

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

*“Uso de Flutuadores como Ferramenta de Avaliação
da Influência do Vento na Circulação de uma Lagoa
de Estabilização Facultativa Primária”*

EDSON GERALDO CASAROTTI

Orientador: Prof. Dr. Tsunao Matsumoto

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Recursos
Hídricos e Tecnologias Ambientais.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

C335u	Casarotti, Edson Geraldo. Uso de flutuadores como ferramenta de avaliação da influência do vento na circulação de uma lagoa de estabilização facultativa primária / Edson Geraldo Casarotti. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2011. 105 f. : il. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2011 Orientador: Tsunao Matsumoto Inclui bibliografia 1. Lagoas de estabilização. 2. Movimentação da massa líquida. 3. Influência dos ventos. 5. Ventos. 6. Flutuadores.
-------	---



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Uso de Flutuadores como Ferramenta de Avaliação da Influência do Vento na Circulação de uma Lagoa de Estabilização Facultativa Primária

AUTOR: EDSON GERALDO CASAROTTI

ORIENTADOR: Prof. Dr. TSUNAO MATSUMOTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. TSUNAO MATSUMOTO

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MILTON DALL AGLIO SOBRINHO

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. LUÍS FERNANDO ROSSI LÉO

Departamento de Hidráulica e Saneamento / Universidade de Engenharia de Lins - UNILINS - Lins/SP

Data da realização: 05 de abril de 2011

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível”.*

Charles Chaplin

*Ao meu filho Alexandre;
À minha esposa, Mara;
A meus pais, João e Maria e
Minhas irmãs Sandra e Maristela.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

À Mara e ao Alexandre, pelo amor, compreensão, conselho, força e paciência incondicionais e, que souberam compreender minha ausência neste período de mestrado.

Ao orientador Prof. Dr. Tsunao Matsumoto pela orientação, pelos importantes e valiosos conhecimentos transmitidos e pela sua amizade e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores Doutores do Programa de Mestrado: Milton, Mauricio, Luzenira, Sergio e Professores Doutores colaboradores: Marcelo Libânio, Eduardo e Marcos von Sperling pelos conhecimentos compartilhados.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Civil José Carlos, Sandra.

Aos meus colegas da Pós Graduação: Iván Sánchez, Glauber e demais colegas pelo apoio e incentivo;

À comissão examinadora do Exame Geral de Qualificação, Professores Doutores Jefferson Nascimento de Oliveira, Milton Dall'aglio Sobrinho e Tsunao Matsumoto.

Ao Prof. MSc Roberto Racanicchi pelo apoio, amizade e incentivo desde o tempo da graduação.

A Antonio Carlos de Oliveira, Gerente Divisional da Sabesp de Fernandópolis, pelo apoio e disponibilização do tempo e local para a realização da pesquisa.

RESUMO

Uma das formas de garantir a disposição final adequada das águas residuárias é submetê-las ao tratamento através das lagoas de estabilização. Um dos fatores consideráveis para estas unidades de tratamento são as características hidrodinâmicas presentes no processo. Uma das lagoas de estabilização é a influência dos ventos na massa líquida. O presente projeto de pesquisa avaliou a influência do vento no comportamento da circulação da massa líquida da Lagoa Facultativa 2 da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da cidade de Álvares Florence – SP, por meio de flutuadores de diferentes dimensões (15, 21 e 35 cm). Foram confeccionados 9 flutuadores, 3 grupos com 3 flutuadores (um de cada dimensão) e lançados nas 3 entradas existentes na lagoa. A pesquisa foi dividida em duas etapas: na primeira etapa foram averiguados o tempo de percurso dos flutuadores ao longo de uma célula da lagoa facultativa 2 e o efeito de borda. Na segunda etapa foi verificada a influência dos ventos na movimentação da massa líquida e as condições de mistura proporcionadas por esta influência por meio dos flutuadores e análises de DQO. O método dos flutuadores para verificação da influência do vento e a circulação de uma lagoa facultativa mostrou-se como uma alternativa efetiva e simples quando comparado ao método com traçadores.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoas de estabilização. Movimentação da massa líquida. Influência dos ventos. Flutuadores.

ABSTRACT

One of the ways to ensure the proper disposal of wastewater is subject them to treatment by stabilization ponds. One of the significant factors for these treatment units are the hydrodynamic characteristics present in the process. Wind is external physical aspects that affect the hydrodynamic behavior of the stabilization ponds due to their influence on the circulation of the liquid mass. This research project evaluated the influence of wind on the behavior of the liquid mass flow of the facultative pond 2 of Sewage Treatment Plant in the city of Álvares Florence – SP, by means of floats of different sizes (15, 21 and 35 cm). Nine floats were made, three groups with three floats (one of each size) and released in three entries in the pond. The research was divided into two stages: the first step, were checked the travel time of the floats along of the facultative pond 2 and edge effect. In the second step was verified the influence of wind on movement of the liquid mass and mixing conditions provided by this influence by means of floats and COD analysis. The method for verification of the floats of the wind influence and the movement of a facultative pond proved to be a simple and effective alternative when compared with the tracer method.

