazenado em caixas térmicas resfriadas com gelo, e no final do período de coleta as amostras foram entregues para análise, respeitando os prazos de validade e mantendo a confiabilidade dos resultados.

O controle de qualidade da amostragem pode ser obtido através de “Branco”. Para o presente estudo, foram utilizados o *Branco de Viagem* e o *Branco de Campo*, conforme orientação do **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras**. A metodologia

proposta pelo Guia é utilizando água deionizada. O Branco de Campo é usado para verificação de contaminações ambientais que podem ocorrer durante a coleta. O branco de Viagem verifica a ocorrência de contaminação durante o transporte (laboratório – campo – laboratório).

6.2. Subprograma de Monitoramento da Qualidade do Sedimento

O monitoramento ocorreu em três áreas de tratamento que foram definidas pelas partes que estão realizando os experimentos. Em cada uma dessas áreas foram realizadas a amostragem de três pontos de monitoramento, totalizando nove pontos amostrais nas áreas dos experimentos. Em complementação, foram definidas três áreas de controle para monitoramento, sendo em cada área de controle um ponto de monitoramento. Ao final de uma campanha de monitoramento foram obtidas 24 amostras para avaliação da qualidade do sedimento, visto que as amostras foram coletadas em duas profundidades distintas (superfície (0-10cm) e subsuperfície (10-30cm)). A seguir, a Figura 5 apresenta a localização das áreas experimentais e dos pontos de controle onde foram realizadas as coletas de sedimento para o monitoramento.



Figura 5: Localização dos pontos de monitoramento da qualidade do sedimento na Lagoa de Piratininga.

A tabela 3 apresenta as coordenadas dos pontos de monitoramento do sedimento.

Tabela 3: Coordenadas dos pontos de monitoramento da qualidade do sedimento na Lagoa de Piratininga.

Área Experimental	Ponto	Longitude	Latitude
Biocaixa Sisnate	PC	696183.420	7460959.380
Biocaixa Sisnate	P2	696173.150	7460940.830
Biocaixa Sisnate	P7	696187.540	7460976.340
Controle	C2	696111.748	7460956.741
MudBall	A1A	695471.726	7461070.491
MudBall	A1B	695469.131	7461058.287
MudBall	A1C	695480.563	7461062.635
Controle	C1	695507.689	7461084.732
MudBall + Pulmão	A2A	695544.787	7461098.937
MudBall + Pulmão	A2B	695542.822	7461088.799
MudBall + Pulmão	A2C	695553.891	7461092.212
Controle	C2	695629.862	7461129.150

As amostras foram coletadas com a mesma metodologia em cada ponto amostral pela empresa Hydrosience, sendo que uma alíquota foi entregue para cada empresa/instituição que está executando os experimentos. As amostragens foram

realizadas sempre na presença da equipe de fiscais do contrato e da empresa/instituição que está executando o experimento.

Para avaliação da qualidade do sedimento na área onde estão sendo realizados os experimentos, as amostras foram coletadas com auxílio de um amostrador do tipo *Gravity Corer (Mondsee Corer- UWITEC)* (Figura 6). Esse tipo de amostrador permite realizar uma avaliação da camada vertical de sedimento do sistema, com obtenção de frações sedimentares nas regiões de superfície e subsuperfície. Deste modo, para a execução deste estudo, foram adotadas as seguintes profundidades de amostragem:

- Camada superficial, até os primeiros 10 cm de profundidade;
- Camada subsuperficial, localizada entre 10 e 30 cm de profundidade;



Figura 6: Amostrador Gravity Corer utilizado para amostragem de sedimento

Os parâmetros de qualidade do sedimento, em cada uma das camadas, contemplam as seguintes análises físico-químicas: **Carbono Orgânico Total (%)**, **Cobre (mg/Kg)**, **Coliformes Totais (NMP/100mL)**, **Chumbo (mg/Kg)**, **Escherichia Coli (NMP/100mL)**, **Fósforo Total (mg/Kg)**, **Sulfeto (mg/Kg)**, **Nitrogênio Kjeldahal Total (mg/Kg)**, **Teor de Umidade (%)**, **Matéria Orgânica (%)** e **Zinco (mg/Kg)**. Na Tabela 4 estão sumarizados os parâmetros monitorados com indicação da metodologia de referência

aplicada. As análises foram realizadas de acordo com a metodologia de referência proposta pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ª Ed. e por outros métodos padronizados.

Tabela 4: Parâmetros de Qualidade do Sedimento e Metodologia de Referência

Parâmetro	Unidade	Volume Frasco (mL)	Preservante	Validade*	Método de Referência
Carbono Orgânico Total	%	200	Refrigerar < 6°C	7 dias	Farmacopeia Brasileira, 6ª edição
Coliformes Totais	NMP/100mL	100	Tiosulfato de Sódio	24 horas	SMEWW 23ª Ed. 9223 B
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	Tiosulfato de Sódio	24 horas	SMEWW 23ª Ed. 9221 B
Fósforo Total	mg/Kg	100	H2SO4 até pH <2	28 dias	SMEWW 23ª Ed. 4500 P B e E
Sulfeto	mg/Kg	1000	Acetato de Zinco e NaOH	7 dias	SMEWW 23ª Ed. 4500-S-2 C e F
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/Kg	1000	H2SO4 até pH <2	28 dias	SMEWW 23ª Ed. 4500-Norg C
Nitrogênio Total	Mg/Kg		H2SO4 até pH <2	48 horas	SMEWW 23ª Ed. 4500 – N A
Teor de Umidade	%		Apenas refrigeração	2 dias	ASTM D2216-19
Matéria orgânica total	%	150	Apenas Refrigeração	24 horas	ABNT NBR 13600: 1996
Chumbo	mg/Kg	500	HNO3 até pH < 2	180 dias	US EPA 3051A:2007
Cobre	mg/Kg	500	HNO3 até pH < 2	180 dias	US EPA 3051A:2007
Zinco	mg/Kg	500	HNO3 até pH < 2	180 dias	US EPA 3051A:2007

*A validade da amostra é referente a partir da coleta, para a realização do ensaio informado.

Após a realização das coletas, as mesmas foram acondicionadas em sacos ziplock, fornecidos pelo laboratório, o qual separou as alíquotas para cada análise listada na Tabela 4 por ponto, no laboratório.

O laboratório responsável pela execução das análises foi o responsável pelo fornecimento das frascarias e das fichas de identificação, com registro de todas as informações de campo (<http://www.qualylab.com.br/>). O material coletado foi armazenado em caixas térmicas resfriadas com gelo e no final do período de coleta as amostras foram entregues para análise, respeitando os prazos de validade e mantendo a confiabilidade dos resultados.

6.3. Subprograma de Monitoramento para Avaliação da Camada de Lodo através da Medição da Altitude Ortométrica do Fundo Lagunar.

Para medição da altitude ortométrica do fundo lagunar, em cada uma das áreas, foi utilizada a seguinte metodologia: (1) a bordo de uma embarcação, um disco com corda servirá para a determinação da profundidade (no momento da medição) do topo da camada de lodo; (2) a altimetria do topo da lama será definida precisamente utilizando Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS – *Global Navigation Satellite System*). Para realização das medições, foram utilizados 2 receptores GNSS RTK de dupla frequência L1/L2, com precisão estática horizontal de 3 mm + 0,4 ppm, e vertical de 5 mm + 0,5 ppm, equipados com transmissores de comunicação para frequência de Rádio UHF entre base e rover, *Bluetooth* entre controladora e receptor, e Celular para função N-trip. Foram utilizados acessórios básicos como tripé e bastão com nível para garantir a precisão na aquisição dos dados. Na Embarcação foi utilizado um compensador de ondas para reduzir a influência de possível balanço da embarcação em função do movimento da água.

Na Figura 7 é apresentado um esboço, para fins ilustrativos, relacionado ao método, que foi cientificamente validado por Fulhage *et al.* (2005) e Morgan (2010). A Figura 8 apresenta o esquema de medidas relacionados ao disco.

A localização de cada ponto amostrado foi aferida por receptores GNSS geodésicos (de dupla frequência – L1/L2) que garantirá precisão centimétrica tanto para o posicionamento como para a altimetria, ambas relacionadas ao topo da camada de lama. Para tal, foi utilizado o método de posicionamento relativo estático, que consiste na utilização de dois receptores GNSS geodésicos, onde um é posicionado sobre um ponto com referencial conhecido (geralmente um marco do IBGE), denominado de base, e o outro, é posicionado sobre o ponto de coleta (INCRA, 2013).

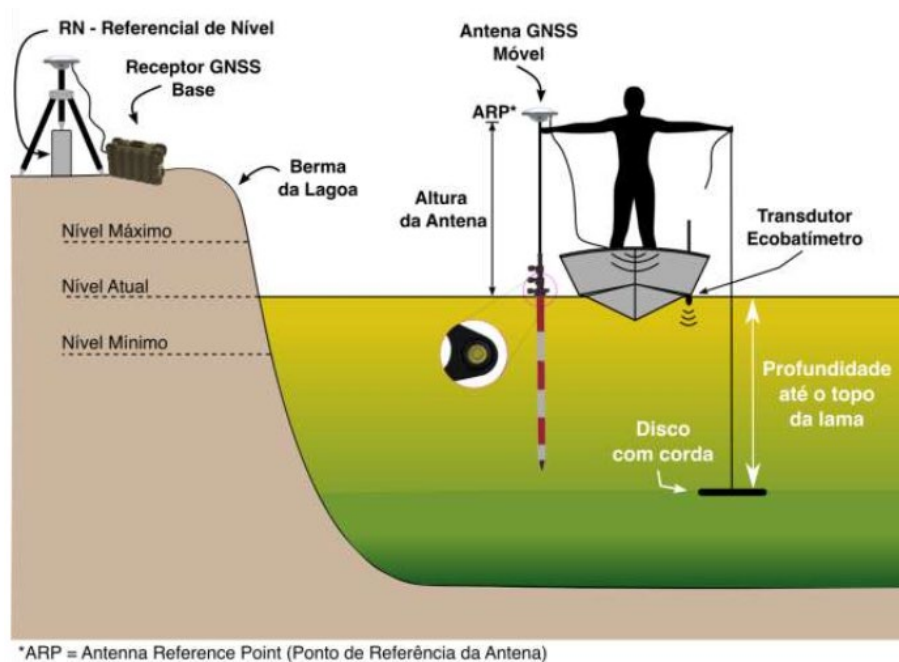


Figura 7: Esboço do método de levantamento da espessura e altitude ortométrica da superfície da camada de lodo da Lagoa.

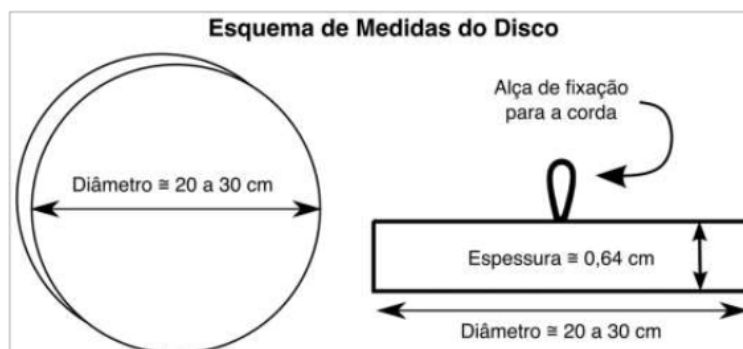


Figura 8: Medidas para confecção do disco

O receptor GNSS móvel foi posicionado na linha da água, no momento da medição batimétrica, permitindo identificar com precisão, após pós-processamento dos dados, a posição do ponto e a altitude elipsoidal do nível da água.

A altitude elipsoidal do topo da lama foi definida subtraindo-se do valor da altitude elipsoidal do nível da água, o valor da profundidade até o topo da lama (obtido com o disco com corda). Em seguida, foi realizada a transformação de altitude elipsoidal (referenciada ao elipsoide de revolução do SGR80) para altitude ortométrica (referenciada as altitudes do Sistema Geodésico Brasileiro no Datum de Imbituba).

Durante o experimento foram feitas três campanhas de medições para averiguar a altitude ortométrica do topo da camada de lama. A primeira campanha ocorreu antes do início dos experimentos (mês 01), a segunda foi realizada três meses após o início da aplicação das tecnologias (mês 03), e a terceira campanha foi realizada seis meses após o início dos experimentos (mês 06).

6.3.1. DETALHES DO PROCESSAMENTO DOS DADOS ORIUNDOS DE RECEPTORES GNSS

Após os levantamentos, todos os dados relativos ao GNSS foram pós processados, para a obtenção de dados acurados, onde foram mitigados os diversos tipos de erros que podem comprometer o levantamento, por exemplo, a não correção do sinal GNSS, que é refratado pela ionosfera e troposfera. Os dados do receptor móvel foram corrigidos utilizando como referencial os dados adquiridos, simultaneamente, pelo receptor base, o qual esteve durante todo o levantamento sobre um ponto com posição e altimetria conhecidos.

Após o processamento dos dados GNSS, o dado de saída tem precisão de 1 a 10 mm, levando-se em consideração condições excelentes de aquisição de dados, com DOP (Dillution of Precision) inferior a 2. Como as condições ambientais tem grande influência na precisão final dos dados, os valores de precisão supracitados podem chegar à casa centimétrica. Os dados foram referenciados ao elipsoide de referência (GRS80 –

Geodetic Reference System 1980), adotado pelo sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), oficializado como referencial geodésico para o SGB (Sistema Geodésico Brasileiro) desde 2005. Para a determinação da altitude ortométrica o IBGE (relativa ao nível do mar de Imbituba), faz-se necessário o conhecimento da ondulação geoidal no local, a qual deve ser descontada da altitude elipsoidal. A Figura 9 mostra uma ilustração da relação entre Geoide, Elipsoide e a superfície terrestre (Relevo).

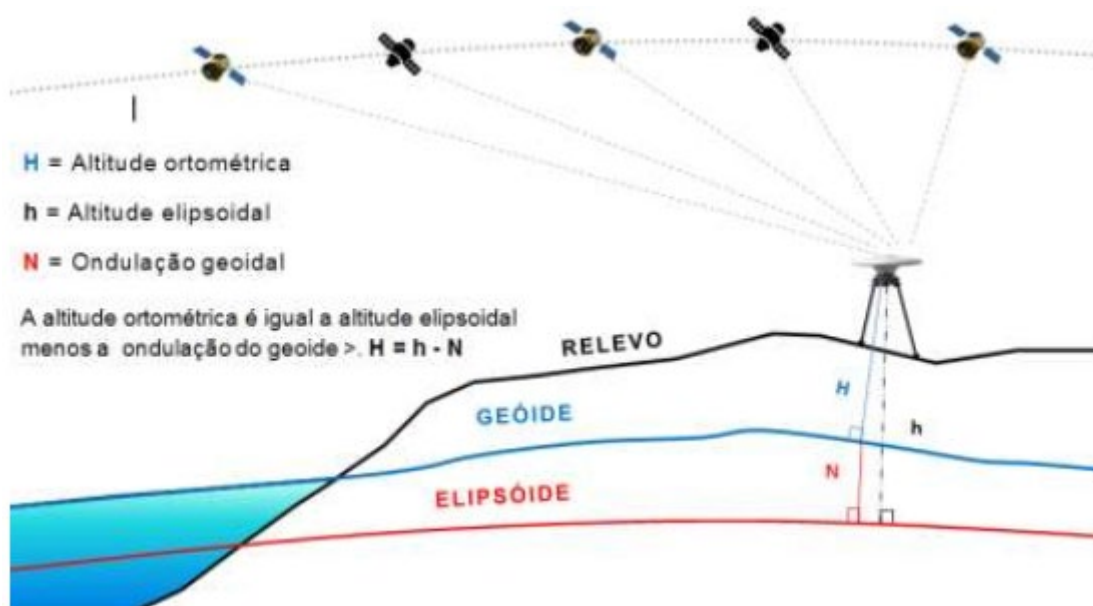


Figura 9: Relação entre Elipsoide, Geoide e o Relevo Local.

Os dados de ondulação geoidal para transformação de altitudes elipsoidais em altitude ortométricas (vinculadas ao geóide) foram obtidas através do serviço online de pós-processamento de dados GNSS do IBGE, onde são solicitados os arquivos brutos do receptor derivados do levantamento dos pontos com GNSS, a latitude e a longitude, e submetidos ao interpolador do modelo hgeoHNOR2020.

Nivelamentos de precisão definidos em pontos adjacentes à lagoa de Piratininga, o trabalho de Dutra de Andrade (2017) foi utilizado como referência para redução dos valores de profundidade ao nível do mar (NM) da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) no Rio de Janeiro (ilha Fiscal). A Figura 10 mostra as relações de altitude ortométrica entre as diversas referências de nível comumente utilizadas.

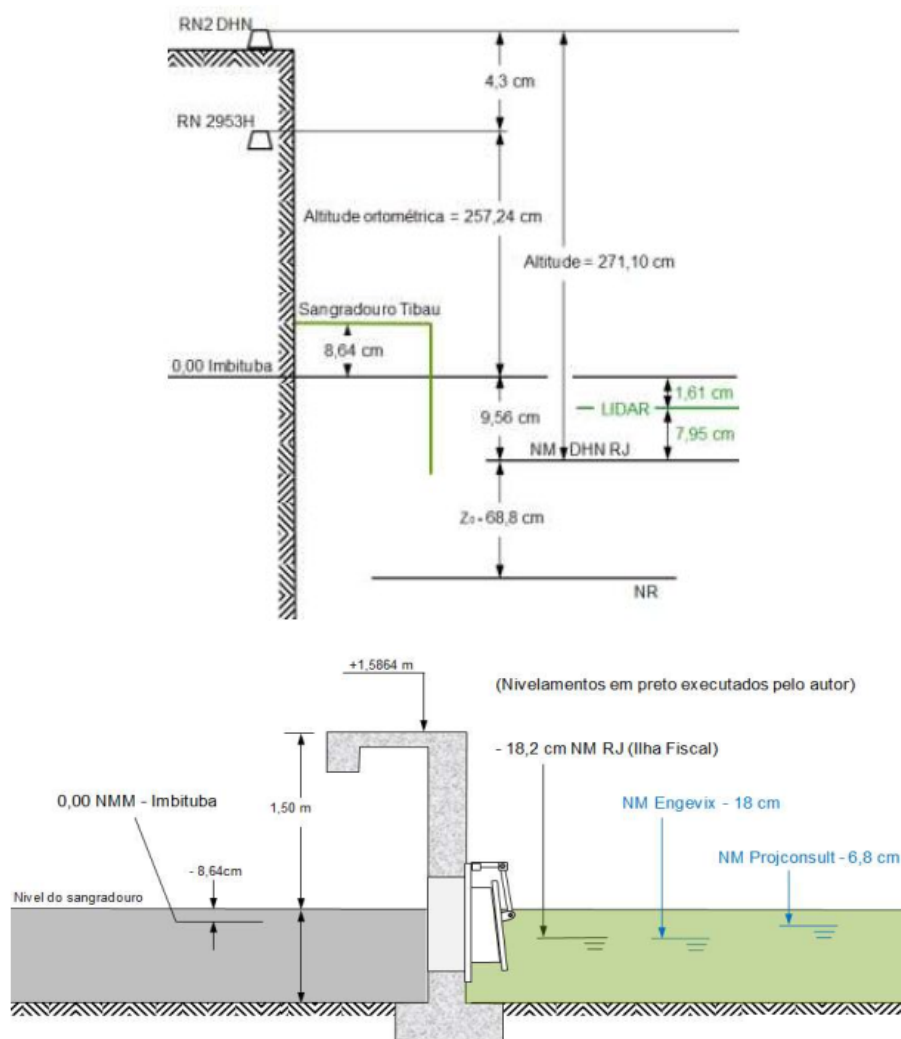


Figura 10: Relação de altitude entre os principais níveis de referência e aqueles obtidos na lagoa de Piratininga. (Dutra de Andrade, 2017).

7. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados da terceira campanha de monitoramento de qualidade de água, da qualidade do sedimento e da altitude ortométrica da camada de lodo para os pontos pré-determinados para o monitoramento. Os resultados serão apresentados por meio de uma análise comparativa dos resultados obtidos nas três campanhas de monitoramento por área experimental.

7.1. Monitoramento da Qualidade da Água

As variáveis estabelecidas para analisar e acompanhar a qualidade da água na Lagoa de Piratininga abrangem os principais parâmetros da CONAMA 357/05 para águas salobras.

A avaliação dos parâmetros é realizada de acordo com os valores de referência para as classes 1 e 2, estipuladas pela resolução CONAMA 357/05. A Tabela 5 apresenta os valores de referência para os parâmetros avaliados no presente estudo.

Tabela 5: Valores de referência para parâmetros de qualidade da água segundo a resolução CONAMA nº 357/2005.

Parâmetro	Unidade	Classe 1	Classe 2
Oxigênio Dissolvido	mg/L de O	$\geq 5,0$	$\geq 4,0$
Carbono Org. Total	mg/L de C	$\leq 3,0$	$\leq 5,0$
pH	--	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
N Amoniacal	mg/L de N	0,40	0,70
Nitrato	mg/L de N	0,40	0,70
Nitrito	mg/L de N	0,07	0,20
Fósforo Total	mg/L de P	0,124	0,186
Coliformes Termotolerantes	NMP	≤ 1.000	≤ 2.500
Sulfetos (H ₂ S)	mg/L de S	0,002	0,002
Cádmio	mg/L de Cd	0,005	0,04
Chumbo	mg/L de Pb	0,01	0,21
Cobre Dissolvido	ug/L de Cu	0,005	7,80
Níquel	ug/L de Ni	0.025	74,0
Zinco	Mg/L de Zn	0,09	0,12

A Tabela 6 apresenta os limites de quantificação de acordo com o método de análise do laboratório.

Tabela 6: Limites de quantificação fornecidos pelo laboratório por parâmetro analisado.

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação
DBO	mg/L	0,7
DQO	mg/L	5,4
Fósforo Dissolvido Total	mg/L	0,01
Fósforo Total (Fosfatos)	mg/L	0,01
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,05
Nitrato	mg/L	0,01
Nitrito	mg/L	0,01
Cádmio	mg/L	0,001
Chumbo	mg/L	0,01
Níquel	mg/L	0,02
Zinco	mg/L	0,05
Cobre Dissolvido	mg/L	0,005
Carbono Org. Total	mg/L	0,5
Sulfeto Total	mg/L	0,002

O objetivo do presente monitoramento é avaliar a situação da qualidade ambiental da água na Lagoa de Piratininga durante a execução dos experimentos. Foram coletadas amostras em três momentos distintos: pré-experimentos (1ª campanha), três meses após o início dos experimentos (2ª campanha), e seis meses após o início dos experimentos (3ª campanha).

As empresas/instituições estão realizando os experimentos em três áreas distintas, sendo que em que cada área está sendo aplicado uma tecnologia diferente. A UFF/Biotecam coordenam dois experimentos, um com a presença apenas da tecnologia de Mudballs, e outro uma associação de Mudballs com um aerador operando de forma contínua, denominado de Mudballs + Pulmão. Na área onde a Sisnate está coordenando o experimento, está sendo aplicada a tecnologia de Biocaixas.

A seguir serão apresentados os resultados do monitoramento dos parâmetros físico-químicos e biológicos que caracterizam a qualidade ambiental da água nas áreas experimentais, por tecnologia.

7.1.1. PANORAMA GERAL DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA AS TRÊS ÁREAS EXPERIMENTAIS

No presente tópico será apresentado um panorama geral dos principais parâmetros de qualidade da água monitorados durante as três campanhas, de forma espacial, identificando cada área de aplicação das tecnologias.

O monitoramento da qualidade da água foi realizado na fase pré-experimento (1ª Campanha), três meses pós-início dos experimentos (2ª Campanha), e seis meses pós-início dos experimentos (3ª Campanha).

A primeira campanha de monitoramento foi realizada no dia 09/03/2022 entre as 8:00h e 15:00h. A segunda campanha ocorreu no dia 05/07/2022 entre as 8:00h e 15:00h. A terceira campanha foi realizada no dia 04/10/2022 entre as 8:00h e 15:00h.

As amostras foram coletadas e analisadas seguindo as metodologias apresentadas na Tabela 2 do tópico 6.1 – Subprograma de Monitoramento da Qualidade da Água.

Os parâmetros medidos *in situ* foram os seguintes: Temperatura (°C), pH, Oxigênio Dissolvido – OD (mg/L O), Turbidez (NTU), Condutividade (mS/cm), Salinidade (ppt) e Transparência com o Disco de Secchi (m).

Para os demais parâmetros, amostras foram coletadas, devidamente armazenadas e encaminhadas para o laboratório responsável pelas análises.

O Anexo 1 apresenta todos os dados sumarizados e tabulados. O Anexo 2 apresenta os laudos laboratoriais das três campanhas de monitoramento.

As Figuras 11, 12, 13, 14, 15 e 16 apresentam a embarcação, os materiais utilizados para coleta e armazenamento da água, e um registro fotográfico das campanhas amostrais, respectivamente.



Figura 11: Embarcação, material de coleta e armazenamento de amostras utilizado durante as campanhas de monitoramento.



Figura 12: Registro da aferição dos parâmetros *in situ* com a sonda multiparâmetros Horiba U-50 e o disco de Secchi.

Ficha de Campo para Anotações de Parâmetros Medidos *in situ* de Qualidade da Água – Hydrosience

Projeto: _____ Tipo de coleta: () simples () composta Natureza: _____

Nº da Amostra (LAB)	Ponto	Profundidade (m)	Data	Hora	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)	Condutividade (mS/cm)	Salinidade (ppt)
16816-22B	A1A	0,3 m	05/07/2022	9:03	22,4	8,39	2,98	64,5	34,4	21,55
16819-22C	A1B	0,28 m	"	9:20	22,53	8,44	2,97	62,6	34,2	21,47
16823-22C	A1C	0,34 m	"	9:35	22,71	8,44	2,78	57,9	34	21,4
16813-22B	C1	0,31	05/07/2022	9:52	22,80	8,45	4,60	57,1	33,8	21,10
16817-22B	A2B	0,34	"	10:12	23,19	8,48	2,89	55,3	33,8	21,18
16814-22A	A2A	0,35	"	10:27	23,68	8,52	4,78	53,6	33,9	21,25
16815-22B	A2C	0,30	05/07/2022	10:43	23,96	8,51	2,70	53,4	34,0	21,28
16812-22B	C2	0,35	"	11:01	23,94	8,56	5,15	56,1	33,8	21,18

Responsável Técnico: _____ Condições Meteorológicas em 24h: () chuva () sol () nublado

Observações relevantes do dia da coleta:

Figura 13: Ficha de campo utilizada para registro das variáveis aferidas *in situ* durante as campanhas de monitoramento.



Figura 14: Transferência do material amostral para o frasco de armazenamento para envio ao laboratório de análises na primeira campanha de monitoramento.



Figura 15: Coleta de água e transferência para o frasco na segunda campanha de monitoramento.



Figura 16: Coleta de água e transferência para o frasco na terceira campanha de monitoramento.

a. Condutividade, Temperatura e Salinidade

Neste tópico serão apresentados os valores aferidos *in situ* de condutividade, temperatura e salinidade durante as três campanhas de monitoramento em cada área experimental e para os pontos de controle.

A condutividade elétrica em um corpo hídrico indica a capacidade da água de transmitir a corrente elétrica em função de substâncias dissolvidas, geralmente íons de ferro, manganês, potássio, cloro, cálcio, magnésio, etc (LIBÂNIO, 2010).

Na área experimental com a utilização da tecnologia de Biocaixas, os valores médios de condutividade elétrica na primeira, segunda e terceira campanha foram 31,7, 33,4 e 30,6 mS/cm, respectivamente. No ponto de controle os valores aferidos nas três campanhas foram 31,9, 33,5 e 30,4 mS/cm. Os valores não apresentaram alterações significativas no interior da área experimental e no ponto de controle nas três campanhas de monitoramento.

Na área experimental com a tecnologia de Mudballs, os valores médios aferidos durante as três campanhas foram 34,3, 34,2 e 29,9 mS/cm, no ponto de controle os valores foram 34,5, 33,8 e 29,3 mS/cm. Os valores não apresentaram alterações significativas no interior da área experimental e no ponto de controle nas três campanhas de monitoramento.

A área experimental que utiliza o aerador associado com Mudballs, os valores médios de condutividade elétrica na primeira, segunda e terceira campanha foram 34,2, 33,9 e 29,7 mS/cm, respectivamente. No ponto de controle os valores foram 33,6, 33,8 e 29,3 mS/cm. Os valores não apresentaram alterações significativas no interior da área experimental e no ponto de controle nas três campanhas de monitoramento.

O monitoramento da temperatura é importante pois esta está diretamente relacionada à velocidade das reações químicas, solubilidade das substâncias, concentração de oxigênio dissolvido, ao metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático, etc. A alteração da temperatura em corpos hídricos decorre em especial da insolação, e do lançamento de efluentes industriais (LIBÂNIO, 2010, VON SPERLING, 2018).

No monitoramento realizado na área de utilização da tecnologia de Biocaixas, a temperatura apresentou uma redução gradual da primeira até a terceira campanha nos valores aferidos. Os valores aferidos na primeira, segunda e terceira campanha foram 29,3 °C, 25,2 °C e 24,2 °C, respectivamente. No ponto de controle os valores aferidos nas três campanhas foram 29,6 °C, 26 °C e 23,9 °C.

Na área que utiliza apenas as Mudballs, a temperatura apresentou uma redução significativa entre a primeira campanha e as outras duas campanhas. Na primeira campanha, o valor médio na área foi de 37 °C, na segunda o valor foi de 22,5 °C e na terceira a média foi de 24,9 °C. As temperaturas no ponto de controle foram semelhantes àquelas aferidas na área experimental, na primeira campanha o valor foi de 36,3 °C, na segunda foi de 22,8 °C e na terceira foi de 24,8 °C.

