



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

2º CAMPANHA - SETEMBRO/ 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
Setembro, 2022	01	114	0	Relatorio_Tecnico_2ª_Campanha.pdf

Índice

1. Apresentação	11
2. Escopo do Serviço	11
3. Introdução.....	12
4. Objetivos	13
4.1. Objetivo Geral.....	13
4.2. Objetivos Específicos	13
5. Área de estudo.....	14
6. Metodologia.....	16
6.1. Subprograma de Monitoramento da Qualidade da Água.....	16
6.2. Subprograma de Monitoramento da Qualidade do Sedimento	20
6.3. Subprograma de Monitoramento para Avaliação da Camada de Lodo através da Medição da Altitude Ortométrica do Fundo Lagunar.	24
6.3.1. Detalhes do processamento dos dados de receptores GNSS.....	26
7. Resultados.....	28
7.1. Monitoramento da Qualidade da Água.....	28
7.1.1. TECNOLOGIA: MUDBALL	30
7.1.2. TECNOLOGIA: MUDBALL + PULMÃO.....	45
7.1.3. TECNOLOGIA: BIOCAIXA.....	59
7.2. Monitoramento da Qualidade do Sedimento	73
7.2.1. TECNOLOGIA: MUDBALL	76
7.2.2. TECNOLOGIA: MUDBALL + PULMÃO.....	86
7.2.3. TECNOLOGIA: BIOCAIXA.....	96
7.3. Monitoramento da Altitude Ortométrica da Camada de Lodo.....	106
8. Referências bibliográficas	112

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.	15
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.	21
Figura 6: Amostrador Gravity Corer utilizado para amostragem de sedimento	22
Figura 7: Esboço do método de levantamento da espessura e altitude ortométrica da superfície da camada de lodo da Lagoa.	25
Figura 8: Medidas para confecção do disco	25
Figura 9: Relação entre Elipsoide, Geoide e o Relevo Local.....	27
Figura 10: Relação de altitude entre os principais níveis de referência e aqueles obtidos na lagoa de Piratininga. (Dutra de Andrade, 2017).....	28
Figura 11: Transferência do material coletado com auxílio do coletor para os frascos.....	31
Figura 12: Frascos etiquetados para envio ao laboratório.	32
Figura 13: Representação dos valores observados da temperatura (°C) nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	35
Figura 14: Transparência da Coluna d'água aferidas com o disco de Secchi para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	36
Figura 15: Representação dos resultados observados de Turbidez para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	37
Figura 16: Valores de condutividade elétrica observada para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	37
Figura 17: Representação dos valores medidos de pH para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	38

Figura 18: Valores de Oxigênio Dissolvido observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	40
Figura 19: Valores do Carbono Orgânico Total observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	41
Figura 20: Valores de DBO observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	41
Figura 21: Resultado das concentrações de Fósforo Total – Fosfatos para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	42
Figura 22: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal observadas para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	43
Figura 23: Resultado das concentrações de Sulfetos observadas para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	44
Figura 24: Representação das concentrações do grupo de bactérias Coliformes para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	45
Figura 25: Resultado dos valores observados de Temperatura para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	48
Figura 26: Valores da transparência da coluna d'água para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	49
Figura 27: Valores observados de Turbidez para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	50
Figura 28: Condutividade elétrica observadas para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	51
Figura 29: Valores de pH observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	52
Figura 30: Concentrações de Oxigênio Dissolvido para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	53
Figura 31: Resultado das concentrações de COT para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	54
Figura 32: Valores observados de DBO para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	55

Figura 33: Concentração de Fósforo Total – Fosfatos para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	56
Figura 34: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	57
Figura 35: Resultado das concentrações de Sulfetos para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	58
Figura 36: Concentrações de bactérias do grupo Coliformes para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	59
Figura 37: Transferência do material coletado com auxílio do coletor para os frascos na área das Biocaixas.	60
Figura 38: Frascos identificados para envio ao laboratório.	60
Figura 39: Valores de temperatura para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	63
Figura 40: Transparência da coluna d'água para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	64
Figura 41: Turbidez observada nos pontos monitorados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	65
Figura 42: Condutividade elétrica observada para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	65
Figura 43: Valores de pH observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	66
Figura 44: Concentrações de Oxigênio Dissolvido para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	67
Figura 45: Concentrações de COT para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	68
Figura 46: Valores de DBO para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	69
Figura 47: Concentrações de Fósforo Total – Fosfatos para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	70
Figura 48: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal observadas para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	71

Figura 49: Valores de Sulfetos observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	72
Figura 50: Concentrações do grupo de bactérias Coliformes para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	73
Figura 51: Coleta do material sedimentar com o auxílio do tubo cilíndrico em acrílico.....	75
Figura 52: Transferência do material coletado para os frascos devidamente identificados.	75
Figura 53: Valores do teor de umidade observados para as camadas superficial e subsuperficial nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.	79
Figura 54: Teor de sólidos presente nas camadas superficial e subsuperficial para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	80
Figura 55: Teor de Matéria Orgânica presentes na camada superficial e subsuperficial durante as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	81
Figura 56: Concentrações de COT na camada superficial e subsuperficial observadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.	82
Figura 57: Concentrações de Fósforo Total – Fosfatos na camada superficial e subsuperficial observadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.....	83
Figura 58: Valores de NKT observados durante o monitoramento para a camada superficial e subsuperficial nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.	84
Figura 59: Sulfetos presentes na camada superficial e subsuperficial observadas no monitoramento pré e pós-início dos experimentos.	85
Figura 60: Concentração de E. Coli na matriz sedimentar para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.	86
Figura 61: Teores de umidade observados na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	89
Figura 62: Teores de sólidos observados na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	90
Figura 63: Teores de Matéria Orgânica observados na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	91

Figura 64: Concentrações de COT observadas na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.....	92
Figura 65: Concentrações de Fósforo Total – Fosfatos observadas na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	93
Figura 66: Concentrações de NKT observadas na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.....	94
Figura 67: Concentrações de Sulfetos na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	95
Figura 68: Concentrações de E. Coli na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	96
Figura 69: Teores de umidade na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.....	99
Figura 70: Teores de Sólidos na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.....	100
Figura 71: Teores de Matéria Orgânica na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	101
Figura 72: Concentrações de COT na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	102
Figura 73: Concentrações de Fósforo Total na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	103
Figura 74: Concentrações de NKT na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	104
Figura 75: Concentrações de Sulfatos na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	105
Figura 76: Concentrações de E. Coli na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.	106
Figura 77: Definição do Marco base utilizado como referência.	107
Figura 78: Aferição da altitude da camada de lodo na estaca no ponto de monitoramento em relação ao Marco.	108

Figura 79: Localização dos pontos de monitoramento da altitude ortométrica do fundo lagunar.	109
Figura 80: Altimetria do fundo lagunar na área de aplicação da tecnologia Mudball.	110
Figura 81: Altimetria do fundo lagunar na área de aplicação da tecnologia Mudball + Pulmão	111
Figura 82: Altimetria do fundo lagunar da área experimental com aplicação da tecnologia Biocaixa.	111

Lista de Tabelas

Tabela 1: Coordenadas dos pontos de monitoramento de qualidade da água na Lagoa de Piratininga.	17
Tabela 2: Parâmetros e referência metodológica de análise.....	19
Tabela 3: Coordenadas dos pontos de monitoramento da qualidade do sedimento na Lagoa de Piratininga.	21
Tabela 4: Parâmetros de Qualidade do Sedimento e Metodologia de Referência	23
Tabela 5: Valores de referência para parâmetros de qualidade da água segundo a resolução CONAMA nº 357/2005.....	29
Tabela 6: Limites de quantificação fornecidos pelo laboratório por parâmetro analisado.....	29
Tabela 7: Resultados do monitoramento dos parâmetros de qualidade da água para as campanhas pré e pós-início dos experimentos na área de aplicação da tecnologia Mudball.....	34
Tabela 8: Resultados do monitoramento dos parâmetros de qualidade da água para as campanhas pré e pós-início dos experimentos na área de aplicação da tecnologia Mudball + Pulmão.....	47
Tabela 9: Resultados dos parâmetros de qualidade de água monitorados nas campanhas pré e pós-início dos experimentos com a tecnologia de Biocaixas.	62
Tabela 10: Limites de quantificação pelo laboratório de análises por parâmetro.	74
Tabela 11: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada superficial (10 cm), na área de aplicação da tecnologia Mudball.	77
Tabela 12: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada subsuperficial (30 cm), na área de aplicação da tecnologia Mudball.	78
Tabela 13: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada superficial (10 cm), na área de aplicação da tecnologia Mudball + Pulmão.....	87

Tabela 14: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada subsuperficial (30 cm), na área de aplicação da tecnologia Mudball + Pulmão. 88

Tabela 15: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada superficial (10 cm), na área de aplicação da tecnologia Biocaixa. 97

Tabela 16: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada subsuperficial (30 cm), na área de aplicação da tecnologia Biocaixa. 98

Tabela 17: Grade de coordenadas UTM, e elevação do fundo lagunar em relação ao nível do mar do marco do IBGE Imbituba, para as campanhas pré e pós-início dos experimentos..... 109

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 medição 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 à 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 cama de lodo nas três áreas experimentais. O monitoramento será realizado em três campanhas, a saber:

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

- Terceira campanha: a ser realizada após o termino dos experimentos.

No monitoramento da qualidade da água e sedimento serão realizadas coletas de água em 3 pontos de cada área experimental e em um ponto de controle, 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 considerada 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 que serão 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 será realizada em duas profundidades, superfície (10 cm) e sub-superfície (30 cm);
- III. Medição da altitude ortométrica da camada de lodo em cada área experimental;
- IV. Discutir e interpretar os resultados dos monitoramentos realizados e avaliar as eficiências das tecnologias testadas quanto a 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.

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

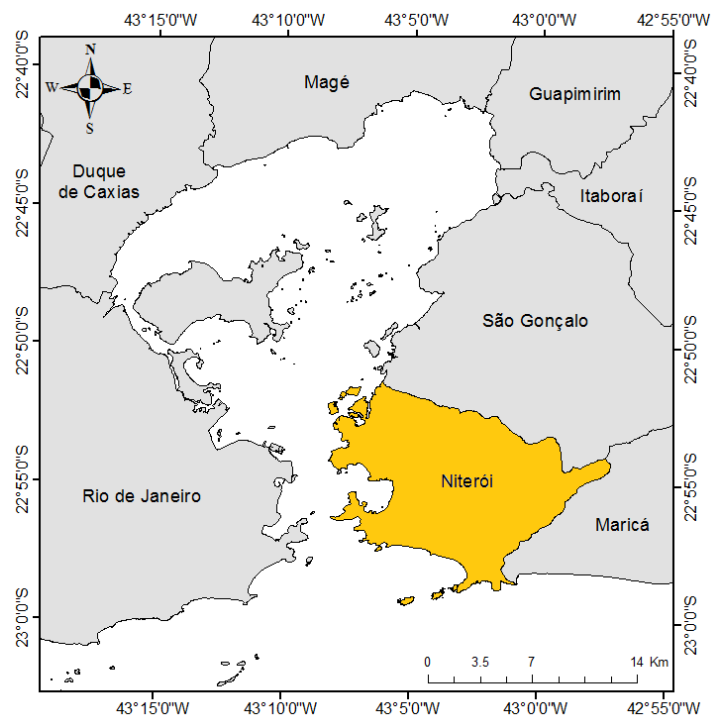


Figura 1: Localização do município de Niterói e cidades ao entorno.

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

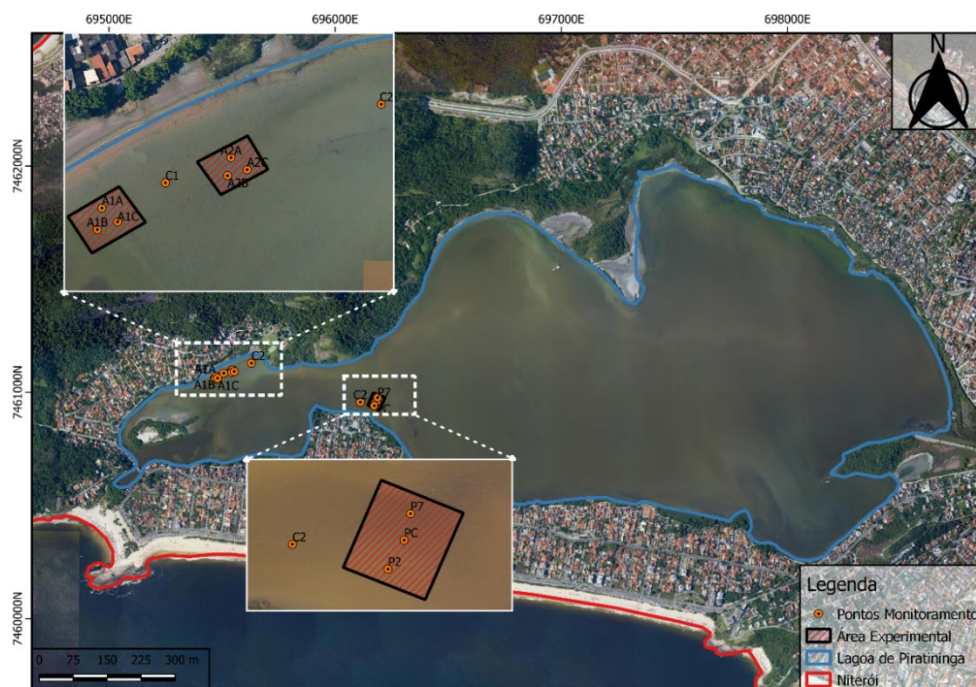


Figura 2: Localização das Áreas Experimentais e Pontos de Monitoramento na Lagoa de Piratininga, no município de Niterói/RJ.

A área experimental próxima da costa sul da lagoa, na qual será aplicada a tecnologia BIOCAIXA – SISNATE, apresenta uma área de 50x50 m, na qual tem-se 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 será 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 na área 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
Biocaixa Sisnate - Controle	C2	696111.748	7460956.741
MudBall	A1A	695471.726	7461070.491
MudBall	A1B	695469.131	7461058.287
MudBall	A1C	695480.563	7461062.635
MudBall - 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
MudBall + Pulmão - 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, de um pescador local.

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 estará executando os experimentos. As amostragens foram realizadas sempre na presença da equipe fiscal do contrato e da empresa/instituição que está executando o 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* irão contemplar 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 será 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: **Amônia** (mg/L), **Carbono Orgânico Total** (mg/L), **Coliformes Totais** (NMP/100mL), **DBO** (mg/L), **DQO** (mg/L), **Escherichia Coli** (NMP/100mL), **Fósforo Total – Fosfatos** (mg/L), **Fósforo Total Dissolvido** (mg/L), **Nitrato** (mg/L), **Nitrito** (mg/L) e **Sulfeto** (mg/L). Na tabela 2 estão sumarizados os parâmetros monitorados com indicação da metodologia de referência a 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
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	1000	H2SO4 até ph <2	28 dias	SMEWW, 23ª Ed – 4500-NH3 B e 4500-NH3 D
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
<i>Escherichia coli</i>	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
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

* 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 (10cm) e subsuperfície (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.

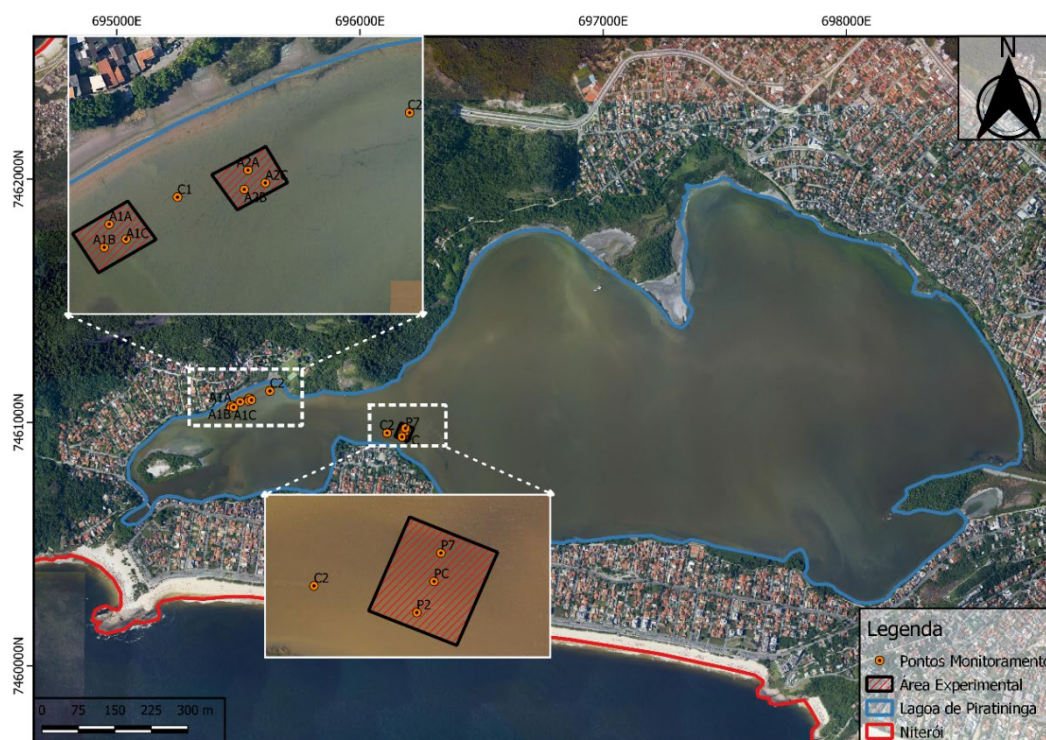


Figura 5: Localização dos pontos de monitoramento da qualidade do sedimento na Lagoa de Piratininga.

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
Biocaixa Sisnate - Controle	C2	696111.748	7460956.741
MudBall	A1A	695471.726	7461070.491
MudBall	A1B	695469.131	7461058.287
MudBall	A1C	695480.563	7461062.635
MudBall - 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
MudBall + Pulmão - Controle	C2	695629.862	7461129.150

A obtenção das amostras foi realizada com a mesma embarcação utilizada para a amostragem de qualidade da água.

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 permitirá 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 sedimentar, em cada uma das camadas, irão contemplar as seguintes análises físico-químicas: **Carbono Orgânico Total (%)**,

Coliformes Totais (NMP/100mL), ***Escherichia Coli*** (NMP/100mL), **Fósforo Total** (mg/Kg), **Sulfeto** (mg/Kg), **Nitrogênio Kjeldahal Total** (mg/Kg), **Teor de Umidade** (%) e **Matéria Orgânica** (%). 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

*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).

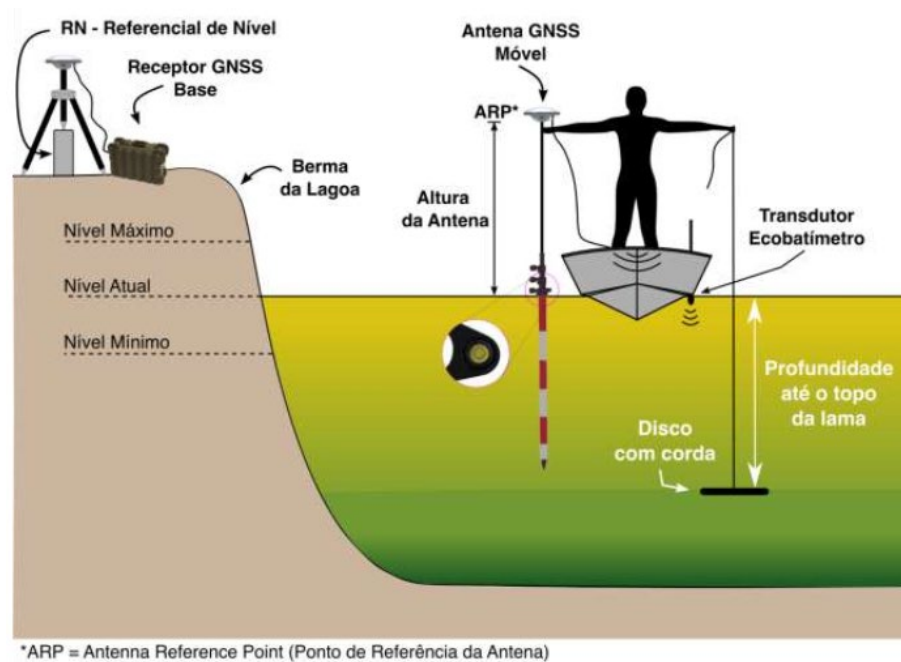


Figura 7: Esboço do método de levantamento da espessura e altitude ortométrica da superfície da camada de lodo da Lagoa.

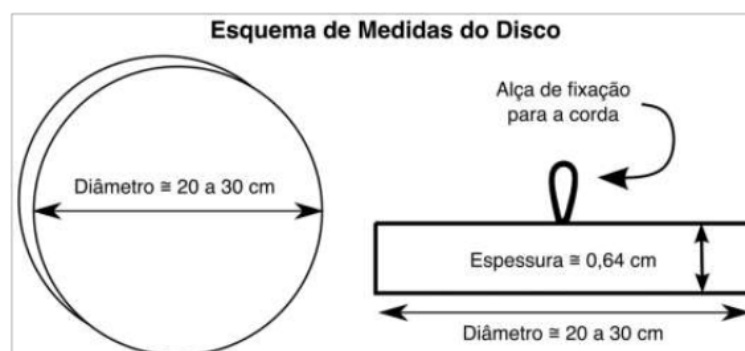


Figura 8: Medidas para confecção do disco

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 serão feitas três campanhas de medições para averiguar a altitude ortométrica do topo da camada de lama. A primeira campanha ocorreu antes do início do experimento (mês 01), a segunda foi realizada três meses após o início da aplicação das tecnologias (mês 03), e a terceira campanha ocorrerá ao final 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. No levantamento foram mitigados diversos tipos de erros que podem comprometer o levantamento, como por exemplo, a falta de 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 (Dilution 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).

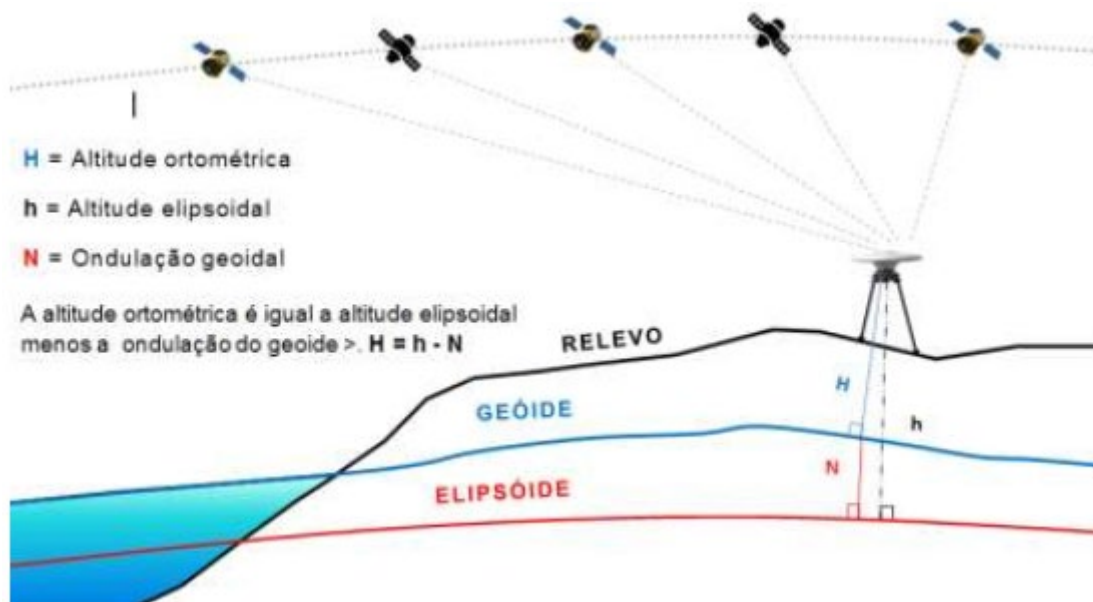


Figura 9: Relação entre Elipsoide, Geoide e o Relevo Local.

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, onde são solicitados os códigos identificadores dos pontos levantados com GNSS, a latitude e a longitude.

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.

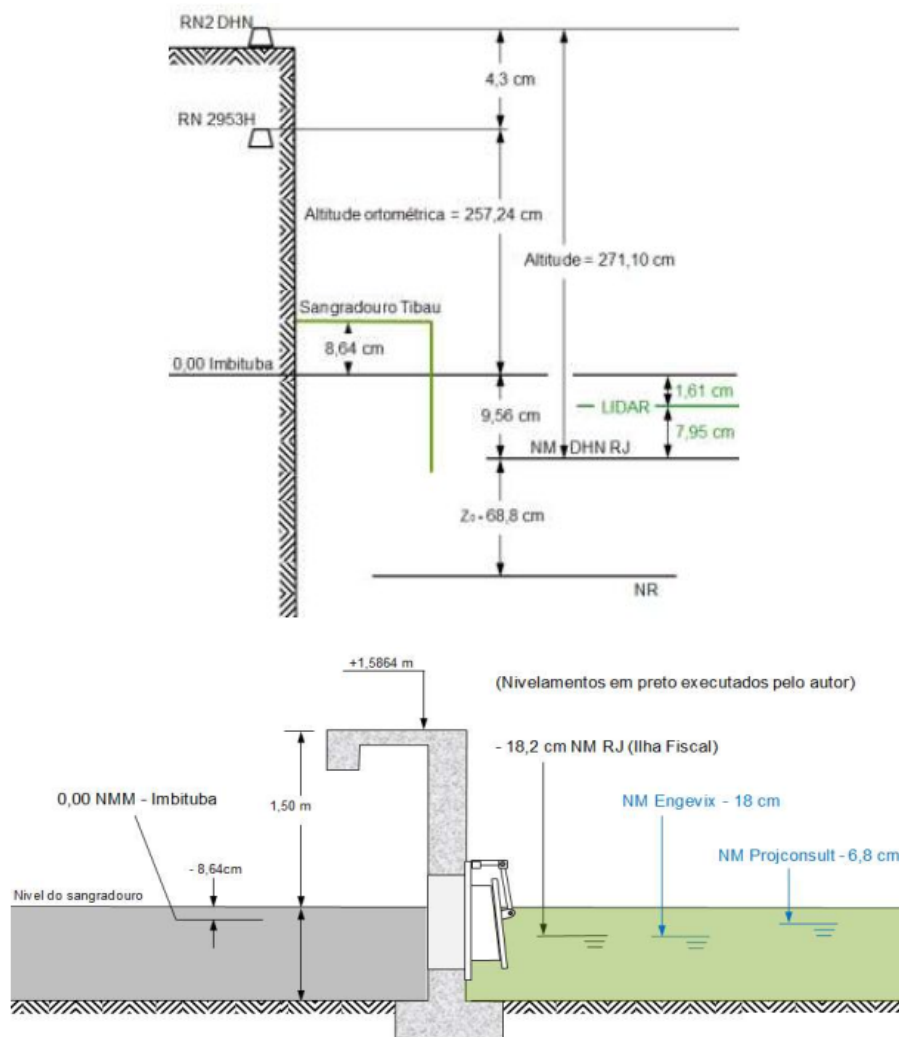


Figura 10: Relação de altitude entre os principais níveis de referência e aqueles obtidos na lagoa de Piratininga. (Dutra de Andrade, 2017).

7. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados da segunda 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. Será realizada uma análise parcial comparando os resultados obtidos nas duas 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, foram coletadas amostras na fase pré-experimento e serão coletadas durante o processo de experimentação de técnicas para redução da camada de lodo da lagoa, com o intuito de acompanhar e verificar se alguma técnica utilizada está afetando e/ou modificando a qualidade ambiental da água da lagoa.

As empresas/instituições estão realizando os experimentos em três áreas distintas, em que cada área está sendo aplicado uma tecnologia. A UFF/Biotecam coordenam dois experimentos, um com a presença apenas da tecnologia de Mudballs, e na outra é uma associação de Mudballs com um aerador contínuo, denominado de Mudballs + Pulmão. Na área onde a Sisnate está coordenando o experimento, está sendo implementada 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. TECNOLOGIA: MUDBALL

A campanha de monitoramento pré-experimento foi realizada pela Hydrosience no dia 09/03/2022 entre as 12:15h e 13:15h. Os experimentos tiveram início em 31/03/2022. A primeira campanha de monitoramento pós-início dos experimentos foi realizada pela Hydrosience no dia 05/07/2022 entre as 9:00h e 10:00h. Todas as campanhas de monitoramento foram realizadas na presença de fiscais de contrato e da instituição que coordena a área experimental.

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

A Figura 11 apresenta a passagem do material coletado na lagoa com auxílio do coletor (balde inox) para os frascos que foram encaminhados para o laboratório de análises. A Figura 12 demonstra os frascos etiquetados para acomodação na caixa térmica.



Figura 11: Transferência do material coletado com auxílio do coletor para os frascos.



Figura 12: Frascos etiquetados para envio ao laboratório.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos através de medições *in situ* e de análises laboratoriais das amostras encaminhadas ao laboratório da Qualylab (<https://qualylab.com.br/>), o laboratório é credenciado e apresenta as principais certificações para prestação deste tipo de serviço.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos na campanha pré-experimento e da primeira campanha pós-início do experimento. Os valores destacados em vermelho representam os parâmetros que estiveram fora dos limites estipulados para Classe 2, e os valores destacados em laranja são referentes aos parâmetros que estiveram fora dos limites propostos para a Classe 1, ambas as classes referentes à águas salobras.

Os resultados do parâmetro DQO não serão apresentados, pois segundo informações constantes no laudo das análises laboratoriais houve alta interferência do íon cloreto nas amostras, resultando em dados inconclusivos para o parâmetro DQO. Assim, o laboratório optou por não apresentar os dados relativos a esse parâmetro.

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). Os demais parâmetros foram avaliados em laboratório.

Na primeira campanha pós-início dos experimentos, os parâmetros que seguem: Cádmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco não foram monitorados, conforme previsto no plano de trabalho.

Tabela 7: Resultados do monitoramento dos parâmetros de qualidade da água para as campanhas pré e pós-início dos experimentos na área de aplicação da tecnologia Mudball.

Tecnologia - Mudball UFF/BIOTECAM								Controle		VALOR REFERÊNCIA	
Parâmetro	Data	9/03/2022	5/07/2022	9/03/2022	5/07/2022	9/03/2022	5/07/2022	9/03/2022	5/07/2022	CONAMA 357/05 -	
	Hora	13:10	9:03	12:54	9:20	12:40	9:35	12:20	9:52	ÁGUA SALOBRA	
	Ponto	A1A	A1A	A1B	A1B	A1C	A1C	C1	C1	Classe 1	Classe 2
	Unidade										
Transparência	m	0.2	0.3	0.2	0.28	0.2	0.34	0.2	0.31	-	-
Temperatura	°C	37.22	22.4	37.25	22.53	36.61	22.71	36.31	22.8	-	-
pH	-	9.11	8.39	9.13	8.44	9.13	8.44	8.99	8.45	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Oxigênio Dissolvido	mg/L	8.84	2.98	8.78	2.97	9.34	7.78	8.16	4.6	5	4
Turbidez	NTU	30.4	64.5	29	62.6	32.2	57.1	30.1	57.1	-	-
Condutividade	mS/cm	34.4	34.4	34.3	34.2	34.3	34	34.5	33.8	-	-
Salinidade	ppt	21	21.55	21.4	21.47	21.4	21.4	21.61	21.1	-	-
DBO	mg/L	21	5	26.9	5.5	19.6	4.3	23.4	5.5	-	-
Fósforo Total Dissolvido	mg/L	0.01	0.14	0.01	0.11	0.01	0.13	0.01	0.16	-	-
Fósforo Total - Fosfatos	mg/L	0.05	0.2	0.08	0.13	0.03	0.18	0.07	0.2	0.124	0.186
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0.1	0.78	0.06	1	0.1	0.93	0.17	1	0.4	0.7
Nitrato	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.4	0.7
Nitrito	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.2
Sulfeto Enxofre	mg/L	2.5	0.7	1.6	7.6	4.6	0.6	4.6	0.5	0.002	0.002
Coliformes Totais	NMP/100mL	120	1400	68	1300	45	140	20	330	-	-
E. Coli	NMP/100mL	40	490	36	1300	20	140	1.8	170	1000	2500
Carbono Orgânico Total	mg/L	13.8	11	18.1	11.7	14.2	10.2	15	11.8	3	5
Chumbo	mg/L	<0.01		<0.01		<0.01		<0.01		0.01	0.21
Cobre Dissolvido	mg/L	0.047		0.046		0.046		0.048		0.005	7.8
Cádmio	mg/L	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		0.005	0.04
Níquel	mg/L	<0.02		<0.02		<0.02		<0.02		0.025	74
Zinco	mg/L	<0.05		<0.05		<0.05		<0.05		0.09	0.12

A Tabela 7 apresentou os resultados tabulados das duas campanhas de monitoramento realizadas até o presente momento, na fase pré-experimento e na primeira pós-início. Os resultados observados serão comentados e discutidos a seguir.

As características físicas das águas foram avaliadas através dos seguintes parâmetros: Transparência, Turbidez, Temperatura, Condutividade.

Na campanha pré-experimento a temperatura variou de 37,25 a 36,61 °C, com valor médio de 36,85 °C. Na primeira campanha pós-início os valores medidos foram inferiores, variando de 22,4 a 22,8 °C, com valor médio de 22,6 °C. Essa variabilidade pode ser explicada devido a mudança de estação e do horário da coleta, na fase pré-experimento, a estação predominante era o verão, e as coletas foram realizadas no horário das 12:00h-13:00h, considerado um horário com alta insolação. Na campanha realizada pós-início a estação predominante foi o inverno, e o horário da coleta foi entre 9:00h e 10:00h. A Figura 13 apresenta a representação gráfica dos resultados da temperatura observadas nas campanhas pré-experimento e primeira pós-início dos experimentos.

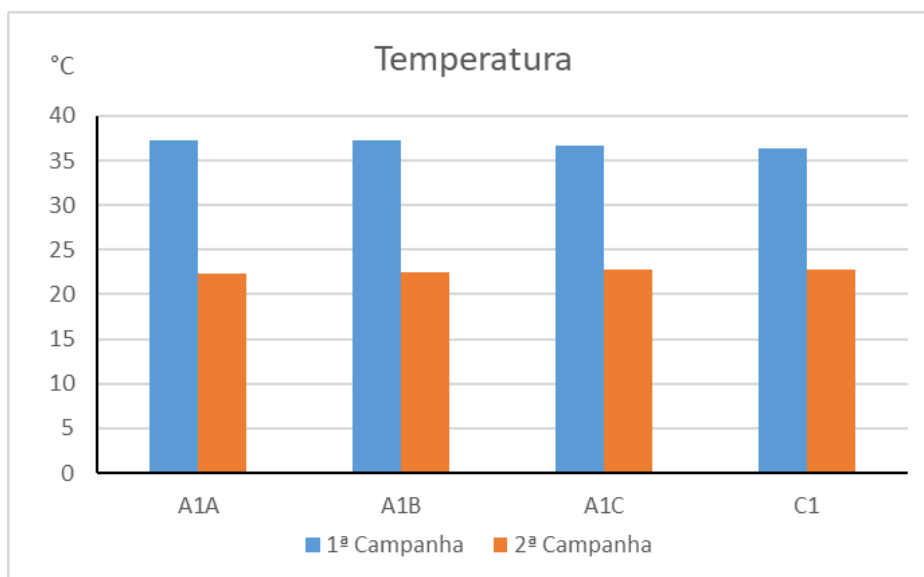


Figura 13: Representação dos valores observados da temperatura (°C) nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

A transparência da coluna d'água foi aferida com a utilização do disco de Secchi, na campanha pré-experimento não foi possível aferir o valor devido ao baixo nível de

água da lagoa, a lâmina d'água estava em torno de 0,15m – 0,20m, sendo possível observar o fundo da lagoa sem dificuldades. Na campanha pós-início o nível de água na lagoa estava maior e foi possível realizar as aferições com o disco, os valores variaram de 0,28m a 0,34m, com valor médio de 0,31m. A Figura 14 apresenta o gráfico elaborado a partir dos dados coletados para a transparência da coluna d'água.

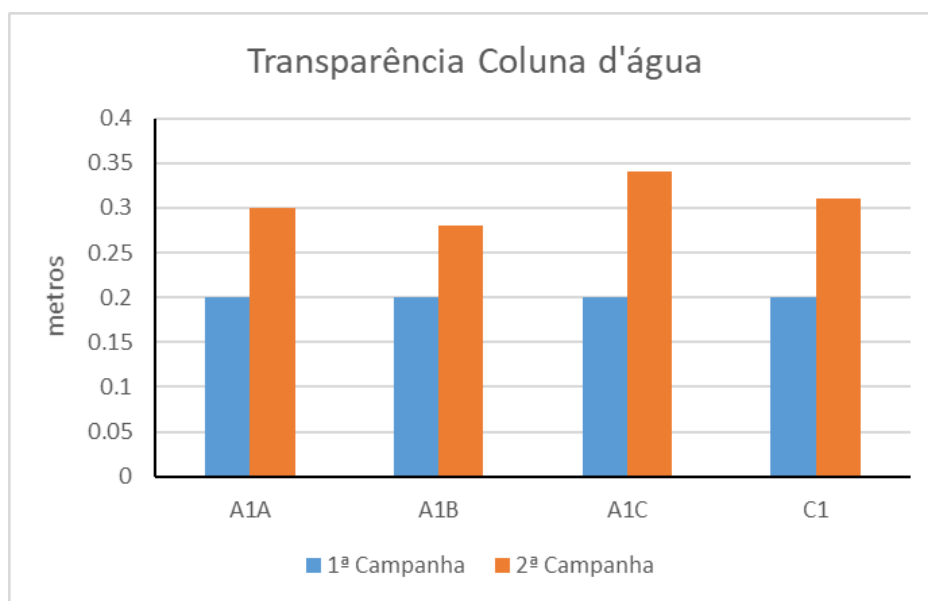


Figura 14: Transparência da Coluna d'água aferidas com o disco de Secchi para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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 (CETESB, 2018; VON SPERLING, 2018). Durante a campanha pré-início os valores de turbidez observados na área experimental ficaram na faixa de 29 a 32,2 NTU, já na campanha pós-início os valores observados foram mais elevados, variando de 57,1 a 64,2 NTU, com valor médio de 60,3 NTU. A Figura 15 apresenta os valores de turbidez observados.

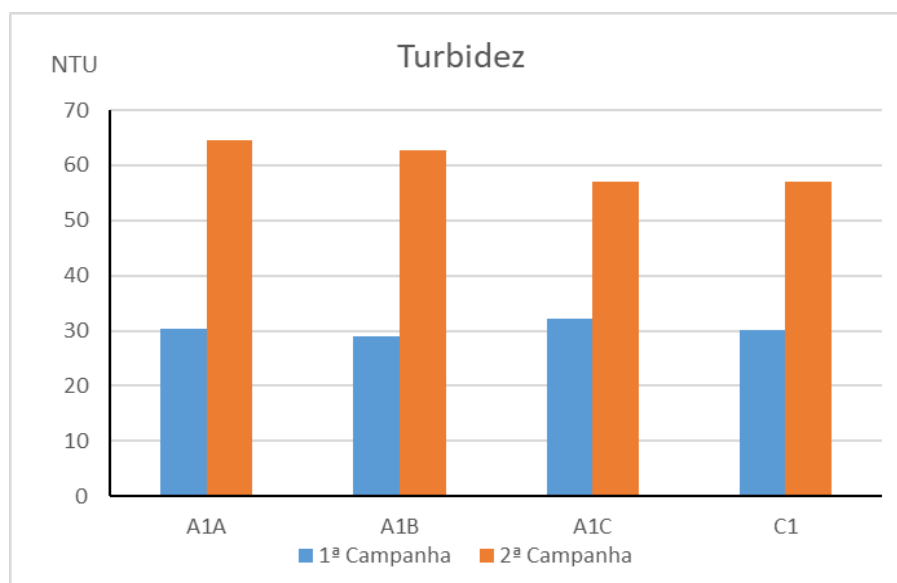


Figura 15: Representação dos resultados observados de Turbidez para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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). Os valores pré-experimento variaram de 34,3 a 34,5 mS/cm, e para a primeira campanha pós-início dos experimentos, os valores estiveram entre 33,8 e 34,4 mS/cm, não observada nenhuma variação significativa entre as duas campanhas, conforme pode ser observado na Figura 16.

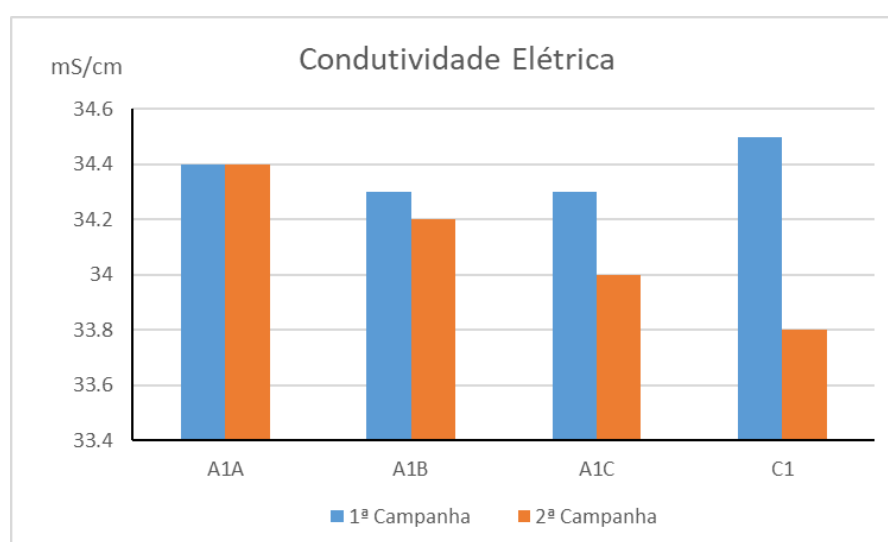


Figura 16: Valores de condutividade elétrica observada para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Além dos parâmetros físicos, os parâmetros químicos estão sendo monitorados, dentre eles, estão: o pH, Oxigênio Dissolvido, DBO, Fósforo Total Dissolvido, Fósforo Total (Fosfatos), Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Carbono Orgânico Total, Salinidade, Sulfetos.

A salinidade aferida na área experimental apresentou pouca variação entre as campanhas pré-experimento e pós-início, com valores médios de 21,35 e 21,38 ppt, respectivamente. A Figura 17 apresenta a representação gráfica dos resultados do pH, é possível observar que valores de pH apresentaram uma variação significativa entre as duas campanhas, com valores mais elevados na campanha pré-experimento, com valor médio de 9,09, estando acima faixa estabelecida para as classes 1 e 2. Na primeira campanha pós-início, os valores estiveram dentro da faixa estabelecida para as classes 1 e 2, com valor médio de 8,43. Essa redução nos valores de pH pode estar associada a redução da temperatura da água, a temperatura média na campanha pré-experimento estava aproximadamente 12°C mais elevada. Segundo Libânio (2010) o valor de pH varia de acordo com a temperatura, elevando-o para temperaturas mais altas e reduzindo-o para temperaturas mais baixas.

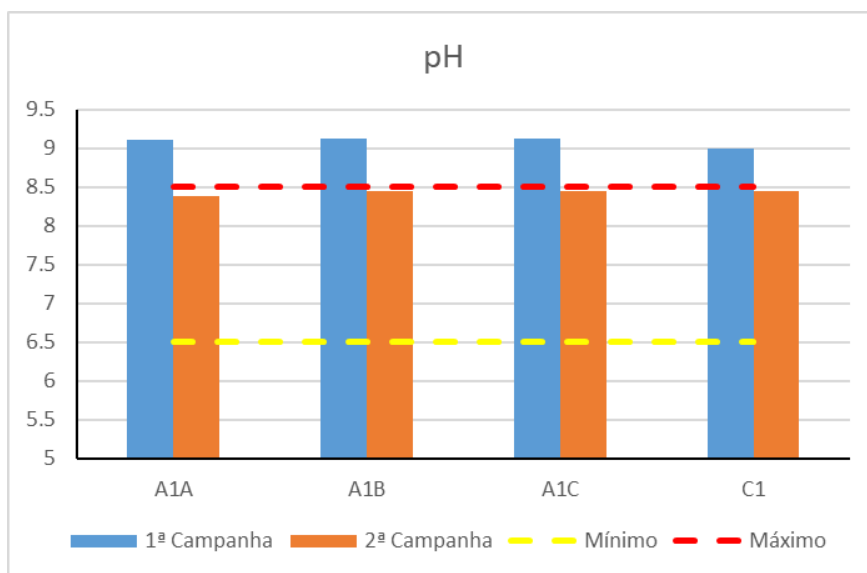


Figura 17: Representação dos valores medidos de pH para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

O Oxigênio Dissolvido (OD) 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 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 limite mínimo de 5 mg/L para a classe 1 e 4 mg/L para classe 2. A Figura 18 demonstra a representação gráfica dos resultados de OD para as campanhas pré-experimento e primeira pós-início, juntamente com os valores mínimos estipulados pela legislação. Houve uma variação considerável entre as campanhas, os valores pré-experimento variaram de 8,16 a 9,34 mg/L, com pouca variabilidade de valores entre os pontos monitorados, com valor médio de 8,74 mg/L. Já na primeira campanha pós-início, os valores apresentaram uma variabilidade maior entre os pontos, com valores variando de 2,97 a 7,78 mg/L, com valor médio de 4,58 mg/L.

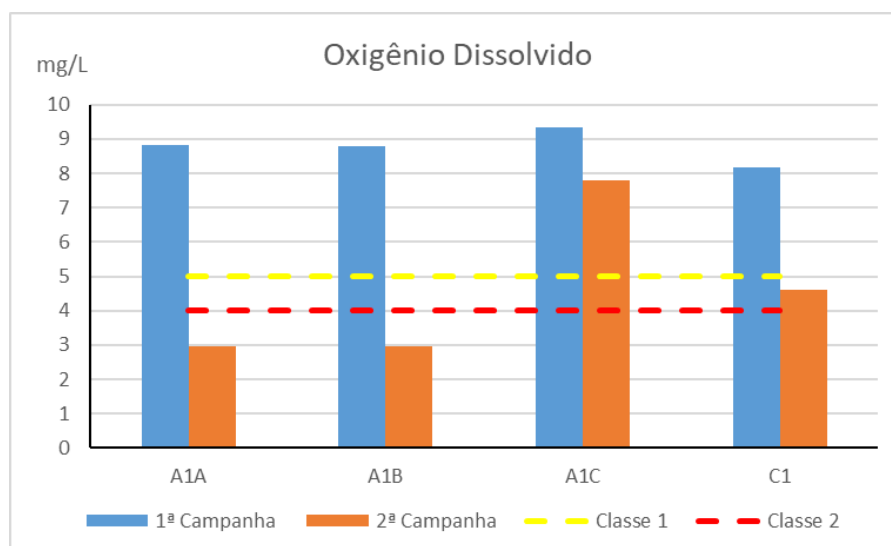


Figura 18: Valores de Oxigênio Dissolvido observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Nesta análise, ao interpretar os resultados, vale salientar e atentar-se a questão do horário, da temperatura, do fotoperíodo, da luminosidade, da altura da lâmina d'água, em que as amostras foram coletadas.

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). 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 Figura 19 apresenta os valores medidos de COT para as coletas realizadas nas duas campanhas, comparando os resultados com os limites estabelecidos pela legislação. A campanha pré-experimento apresentou uma maior variação entre os pontos, com valores variando entre 13,8 e 18,1 mg/L, com valor médio de 15,28 mg/L. Na primeira campanha pós-início as concentrações estiveram na faixa de 10,2 a 11,8 mg/L, com valor médio de 11,18 mg/L. Em ambas as campanhas os valores estiveram bem acima do estipulado pela legislação para águas salobras classe 2.

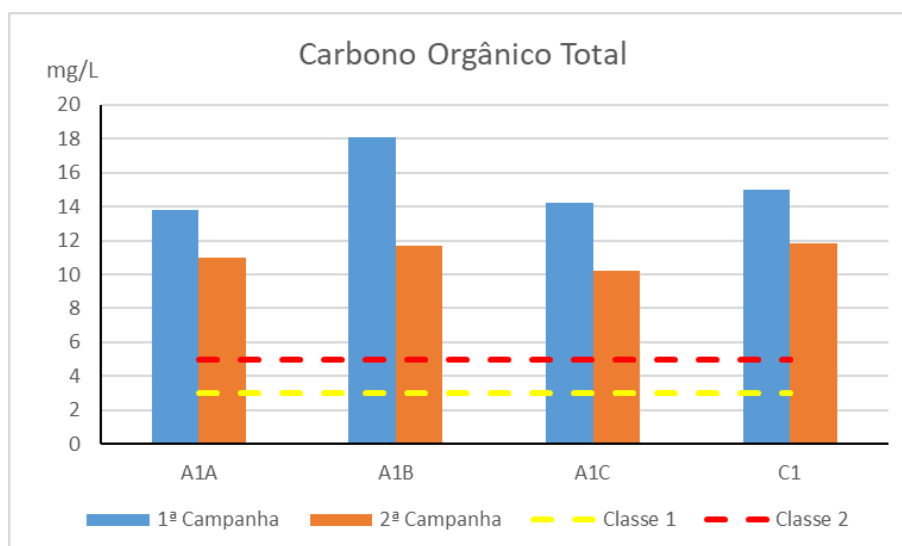


Figura 19: Valores do Carbono Orgânico Total observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Assim como a DQO, as concentrações de DBO sofrem influência de Cloreto, sendo estes parâmetros pouco utilizados para avaliação deste tipo de ambiente, 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 através da Figura 20.

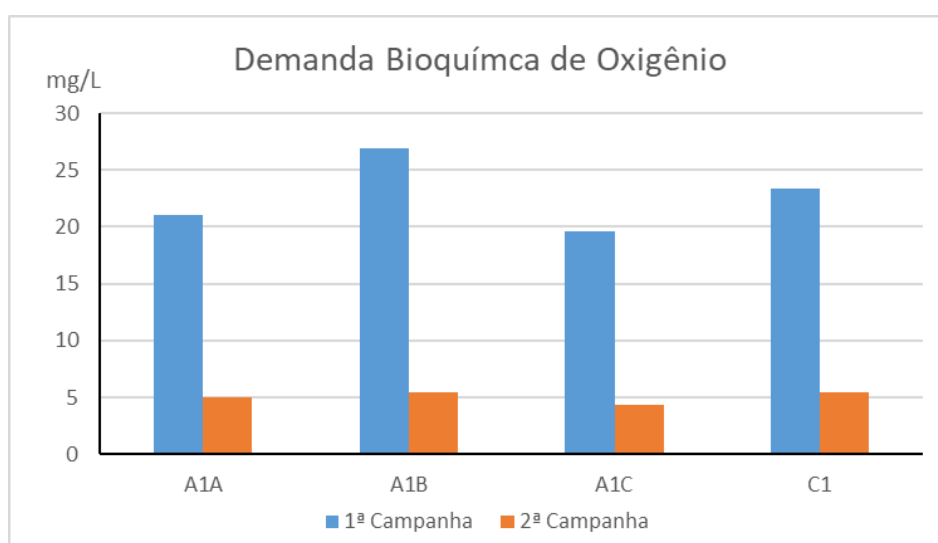


Figura 20: Valores de DBO observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Na campanha pré-experimento, os valores de DBO variaram entre 19,6 a 26,9 mg/L, com valor médio de 22,73 mg/L. Já para a primeira campanha pós-início as concentrações variaram de 4,3 a 5,5 mg/L, com valor médio de 5,1 mg/L.

O monitoramento das concentrações de nutrientes no meio aquático é importante pelos possíveis efeitos poluidores que causam no ambiente, os principais nutrientes 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. Através da Figura 21 é possível observar as concentrações de Fósforo Total na forma de fosfatos, ao avaliar os resultados, na campanha pré-experimento as concentrações estiveram abaixo dos limites estipulados para classe 1, variando na faixa de 0,03 a 0,08 mg/L, com valor médio de 0,06 mg/L. Na primeira campanha pós-início dos experimentos os valores variaram de 0,13 a 0,20 mg/L, com valor médio de 0,18 mg/L, ou seja acima dos limites estipulados para classe 2.