KEYWORDS: Stabilization ponds. Liquid mass moving. Wind Influence. Drogues.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sistemas de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas.....	22
Figura 2	Sistema de lagoa facultativa.....	23
Figura 3	Esquema de uma lagoa facultativa.....	24
Figura 4	Esquema de uma lagoa de maturação.....	24
Figura 5	Demonstração de reator com curto-circuito e sem curto-circuito.....	36
Figura 6	Localização de Álvares Florence–SP.....	40
Figura 7	Estação Elevatória Esgotos (SABESP).....	41
Figura 8	Vista aérea da ETE Álvares Florence – SABESP (2011).....	42
Figura 9	Configuração da ETE Álvares Florence – SABESP (2011).....	42
Figura 10	Distribuição dos piquetes (em azul) na lagoa facultativa 2 da ETE Álvares Florence (SABESP).....	45
Figura 11	Foto dos flutuadores (1ª etapa).....	47
Figura 12	Representação dos flutuadores: vista frontal e superior.....	48
Figura 13	Foto dos flutuadores (detalhe da marcação “ ” do flutuador azul indicando o seu lançamento na raia 1 da lagoa).....	49
Figura 14	Espectrofotômetro DR/2000.....	52
Figura 15	Termo reator MA 4005(ajustado a 150°C).....	53
Figura 16	Termômetro de mercúrio / Medidor de pH PHTEK.....	53
Figura 17	Frasco DBO modificado (Hach) / Frasco de medição quadrado (Hach) / Cubeta de medida (Hach)-volume aproximado de 5,6 ml....	54
Figura 18	Localização dos pontos de coletas estratificadas para análise de DQO na lagoa facultativa 2 da ETE de Álvares Florence	55
Figura 19	Coletor de amostras com abertura inferior controlada por haste de aço na extremidade oposta.....	56
Figura 20	Anemômetro VEB Anemometerbau Dresden.....	57
Figura 21	Foto da bússola.....	58
Figura 22	Foto da biruta.....	58
Figura 23	Comportamento dos flutuadores no ensaio 1 da 1ª etapa.....	60
Figura 24	Comportamento dos flutuadores no ensaio 2 da 1ª etapa.....	62
Figura 25	Comportamento dos flutuadores no ensaio 3 da 1ª etapa.....	63
Figura 26	Comportamento dos flutuadores no ensaio 4 da 1ª etapa.....	65

Figura 27	Comportamento dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 no ensaio 1 da 2ª etapa.	68
Figura 28	Comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 no ensaio 1 da 2ª etapa.	69
Figura 29	Comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 no ensaio 1 da 2ª etapa.	70
Figura 30	Comportamento dos flutuadores no ensaio 1 da 2ª etapa.....	72
Figura 31	Velocidade média dos flutuadores durante a realização do ensaio 1 da 2ª etapa.....	72
Figura 32	Deslocamento dos flutuadores durante a realização do ensaio 1 da 2ª etapa.....	72
Figura 33	Comportamento dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 no ensaio 2 da 2ª etapa.	74
Figura 34	Comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 no ensaio 2 da 2ª etapa.	75
Figura 35	Comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 no ensaio 2 da 2ª etapa.	77
Figura 36	Comportamento dos flutuadores no ensaio 2 da 2ª etapa.....	77
Figura 37	Velocidade média dos flutuadores durante a realização do ensaio 2 da 2ª etapa.....	78
Figura 38	Deslocamento dos flutuadores durante a realização do ensaio 2 da 2ª etapa.....	78
Figura 39	Comportamento dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 no ensaio 3 da 2ª etapa.	80
Figura 40	Comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 no ensaio 3 da 2ª etapa.	81
Figura 41	Comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 no ensaio 3 da 2ª etapa..	83
Figura 42	Comportamento dos flutuadores no ensaio 3 da 2ª etapa.....	84
Figura 43	Velocidade média dos flutuadores durante a realização do ensaio 3 da 2ª etapa.....	85
Figura 44	Deslocamento dos flutuadores durante a realização do ensaio 3 da 2ª etapa.....	85
Figura 45	Comportamento dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 no ensaio 4 da 2ª etapa.	86
Figura 46	Comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 no ensaio 4 da 2ª etapa.	88
Figura 47	Comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 no ensaio 4 da 2ª etapa..	89
Figura 48	Comportamento dos flutuadores no ensaio 4 da 2ª etapa.....	90
Figura 49	Velocidade média dos flutuadores durante a realização do ensaio 4 da 2ª etapa.....	91
Figura 50	Deslocamento dos flutuadores durante a realização do ensaio 4 da 2ª etapa.....	91

Figura 51	Comportamento dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 no ensaio 5 da 2ª etapa..	92
Figura 52	Comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 no ensaio 5 da 2ª etapa..	93
Figura 53	Comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 no ensaio 5 da 2ª etapa...	94
Figura 54	Comportamento dos flutuadores no ensaio 5 da 2ª etapa.....	95
Figura 55	Velocidade média dos flutuadores durante a realização do ensaio 5 da 2ª etapa.....	96
Figura 56	Deslocamento dos flutuadores durante a realização do ensaio 5 da 2ª etapa.....	96
Figura 57	Concentração de DQO nos 3 níveis da lagoa nas posições Aa, Ba e C (11/02/2011).....	98
Figura 58	Concentração de DQO nos 3 níveis da lagoa em todos pontos amostrados (11/02/2011).....	99
Figura 59	Concentração de DQO nos 3 níveis da lagoa nas posições Aa, Ba e C (17/02/2011).....	101
Figura 60	Concentração de DQO nos 3 níveis da lagoa em todos pontos amostrados (17/02/2011).....	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Equações para o cálculo da concentração ao longo do tanque e da concentração efluente ao longo do tempo.....	26
Quadro 2	Equações para o cálculo da concentração ao longo do tanque e da concentração efluente ao longo do tempo.....	27
Quadro 3	Influência dos principais fatores ambientais externos.....	31
Quadro 4	Configurações do Sistema de Tratamento de Esgotos de Álvares Florence – (Sabesp).....	43
Quadro 5	Variáveis analisadas e procedimentos analíticos empregados.....	52
Quadro 6	Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 1	59
Quadro 7	Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 2	61
Quadro 8	Velocidades médias dos flutuadores nos intervalos de tempo do ensaio 2.....	62
Quadro 9	Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 3	63
Quadro 10	Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 4	64
Quadro 11	Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 1 da 2ª etapa.....	67
Quadro 12	Velocidades médias dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 nos intervalos de tempo do ensaio 1 da 2ª etapa.....	68
Quadro 13	Velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 nos intervalos de tempo do ensaio 1 da 2ª etapa.....	70
Quadro 14	Velocidades médias dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 nos intervalos de tempo do ensaio 1 da 2ª etapa.....	71
Quadro 15	Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 2 da 2ª etapa.....	73
Quadro 16	Velocidades médias dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 nos intervalos de tempo do ensaio 2 da 2ª etapa	74
Quadro 17	Velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 nos intervalos de tempo do ensaio 2 da 2ª etapa.....	76
Quadro 18	Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 3 a 2ª etapa.....	79