Na área em que o aerador está associado aos Mudballs, a temperatura apresentou um padrão de variação semelhante à área sem o aerador. Na primeira campanha, o valor médio na área foi de 37,6 °C, na segunda o valor foi de 23,6 °C e na terceira a média foi de 25,1 °C. As temperaturas no ponto de controle foram semelhantes às temperaturas medidas na área experimental: na primeira campanha o valor foi de 37 °C, na segunda foi de 23,9 °C e na terceira foi de 25,2 °C.

Essa variabilidade na temperatura pode ser explicada devido à sazonalidade e mudanças do horário da coleta em cada área. A primeira campanha foi realizada no verão, a segunda campanha no inverno, e a terceira campanha foi realizada na primavera, após um período de chuvas e com o céu nublado.

A salinidade de águas naturais está vinculada à presença de sais minerais dissolvidos formados por ânions como cloreto, sulfato e bicarbonatos, etc. Em locais com influência marinha é importante a determinação da salinidade para identificar se o ambiente está salino, salobro ou até mesmo doce, a classificação irá depender da concentração de sais.

Na área experimental com as Biocaixas a salinidade apresentou pouca variação entre as campanhas. Na primeira campanha o valor médio na área foi de 19,5 ppt, na segunda o valor foi de 20,7 ppt e na terceira a média foi de 18,9 ppt. No ponto de controle, foram registrados valores de salinidade semelhantes aqueles aferidos na área

experimental: na primeira campanha o valor foi de 19,9 ppt, na segunda foi de 21 ppt e na terceira foi de 18,8 ppt.

Na área de aplicação dos Mudballs a salinidade não variou consideravelmente entre as campanhas. Na primeira campanha o valor médio na área foi de 21,3 ppt, na segunda o valor foi de 21,5 ppt e na terceira a média foi de 18,5 ppt. No ponto de controle, foram registrados valores de salinidade semelhantes aqueles aferidos na área experimental: na primeira campanha o valor foi de 21,6 ppt, na segunda foi de 21,1 ppt e na terceira foi de 18,2 ppt.

A área que utiliza a associação de Mudballs com o aerador apresentou salinidade semelhante a outras áreas experimentais. Na primeira campanha o valor médio na área foi de 21,4 ppt, na segunda o valor foi de 21,2 ppt e na terceira a média foi de 18,4 ppt. No ponto de controle, foram registrados valores de salinidade semelhantes aqueles aferidos na área experimental: na primeira campanha o valor foi de 20,9 ppt, na segunda foi de 21,2 ppt e na terceira foi de 18,1 ppt.

Segundo a Resolução CONAMA 357/05 os resultados de salinidade indicam que a Lagoa de Piratininga é salobra.

b. pH

O pH expressa o grau de acidez ou alcalinidade da água, em valores que variam de 0 a 14, o valor de 7 é considerado neutro, valores abaixo de 7 são considerados ácidos e superiores de 7 são considerados alcalinos. O pH controla as reações químicas de muitos poluentes, por exemplo, águas ácidas tendem a acelerar a degradação de materiais potencialmente tóxicos, enquanto que em águas alcalinas pode ser encontrado excesso de amônia, a qual é tóxica para os peixes (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013).

A Resolução CONAMA 357/05 estabelece uma faixa de valores aceitável para o pH em ambientes salobros, os valores que compreendem essa faixa de pH são de 6,0 a 8,5. A Tabela 7 apresenta os valores de pH aferidos durante as três campanhas de monitoramento.

Tabela 7: Valores de pH observados durante as três campanhas de monitoramento por área experimental e nos pontos controles. Também são apresentadas as médias obtidas em cada campanha considerando-se os três pontos de cada área experimental.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
pH	8,92	8,67	9,92	8,92	8,65	9,68	8,74	8,64	9,67	8,94	8,63	9,68	8,86	8,65	9,76

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
pH	9,11	8,39	10,22	9,13	8,44	10,28	9,13	8,44	10,30	8,99	8,45	10,19	8,99	8,42	10,27

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
pH	9,06	8,52	10,34	9,01	8,48	10,37	9,03	8,51	10,33	9,00	8,56	10,33	9,03	8,50	10,35

Através da Figura 17 é possível observar a representação gráfica dos valores de pH aferidos na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento.

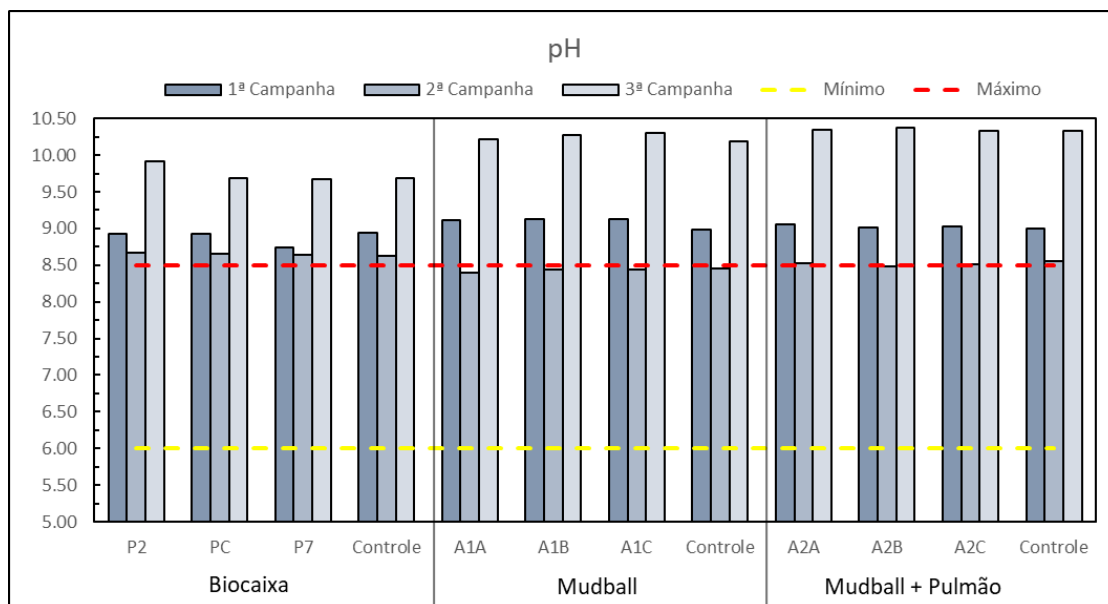


Figura 17: Valores de pH medidos *in situ* para todos os pontos de monitoramento na primeira e segunda campanha. Linhas tracejadas representam os limites superior e inferior das classes 1 e 2 do CONAMA 357.

Durante o monitoramento foi possível observar uma diminuição dos valores de pH entre a primeira e a segunda campanha, e da segunda para a terceira houve um aumento considerável para todos os pontos.

Na área de aplicação da Biocaixa os valores de pH não apresentaram uma variação significativa entre as duas primeiras campanhas. Os valores médios de pH dos experimentos para primeira e segunda campanha foram de 8,88 e 8,65, respectivamente. Na terceira campanha ocorreu uma elevação significativa com valor médio de 9,76. Os valores observados durante as campanhas de monitoramento no ponto de controle são semelhantes aos aferidos na área experimental, sendo 8,94, 8,63 e 9,68. Em todas as campanhas os valores estiveram acima da faixa estabelecida para as classes 1 e 2 da Resolução CONAMA 357/05 em ambientes salobros.

Durante o monitoramento da área de aplicação de Mudballs é possível observar que valores de pH apresentaram uma variação significativa entre as três campanhas, com valores elevados na primeira campanha, com valor médio de 8,99, apresentando

valores mais elevados que a faixa estabelecida para as classes 1 e 2. Na segunda campanha houve uma redução nos valores de pH, os valores aferidos estiveram dentro da faixa estabelecida para as classes 1 e 2, com valor médio de 8,42. Na terceira campanha os valores estiveram consideravelmente mais elevados que os valores da primeira, o valor médio aferido foi de 10,27, sendo bem superior ao limite máximo estabelecido para a classe na legislação. Os valores de pH aferidos no ponto de controle são semelhantes aos determinados na área experimental, os valores nas três campanhas foram 8,99, 8,45 e 10,19.

Na área de Mudballs associada com aerador, os valores de pH foram semelhantes aqueles observados na área que não utiliza o aerador, apresentando pouca variação entre as áreas. Na primeira campanha o valor médio foi de 9,03, na segunda campanha foi de 8,50 e na terceira foi 10,35. No ponto de controle os valores foram 9,00, 8,56 e 10,33.

Valores elevados de pH geralmente são observadas em lagoas com influência da água do mar, a qual é rica em CO_3^{2-} e HCO_3^{2-} , com valores de pH normalmente acima de 9 (ESTEVES, 2011).

Segundo Libânio (2010) a alcalinidade em águas naturais manifesta-se em função do pH, em águas com pH maiores de 9,4 a alcalinidade geralmente é proveniente de carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-), entretanto, não é possível afirmar as causas sem a realização da análise específicas de alcalinidade.

As comunidades aquáticas (macrófitas e algas) interferem no pH de diversas formas, por exemplo, através da assimilação do CO_2 no processo fotossintético, podendo elevar significativamente o valor do pH no meio (ESTEVES, 2011).

Esteves (2011) pontua que os valores de pH têm influência de inúmeros fatores, podendo sofrer alterações devido a temperatura, a geologia local, efluentes domésticos e industriais, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese, etc.

c. Turbidez

A turbidez de uma amostra de água indica o grau de atenuação de que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença dos sólidos em suspensão, podendo ser partículas inorgânicas e orgânicas, e ocorre por dois fatores preponderantes, a erosão do solo da bacia e o lançamento de efluentes domésticos e industriais (CETESB, 2018).

A Resolução CONAMA 357/05 não estabelece valores de turbidez para águas salobras, indicando apenas que substâncias que causem odor, cor e turbidez sejam virtualmente ausentes para todas as classes de enquadramento.

Os valores obtidos nas três campanhas de monitoramento podem ser observados na Tabela 8. A referida tabela apresenta os valores por ponto, para cada controle, e o valor médio observado em cada área experimental.

Tabela 8: Valores tabulados de turbidez aferidos *in situ* para as três áreas experimentais e para os pontos de controle. Também são apresentadas as médias obtidas em cada campanha considerando-se os três pontos de cada área experimental.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
Tu. (NTU)	49,6	60,5	174	49,6	62,0	168	47,5	62,8	160	54,4	59,7	159	48,9	61,8	167,3

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
Tu. (NTU)	30,4	64,5	280	29	62,6	214	32,2	57,1	216	30,1	57,1	224	30,5	61,4	236,7

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
Tu. (NTU)	26	53,6	229	32,2	55,3	217	37,4	53,4	230	42,3	56,1	230	31,9	54,1	225,3

A Figura 18 apresenta a representação gráfica dos resultados obtidos durante a realização das três campanhas de monitoramento, para as três áreas experimentais.

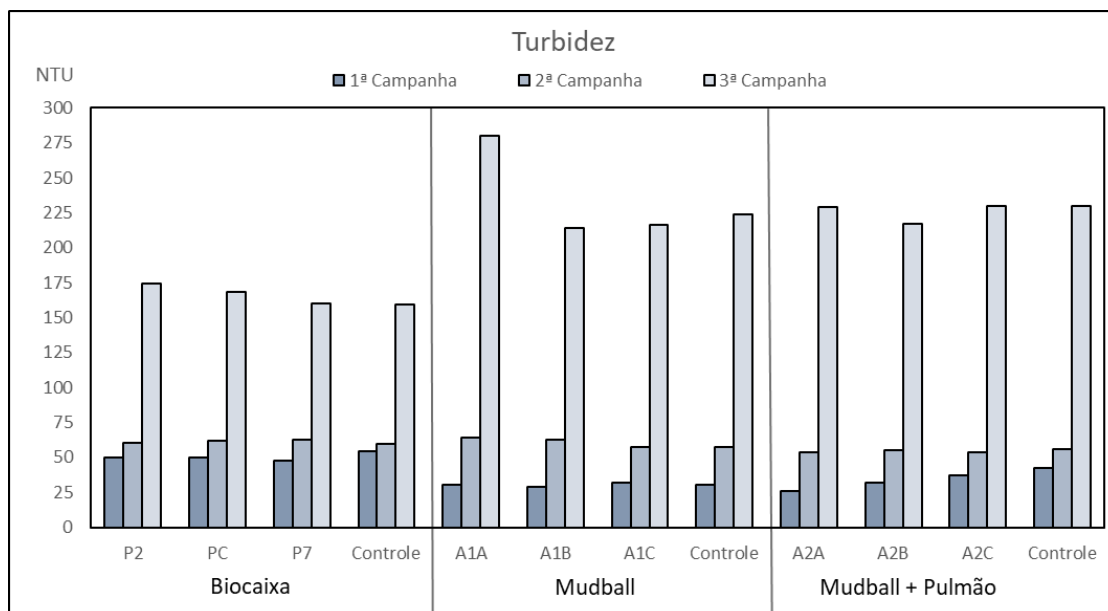


Figura 18: Valores de turbidez observados durante as três campanhas de monitoramento por área experimental, e nos pontos de controle.

Durante as campanhas de monitoramento é possível observar um aumento gradual da turbidez na água em todas as áreas, inclusive nos pontos de controle. A variação na turbidez da primeira para a segunda campanha não é muito significativa, entretanto, da segunda para a terceira campanha a turbidez observada aumentou significativamente, com um aumento médio de: 3x na área de aplicação das Biocaixas, 4x nas áreas de aplicação dos Mudballs, e dos Mudballs associados ao aerador.

Os valores de turbidez observados na área experimental que utiliza a tecnologia de Biocaixas não apresentaram grandes variações entre a primeira e segunda campanha, com valores médios de 48,9 e 61,8 NTU. Já na terceira campanha os valores observados foram consideravelmente mais elevados, com valor médio de 167,3 NTU. A turbidez no ponto de controle foi semelhante aos valores obtidos na área experimental para as três campanhas, os valores aferidos nas três campanhas foram 54,4, 59,7 e 159 NTU.

Na área experimental que utiliza a tecnologia de Mudball os valores de turbidez não foram elevados, com valores médios de 30,5 e 61,4 NTU, para a primeira e segunda

campanha, respectivamente. Na terceira campanha os valores aferidos para a turbidez estiveram bem elevados, com valor médio de 236,7 NTU, o valor médio da terceira campanha foi aproximadamente 4x mais elevado quando comparado a segunda campanha. Os valores aferidos no controle apresentaram valores semelhantes aos observados no interior da área experimental, sendo eles 30,1, 50,7 e 224 NTU.

A área experimental que utiliza Mudballs associados a um aerador apresentou resultados semelhantes aqueles observados na área que utiliza apenas Mudballs. Os valores médios observados na primeira e segunda campanha foram 31,9 e 54,1, respectivamente. Na terceira campanha os valores estiveram bem mais elevados, com valor médio de 225,3 NTU. A turbidez aferida no ponto de controle é semelhante aquelas observadas na área experimental nas três campanhas, sem variação significativa, com valores de 42,3, 56 e 230 NTU.

A turbidez em um corpo hídrico representa o grau de interferência da passagem da luz através da água, a turbidez em águas naturais, comumente está associada a fragmentos de argila, silte, plâncton, microrganismos, e matéria orgânica e inorgânica particulada, e com menor frequência, pode estar associada pela precipitação de carbonato de cálcio (LIBÂNIO, 2010). Segundo o autor, a turbidez em águas superficiais está compreendida entre 3 e 500 NTU, e em lagos, onde a velocidade do escoamento da água é menor, o valor da turbidez é frequentemente menor que 10 NTU.

d. Transparência Coluna d'água – Secchi

A transparência da coluna d'água está associada a turbidez, a transparência é um parâmetro usualmente utilizado em lagos e represas, a qual é obtida através de um disco de Secchi. Lagos com turbidez elevada apresentam valores de transparências reduzidas, na ordem de poucos centímetros até um metro, e em lagos cristalinos, a transparência pode atingir dezenas de metros (LIBÂNIO, 2010).

A Tabela 9 apresenta todos os valores aferidos durante as três campanhas de monitoramento em cada área, para os controles e as médias por área experimental.

Tabela 9: Valores da transparência da coluna d'água por área experimental, nos controles e respectivas médias observadas durante as três campanhas de monitoramento.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
Secchi (m)	0,35	0,32	0,21	0,44	0,30	0,19	0,40	0,28	0,20	0,35	0,32	0,18	0,40	0,30	0,20

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
Secchi (m)	0,20	0,30	0,12	0,20	0,28	0,13	0,20	0,34	0,13	0,20	0,31	0,14	0,20	0,31	0,13

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
Secchi (m)	0,20	0,35	0,20	0,20	0,34	0,17	0,20	0,30	0,18	0,20	0,35	0,20	0,20	0,33	0,18

A Figura 19 apresenta os valores da transparência da coluna d'água observados com o disco de Secchi durante as três campanhas de monitoramento.

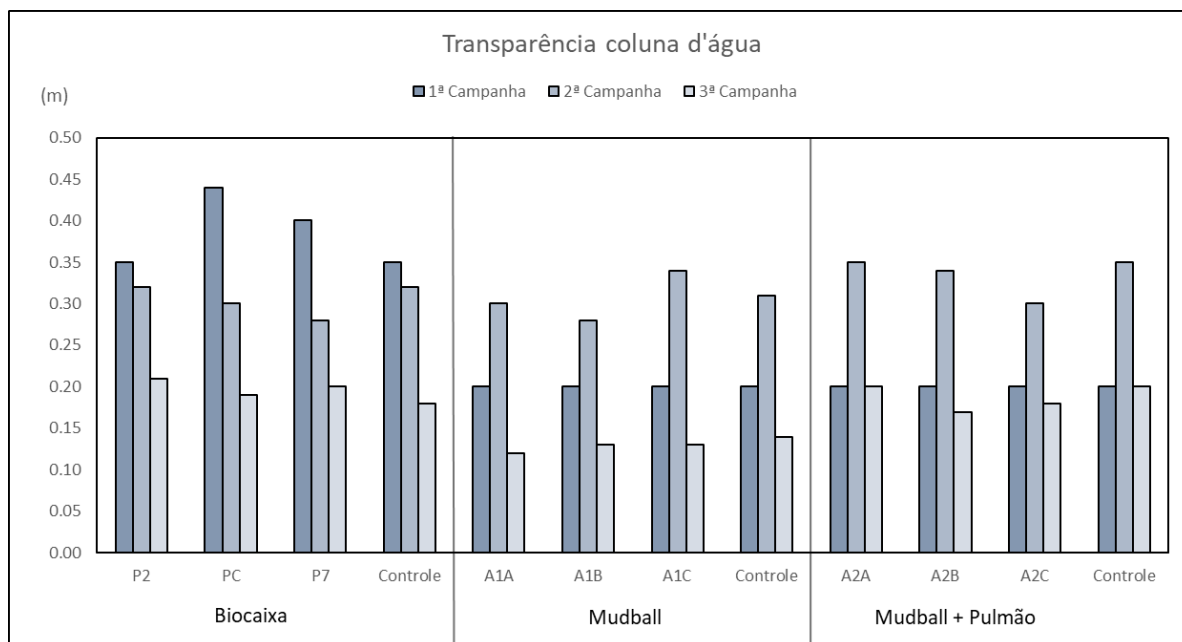


Figura 19: Valores da transparência da coluna d'água observada durante as três campanhas de monitoramento nas três áreas experimentais e seus respectivos controles.

Durante a primeira campanha, a transparência foi aferida apenas na área de aplicação da tecnologia de Biocaixas, por ser a única área com profundidade suficiente para realizar a medição, nas áreas de aplicação dos Mudballs, era possível observar o fundo da lagoa, devido, principalmente, a altura da lâmina d'água estar reduzida, por este motivo foi aferida a altura média e atribuída para todos os pontos.

Na segunda campanha, foi possível determinar a transparência para todos os pontos de monitoramento, assim como na primeira campanha, os maiores valores foram observados na área das Biocaixas.

Na terceira campanha, a água apresentava-se muito turva em todos os pontos de monitoramento, com forte coloração esverdeada, podendo ser um indicativo de uma possível densidade elevada de biomassa fitoplanctônica, além de outros fatores externos. Por este motivo, as transparências da coluna d'água observadas foram as menores dentre todas as campanhas de monitoramento em todas as áreas experimentais e de controle.

e. Oxigênio Dissolvido - OD

O Oxigênio Dissolvido na água é um dos parâmetros mais importantes para a manutenção da vida em ambiente aquático. O OD é consumido através da atividade metabólica de bactérias, plantas e animais, em processos de estabilização da matéria orgânica, e pela nitrificação do amônio (COLLISCHONN & DORNELES, 2013; VON SPERLING, 2018). Conforme Esteves (2011) existem diversos fatores que alteram a disponibilidade de OD na água, tais como, processos de fotossíntese, respiração e/ou decomposição, fotoperíodo, a intensidade luminosa, altitude, íons dissolvidos na água e a temperatura.

Valores de OD menores que 2 mg/L podem comprometer a integridade ecológica dos ecossistemas aquáticos, e, os menores níveis de OD são, predominantemente, encontrados em corpos d'água que escoam em grandes centros urbanos e recebem o aporte de matéria orgânica na forma de esgotos brutos e/ou tratados com baixa eficiência (ANA, 2013).

A Resolução CONAMA 357/05 estabelece a concentração mínima de oxigênio dissolvido de 5 mg/L para a classe 1, e 4 mg/L para a classe 2, em ambientes salobros.

A Tabela 10 apresenta as concentrações obtidas durante as três campanhas de monitoramento em cada área experimental, bem como, o valor médio por área, e a concentração aferida em cada área de controle.

Tabela 10: Valores de OD aferidos durante as três campanhas de monitoramento para todas as áreas experimentais e pontos de controle. Também são apresentadas as médias obtidas em cada campanha considerando-se os três pontos de cada área experimental.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
OD (mg/L)	2,38	7,98	8,22	2,38	7,21	9,43	1,48	8,36	9,92	1,44	7,51	9,32	2,08	7,85	9,19

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
OD (mg/L)	8,84	2,98	15,29	8,78	2,97	16,81	9,34	7,78	15,83	8,16	4,60	8,54	8,99	4,58	15,98

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
OD (mg/L)	9,24	4,78	16,47	8,21	7,89	13,69	8,04	7,70	15,80	8,78	6,79	14,41	8,50	6,79	15,32

A Figura 20 apresenta as concentrações de oxigênio dissolvido durante as três campanhas de monitoramento.

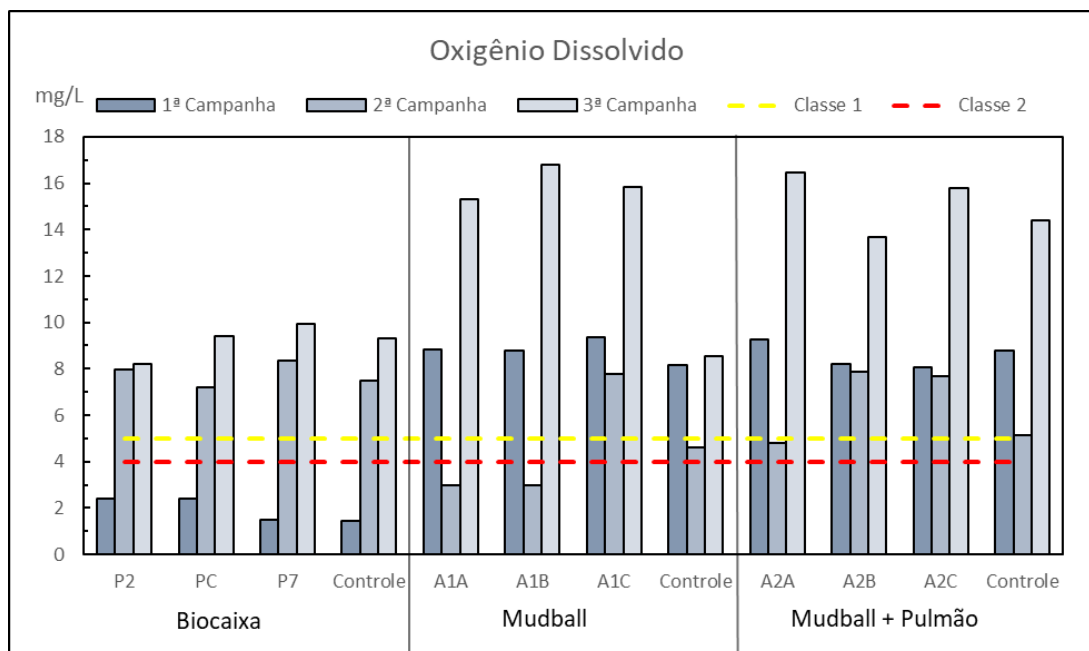


Figura 20: Concentrações de Oxigênio Dissolvido para todos os pontos durante as três campanhas de monitoramento.

Os resultados na área experimental de aplicação da tecnologia das Biocaixas apresentaram valores distintos nas três campanhas de monitoramento. Na primeira campanha os valores indicam uma condição de hipóxia em todos os pontos presentes na área experimental, bem como para o controle, os valores da primeira campanha estiveram na faixa de 1,44 a 2,38 mg/L, com concentração média de 2,08 mg/L. Na segunda campanha as concentrações de oxigênio na água apresentaram uma melhora significativa, com valores variando de 7,21 a 8,36 mg/L, com valor médio de 7,85 mg/L. Na terceira campanha, o padrão de elevação observado na segunda campanha manteve-se, com concentrações variando de 8,22 a 9,92 mg/L, com valor médio de 9,19 mg/L. As concentrações observadas no ponto de controle próximo a área experimental flutuaram de forma semelhante aos pontos na área experimental.

Durante o monitoramento na área de aplicação da tecnologia de Mudballs, as concentrações observadas estiveram bem distintas entre as três campanhas. Na primeira campanha os valores variaram de 8,16 a 9,34 mg/L, com pouca variabilidade

entre os pontos monitorados, e valor médio de 8,99 mg/L. Na segunda campanha, os valores apresentaram uma variabilidade maior entre os pontos, com valores variando de 2,97 a 7,78 mg/L, e média de 4,58 mg/L. Já na terceira campanha, as concentrações observadas estiveram extremamente elevadas, com valores variando de 15,29 a 16,81 mg/L, com valor médio de 15,98 mg/L. O ponto de controle apresentou pouca variação entre a primeira e terceira campanha, 8,16 e 8,54 mg/L, respectivamente. Na segunda campanha o valor observado no controle foi reduzido para 4,60 mg/L, entretanto, foi uma concentração considerada adequada para a Classe 2 do enquadramento de águas salobras.

Na área experimental em que os Mudballs estão associados a um aerador operando de forma contínua, as concentrações observadas na primeira campanha estiveram semelhantes aquelas observadas na área de aplicação só de Mudballs. Os valores da primeira campanha estiveram na faixa de 8,04 a 9,24 mg/L, com pouca variabilidade entre os pontos monitorados, e valor médio de 8,50 mg/L. Já na segunda campanha, os valores apresentaram uma variabilidade menor entre os pontos, com valores variando de 4,78 a 7,89 mg/L, com valor médio de 6,79 mg/L. Na terceira campanha os valores estiveram elevados para todos os pontos, variando de 13,69 a 16,47 mg/L, com valor médio 15,32 mg/L. O ponto de controle apresentou uma variabilidade grande entre as três campanhas, com um aumento significativo para a terceira campanha. As concentrações obtidas no ponto controle para a primeira, segunda e terceira campanha foram de 8,78 mg/L, 6,79 mg/L e 14,41 mg/L, respectivamente.

As concentrações de OD na terceira campanha estiveram elevadas em todos os pontos de monitoramento, tanto nas áreas experimentais como nos pontos de controle. Essa elevação das concentrações de OD na superfície pode estar associada a um aumento da taxa fotossintética do fitoplâncton (ESTEVES, 2011). Em regiões tropicais, os corpos hídricos podem apresentar uma variabilidade grande das condições limnológicas em um período de 24h. Uma das variáveis que mais apresentam variações neste aspecto é o oxigênio, pois está diretamente relacionado com o fotoperíodo, a intensidade luminosa e a temperatura (ESTEVES, 2011).

Segundo Libânio (2010) em lagos e reservatórios a concentração de OD pode superar a de saturação em dias de intensa atividade fotossintética, e durante o período noturno as concentrações de OD podem ser reduzidas a níveis extremamente baixos. Os resultados obtidos no monitoramento, principalmente no que se refere aos valores de OD registrados na terceira campanha, podem refletir o exposto pelo autor, tendo em vista os horários, o fotoperíodo, a intensidade luminosa, a temperatura, e os processos de produção primária.

As Figura 21 e 22 apresentam registros fotográficos da lagoa de Piratininga durante o monitoramento da primeira e terceira campanha, através dos registros é possível verificar que a água apresentava uma coloração fortemente esverdeada, com turbidez bastante alta, podendo ser um indicativo da alta densidade de biomassa fitoplanctônica e consequentemente altas taxas de produtividade primária.

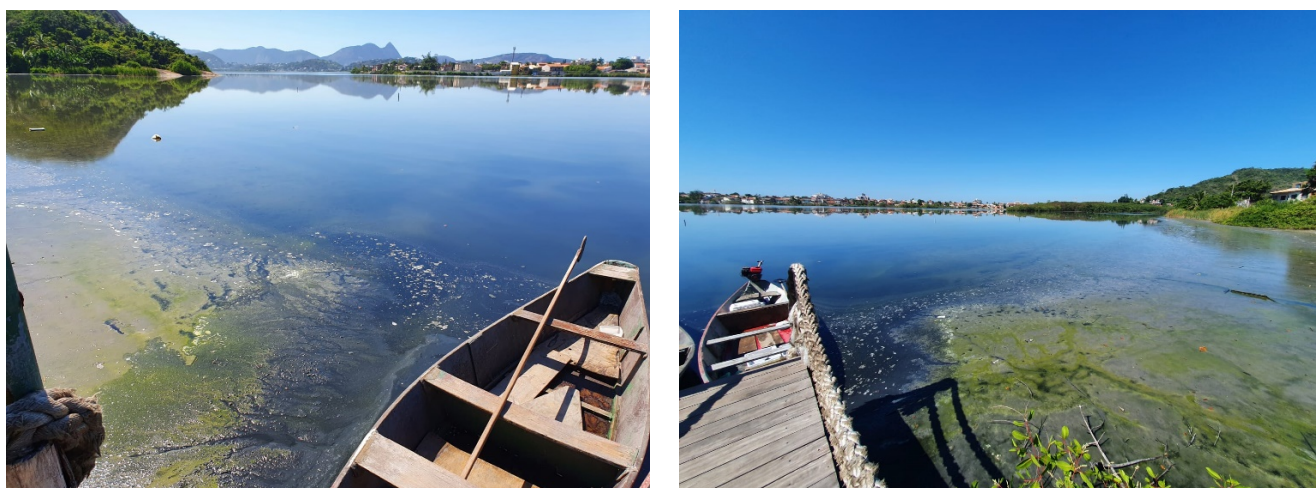


Figura 21: Registro da primeira campanha de monitoramento.