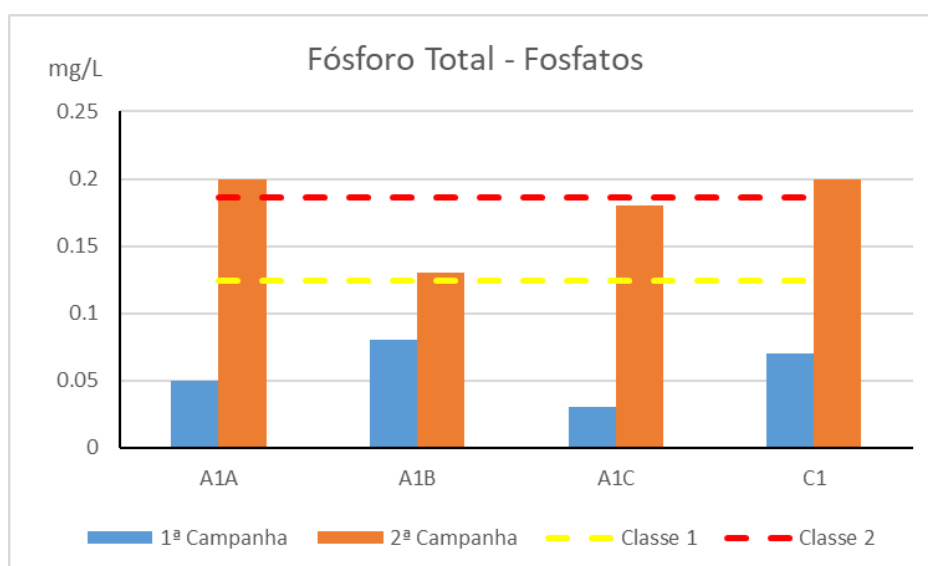


Figura 21: Resultado das concentrações de Fósforo Total – Fosfatos para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

O Nitrogênio pode estar presente no ambiente em suas diversas formas (nitrito, nitrato, amoniacal, etc), no presente monitoramento foram determinadas as concentrações de Nitrogênio Amoniacal (NH_3), Nitrato e Nitrito. Porém, será comentado apenas os resultados referentes as concentrações do Nitrogênio Amoniacal, devido aos resultados obtidos de Nitrito e Nitrato estarem abaixo dos valores de detecção ($< 0,01$). A resolução CONAMA 357/05 estabelece as concentrações máximas de 0,40 mg/L de N e 0,70 mg/L de NH_3 , para as classes 1 e 2, respectivamente.

A Figura 22 apresenta as concentrações de Nitrogênio Amoniacal e os respectivos limites estabelecidos pela referida resolução.

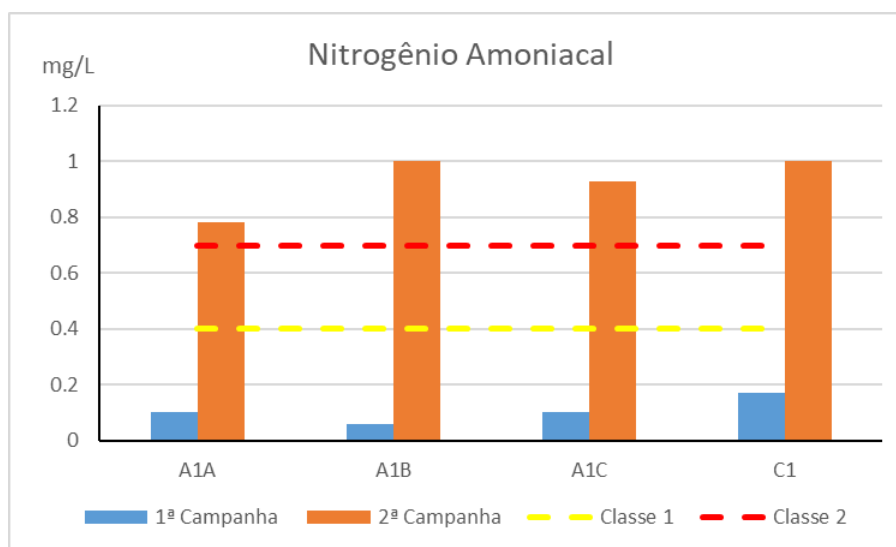


Figura 22: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal observadas para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

As concentrações de nitrogênio amoniacal na campanha pré-experimento foram mínimas, com valores variando de 0,06 a 0,17 mg/L, o que resultou em uma média de 0,11 mg/L. Na primeira campanha pós-início, as concentrações estiveram mais elevadas, estando acima dos limites estabelecidos para a classe 2 em todos os pontos, com valores variando de 0,78 a 1,0 mg/L e média de 0,93 mg/L. As concentrações elevadas do nitrogênio amoniacal podem indicar um aporte de matéria orgânica

recente na região, principalmente de despejos domésticos (LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2018).

As principais fontes de sulfetos em águas naturais estão associadas 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, as concentrações observadas na campanha pré-experimento estiveram na faixa de 1,6 a 4,6 mg/L, com valor médio 3,33 mg/L. Na primeira campanha pós-início as concentrações foram menores, com exceção do ponto A1B, o qual apresentou concentração de 7,6 mg/L, e os outros pontos variaram entre 0,5 e 0,7 mg/L.

A Figura 23 é a representação gráfica das concentrações de sulfeto por ponto de monitoramento, para as campanhas pré e pós-início dos experimentos. Em ambas as campanhas as concentrações são elevadas e acima dos limites estipulados.

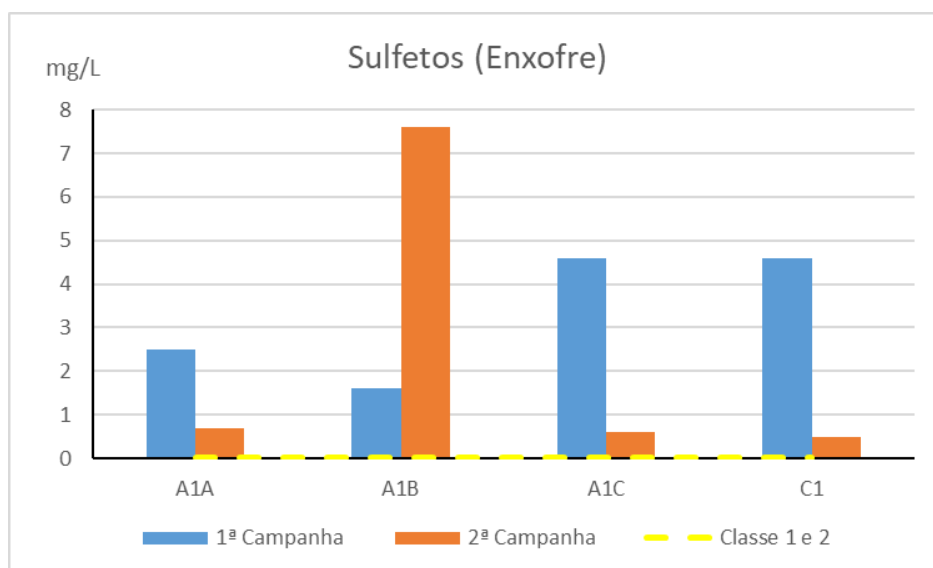


Figura 23: Resultado das concentrações de Sulfetos observadas para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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 Figura 24 apresenta os valores obtidos nos monitoramentos pré e pós-início dos experimentos

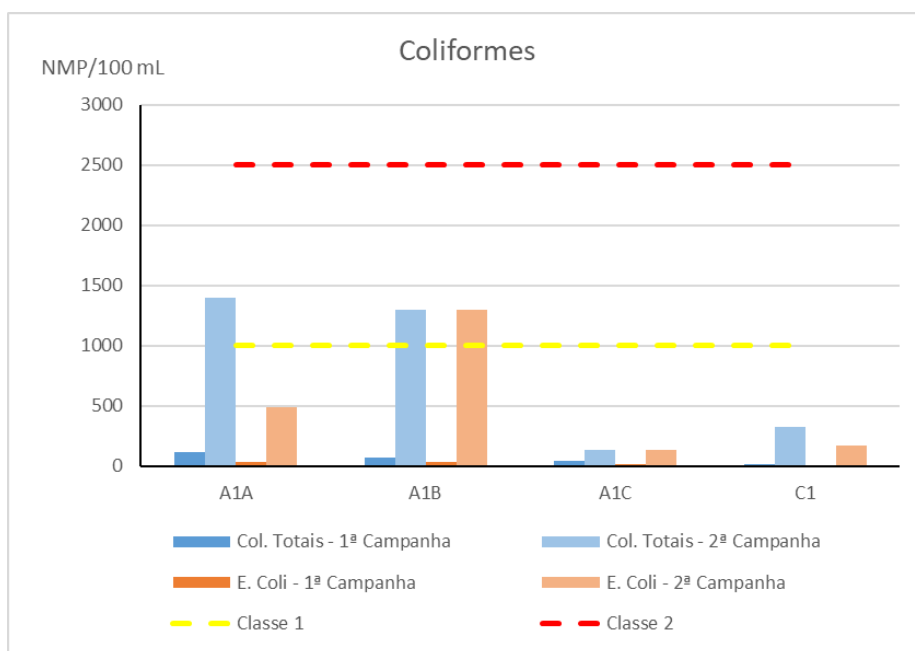


Figura 24: Representação das concentrações do grupo de bactérias Coliformes para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Os valores observados no monitoramento encontram-se abaixo dos limites máximos estabelecidos pela resolução para todos os pontos avaliados na campanha pré-experimento, variando entre 1,8 a 40 NMP/100 mL de *E. Coli*. Na primeira campanha pós-início dos experimentos, 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.

7.1.2. TECNOLOGIA: MUDBALL + PULMÃO

A campanha de monitoramento pré-experimento foi realizada pela Hydrosience no dia 09/03/2022 entre as 13:15h e 14:30h. Os experimentos tiveram início em

31/03/2022. A primeira campanha de monitoramento pós-início dos experimentos foi realizada pela Hydrosience no dia 05/07/2022 entre as 10:05h e 11:05h. Todas as campanhas de monitoramento foram realizadas na presença de fiscais de contrato e da instituição que coordena a área experimental.

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

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos através de medições *in situ* e de análises laboratoriais das amostras encaminhadas ao laboratório da Qualylab (<https://qualylab.com.br/>), o laboratório é credenciado e apresenta as principais certificações para prestação deste tipo de serviço.

Os valores destacados em vermelho na Tabela 8 representam os parâmetros que estiveram fora dos limites estipulados para Classe 2, e os valores destacados em laranja são referentes aos parâmetros que estiveram fora dos limites propostos para a Classe 1, ambas as classes são de águas salobras.

Os resultados do parâmetro DQO não serão apresentados, segundo informações constantes no laudo das análises laboratoriais, houve alta interferência do íon Cloreto nas amostras, resultando em dados inconclusivos para o parâmetro DQO, por este motivo, o laboratório optou por não apresentar os dados relativos a esse parâmetro.

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). Os demais parâmetros foram avaliados em laboratório.

Na primeira campanha pós-início dos experimentos, os parâmetros que seguem: Cádmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco não foram monitorados, conforme previsto no plano de trabalho.

Tabela 8: Resultados do monitoramento dos parâmetros de qualidade da água para as campanhas pré e pós-início dos experimentos na área de aplicação da tecnologia Mudball + Pulmão.

Tecnologia - Mudball + Pulmão UFF/Biotecam										Controle		VALOR REFERÊNCIA	
Parâmetro	Data	9/03/2022	5/07/2022	9/03/2022	5/07/2022	9/03/2022	5/07/2022	9/03/2022	5/07/2022	CONAMA 357/05 -			
	Hora	14:05	10:27	13:24	10:12	13:46	10:43	14:21	11:01	ÁGUA SALOBRA			
	Ponto Unidade	A2A	A2A	A2B	A2B	A2C	A2C	C2	C2	Classe 1	Classe 2		
Transparência	m	0.2	0.35	0.2	0.34	0.2	0.3	0.2	0.35	-	-		
Temperatura	°C	37.84	23.68	37.38	23.19	37.53	23.96	36.95	23.94	-	-		
pH	-	9.06	8.52	9.01	8.48	9.03	8.51	9	8.56	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5		
Oxigênio Dissolvido	mg/L	9.24	4.78	8.21	7.89	8.04	7.7	8.78	5.15	5	4		
Turbidez	NTU	26	53.6	32.2	55.3	37.4	53.4	42.3	56.1	-	-		
Condutividade	mS/cm	34.4	33.9	34.2	33.8	34.1	34	33.6	33.8	-	-		
Salinidade	ppt	21.48	21.25	21.36	21.18	21.29	21.28	20.91	21.18	-	-		
DBO	mg/L	23.5	4.8	22.4	4.2	28.2	4.9	24.6	5.9	-	-		
Fósforo Total Dissolvido	mg/L	<0.01	0.17	<0.01	0.16	<0.01	0.26	<0.01	0.18	-	-		
Fósforo Total - Fosfatos	mg/L	0.04	0.2	0.07	0.2	0.02	0.29	0.05	0.2	0.124	0.186		
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0.1	0.75	0.11	0.9	0.15	0.84	0.06	1.1	0.4	0.7		
Nitrato	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	0.4	0.7		
Nitrito	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	0.07	0.2		
Sulfeto Enxofre	mg/L	3.1	0.6	3.8	0.6	2.8	0.2	2	0.6	0.002	0.002		
Coliformes Totais	NMP/100mL	45	130	20	45	20	<1.8	40	20	-	-		
E. Coli	NMP/100mL	20	45	20	20	<1.8	<1.8	20	20	1000	2500		
Carbono Orgânico Total	mg/L	15.4	10.2	15	10.6	13.7	11.1	15.3	11.9	3	5		
Chumbo	mg/L	<0.01		<0.01		<0.01		<0.01		0.01	0.21		
Cobre Dissolvido	mg/L	0.045		0.045		0.05		0.048		0.005	7.8		
Cádmio	mg/L	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		0.005	0.04		
Níquel	mg/L	<0.02		<0.02		<0.02		<0.02		0.025	74		
Zinco	mg/L	<0.05		<0.05		<0.05		<0.05		0.09	0.12		

A Tabela 8 apresentou os resultados tabulados das duas campanhas de monitoramento realizadas até o presente momento, na fase pré-experimento e na primeira pós-início, os resultados observados serão comentados e discutidos a seguir.

As características físicas das águas foram observadas através dos seguintes parâmetros: Transparência, Turbidez, Temperatura, Condutividade.

Na campanha pré-experimento a temperatura variou de 36,95 a 37,84 °C, com valor médio de 37,42 °C. Na primeira campanha pós-início os valores medidos foram inferiores, variando de 23,19 a 23,96 °C, com valor médio de 23,7 °C. Essa variabilidade pode ser explicada devido a mudança de estação e do horário da coleta, na fase pré-experimento, a estação predominante era o verão, e as coletas foram realizadas no período entre 13:15h-14:30h, considerado um horário com alta insolação. Na campanha realizada pós-início a estação predominante foi o inverno, e o horário da coleta foi entre 10:05h e 11:05h. A Figura 25 apresenta a representação gráfica dos resultados da temperatura observadas nas campanhas pré-experimento e primeira pós-início dos experimentos.

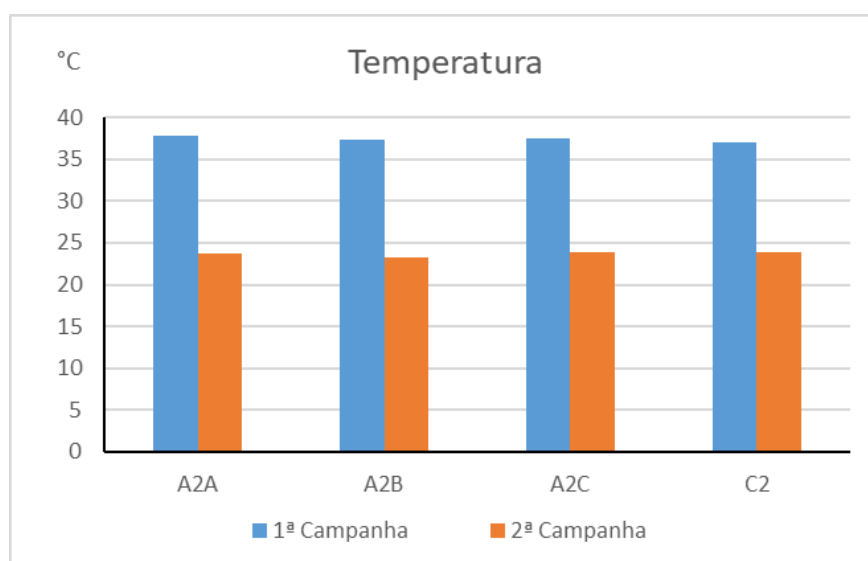


Figura 25: Resultado dos valores observados de Temperatura para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

A transparência da coluna d'água foi aferida com a utilização do disco de Secchi, na campanha pré-experimento não foi possível aferir o valor devido ao baixo nível de água da lagoa, a lâmina d'água estava em torno de 0,15m – 0,20m, sendo possível

observar o fundo da lagoa sem dificuldades. Na campanha pós-início o nível de água na lagoa estava maior e foi possível realizar as aferições com o disco, os valores variaram de 0,30m a 0,35m, com valor médio de 0,33m. A Figura 26 apresenta o gráfico elaborado a partir dos dados coletados para a transparência da coluna d'água.

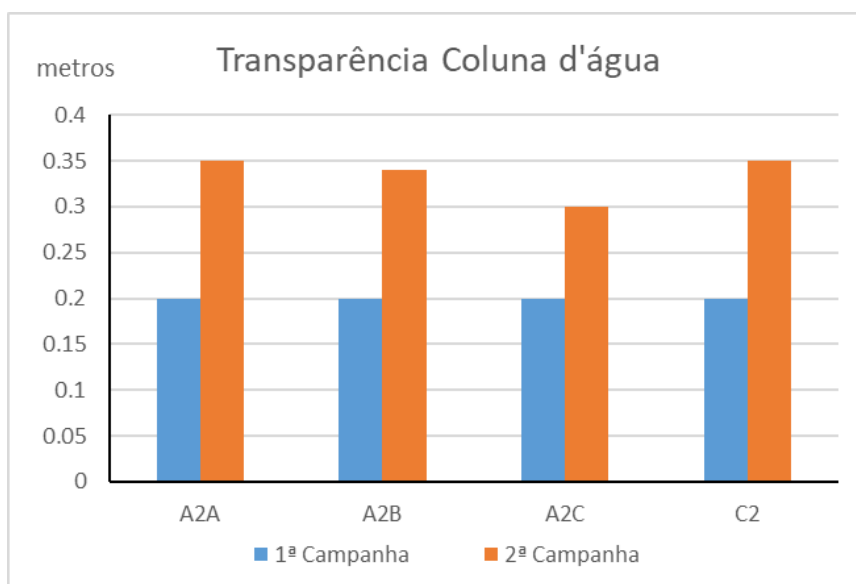


Figura 26: Valores da transparência da coluna d'água para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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 (CETESB, 2018; VON SPERLING, 2018). Durante a campanha pré-início os valores de turbidez observados na área experimental ficaram na faixa de 26 a 42,3 NTU, já na campanha pós-início os valores observados foram mais elevados, variando de 53,6 a 56,1 NTU, com valor médio de 54,6 NTU. A Figura 27 apresenta os valores de turbidez observados.

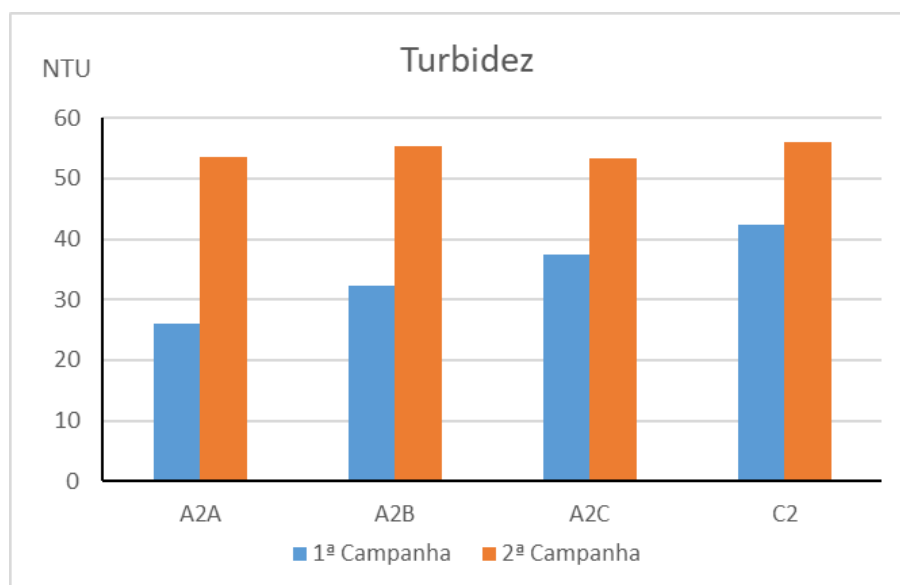


Figura 27: Valores observados de Turbidez para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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). Os valores pré-experimento variaram de 33,6 a 34,4 mS/cm, e para a primeira campanha pós-início dos experimentos, os valores estiveram entre 33,8 e 34,0 mS/cm, não observada nenhuma variação significativa entre as duas campanhas, conforme pode ser observado Figura 28.

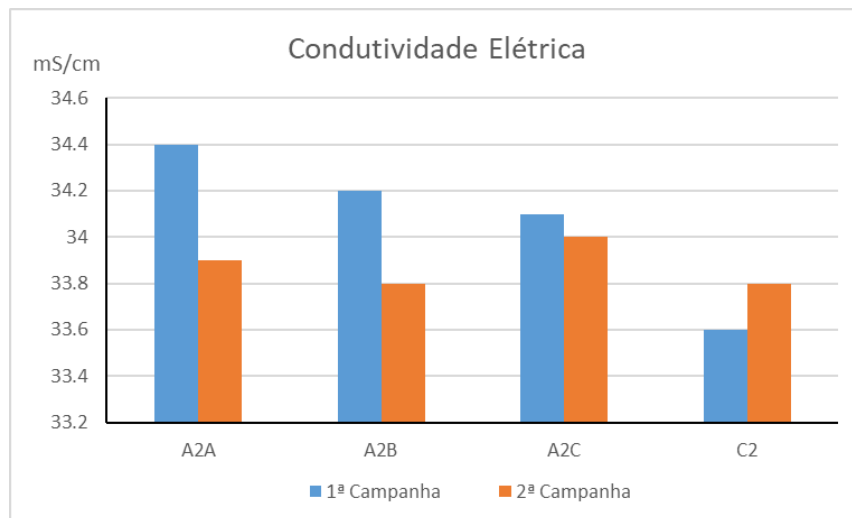


Figura 28: Condutividade elétrica observadas para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Além dos parâmetros físicos, os parâmetros químicos estão sendo monitorados, dentre eles, estão: o pH, Oxigênio Dissolvido, DBO, Fósforo Total Dissolvido, Fósforo Total (Fosfatos), Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Carbono Orgânico Total, Salinidade, Sulfetos.

A salinidade aferida na área experimental apresentou pouca variação entre as campanhas pré-experimento e pós-início, com valores médios de 21,26 e 21,22 ppt, respectivamente. A Figura 29 apresenta a representação gráfica dos resultados do pH, é possível observar que valores de pH apresentaram uma variação significativa entre as duas campanhas, com valores mais elevados na campanha pré-experimento, com valor médio de 9,02, estando acima faixa estabelecida para as classes 1 e 2. Na primeira campanha pós-início, os valores estiveram no limite máximo da faixa estabelecida para as classes 1 e 2, com valor médio de 8,51. Essa redução nos valores de pH pode estar associada a redução da temperatura da água, a temperatura média na campanha pré-experimento estava aproximadamente 13,7 °C mais elevada. Segundo Libânio (2010) o valor de pH varia de acordo com a temperatura, elevando-o para temperaturas mais altas e reduzindo-o para temperaturas mais baixas.

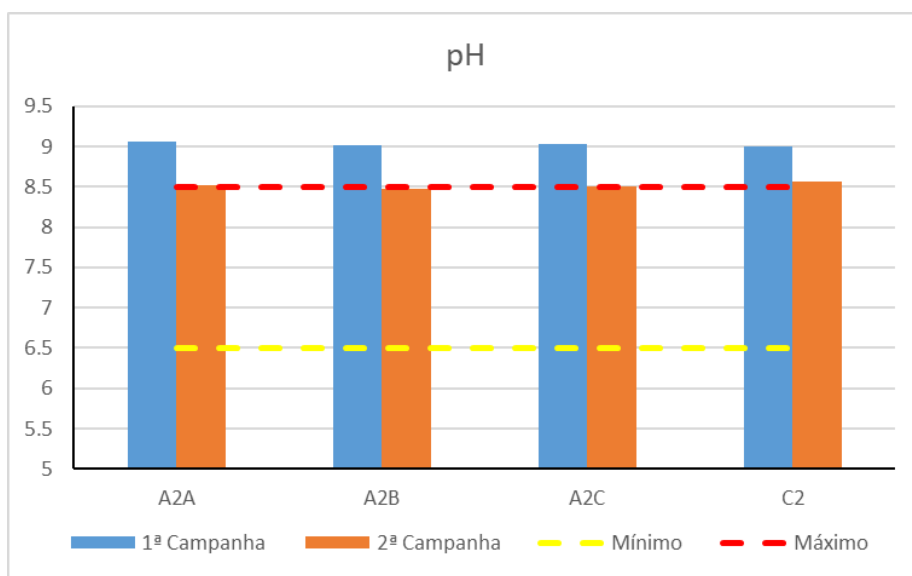


Figura 29: Valores de pH observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

O Oxigênio Dissolvido (OD) 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 limite mínimo de 5 mg/L para a classe 1 e 4 mg/L para classe 2. A Figura 30 demonstra a representação gráfica dos resultados de OD para as campanhas pré-experimento e primeira pós-início, juntamente com os valores mínimos estipulados pela legislação. Houve uma variação considerável entre as campanhas, os valores pré-experimento estiveram na faixa de 8,04 a 9,24 mg/L, com

pouca variabilidade de valores entre os pontos monitorados, com valor médio de 8,56 mg/L. Já na primeira campanha pós-início, os valores apresentaram uma variabilidade menor entre os pontos, com valores variando de 4,78 a 7,89 mg/L, com valor médio de 6,38 mg/L, lembrando que nesta área experimental está presente um aerador que funciona de forma contínua.