Quadro 19	Velocidades médias dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 nos intervalos de tempo do ensaio 3 da 2ª etapa.....	81
Quadro 20	Velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 nos intervalos de tempo do ensaio 3 da 2ª etapa.....	82
Quadro 21	Velocidades médias dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 nos intervalos de tempo do ensaio 3 da 2ª etapa.....	83
Quadro 22	Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 4 da 2ª etapa.....	85
Quadro 23	Velocidades médias dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 nos intervalos de tempo do ensaio 4 da 2ª etapa.....	87
Quadro 24	Velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 nos intervalos de tempo do ensaio 4 da 2ª etapa.....	88
Quadro 25	Velocidades médias dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 nos intervalos de tempo do ensaio 4 da 2ª etapa.....	89
Quadro 26	Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 5 da 2ª etapa.....	26
Quadro 27	Velocidades médias dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 nos intervalos de tempo do ensaio 5 da 2ª etapa.....	92
Quadro 28	Velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 nos intervalos de tempo do ensaio 5 da 2ª etapa.....	93
Quadro 29	Velocidades médias dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 nos intervalos de tempo do ensaio 5 da 2ª etapa.....	94
Quadro 30	Resultado das análises de DQO, Temperatura e pH através de coletas estratificadas do dia 11/02/11.....	97
Quadro 31	Resultado das análises de DQO, Temperatura e pH através de coletas estratificadas do dia 17/02/11.....	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1	TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	19
3.2	LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	20
3.2.1	Critérios para dimensionamento de uma lagoa de estabilização de esgotos.....	25
3.2.2	Fatores interferentes no processo.....	28
3.2.2.1	<i>Fatores controláveis.....</i>	<i>29</i>
3.2.2.2	<i>Fatores não controláveis.....</i>	<i>30</i>
3.2.3	Comportamento hidráulico e hidrodinâmico em lagoas de estabilização.....	32
3.2.3.1	<i>Ventos.....</i>	<i>33</i>
3.2.3.2	<i>Estratificação térmica.....</i>	<i>34</i>
3.2.3.3	<i>Curtos-circuitos.....</i>	<i>35</i>
3.2.3.4	<i>Zonas mortas.....</i>	<i>37</i>
4	ESTUDO DE CASOS.....	38
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
5.1	LOCAL DA PESQUISA.....	40
5.2	CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	41
5.3	MATERIAIS.....	44
5.3.1	Demarcação da lagoa.....	44
5.3.2	Flutuadores.....	46
5.3.2.1	<i>Flutuadores da 1ª etapa.....</i>	<i>46</i>
5.3.2.2	<i>Flutuadores da 2ª etapa.....</i>	<i>47</i>
5.3.2.3	<i>Calibração dos flutuadores.....</i>	<i>49</i>
5.4	METODOLOGIA.....	50
5.4.1	Ensaios experimentais.....	50
5.4.1.1	<i>Primeira etapa da pesquisa.....</i>	<i>50</i>
5.4.1.2	<i>Segunda etapa da pesquisa.....</i>	<i>51</i>
5.4.2	Análises laboratoriais.....	51
5.4.2.1	<i>Oxigênio Dissolvido (OD).....</i>	<i>54</i>
5.4.2.2	<i>Demanda Química de Oxigênio (DQO).....</i>	<i>54</i>
5.4.3	Aspectos climáticos.....	56
5.4.3.1	<i>Temperatura.....</i>	<i>56</i>