Figura 22: Registro da terceira campanha de monitoramento.

f. Carbono Orgânico Total – COT

A matéria orgânica em corpos d'água é uma característica de extrema importância, pois é uma das principais causas do consumo do oxigênio dissolvido. Os microrganismos utilizam o oxigênio no processo metabólico para estabilizar a matéria orgânica (VON SPERLING, 2018), reduzindo assim as concentrações de OD.

Para águas salobras, a Resolução CONAMA 357/05 estabelece valores de referência de Carbono Orgânico Total – COT para as classes 1 e 2, sendo 3 mg/L de C e 5 mg/L de C, respectivamente.

A Tabela 11 apresenta as concentrações obtidas durante as três campanhas de monitoramento em cada área experimental, bem como, o valor médio por área, e a concentração em cada área de controle.

Tabela 11: Concentrações de COT nas áreas experimentais, nos pontos de controle e as respectivas médias por área experimental.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
COT (mg/L)	16,30	13,20	35,30	14,90	11,70	38,60	15,70	13,30	36,60	17,90	12,90	38,90	15,6	12,7	36,7

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
COT (mg/L)	13,80	11,00	24,00	18,10	11,70	25,50	14,20	10,20	22,80	15,00	11,80	24,10	15,4	11	24,1

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
COT (mg/L)	15,40	10,20	0,50	15,00	10,60	27,00	13,70	11,10	28,40	15,30	11,90	29,50	14,7	10,6	18,6

A Figura 23 apresenta as concentrações de COT durante as três campanhas de monitoramento.

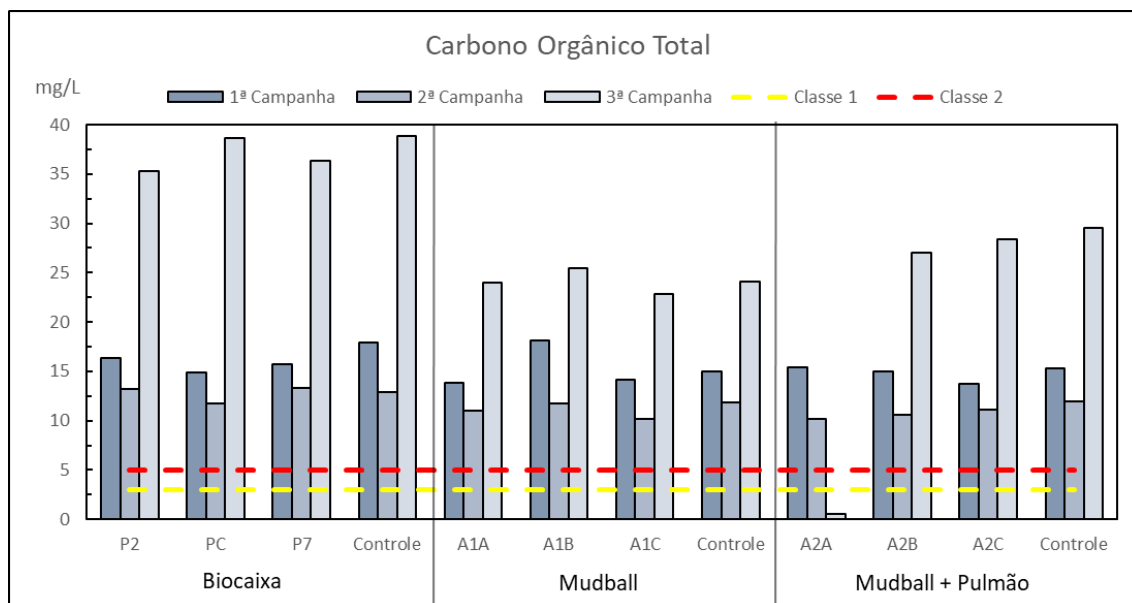


Figura 23: Representação gráfica das concentrações de COT para as três campanhas de monitoramento por área experimental, nos pontos de controle e os limites presentes na legislação.

As concentrações de COT na área experimental com aplicação de Biocaixas foram elevadas nas três campanhas, principalmente na terceira campanha. Na primeira campanha a concentração média foi de 15,6 mg/L. Na segunda campanha, as concentrações apresentaram um leve declínio, com valor médio de 12,7 mg/L. As concentrações observadas na terceira campanha estiveram bem acima dos valores observados nas duas primeiras, com concentrações médias aproximadamente 3x maiores que as da segunda campanha, atingindo valor médio de 36,7 mg/L. As concentrações de COT registradas no ponto de controle estiveram elevadas e foram semelhantes aquelas observadas na área experimental, com valores de 17,9, 12,9 e 38,9 mg/L nas campanhas 1, 2 e 3, respectivamente.

Na área que utiliza apenas a tecnologia Mudball, as concentrações estiveram elevadas nas três campanhas. As concentrações médias para a primeira, segunda e terceira campanha foram 15,4, 11,0 e 24,1 mg/L, respectivamente. As concentrações no ponto de controle foram semelhantes àquelas observadas na área experimental, os valores para as três campanhas foram 15,0, 11,8 e 24,1 mg/L.

As concentrações na área experimental que utiliza a associação de Mudballs com o aerador foram semelhantes à área que não utiliza o aerador. As concentrações médias da primeira, segunda e terceira campanha foram 14,7, 10,6 e 18,6 mg/L. O valor médio da terceira campanha foi afetado pelo resultado observado no ponto A2A, o qual, foi o limite mínimo (0,5 mg/L) de detecção do método utilizado. No ponto de controle os valores foram 15,3, 11,9 e 29,5 mg/L.

Todos os pontos monitorados, sejam eles em áreas experimentais ou em pontos de controle, estiveram bem acima dos valores estipulados pela legislação CONAMA 357/05 para as classes 1 e 2, principalmente na terceira campanha de monitoramento.

g. Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e Demanda Química de Oxigênio – DQO.

A DBO e a DQO são formas indiretas de quantificar a matéria orgânica presente na água, sendo uma indicação do potencial do consumo do oxigênio dissolvido.

As concentrações de DBO e DQO sofrem interferência de Cloreto, sendo estes parâmetros pouco utilizados para avaliação de ambientes com influência marinha. Para ambientes salobros a legislação não apresenta valores de referência para esses parâmetros, apenas para o COT. Entretanto, foram realizadas análises para DBO e DQO, conforme apontado anteriormente, os valores de DQO não foram apresentados pelo laboratório devido à alta interferência do íon Cloreto, as concentrações de DBO foram apresentadas e podem ser observadas na Tabela 12.

A Tabela 12 apresenta as concentrações obtidas para a DBO durante as três campanhas de monitoramento em cada área experimental, bem como o valor médio por área, e a concentração em cada ponto de controle.

Tabela 12: Concentrações de DBO durante as três campanhas de monitoramento nas áreas experimentais, nos pontos de controle e as médias por área.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
DBO (mg/L)	27,80	7,10	6,90	24,60	5,30	7,80	27,60	6,30	6,60	22,20	5,10	9,00	26,70	6,23	7,10

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
DBO (mg/L)	21,00	5,00	6,30	26,90	5,50	6,60	19,60	4,30	5,20	23,40	5,50	6,20	22,50	4,93	6,03

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
DBO (mg/L)	23,50	4,80	7,10	22,40	4,20	10,70	28,20	4,90	7,10	24,60	5,90	5,80	24,70	4,63	8,30

A Figura 24 apresenta as concentrações de DBO durante as três campanhas de monitoramento.

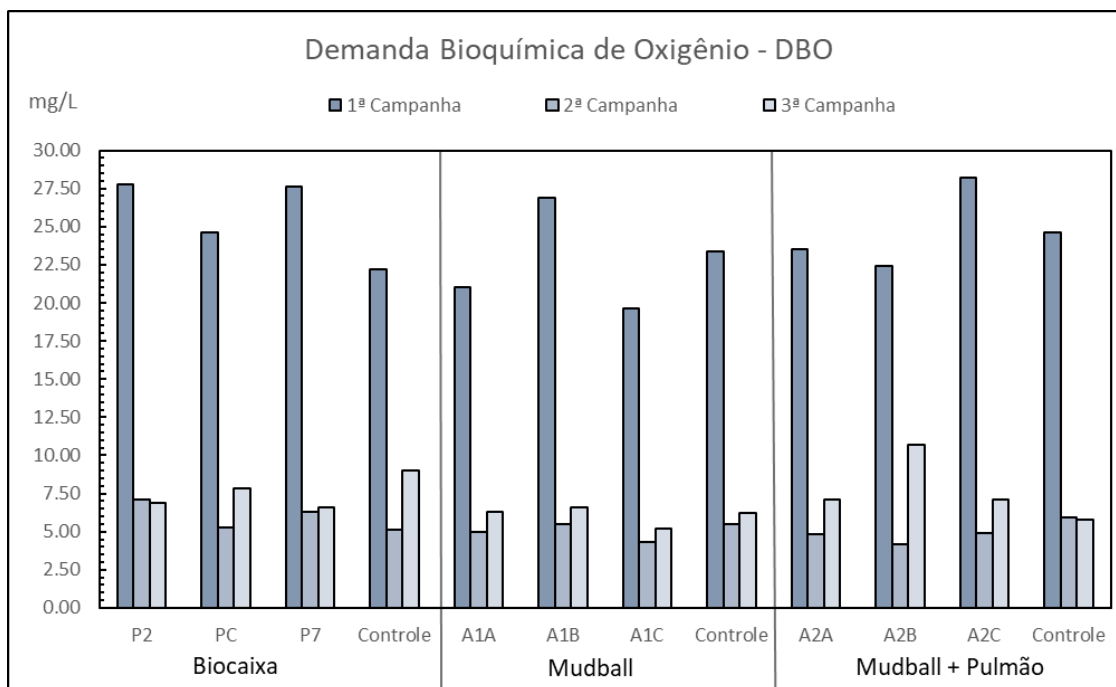


Figura 24: Concentrações de DBO para as três áreas experimentais e nos pontos de controle, durante as três campanhas de monitoramento.

As concentrações na área da tecnologia de Biocaixas estiveram elevadas na primeira campanha, com valor médio de 26,70 mg/L. Na segunda campanha o valor médio foi de 6,23 mg/L, e na terceira campanha o valor médio foi de 7,10 mg/L. As concentrações nos pontos de controle para as três campanhas foram 22,20, 5,10 e 9,00 mg/L.

Na área dos Mudballs os resultados indicaram uma maior concentração na primeira campanha, com uma redução nas concentrações para a segunda campanha, e uma pequena elevação na terceira campanha. As concentrações médias nas três campanhas foram 22,50, 4,93 e 6,03 mg/L, respectivamente. As concentrações nos pontos de controle para as três campanhas foram 23,40, 5,50 e 6,20 mg/L.

Na área em que os Mudballs estão associados ao aerador, as concentrações foram semelhantes aquelas observadas na área sem aeração mecânica. Na primeira campanha a concentração média foi de 24,70 mg/L. Na segunda campanha houve uma redução nas concentrações, a média das concentrações foi de 4,63 mg/L. A terceira campanha

apresentou pequena elevação nas concentrações, com valor médio de 8,30 mg/L. As concentrações nos pontos de controle para as três campanhas foram 24,60, 5,90 e 5,80 mg/L.

h. Fósforo Total – PT

O monitoramento das concentrações de nutrientes no meio aquático é importante pelos possíveis efeitos poluidores que estes causam no ambiente. Os principais nutrientes frequentemente monitorados são Nitrogênio e Fósforo. Dentre os diversos efeitos no ambiente, os principais são o crescimento excessivo de algas e a toxicidade aos peixes (LIBÂNIO, 2010; ESTEVES, 2011; VON SPERLING, 2018).

A resolução CONAMA 357/05 estabelece valores máximos para concentrações do Fósforo Total na água, sendo 0,124 mg/L de P e 0,186 de P para as classes 1 e 2, respectivamente.

A Tabela 13 apresenta as concentrações obtidas para PT durante as três campanhas de monitoramento em cada área experimental, bem como o valor médio por área, e a concentração em cada área de controle.

Tabela 13: Concentrações de PT medidas nas três campanhas de monitoramento nas áreas experimentais, nos pontos de controle e as médias.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
PT (mg/L)	0,08	0,45	0,28	0,06	0,20	0,25	0,06	0,15	0,16	0,10	0,18	0,31	0,07	0,27	0,23

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
PT (mg/L)	0,05	0,20	0,16	0,08	0,13	0,13	0,03	0,18	0,21	0,07	0,20	0,45	0,05	0,17	0,17

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
PT (mg/L)	0,04	0,20	0,16	0,07	0,20	0,27	0,02	0,29	0,20	0,05	0,20	0,23	0,04	0,23	0,21

A Figura 25 apresenta as concentrações de PT durante as três campanhas de monitoramento.

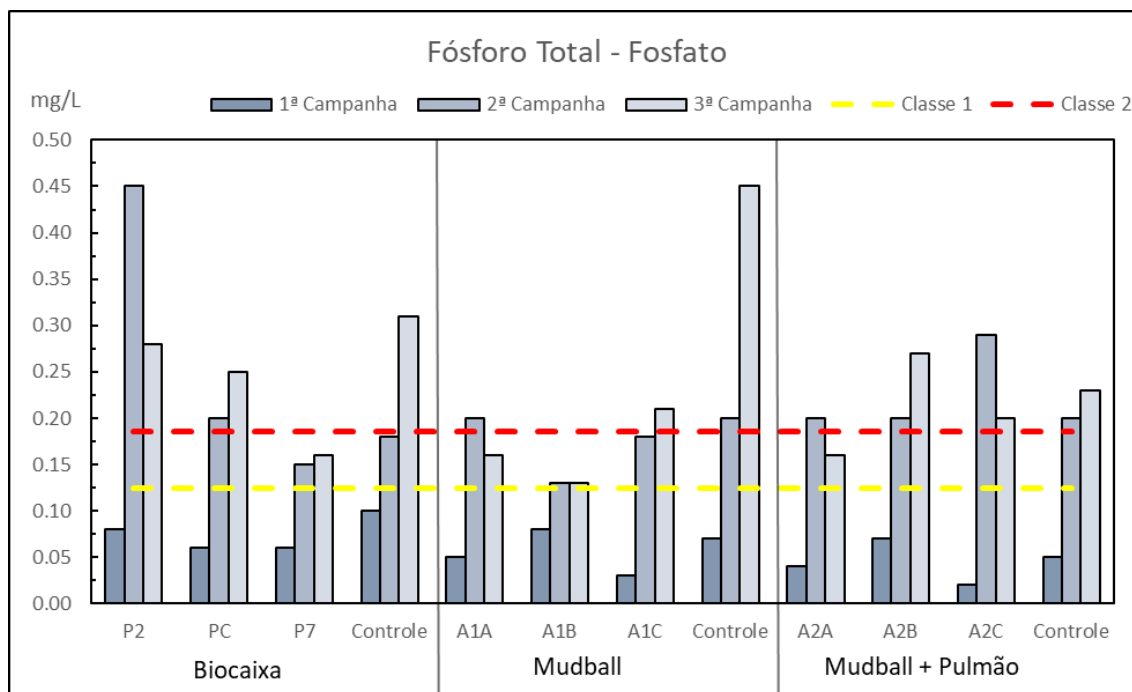


Figura 25: Concentrações de PT nas áreas experimentais, nos pontos de controle e os limites.

Na área experimental com aplicação da tecnologia de Biocaixa a concentração de fósforo total apresentou variabilidade entre as campanhas. Na primeira campanha as concentrações estiveram abaixo dos limites estipulados para classe 1, com valor médio de 0,07 mg/L. Na segunda campanha as concentrações aumentaram consideravelmente, com valor médio de 0,27 mg/L, acima do limite máximo estipulado para classe 2. Na terceira campanha as concentrações mantiveram-se elevadas, com média de 0,23 mg/L. As concentrações medidas no ponto de controle estiveram mais elevadas que os limites máximos para a classe 2 apenas na terceira campanha, com valores aferidos durante o monitoramento das três campanhas foram de 0,10, 0,18 e 0,31 mg/L, respectivamente.

Na área que utiliza apenas os Mudballs, as concentrações apresentaram pouca variação entre as campanhas e pontos. Na primeira campanha as concentrações estiveram abaixo dos limites estipulados para classe 1 em todos os pontos, com valor

médio de 0,05 mg/L. Na segunda campanha os valores apresentaram um pequeno aumento, a concentração média foi de 0,17 mg/L. Os resultados da terceira campanha foram bem semelhantes aos da segunda, com valor médio de 0,17 mg/L. As concentrações da segunda e terceira campanhas estiveram abaixo dos limites máximos estipulados pela classe 2. No ponto de controle a concentração na primeira campanha foi menor que os limites máximos estipulados para a classe 1, sendo 0,07 mg/L. Na segunda e terceira campanha os resultados indicaram uma piora, com concentrações acima do limite da classe 2: 0,20 e 0,45 mg/L, respectivamente.

Na área de associação de Mudballs com o aerador, as concentrações na primeira campanha estiveram abaixo dos limites estipulados para classe 1, com valor médio de 0,04 mg/L. Na segunda campanha as concentrações estiveram em desacordo com a classe 2 em todos os pontos, o valor médio foi de 0,23 mg/L. Na terceira campanha as concentrações foram semelhantes à segunda campanha, com valor médio de 0,21 mg/L, em desacordo com a classe 2 da Resolução CONAMA 357/05. No ponto de controle a concentração na primeira campanha foi menor que os limites máximos estipulados para a classe 1, sendo 0,05 mg/L. Na segunda e terceira campanha os resultados indicam uma piora, com aumento das concentrações para valores acima do limite para a classe 2. As concentrações da segunda e terceira campanha no ponto controle foram 0,20 e 0,23 mg/L, respectivamente.

i. Nitrogênio Amoniacal – NA

O nitrogênio, junto com o fósforo, são nutrientes essenciais para o crescimento de algas, cianobactérias e plantas aquáticas, sendo facilmente assimilável nas formas de amônia e nitrato (LIBÂNIO, 2010). Em corpos hídricos, a forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio de poluição, sendo a forma amoniacal associada a uma poluição recente (VON SPERLING, 2018).

A resolução CONAMA 357/05 estabelece as concentrações máximas de 0,40 mg/L de N e 0,70 mg/L de N, para as classes 1 e 2, respectivamente.

A Tabela 14 apresenta as concentrações obtidas para o Nitrogênio Amoniacal durante as três campanhas de monitoramento em cada área experimental, bem como, o valor médio por área, e a concentração em cada área de controle.

Tabela 14: Concentração de Nitrogênio Amoniacal nas áreas experimentais, nos pontos de controle e as médias por área nas três campanhas.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
N.A (mg/L)	0,12	1,10	0,08	0,05	0,80	0,11	0,06	0,79	0,10	0,05	0,80	0,07	0,08	0,90	0,10

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
N.A (mg/L)	0,10	0,78	0,14	0,06	1,00	0,10	0,10	0,93	0,10	0,17	1,00	0,13	0,09	0,90	0,11

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
N.A (mg/L)	0,10	0,75	0,09	0,11	0,90	0,10	0,15	0,84	0,11	0,06	1,10	0,11	0,12	0,83	0,10

A Figura 26 apresenta as concentrações de Nitrogênio Amoniacal durante as três campanhas de monitoramento para as três áreas experimentais.

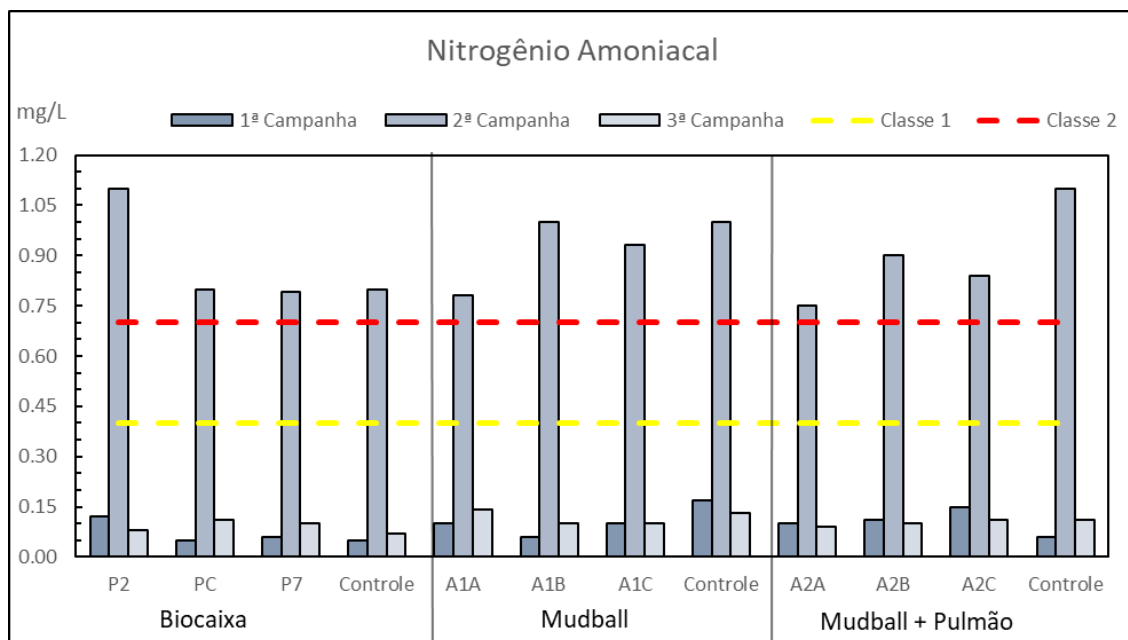


Figura 26: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal nas áreas experimentais e nos pontos de controle.

Na área de utilização da Biocaixa, as concentrações de nitrogênio amoniacal na primeira campanha foram mínimas, com valor médio de 0,08 mg/L. Na segunda campanha as concentrações estiveram mais elevadas, apresentando-se acima dos limites estabelecidos para a classe 2 em todos os pontos, com média de 0,90 mg/L. Na terceira campanha houve uma diminuição nas concentrações do nitrogênio amoniacal, com valor médio de 0,10 mg/L. O ponto de controle apresentou concentrações semelhantes aquelas observadas na área experimental. Os valores na primeira, segunda e terceira campanha foram 0,05, 0,80 e 0,07 mg/L, respectivamente.

As concentrações de nitrogênio amoniacal na área experimental do Mudball na primeira campanha foram mínimas, com valor médio de 0,09 mg/L. Na segunda campanha as concentrações estiveram mais elevadas, acima dos limites estabelecidos para a classe 2 em todos os pontos, com concentração média de 0,90 mg/L. Na terceira campanha as concentrações diminuíram, com valor médio de 0,11 mg/L. O ponto de controle apresentou concentrações semelhantes aquelas observadas na área

experimental, com valores na primeira, segunda e terceira campanha de 0,17, 1,00 e 0,13 mg/L, respectivamente.

Na área de Mudball associada ao aerador, as concentrações de nitrogênio amoniacal na primeira campanha foram mínimas, com valor médio de 0,12 mg/L. Na segunda campanha as concentrações estiveram mais elevadas, acima dos limites estabelecidos para a classe 2 em todos os pontos, com média de 0,83 mg/L. A terceira campanha as concentrações diminuíram, com valor médio de 0,10 mg/L. O ponto de controle apresentou concentrações semelhantes aquelas observadas na área experimental, os valores na primeira, segunda e terceira campanha foram 0,06, 1,10 e 0,11 mg/L, respectivamente.

j. Nitrato e Nitrito

Além do Nitrogênio Amoniacal, foram monitorados o nitrogênio na forma de Nitrato (NO_3^-) e Nitrito (NO_2^-). Durante o monitoramento, a análise laboratorial das concentrações de Nitrito (NO_2^-) indicaram baixas concentrações em todas as campanhas, com valores abaixo do limite de detecção do método utilizado pelo laboratório (<0,01 mg/L). O Nitrato (NO_3^-) apresentou concentrações mínimas (<0,01 mg/L) na primeira em todos os pontos, na segunda campanha em quase todos os pontos.

Na terceira campanha as concentrações encontradas na área de aplicação de Biocaixa apresentaram pouca variação entre os pontos, com valor médio de 0,21 mg/L, no ponto de controle a concentração foi de 0,25 mg/L.

Na área de Mudballs, as concentrações nos pontos monitorados apresentaram pouca variação entre si, com valor médio de 0,25 mg/L, a concentração no ponto de controle foi de 0,31 mg/L.

Na área de associação de Mudballs com o aerador as concentrações não apresentaram grandes variações, o valor médio observado na área foi de 0,20 mg/L, e no ponto de controle a concentração foi de 0,18 mg/L.

A resolução CONAMA 357/05 estabelece as concentrações máximas de Nitrato em 0,40 mg/L de N e 0,70 mg/L de N, para as classes 1 e 2, respectivamente.

Todos os pontos monitorados apresentaram valores abaixo dos limites máximos estabelecidos para Nitrato na classe 1.

A Tabela 15 apresenta as concentrações obtidas para o Nitrato (NO_3^-) durante as três campanhas de monitoramento em cada área experimental, bem como, o valor médio por área, e a concentração em cada ponto de controle.

Tabela 15: Concentrações de Nitrato observadas nas três campanhas de monitoramento por área experimental, ponto de controle e média.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
Nitra.(mg/L)	< 0,01	0,06	0,23	< 0,01	0,14	0,20	< 0,01	< 0,01	0,21	< 0,01	< 0,01	0,25			0,21

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
Nitra.(mg/L)	< 0,01	< 0,01	0,20	< 0,01	< 0,01	0,25	< 0,01	< 0,01	0,28	< 0,01	< 0,01	0,31			0,25

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
Nitra.(mg/L)	< 0,01	< 0,01	0,19	< 0,01	< 0,01	0,22	< 0,01	0,05	0,19	< 0,01	< 0,01	0,18			0,20

k. Coliformes Termotolerantes – E. Coli

A quantificação dos organismos do grupo Coliformes é importante para identificar a potencialidade da água de transmitir doenças, no presente estudo foram quantificados os Coliformes Totais e a bactéria E. Coli. A E. Coli é uma representante do grupo de Coliformes Fecais, os quais são indicadores de contaminação por organismos presentes no trato intestinal de animais de sangue quente.

A CONAMA 357/05 estabelece as concentrações máximas de 1.000 NMP/100 mL e 2.500 NMP/100 mL de Coliformes Termotolerantes (E. Coli) para as classes 1 e 2, respectivamente.

A Tabela 16 apresenta as concentrações da bactéria E. Coli durante as três campanhas de monitoramento em cada área experimental, bem como, o valor médio por área, e a concentração em cada área de controle.

Tabela 16: Concentração de E. Coli durante as três campanhas de monitoramento por área experimental, nos pontos de controle e médias.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
E. Coli (NMP/100 mL)	20	78	<1,8	36	18	<1,8	45	78	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	34	58	<1.8

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
E. Coli (NMP/100 mL)	40	490	<1,8	36	1.300	<1,8	20	140	<1,8	<1,8	170	<1,8	32	643	<1.8

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22

Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
E. Coli (NMP/100 mL)	20	45	<1,8	20	20	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	20	20	<1,8	14	23	<1.8

Rua Joaquim Nabuco 15/304, Bairro Cidade Baixa, CEP 90050-340, Porto Alegre - RS
 Tel: (0xx48) 3024-5208. E-mail: contato@hydrosience.com.br

A Figura 27 apresenta as concentrações de E. Coli durante as três campanhas de monitoramento para as três áreas experimentais.

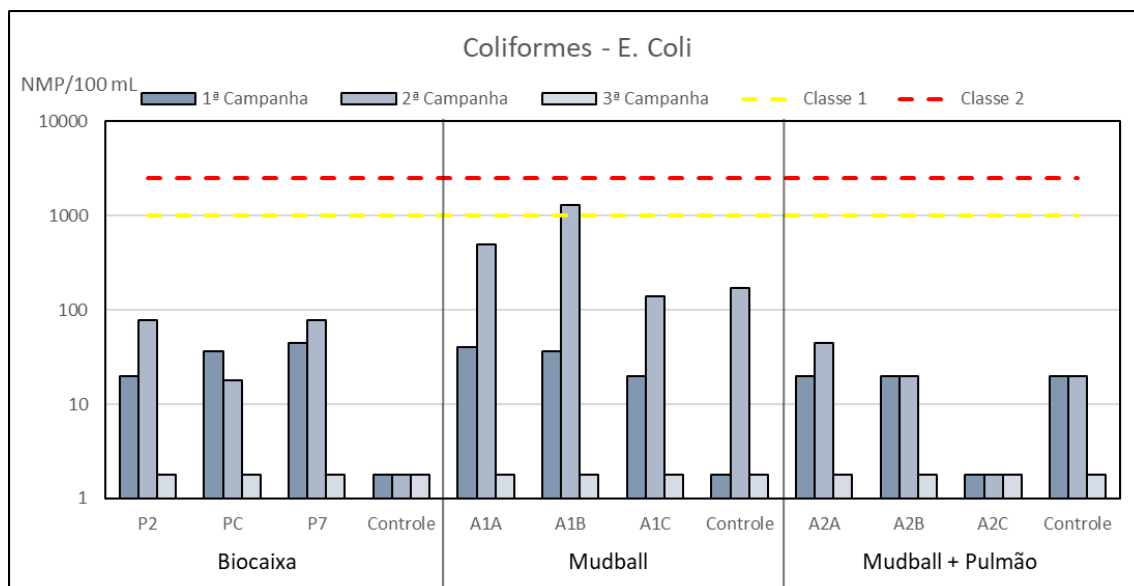


Figura 27: Concentrações de E. Coli durante as três campanhas de monitoramento por área experimental e nos pontos de controle.