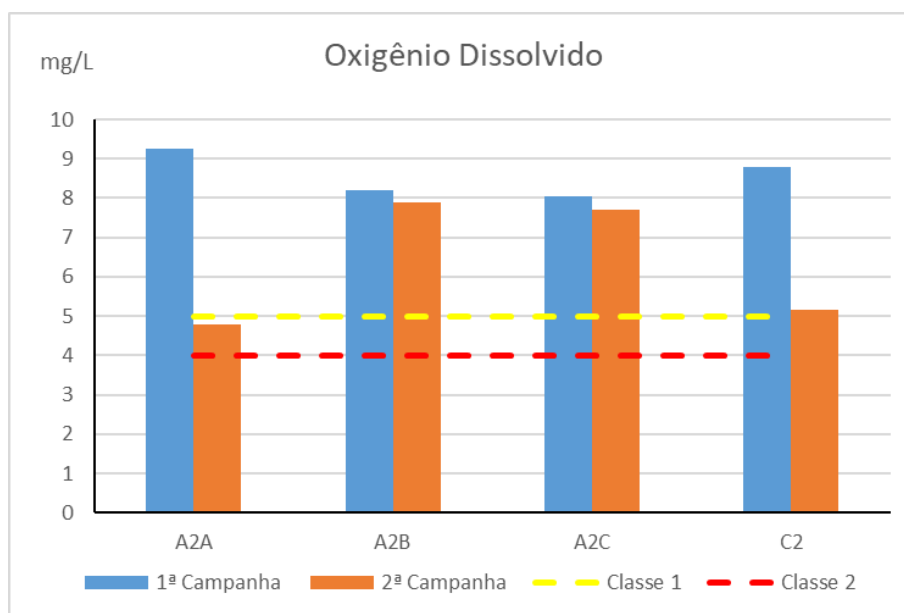


Figura 30: Concentrações de Oxigênio Dissolvido para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Nesta análise, ao interpretar os resultados, vale salientar e atentar-se a questão do horário, da temperatura, do fotoperíodo, da luminosidade, da altura da lâmina d'água, em que as amostras foram coletadas.

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). 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 Figura 31 apresenta os valores medidos de COT para as coletas realizadas nas duas campanhas, comparando os resultados com os limites estabelecidos pela

legislação. A campanha pré-experimento apresentou uma maior variação entre os pontos, com valores variando entre 13,7 e 15,4 mg/L, com valor médio de 14,85 mg/L. Na primeira campanha pós-início as concentrações estiveram na faixa de 10,2 a 11,9 mg/L, com valor médio de 10,95 mg/L. Em ambas as campanhas os valores estiveram bem acima do estipulado pela legislação para águas salobras classe 2, entretanto, é possível observar que houve uma diminuição nas concentrações de COT.

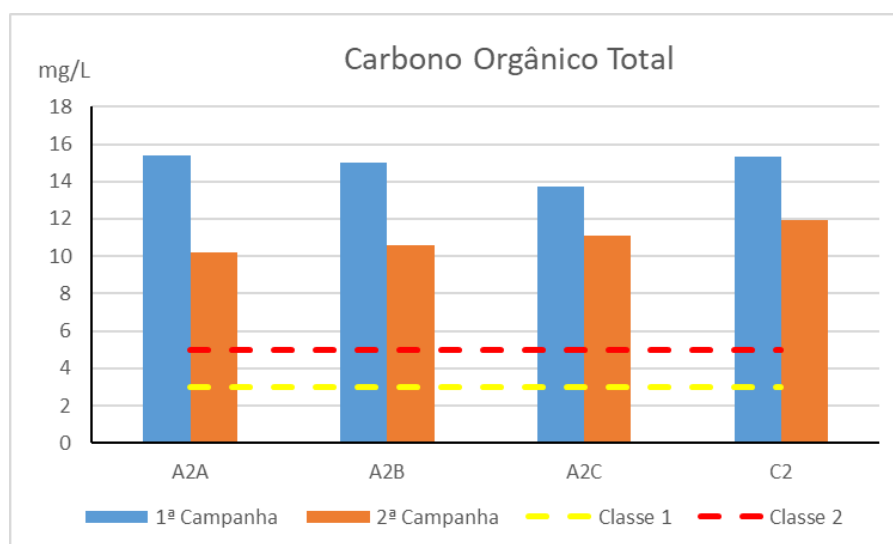


Figura 31: Resultado das concentrações de COT para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Assim como a DQO, as concentrações de DBO sofrem influência de Cloreto, sendo estes parâmetros pouco utilizados para avaliação deste tipo de ambiente, 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 através da Figura 32.

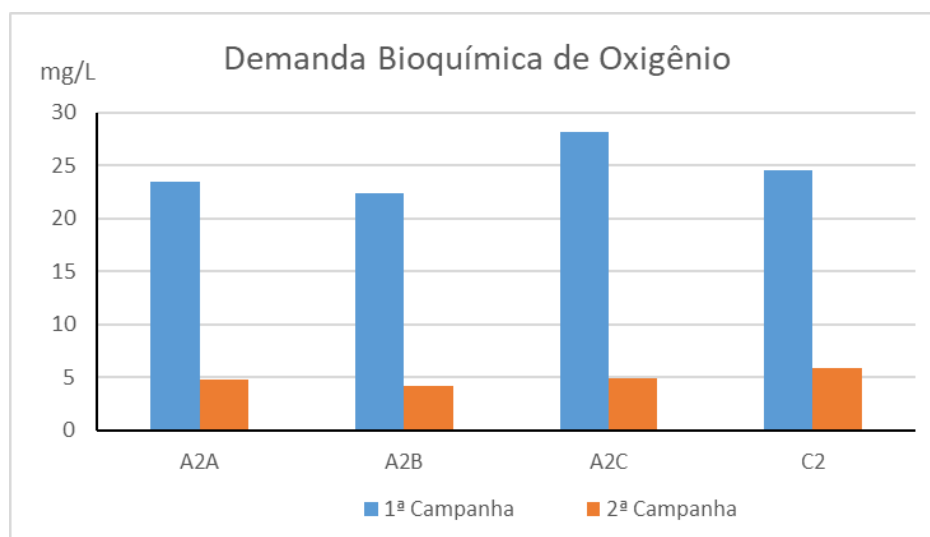


Figura 32: Valores observados de DBO para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Na campanha pré-experimento, os valores de DBO variaram entre 22,4 a 28,2 mg/L, com valor médio de 24,67 mg/L. Já para a primeira campanha pós-início, as concentrações variaram de 4,2 a 5,9 mg/L, com valor médio de 4,95 mg/L.

O monitoramento das concentrações de nutrientes no meio aquático é importante pelos possíveis efeitos poluidores que causam no ambiente, os principais nutrientes 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. Através da Figura 33 é possível observar as concentrações de Fósforo Total na forma de fosfatos, ao avaliar os resultados, na campanha pré-experimento as concentrações estiveram abaixo dos limites estipulados para classe 1, variando na faixa de 0,02 a 0,07 mg/L, com valor médio de 0,05 mg/L. Na primeira campanha pós-início dos experimentos os valores variaram de 0,2 a 0,29 mg/L, com valor médio de 0,22 mg/L, com valores acima dos limites estipulados para classe 2 para todos os pontos monitorados.

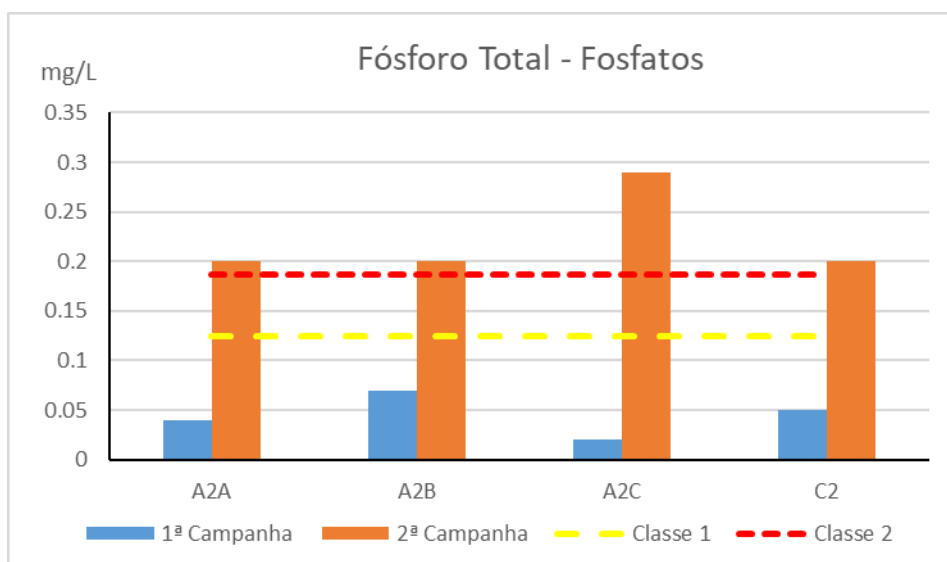


Figura 33: Concentração de Fósforo Total – Fosfatos para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

O Nitrogênio pode estar presente no ambiente em suas diversas formas (nitrito, nitrato, amoniacal, etc), no presente monitoramento foram determinadas as concentrações de Nitrogênio Amoniacal, Nitrato e Nitrito. Porém, será comentado apenas os resultados referentes as concentrações do Nitrogênio Amoniacal, devido aos resultados obtidos de Nitrito e Nitrato, que foram os valores mínimos de detecção (< 0,01). 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 Figura 34 apresenta as concentrações de Nitrogênio Amoniacal e os respectivos limites estabelecidos pela referida resolução.

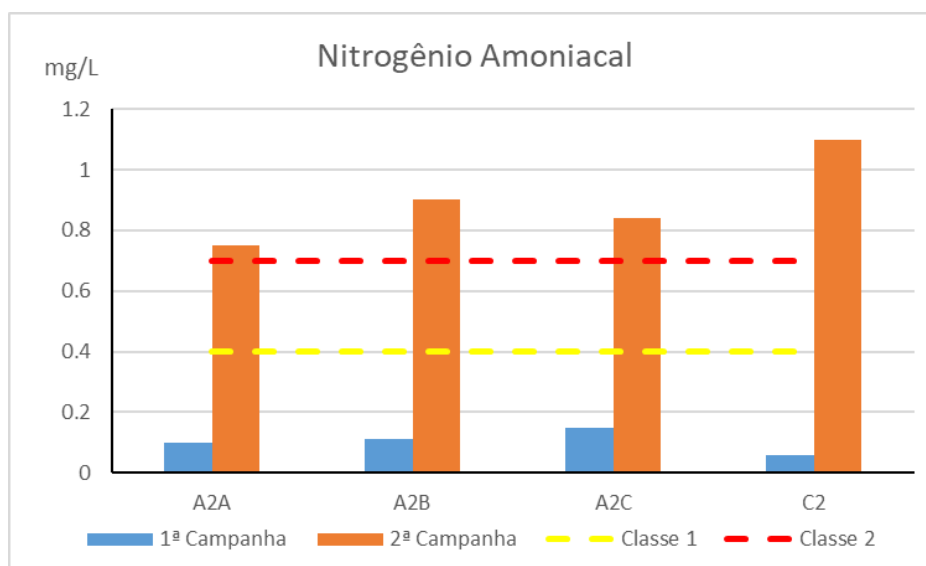


Figura 34: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

As concentrações de nitrogênio amoniacal na campanha pré-experimento foram mínimas, com valores variando de 0,06 a 0,15 mg/L, com valor médio de 0,11 mg/L. Na primeira campanha pós-início as concentrações estiveram mais elevadas, estando acima dos limites estabelecidos para a classe 2 em todos os pontos, com valores variando de 0,75 a 1,1 mg/L, com média de 0,90 mg/L. As concentrações elevadas do nitrogênio amoniacal podem indicar um aporte de matéria orgânica recente na região, principalmente de despejos domésticos (LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2018).

As principais fontes de sulfetos em águas naturais estão associadas 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, as concentrações observadas na campanha pré-experimento estiveram na faixa de 2,0 a 3,8 mg/L, com valor médio 2,92 mg/L. Na primeira campanha pós-início as concentrações foram menores, as concentrações variaram entre 0,2 e 0,6 mg/L, com valor médio de 0,5 mg/L. As concentrações de sulfetos apresentaram uma redução média de aproximadamente 5x em relação a primeira campanha.

A Figura 35 é a representação gráfica das concentrações de sulfeto por ponto de monitoramento, para as campanhas pré e pós-início dos experimentos. Em ambas as campanhas as concentrações são elevadas e acima dos limites estipulados.

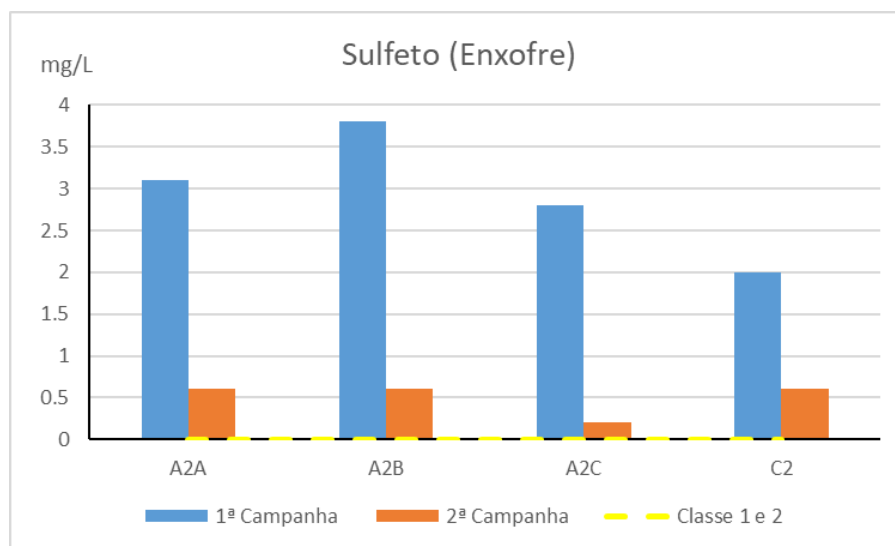


Figura 35: Resultado das concentrações de Sulfetos para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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 Figura 36 apresenta os valores de Coliformes obtidos nos monitoramentos pré e pós-início dos experimentos.

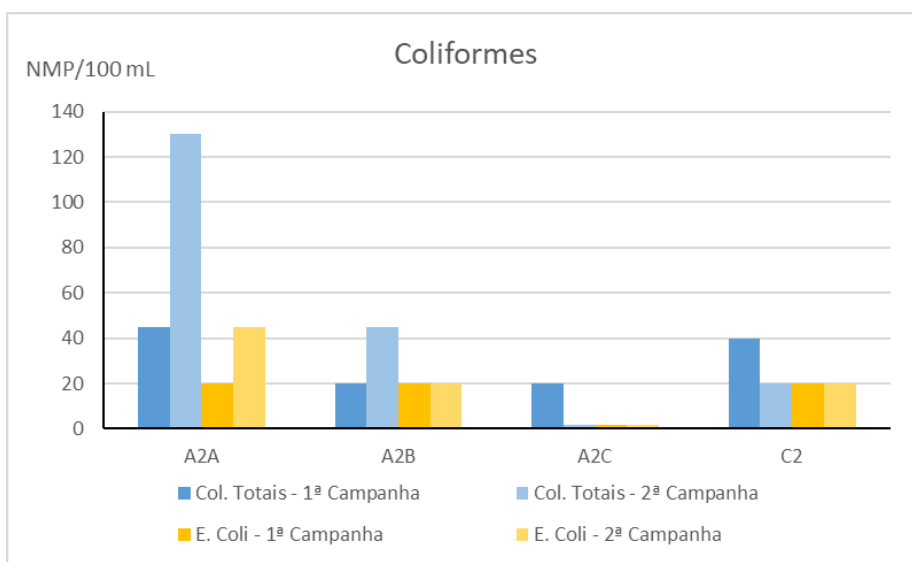


Figura 36: Concentrações de bactérias do grupo Coliformes para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Os valores observados no monitoramento encontram-se abaixo dos limites máximos estabelecidos pela resolução para todos os pontos avaliados na campanha pré-experimento, variando entre 1,8 a 20 NMP/100 mL de E. Coli. Na primeira campanha pós-início dos experimentos, as concentrações de E. Coli se mantiveram baixas, com valores na faixa de 1,8 a 45,0 NMP/100 mL.

7.1.3. TECNOLOGIA: BIOCAIXA

A campanha de monitoramento pré-experimento foi realizada pela Hydrosience no dia 09/03/2022 entre as 13:15h e 14:30h. Os experimentos tiveram início em 31/03/2022. A primeira campanha de monitoramento pós-início dos experimentos foi realizada pela Hydrosience no dia 05/07/2022 entre as 10:05h e 11:05h. Todas as campanhas de monitoramento foram realizadas na presença de fiscais de contrato e da instituição que coordena a área experimental.

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

A Figura 37 apresenta a passagem do material coletado na lagoa com auxílio do coletor (balde inox) para os frascos que foram encaminhados para o laboratório de

análises. A Figura 38 demonstra os frascos etiquetados para acomodação na caixa térmica.



Figura 37: Transferência do material coletado com auxílio do coletor para os frascos na área das Biocaixas.



Figura 38: Frascos identificados para envio ao laboratório.

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos através de medições *in situ* e de análises laboratoriais das amostras encaminhadas ao laboratório da Qualylab (<https://qualylab.com.br/>), o laboratório é credenciado e apresenta as principais certificações para prestação deste tipo de serviço.

Os valores destacados em vermelho na Tabela 9 representam os parâmetros que estiveram fora dos limites estipulados para Classe 2, e os valores destacados em laranja são referentes aos parâmetros que estiveram fora dos limites propostos para a Classe 1, ambas as classes são de águas salobras.

Os resultados do parâmetro DQO não serão apresentados, segundo informações constantes no laudo das análises laboratoriais, houve alta interferência do íon Cloreto nas amostras, resultando em dados inconclusivos para o parâmetro DQO, por este motivo, o laboratório optou por não apresentar os dados relativos a esse parâmetro.

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). Os demais parâmetros foram avaliados em laboratório.

Na primeira campanha pós-início dos experimentos, os parâmetros que seguem: Cádmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco não foram monitorados, conforme previsto no plano de trabalho.

Tabela 9: Resultados dos parâmetros de qualidade de água monitorados nas campanhas pré e pós-início dos experimentos com a tecnologia de Biocaixas.

Tecnologia - Biocaixa Sisnate								Controle		VALOR REFERÊNCIA CONAMA 357/05 - ÁGUA SALOBRA	
Parâmetro	Data	9/3/2022	5/7/2022	9/3/2022	5/7/2022	9/3/2022	5/7/2022	9/3/2022	5/7/2022		
	Hora	9:07	14:36	8:55	14:46	8:44	14:57	9:27	15:06		
	Ponto	P2	P2	PC	PC	P7	P7	C02	C02		
	Unidade										
Transparência	m	0.35	0.32	0.44	0.3	0.4	0.28	0.35	0.32	-	-
Temperatura	°C	29.42	25.32	29.42	25.23	29.09	25.02	29.55	25.95	-	-
pH	-	8.92	8.67	8.92	8.65	8.74	8.64	8.94	8.63	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Oxigênio Dissolvido	mg/L	2.38	7.98	2.38	7.21	1.48	8.36	1.44	7.51	5	4
Turbidez	NTU	49.6	60.5	49.6	62	47.5	62.8	54.4	59.7	-	-
Condutividade	mS/cm	31.7	33.2	31.7	33.4	31.8	33.6	31.9	33.5	-	-
Salinidade	ppt	19.4	20.74	19.4	20.33	19.79	21.05	19.85	20.98	-	-
DBO	mg/L	27.8	7.1	24.6	5.3	27.6	6.3	22.2	5.1	-	-
Fósforo Total Dissolvido	mg/L	< 0.01	0.4	< 0.01	0.14	< 0.01	0.12	< 0.01	0.15	-	-
Fósforo Total - Fosfatos	mg/L	0.08	0.45	0.06	0.2	0.06	0.15	0.1	0.18	0.124	0.186
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0.12	1.1	0.05	0.8	0.06	0.79	0.05	0.8	0.4	0.7
Nitrato	mg/L	< 0.01	0.06	< 0.01	0.14	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.4	0.7
Nitrito	mg/L	< 0.01	0.04	< 0.01	0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.07	0.2
Sulfeto Enxofre	mg/L	1.8	0.4	1.5	0.3	1.5	7.6	2	7.6	0.002	0.002
Coliformes Totais	NMP/100mL	110	130	61	61	140	230	60	20	-	-
E. Coli	NMP/100mL	20	78	36	18	45	78	1.8	1.8	1000	2500
Carbono Orgânico Total	mg/L	16.3	13.2	14.9	11.7	15.7	13.3	17.9	12.9	3	5
Chumbo	mg/L	< 0.01	-	< 0.01	-	< 0.01	-	< 0.01	-	0.01	0.21
Cobre Dissolvido	mg/L	0.045	-	0.045	-	0.05	-	0.046	-	0.005	7.8
Cádmio	mg/L	< 0.001	-	< 0.001	-	< 0.001	-	< 0.001	-	0.005	0.04
Níquel	mg/L	<0.02	-	<0.02	-	<0.02	-	<0.02	-	0.025	74
Zinco	mg/L	<0.05	-	<0.05	-	<0.05	-	<0.05	-	0.09	0.12

A Tabela 9 apresentou os resultados tabulados das duas campanhas de monitoramento realizadas até o presente momento, na fase pré-experimento e na primeira pós-início, os resultados observados serão comentados e discutidos a seguir.

As características físicas das águas foram observadas através dos seguintes parâmetros: Transparência, Turbidez, Temperatura, Condutividade.

Na campanha pré-experimento a temperatura variou de 29,0 a 29,55 °C, com valor médio de 29,3 °C. Na primeira campanha pós-início os valores medidos foram inferiores, variando de 25 a 25,96 °C, com valor médio de 25,4 °C. Essa variabilidade pode ser explicada devido a mudança de estação e do horário da coleta, na fase pré-experimento, a estação predominante era o verão, e as coletas foram realizadas no período entre 8:30 - 9:30h, considerado um horário com alta insolação. Na campanha realizada pós-início a estação predominante foi o inverno, e o horário da coleta foi entre 14:30h e 15:10h. A Figura 39 apresenta a representação gráfica dos resultados da temperatura observadas nas campanhas pré-experimento e primeira pós-início dos experimentos.

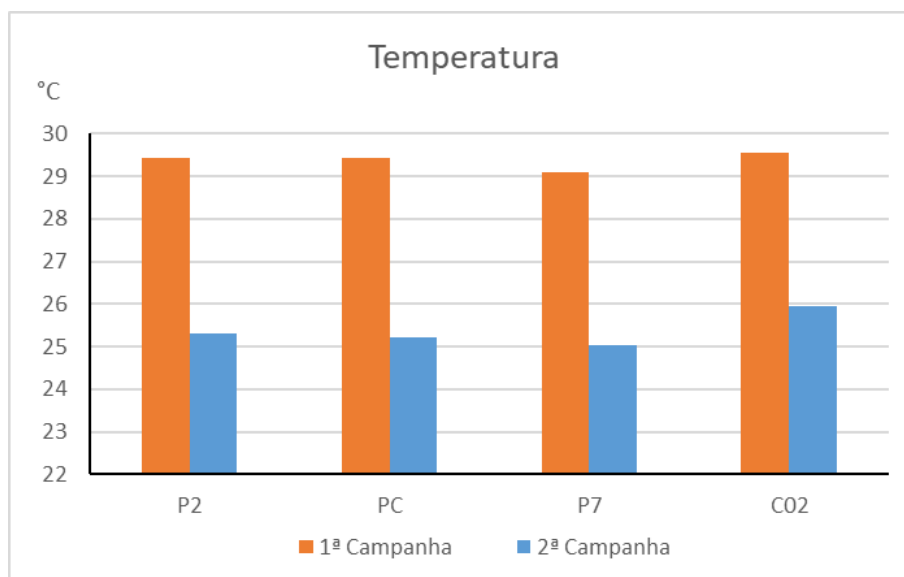


Figura 39: Valores de temperatura para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

A transparência da coluna d'água foi aferida com a utilização do disco de Secchi, na campanha pré-experimento os valores de transparência estiveram na faixa de 0,35

a 0,44m, com valor médio de 0,39m. Na campanha pós-início os valores de transparência variaram de 0,28m a 0,32m, com valor médio de 0,31m. A Figura 40 apresenta o gráfico elaborado a partir dos dados coletados para a transparência da coluna d'água.

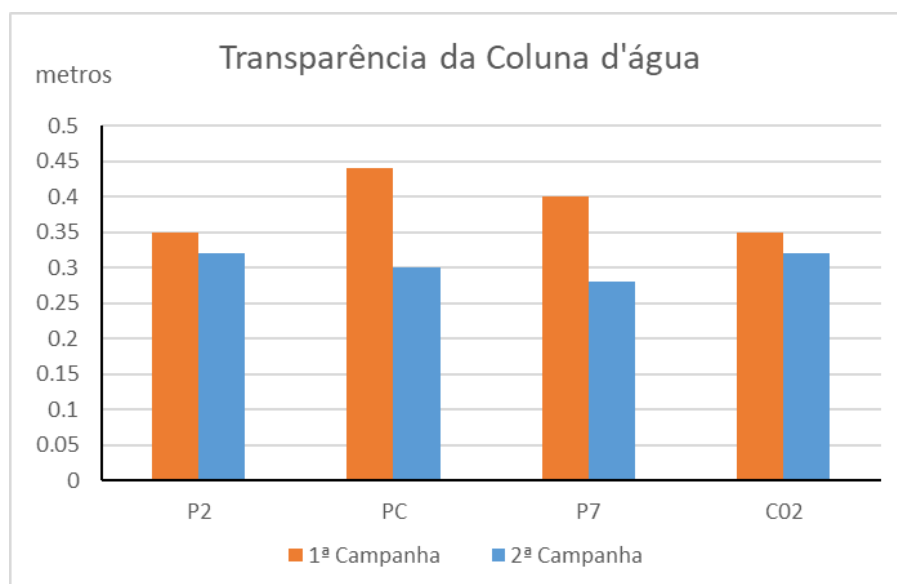


Figura 40: Transparência da coluna d'água para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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 (CETESB, 2018; VON SPERLING, 2018). Durante a campanha pré-início os valores de turbidez observados na área experimental ficaram na faixa de 47,5 a 54,4 NTU, já na campanha pós-início os valores observados foram mais elevados, variando de 59,7 a 62,8 NTU, com valor médio de 61,2 NTU. A Figura 41 apresenta os valores de turbidez observados.