5.4.3.2	Vento.....	56
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
6.1	1ª ETAPA DA PESQUISA.....	59
6.1.1	Ensaio 1.....	59
6.1.2	Ensaio 2.....	60
6.1.3	Ensaio 3.....	62
6.1.4	Ensaio 4.....	64
6.2	2ª ETAPA DA PESQUISA.....	65
6.2.1	Ensaio 1.....	66
6.2.1.1	<i>Flutuadores A_1, A_2, A_3.....</i>	<i>67</i>
6.2.1.2	<i>Flutuadores V_1, V_2, V_3.....</i>	<i>69</i>
6.2.1.3	<i>Flutuadores Z_1, Z_2, Z_3.....</i>	<i>70</i>
6.2.1.4	<i>Flutuadores A_{15}; V_{25}; Z_{35}.....</i>	<i>71</i>
6.2.2	Ensaio 2.....	73
6.2.2.1	<i>Flutuadores A_1, A_2, A_3.....</i>	<i>73</i>
6.2.2.2	<i>Flutuadores V_1, V_2, V_3.....</i>	<i>75</i>
6.2.2.3	<i>Flutuadores Z_1, Z_2, Z_3.....</i>	<i>76</i>
6.2.2.4	<i>Flutuadores A_{15}; V_{25}; Z_{35}.....</i>	<i>77</i>
6.2.3	Ensaio 3.....	78
6.2.3.1	<i>Flutuadores A_1, A_2, A_3.....</i>	<i>79</i>
6.2.3.2	<i>Flutuadores V_1, V_2, V_3.....</i>	<i>81</i>
6.2.3.3	<i>Flutuadores Z_1, Z_2, Z_3.....</i>	<i>82</i>
6.2.3.4	<i>Flutuadores A_{15}; V_{25}; Z_{35}.....</i>	<i>84</i>
6.2.4	Ensaio 4.....	85
6.2.4.1	<i>Flutuadores A_1, A_2, A_3.....</i>	<i>86</i>
6.2.4.2	<i>Flutuadores V_1, V_2, V_3.....</i>	<i>87</i>
6.2.4.3	<i>Flutuadores Z_1, Z_2, Z_3.....</i>	<i>89</i>
6.2.4.4	<i>Flutuadores A_{15}; V_{25}; Z_{35}.....</i>	<i>90</i>
6.2.5	Ensaio 5.....	91
6.2.5.1	<i>Flutuadores A_1, A_2, A_3.....</i>	<i>92</i>
6.2.5.2	<i>Flutuadores V_1, V_2, V_3.....</i>	<i>93</i>
6.2.5.3	<i>Flutuadores Z_1, Z_2, Z_3.....</i>	<i>94</i>
6.2.5.4	<i>Flutuadores A_{15}; V_{25}; Z_{35}.....</i>	<i>95</i>
6.3	COMENTÁRIO FINAL DOS EXPERIMENTOS.....	96
6.4	RESULTADOS DA DQO.....	97
6.4.1	Análises realizadas em 11/02/11.....	97
6.4.2	Análises realizadas em 17/02/11.....	99
7	CONCLUSÕES.....	102
	REFERÊNCIAS.....	103

1 INTRODUÇÃO

Atualmente vem sendo discutido e demonstrado preocupação com o grau de tratamento, o destino final das águas residuárias, as consequências provocadas pelas águas residuárias ao meio ambiente, a qualidade das águas e seus usos em abastecimento público, consumo humano, pecuária e agricultura.

As condições atuais do tratamento das águas residuárias não é preocupação apenas de engenheiros, especialistas ou técnicos da área, mas também da sociedade organizada como um todo, incluindo as organizações ambientalistas e comunitárias, entre outros.

O tratamento e disposição final das águas residuárias devem garantir que estas estejam adequadas para os padrões de qualidade de lançamento garantidos pelas leis vigentes (CONAMA 357, Decreto Estadual 8468).

Uma das formas de garantir a disposição final adequada é submeter estas águas residuárias ao tratamento através das lagoas de estabilização.

O sucesso operacional das lagoas de estabilização não depende apenas em definir o tipo de tratamento que será utilizado, mas o detalhamento do projeto, dos aspectos construtivos e manutenção adequada.

Segundo Kellner e Pires (1998), as características hidrodinâmicas das lagoas de estabilização são muito importantes no processo de depuração que ocorre nessas unidades de tratamento.

Portanto a necessidade de conhecer o comportamento hidrodinâmico torna-se cada vez mais importante, para que se possa conceber projetos mais eficientes, com maior aproveitamento da área útil das lagoas de estabilização de esgotos, favorecendo a mistura e a atividade biológica.

Aspectos físicos externos podem afetar o comportamento hidrodinâmico das lagoas de estabilização, como os fatores não controláveis que

dependem da natureza, tais como o vento, a estratificação térmica, a radiação solar entre outros.

A influência dos ventos na movimentação da massa líquida de uma lagoa é comprovada. Mesmo com ventos de pouca intensidade, o comportamento da circulação da massa líquida é influenciado na lagoa facultativa 2 da ETE de Álvares Florence.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho teve como objetivo geral a determinação da influência do vento na circulação da massa líquida na lagoa de estabilização facultativa primária que trata esgoto tipicamente doméstico por meio do uso de flutuadores com submersões variadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os aspectos observados por meio deste experimento tiveram os seguintes objetivos específicos:

1. Verificação do tempo de percurso dos flutuadores de diversos tamanhos ao longo da célula de uma das lagoas de estabilização;
2. Verificação do direcionamento do vento e efeito de borda no deslocamento dos flutuadores;
3. Verificação da influência da intensidade dos ventos na movimentação da massa líquida;
4. Verificação da mistura em diversas profundidades da lagoa.

Os experimentos foram subdivididos em 2 etapas. Na 1ª etapa foram averiguados os itens 1 e 2 e na 2ª etapa foram averiguados todos os itens.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TRATAMENTO DE ESGOTOS

O lançamento das águas residuárias nos corpos d'água sem tratamento causa inconvenientes para a população. Estes inconvenientes podem ter maior ou menor importância, de acordo com a utilização da água pretendida para aquele corpo receptor à jusante deste lançamento. A água, tão necessária à vida do ser humano, pode ser também responsável por transmitir doenças.

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, estabelece os padrões e critérios de qualidade das águas a serem mantidos no território nacional, bem como dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas e os parâmetros físicos, químicos e biológicos e as condições e padrões de lançamento de efluentes.

O inter-relacionamento entre os padrões se dá no sentido de que o efluente proveniente de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) deve, além de satisfazer os padrões de lançamento, proporcionar condições ao corpo receptor de tal forma que sua qualidade esteja enquadrada dentro dos padrões para corpos receptores da classe a que pertencem.

Para adequação à qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente é necessário associar a remoção dos poluentes no tratamento ao nível de eficiência do tratamento.