Na área experimental com Biocaixas os valores observados no monitoramento encontram-se abaixo dos limites máximos estabelecidos pela resolução para todos os pontos avaliados nas três campanhas. As concentrações no ponto de controle foram mínimas nas três campanhas de monitoramento.

Na área de Mudballs, as concentrações observadas no monitoramento estiveram abaixo dos limites máximos estabelecidos pela resolução para todos os pontos avaliados na primeira campanha. Na segunda campanha, as concentrações de E. Coli se mantiveram baixas, com exceção do ponto A1B, o qual apresentou concentrações acima do valor limite estipulado para a classe 1. Na terceira campanha os valores observados foram mínimos (<1,8 NMP/100 mL) para todos os pontos. No ponto de controle as concentrações foram semelhantes aquelas observadas na área experimental, com concentrações abaixo dos limites máximos em todas as campanhas.

Na área de associação de Mudballs com o aerador, os valores observados no monitoramento encontram-se abaixo dos limites máximos estabelecidos pela resolução para todos os pontos avaliados nas três campanhas de monitoramento. As

concentrações no ponto de controle foram mínimas nas três campanhas de monitoramento.

1. Sulfetos

Os sulfetos em águas naturais estão associados ao lançamento de efluentes domésticos e industriais que contenham sulfato, entretanto, o íon sulfeto também é gerado a partir da decomposição biológica da matéria orgânica contendo enxofre.

A CONAMA 357/05 estabelece o valor máximo para sulfetos de 0,002 mg/L de S para as classes 1 e 2.

A Tabela 17 apresenta as concentrações da bactéria E. Coli durante as três campanhas de monitoramento em cada área experimental, bem como o valor médio por área, e a concentração em cada área de controle.

Tabela 17: Concentrações de Sulfeto durante as três campanhas de monitoramento por área experimental, nos pontos de controle e médias.

Tecnologia: Biocaixa

Ponto	P2			PC			P7			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	09:07	14:36	09:14	08:55	14:46	09:00	08:44	14:57	08:49	09:27	15:06	08:35	-	-	-
Sulf. (mg/L)	1,80	0,40	0,60	1,50	0,30	0,20	1,50	7,60	0,50	2,00	7,60	0,40	1,60	2,80	0,43

Tecnologia: Mudball

Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	13:10	09:03	10:42	12:54	09:20	10:56	12:40	09:35	11:12	12:20	09:52	10:23	-	-	-
Sulf. (mg/L)	2,50	0,70	0,60	1,60	7,60	0,50	4,60	0,60	0,40	4,60	0,50	1,30	2,90	2,97	0,50

Tecnologia: Mudball + Pulmão (aerador)

Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle			Médias		
Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Data	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22	09/03/22	05/07/22	04/10/22
Hora	14:05	10:27	12:05	13:24	10:12	12:19	13:46	10:43	11:51	14:21	11:01	11:37	-	-	-
Sulf. (mg/L)	3,10	0,60	0,50	3,80	0,60	1,30	2,80	0,20	1,20	2,00	0,60	0,50	3,23	0,50	1,00

A Figura 28 apresenta as concentrações de Sulfetos durante as três campanhas de monitoramento para as três áreas experimentais e nos pontos de controle.

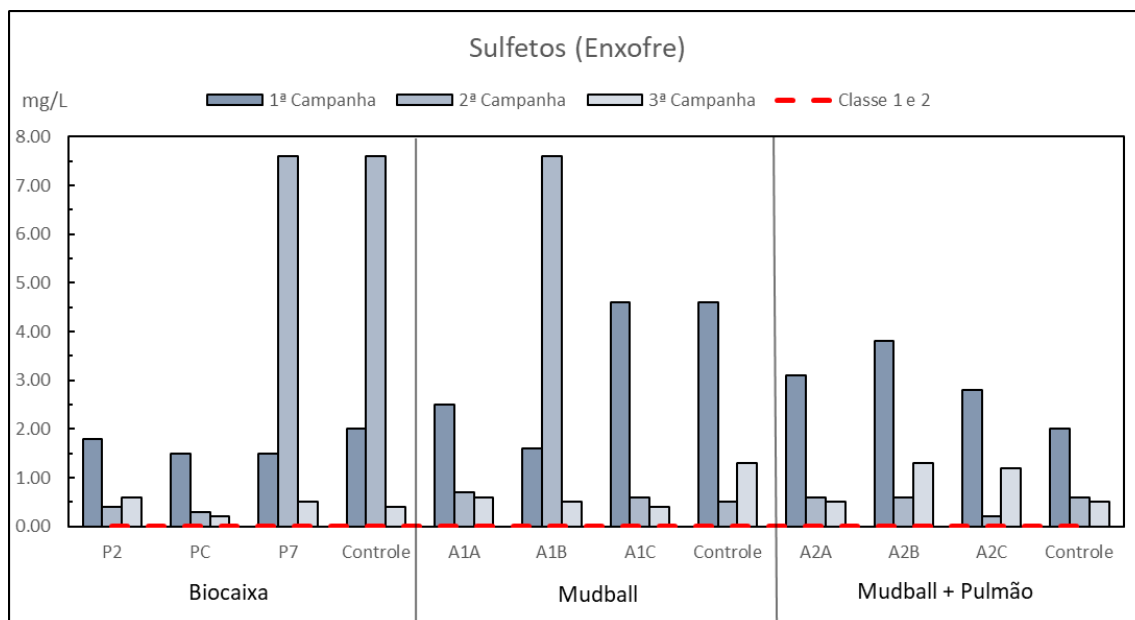


Figura 28: Concentrações de Sulfetos observadas nas três campanhas de monitoramento por área experimental, e nos pontos de controle.

Na área que utiliza Biocaixas, as concentrações observadas na primeira campanha estiveram na faixa de 1,50 a 2,00 mg/L, com valor médio 1,60 mg/L. Na segunda campanha as concentrações variaram entre 0,30 e 7,60 mg/L, com valor médio de 2,80 mg/L. Na terceira campanha as concentrações observadas foram de 0,20 a 0,60 mg/L, com valor médio de 0,43 mg/L. As concentrações no ponto de controle na primeira, segunda e terceira campanha foram de 2,00, 7,60 e 0,40 mg/L, respectivamente. Em todas as campanhas de monitoramento os valores estiveram bem acima do limite máximo estipulado pela legislação na área experimental e no ponto de controle.

Na área de aplicação de Mudballs, as concentrações observadas na primeira campanha estiveram na faixa de 1,60 a 4,60 mg/L, com valor médio 2,90 mg/L. Na segunda campanha as concentrações variaram entre 0,60 e 7,60 mg/L, com valor médio de 2,97 mg/L. Na terceira campanha as concentrações observadas foram entre 0,40 e 0,60 mg/L, com valor médio de 0,50 mg/L. As concentrações no ponto de controle na primeira, segunda e terceira campanha foram de 4,60, 0,50 e 1,30 mg/L,

respectivamente. Em todas as campanhas de monitoramento os valores estiveram bem acima do limite máximo estipulado pela legislação na área experimental e no ponto de controle.

Na área de Mudballs associada ao aerador, as concentrações observadas na primeira campanha estiveram na faixa de 2,00 a 3,80 mg/L, com valor médio 3,23 mg/L. Na segunda campanha as concentrações foram menores, as concentrações variaram entre 0,20 e 0,60 mg/L, com valor médio de 0,50 mg/L. Na terceira campanha as concentrações observadas foram entre 0,50 e 1,30 mg/L, com valor médio de 1,00 mg/L. As concentrações no ponto de controle na primeira, segunda e terceira campanha foram de 2,00, 0,60 e 0,50 mg/L, respectivamente. Em todas as campanhas de monitoramento os valores estiveram bem acima do limite máximo estipulado pela legislação na área experimental e no ponto de controle.

m. Metais

A presença de metais na água pode apresentar toxicidade aos organismos e indicar poluição do sistema. Diversos metais são encontrados na forma dissolvida em águas naturais, resultantes de lançamentos de efluentes industriais, de fertilizantes e da lixiviação do solo (LIBÂNIO, 2010).

Os parâmetros que representam os metais no presente estudo foram monitorados na primeira e terceira campanha; na segunda campanha os metais não foram monitorados, conforme previsto no plano de trabalho.

Os parâmetros analisados durante as campanhas de monitoramento são os seguintes: Cádmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco.

Nas duas campanhas de monitoramento as concentrações de todos os parâmetros estiveram abaixo dos limites de detecção para seus respectivos métodos de análise, com exceção do Cobre na primeira campanha, em todas as áreas experimentais e pontos de controle.

A Resolução CONAMA 357/05 apresenta concentrações máximas permitidas de 5,0 ug/L de Cu e 7,8 ug/L de Cu para as classes 1 e 2, respectivamente.

Na área de aplicação da tecnologia de Biocaixa, a concentração média de Cobre Dissolvido foi de 45,3 ug/L, no ponto de controle a concentração foi de 46 ug/L.

Na área de aplicação da tecnologia Mudballs, a concentração média de Cobre Dissolvido foi de 46,7 ug/L, no ponto de controle a concentração foi de 47 ug/L.

Na área de aplicação da tecnologia Mudballs associada a um aerador, a concentração média de Cobre Dissolvido foi de 46,7 ug/L, no ponto de controle a concentração foi de 48 ug/L.

Em todas as áreas experimentais e nos pontos de controle o teor de Cobre Dissolvido esteve elevado, com valores aproximadamente 5x superiores aos limites máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/05 para a classe 2.

7.2. Monitoramento da Qualidade do Sedimento

Para avaliação da qualidade dos sedimentos foram coletadas amostras em pontos coincidentes com os de amostragem de água. A amostragem ocorreu seguindo-se a metodologia apresentada no tópico 6.2 – Subprograma de Monitoramento de Sedimentos.

O monitoramento da qualidade do sedimento foi realizado na fase pré-experimento (1ª Campanha), três meses pós-início (2ª Campanha) dos experimentos, e seis meses pós-início (3ª Campanha).

A primeira campanha de monitoramento do sedimento foi realizada pela Hydrosience no dia 10/03/2022 entre as 8:00h e 15:00h. A segunda campanha ocorreu no dia 06/07/2022 entre as 8:00h e 15:30h. A terceira campanha foi realizada no dia 05/10/2022 entre as 8:00h e 15:30h. As três campanhas ocorreram na lagoa de Piratininga, com a presença da equipe da empresa Sisnate, de colaboradores da UFF/Biotecam e da Prefeitura Municipal de Niterói.

A Tabela 18 apresenta os limites de quantificação para cada parâmetros avaliados conforme o método utilizado pelo laboratório de análises.

Tabela 18: Limites de quantificação pelo laboratório de análises por parâmetro.

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação	Método
Carbono Orgânica Total	%	0,0005	Embrapa, Manual de Métodos e Análises de Solo
Teor de Matéria Orgânica	g/Kg	1,00	ABNT NBR 13600.1996
Teor de Umidade	%	0,01	SMEWW, 23ª Ed – 2540 G
Coliformes Totais	NMP/g	1,10	SM23 9221
E. Coli	NMP/g	1,10	PR-Tb-MB 026
Fósforo Total (Fosfatos)	mg/Kg	1,324	SMEWW, 23ª Ed – 4500-P B e 4500-P E
Nitrogênio Kjeldahl	mg/Kg	2,30	SMEWW, 23ª Ed., 4500 -Norg C
Nitrogênio Total	mg/Kg	2,00	SMEWW, 23ª Ed., 4500 -N A
Sulfeto (Enxofre)	mg/Kg	4,00	SMWW, 23ª Ed., 4500-S-2G, 2017/EPA 9030:B1996

As Figura 29, 30, 31 e 32 apresentam etapas da coleta de sedimento para envio ao laboratório durante as três campanhas de monitoramento.



Figura 29: Coleta de sedimento na primeira campanha de monitoramento.



Figura 30: Coleta do material sedimentar com o auxílio do tubo cilíndrico em acrílico na segunda campanha.



Figura 31: Transferência do material coletado para os frascos devidamente identificados na segunda campanha.



Figura 32: Transferência do material coletado para os sacos ziplock devidamente identificados para envio ao laboratório na terceira campanha de monitoramento.

A legislação brasileira não apresenta padrões de qualidade de sedimentos. Entretanto, o monitoramento do sedimento é importante na análise do ambiente, pois retém parte dos possíveis poluentes do sistema, podendo inclusive fornecer um histórico da região ao analisar as camadas menos superficiais (CETESB, 2019).

A seguir, serão apresentados os resultados das análises realizadas na matriz sedimentar por área experimental.

7.2.1. PANORAMA GERAL DA QUALIDADE DO SEDIMENTO

No presente tópico será apresentado um panorama geral dos principais parâmetros de qualidade do sedimento monitorados nas duas campanhas, de forma espacial, identificando cada área de aplicação das tecnologias.

O diagnóstico químico dos sedimentos foi realizado através dos seguintes parâmetros: Carbono Orgânico Total, Fósforo Total e Nitrogênio Kjeldahl Total. Esses parâmetros auxiliam na avaliação da qualidade biogeoquímica do sedimento, a carga de nutrientes e a condição de eutrofização dos corpos hídricos.

Como não existem padrões de qualidade para sedimentos na legislação brasileira, as concentrações de Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Kjeldahl Total e Fósforo Total serão comentadas com base na Resolução CONAMA nº 454/2012, a qual apresenta valores de alerta para os referidos parâmetros.

Tabela 19: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada superficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Biocaixas.

Prof. (m) = 0,10	Ponto	P2			PC			P7			Controle		
Parâmetros	Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
	Unidade												
Carb. Orgânico Total	%	80,115	4,82	3,32	6,68	6,55	3,36	91,017	6,58	6,34	80,397	5,06	2,01
Teor M. Orgânica	%	4,32	8,31	5,73	6,91	11,3	5,8	3,8	5,27	10,93	6,59	8,72	3,46
Teor de Sólido	%	20,25	31,87	34,39	19,4	29,24	27,34	18,18	28,21	27,26	42,32	22,04	42,46
Teor de Umidade	%	79,75	68,13	65,61	80,6	70,76	72,66	81,82	71,79	72,74	57,68	77,96	57,54
Col. Totais	NMP/100g	<1,1	23000	160000	< 1,1	49000	160000	20	92000	160000	20	54000	160000
E. Coli	NMP/100g	<1,1	4900	7900	< 1,1	23000	4900	<1,1	24000	24000	<1,1	2200	780
PT Fosfato	mg/Kg	< 1,32	363	331	< 1,32	432	324	< 1,32	261	349	< 1,32	414	262
N Kjeldahl	mg/Kg	55,30	2220,90	2977,80	124,80	2369,50	3293	110,20	7503,80	3058,70	98,80	2871,90	2994,40
N Total	mg/Kg	67,46	2220,90	2977,80	152,25	2369,50	3293	134,44	7503,80	3058,70	120,53	2871,90	2994,40
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	22,87	-	55,43	4	7,82	44,92	22,319	7,11	58,41	45,52	-	17,57
Chumbo	mg/kg	260,97	-	11,35	1	-	12,62	154,63	-	15,25	456,62	-	12,07
Cobre	mg/kg	< 0,73	-	8,40	< 0,73	-	8,3	< 0,73	-	11,9	< 0,73	-	6,7
Zinco	mg/kg	16,61	-	44	3,85	-	41	1,2	-	60	1453,36	-	32

Tabela 20: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada subsuperficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Biocaixas.

Prof. (m) = 0,30	Ponto	P2			PC			P7			Controle		
	Campanha	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Parâmetros	Unidade												
Carb. Orgânico Total	%	70,142	5,17	1,9	7,305	3,92	2,36	64,599	5,32	1,61	65,995	3,68	3,83
Teor M. Orgânica	%	3,88	8,91	3,27	5,50	6,75	4,06	3,71	9,17	2,78	8,06	6,35	6,60
Teor de Sólido	%	38,26	38,35	44,8	32,12	39,07	42,79	36,28	29,92	40,65	29,31	33,11	39,98
Teor de Umidade	%	61,74	61,65	55,2	67,88	60,93	57,21	63,72	70,08	59,35	70,69	66,89	60,02
Col. Totais	NMP/100g	790	92000	160000	20	23000	160000	<1,1	540000	160000	<1,1	54000	160000
E. Coli	NMP/100g	340	2300	450	<1,1	780	200	<1,1	23000	4900	<1,1	24000	4900
PT Fosfato	mg/Kg	< 1,32	127	99	< 1,32	241	120	< 1,32	169	197	< 1,32	145	196
N Kjeldahl	mg/Kg	84,50	1839,50	1471,60	91,50	1656	2326,90	36,70	1951,70	2412,30	2	1508,90	2810,40
N Total	mg/Kg	103,10	1839,50	1471,60	111,63	1656	2326,90	44,80	1951,70	2412,30	2	1508,90	2810,40
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	70,92	-	21,09	42,25	1,97	0,50	46,539	-	0,50	74,99	-	25,56
Chumbo	mg/kg	245,12	-	8,10	462,56	-	9,13	126,56	-	10,20	600,62	-	10,72
Cobre	mg/kg	< 0,73	-	7,10	< 0,73	-	7	< 0,73	-	7,80	< 0,73	-	8
Zinco	mg/kg	1,20	-	41	6,88	-	40	8,85	-	44	7,86	-	47

Tabela 21: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada superficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Mudballs.

Prof. (m) = 0,10	Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle		
Parâmetros	Campanha Unidade	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Carb. Orgânico Total	%	53,88	35,84	5,51	10,18	5,5	7,2	44,43	7,62	4,64	49,92	9,42	7,21
Teor M. Orgânica	%	9,67	61,78	9,5	3,2	9,48	12,4	6,62	13,13	8	3,72	16,25	12,43
Teor de Sólido	%	11,5	46,22	15,79	28,51	25,1	20,79	29,05	16,6	33,78	20,72	14,2	46,63
Teor de Umidade	%	88,5	53,78	84,21	71,49	74,9	79,21	70,95	83,4	66,22	79,21	85,8	83,37
Col. Totais	NMP/100g	<1,1	54000	160000	<1,1	240000	24000	<1,1	54000	92000	<1,1	160000	160000
E. Coli	NMP/100g	<1,1	13000	24000	<1,1	4900	2300	<1,1	2300	780	<1,1	54000	1300
PT Fosfato	mg/Kg	< 1,32	556	647	< 1,32	597	542	< 1,32	700	894	< 1,32	482	866
N Kjeldahl	mg/Kg	85,70	1606,20	4525,50	114,10	3471,10	5382,90	83,20	3622,80	3225,30	76,2	3447,60	8957
N Total	mg/Kg	104,55	1606,20	4525,50	139,20	3471,10	5382,90	101,50	3622,80	3225,30	92,96	3447,60	8957
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	4	38,32	631,06	4	5,86	356,97	4	34,54	27,06	-	46,42	590,43
Chumbo	mg/kg	269,86	-	20,28	219,35	-	17,75	195,02	-	20,45	200,98	-	26,08
Cobre	mg/kg	< 0,73	-	12,5	< 0,73	-	11	< 0,73	-	11,9	< 0,73	-	18,6
Zinco	mg/kg	3,05	-	51	14,06	-	46	1,20	-	56	31,63	-	68

Tabela 22: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada subsuperficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Mudballs.

Prof. (m) = 0,30	Ponto	A1A			A1B			A1C			Controle		
Parâmetros	Campanha Unidade	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Carb. Orgânico Total	%	75,37	2,98	4,99	66,15	2,85	4,73	7,10	4,71	5,03	7,35	5,84	5,96
Teor M. Orgânica	%	4,47	5,13	8,60	5,05	4,92	8,15	3,60	8,13	8,67	2,06	10,07	10,28
Teor de Sólido	%	34,17	38,17	36,87	31,43	37,37	39,63	29,44	34,84	17,21	35,06	29,52	27,26
Teor de Umidade	%	65,83	61,83	63,13	68,57	62,63	60,37	70,56	65,16	82,79	64,94	70,48	72,74
Col. Totais	NMP/100g	<1,1	160000	160000	<1,1	160000	160000	20	540000	160000	<1,1	23000	160000
E. Coli	NMP/100g	<1,1	4900	2300	<1,1	2300	450	<1,1	2300	7900	<1,1	4900	2200
PT Fosfato	mg/Kg	< 1,32	265	334	< 1,32	103	178	< 1,32	211	969	< 1,32	446	336
N Kjeldahl	mg/Kg	7,50	3405,30	3370	2	1539,90	1752,20	30,7	1722,20	9630,30	124,10	2228,20	4026,60
N Total	mg/Kg	9,20	3405,30	3370	2	1539,90	1752,20	37,45	1722,20	9630,30	151,40	2228,20	4026,60
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	58,97	2,1	40,01	33,40	1,61	38,7	21,43	5,61	819,12	34,937	5,72	31,44
Chumbo	mg/kg	243,56	-	11,77	190,43	-	12,96	173,66	-	16,56	166,03	-	46
Cobre	mg/kg	< 0,73	-	7,2	< 0,73	-	6,8	< 0,73	-	12,2	< 0,73	-	16,95
Zinco	mg/kg	45,86	-	38	1,2	-	34	13,46	-	46	1,20	-	10,20

Tabela 23: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada superficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Mudballs associada com um aerador mecânico.

Prof. (m) = 0,10	Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle		
Parâmetros	Campanha Unidade	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Carb. Orgânico Total	%	45,68	9,90	10,99	76,06	10,85	10,24	40,55	6,69	11,05	8,23	10,91	7,45
Teor M. Orgânica	%	7,20	17,06	18,95	7,00	18,71	17,65	2,51	11,54	19,05	6,58	18,81	12,85
Teor de Sólido	%	38,31	10,32	12,34	29,07	14,71	14,24	13,96	11,82	11,91	31,43	9,86	12,12
Teor de Umidade	%	61,99	89,68	87,66	70,93	85,29	85,76	86,04	88,19	88,09	68,57	90,14	87,88
Col. Totais	NMP/100g	<1,1	130000	92000	<1,1	54000	24000	<1,1	79000	160000	<1,1	49000	160000
E. Coli	NMP/100g	<1,1	23000	2300	<1,1	13000	4900	<1,1	23000	4900	<1,1	23000	2300
PT Fosfato	mg/Kg	< 1,32	527	983	< 1,32	591	927	< 1,32	553	807	< 1,32	706	859
N Kjeldahl	mg/Kg	29,60	5776,50	12421	85,60	3288	5656,20	91,81	3911,80	9489,80	2	5338	8713,70
N Total	mg/Kg	36,10	5776,50	12421	104,43	3288	5656,20	112,01	3911,80	9489,80	2	5338	8713,70
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	4	0,50	1317,86	0	118,87	840,71	4	2,29	501,72	4	38,81	555,24
Chumbo	mg/kg	138,11	-	26,19	164,00	-	27,56	211,80	-	25,5	133,47	-	24,93
Cobre	mg/kg	< 0,73	-	18,20	< 0,73	-	18,20	< 0,73	-	17,60	< 0,73	-	18,30
Zinco	mg/kg	1,20	-	72	1,20	-	69	1,20	-	67	1,20	-	72

Tabela 24: Concentrações dos parâmetros analisados durante as três campanhas de monitoramento na camada subsuperficial na área experimental de aplicação da tecnologia de Mudballs associada com um aerador mecânico.

Prof. (m) = 0,30	Ponto	A2A			A2B			A2C			Controle		
Parâmetros	Campanha Unidade	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Carb. Orgânico Total	%	74,85	7,58	8,35	60,86	5,67	7,57	6,77	6,23	6,98	64,23	9,44	6,03
Teor M. Orgânica	%	7,64	13,07	14,40	6,39	9,77	13,05	5,81	10,74	12,03	6,62	16,27	10,40
Teor de Sólidos	%	18,18	21,63	18,08	47,69	25,92	22,38	20,25	22,62	24,22	6,52	19,67	24,38
Teor de Umidade	%	81,82	78,37	81,92	52,31	74,08	77,62	79,75	77,38	75,78	93,48	80,33	75,62
Col. Totais	NMP/100g	<1,1	24000	24000	<1,1	14000	160000	<1,1	79000	160000	<1,1	23000	13000
E. Coli	NMP/100g	<1,1	2300	200	<1,1	2300	1300	<1,1	2300	2300	<1,1	2300	2300
PT Fosfato	mg/Kg	< 1,32	469	590	< 1,32	268	700	< 1,32	370	473	237,86	549	484
N Kjeldahl	mg/Kg	88,70	1989,80	7671,50	36	2669,90	8144,80	103,30	2821,20	3390,50	113,83	3383	5345
N Total	mg/Kg	108,21	1989,80	7671,50	43,9	2669,90	8144,80	126,02	2821,20	3390,50	138,87	3383	5345
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	4	8,57	202,30	4	16,78	43	4	20,18	58,23	4	-	55,31
Chumbo	mg/kg	97,03	-	31,28	124,61	-	28,38	124,61	-	27,48	1	-	53
Cobre	mg/kg	< 0,73	-	17	< 0,73	-	14,4	< 0,73	-	13,5	< 0,73	-	24,61
Zinco	mg/kg	19,05	-	66	8,77	-	61	16,50	-	58	1,20	-	11,80

a. Teor de Umidade

A capacidade do sedimento em armazenar água depende de diversos fatores, tais como textura, tipo de argila, estrutura e quantidade de matéria orgânica. Sedimentos arenosos e com pouca fração orgânica tem menor capacidade de armazenar água disponível, quando comparado aos sedimentos argilosos ou ricos em húmus.

A Figura 33 apresenta a representação gráfica dos resultados obtidos do teor de umidade presente na camada superficial durante as três campanhas de monitoramento, em cada área experimental e nos pontos de controle.

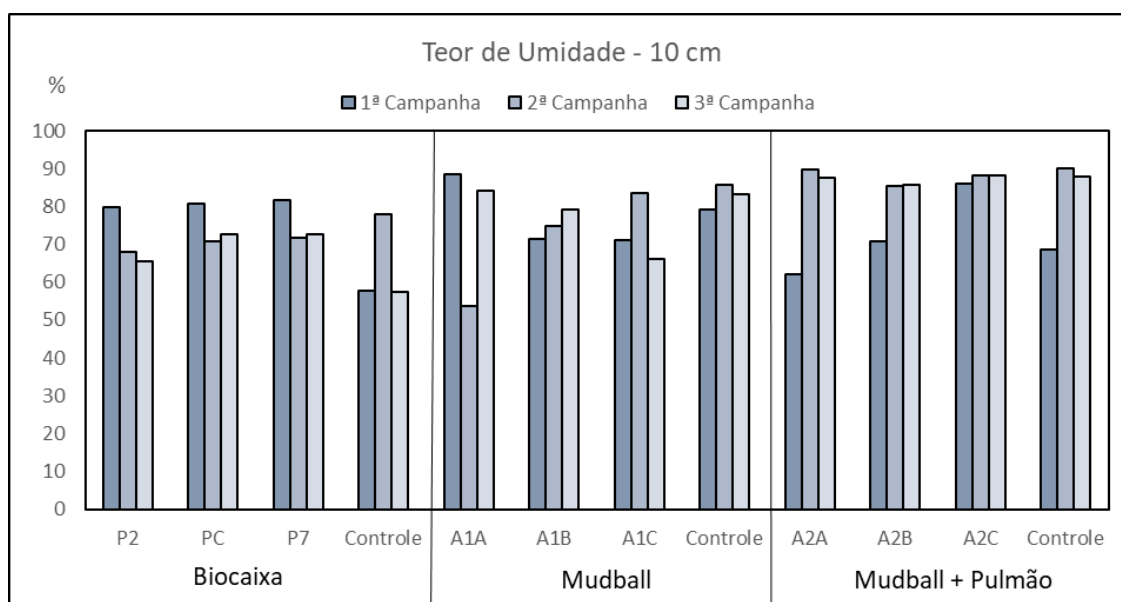


Figura 33: Teor de umidade na camada superficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.

Na área de aplicação da tecnologia de Biocaixas, os teores médios de umidade aferidos na camada superficial na primeira, segunda e terceira campanha foram 81%, 70% e 70%, respectivamente. Houve uma redução média de 10% no teor de umidade da primeira para a segunda campanha, e na terceira manteve-se com a mesma porcentagem da segunda. O teor de umidade no ponto de controle foi de 58%, 78% e 58%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. É possível observar que ocorreu uma oscilação significativa no teor de umidade entre as campanhas, com

um aumento de 20% da primeira para a segunda, e depois uma redução de 20% da segunda para a terceira campanha.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou teores médios de umidade de 77%, 71% e 77%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. Houve uma pequena variação entre as campanhas, mas nada muito significativo. No ponto de controle, o teor de umidade aumentou durante as três campanhas, na primeira o teor foi de 79%, na segunda foi de 86% e na terceira foi de 88%.

Na área experimental onde está associado os Mudballs a um aerador, os teores médios de umidade aferidos foram 73%, 88% e 87%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Através dos resultados é perceptível que ocorreu um aumento (15%) no teor de umidade da primeira campanha para a segunda, e na terceira o teor de umidade não variou significativamente. No ponto de controle os teores de umidade observados foram 69%, 90% e 88%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Assim como ocorreu na área experimental, o ponto de controle apresentou um aumento significativo no teor de umidade, sendo 21% de aumento, da primeira para a segunda campanha, e uma pequena variação da segunda para a terceira.

A Figura 34 apresenta a representação gráfica dos resultados obtidos do teor de umidade presente na camada subsuperficial durante as três campanhas de monitoramento, em cada área experimental e nos pontos de controle.