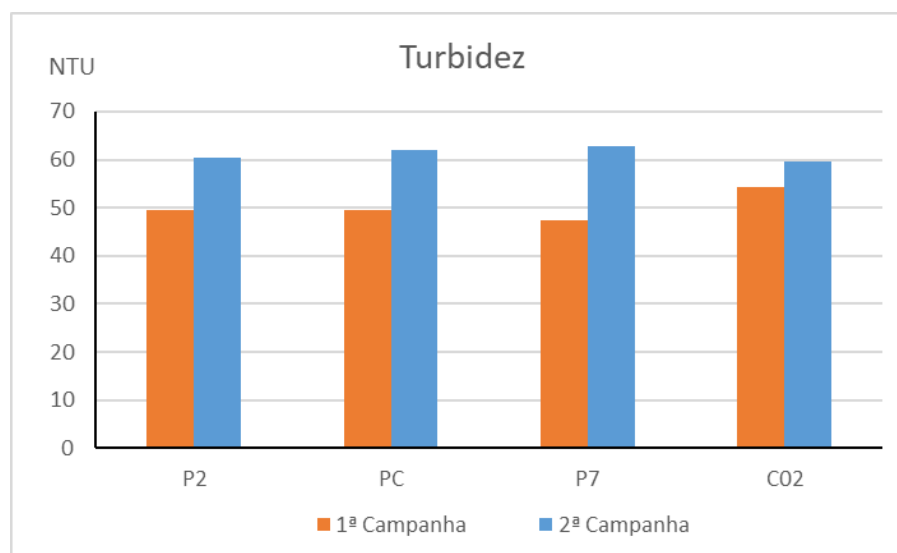


Figura 41: Turbidez observada nos pontos monitorados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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). Os valores pré-experimento variaram de 31,7 a 31,9 mS/cm, e para a primeira campanha pós-início dos experimentos, os valores estiveram entre 33,2 e 33,6 mS/cm. A diferença entre as campanhas pode ser observada na Figura 42.

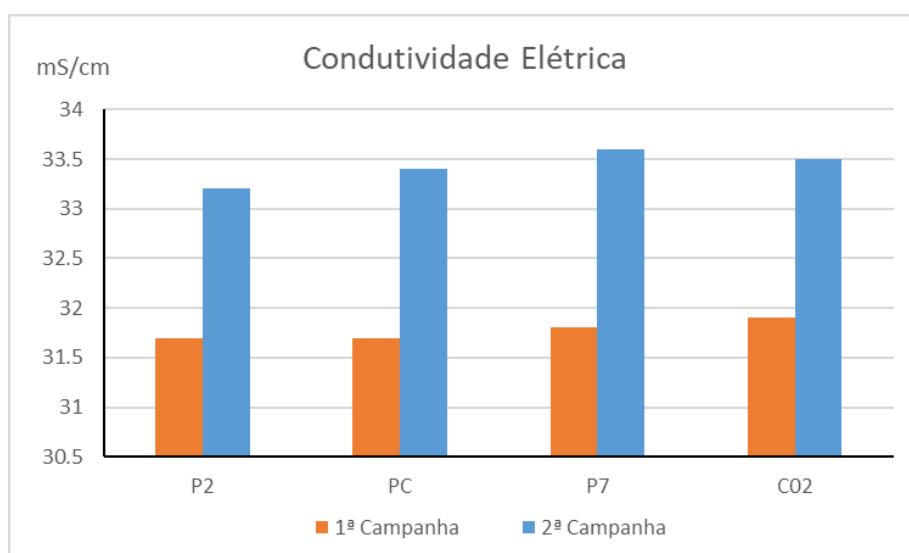


Figura 42: Condutividade elétrica observada para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Além dos parâmetros físicos, os parâmetros químicos estão sendo monitorados, dentre eles, estão: o pH, Oxigênio Dissolvido, DBO, Fósforo Total Dissolvido, Fósforo Total (Fosfatos), Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Carbono Orgânico Total, Salinidade, Sulfetos.

A salinidade aferida na área experimental apresentou pouca variação entre as campanhas pré-experimento e pós-início, com valores médios de 19,6 e 20,8 ppt, respectivamente. A Figura 43 apresenta a representação gráfica dos resultados do pH, é possível observar que valores de pH não apresentaram uma variação significativa entre as duas campanhas, com valores acima faixa estabelecida para as classes 1 e 2, em ambas as campanhas. Os valores médios de pH a campanha pré e pós-início dos experimentos foram de 8,88 e 8,65, respectivamente.

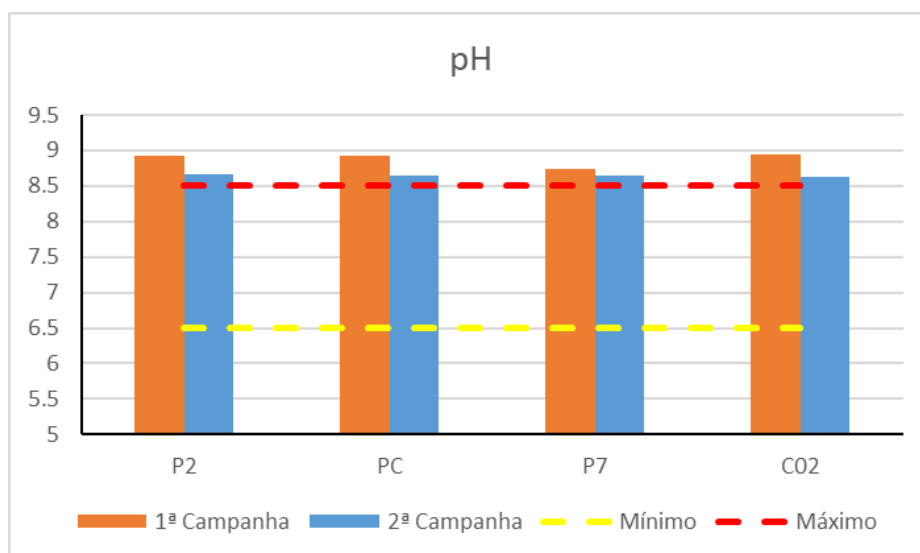


Figura 43: Valores de pH observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

O Oxigênio Dissolvido (OD) 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 limite mínimo de 5 mg/L para a classe 1 e 4 mg/L para classe 2. A Figura 44 demonstra a representação gráfica dos resultados de OD para as campanhas pré-experimento e primeira pós-início, juntamente com os valores mínimos estipulados pela legislação, para as classes 1 e 2. Houve uma variação considerável entre as campanhas, os valores pré-experimento estiveram na faixa de 1,44 a 2,38 mg/L, com pouca variabilidade de valores entre os pontos monitorados, com valor médio de 1,92 mg/L. Já na primeira campanha pós-início, os valores estavam mais elevados quando comparados a campanha pré-experimento, com valores variando de 7,21 a 8,36 mg/L, com valor médio de 7,76 mg/L.

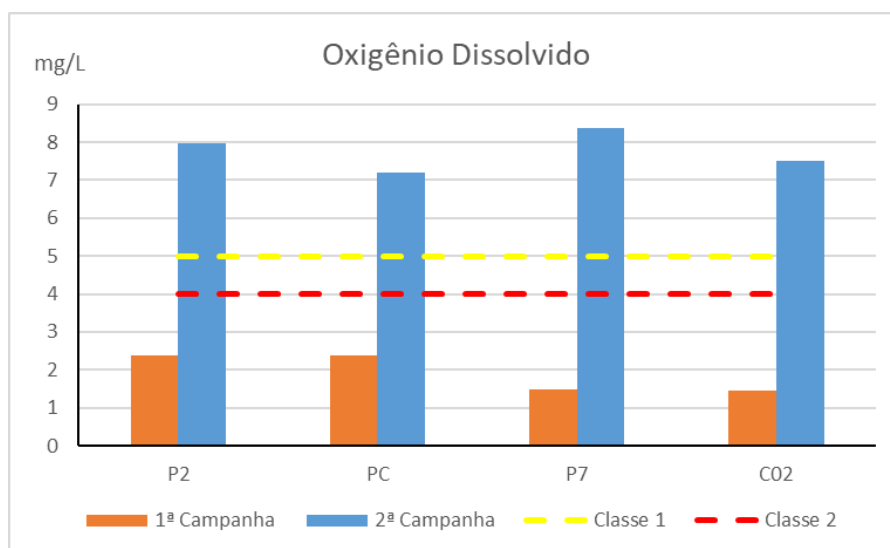


Figura 44: Concentrações de Oxigênio Dissolvido para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Nesta análise, ao interpretar os resultados, vale salientar e atentar-se a questão do horário, da temperatura, do fotoperíodo, da luminosidade, da altura da lâmina d'água, em que as amostras foram coletadas.

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). 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 Figura 45 apresenta os valores medidos de COT para as coletas realizadas nas duas campanhas, comparando os resultados com os limites estabelecidos pela legislação. A campanha pré-experimento apresentou uma maior variação entre os pontos, com valores variando entre 14,9 e 17,9 mg/L, com valor médio de 16,2 mg/L. Na primeira campanha pós-início as concentrações estiveram na faixa de 11,7 a 13,3 mg/L, com valor médio de 12,8 mg/L. Em ambas as campanhas os valores estiveram bem acima do estipulado pela legislação para águas salobras classe 2, entretanto, é possível observar que houve uma diminuição nas concentrações de COT na campanha pós-início.

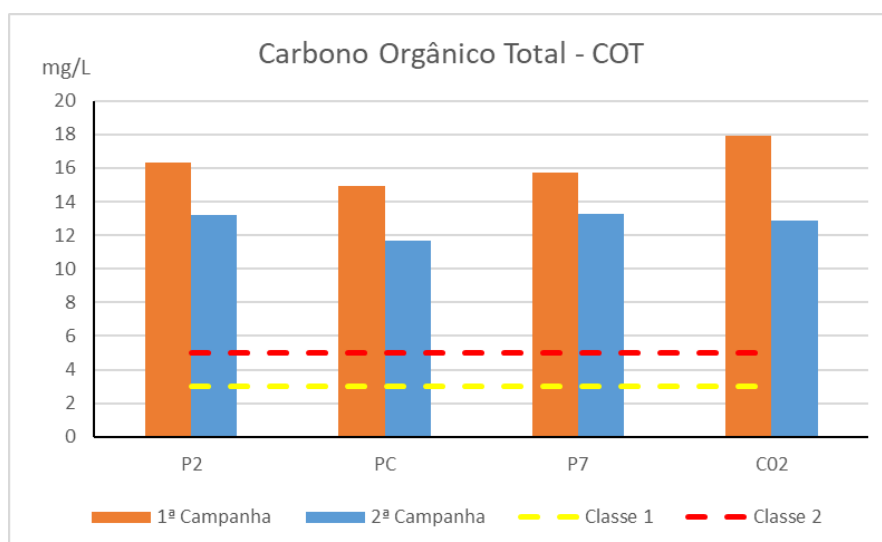


Figura 45: Concentrações de COT para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Assim como a DQO, as concentrações de DBO sofrem influência de Cloreto, sendo estes parâmetros pouco utilizados para avaliação deste tipo de ambiente, 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 através da Figura 46.

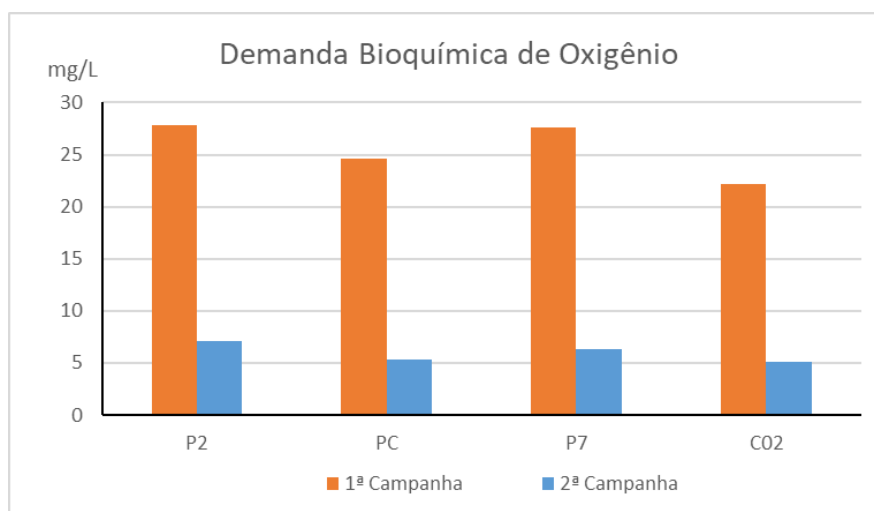


Figura 46: Valores de DBO para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Na campanha pré-experimento, os valores de DBO variaram entre 22,2 a 27,8 mg/L, com valor médio de 25,5 mg/L. Já para a primeira campanha pós-início, as concentrações variaram de 5,1 a 7,3 mg/L, com valor médio de 5,95 mg/L.

O monitoramento das concentrações de nutrientes no meio aquático é importante pelos possíveis efeitos poluidores que causam no ambiente, os principais nutrientes 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. Através da Figura 47 é possível observar as concentrações de Fósforo

Total na forma de fosfatos, ao avaliar os resultados, na campanha pré-experimento as concentrações estiveram abaixo dos limites estipulados para classe 1, variando na faixa de 0,06 a 0,1 mg/L, com valor médio de 0,08 mg/L. Na primeira campanha pós-início dos experimentos os valores variaram de 0,15 a 0,45 mg/L, com valor médio de 0,25 mg/L, com valores acima dos limites estipulados para classe 2 nos pontos P2 e PC.

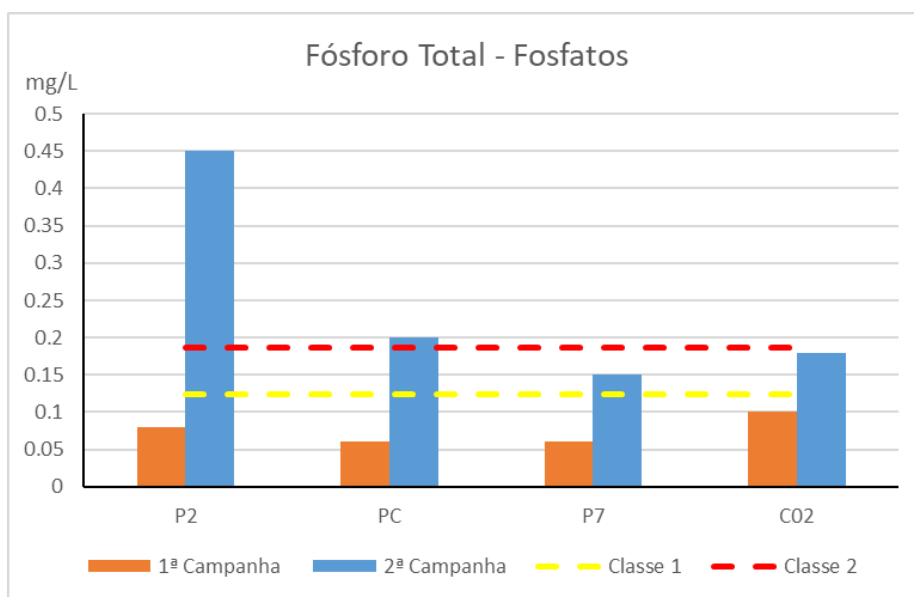


Figura 47: Concentrações de Fósforo Total – Fosfatos para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

O Nitrogênio pode estar presente no ambiente em suas diversas formas (nitrito, nitrato, amoniacal, etc), no presente monitoramento foram determinadas as concentrações de Nitrogênio Amoniacal, Nitrato e Nitrito. Porém, será comentado apenas os resultados referentes as concentrações do Nitrogênio Amoniacal, devido aos resultados obtidos de Nitrito e Nitrato, que foram os valores mínimos de detecção (< 0,01) para a maior parte dos pontos. 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 Figura 48 apresenta as concentrações de Nitrogênio Amoniacal e os respectivos limites estabelecidos pela referida resolução.

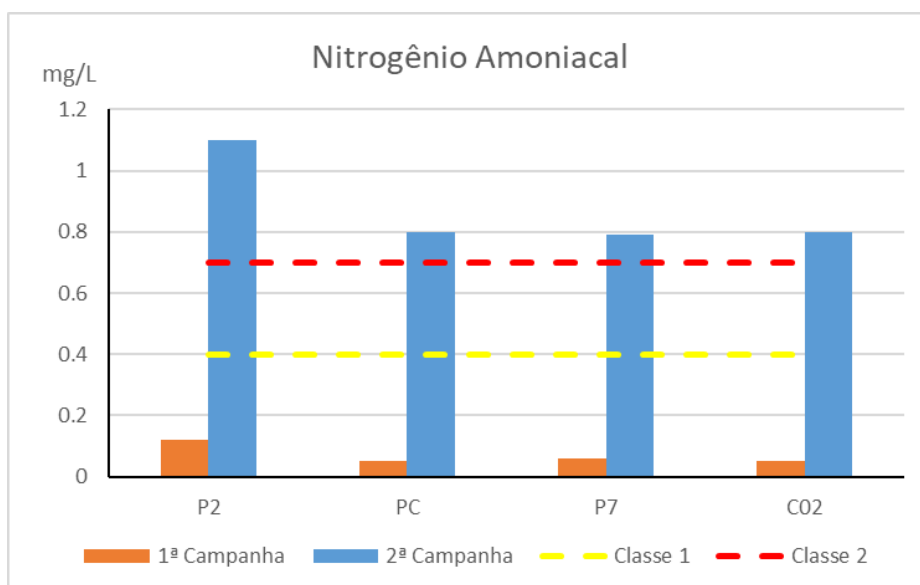


Figura 48: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal observadas para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

As concentrações de nitrogênio amoniacal na campanha pré-experimento foram mínimas, com valores variando de 0,05 a 0,12 mg/L, com valor médio de 0,07 mg/L. Na primeira campanha pós-início as concentrações estiveram mais elevadas, estando acima dos limites estabelecidos para a classe 2 em todos os pontos, com valores variando de 0,79 a 1,1 mg/L, com média de 0,88 mg/L. As concentrações elevadas do nitrogênio amoniacal podem indicar um aporte de matéria orgânica recente na região, principalmente de despejos domésticos (LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2018).

As principais fontes de sulfetos em águas naturais estão associadas 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, as concentrações observadas na campanha pré-experimento estiveram na faixa de 1,5 a 2,0 mg/L, com valor médio 1,7 mg/L. Na primeira campanha pós-início as concentrações foram menores, as concentrações variaram entre 0,3 e 7,6 mg/L, com valor médio de 3,98 mg/L. As concentrações de sulfetos apresentaram uma redução média de aproximadamente 5x nos pontos P2 e PC, e para os pontos P7 e C2 as concentrações aumentaram de forma considerável, em relação a primeira campanha.

A Figura 49 é a representação gráfica das concentrações de sulfeto por ponto de monitoramento, para as campanhas pré e pós-início dos experimentos. Em ambas as campanhas as concentrações são elevadas e acima dos limites estipulados.

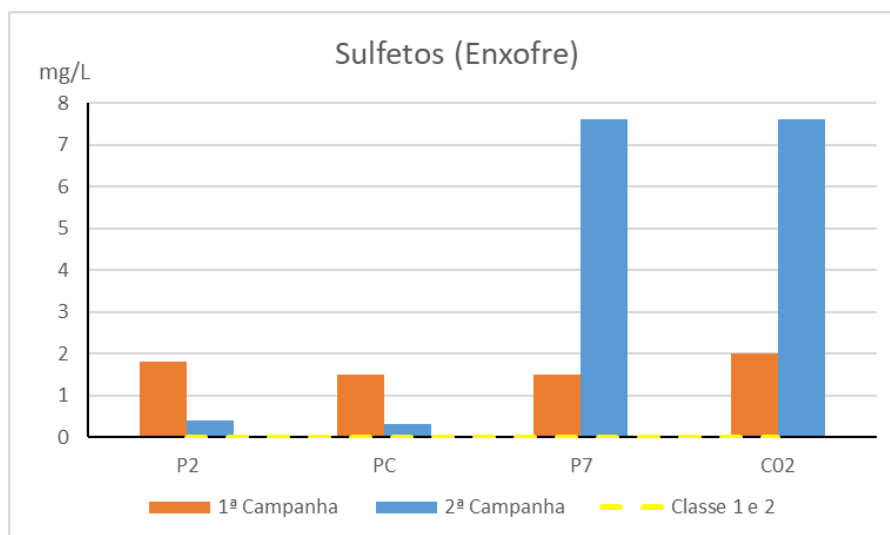


Figura 49: Valores de Sulfetos observados para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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 Figura 50 apresenta os valores obtidos nos monitoramentos pré e pós-início dos experimentos

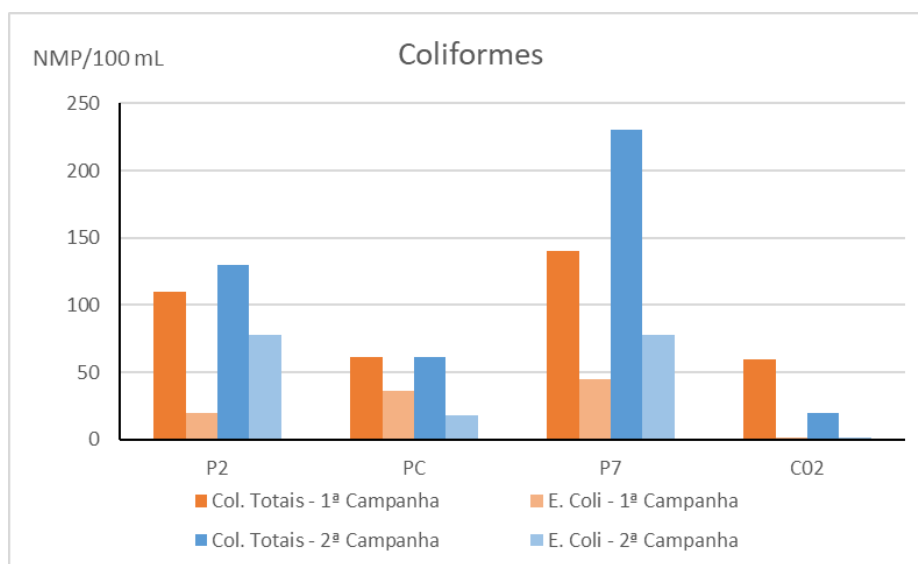


Figura 50: Concentrações do grupo de bactérias Coliformes para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Os valores observados no monitoramento encontram-se abaixo dos limites máximos estabelecidos pela resolução para todos os pontos avaliados na campanha pré-experimento, variando entre 1,8 a 45 NMP/100 mL de E. Coli. Na primeira campanha pós-início dos experimentos, as concentrações de E. Coli se mantiveram baixas, com valores na faixa de 1,8 a 78,0 NMP/100 mL.

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 a metodologia apresentada no tópico 6.2 – Subprograma de Monitoramento de Sedimentos.

O monitoramento da qualidade do sedimento foi realizado na fase pré-experimento e na primeira campanha pós-início dos experimentos.

A campanha de monitoramento do sedimento na fase pré-experimento foi realizada pela Hydrosience no dia 10/03/2022 entre as 8:00h e 15:00h. A primeira campanha pós-início dos experimentos ocorreu no dia 06/07/2022 entre as 8:00h e 15:30h. As duas 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 10 apresenta os limites de quantificação para cada parâmetros avaliados conforme o método utilizado pelo laboratório de análises.

Tabela 10: 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 Figuras 51 e 52 apresentam etapas da coleta de sedimento para envio ao laboratório.



Figura 51: Coleta do material sedimentar com o auxílio do tubo cilíndrico em acrílico.



Figura 52: Transferência do material coletado para os frascos devidamente identificados.

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. TECNOLOGIA: MUDBALL

A campanha de coleta de sedimentos pós-início dos experimentos ocorreu no dia 06/07/2022, foram coletadas amostras em duas profundidades, 10 e 30 cm, por ponto amostral.

As Tabela 11 e 12 apresentam os resultados obtidos através das análises laboratoriais do monitoramento realizado nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Tabela 11: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada superficial (10 cm), na área de aplicação da tecnologia Mudball.

Parâmetro	Tecnologia: Mudball						Controle		
	Data	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022
	Ponto	A1A	A1A	A1B	A1B	A1C	A1C	C1	C1
	Prof. (m)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Unidade								
Carb. Orgânico Total	%	5.3879	35.84	10.181	5.5	4.4427	7.62	4.9923	9.42
Teor M. Orgânica	%	9.67	61.78	3.2	9.48	6.62	13.13	3.72	16.25
Teor de Sólido	%	11.5	46.22	28.51	25.1	29.05	16.6	20.72	14.2
Teor de Umidade	%	88.5	53.78	71.49	74.9	70.95	83.4	79.21	85.8
Col. Totais	NMP/100g	<1.1	54000	<1.1	240000	<1.1	54000	<1.1	160000
E. Coli	NMP/100g	<1.1	13000	<1.1	4900	<1.1	2300	<1.1	54000
PT Fosfato	mg/Kg	< 1.324	556	< 1.324	597	< 1.324	700	< 1.324	482
N Kjeldahl	mg/Kg	85.7	1606.2	114.1	3471.1	83.2	3622.8	76.2	3447.6
N Total	mg/Kg	104.55	1606.2	139.2	3471.1	101.5	3622.8	92.96	3447.6
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	4	38.32	4	5.86	4	34.54	-	46.42
Chumbo	mg/kg	269.859	-	219.348	-	195.021	-	200.981	-
Cobre	mg/kg	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-
Zinco	mg/kg	3.046	-	14.056	-	1.2	-	31.625	-

Obs: Valores com o símbolo (<-menor) indicam que a amostra apresentou valores abaixo do limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório.

Tabela 12: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada superficial (30 cm), na área de aplicação da tecnologia Mudball.