Segundo Von Sperling (2005) o tratamento de esgotos é usualmente classificado através dos seguintes níveis:

- *Preliminar* – objetiva a retenção dos sólidos grosseiros. Geralmente quando se há estações elevatórias antecedendo as ETE's, este tipo de tratamento é realizado à montante do poço de sucção para proteção dos equipamentos eletromecânicos;

- *Primário* – visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica;
- *Secundário* – o objetivo principal é a remoção de matéria orgânica.
- *Terciário* – objetiva a remoção de nutrientes e de poluentes não removidos no tratamento secundário.

3.2 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

As lagoas de estabilização são basicamente bacias terrestres, projetadas dentro de critérios técnicos e científicos com a intenção de tratar águas residuárias brutas ou efluentes pré-tratados. Elas recebem uma variedade de águas residuárias domésticas e resíduos industriais complexos e funcionam sob uma ampla variação de condições ambientais.

Os resíduos são submetidos à degradação biológica natural, envolvendo principalmente bactérias e algas (SILVA; MARA, 1979), de maneira a estabilizar, ou seja, mineralizar o máximo possível de sua carga orgânica e destruir microrganismos patogênicos e não patogênicos nelas existentes.

Segundo Dorego e Leduc (1996 apud KELLNER; MOREIRA; PIRES, 2009) as lagoas de estabilização são modeladas para conter águas residuárias até que o efluente desejado seja obtido através da ação dos microrganismos presentes no sistema. O processo de tratamento é realizado pela capacidade destes microrganismos em quebrar as moléculas orgânicas complexas em substâncias inorgânicas mais simples no processo de síntese celular.

Sem a utilização de equipamentos mecânicos para introdução de oxigênio e agitação da massa líquida, as lagoas de estabilização reproduzem os fenômenos naturais de depuração. Diferentemente das lagoas aeradas, nas lagoas de estabilização a introdução de oxigênio é realizada através do afluente, vento e da produção fotossintética realizada pelas algas.

A eficiência dos sistemas de tratamento de lagoas de estabilização de esgotos depende de inúmeros fatores, incluindo: o tipo de águas residuárias, o regime de carga orgânica, a geometria e configuração do sistema das lagoas, fatores climáticos e das condições ambientais, como temperatura do ar e a quantidade de vento e da luz solar incidente sobre a lagoa.

As lagoas de estabilização baseiam-se em dois princípios fundamentais: respiração e fotossíntese. O primeiro constitui-se no processo pelo qual os microrganismos conseguem quebrar as moléculas orgânicas e no segundo, sintetizar a matéria orgânica e liberar oxigênio a massa líquida.

A maior parte dos seres fotossintetizantes, que são todos vegetais, desprende oxigênio no meio como subproduto de sua atividade. Estabelece-se assim um círculo vicioso, no qual os organismos fotossintetizantes estabilizam a matéria orgânica liberando oxigênio no meio, e os organismos heterótrofos alimentam-se da matéria orgânica, utilizam o oxigênio para sua oxidação e liberação de CO₂ necessário à fotossíntese.

O sistema de lagoas de esgotos tem sido considerado como sendo uma das soluções mais convenientes para o tratamento das águas residuárias.

Comparando-se os custos operacionais de outros sistemas de tratamento de esgotos como, por exemplo, o de lodos ativados, o sistema de lagoas de estabilização tem se apresentado como solução eficaz principalmente nos países em desenvolvimento, em virtude de sua alta eficiência, quando bem manipulada.

Os sistemas de lagoas estão associados a uma simples operação, quando comparados a outros sistemas de tratamento de esgotos, tais como os de lodos ativados ou filtros biológicos.

Entre as principais vantagens do sistema de lagoas sobre outros métodos de tratamento de águas residuárias, podemos citar: alta eficiência no tratamento de grande parte dos efluentes gerados; flexibilidade e simplicidade no sistema e baixo custo, apontados por Mara et al, 1992.

Como desvantagem, a principal causa é atribuída à necessidade de grande área para sua construção, lançamento de nutrientes nos corpos receptores e também no aspecto visual.

No Brasil, as condições meteorológicas e climáticas são extremamente favoráveis a este processo de tratamento, contribuindo também para isto a disponibilidade de grandes extensões de áreas na maioria das cidades, que favorecem a adoção dos sistemas de lagoas para o tratamento de esgoto sanitário.

Pode-se citar uma série de configurações de sistema de tratamento com lagoas de estabilização, variando de acordo com a atividade metabólica predominante na degradação da matéria orgânica em anaeróbias, facultativas e maturação.

- **Lagoas anaeróbias**

As lagoas anaeróbias são usualmente profundas, entre 3m e 5 m. São responsáveis pela remoção de 50% a 70% da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), havendo necessidade, portanto, de uma unidade posterior de tratamento (Figura 1). As unidades posteriores mais utilizadas são as lagoas facultativas segundo Von Sperling (2002), neste caso como tratamento secundário. Em certos casos também é realizado o tratamento terciário através de uma lagoa de maturação.

Figura 1 - Sistemas de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas

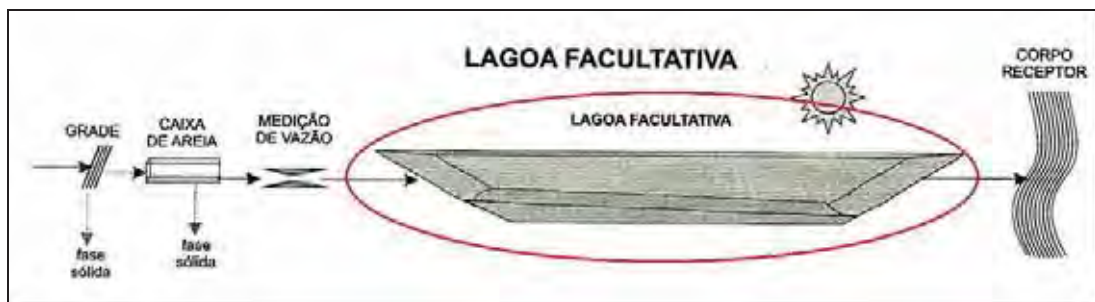


Fonte: Adaptado Von Sperling (2002).