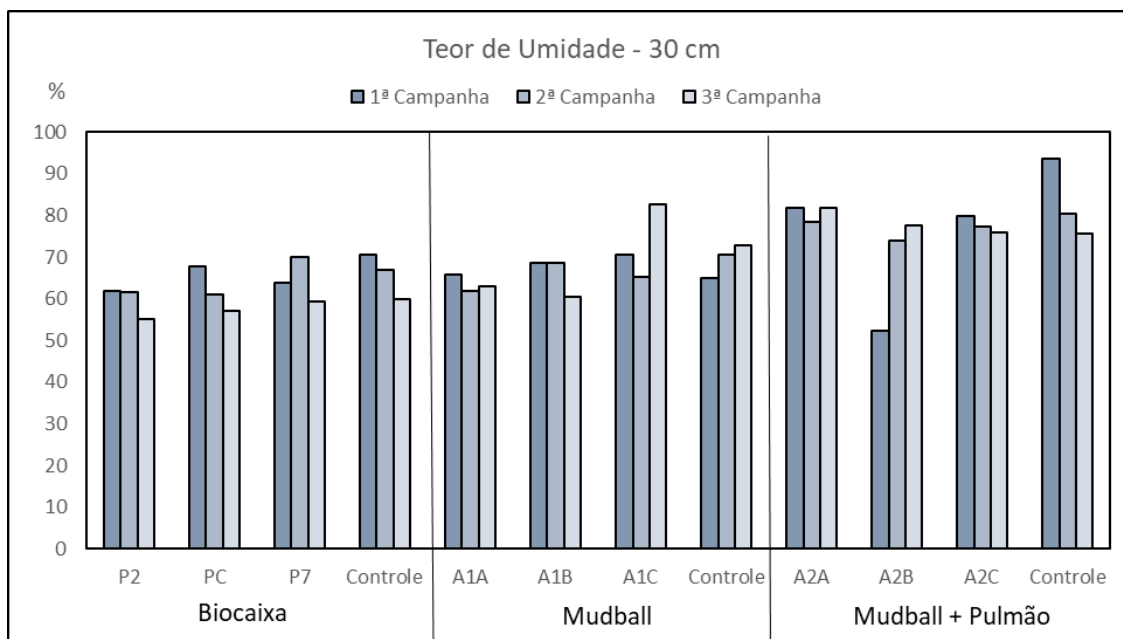


Figura 34: Teor de umidade na camada subsuperficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, os teores médios de umidade para a primeira, segunda e terceira campanha foram 64%, 64% e 57%, respectivamente. Entre a primeira e a segunda campanha o teor de umidade não apresentou variação, entre a segunda e a terceira campanha ocorre uma redução média de 7% no teor de umidade das amostras. No ponto de controle ocorreu uma redução no teor de umidade em todas as campanhas de monitoramento, com valores médios de 71%, 67% e 60%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada subsuperficial do sedimento apresentou teores médios de umidade na área de 64%, 65% e 69%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. Ocorreu um pequeno aumento entre as campanhas, que totalizou 5% entre a primeira e a terceira campanha. No ponto de controle, o teor de umidade aumentou durante as três campanhas, na primeira o teor foi de 71%, na segunda foi de 72% e na terceira foi de 73%.

Na área experimental onde tem a associação dos Mudballs a um aerador, os teores médios de umidade aferidos foram 71%, 77% e 78%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Através dos resultados, é observado um aumento (7%) no teor de umidade da primeira campanha para a segunda, e na

terceira o teor de umidade não variou significativamente em relação à campanha anterior. No ponto de controle os teores de umidade observados foram 93%, 80% e 78%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Ao contrário do que ocorreu na área experimental, o ponto de controle apresentou uma redução significativa no teor de umidade, sendo 13% de redução da primeira para a segunda campanha, e uma pequena variação da segunda para a terceira.

De forma geral, os teores de umidade observados são mais elevados na camada superficial, quando comparados com a subsuperficial, podendo ser um indicativo de uma porção maior de sólidos na camada subsuperficial.

Os teores elevados de umidade indicam um grande potencial de dissolução de íons do sedimento, principalmente na camada superficial, o que pode acarretar em uma alta capacidade de troca iônica com o meio. Nos locais onde ocorreu a diminuição no teor de umidade, houve um aumento na concentração de sólidos presente na camada do sedimento, e em locais onde houve um aumento nos teores de umidade, ocorreu a redução da fração de sólidos no sedimento.

b. Teor de Sólidos

O teor de sólidos está associado com o teor de umidade de um determinado sedimento, essas grandezas são inversamente proporcionais, locais com maiores teores de umidade, apresentam menores teores de sólidos.

A Figura 35 mostra a representação gráfica dos resultados obtidos do teor de sólidos presente na camada superficial durante as três campanhas de monitoramento, em cada área experimental e nos pontos de controle.

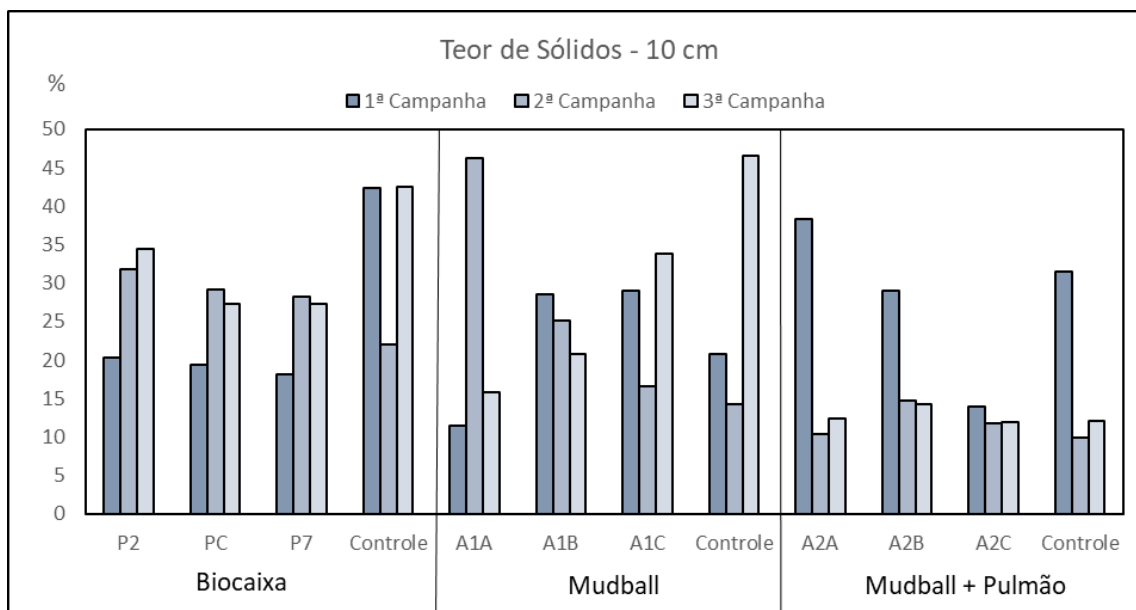


Figura 35: Teor de sólidos na camada superficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, os teores médios de sólidos na camada superficial para a primeira, segunda e terceira campanha foram 19%, 30% e 30%, respectivamente. Entre a primeira e a segunda campanha o teor de sólidos aumentou 11%, entre a segunda e a terceira campanha não ocorreu nenhuma variação. No ponto de controle ocorreu uma redução (20%) no teor de sólidos entre a primeira e a segunda campanha, e um aumento (20%) entre a segunda e terceira campanha, os valores médios foram de 42%, 22% e 42%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou teores médios de sólidos de 23%, 29% e 23%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. Ocorreu uma pequena redução (7%) entre a primeira e segunda campanha, e um aumento de 7% entre a segunda e a terceira campanha. No ponto de controle, o teor de sólidos diminuiu entre a primeira e segunda campanha, na primeira o teor foi de 21%, na segunda foi de 14%, e da segunda para a terceira houve um aumento, na terceira foi de 47%.

Na área experimental onde está associado Mudballs a um aerador, os teores médios de sólidos aferidos foram 23%, 12% e 13%, na primeira, segunda e terceira campanha

de monitoramento, respectivamente. Através dos resultados é perceptível que ocorreu uma redução (11%) no teor de sólidos da primeira campanha para a segunda, e na terceira o teor de sólidos não variou significativamente. No ponto de controle os teores de sólidos observados foram 31%, 10% e 12%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Assim como ocorreu na área experimental, o ponto de controle apresentou uma redução significativa no teor de sólidos, sendo 21% de redução, da primeira para a segunda campanha, e uma pequena variação da segunda para a terceira.

A Figura 36 mostra a representação gráfica dos resultados obtidos do teor de sólidos presente na camada subsuperficial durante as três campanhas de monitoramento, em cada área experimental e nos pontos de controle associados.

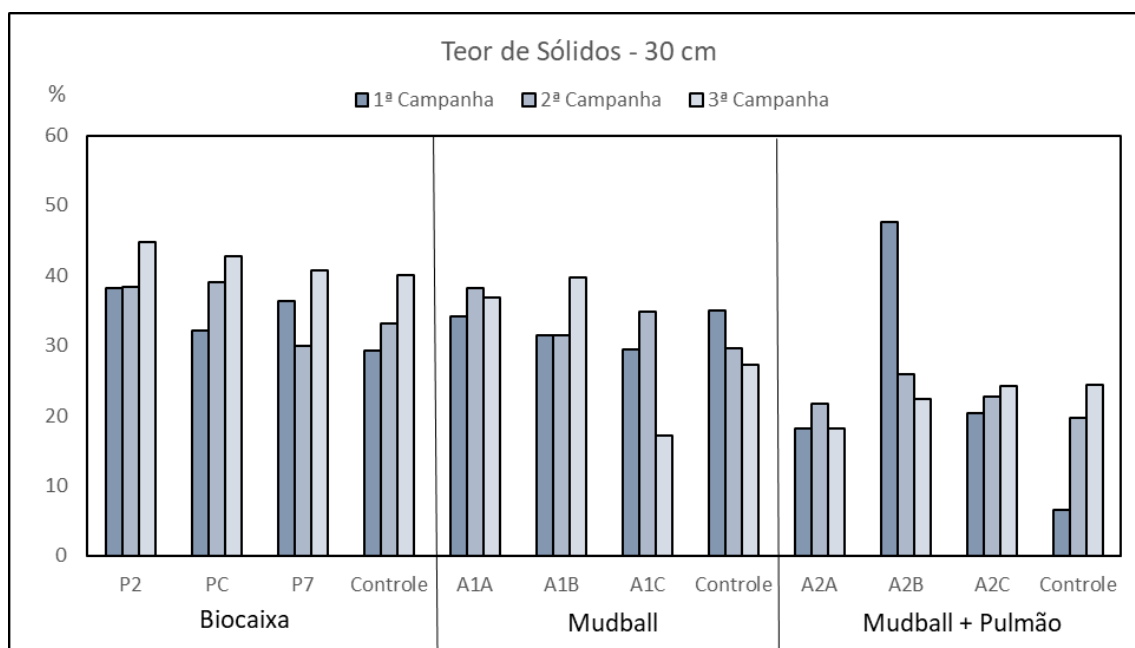


Figura 36: Teor de sólidos na camada subsuperficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, os teores médios de sólidos na camada subsuperficial para a primeira, segunda e terceira campanha foram 36%, 36% e 43%, respectivamente. Entre a primeira e a segunda campanha o teor de sólidos não variou, entre a segunda e a terceira campanha houve um aumento de 7%. No ponto de controle ocorreu um aumento (4%) no teor de sólidos entre a primeira e a segunda

campanha, e um aumento (7%) entre a segunda e terceira campanha, os valores médios foram de 29%, 33% e 40%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada subsuperficial do sedimento apresentou teores médios de sólidos na área de 36%, 35% e 31%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. Ocorreu uma pequena redução (5%) entre as três campanhas de monitoramento. No ponto de controle, o teor de sólidos diminuiu durante as três campanhas, na primeira o teor foi de 29%, na segunda foi de 28% e na terceira foi de 27%.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, os teores médios de sólidos aferidos na camada subsuperficial foram 29%, 23% e 22%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Através dos resultados é notada uma redução (6%) no teor de sólidos da primeira campanha para a segunda, e na terceira o teor de sólidos não variou significativamente. No ponto de controle os teores de sólidos observados foram 7%, 20% e 22%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Ao contrário do que ocorreu na área experimental, o ponto de controle apresentou um aumento significativo no teor de sólidos, sendo 13% de aumento, da primeira para a segunda campanha, e uma pequena variação da segunda para a terceira.

Nos locais onde ocorreu a diminuição no teor de umidade, houve um aumento na concentração de sólidos presente na camada do sedimento, e em locais onde houve um aumento nos teores de umidade, ocorreu a redução da fração de sólidos no sedimento.

c. Teor de Matéria Orgânica

Os sedimentos podem ser classificados como orgânicos e inorgânicos/mineral, dependendo do teor de matéria orgânica que a amostra apresenta, sedimentos com concentrações maiores que 10% de matéria orgânica é considerado como orgânico, e os sedimentos com teores menores de 10% são classificados como inorgânico/mineral (ESTEVES, 2011).

A Figura 37 mostra a representação gráfica dos resultados obtidos do teor de matéria orgânica presente na camada superficial durante as três campanhas de monitoramento, em cada área experimental e nos pontos de controle.

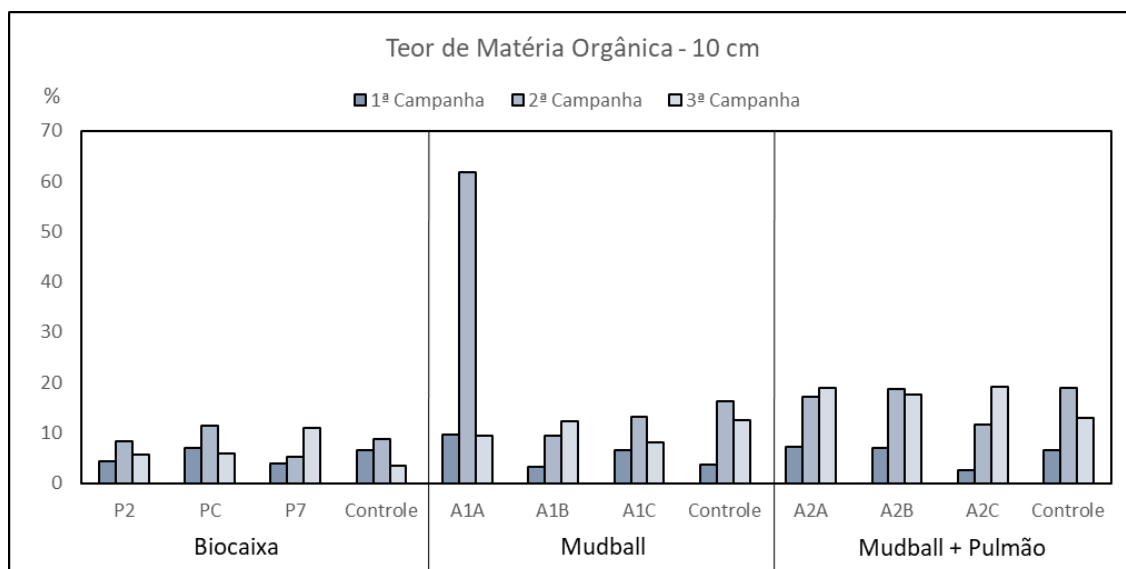


Figura 37: Teor de Matéria Orgânica na camada superficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, os teores médios de matéria orgânica na camada superficial para a primeira, segunda e terceira campanha foram 5%, 8% e 7%, respectivamente. Não ocorreu nenhuma variação significativa entre as campanhas de monitoramento. No ponto de controle os teores de matéria orgânica observados foram 7%, 9% e 3%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Ao avaliar os resultados é perceptível que não ocorreram variações significativas entre as campanhas, a composição do sedimento na camada superficial é classificada como inorgânica, durante o monitoramento não foram detectadas alterações de características da composição do sedimento na área experimental e de controle.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou teores médios matéria orgânica de 6%, 28% e 10%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. Ocorreu um aumento (22%) significativo entre a primeira e segunda campanha de monitoramento, e uma redução (18%) entre a segunda

e terceira campanha. No ponto de controle, o teor de matéria orgânica aumentou durante as três campanhas, na primeira o teor foi de 4%, na segunda foi de 16% e na terceira foi de 13%. Ao avaliar os resultados é possível concluir que as características da composição do sedimento na camada superficial foram alteradas durante o monitoramento, seja na área experimental ou no controle, na primeira campanha a classificação era de solo inorgânico, na segunda e terceira campanha as características indicam um solo orgânico.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, os teores médios de matéria orgânica aferidos na camada superficial foram 6%, 16% e 19%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Através dos resultados, observa-se um aumento (10%) no teor de matéria orgânica da primeira campanha para a segunda, e na terceira o teor de matéria orgânica não variou significativamente. No ponto de controle os teores de matéria orgânica observados foram 7%, 19% e 13%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Assim como ocorreu na área experimental, o ponto de controle apresentou um aumento significativo no teor de matéria orgânica, sendo 12% de aumento, da primeira para a segunda campanha, e uma pequena variação da segunda para a terceira. Ao avaliar os resultados é possível concluir que as características da composição do sedimento na camada superficial foram alteradas durante o monitoramento, seja na área experimental ou no controle, na primeira campanha a classificação era de solo inorgânico, na segunda e terceira campanha as características indicam um solo orgânico.

A Figura 38 mostra a representação gráfica dos resultados obtidos do teor de matéria orgânica presente na camada subsuperficial durante as três campanhas de monitoramento, em cada área experimental e nos pontos de controle.

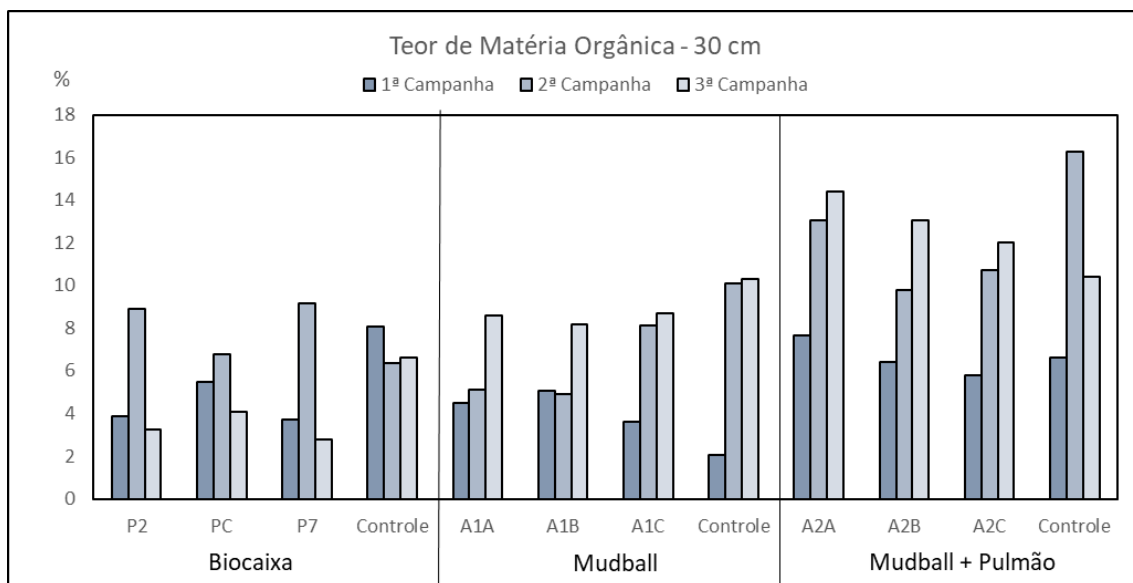


Figura 38: Teor de Matéria Orgânica na camada subsuperficial do sedimento durante as três campanhas de monitoramento, nas três áreas experimentais e nos pontos de controle.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, os teores médios de matéria orgânica na camada subsuperficial para a primeira, segunda e terceira campanha foram 4%, 8% e 3%, respectivamente. Não ocorreu nenhuma variação significativa entre as campanhas de monitoramento. No ponto de controle os teores de matéria orgânica observados foram 8%, 6% e 7%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. É perceptível que não ocorreram variações significativas entre as campanhas. A composição do sedimento na camada subsuperficial é classificada como inorgânica, e durante o monitoramento não foi detectada alterações de características da composição do sedimento na área experimental e de controle.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada subsuperficial do sedimento apresentou teores médios matéria orgânica de 4%, 6% e 8%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. Não ocorreu nenhuma variação significativa entre as campanhas de monitoramento. No ponto de controle, o teor de matéria orgânica aumentou durante as três campanhas, na primeira o teor foi de 2%, na segunda foi de 10% e na terceira foi de 10%. Ao avaliar os resultados é possível concluir que a composição do sedimento na camada subsuperficial tem características de solo inorgânico, seja na área experimental ou no controle, sendo classificado como

sedimento inorgânico, não sofrendo alterações significativas na composição durante o monitoramento.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, os teores médios de matéria orgânica aferidos na camada subsuperficial foram 6%, 11% e 13%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Através dos resultados é perceptível que ocorreu um aumento (5%) no teor de matéria orgânica da primeira campanha para a segunda, e na terceira o teor de matéria orgânica não variou significativamente. No ponto de controle os teores de matéria orgânica observados foram 7%, 16% e 10%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. Assim como ocorreu na área experimental, o ponto de controle apresentou um aumento significativo no teor de matéria orgânica, sendo 9% de aumento, da primeira para a segunda campanha, e uma pequena variação da segunda para a terceira. Ao avaliar os resultados é possível concluir que as características da composição do sedimento na camada subsuperficial foram alteradas durante o monitoramento, seja na área experimental ou no controle, na primeira campanha a classificação era de solo inorgânico, na segunda e terceira campanha as características indicam um solo orgânico.

d. Carbono Orgânico Total

As concentrações de Carbono Orgânico Total para a camada superficial são apresentadas na Figura 39.

A resolução CONAMA nº 454/2012 considera que concentrações de Carbono Orgânico Total acima de 10% devem ser observadas com maior atenção, pois a mesma considera como um valor de alerta.

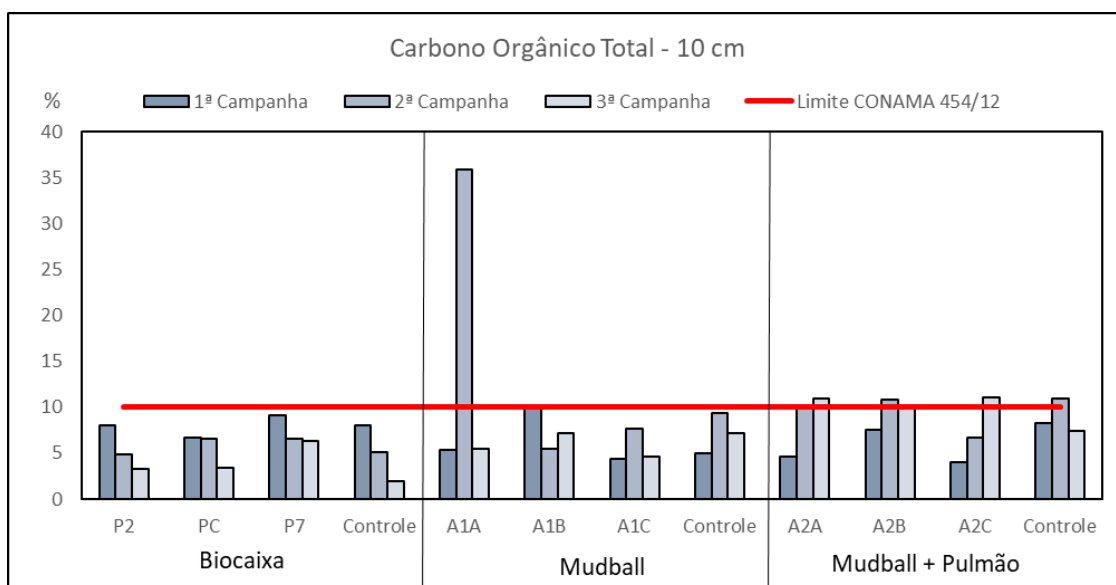


Figura 39: Concentrações de COT na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de COT na camada superficial para a primeira, segunda e terceira campanha foram 8%, 6% e 4,5%, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de COT diminuíram durante as três campanhas, na primeira o teor foi de 8%, na segunda foi de 5% e na terceira foi de 2%. Os resultados observados nas três campanhas indicam uma redução nas concentrações de COT na área experimental e nos pontos de controle, os valores observados estiveram abaixo dos limites de alerta da Resolução 454/2012.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou concentrações médias de COT de 7%, 16% e 6%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de COT apresentaram aumento durante as três campanhas, na primeira o teor foi de 5%, na segunda foi de 9,5% e na terceira foi de 7%. De forma geral, os valores estiveram abaixo dos níveis de alerta estipulados pela Resolução 454/2012 durante as três campanhas para a área experimental e no ponto de controle, com exceção da segunda campanha, no ponto A1A, o qual apresentou uma concentração bem elevada, de 36%. Vale observar que neste mesmo ponto, a concentração de Matéria Orgânica Total foi bem superior aos valores dos outros pontos.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de COT aferidas na camada superficial foram 5,5%, 9% e 11%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. No ponto de controle, a concentração de COT na primeira foi de 8%, na segunda foi de 11% e na terceira foi de 7,5%. Através dos resultados é possível observar que houve uma variação nas concentrações COT na área experimental e de controle, com locais apresentando situações de alerta, com base na Resolução 454/2012.

A Figura 40 apresenta as concentrações de Carbono Orgânico Total para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle associados.

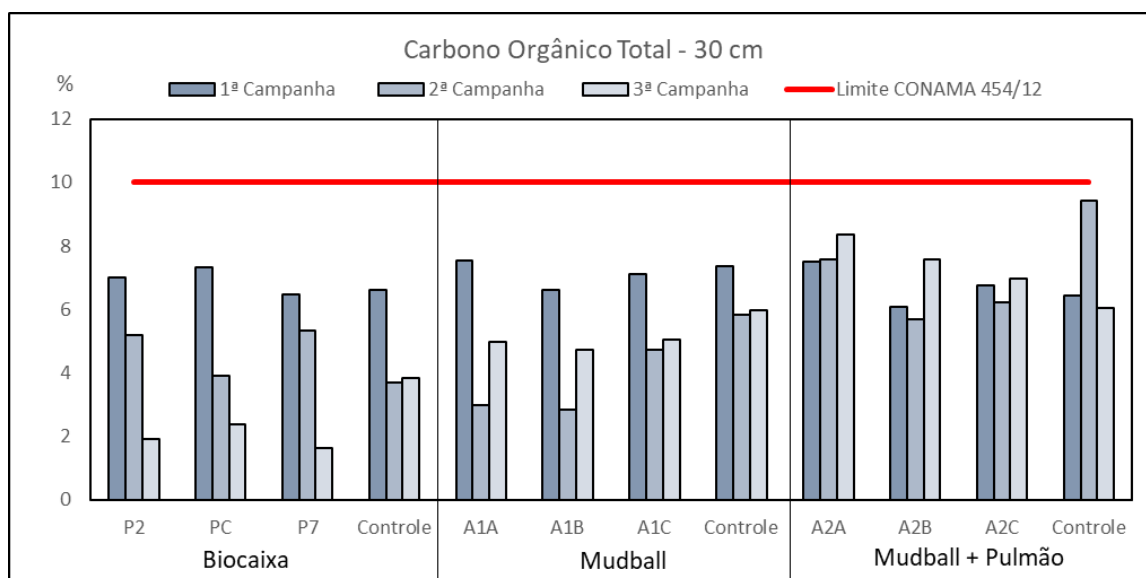


Figura 40: Concentrações de COT na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de COT na camada subsuperficial para a primeira, segunda e terceira campanha foram 7%, 5% e 2%, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de COT na primeira foi de 7%, na segunda e terceira campanha foram de 4%. As concentrações de COT diminuíram de forma semelhante na área experimental e no ponto de controle.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada subsuperficial do sedimento apresentou concentrações médias de COT de 7%, 3,5% e 5%, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações

de COT na primeira foi de 7,5%, na segunda e terceira campanha foram de 6%. As concentrações de COT observada foram semelhantes na área experimental e no ponto de controle, sem variações significativas entre os locais monitorados.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de COT aferidos na camada subsuperficial foram 7%, 6,5% e 7,5%, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. No ponto de controle, a concentração de COT na primeira foi de 6,5%, na segunda foi de 9,5% e na terceira foi de 6%. As concentrações de COT observada foram semelhantes na área experimental e no ponto de controle, sem variações significativas entre os locais monitorados.

Na camada subsuperficial do sedimento, as concentrações de COT em todas as áreas experimentais e pontos de controle estiveram abaixo dos limites de alerta indicados pela Resolução CONAMA nº 454/2012, a qual considera que concentrações acima de 10% devem ser observadas com maior atenção, pois a mesma considera como um valor de alerta.

e. Fósforo Total – Fosfato

O carbono, fósforo e o nitrogênio em suas formas orgânicas são os principais constituintes da matéria orgânica presente no sedimento.

Segundo a resolução CONAMA nº 454/2012, a concentração de alerta para o parâmetro Fósforo Total no sedimento é de 2.000 mg/Kg, todas as concentrações observadas estão abaixo do valor de alerta estipulado pela referida resolução.

A Figura 41 apresenta as concentrações de Fósforo Total para a camada superficial nas áreas experimentais e no ponto de controle. Na primeira campanha as concentrações de Fósforo Total estiveram abaixo dos limites de quantificação do método.