		Tecnologia: Mudball						Controle	
Parâmetro	Data	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022
	Ponto	A1A	A1A	A1B	A1B	A1C	A1C	C1	C1
	Prof. (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	Unidade								
Carb. Orgânico Total	%	7.5369	2.98	6.6147	2.85	7.1	4.71	7.351	5.84
Teor M. Orgânica	%	4.47	5.13	5.05	4.92	3.6	8.13	2.06	10.07
Teor de Sólido	%	34.17	38.17	31.43	37.37	29.44	34.84	35.06	29.52
Teor de Umidade	%	65.83	61.83	68.57	62.63	70.56	65.16	64.94	70.48
Col. Totais	NMP/100g	<1.1	160000	<1.1	160000	20	540000	<1.1	23000
E. Coli	NMP/100g	<1.1	4900	<1.1	2300	<1.1	2300	<1.1	4900
PT Fosfato	mg/Kg	< 1.324	265	< 1.324	103	< 1.324	211	< 1.324	446
N Kjeldahl	mg/Kg	7.5	3405.3	2	1539.9	30.7	1722.2	124.1	2228.2
N Total	mg/Kg	9.2	3405.3	2	1539.9	37.45	1722.2	151.4	2228.2
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	58.972	2.1	33.398	1.61	21.425	5.61	34.937	5.72
Chumbo	mg/kg	243.559	-	190.432	-	173.659	-	166.031	-
Cobre	mg/kg	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-
Zinco	mg/kg	45.86	-	1.2	-	13.462	-	1.2	-

Obs: Valores com o símbolo (<-menor) indicam que a amostra apresentou valores abaixo do limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório.

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 rico em húmus.

De forma geral, o sedimento apresentou teores mais elevados de umidade (%), principalmente na camada superficial (10 cm), apresentado valores médios de 77,5% e 74,5%, nas campanhas pré e pós-início, respectivamente. Para a camada subsuperficial (30 cm), a média dos valores de umidade são de 67,5% e 65%, respectivamente. A Figura 53 apresenta a representação gráfica dos resultados relativos aos teores de umidade das amostras.

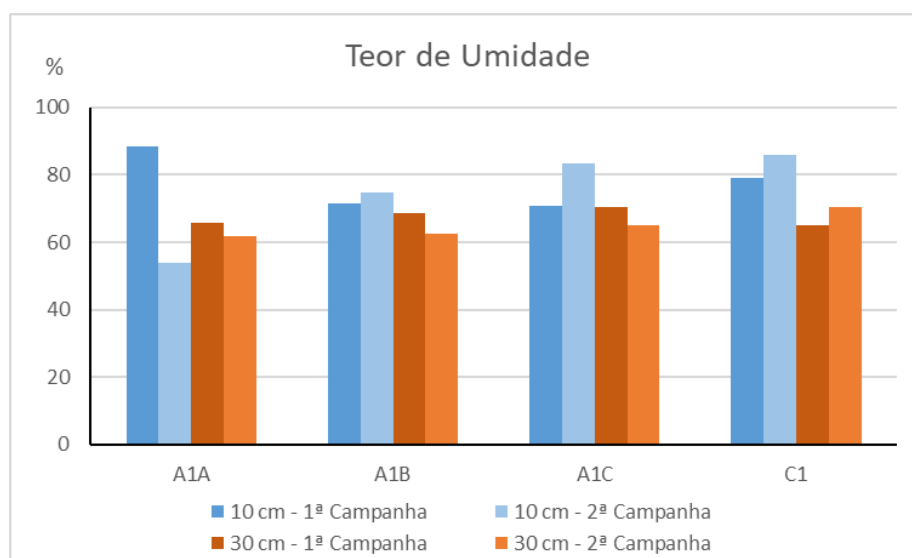


Figura 53: Valores do teor de umidade observados para as camadas superficial e subsuperficial nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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.

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. Os resultados indicam que a camada subsuperficial apresenta uma maior quantidade de sólidos, quando comparado com a camada superficial, para ambas as campanhas. Os valores médios

do teor de sólidos são de 33% e 35% para a camada subsuperficial, e 22% e 26% para a camada superficial, nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, respectivamente. A Figura 54 apresenta os valores obtidos nas campanhas, por ponto.

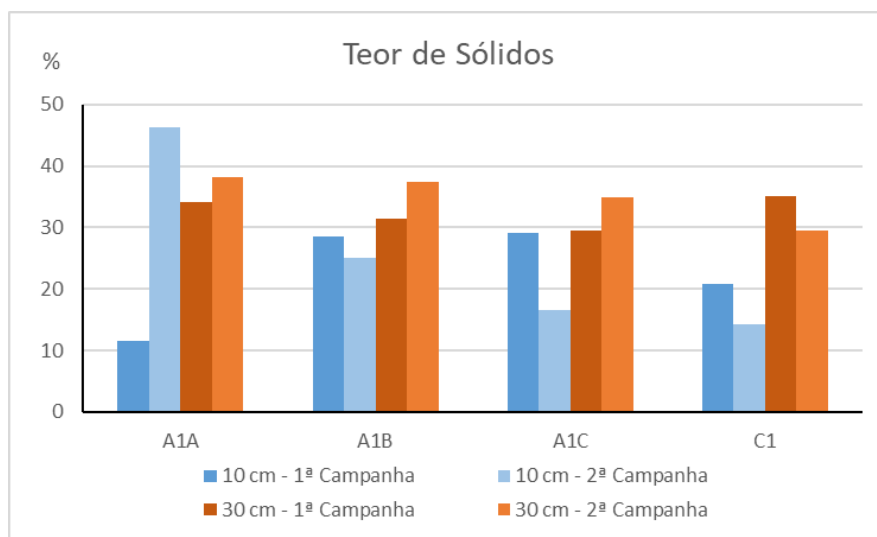


Figura 54: Teor de sólidos presente nas camadas superficial e subsuperficial para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

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 55 apresenta as concentrações de matéria orgânica para as duas campanhas de monitoramento.

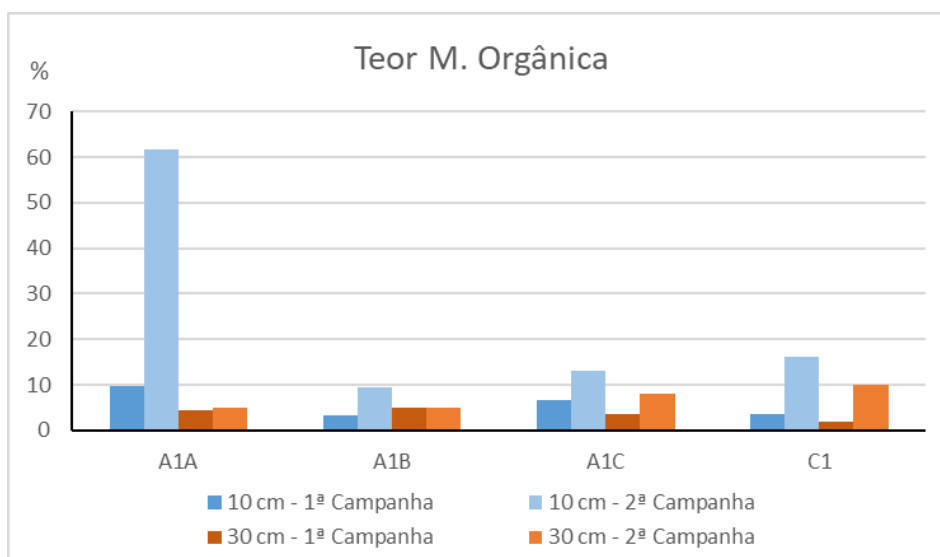


Figura 55: Teor de Matéria Orgânica presentes na camada superficial e subsuperficial durante as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Os resultados do teor de matéria orgânica no sedimento demonstram pouca variabilidade entre os pontos e as profundidades, com exceção do ponto A1A na camada superficial para a campanha pós-início, apresentando valor de 61,8%. De forma geral, as concentrações do teor de matéria orgânica são mais elevadas na camada superficial, com valores médios de 6% e 25%, quando comparados com a camada subsuperficial, onde as concentrações observadas foram de 4% e 7%, nas campanhas pré e pós-início, respectivamente.

Desta forma, a camada subsuperficial é classificada como um sedimento inorgânico/mineral, enquanto que a camada superficial apresentou alteração na classificação, passando de inorgânica/mineral para orgânica.

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.

A Figura 56 apresenta as concentrações de Carbono Orgânico Total para a camada superficial e subsuperficial. As concentrações de Carbono Orgânico Total apresentaram valores médios de 6,3% a 14,6% para a camada superficial, para a camada subsuperficial os valores médios observados foram de 7,2% e 4,1%, para as campanhas pré e pós-início dos experimentos, respectivamente. A resolução CONAMA nº 454/2012 considera que concentrações acima de 10% devem ser observadas com maior atenção, pois a mesma considera como um valor de alerta. De forma geral, os valores estiveram abaixo dos níveis de alerta estipulados pela referida resolução, com exceção do ponto A1A, na camada superficial, na campanha pós-início dos experimentos, a 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.

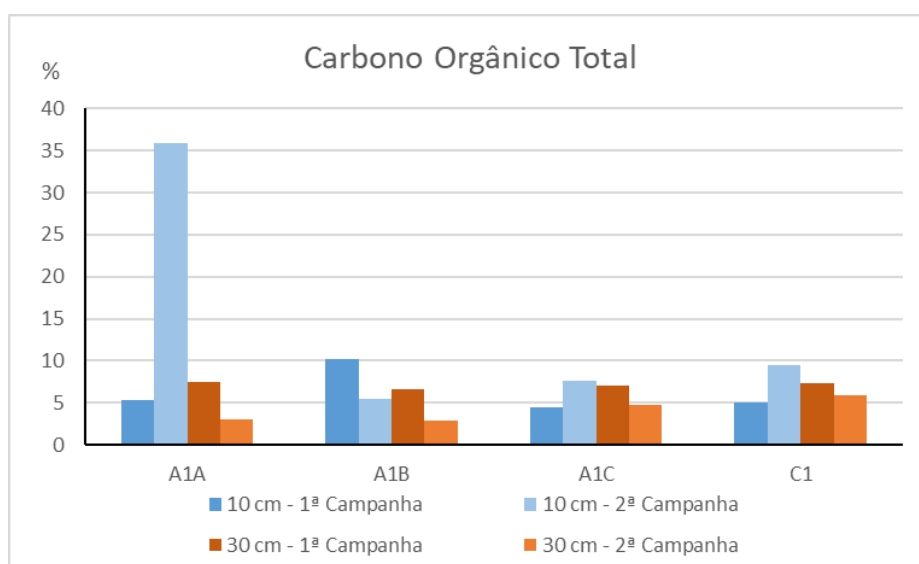


Figura 56: Concentrações de COT na camada superficial e subsuperficial observadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Na campanha pré-experimento as concentrações de Fósforo Total estavam abaixo dos limites de quantificação do método. Para a campanha pós-início dos experimentos, as concentrações de Fósforo Total no sedimento estavam consideravelmente mais elevadas na camada superficial, com valor médio de 584 mg/Kg, e para a camada subsuperficial as concentrações observadas foram cerca de 2x menores, com valor médio de 256 mg/Kg. No interior da área experimental, é possível observar uma

concentração mais elevada de Fósforo na camada superficial, de 2x a 3x maiores, quando comparada com a camada subsuperficial. No ponto de controle, C1, as concentrações estiveram bem próximas para ambas as camadas, variando aproximadamente 40 mg/Kg, entre as camadas.

A Figura 57 apresenta as concentrações observadas para o Fósforo Total. 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 bem abaixo do valor de alerta estipulado pela referida resolução.

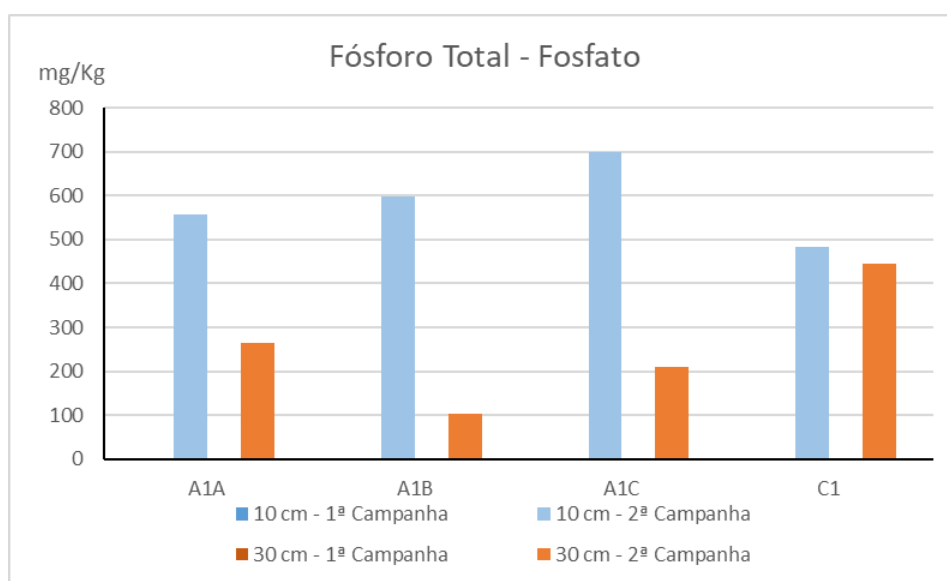


Figura 57: Concentrações de Fósforo Total – Fosfatos na camada superficial e subsuperficial observadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

O carbono, fósforo e o nitrogênio em suas formas orgânicas são os principais constituintes da matéria orgânica presente no sedimento. A Figura 58 apresenta as concentrações do Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) observadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

As concentrações do Nitrogênio apresentaram valores médios de 89,8 e 3037 mg/Kg, para a camada superficial, e 41 e 2224 mg/Kg, para a camada subsuperficial, nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, respectivamente. É possível observar uma variação bem significativa entre as campanhas de monitoramento, assim como foi observado para o Fósforo Total. Segundo a resolução CONAMA 454/2012, a

concentração de alerta para o NKT, é de 4800 mg/Kg. Todos os valores observados estiveram abaixo do valor que caracteriza uma condição de alerta.

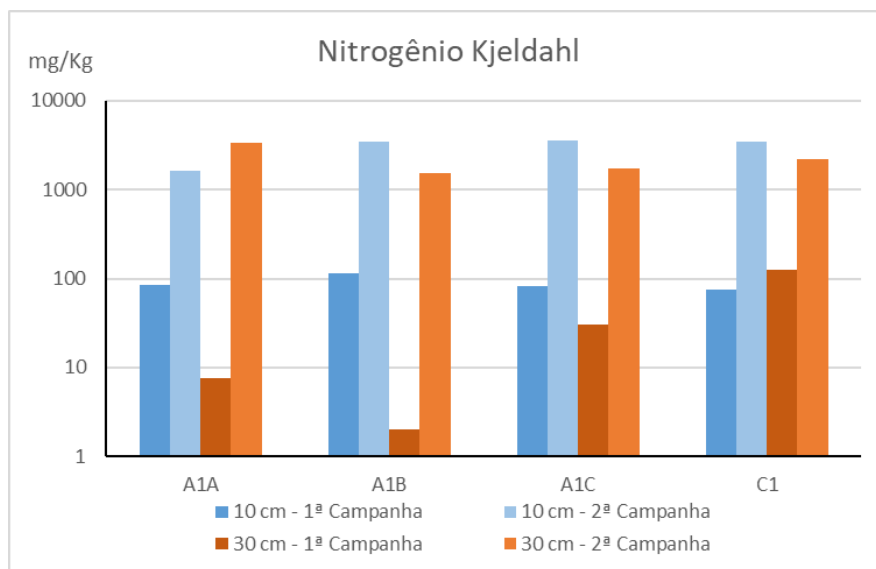


Figura 58: Valores de NKT observados durante o monitoramento para a camada superficial e subsuperficial nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Na campanha pré-experimento as concentrações de Sulfetos (enxofre) observadas no sedimento, em sua maioria, estavam presentes na camada subsuperficial, com valor médio de 37,2 mg/Kg, e para a camada superficial as concentrações apresentaram valor médio de 3 mg/Kg. Na campanha pós-início, as concentrações foram invertidas, com as maiores concentrações presentes na camada superficial, com valor médio de 31,3 mg/Kg, e na camada subsuperficial, a concentração média foi de 3,8 mg/Kg. A Figura 59 apresenta as concentrações observadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, por ponto amostral.

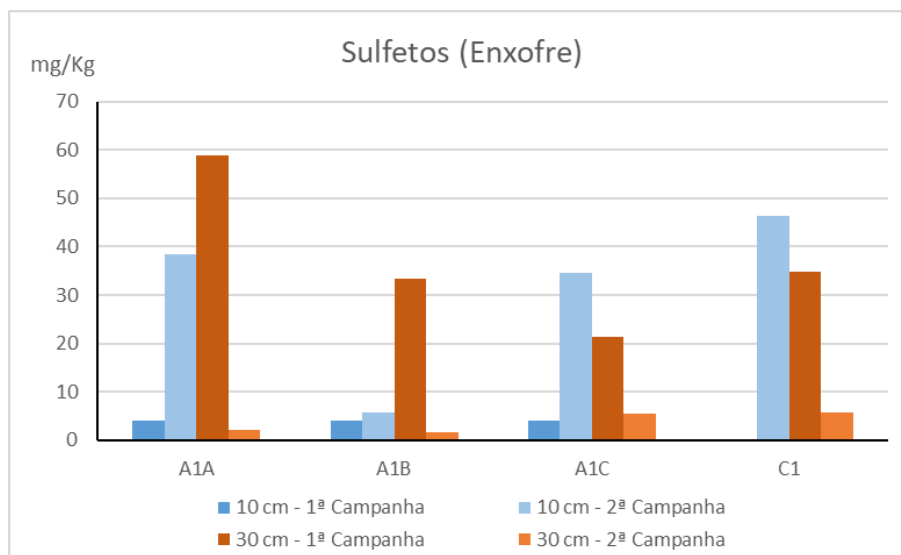


Figura 59: Sulfetos presentes na camada superficial e subsuperficial observadas no monitoramento pré e pós-início dos experimentos.

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 campanha pré-experimento as concentrações observadas estiveram abaixo dos níveis de detecção do método. A Figura 60 apresenta as concentrações observadas de *E. Coli*. Na primeira campanha pós-início dos experimentos, as concentrações mais elevadas foram observadas na camada superficial, com valores variando de 2.300 a 54.000 NMP/100g, apresentando valor médio de 18.550 NMP/100g. Na camada subsuperficial as concentrações de *E. Coli* variaram de 2.300 a 4.900 NMP/100g, com valor médio de 3.600 NMP/100g.

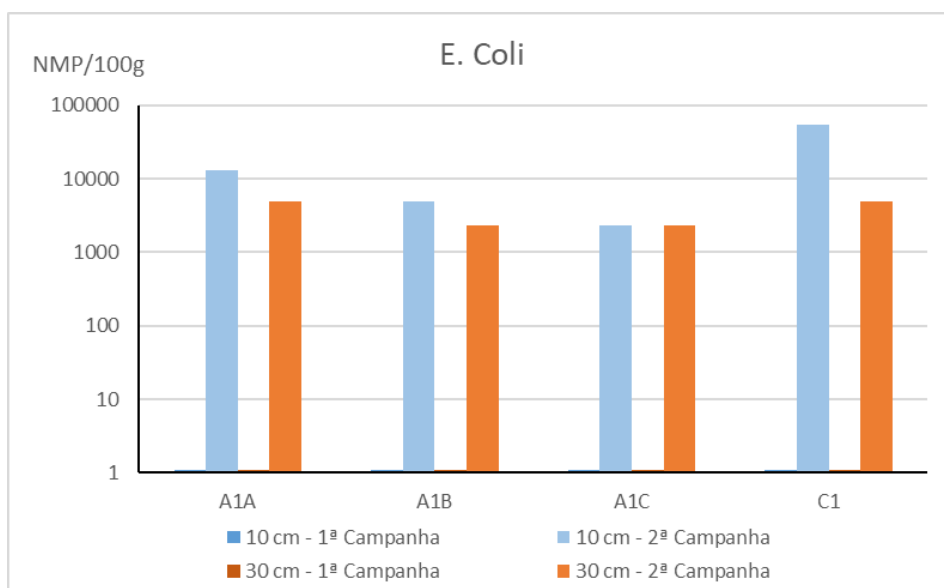


Figura 60: Concentração de *E. Coli* na matriz sedimentar para as campanhas pré e pós-início dos experimentos.

As concentrações de *E. Coli* observadas são indicativos da presença do lançamento irregular de efluente doméstico nas proximidades da área de estudo.

7.2.2. TECNOLOGIA: MUDBALL + PULMÃO

A campanha de coleta de sedimentos pós-início dos experimentos ocorreu no dia 06/07/2022, foram coletadas amostras em duas profundidades, 10 e 30 cm, por ponto amostral.

As Tabelas 13 e 14 apresentam os resultados obtidos através das análises laboratoriais do monitoramento realizado nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Tabela 13: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada superficial (10 cm), na área de aplicação da tecnologia Mudball + Pulmão.

Tecnologia: Mudball + Pulmão								Controle	
Parâmetro	Data	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022
	Ponto	A2A	A2A	A2B	A2B	A2C	A2C	C2	C2
	Prof. (m)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Unidade								
Carb. Orgânico Total	%	4.5682	9.9	7.6056	10.85	4.0552	6.69	8.226	10.91
Teor M. Orgânica	%	7.2	17.06	7	18.71	2.51	11.54	6.58	18.81
Teor de Sólido	%	38.31	10.32	29.07	14.71	13.96	11.82	31.43	9.86
Teor de Umidade	%	61.99	89.68	70.93	85.29	86.04	88.19	68.57	90.14
Col. Totais	NMP/100g	<1.1	130000	<1.1	54000	<1.1	79000	<1.1	49000
E. Coli	NMP/100g	<1.1	23000	<1.1	13000	<1.1	23000	<1.1	23000
PT Fosfato	mg/Kg	< 1.324	527	< 1.324	591	< 1.324	553	< 1.324	706
N Kjeldahl	mg/Kg	29.6	5776.5	85.6	3288	91.81	3911.8	2	5338
N Total	mg/Kg	36.1	5776.5	104.43	3288	112.01	3911.8	2	5338
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	4	0.5	0	118.87	4	2.29	4	38.81
Chumbo	mg/kg	138.113	-	164.006	-	211.795	-	133.466	-
Cobre	mg/kg	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-
Zinco	mg/kg	1.2	-	1.2	-	1.2	-	1.2	-

Obs: Valores com o símbolo (<-menor) indicam que a amostra apresentou valores abaixo do limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório.

Tabela 14: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada subuperficial (30 cm), na área de aplicação da tecnologia Mudball + Pulmão.

Parâmetro	Tecnologia: Mudball + Pulmão						Controle		
	Data	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022
	Ponto	A2A	A2A	A2B	A2B	A2C	A2C	C2	C2
	Prof. (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	Unidade								
Carb. Orgânico Total	%	7.4852	7.58	6.0858	5.67	6.766	6.23	6.4227	9.44
Teor M. Orgânica	%	7.64	13.07	6.39	9.77	5.81	10.74	6.62	16.27
Teor de Sólido	%	18.18	21.63	47.69	25.92	20.25	22.62	6.52	19.67
Teor de Umidade	%	81.82	78.37	52.31	74.08	79.75	77.38	93.48	80.33
Col. Totais	NMP/100g	<1.1	24000	<1.1	14000	<1.1	79000	<1.1	23000
E. Coli	NMP/100g	<1.1	2300	<1.1	2300	<1.1	2300	<1.1	2300
PT Fosfato	mg/Kg	< 1.324	469	< 1.324	268	< 1.324	370	237.861	549
N Kjeldahl	mg/Kg	88.7	1989.8	36	2669.9	103.3	2821.2	113.83	3383
N Total	mg/Kg	108.21	1989.8	43.9	2669.9	126.02	2821.2	138.87	3383
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	4	8.57	4	16.78	4	20.18	4	-
Chumbo	mg/kg	97.03	-	124.609	-	124.609	-	1	-
Cobre	mg/kg	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-
Zinco	mg/kg	19.053	-	8.772	-	16.496	-	1.2	-

Obs: Valores com o símbolo (<-menor) indicam que a amostra apresentou valores abaixo do limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório.

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 rico em húmus.

De forma geral, o sedimento apresentou teores mais elevados de umidade (%), principalmente na camada superficial (10 cm), apresentado valores médios de 72% e 88%, nas campanhas pré e pós-início, respectivamente. Para a camada subsuperficial (30 cm), a média dos valores de umidade são de 76,8% e 77,5%, respectivamente. Os teores de umidade apresentaram maior variabilidade média na camada superficial entre as campanhas. A Figura 61 apresenta a representação gráfica dos resultados relativos aos teores de umidade das amostras.

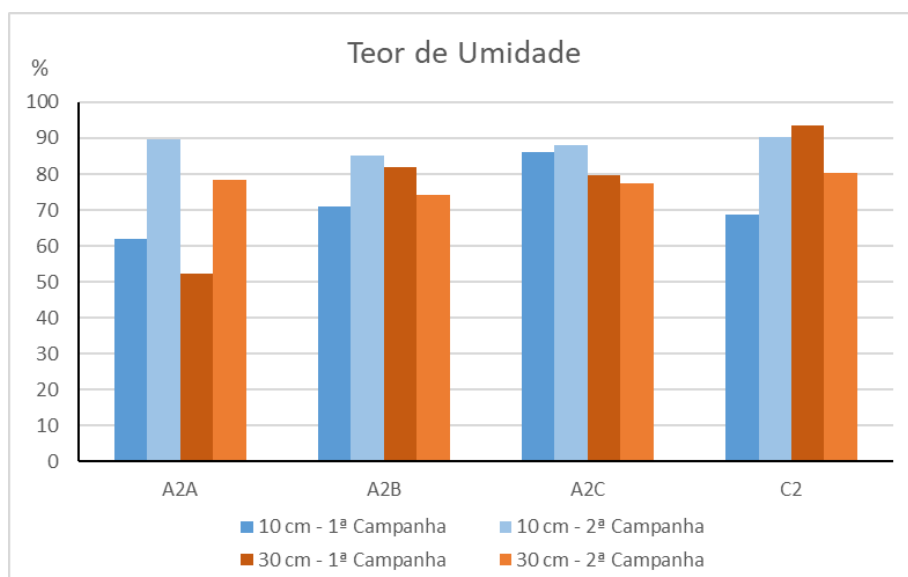


Figura 61: Teores de umidade observados na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

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.

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. Os resultados indicam que a camada subsuperficial apresenta uma maior quantidade de sólidos, quando

comparado com a camada superficial, para ambas as campanhas. Os valores médios do teor de sólidos são de 28,2% e 11,7% para a camada subsuperficial, e 23,2% e 22,5% para a camada superficial, nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, respectivamente. A Figura 62 apresenta os valores obtidos nas campanhas, por ponto.