- **Lagoas facultativas**

Segundo Von Sperling (2002), as lagoas facultativas que recebem esgoto bruto são denominadas lagoas primárias. As lagoas facultativas dependem unicamente de fenômenos naturais. O esgoto entra e sai continuamente da lagoa, conforme apresentado na Figura 2.

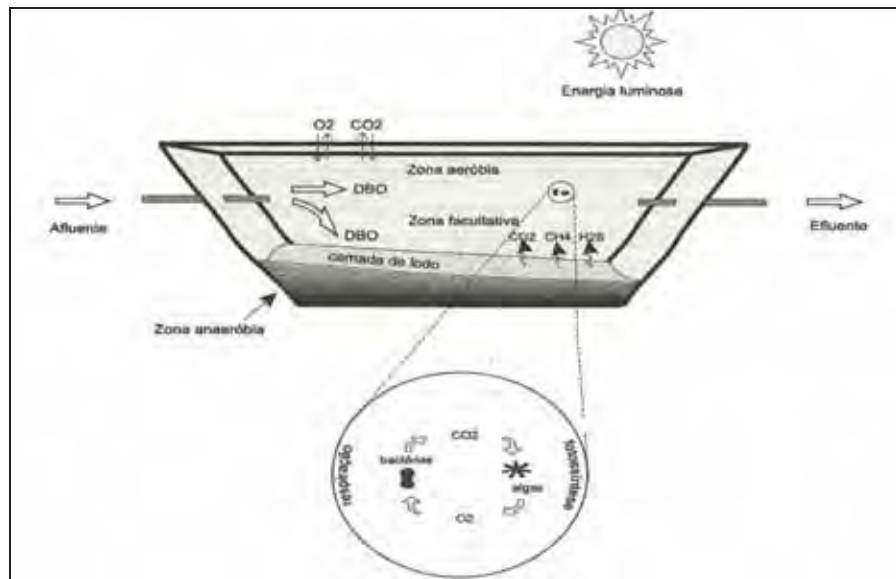
Figura 2 - Sistema de lagoa facultativa



Fonte: Adaptado Von Sperling (2002).

Na lagoa facultativa, a matéria orgânica dissolvida e finalmente particulada é estabilizada por bactérias facultativas (capacidade de sobreviver tanto na presença como na ausência de oxigênio) dispersas no meio líquido, ao passo que a matéria orgânica suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese conforme esquema da Figura 3 (VON SPERLING, 2002).

Figura 3 - Esquema de uma lagoa facultativa



Fonte: Adaptado Von Sperling (2002)

- **Lagoas de maturação**

As lagoas de maturação são utilizadas ao final de um sistema de lagoas de estabilização em série objetivando a melhoria da qualidade do efluente final na remoção de organismos patogênicos, principalmente coliformes termotolerantes (JORDÃO; PESSOA, 1995).

Figura 4 - Esquema de uma lagoa de maturação



Fonte: Adaptado Von Sperling (2002)

3.2.1 Critérios para dimensionamento de uma lagoa de estabilização de esgotos

Para dimensionamento de lagoas de estabilização, verifica-se atualmente na literatura uma grande gama de modelos matemáticos, que tem como finalidade principal a remoção de matéria orgânica, estimada quase sempre pela DBO, uma análise morosa e de certa forma dispendiosa.

Os dados estimados e propostos por modelos matemáticos, nem sempre condizem às condições reais, fato que ocasiona eficiências de tratamento abaixo do esperado para as mesmas.

Em termos de fluxo no reator, têm-se as duas condições (VON SPERLING, 1996):

- **Fluxo intermitente (em batelada)**- o conteúdo do reator é misturado completamente. Os elementos são expostos ao tratamento por um tempo igual de permanência no reator. Não há fluxo entrando ou saindo continuamente.

- **Fluxo contínuo** – entrada e saída dos elementos de forma contínua.

Ainda segundo Von Sperling (1996), nos dois modelos hidráulicos básicos em termos de padrão de mistura, se enquadram os modelos de fluxo em pistão e mistura completa.

- **Fluxo em pistão** – ocorre quando as partículas entram continuamente em uma extremidade do tanque, passam através do mesmo e são descarregadas na outra extremidade, sem misturas longitudinais. As partículas mantêm a sua identidade e permanecem no tanque por um período igual ao tempo de detenção hidráulica. Geralmente, este tipo de fluxo é reproduzido em tanques longos, com uma elevada relação comprimento-largura. O Quadro 1 mostra as principais equações que envolvem este tipo de mistura segundo Von Sperling (1996).