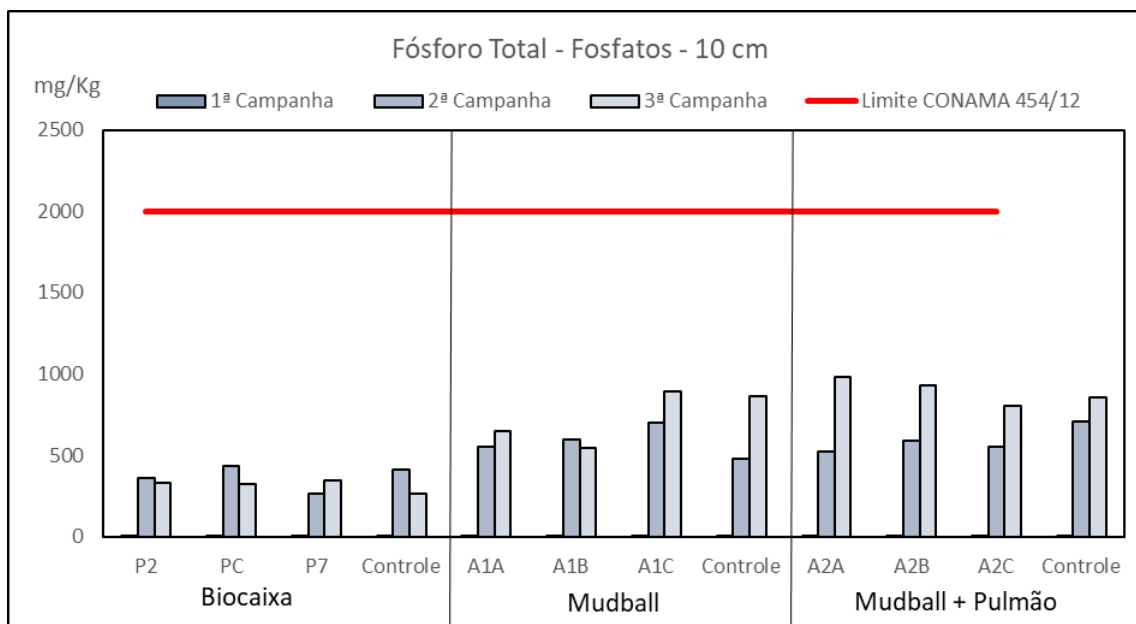


Figura 41: Concentrações de Fósforo Total na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as três campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de fósforo total na camada superficial para segunda e terceira campanha foram 352 mg/Kg e 335 mg/Kg respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de fósforo total foram de 414 mg/Kg e 262 mg/Kg, na segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de fósforo total não apresentaram grandes variações entre as campanhas de monitoramento, e em ambas as campanhas os valores estiveram abaixo do limite de alerta estipulado pela Resolução 454/2012.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou concentrações médias de fósforo total de 618 mg/Kg e 694 mg/Kg na segunda e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de fósforo total foram de 482 mg/Kg e 866 mg/Kg, na segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de fósforo total não apresentaram grandes variações entre as campanhas de monitoramento na área experimental, no ponto de controle foi possível observar que as concentrações de fósforo aumentaram aproximadamente 2x, em ambas as campanhas os valores estiveram abaixo do limite de alerta estipulado pela Resolução 454/2012.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de fósforo totais na camada superficial foram 557 mg/Kg e 906 mg/Kg, na segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. No ponto de controle, a concentração de fósforo total na segunda foi de 706 mg/kg e na terceira foi de 859 mg/Kg. Durante as campanhas de monitoramento é possível observar que houve um aumento do fósforo total na camada superficial do sedimento na área experimental e no ponto de controle, entretanto, em ambos os locais as concentrações estiveram abaixo do limite de alerta apontado pela Resolução 454/2012.

A Figura 42 apresenta as concentrações de Fósforo Total para a camada superficial nas áreas experimentais e no ponto de controle. Na primeira campanha as concentrações de Fósforo Total estiveram abaixo dos limites de quantificação do método.

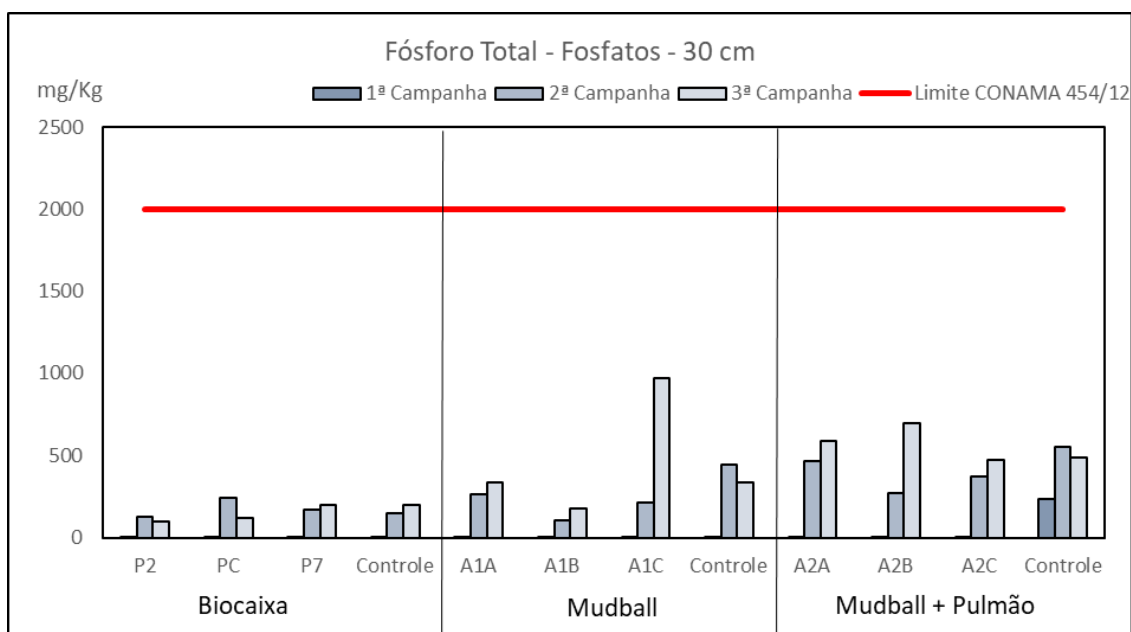


Figura 42: Concentrações de Fósforo Total na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as três campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de fósforo total na camada subsuperficial para segunda e terceira campanha foram 179 mg/Kg e 139 mg/Kg respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de

fósforo total foram de 145 mg/Kg e 196 mg/Kg, na segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de fósforo total não apresentaram grandes variações entre as campanhas de monitoramento, e em ambas as campanhas os valores estiveram abaixo do limite de alerta estipulado pela Resolução 454/2012.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada subsuperficial do sedimento apresentou concentrações médias de fósforo total de 193 mg/Kg e 494 mg/Kg na segunda e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de fósforo total foram de 446 mg/Kg e 336 mg/Kg, na segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de fósforo total aumentaram aproximadamente 2,5x na área experimental, no ponto de controle houve uma pequena redução na concentração entre as campanhas de monitoramento, e em ambas as campanhas os valores estiveram abaixo do limite de alerta estipulado pela Resolução 454/2012.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de fósforo totais na camada subsuperficial foram 369 mg/Kg e 588 mg/Kg, na segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. No ponto de controle, a concentração de fósforo total na segunda foi de 549 mg/kg e na terceira foi de 484 mg/Kg. As concentrações de fósforo total apresentaram um pequeno aumento área experimental, no ponto de controle houve uma pequena redução na concentração entre as campanhas de monitoramento, e em ambas as campanhas os valores estiveram abaixo do limite de alerta estipulado pela Resolução 454/2012.

f. Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT)

Assim como o fósforo e o carbono, o nitrogênio em suas formas orgânicas apresenta-se como um dos principais constituintes da matéria orgânica presente no sedimento. Segundo a Resolução CONAMA 454/2012, a concentração de alerta para o NKT, é de 4.800 mg/Kg.

A Figura 43 apresenta as concentrações do Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) na camada superficial do sedimento observadas nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

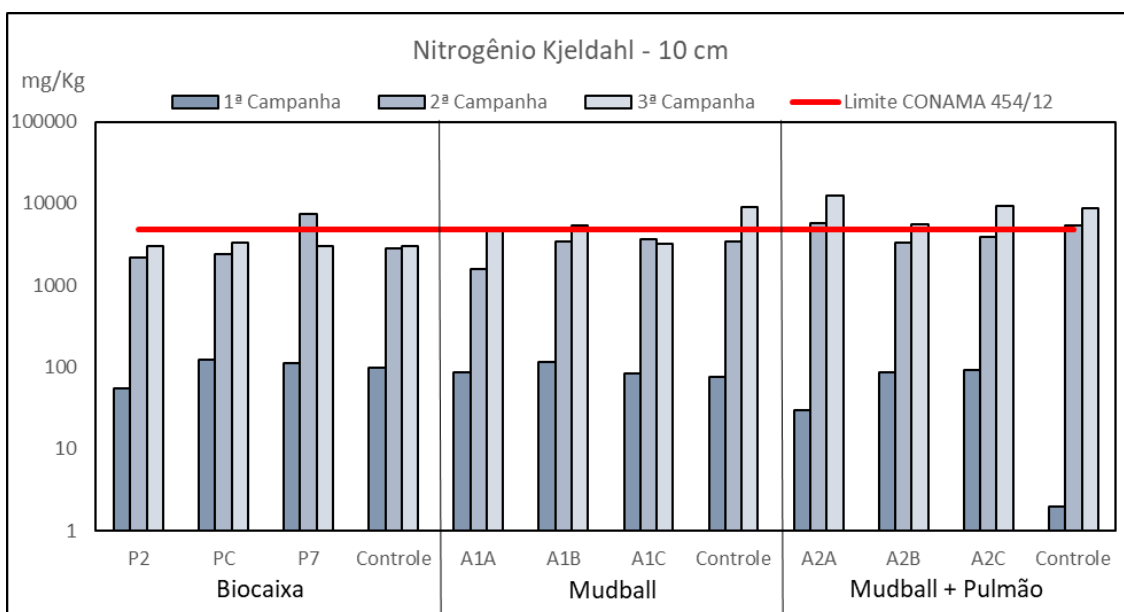


Figura 43: Concentrações de NKT na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de NKT na camada superficial na primeira, segunda e terceira campanha foram 97 mg/Kg, 4.031 mg/Kg e 3.110 mg/Kg respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de NKT foram de 99 mg/Kg, 2.872 mg/Kg e 2.994 mg/Kg, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de NKT na área experimental apresentaram uma grande variação nas concentrações entre a primeira e segunda campanha de monitoramento, na terceira campanha houve uma redução. No ponto de controle foi observada uma grande variação entre a primeira e a segunda campanha, com uma elevação nas concentrações, de forma semelhante ao que ocorreu na área experimental, e a variação não mudou significativamente para a terceira campanha. Durante o monitoramento, em nenhum momento as concentrações estiveram acima dos limites de alerta sugeridos pela Resolução 454/2012.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou concentrações médias de NKT de 94 mg/Kg, 2.900 mg/Kg e 4.378 mg/Kg na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de NKT foram de 76 mg/Kg, 3.448 e 8.957 mg/Kg, na primeira, segunda

e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de NKT na área experimental apresentaram uma grande variação nas concentrações entre as campanhas, com um aumento gradual das concentrações. No ponto de controle as concentrações aumentaram de forma semelhante à área experimental, com valor 2x maior na terceira campanha, quando comparada a segunda. As concentrações na área experimental estão abaixo dos limites de alerta estipulados pela Resolução 454/2012, na área de controle, na terceira campanha de monitoramento a concentração estava 2x acima do valor de alerta estipulado pela referida resolução.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de NKT na camada superficial foram 69 mg/Kg, 4.325 mg/Kg e 9.189 mg/Kg, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. No ponto de controle, a concentração de NKT na primeira foi de 2 mg/Kg, na segunda foi de 5.338 mg/kg e na terceira foi de 8.714 mg/Kg. As concentrações de NKT estiveram elevadas na segunda e terceira campanha de monitoramento na área experimental e no ponto de controle, isso pode ser um indicativo de um aporte grande de nitrogênio na região de forma constante, com valores acima da concentração de alerta estipulada pela resolução 454/2012.

A Figura 44 apresenta as concentrações do Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) na camada subsuperficial do sedimento observadas nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

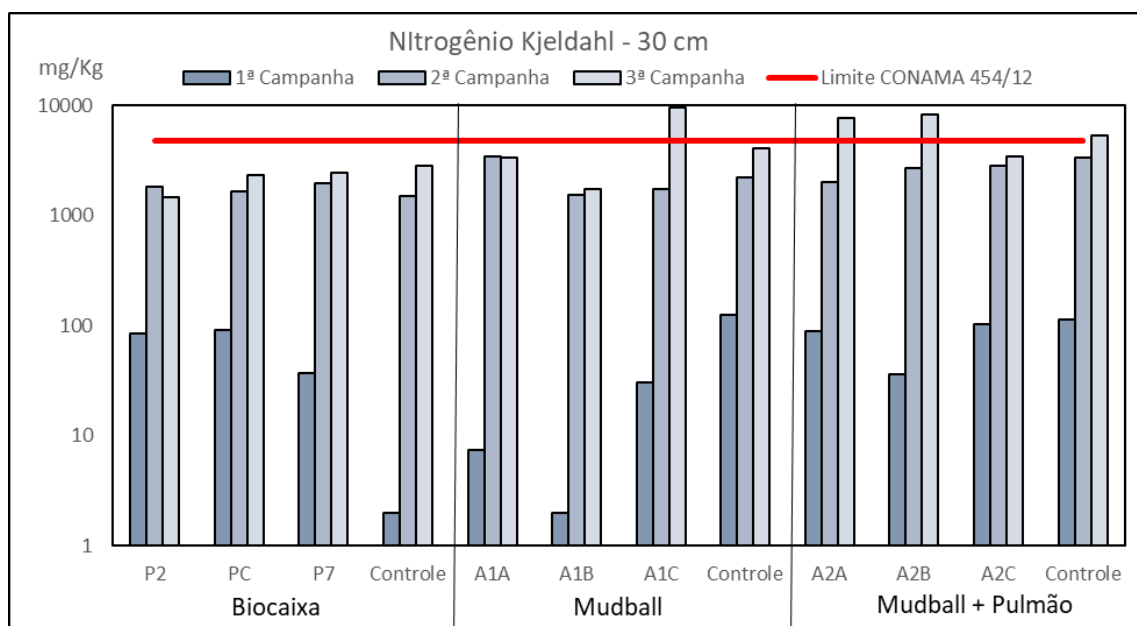


Figura 44: Concentrações de NKT na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de NKT na camada subsuperficial na primeira, segunda e terceira campanha foram 71 mg/Kg, 1.816 mg/Kg e 2.070 mg/Kg respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de NKT foram de 2 mg/Kg, 1.509 mg/Kg e 2.810 mg/Kg, na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações variaram de forma semelhante na área experimental e no ponto de controle, com concentrações abaixo dos valores de alerta estipulados na Resolução 454/2012.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada subsuperficial do sedimento apresentou concentrações médias de NKT de 13,4 mg/Kg, 2.223 mg/Kg e 4.918 mg/Kg na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de NKT foram de 124 mg/Kg, 2.228 e 4.027 mg/Kg, na segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações variaram de forma semelhante na área experimental e no ponto de controle, na terceira campanha as concentrações na área experimental ficaram acima do estipulado como valor de alerta estipulados na Resolução 454/2012.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de NKT na camada subsuperficial foram 76 mg/Kg, 2.494 mg/Kg

e 6.402 mg/Kg, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. No ponto de controle, a concentração de NKT na primeira foi de 114 mg/Kg, na segunda foi de 3.383 mg/kg e na terceira foi de 5.345 mg/Kg. As concentrações variaram de forma semelhante na área experimental e no ponto de controle, na terceira campanha as concentrações na área experimental e no ponto de controle ficaram acima do estipulado como valor de alerta pela Resolução 454/2012.

g. Sulfetos – Enxofre

A Figura 45 apresenta as concentrações do Sulfetos (enxofre) na camada superficial do sedimento observadas nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

A Resolução CONAMA 454/12 não apresenta valores limites e/ou de alerta para as concentrações de Sulfetos no sedimento.

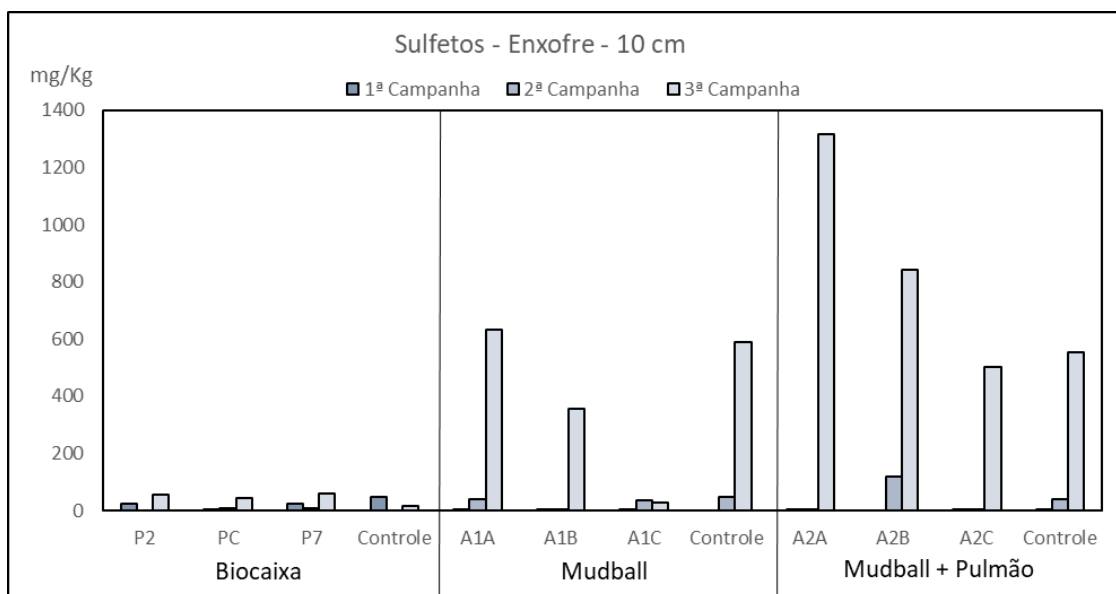


Figura 45: Concentrações de Sulfetos (Enxofre) na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na primeira campanha de monitoramento, as concentrações de sulfetos na camada superficial apresentaram diversos pontos com valores mínimos, segundo as informações presentes no laudo laboratorial de análises. Na segunda campanha, os resultados da

análise de Sulfetos foram parciais, segundo o laboratório de análises, houve alta interferência de substâncias não especificadas, com dados apresentados apenas para alguns pontos. Na terceira campanha foram apresentados os resultados para todos os pontos.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de sulfetos na camada superficial na primeira, segunda e terceira campanha foram 16,5 mg/Kg, 5,0 mg/Kg e 53,0 mg/Kg respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de sulfetos foram de 46,5 mg/Kg e 17,6 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. As concentrações apresentaram pouca variação para esta área experimental e ponto de controle, com valores semelhantes entre as campanhas para esses locais.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou concentrações médias de sulfetos de 4 mg/Kg, 26,3 mg/Kg e 338 mg/Kg na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de sulfetos foram de 46,4 mg/Kg e 590 mg/Kg, na segunda e terceira campanha, respectivamente. Os resultados observados durante o monitoramento indicam um aumento significativo das concentração da primeira para a terceira campanha na área experimental e no ponto de controle.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de sulfetos na camada superficial foram 3 mg/Kg, 40,6 mg/Kg e 887 mg/Kg, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. No ponto de controle, a concentração de sulfeto na primeira foi de 4 mg/Kg, na segunda foi de 38,8 mg/kg e na terceira foi de 555 mg/Kg. Os resultados observados durante o monitoramento indicam um aumento significativo das concentração da primeira para a terceira campanha na área experimental e no ponto de controle.

A Figura 46 apresenta as concentrações de sulfetos (enxofre) na camada subsuperficial do sedimento observadas nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

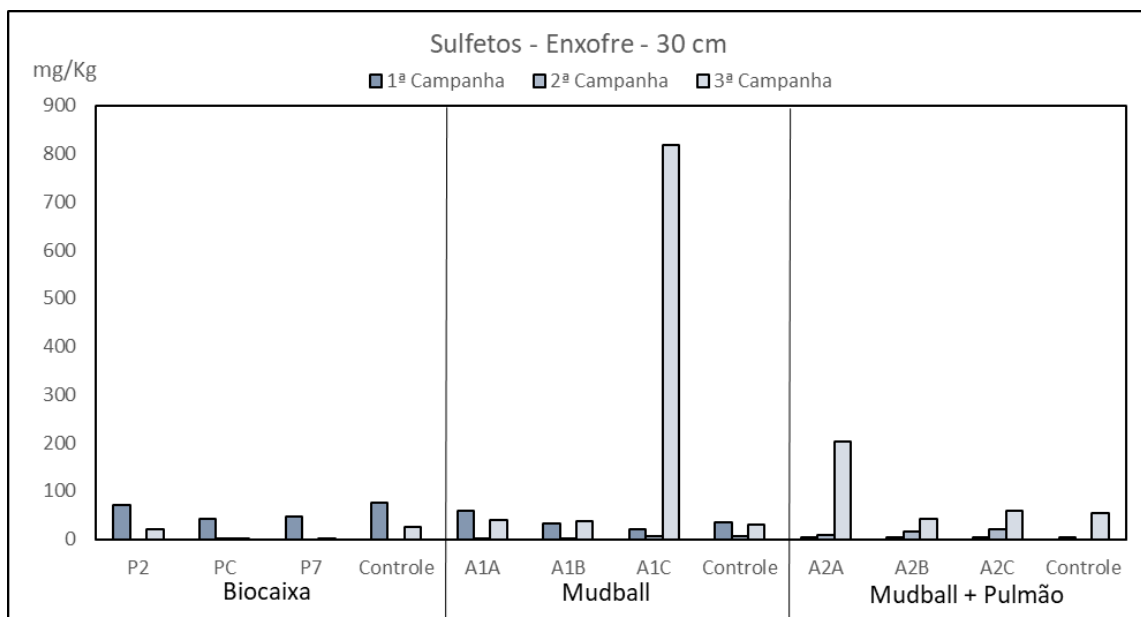


Figura 46: Concentrações de Sulfetos (Enxofre) na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na primeira e terceira campanha de monitoramento, as concentrações de sulfetos na camada subsuperficial apresentaram diversos pontos com valores mínimos, segundo as informações presentes no laudo laboratorial de análises. Na segunda campanha, os resultados da análise de Sulfetos foram parciais, segundo o laboratório de análises, houve alta interferência de substâncias não especificadas, com dados apresentados apenas para alguns pontos.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de sulfetos na camada superficial na primeira e terceira campanha foram 53,2 mg/Kg e 7,4 mg/Kg, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de sulfetos foram de 75 mg/Kg e 25,5 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. O laboratório não apresentou resultados para as concentrações de sulfetos na segunda campanha. As concentrações apresentaram pouca variação para esta área experimental e ponto de controle, com valores semelhantes entre as campanhas para esses locais.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada subsuperficial do sedimento apresentou concentrações médias de sulfetos de 38 mg/Kg, 3,1 mg/Kg e 229 mg/Kg na primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de sulfetos foram de 34,9 mg/Kg, 5,7 mg/Kg e 31,4, na

primeira, segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de sulfetos observadas na área experimental foram mais elevadas na terceira campanha, no ponto de controle a variação das concentrações não foi significativa entre as campanhas.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de sulfetos na camada subsuperficial foram 4 mg/Kg, 15,2 mg/Kg e 101,2 mg/Kg, na primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. No ponto de controle, a concentração de sulfeto na primeira foi de 4 mg/Kg, para a segunda campanha não foi apresentada a concentração, e na terceira foi de 55,3 mg/Kg. As concentrações apresentaram pouca variação para esta área experimental e ponto de controle, com valores semelhantes entre as campanhas para esses locais.

h. Coliformes Termotolerantes – E. Coli

A qualidade microbiológica do sedimento pode ser caracterizada com base no grupo de bactérias Coliformes. No presente estudo foram observadas as concentrações dos Coliformes Totais e do grupo de coliformes *E. Coli*. Serão comentadas apenas as concentrações observadas para o grupo de bactérias *E. Coli*, a qual é usualmente utilizada para caracterização microbiológica.

Na primeira campanha as concentrações observadas estiveram abaixo dos níveis de detecção do método utilizado pelo laboratório de análises para as duas camadas analisadas.

A Resolução CONAMA 454/12 não apresenta valores limites e/ou de alerta para as concentrações de Sulfetos no sedimento.

A Figura 47 apresenta as concentrações de *E. Coli* na camada superficial do sedimento observadas nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

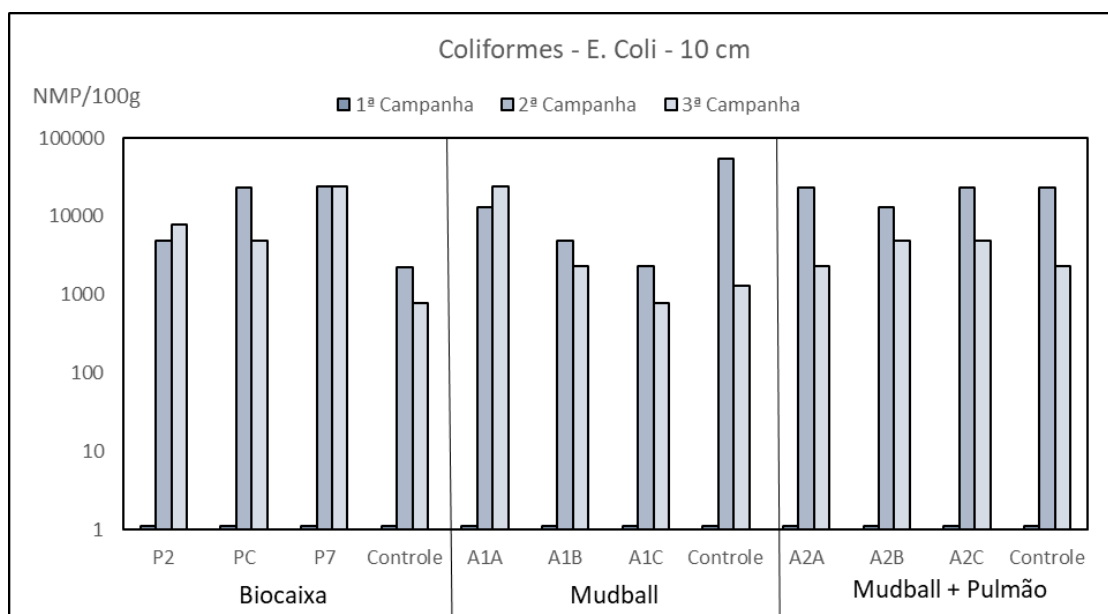


Figura 47: Concentrações de *E. Coli* na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de *E. Coli* na camada superficial na segunda e terceira campanha foram 17.300 NMP/100g e 12.267 NMP/100g, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de *E. Coli* foram de 2.200 NMP/100g e 780 NMP/100g, na segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações indicam uma forte presença de bactérias de origem fecal na área experimental, com concentrações elevadas da bactéria *E. Coli*, no ponto de controle as concentrações de *E. Coli* foram bem menores, aproximadamente 8x menores que na área experimental.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou concentrações médias de *E. Coli* de 6.733 NMP/100g e 9.027 NMP/100g, na segunda e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de *E. Coli* foram de 54.000 NMP/100g e 1.300 NMP/100g, na segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações indicam uma forte presença de bactérias de origem fecal na área experimental e no ponto de controle, com concentrações elevadas da bactéria *E. Coli* durante as campanhas de monitoramento.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de *E. Coli* na camada superficial foram 19.667 NMP/100g e 4.033

NMP/100g, na segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. No ponto de controle, a concentração de *E. Coli* na na segunda foi de 23.000 NMP/100g e na terceira foi de 2.300 NMP/100g. As concentrações indicam uma forte presença de bactérias de origem fecal na área experimental e no ponto de controle, com concentrações elevadas da bactéria *E. Coli* durante as campanhas de monitoramento.

A Figura 48 apresenta as concentrações de *E. Coli* na camada subsuperficial do sedimento observadas nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

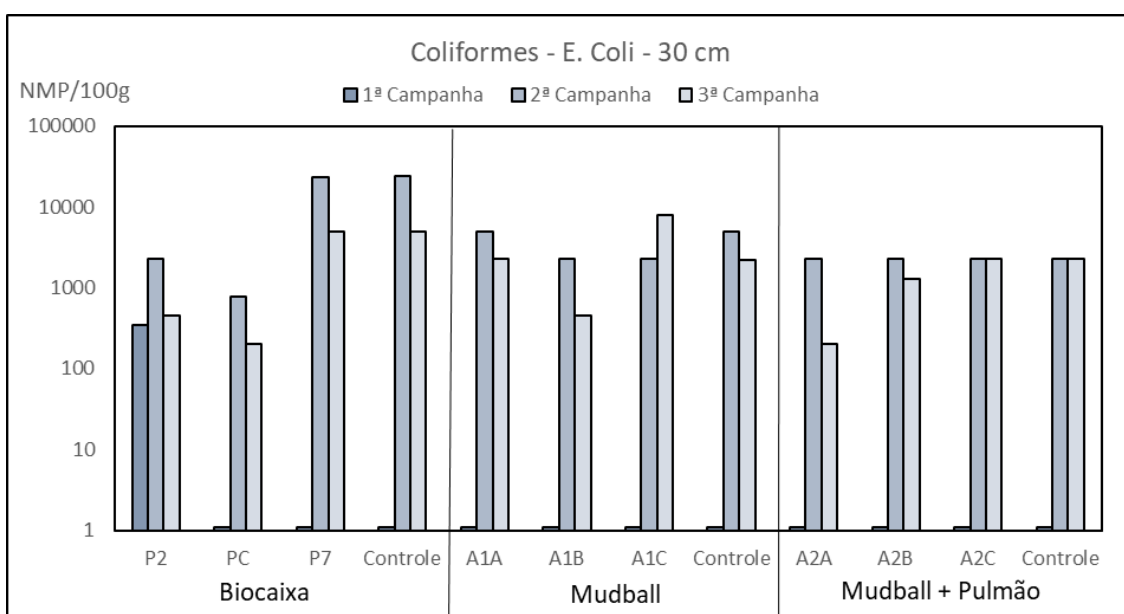


Figura 48: Concentrações de *E. Coli* na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de *E. Coli* na camada subsuperficial na segunda e terceira campanha foram 8.693 NMP/100g e 1.850 NMP/100g, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de *E. Coli* foram de 24.000 NMP/100g e 4.900 NMP/100g, na segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de *E. Coli* estiveram mais elevadas na segunda campanha, entretanto, nas duas campanhas as concentrações foram elevadas e são indicativo de contaminação por material de origem fecal.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada subsuperficial do sedimento apresentou concentrações médias de *E. Coli* de 3.167 NMP/100g e 3.550 NMP/100g na segunda e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de *E. Coli* foram de 4.900 NMP/100g e 2.200 NMP/100g, na segunda e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de *E. Coli* não estiveram muito elevadas, entretanto, são concentrações elevadas e podem indicar a presença de material de origem fecal na região de monitoramento.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de *E. Coli* na camada subsuperficial foram 2.300 NMP/100g e 1.267 NMP/100g, na segunda e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. No ponto de controle, a concentração de *E. Coli* na segunda foi de 2.300 NMP/100g e na terceira foi de 2.300 NMP/100g. As concentrações de *E. Coli* observadas podem indicar a presença de material de origem fecal na região do monitoramento, sendo indicativas da presença do lançamento irregular de efluente doméstico nas proximidades da área de estudo.

i. Chumbo

A principal fonte natural de metais nas águas é proveniente do intemperismo químico de minerais e a lixiviação do solo, enquanto que as fontes antropogênicas estão associadas principalmente com efluentes industriais e domésticos, escoamento de águas pluviais urbanas, insumos agrícolas, etc.