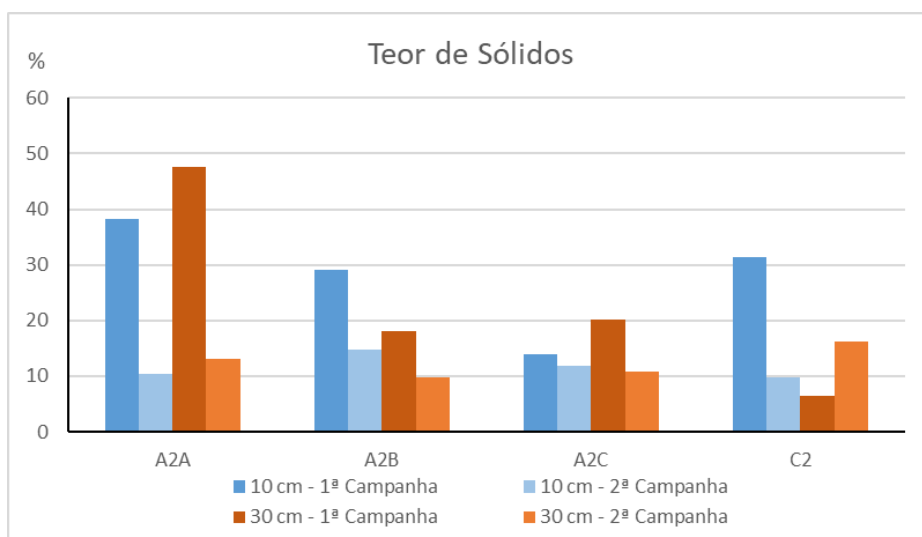


Figura 62: Teores de sólidos observados na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

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 63 apresenta as concentrações de matéria orgânica para as duas campanhas de monitoramento.

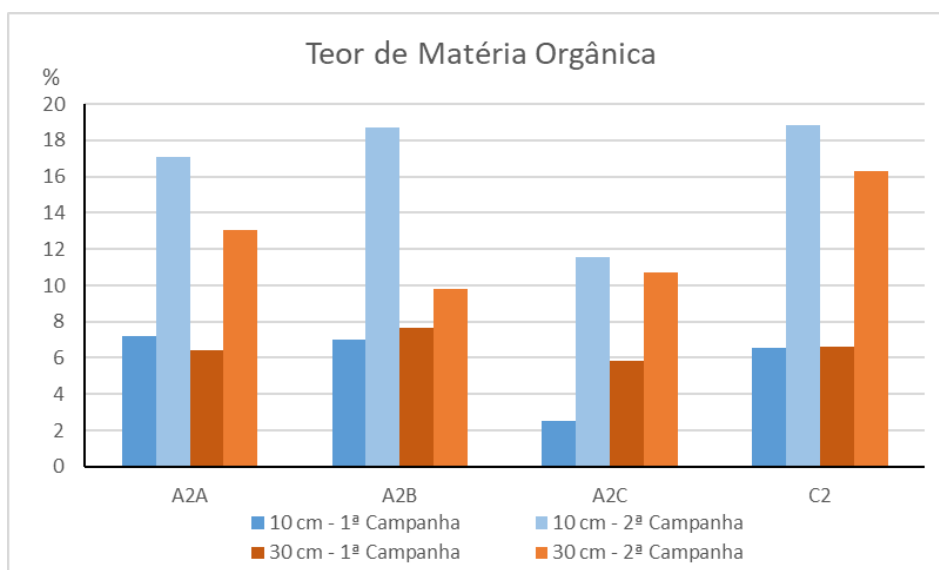


Figura 63: Teores de Matéria Orgânica observados na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

Os resultados do teor de matéria orgânica no sedimento demonstram pouca variabilidade entre os pontos e as profundidades, na campanha pré-experimento, e na campanha pós-início dos experimentos, as concentrações de matéria orgânica foram mais elevadas para ambas as camadas.

De forma geral, as concentrações do teor de matéria orgânica são mais elevadas na camada superficial, com valores médios de 6% e 16,5%, quando comparados com a camada subsuperficial, onde as concentrações observadas foram de 6,6% e 12,5%, nas campanhas pré e pós-início, respectivamente.

Desta forma, o sedimento na campanha pré-experimento apresentava características de classificação de sedimento inorgânico/mineral para ambas as avaliadas. Na campanha pós-início dos experimentos o sedimento apresentou alteração na classificação, passando de inorgânica/mineral para orgânica, em ambas as camadas.

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.

A Figura 64 apresenta as concentrações de Carbono Orgânico Total para a camada superficial e subsuperficial. As concentrações de Carbono Orgânico Total apresentaram valores médios de 6,1% a 9,6% para a camada superficial, para a camada subsuperficial os valores médios observados foram de 6,7% e 7,2%, para as campanhas pré e pós-início dos experimentos, respectivamente. A resolução CONAMA nº 454/2012 considera que concentrações acima de 10% devem ser observadas com maior atenção, pois a mesma considera como um valor de alerta. De forma geral, os valores estiveram abaixo dos níveis de alerta estipulados pela referida resolução, com exceção dos pontos A2B e C2, na camada superficial, na campanha pós-início dos experimentos, a qual apresentou concentrações um pouco mais elevadas, sendo de 11%, para ambos os pontos.

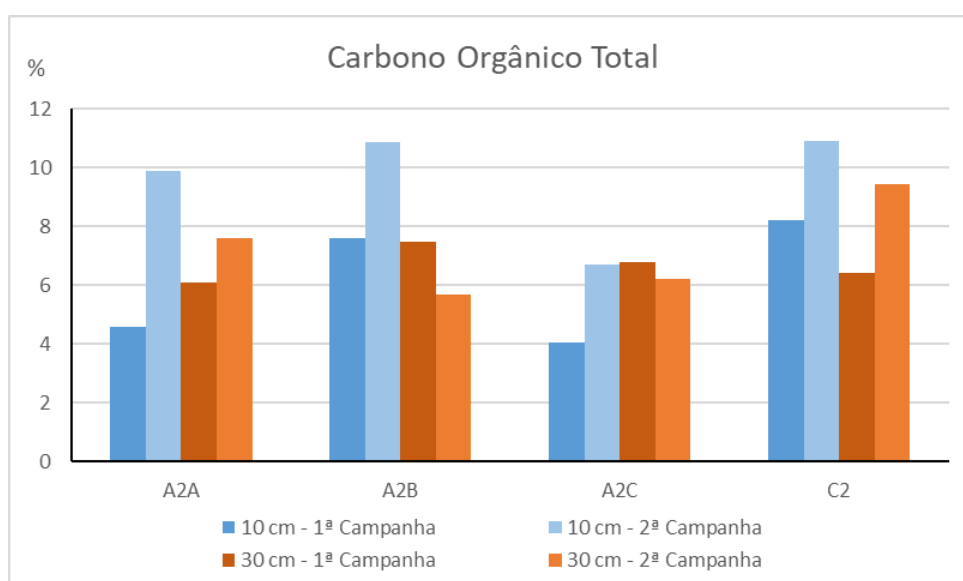


Figura 64: Concentrações de COT observadas na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

Na campanha pré-experimento as concentrações de Fósforo Total estavam abaixo dos limites de quantificação do método. Para a campanha pós-início dos experimentos, as concentrações de Fósforo Total no sedimento estavam consideravelmente mais

elevadas na camada superficial, com valor médio de 594,3 mg/Kg, e para a camada subsuperficial as concentrações observadas foram menores, com valor médio de 414 mg/Kg.

A Figura 65 apresenta as concentrações observadas para o Fósforo Total. 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 bem abaixo do valor de alerta estipulado pela referida resolução.

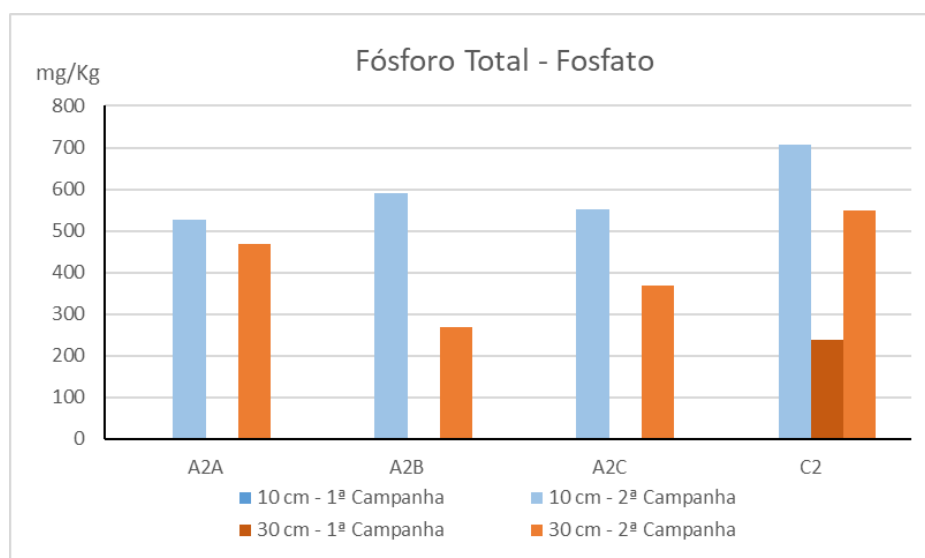


Figura 65: Concentrações de Fósforo Total – Fosfatos observadas na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

O carbono, fósforo e o nitrogênio em suas formas orgânicas são os principais constituintes da matéria orgânica presente no sedimento. A Figura 66 apresenta as concentrações do Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) observadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

As concentrações do Nitrogênio Kjeldahl Total apresentaram valores médios de 64 e 4.579 mg/Kg, para a camada superficial, e 104 e 2.716 mg/Kg, para a camada subsuperficial, nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, respectivamente. É possível observar uma variação bem significativa entre as campanhas de monitoramento, assim como foi observado para o Fósforo Total. Segundo a resolução CONAMA 454/2012, a concentração de alerta para o NKT, é de 4800 mg/Kg. A maior

parte dos valores observados estiveram abaixo do valor que caracteriza uma condição de alerta, com exceção dos pontos A2A e C2, os quais apresentaram concentrações de 5.777 e 5.338 mg/Kg, para a camada superficial, respectivamente.

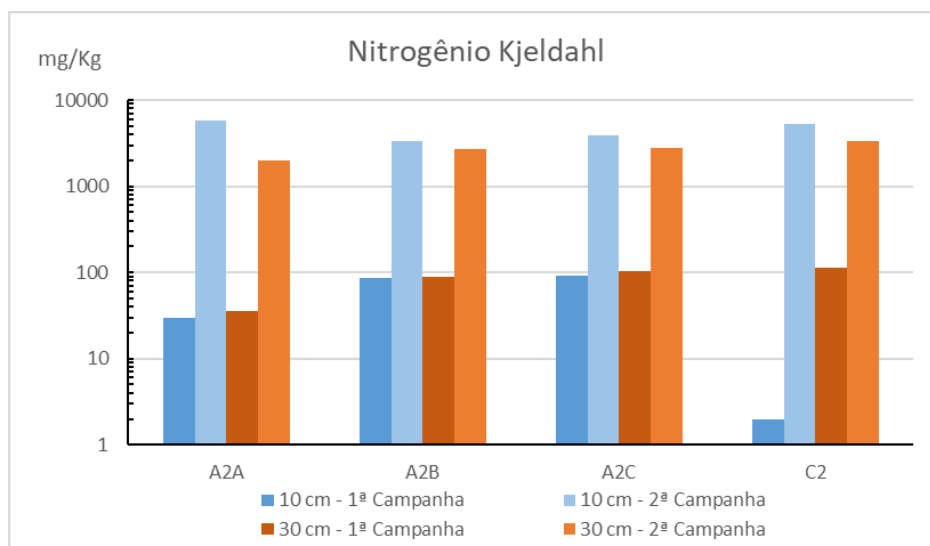


Figura 66: Concentrações de NKT observadas na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

Na campanha pré-experimento as concentrações de Sulfetos (enxofre) observadas no sedimento, nas camadas superficial e subsuperficial, com concentrações médias de 3 e 4 mg/Kg, respectivamente. Na campanha pós-início, as maiores concentrações estão presentes na camada superficial, com valor médio de 40,1 mg/Kg, e na camada subsuperficial, a concentração média foi de 11,4 mg/Kg. A Figura 67 apresenta as concentrações observadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, por ponto amostral.

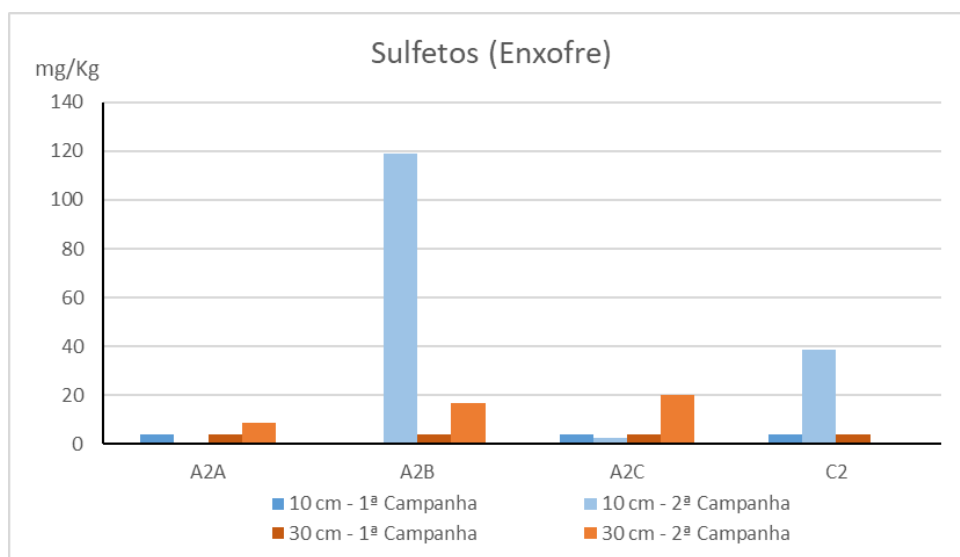


Figura 67: Concentrações de Sulfetos na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

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 campanha pré-experimento as concentrações observadas estiveram abaixo dos níveis de detecção do método. A Figura 68 apresenta as concentrações observadas de *E. Coli*. Na primeira campanha pós-início dos experimentos, as concentrações mais elevadas foram observadas na camada superficial, com valores variando de 13.000 a 23.000 NMP/100g, apresentando valor médio de 20.500 NMP/100g. Na camada subsuperficial as concentrações de *E. Coli* foram de 2.300 NMP/100g para todos os pontos.

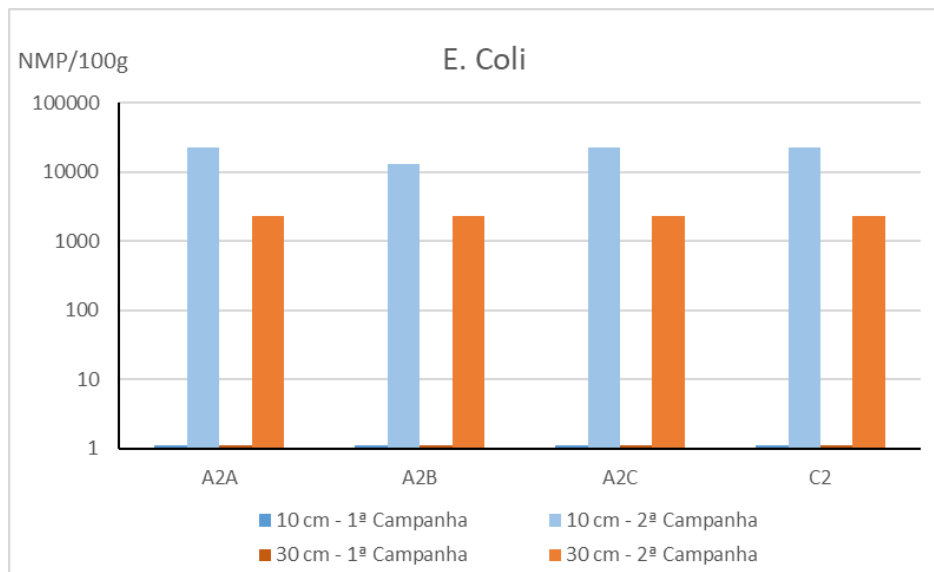


Figura 68: Concentrações de *E. Coli* na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

As concentrações de *E. Coli* observadas são indicativos da presença do lançamento irregular de efluente doméstico nas proximidades da área de estudo.

7.2.3. TECNOLOGIA: BIOCAIXA

A campanha de coleta de sedimentos pós-início dos experimentos ocorreu no dia 06/07/2022, foram coletadas amostras em duas profundidades, 10 e 30 cm, por ponto amostral.

As Tabelas 15 e 16 apresentam os resultados obtidos através das análises laboratoriais do monitoramento realizado nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

Tabela 15: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada superficial (10 cm), na área de aplicação da tecnologia Biocaixa.

		Tecnologia: Biocaixa						Controle	
Parâmetro	Data	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022
	Ponto	P2	P2	PC	PC	P7	P7	C2	C2
	Prof. (m)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Unidade								
Carb. Orgânico Total	%	8.0115	4.82	6.68	6.55	9.1017	6.58	8.0397	5.06
Teor M. Orgânica	%	4.32	8.31	6.91	11.3	3.8	5.27	6.59	8.72
Teor de Sólido	%	20.25	31.87	19.4	29.24	18.18	28.21	42.32	22.04
Teor de Umidade	%	79.75	68.13	80.6	70.76	81.82	71.79	57.68	77.96
Col. Totais	NMP/100g	<1.1	23000	<1.1	49000	20	92000	20	54000
E. Coli	NMP/100g	<1.1	4900	<1.1	23000	<1.1	24000	<1.1	2200
PT Fosfato	mg/Kg	< 1.324	363	< 1.324	432	< 1.324	261	< 1.324	414
N Kjeldahl	mg/Kg	55.3	2220.9	124.8	2369.5	110.2	7503.8	98.8	2871.9
N Total	mg/Kg	67.46	2220.9	152.25	2369.5	134.44	7503.8	120.53	2871.9
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	22.874	-	4	7.82	22.319	7.11	45.516	-
Chumbo	mg/kg	260.969	-	1	-	154.628	-	456.624	-
Cobre	mg/kg	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-
Zinco	mg/kg	16.606	-	3.85	-	1.2	-	1453.36	-

Obs: Valores com o símbolo (<-menor) indicam que a amostra apresentou valores abaixo do limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório.

Tabela 16: Resultado do monitoramento dos parâmetros de qualidade para a matriz sedimentar nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, para a camada subsuperficial (30 cm), na área de aplicação da tecnologia Biocaixa.

		Tecnologia: Biocaixa						Controle	
Parâmetro	Data	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022	10/3/2022	6/7/2022
	Ponto	P2	P2	PC	PC	P7	P7	C2	C2
	Prof. (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	Unidade								
Carb. Orgânico Total	%	7.0142	5.17	7.305	3.92	6.4599	5.32	6.5995	3.68
Teor M. Orgânica	%	3.88	8.91	5.5	6.75	3.71	9.17	8.06	6.35
Teor de Sólido	%	38.26	38.35	32.12	39.07	36.28	29.92	29.31	33.11
Teor de Umidade	%	61.74	61.65	67.88	60.93	63.72	70.08	70.69	66.89
Col. Totais	NMP/100g	790	92000	20	23000	<1.1	540000	<1.1	54000
E. Coli	NMP/100g	340	2300	<1.1	780	<1.1	23000	<1.1	24000
PT Fosfato	mg/Kg	< 1.324	127	< 1.324	241	< 1.324	169	< 1.324	145
N Kjeldahl	mg/Kg	84.5	1839.5	91.5	1656	36.7	1951.7	2	1508.9
N Total	mg/Kg	103.09	1839.5	111.63	1656	44.8	1951.7	2	1508.9
Sulfetos (enxofre)	mg/Kg	70.916	-	42.25	1.97	46.539	-	74.99	-
Chumbo	mg/kg	245.12	-	462.557	-	126.558	-	600.623	-
Cobre	mg/kg	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-	< 0.725	-
Zinco	mg/kg	1.2	-	6.88	-	8.846	-	7.855	-

Obs: Valores com o símbolo (<-menor) indicam que a amostra apresentou valores abaixo do limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório.

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 rico em húmus.

De forma geral, o sedimento apresentou teores mais elevados de umidade (%), principalmente na camada superficial (10 cm), apresentado valores médios de 75% e 72,2%, nas campanhas pré e pós-início, respectivamente. Para a camada subsuperficial (30 cm), a média dos valores de umidade são de 66% e 65%, respectivamente. A Figura 69 apresenta a representação gráfica dos resultados relativos aos teores de umidade das amostras.

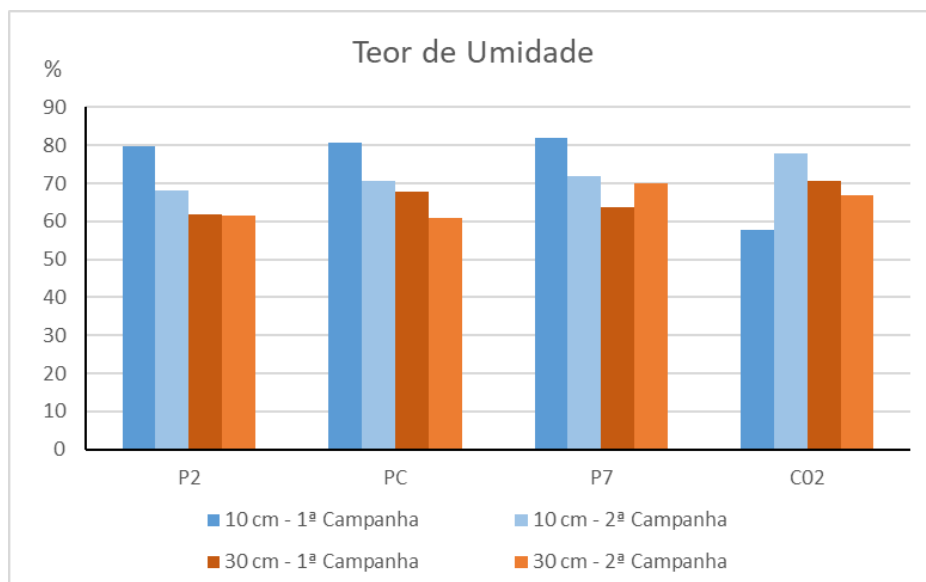


Figura 69: Teores de umidade na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

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.

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. Os resultados indicam que a camada subsuperficial apresenta uma maior quantidade de sólidos, quando comparado com a camada superficial, para ambas as campanhas. Os valores médios

do teor de sólidos são de 34% e 35% para a camada subsuperficial, e 25% e 27,8% para a camada superficial, nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, respectivamente. A Figura 70 apresenta os valores obtidos nas campanhas, por ponto.

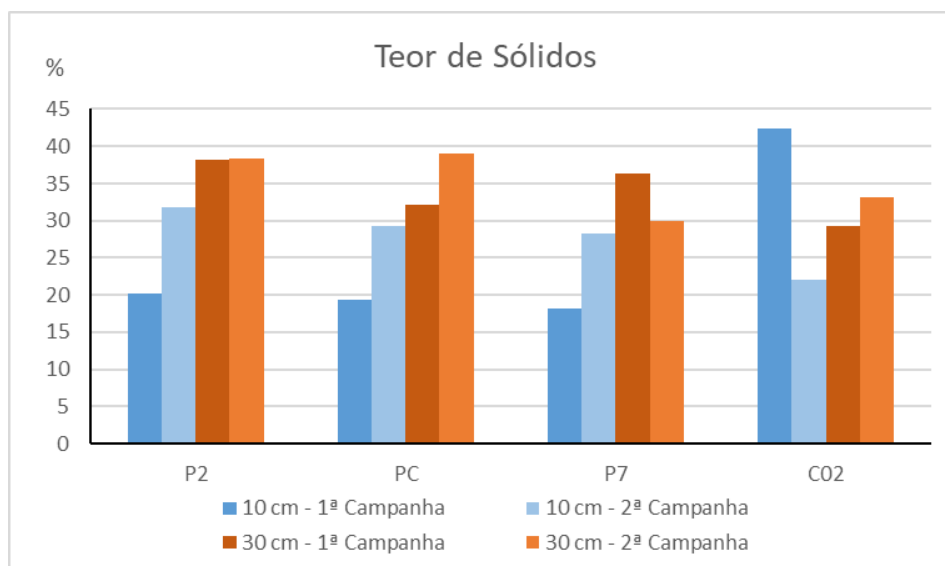


Figura 70: Teores de Sólidos na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

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 71 apresenta as concentrações de matéria orgânica para as duas campanhas de monitoramento.

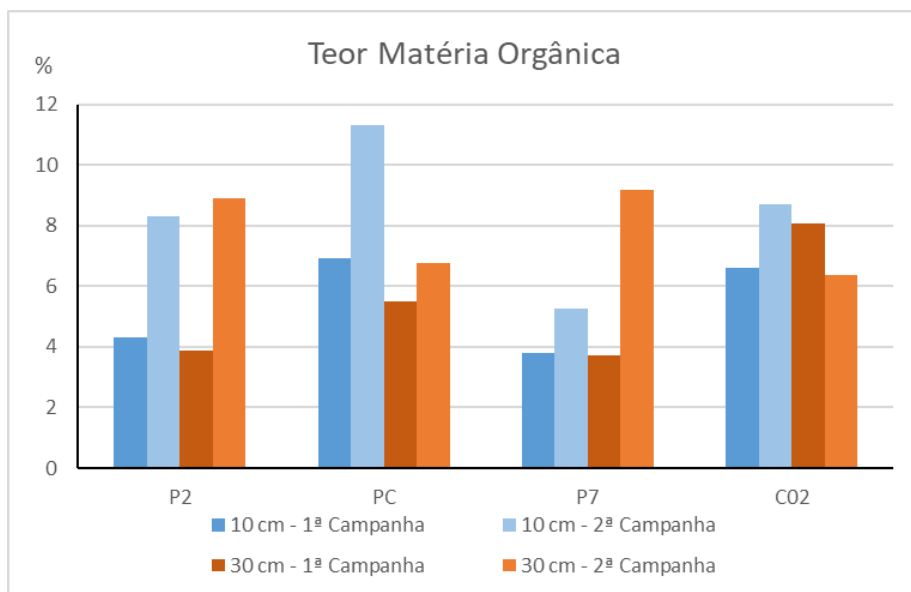


Figura 71: Teores de Matéria Orgânica na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

Os resultados do teor de matéria orgânica no sedimento demonstram pouca variabilidade entre os pontos e as profundidades, na campanha pré-experimento, e na campanha pós-início dos experimentos, as concentrações de matéria orgânica foram mais elevadas para ambas as camadas.