Quadro 1 - Equações para o cálculo da concentração ao longo do tanque e da concentração efluente ao longo do tempo

Reação	Concentração ao longo do reator (em um dado tempo)	Concentração efluente ao longo do tempo
Substância conservativa ($r_c=0$)	$C = C_o$	$C_e = C_o$
Substância biodegradável (reação de ordem zero; $r_c=K$)	$C = C_o - K \cdot \frac{d}{v}$	$C_e = C_o - K \cdot t_h$
Substância biodegradável (reação de primeira ordem; $r_c=K \cdot C$)	$C = C_o \cdot e^{-K \cdot \frac{d}{v}}$	$C_e = C_o \cdot e^{-K \cdot t_h}$

C – concentração em um dado ponto do tanque (g/m³)

C_o – concentração afluente (g/m³)

K – constante da reação (d⁻¹)

D – distância de percurso ao longo do tanque (m)

v – velocidade horizontal de percurso (m/d)

t_h – tempo de detenção hidráulica (=volume/vazão)(d)

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)

A formulação matemática expressa na equação abaixo é obtida aplicando-se a equação do balanço de massa a um elemento de volume do reator com escoamento em pistão segundo Meneses (2006):

$$\frac{dC}{dt} \cdot \Delta V = Q \cdot C_x - Q \cdot C_{x+\Delta x} + r_c \cdot \Delta V$$

Após simplificações, substituindo-se ΔV por $A_c \Delta x$ e considerando-se o limite de Δx tendendo a zero, obtém-se a equação:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{Q}{A_c} \cdot \frac{dC}{dx} + r_c$$

Onde Q é a vazão; C é a concentração do poluente afluente do reator, r_c é a taxa de reação e A_c é a área da seção transversal do reator.

- **Mistura completa** – ocorre quando as partículas que entram no tanque são imediatamente dispersas em todo o corpo do reator. Em todos os pontos as partículas possuem a mesma concentração do poluente. O fluxo de entrada e saída é contínuo. Esta mistura pode ser obtida em tanques circulares ou quadrados se o conteúdo do tanque for contínuo e uniformemente distribuído. O Quadro 2 mostra as

principais equações que envolvem este tipo de mistura segundo Von Sperling (1996).

O modelo físico utilizado no equacionamento matemático de um reator de mistura completa, segundo Meneses (2006), pode ser descrito na forma literal pela expressão:

Acúmulo do componente = (Quantidade que entra)-(Quantidade que sai)+(Geração do componente no reator)

Quadro 2 - Equações para o cálculo da concentração ao longo do tanque e da concentração efluente ao longo do tempo

Reação	Concentração ao longo do reator (em um dado tempo)	Concentração efluente ao longo do tempo
Substância conservativa ($r_c=0$)	$C = C_o$	$C_e = C_o$
Substância biodegradável (reação de ordem zero; $r_c=K$)	$C = C_o - K.t_h$	$C_e = C_o - K.t_h$
Substância biodegradável (reação de primeira ordem; $r_c=K.C$)	$C = C_o / (1 + K.t_h)$	$C_e = C_o / (1 + K.t_h)$

C – concentração em um dado ponto do tanque (g/m^3)

C_o – concentração afluente (g/m^3)

K – constante da reação (d^{-1})

D – distância de percurso ao longo do tanque (m)

v – velocidade horizontal de percurso (m/d)

t_h – tempo de detenção hidráulica (=volume/vazão)(d)

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)

Traduzida matematicamente pela seguinte equação:

$$V \frac{dC}{dt} = Q.C_o - Q.C + r.V$$

Onde C é a concentração do efluente, C_o a concentração do afluente, V o volume do reator e r_c é a taxa de reação volumétrica.

- **Fluxo disperso** – é obtido num sistema onde o grau de mistura é intermediário entre os dois extremos, fluxo em pistão e mistura completa. Devido a dificuldades na modelagem, são consideradas aproximações para um dos modelos hidráulicos ideais. O fluxo de entrada e saída é contínuo.

Após a obtenção do número de dispersão e o consecutivo conhecimento do fluxo hidráulico predominante, se torna possível a aplicação de modelos matemáticos que avaliam a remoção de matéria orgânica nas lagoas, fato que pode ser útil ao dimensionamento de novos sistemas de lagoas de estabilização e para a avaliação de sistemas já operantes.

Tendo em vista a correlação entre as características hidrodinâmicas das lagoas de estabilização e a remoção de matéria orgânica, torna-se interessante a aplicação de modelos correlacionados a estes parâmetros, visando avaliar sua aplicabilidade.

Segundo Meneses (2006) a configuração física do reator com fluxo disperso é a mesma utilizada no reator com fluxo em pistão, sendo que o balanço de massa depende também da intensidade de dispersão. Para generalizar esse balanço deve ser adotada uma expressão para o fluxo de massa n_x . Considerando-se $n_x = C.U_x$, onde C é uma função que descreve a concentração mássica na direção x , o balanço de massa resulta na seguinte expressão:

$$\frac{dC}{dt}.V = n_x.A_c - n_{x+\Delta x}.A_c + k.C.V$$

Onde A_c é a área da seção transversal, Δx o comprimento do elemento de controle e V o volume do elemento de controle representado pelo produto de A_c , por Δx .

3.2.2 Fatores interferentes no processo

De acordo com Jordão e Pessoa (1995) fatores ligados ao escoamento hidráulico, ocorrência de curtos-circuitos, dispersão, influenciam diretamente na eficiência do sistema.

Alguns destes fatores são controláveis ou adaptáveis ao projeto; outros não são controláveis e devem ser considerados de forma criteriosa, de modo que sua interferência seja desprezível ou até benéfica.

3.2.2.1 Fatores controláveis

Segundo Jordão e Pessoa (1995), alguns fatores, necessários na elaboração de um projeto, são controláveis, como:

- *Tipo de águas residuárias:* doméstico, industrial, agrícola, é de importância para o tratamento. As águas residuárias de origem doméstica são mais facilmente tratadas se comparadas com as de origem industrial que devem ser analisadas a sua origem não devendo apresentar substâncias tóxicas.
- *Vazão afluyente:* as lagoas devem ser dimensionadas considerando a vazão média afluyente e se é precedida ou não de pré-tratamento.
- *Concentração da DBO e DQO:* parâmetro de carga orgânica com influência direta no comportamento da lagoa, aplicada por área superficial (kg.DBO/ha.d) usado no seu dimensionamento.
 - DBO (Demanda bioquímica de oxigênio): quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea (VON SPERLING, 2005).
 - DQO (Demanda química de oxigênio): o teste de DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido em função da oxidação química da matéria orgânica. O valor obtido é indicação indireta da matéria orgânica presente (VON SPERLING, 2005).
- *Concentração de coliformes:* tem-se como parâmetro para esgotos domésticos a carga de 10^{12} CF/hab.d.
- *Concentração de nutrientes:* necessários para uma adequada decomposição biológica.
- *Toxidade:* substâncias tóxicas não devem ser admitidas, pois impedem o desenvolvimento biológico.
- *Substâncias com cor:* impedem a passagem da luz solar.