O chumbo foi analisado apenas na primeira e na terceira campanha de monitoramento, na segunda campanha não foram realizadas análises de metais, conforme estava previsto no plano de trabalho.

A Resolução CONAMA 454/12 apresenta valores limites para as concentrações de Chumbo no sedimento, as concentrações limites apresentadas na referida Resolução são apresentadas em dois níveis, a concentração limite para o Nível 1 é de 46,7 mg/Kg, e para o Nível 2 é de 218 mg/Kg.

A Figura 49 apresenta a representação gráfica das concentrações de chumbo na camada superficial da matriz sedimentar nas áreas experimentais e nos pontos de controle.

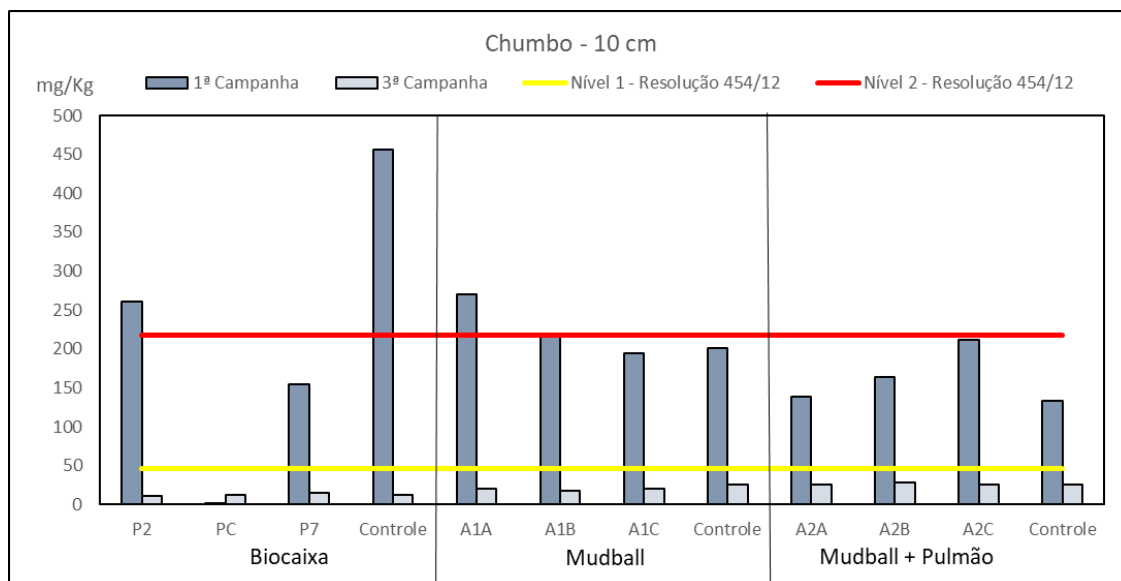


Figura 49: Concentrações de chumbo na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de chumbo na camada superficial na primeira e terceira campanha foram 139 mg/Kg e 13 mg/Kg, respectivamente. O valor médio na primeira campanha ultrapassou os limites estipulados para os níveis 1 da Resolução 454/12. No ponto de controle, as concentrações de chumbo foram de 457 mg/Kg e 12 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. A concentração de chumbo na primeira campanha no ponto de controle esteve acima do nível 2 da Resolução 454/12. As concentrações de chumbo estiveram mais elevadas na primeira campanha, na terceira campanha os valores observados não estiveram muito elevados, quando comparados a primeira campanha.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou concentrações médias de chumbo de 228 mg/Kg e 19,5 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. Com base nos valores médios, a concentração de chumbo na primeira campanha esteve acima do nível 2 da Resolução 454/12. No ponto de controle, as concentrações de chumbo foram de 201 mg/Kg e 26,1 mg/Kg, na

primeira e terceira campanha, respectivamente. A concentração de chumbo no ponto de controle esteve acima do nível 1 da Resolução 454/12 apenas na primeira campanha. As concentrações de chumbo estiveram mais elevadas na primeira campanha, na terceira campanha os valores observados não estiveram muito elevados, quando comparados a primeira campanha.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de chumbo na camada superficial foram de 171 mg/Kg e 26,4 mg/Kg, na primeira e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. A concentração de chumbo observada na primeira campanha esteve acima do nível 1 da Resolução 454/12. No ponto de controle, a concentração de chumbo na primeira foi de 133 mg/Kg e na terceira foi de 25 mg/Kg. A concentração de chumbo no ponto de controle esteve acima do nível 1 da Resolução 454/12 apenas na primeira campanha. As concentrações de chumbo estiveram mais elevadas na primeira campanha, na terceira campanha os valores observados não estiveram muito elevados, quando comparados a primeira campanha.

A Figura 50 apresenta a representação gráfica das concentrações de chumbo na camada subsuperficial da matriz sedimenta nas áreas experimentais e nos pontos de controle.

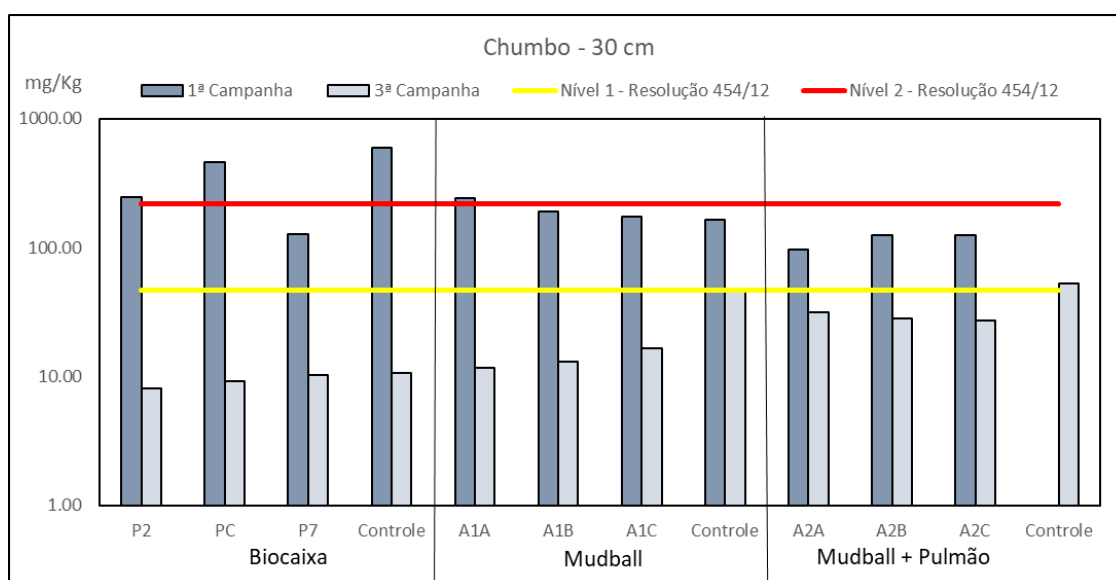


Figura 50: Concentrações de chumbo na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de chumbo na camada subsuperficial na primeira e terceira campanha foram 278 mg/Kg e 7,2 mg/Kg, respectivamente. O valor médio na primeira campanha ultrapassou os limites estipulados para o nível 2 da Resolução 454/12. No ponto de controle, as concentrações de chumbo foram de 601 mg/Kg e 25,6 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. A concentração no ponto de controle na primeira campanha ultrapassou os limites estipulados para o nível 2 da Resolução 454/12. As concentrações de chumbo estiveram mais elevadas na primeira campanha, na terceira campanha os valores observados não estiveram muito elevados, quando comparados a primeira campanha.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada subsuperficial do sedimento apresentou concentrações médias de chumbo de 203 mg/Kg e 14 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. O valor médio na primeira campanha ultrapassou os limites estipulados para o nível 1 da Resolução 454/12. No ponto de controle, as concentrações de chumbo foram de 166 mg/Kg e 46 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. A concentração no ponto de controle na primeira campanha ultrapassou os limites estipulados para o nível 1 da Resolução 454/12. As concentrações de chumbo estiveram mais elevadas na primeira campanha, na terceira campanha os valores observados não estiveram muito elevados, quando comparados a primeira campanha.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de chumbo na camada superficial foram de 115 mg/Kg e 29 mg/Kg, na primeira e terceira campanha de monitoramento, respectivamente. O valor médio na primeira campanha ultrapassou os limites estipulados para o nível 1 da Resolução 454/12. No ponto de controle, a concentração de chumbo na primeira foi de 1 mg/Kg e na terceira foi de 53 mg/Kg. A concentração no ponto de controle na terceira campanha ultrapassou os limites estipulados para o nível 1 da Resolução 454/12. As concentrações de chumbo estiveram mais elevadas na primeira campanha, na terceira campanha os valores observados não estiveram muito elevados, quando comparados a primeira campanha.

De forma geral, as concentrações de chumbo estiveram mais elevadas na camada subsuperficial em todos os pontos de controle e nas áreas experimentais.

j. Cobre

A principal fonte natural de metais nas águas é proveniente do intemperismo químico de minerais e a lixiviação do solo, enquanto que as fontes antropogênicas estão associadas principalmente com efluentes industriais e domésticos, escoamento de águas pluviais urbanas, insumos agrícolas, etc.

O cobre foi analisado apenas na primeira e na terceira campanha de monitoramento, na segunda campanha não foram realizadas análises de metais, conforme estava previsto no plano de trabalho.

A Resolução CONAMA 454/12 apresenta valores limites para as concentrações de Cobre no sedimento, as concentrações limites apresentadas na referida Resolução são apresentadas em dois níveis, a concentração limite para o Nível 1 é de 34 mg/Kg, e para o Nível 2 é de 270 mg/Kg.

As concentrações na primeira campanha estiveram abaixo dos limites de quantificação do método de análise utilizado pelo laboratório em todos os pontos monitorados.

A Figura 51 apresenta a representação gráfica das concentrações de cobre na camada superficial da matriz sedimentar nas áreas experimentais e nos pontos de controle.

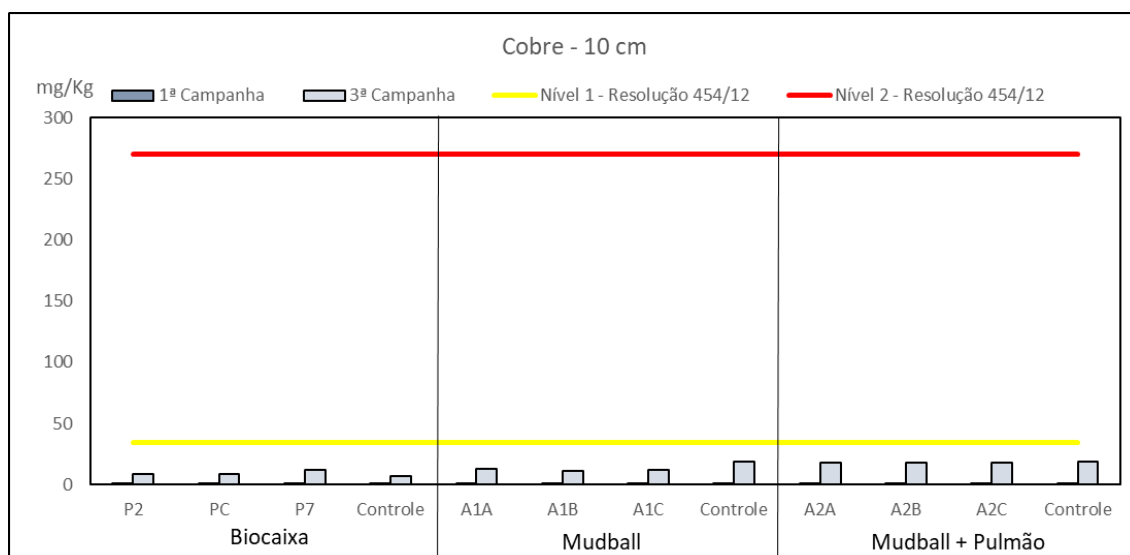


Figura 51: Concentrações de cobre na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de cobre na camada superficial na terceira campanha foi de 9,5 mg/Kg. No ponto de controle, a concentração de cobre foi de 6,7 mg/Kg na terceira campanha. A concentração na área experimental não apresentou variação significativa com o ponto de controle.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou concentrações médias de cobre de 11,8 mg/Kg, no ponto de controle a concentração observada foi de 18,6 mg/Kg na terceira campanha. A concentração observada na área experimental foi menor que aquela observada no ponto de controle.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de cobre na camada superficial foi de 18 mg/Kg, e no ponto de controle foi de 18,3 mg/Kg na terceira campanha. A concentração na área experimental não apresentou variação significativa com o ponto de controle.

As concentrações observadas camada superficial nas duas campanhas de monitoramento indicam que as concentrações estão abaixo dos limites estipulados no nível 1 e 2 da Resolução CONAMA 454/12.

A Figura 52 apresenta a representação gráfica das concentrações de cobre na camada superficial da matriz sedimentar nas áreas experimentais e nos pontos de controle.

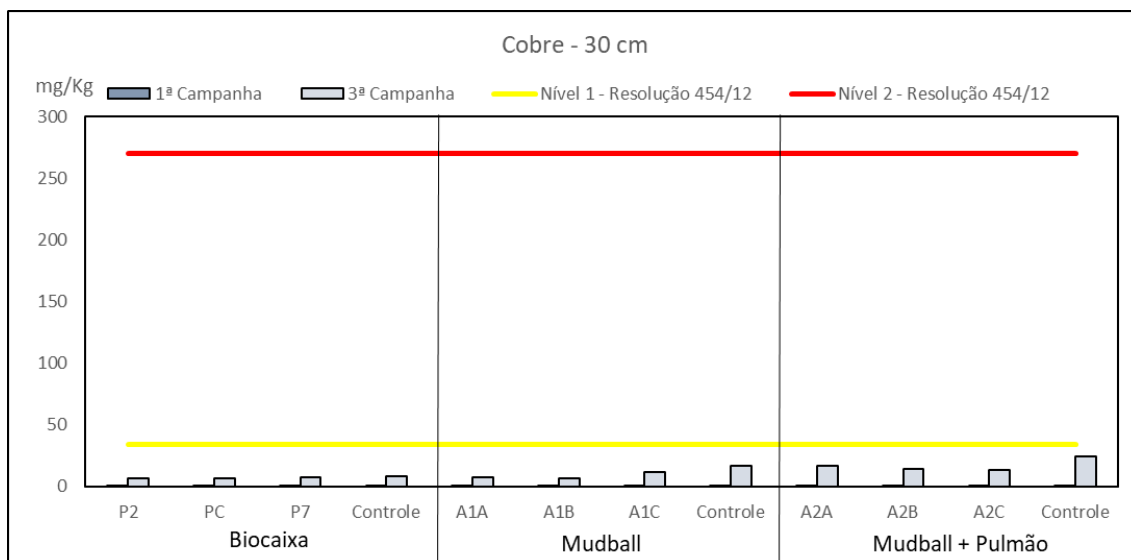


Figura 52: Concentrações de cobre na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de cobre na camada subsuperficial na terceira campanha foi de 7,30 mg/Kg. No ponto de controle, a concentração de cobre foi de 8 mg/Kg na terceira campanha. A concentração na área experimental não apresentou variação significativa com o ponto de controle.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada subsuperficial do sedimento apresentou concentrações médias de cobre de 8,7 mg/Kg, no ponto de controle a concentração observada foi de 17 mg/Kg na terceira campanha. A concentração observada na área experimental foi menor que aquela observada no ponto de controle.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações médias de cobre na camada superficial foi de 15 mg/Kg, e no ponto de controle foi de 24,6 mg/Kg na terceira campanha. A concentração na área experimental não apresentou variação significativa com o ponto de controle.

As concentrações observadas camada subsuperficial nas duas campanhas de monitoramento indicam que as concentrações estão abaixo dos limites estipulados no nível 1 e 2 da Resolução CONAMA 454/12.

De forma geral, as maiores concentrações de cobre observadas foram na camada superficial.

k. Zinco

A principal fonte natural de metais nas águas é proveniente do intemperismo químico de minerais e a lixiviação do solo, enquanto que as fontes antropogênicas estão associadas principalmente com efluentes industriais e domésticos, escoamento de águas pluviais urbanas, insumos agrícolas, etc.

O zinco foi analisado apenas na primeira e na terceira campanha de monitoramento, na segunda campanha não foram realizadas análises de metais, conforme estava previsto no plano de trabalho.

A Resolução CONAMA 454/12 apresenta valores limites para as concentrações de Zinco no sedimento, as concentrações limites apresentadas na referida Resolução são apresentadas em dois níveis, a concentração limite para o Nível 1 é de 150 mg/Kg, e para o Nível 2 é de 410 mg/Kg.

A Figura 53 apresenta a representação gráfica das concentrações de zinco na camada superficial da matriz sedimentar nas áreas experimentais e nos pontos de controle.

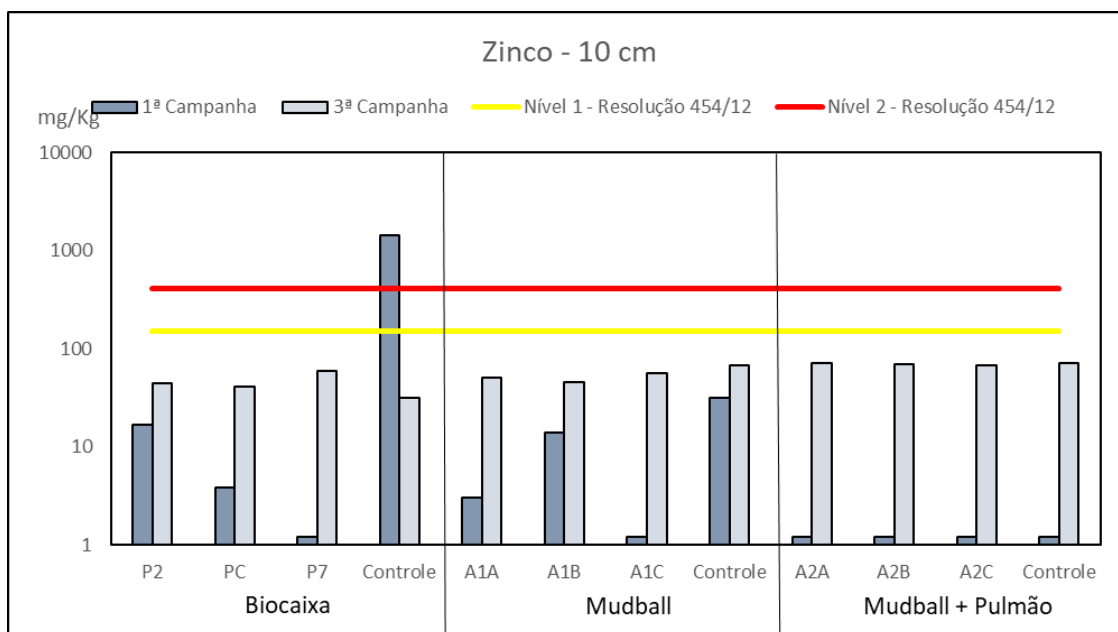


Figura 53: Concentrações de zinco na matriz sedimentar para a camada superficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de zinco na camada superficial na primeira e terceira campanha foram 7,22 mg/Kg e 48,33 mg/Kg, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de zinco foram de 1.453 mg/Kg e 32 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. Na área experimental as concentrações na terceira campanha foram mais elevadas, quando comparadas a primeira campanha. No ponto de controle a situação foi inversa, com valor elevado na primeira campanha.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou concentrações médias de zinco de 6,10 mg/Kg e 51 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de zinco foram de 31,6 mg/Kg e 68 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de zinco estiveram mais elevadas na terceira campanha, quando comparados a primeira campanha, na área experimental e no ponto de controle.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações de zinco na primeira campanha foram o valor mínimo de detecção utilizada pelo método analítico, na terceira campanha a concentração média de zinco na camada superficial foi de 69 mg/Kg, e no ponto de controle foi de 73 mg/Kg na terceira campanha. A concentração na área experimental não apresentou variação significativa do ponto de controle.

De forma geral, as concentrações de zinco estiveram abaixo dos limites estipulados pela CONAMA 454/12 em todos pontos, com exceção do ponto de controle da área de aplicação da Biocaixa, na primeira campanha, com concentração acima do nível 2.

A Figura 54 apresenta a representação gráfica das concentrações de zinco na camada subsuperficial da matriz sedimentar nas áreas experimentais e nos pontos de controle.

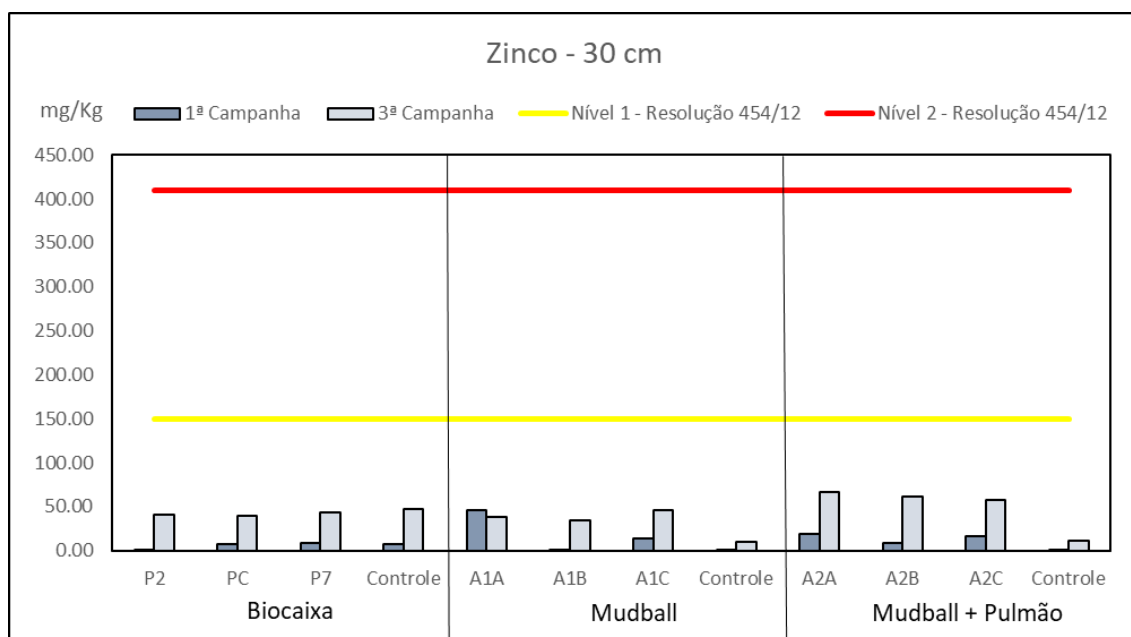


Figura 54: Concentrações de zinco na matriz sedimentar para a camada subsuperficial nas áreas experimentais e nos pontos de controle durante as campanhas de monitoramento.

Na área amostral com a utilização das Biocaixas, as concentrações médias de zinco na camada subsuperficial na primeira e terceira campanha foram 5,7 mg/Kg e 42 mg/Kg, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de zinco foram de 7,85 mg/Kg e 47 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de zinco foram maiores na terceira campanha na área experimental e no ponto de controle, quando comparadas com a primeira campanha.

Na área experimental de aplicação de Mudballs, a camada superficial do sedimento apresentou concentrações médias de zinco de 20,2 mg/Kg e 39,3 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. No ponto de controle, as concentrações de zinco foram de 1,2 mg/Kg e 10,2 mg/Kg, na primeira e terceira campanha, respectivamente. As concentrações de zinco estiveram mais elevadas na terceira campanha, quando comparados a primeira campanha, na área experimental e no ponto de controle.

Na área experimental onde os Mudballs estão associados a um aerador, as concentrações de zinco na primeira campanha foram o valor mínimo de detecção utilizada pelo método analítico para o ponto de controle, na primeira e terceira campanha a concentração média de zinco na camada superficial foi de 14,8 mg/Kg e 11,8 mg/Kg, respectivamente. No ponto de controle foi de 61,7 mg/Kg na terceira

campanha. A concentração na área experimental não apresentou variação significativa entre as campanhas, o valor foi maior do ponto de controle.

De forma geral, as concentrações de zinco estiveram abaixo dos limites estipulados pela CONAMA 454/12 em todos pontos de monitoramento.

7.3. Monitoramento da Altitude Ortométrica da Camada de Lodo

A primeira campanha de monitoramento da altitude ortométrica da camada de lodo foi realizada pela Hydrosience no dia 12/02/2022 entre as 8:00h e 18:00h. A segunda campanha de monitoramento foi realizada pela Hydrosience no dia 04/07/2022 entre as 8:00h e 18:00h. A terceira campanha foi realizada no dia 03/10/2022 entre as 8:00h e 18:00h. Todas as campanhas foram realizadas na lagoa de Piratininga, com a presença da equipe da empresa Sisnate, de colaboradores da UFF/Biotecam e da Prefeitura Municipal de Niterói.

A medição da altitude ortométrica da camada de lodo ocorreu seguindo a metodologia apresentada no tópico 6.3 – Subprograma de Monitoramento para Avaliação da Camada de Lodo através da Medição da Altitude Ortométrica do Fundo Lagunar.

O objetivo principal do presente trabalho é determinar a variação da altura da camada de lodo do fundo lagunar nas áreas experimentais. Para isso, foram instalados marcos fixos constituídos de estacas de madeira firmemente fixadas no leito da lagoa.

Com o auxílio de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de dupla frequência L1/L2 determinou-se a cota verdadeira da camada de lodo presente no fundo lagunar junto ao marco instalado. Para tanto, a base dos levantamentos foi o marco altimétrico de primeira ordem do IBGE, identificado como 3339V (Relatório de Estações Geodésica).

A cota verdadeira da camada do lodo em cada ponto foi determinada com base nos marcos previamente instalados. A partir do método Cinemático em Tempo Real – RTK determinou-se a altitude verdadeira da parte superior de cada estaca instalada.

Posteriormente, e com o auxílio do disco de acrílico e trena, determinou-se a altitude ortométrica do início da camada de lodo.

A Figura 55 apresenta a localização do Marco base oficial do IBGE utilizado como ponto de referência.



Figura 55: Definição do Marco base utilizado como referência.

A Figuras 56, 57 e 58 apresentam a aferição da altitude utilizando receptor GNSS pela equipe da Hydrosience durante as campanhas de monitoramento.

A Figura 59 apresenta o disco de acrílico e a aferição da altura da camada de lodo em relação ao nível da água na lagoa.



Figura 56: Aferição da altimetria do topo da estaca na primeira campanha de monitoramento.



Figura 57: Aferição da altimetria do topo da estaca na segunda campanha de monitoramento.

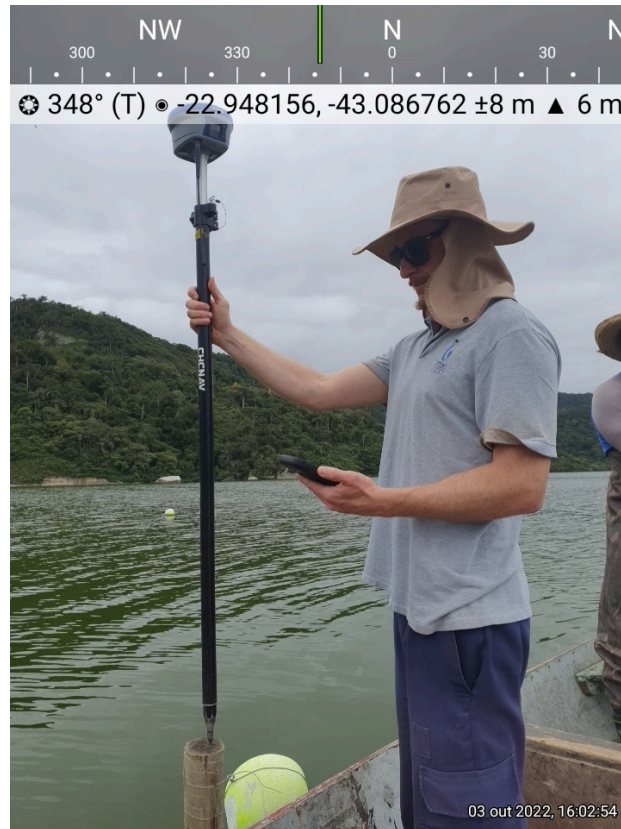


Figura 58: Aferição da altimetria do topo da estaca na terceira campanha de monitoramento.



Figura 59: Aferição da altura da camada de lodo em relação ao nível d'água com a utilização do disco de acrílico.

A altitude ortométrica da camada de lodo é obtida através da dedução da posição altimétrica do topo da estaca com a medida aferida com o disco de acrílico, do topo da estaca até o início da camada de lodo. O disco de acrílico utilizado para a aferição da altura do topo da lama até o nível da água é constituído de um material leve e transparente, o qual afunda com o peso da água e estabiliza ao tocar na superfície do sedimento.