De forma geral, as concentrações do teor de matéria orgânica são mais elevadas na camada superficial, com valores médios de 5,4% e 8,4%, quando comparados com a camada subsuperficial, onde as concentrações observadas foram de 5,3% e 7,8%, nas campanhas pré e pós-início, respectivamente.

Desta forma, o sedimento na campanha pré e pós-início dos experimentos apresentam características de classificação de sedimento inorgânico/mineral para ambas as camadas avaliadas.

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.

A Figura 72 apresenta as concentrações de Carbono Orgânico Total para a camada superficial e subsuperficial. As concentrações de Carbono Orgânico Total apresentaram valores médios de 8% a 5,8% para a camada superficial, para a camada subsuperficial os valores médios observados foram de 6,8% e 4,5%, para as campanhas pré e pós-início dos experimentos, respectivamente. A resolução CONAMA nº 454/2012 considera que concentrações acima de 10% devem ser observadas com maior atenção, pois a mesma considera como um valor de alerta. De forma geral, os valores estiveram abaixo dos níveis de alerta estipulados pela referida resolução para todos os pontos analisados.

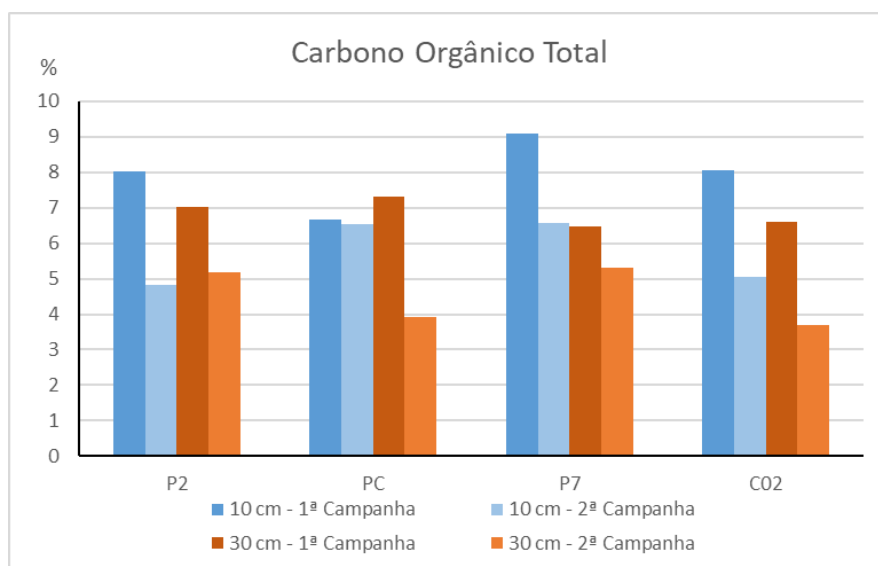


Figura 72: Concentrações de COT na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

Na campanha pré-experimento as concentrações de Fósforo Total estavam abaixo dos limites de quantificação do método. Para a campanha pós-início dos experimentos, as concentrações de Fósforo Total no sedimento estavam consideravelmente mais elevadas na camada superficial, com valor médio de 367,5 mg/Kg, e para a camada subsuperficial as concentrações observadas foram menores, com valor médio de 170,5 mg/Kg.

A Figura 73 apresenta as concentrações observadas para o Fósforo Total. 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 bem abaixo do valor de alerta estipulado pela referida resolução.

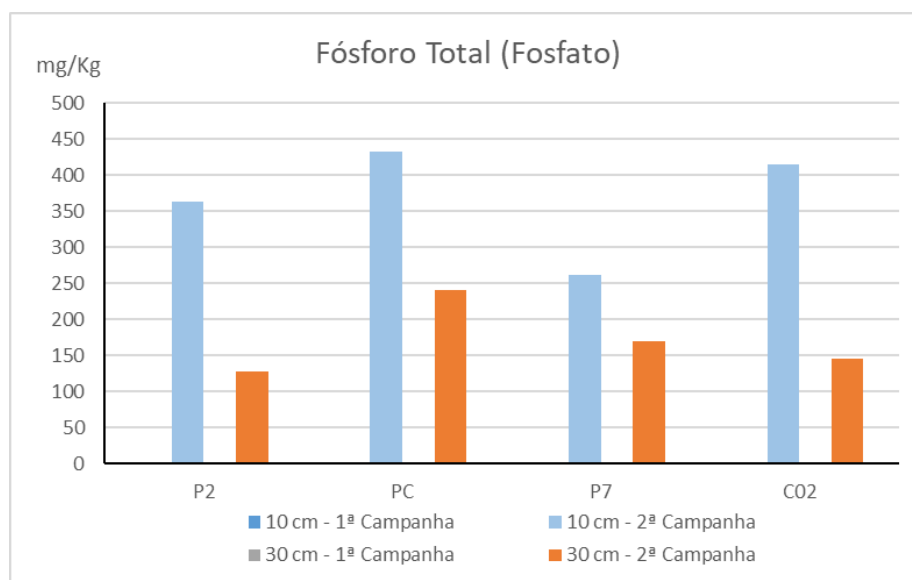


Figura 73: Concentrações de Fósforo Total na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

O carbono, fósforo e o nitrogênio em suas formas orgânicas são os principais constituintes da matéria orgânica presente no sedimento. A Figura 74 apresenta as concentrações do Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) observadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos.

As concentrações do Nitrogênio Kjeldahl Total apresentaram valores médios de 97,3 e 3.742 mg/Kg, para a camada superficial, e 53,7 e 1.739 mg/Kg, para a camada subsuperficial, nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, respectivamente. É possível observar uma variação bem significativa entre as campanhas de monitoramento, assim como foi observado para o Fósforo Total. Segundo a resolução CONAMA 454/2012, a concentração de alerta para o NKT, é de 4800 mg/Kg. A maior parte dos valores observados estiveram abaixo do valor que caracteriza uma condição de alerta, com exceção do ponto P7, o qual apresentou concentração de 7.503 mg/Kg, para a camada superficial.

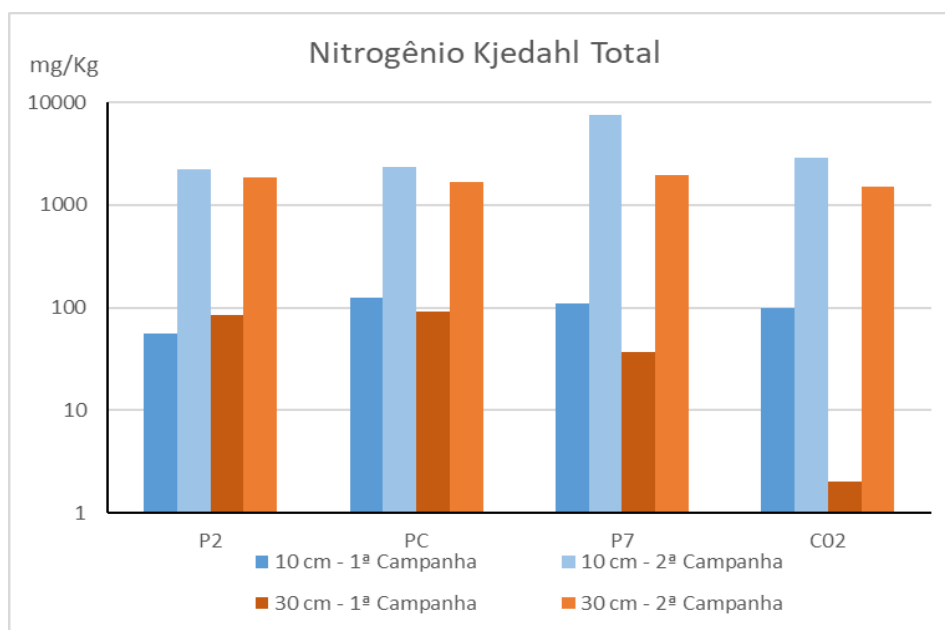


Figura 74: Concentrações de NKT na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

Na campanha pré-experimento as concentrações de Sulfetos (enxofre) observadas no sedimento, nas camadas superficial e subsuperficial, com concentrações médias de 23,7 e 58,7 mg/Kg, respectivamente. Na campanha pós-início, os resultados da análise de Sulfetos foram parciais, com dados apresentados apenas para os pontos PC e P7, para a camada superficial, com valores de 7,82 e 7,11 mg/Kg, respectivamente. A Figura 75 apresenta as concentrações observadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos, por ponto amostral.

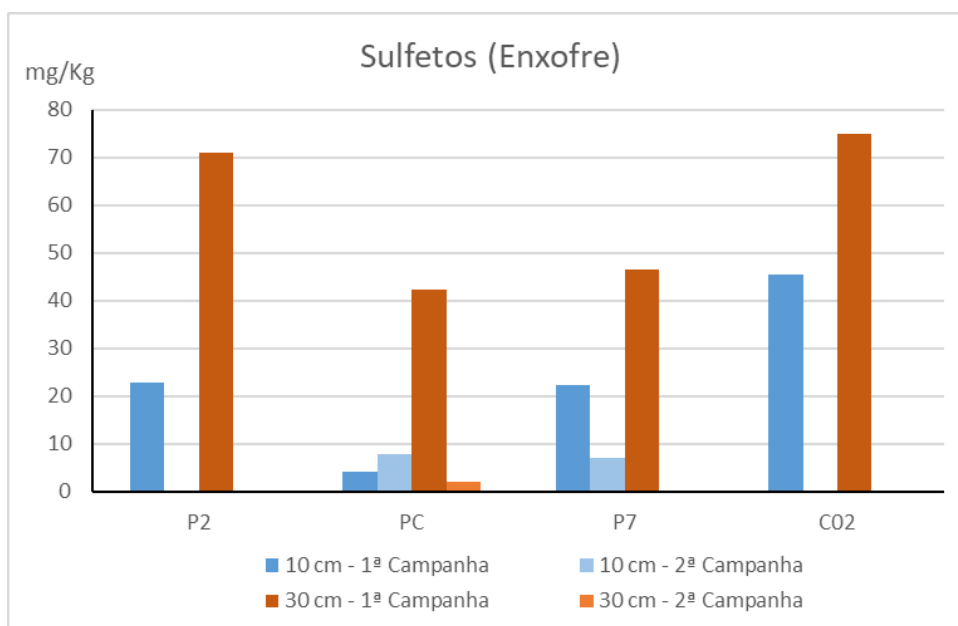


Figura 75: Concentrações de Sulfatos na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

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 em ambientes aquáticos.

Na campanha pré-experimento as concentrações observadas estiveram abaixo dos níveis de detecção do método. A Figura 76 apresenta as concentrações observadas de *E. Coli*. Na primeira campanha pós-início dos experimentos, as concentrações mais elevadas foram observadas na camada superficial, com valores variando de 2.200 a 24.000 NMP/100g, apresentando valor médio de 13.525 NMP/100g. Na camada subsuperficial as concentrações de *E. Coli* variaram de 780 a 24.000 NMP/100g, com valor médio de 12.520 NMP/100g.

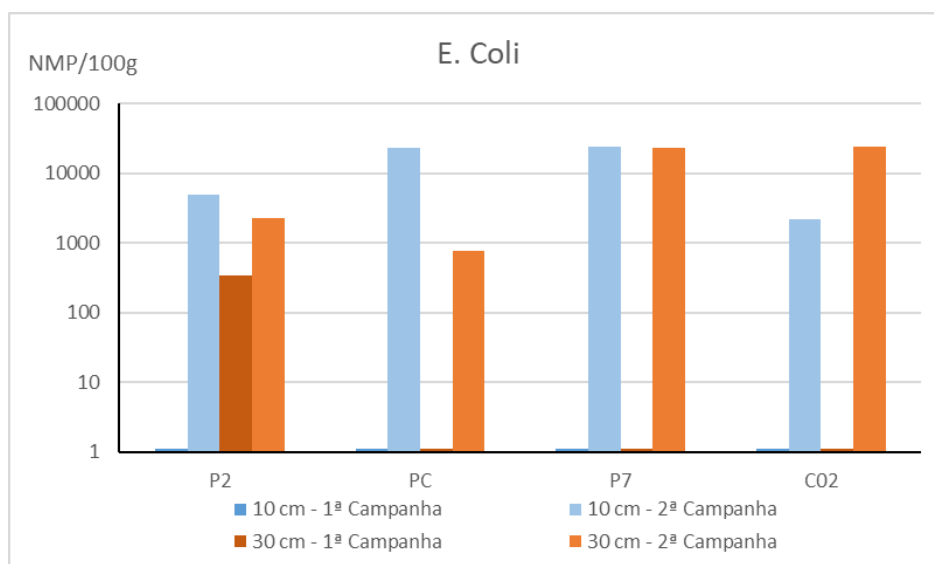


Figura 76: Concentrações de *E. Coli* na matriz sedimentar para as camadas superficial e subsuperficial, nas campanhas pré e pós-experimento.

As concentrações de *E. Coli* observadas são indicativos da presença do lançamento irregular de efluente doméstico nas proximidades da área de estudo.

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. Ambas 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 do sistema GPS de precisão (R1 e R2) 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, com o auxílio do sistema GPS de precisão (R2), determinou-se a altitude verdadeira da parte superior de cada estaca instalada. A partir dessas informações, e com o auxílio do disco de Secchi, determinou-se o início da camada de lodo.

A Figura 77 apresenta a localização do Marco base oficial do IBGE utilizado como ponto de referência.



Figura 77: Definição do Marco base utilizado como referência.

A Figura 78 apresenta a aferição da altitude utilizando a antena GNSS pela equipe da Hydrosience.



Figura 78: Aferição da altitude da camada de lodo na estaca no ponto de monitoramento em relação ao Marco.

A altitude ortométrica da camada de lodo é obtida através da soma da posição altimétrica do topo da estaca com a medida aferida com o disco de Secchi do topo da estaca até o início da camada de lodo.

A Tabela 17 apresenta as coordenadas dos pontos que foram realizadas a medição da altitude ortométrica da camada de lodo do fundo lagunar.

A Figura 79 apresenta a localização de todos os pontos monitorados.

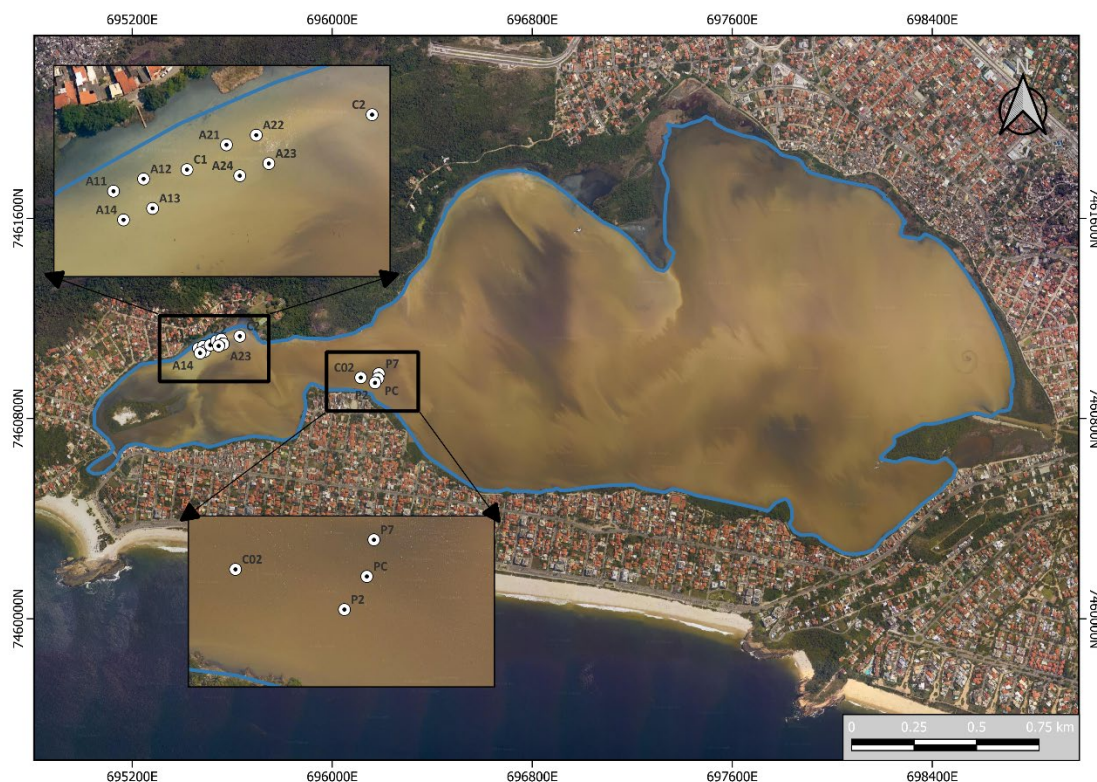


Figura 79: Localização dos pontos de monitoramento da altitude ortométrica do fundo lagunar.

Tabela 17: Grade de coordenadas UTM, e elevação do fundo lagunar em relação ao nível do mar do marco do IBGE Imbituba, para as campanhas pré e pós-início dos experimentos

Tecnologia	Ponto	Norte (UTM)	Leste (UTM)	Altitude 1ª Campanha (m)	Altitude 2ª Campanha (m)	Diferença (mm)
Mudball	A11	7461080.187	695464.485	0.202	0.087	(-) 115 mm
Mudball	A12	7461087.663	695483.709	0.133	-0.020	(-) 153 mm
Mudball	A13	7461068.847	695489.655	0.156	0.004	(-) 152 mm
Mudball	A14	7461061.457	695470.958	0.157	0.109	(-) 048 mm
Controle	C1	7461097.802	695564.082	0.147	-0.051	(-) 198 mm
Mudball + Pulmão	A21	7461109.693	695537.030	0.007	-0.101	(-) 108 mm
Mudball + Pulmão	A22	7461115.718	695555.505	-0.102	-0.202	(-) 100 mm
Mudball + Pulmão	A23	7461097.489	695563.250	0.134	-0.073	(-) 207 mm
Mudball + Pulmão	A24	7461094.093	695511.418	0.114	-0.151	(-) 265 mm
Controle	C2	7460966.060	696115.412	0.069	-0.327	(-) 396 mm
Biocaixa	PC	7460969.586	696186.442	-0.131	-0.278	(-) 147 mm
Biocaixa	P2	7460951.288	696170.608	-0.132	-0.238	(-) 106 mm
Biocaixa	P7	7460983.548	696189.336	-0.155	-0.262	(-) 107 mm
Controle	C02	7460966.060	696115.412	-0.156	-0.282	(-) 126 mm

Os resultados obtidos a partir das medições realizadas nas campanhas pré e pós-início dos experimentos serão apresentados a seguir de forma gráfica, através das figuras 80, 81 e 82. 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 80 apresenta a altimetria da área experimental que está sendo aplicada a tecnologia Mudball. A linha em azul apresenta os valores monitorados na campanha pré-experimento e a linha em laranja apresenta os valores medidos na primeira campanha pós-início. Os pontos A11, A12, A13 e A14 estão situados na área experimento, o ponto C1 é o controle. Ao analisar os resultados, não é possível observar uma diferenciação entre os pontos de tratamento e controle. Os pontos variaram da seguinte forma: A11: - 115 mm, A12: -153 mm, A13: -152 mm e A14: -48 mm. O ponto de controle (C1) variou -198 mm.

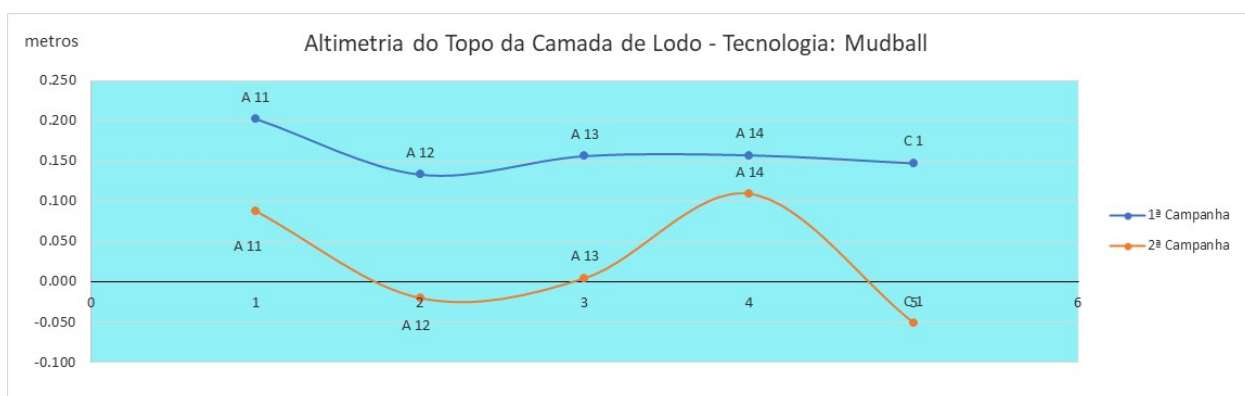


Figura 80: Altimetria do fundo lagunar na área de aplicação da tecnologia Mudball.

A Figura 81 apresenta a altimetria da área experimental que está sendo aplicada a tecnologia Mudball + Pulmão. A linha em azul apresenta os valores monitorados na campanha pré-experimento e a linha em laranja apresenta os valores medidos na primeira campanha pós-início. Os pontos A21, A22, A23 e A24 estão situados na área experimento, o ponto C2 é o controle. Os pontos variaram da seguinte forma: A21: - 108 mm, A22: -100 mm, A23: -207 mm e A24: -265 mm. O ponto de controle (C2) variou -396 mm.

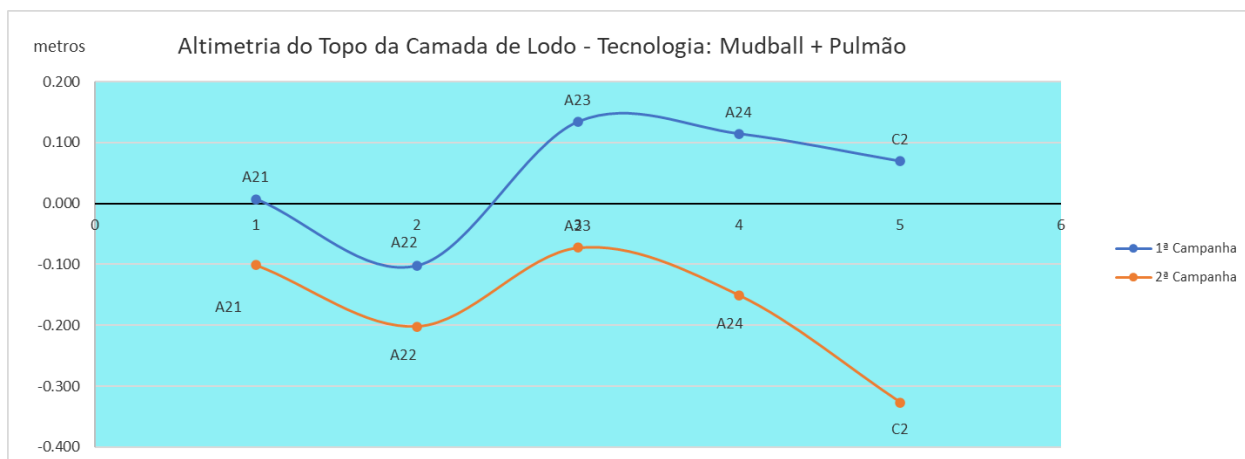


Figura 81: Altimetria do fundo lagunar na área de aplicação da tecnologia Mudball + Pulmão

A Figura 82 apresenta a altimetria da área experimental que está sendo aplicada a tecnologia biocaixa. A linha em azul apresenta os valores monitorados na campanha pré-experimento e a linha em laranja apresenta os valores medidos na primeira campanha pós-início. Os pontos PC, P2 e P7 estão situados na área do experimento, o ponto C02 representa o controle. Os pontos variaram da seguinte forma: PC: -147 mm, P2: -106 mm e P7: -107 mm. Os pontos de controle variaram da seguinte forma: C02: -126 mm.

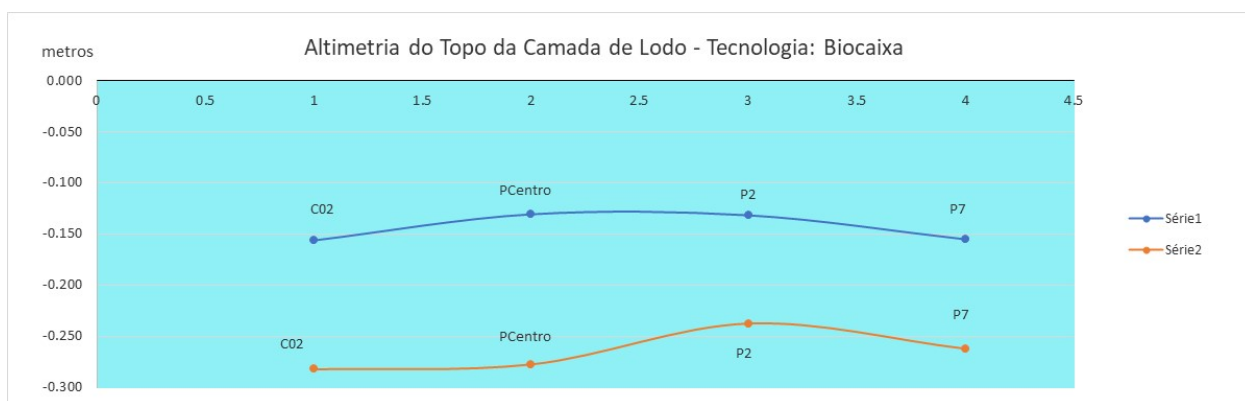


Figura 82: Altimetria do fundo lagunar da área experimental com aplicação da tecnologia Biocaixa.

Através dos 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. Com base nos resultados obtidos até o momento ainda não é possível concluir, mesmo que de forma preliminar, sobre a

eficiência das tecnologias. A continuidade do monitoramento com execução de mais campanhas amostrais é importante para o melhor entendimento das variações observadas nas áreas experimentais.

8. 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.