A Tabela 25 apresenta os resultados obtidos assim como as coordenadas dos pontos onde foram realizadas as medições da altitude ortométrica da camada de lodo do fundo lagunar.

A Figura 60 apresenta a localização de todos os pontos monitorados.

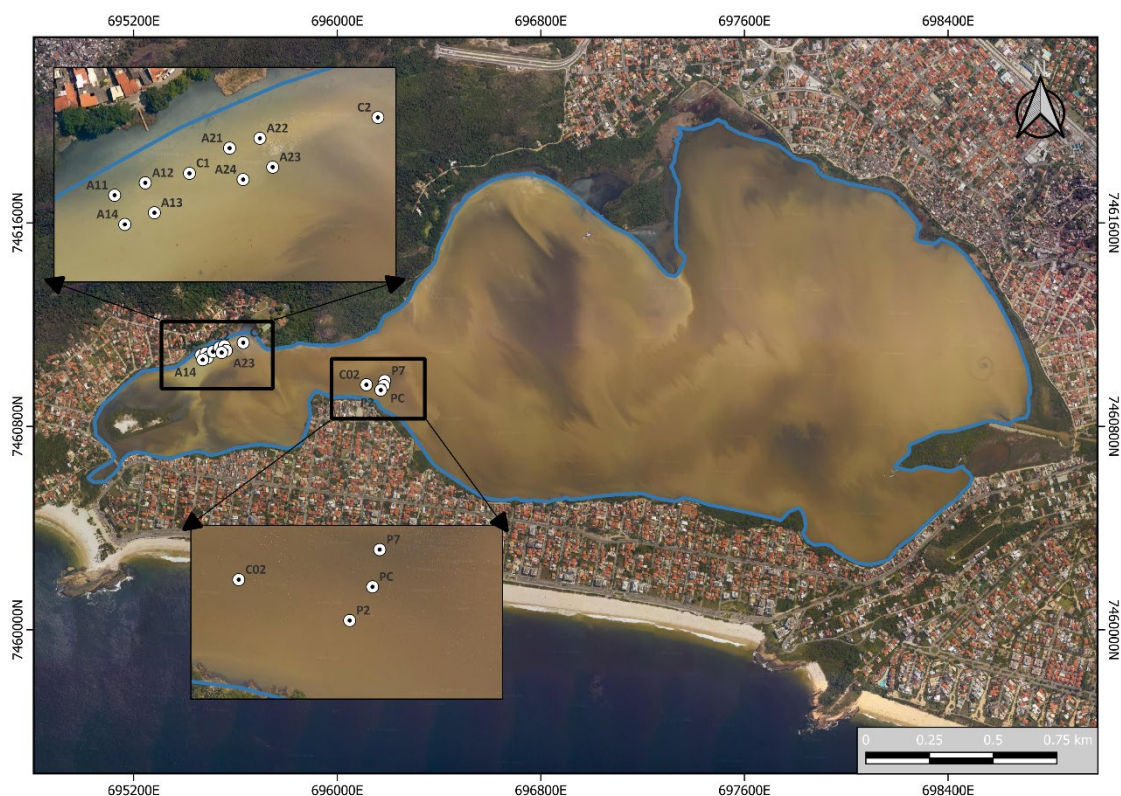


Figura 60: Localização dos pontos de monitoramento da altitude ortométrica do fundo lagunar.

Tabela 25: Grade de coordenadas UTM, e elevação do fundo lagunar em relação ao nível do mar do marco do IBGE Imbituba, e a diferença altimétrica observada entre as campanhas de monitoramento nas áreas experimentais.

Tecnologia	Ponto	Norte (UTM)	Leste (UTM)	Altitude 1ª Campanha (m)	Altitude 2ª Campanha (m)	Altitude 3ª Campanha (m)	Diferença 1ª - 2ª (m)	Diferença 2ª - 3ª (m)	Diferença 1ª - 3ª (m)
Mudball	A11	7461080.187	695464.485	0,202	0,087	0,170	0,115	-0,08	0,033
Mudball	A12	7461087.663	695483.709	0,133	-0,020	0,030	0,153	-0,05	0,104
Mudball	A13	7461068.847	695489.655	0,156	0,004	0,100	0,152	-0,10	0,053
Mudball	A14	7461061.457	695470.958	0,157	0,109	0,160	0,048	-0,05	0,002
Controle	C1	7461097.802	695564.082	0,147	-0,051	-0,010	0.198	-0.05	0.153
Mudball + Pulmão	A21	7461109.693	695537.030	0,007	-0,101	-0,030	0.108	-0.07	0.037
Mudball + Pulmão	A22	7461115.718	695555.505	-0,102	-0,202	-0,080	0.100	-0.12	-0.018
Mudball + Pulmão	A23	7461097.489	695563.250	0,134	-0,073	-0,020	0.207	-0.05	0.154
Mudball + Pulmão	A24	7461094.093	695511.418	0,114	-0,151	0,010	0.265	-0.16	0.104
Controle	C2	7460966.060	696115.412	0,069	-0,327	-0,030	0.396	-0.30	0.094
Biocaixa	PC	7460969.586	696186.442	-0,131	-0,278	-0,330	0.106	0.09	0.198
Biocaixa	P2	7460951.288	696170.608	-0,132	-0,238	-0,320	0.147	0.04	0.189
Biocaixa	P7	7460983.548	696189.336	-0,155	-0,262	-0,250	0.107	-0.01	0.093
Controle	C02	7460966.060	696115.412	-0,156	-0,282	-0,270	0.126	-0.01	0.112

Os resultados obtidos a partir das medições realizadas na primeira, segunda e terceira campanha são apresentados a seguir de forma gráfica, através das Figuras 61, 62 e 63. O eixo horizontal representa o nível do mar, ou seja, a cota zero do terreno, e os valores plotados estão referenciados a este nível.

A Figura 61 apresenta a altimetria da área experimental que está sendo aplicada a tecnologia Mudball. A linha em azul apresenta os valores monitorados na primeira campanha (pré-experimento), a linha em laranja apresenta os valores medidos na segunda campanha (3 meses pós-início) e a linha em amarelo apresenta os valores aferidos na terceira campanha (6 meses pós-início). Os pontos A11, A12, A13 e A14 estão situados na área do experimento, o ponto C1 é o controle. Ao analisar os resultados, não é possível observar uma diferenciação entre os pontos de tratamento e controle, pois a variação da altimetria do lodo ocorreu tanto nos pontos observados na área experimental, como no ponto de controle. A altimetria nos pontos variou da seguinte forma:

- Entre a primeira e segunda campanha: A11: -115 mm, A12: -153 mm, A13: -152 mm e A14: -48 mm. O ponto de controle (C1) variou -198 mm.
- Entre a segunda e terceira campanha: A11: 80 mm, A12: 50 mm, A13: 100 mm e A14: 50 mm. O ponto de controle (C1) variou 50 mm.
- Entre a primeira e terceira campanha: A11: -33 mm, A12: -104 mm, A13: -53 mm e A14: -2 mm. O ponto de controle (C1) variou -153 mm.

Os valores negativos indicam uma redução na altitude ortométrica do fundo lagunar na área experimental e no ponto de controle. Os valores positivos indicam um incremento na altitude ortométrica.

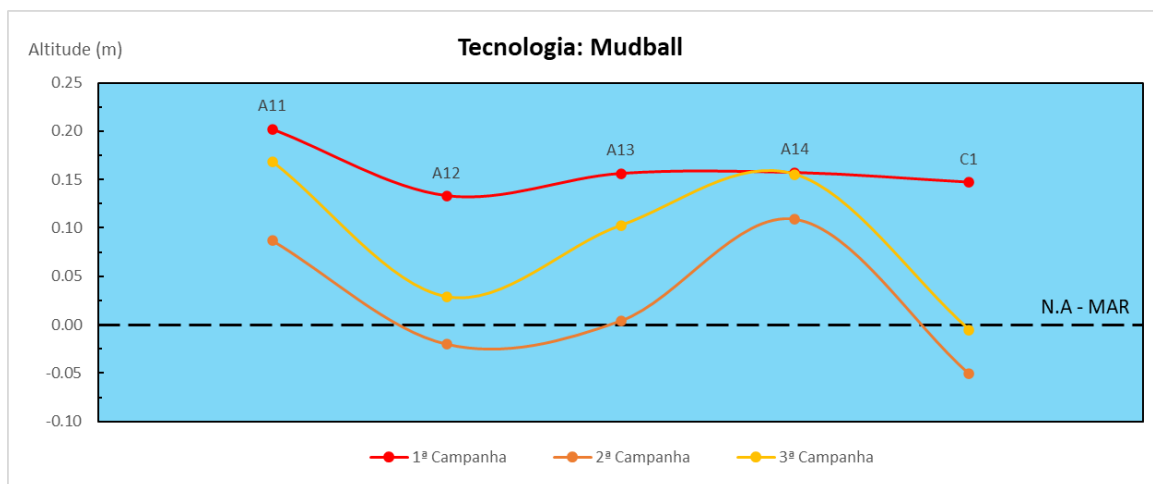


Figura 61: Altimetria do fundo lagunar na área de aplicação da tecnologia Mudball.

A Figura 62 apresenta a altimetria da área experimental que está sendo aplicada a tecnologia Mudball + Pulmão. A linha em azul apresenta os valores monitorados na primeira campanha (pré-experimento), a linha em laranja apresenta os valores medidos na segunda campanha (3 meses pós-início) e a linha em amarelo apresenta os valores aferidos terceira campanha (6 meses pós-início). Os pontos A21, A22, A23 e A24 estão situados na área experimento, o ponto C2 é o controle. Ao analisar os resultados, não é possível observar uma diferenciação entre os pontos de tratamento e controle, pois a variação da altimetria do lodo ocorreu tanto nos pontos observados na área experimental, como no ponto de controle. A altimetria nos pontos variou da seguinte forma:

- Entre a primeira e segunda campanha: A21: -108 mm, A22: -100 mm, A23: -207 mm e A24: -265 mm. O ponto de controle (C2) variou -396 mm.
- Entre a segunda e terceira campanha: A21: 70 mm, A22: 120 mm, A23: 50 mm e A24: 160 mm. O ponto de controle (C2) variou 300 mm.
- Entre a primeira e terceira campanha: A21: -37 mm, A22: 18 mm, A23: -154 mm e A24: -104 mm. O ponto de controle (C2) variou -94 mm.

Os valores negativos indicam uma redução na altitude ortométrica do fundo lagunar na área experimental e no ponto de controle. Os valores positivos indicam um incremento na altitude ortométrica.

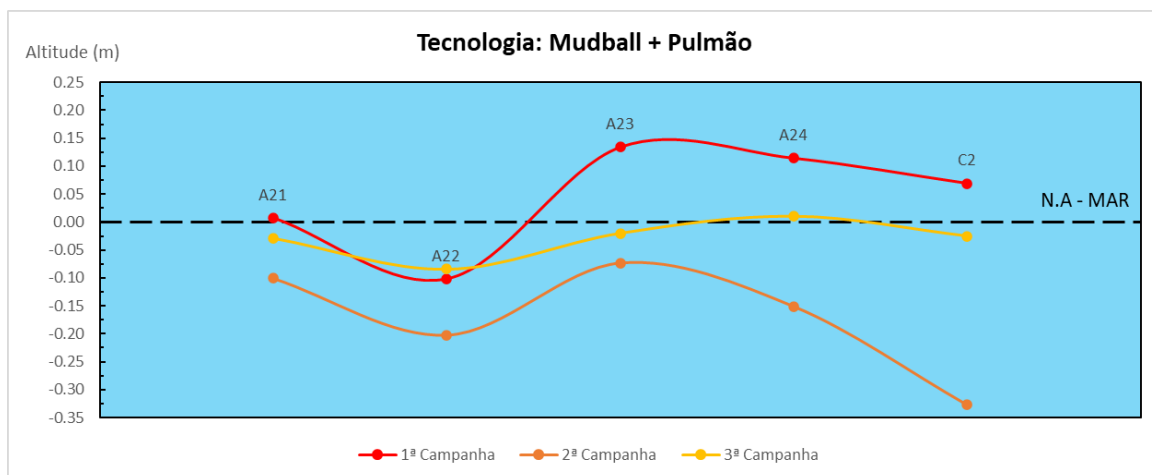


Figura 62: Altimetria do fundo lagunar na área de aplicação da tecnologia Mudball + Pulmão

A Figura 63 apresenta a altimetria da área experimental que está sendo aplicada a tecnologia biocaixa. A linha em azul apresenta os valores monitorados na primeira campanha (pré-experimento) e a linha em laranja apresenta os valores medidos na segunda campanha (3 meses pós-início) e a linha em amarelo apresenta os valores aferidos terceira campanha (6 meses pós-início). Os pontos PC, P2 e P7 estão situados na área do experimento, o ponto C02 representa o controle. Ao analisar os resultados, não é possível observar uma diferenciação entre os pontos de tratamento e controle, pois a variação da altimetria do lodo ocorreu tanto nos pontos observados na área experimental, como no ponto de controle. A altimetria nos pontos variou da seguinte forma:

- Entre a primeira e segunda campanha: PC: -106 mm, P2: -147 mm e P7: -107 mm. O ponto de controle variou da seguinte forma: C02: -126 mm.
- Entre a segunda e terceira campanha: PC: -90 mm, P2: -40 mm e P7: 10 mm. O ponto de controle variou da seguinte forma: C02: 10 mm.
- Entre a primeira e terceira campanha: PC: -198 mm, P2: -189 mm e P7: -93 mm. O ponto de controle variou da seguinte forma: C02: -112 mm.

Os valores negativos indicam uma redução na altitude ortométrica do fundo lagunar na área experimental e no ponto de controle.

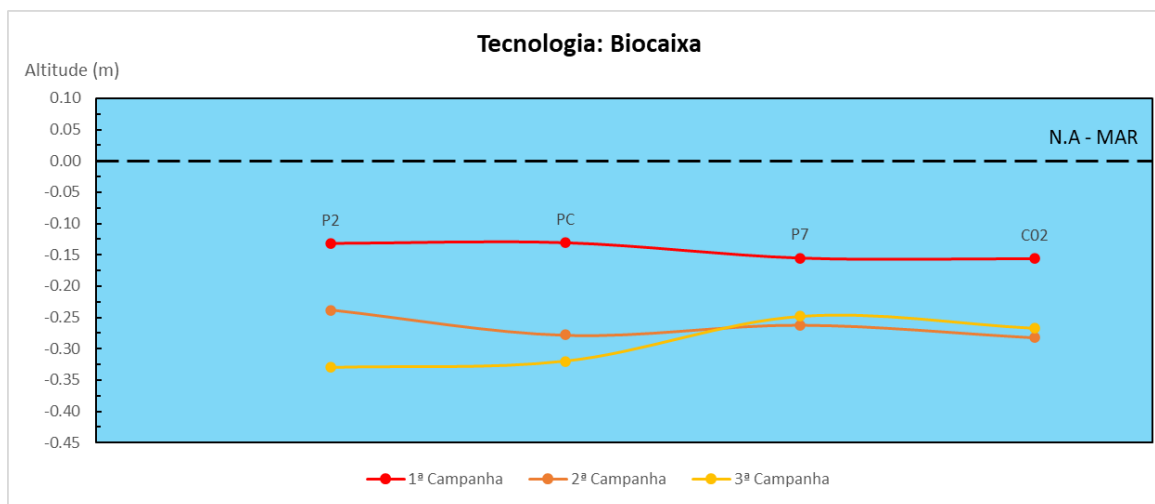


Figura 63: Altimetria do fundo lagunar da área experimental com aplicação da tecnologia Biocaixa.

Com base nos resultados apresentados, é possível visualizar uma variação na altimetria do topo da camada superficial do lodo em todos pontos monitorados, seja nas áreas experimentais ou nos pontos de controle.

8. DISCUSSÃO

Até o momento, as variações na cota altimétrica da superfície da camada de sedimento mostraram tanto redução quanto aumento (acresção) ao longo das campanhas amostrais. Entre a primeira e segunda, houve uma redução da cota altimétrica em todos os pontos provavelmente devido a um padrão hidrodinâmico específico, e na terceira campanha observou-se uma elevação da cota altimétrica. Esta elevação denota uma acresção, um retorno do sedimento antes movimentado pelas correntes. Seria fundamental tentar verificar por meio da modelagem hidrodinâmica os padrões hidrodinâmicos para melhor elucidar as movimentações de sedimento observadas no período. Além disso, cabe destacar que o local de instalação dos experimentos está próximo à uma região de estrangulamento da lagoa, onde as forças hidrodinâmicas tendem a ser ainda mais intensas.

Em relação às variações observadas para temperatura, assim como para o pH, não foi caracterizado efeito do tratamento experimental na qualidade de água da lagoa, visto que essas alterações foram observadas tanto nos pontos das áreas experimentais como nos pontos controle, fora da influência das tecnologias. No caso da turbidez, pode-se observar forte influência temporal na evolução desse parâmetro, cujas médias foram até 5 vezes maiores na última campanha quando comparadas aos resultados obtidos na primeira. Esses resultados extremos, registrados na terceira campanha, foram obtidos em conjunto com altas concentrações de OD (acima de 10 mg/L) e elevados valores de pH (>9), o que pode indicar possível floração de algas e/ou de cianobactérias na região.

De acordo com os resultados obtidos para o Oxigênio Dissolvido, foi observada uma variabilidade nas concentrações principalmente em função da variação temporal apresentada, que esteve ligada às diferentes condições apresentadas pelo sistema entre as campanhas. Além da variação temporal/sazonal, observou-se também um efeito do horário de coleta. Nas medições feitas no período da manhã foram observadas concentrações de OD inferiores às medições realizadas para mesma campanha no período da tarde. Por exemplo, as coletas realizadas na primeira e terceira campanha foram iniciadas por volta das 8:30h, na área da tecnologia da Biocaixa, um horário considerado de baixa insolação, com temperaturas mais amenas, quando comparadas ao horário de coleta nas áreas de aplicação dos Mudballs, após o meio dia. Já para a segunda campanha, a ordem de coleta foi invertida, iniciando-se pela área de aplicação da tecnologia de Mudball. Assim, na 2ª campanha, a área experimental Biocaixas apresentou maiores valores de OD que Mudball e Mudball + Pulmão. Já para as outras campanhas, em função do horário, foram registradas menores valores de OD na área da Biocaixas.

As concentrações de fósforo total no sedimento variaram de forma mais significativa temporalmente, entre as campanhas, do que quando comparados os pontos dentro das áreas experimentais com os respectivos controles. Da mesma maneira, não foi observada redução nos percentuais de matéria orgânica e concentrações de carbono na camada superficial do sedimento. Dessa forma, ainda não se pode afirmar que, até a 3ª campanha, os tratamentos estariam causando redução da camada de sedimentos através do consumo de matéria orgânica nele presentes. Até o

momento, observou-se uma tendência de aumento das concentrações de fósforo total e nitrogênio Kjeldahl ao longo da evolução dos tratamentos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLISH HEALTH ASSOCIATION, 2017. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23th ed, Washington.
- ANA - Agência Nacional das Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. 2013. 432p. Agência Nacional de Águas, Brasília, 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 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**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2005
- CETESB (Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo). **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes líquidos**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão...[et al.] São Paulo, CETESB; Brasília: ANA, 2011.
- CETESB (Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo). **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2012** [recurso eletrônico] / CETESB. – São Paulo: CETESB, 2013. 370p.
- CETESB (São Paulo) **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2017** [recurso eletrônico] /CETESB; Coordenação geral Maria Helena R.B. Martins ;Coordenação técnica Nelson Menegon Jr., Marta Condé Lamparelli, Fábio Netto Moreno ; Coordenação cartográfica Carmen Lúcia V. Midaglia ; Equipe técnica Cláudio Roberto Palombo ... [et al.] ; Colaboradores Gisela de Assis Martini ... [et al.]. – São Paulo : CETESB, 2018. 1 arquivo de texto (301 p.) : il. color., PDF ; 37 MB. - - (Série Relatórios /CETESB, ISSN 0103-4103)
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F.. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2013. 350p. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2013.
- DUTRA de Andrade, J. J. **Evolução ambiental das lagoas de Piratininga e Itaipu, determinação da linha de base e mapas de enchente nos seus entornos**. Dissertação de Mestrado, 2017. Universidade Federal Fluminense. Pós Graduação em Dinâmica da Terra e dos Oceanos (DOT).
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia** / Francisco de Assis Esteves (coordenador). – 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826p.
- FONTENELLE, T.H; CORRÊA, W.B. 2014. **Impactos da Urbanização no Espelho D'água dos Sistemas Lagunares de Itaipu e de Piratininga, Niterói (RJ), Entre 1976 e 2011**. Boletim de Geografia, v. 32, n.2, p. 150-157.

- FULHAGE, C., A. Schmidt, and J. Lory. 2005. **Long Term Sludge and Nutrient Accumulation in Swine Lagoons – A Case Study**. 2005 Animal Waste Management Symposium. North Carolina State University Animal and Poultry Waste Management Center. Raleigh, North Carolina. October 5-7, 2005.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: < <http://censo2010.ibge.gov.br> >.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais**. 1ª Edição, Brasília, 2013. 37 p.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água** / Marcelo Libânio – Campinas, SP: Editora Átomo, 2010. 3ª ed.
- MORGAN, D. **Application of Sonar for the Measurement of Sludge Heights in Wastewater Stabilization Ponds**. 2010. Bachelor degree Dissertation. University of Western Australia. 50 p.
- PROJCONSULT, Engenharia de projetos LTDA. **Projeto Básico de Revitalização e Recuperação Ambiental do Complexo Lagunar Piratininga / Itaipu, Município de Niterói – RJ**. Produto 15: Relatório final do projeto. 37p.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012. 2ª reimpressão, 2018. 472p.

10. ANEXOS

Anexo I – Dados tabulados da primeira, segunda e terceira campanha de monitoramento.

Parâmetros	Ponto	P2	PC	P7	Controle	A1A	A1B	A1C	Controle	A2A	A2B	A2C	Controle
	Data	9/3/2022	9/3/2022	9/3/2022	9/3/2022	9/3/2022	9/3/2022	9/3/2022	9/3/2022	9/3/2022	9/3/2022	9/3/2022	9/3/2022
	Hora	9:07	8:55	8:44	9:27	13:10	12:54	12:40	12:20	14:05	13:24	13:46	14:21
	Unidade												
Temperatura	°C	29.42	29.42	29.09	29.55	37.22	37.25	36.61	36.31	37.84	37.38	37.53	36.95
Condutividade	mS/cm	31.7	31.7	31.8	31.9	34.4	34.3	34.3	34.5	34.4	34.2	34.1	33.6
Salinidade	ppt	19.4	19.4	19.79	19.85	21	21.4	21.4	21.61	21.48	21.36	21.29	20.91
pH	-	8.92	8.92	8.74	8.94	9.11	9.13	9.13	8.99	9.06	9.01	9.03	9.00
Turbidez	NTU	49.6	49.6	47.5	54.4	30.4	29	32.2	30.1	26	32.2	37.4	42.3
Oxigênio Dissolvido	mg/L	2.38	2.38	1.48	1.44	8.84	8.78	9.34	8.16	9.24	8.21	8.04	8.78
DBO	mg/L	27.8	24.6	27.6	22.2	21	26.9	19.6	23.4	23.5	22.4	28.2	24.6
COT	mg/L	16.3	14.9	15.7	17.9	13.8	18.1	14.2	15	15.4	15	13.7	15.3
PT - Fosfatos	mg/L	0.08	0.06	0.06	0.10	0.05	0.08	0.03	0.07	0.04	0.07	0.02	0.05
PT - Dissolvido	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
N- Amoniacal	mg/L	0.12	0.05	0.06	0.05	0.1	0.06	0.1	0.17	0.1	0.11	0.15	0.06
Nitrato	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Nitrito	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Sulfeto	mg/L	1.8	1.5	1.5	2	2.5	1.6	4.6	4.6	3.1	3.8	2.8	2
Col Totais	NMP/100 mL	110	61	140	60	120	68	45	20	45	20	20	40
E. Coli	NMP/100 mL	20	36	45	1.8	40	36	20	1.8	20	20	<1.8	20
Cádmio	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Chumbo	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cobre Dis.	mg/L	0.045	0.045	0.046	0.046	0.046	0.048	0.046	0.047	0.045	0.045	0.05	0.048
Níquel	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zinco	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Rua Joaquim Nabuco 15/304, Bairro Cidade Baixa, CEP 90050-340, Porto Alegre - RS
Tel: (0xx48) 3024-5208. E-mail: contato@hydrosience.com.br

Parâmetros	Ponto	P2	PC	P7	Controle	A1A	A1B	A1C	Controle	A2A	A2B	A2C	Controle
	Data	5/7/2022	5/7/2022	5/7/2022	5/7/2022	5/7/2022	5/7/2022	5/7/2022	5/7/2022	5/7/2022	5/7/2022	5/7/2022	5/7/2022
	Hora	14:36	14:46	14:57	15:06	9:03	9:20	9:35	9:52	10:27	10:12	10:43	11:01
	Unidade												
Temperatura	°C	25.32	25.23	25.02	25.95	22.4	22.53	22.71	22.8	23.68	23.19	23.96	23.94
Condutividade	mS/cm	33.2	33.4	33.6	33.5	34.4	34.2	34	33.8	33.9	33.8	34	33.8
Salinidade	ppt	20.74	20.33	21.05	20.98	21.55	21.47	21.4	21.1	21.25	21.18	21.28	21.18
pH	-	8.67	8.65	8.64	8.63	8.39	8.44	8.44	8.45	8.52	8.48	8.51	8.56
Turbidez	NTU	60.5	62	62.8	59.7	64.5	62.6	57.1	57.1	53.6	55.3	53.4	56.1
Oxigênio Dissolvido	mg/L	7.98	7.21	8.36	7.51	2.98	2.97	7.78	4.6	4.78	7.89	7.7	5.15
DBO	mg/L	7.1	5.3	6.3	5.1	5	5.5	4.3	5.5	4.8	4.2	4.9	5.9
COT	mg/L	13.2	11.7	13.3	12.9	11	11.7	10.2	11.8	10.2	10.6	11.1	11.9
PT - Fosfatos	mg/L	0.45	0.20	0.15	0.18	0.20	0.13	0.18	0.20	0.20	0.20	0.29	0.20
PT - Dissolvido	mg/L	0.40	0.14	0.12	0.15	0.14	0.11	0.13	0.16	0.17	0.16	0.26	0.18
N- Amoniacal	mg/L	1.1	0.8	0.79	0.8	0.78	1	0.93	1	0.75	0.9	0.84	1.1
Nitrato	mg/L	0.06	0.14	< 0.01	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01
Nitrito	mg/L	0.04	0.1	< 0.01	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	<0.01
Sulfeto	mg/L	0.4	0.3	7.6	7.6	0.7	7.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.2	0.6
Col Totais	NMP/100 mL	130	61	230	20	1400	1300	140	330	130	45	<1.8	20
E. Coli	NMP/100 mL	78	18	78	1.8	490	1300	140	170	45	20	<1.8	20
Cádmio	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobre Dis.	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Níquel	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinco	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Rua Joaquim Nabuco 15/304, Bairro Cidade Baixa, CEP 90050-340, Porto Alegre - RS
Tel: (0xx48) 3024-5208. E-mail: contato@hydrosience.com.br

Parâmetros	Ponto	P2	PC	P7	Controle	A1A	A1B	A1C	Controle	A2A	A2B	A2C	Controle
	Data	4/10/2022	4/10/2022	4/10/2022	4/10/2022	4/10/2022	4/10/2022	4/10/2022	4/10/2022	4/10/2022	4/10/2022	4/10/2022	4/10/2022
	Hora												
	Unidade	9:14	9:00	8:49	8:35	10:42	10:56	11:12	10:23	12:05	12:19	11:51	11:37
Temperatura	°C	24.82	24.07	23.60	23.92	24.79	24.98	24.98	24.82	25.08	25.01	25.15	25.19
Condutividade	mS/cm	30.4	30.9	30.6	30.4	29.8	30	30	29.3	29.8	29.6	29.8	29.3
Salinidade	ppt	18.8	18.81	18.99	18.82	18.45	18.57	18.59	18.2	18.4	18.3	18.39	18.13
pH	-	9.92	9.68	9.67	9.68	10.22	10.28	10.3	10.19	10.34	10.37	10.33	10.33
Turbidez	NTU	174	168	160	159	280	214	216	224	229	217	230	230
Oxigênio Dissolvido	mg/L	8.22	9.43	9.92	9.32	15.29	16.81	15.83	8.54	16.47	13.69	15.8	14.41
DBO	mg/L	6.9	7.8	6.6	9	6.3	6.6	5.2	6.2	7.1	10.7	7.1	5.8
COT	mg/L	35.3	38.6	36.3	38.9	24	25.5	22.8	24.1	0.5	27	28.4	29.5
PT - Fosfatos	mg/L	0.28	0.25	0.16	0.31	0.16	0.13	0.21	0.45	0.16	0.27	0.20	0.23
PT - Dissolvido	mg/L	0.21	0.19	0.14	0.22	0.08	0.10	0.12	0.21	0.05	0.21	0.13	0.07
N- Amoniacal	mg/L	0.08	0.11	0.1	0.07	0.14	0.1	0.1	0.13	0.09	0.1	0.11	0.11
Nitrato	mg/L	0.23	0.2	0.21	0.25	0.2	0.25	0.28	0.31	0.19	0.22	0.19	0.18
Nitrito	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sulfeto	mg/L	0.6	0.2	0.5	0.4	0.6	0.5	0.4	1.3	0.5	1.3	1.2	0.5
Col Totais	NMP/100 mL	230	<1.8	20	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	20	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
E. Coli	NMP/100 mL	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
Cádmio	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
Chumbo	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cobre Dis.	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Níquel	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zinco	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Rua Joaquim Nabuco 15/304, Bairro Cidade Baixa, CEP 90050-340, Porto Alegre - RS
Tel: (0xx48) 3024-5208. E-mail: contato@hydrosience.com.br