3.2.2.2 Fatores não controláveis

Para os fatores não controláveis, segundo Jordão e Pessoa (1995), não se exerce nenhum tipo de ação visando modificá-los. São fatores meteorológicos, hidrológicos, e os relacionados à intensidade luminosa conforme segue discriminado a seguir:

- *Evaporação*: a evaporação da água altera a concentração de sólidos, da matéria orgânica e elementos presentes, geralmente se encontra em função do vento, temperatura do ar e da água. O valor de interesse para projeto é a evaporação média.
- *Precipitação pluviométrica*: dependendo da duração e intensidade da chuva poderá provocar uma diluição desfavorável ao processo. Deve se conhecer para projeto a precipitação média.
- *Temperatura*: é o fator mais significativo uma vez que se relaciona com outros fatores como a radiação solar, a velocidade da fotossíntese, a velocidade do metabolismo dos organismos. Temperaturas mais elevadas resultam em condições mais favoráveis a uma melhor eficiência no processo. A eficiência da lagoa é dependente da temperatura, ou seja, a atividade de microrganismos na degradação da matéria orgânica é influenciada diretamente pela temperatura do meio circundante.

De acordo com Jordão e Pessoa (1995), na camada anaeróbia o limite inferior é de 15°C para que as bactérias anaeróbias possam ter atividade normal. Nas zonas aeróbia e facultativa a faixa de atividade normal das bactérias e algas se encontra entre 5 e 35°C. Como base para projetos deve-se considerar o mês mais frio do ano.

Segundo Varejão-Silva (2005 apud SILVA, 2006) as expressões “temperatura do ar à superfície e temperatura do ar à sombra” são usadas em meteorologia, de modo equivalente, para definir a temperatura de um ponto da atmosfera próximo à superfície da terra. Para obter um melhor comparativo de resultado, os instrumentos de medição da temperatura devem estar localizados

entre 1,25 a 2,00 metros acima do terreno. Esta padronização faz com que a temperatura do solo não interfira na real temperatura do ambiente.

- *Ventos*: responsáveis pela homogeneização da massa líquida. É também responsável em uniformizar a distribuição do oxigênio dissolvido e aumentar a superfície de contato das partículas de água com a atmosfera, consequentemente aumentando a transferência do oxigênio. Segundo Jordão e Pessoa (1995), o sentido do escoamento deve coincidir com o sentido dos ventos dominantes diminuindo o efeito de ondas maiores e favorecendo a acumulação da matéria flutuante.

- *Nuvens*: elemento que interpõe à passagem da radiação solar e diminui a intensidade luminosa.

- *Radiação solar*: influi diretamente na velocidade da fotossíntese.

Segundo Von Sperling (2002), as principais condições ambientais em uma lagoa de estabilização são a radiação solar, a temperatura e o vento conforme Quadro 3:

Quadro 3 - Influência dos principais fatores ambientais externos

Fator	Influência
Radiação solar	• Velocidade de fotossíntese
Temperatura	• Velocidade de fotossíntese • Taxa de decomposição bacteriana • Solubilidade e transferência de gases • Condições de mistura
Vento	• Condições de mistura • Reaeração atmosférica

Fonte: Von Sperling (2002)

As lagoas de estabilização não podem ser cercadas com obstáculos naturais ou artificiais que impeçam a entrada dos ventos nem de formatos irregulares que dificultem a homogeneização de todas as áreas da lagoa principalmente as marginais.

A influência do vento e da temperatura é importante fator para propiciar a mistura que é necessária para os seguintes aspectos (SILVA; MARA, 1979):

- Minimização de curtos-circuitos hidráulicos;
- Minimização de zonas mortas;
- Homogeneização da distribuição vertical da DBO, algas e oxigênio;
- Transporte para zona fótica das algas não motoras que tendem a sedimentar;
- Transporte para camadas mais profundas do oxigênio produzido pela fotossíntese na zona fótica.

Nas lagoas de estabilização existe a ocorrência da estratificação térmica, ou seja, a camada superior (quente) não se mistura com a inferior (fria) devido à diferença de densidade e viscosidade. O aquecimento diferenciado das camadas de água gera um perfil de densidade, estando as camadas menos densas localizadas junto à superfície da lagoa e, as mais densas, junto ao fundo.

Essa diferença de densidade na coluna líquida provoca alteração no padrão de escoamento e a diminuição do volume útil de reação da lagoa, afetando o tempo de detenção hidráulico (TDH) e a eficiência do tratamento.

Devido à dificuldade de mistura entre as camadas de diferentes densidades formam-se duas regiões bem definidas, denominadas epilímnio e hipolímnio. A camada superior, chamada epilímnio, é quente, turbulenta, com temperatura uniforme e rica em oxigênio dissolvido. O hipolímnio, camada inferior que fica junto ao fundo, é mais fria, com menores níveis de turbulência e é anóxica (KELLNER; PIRES, 1998).

3.2.3 COMPORTAMENTO HIDRÁULICO E HIDRODINÂMICO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Tendo em vista a correlação entre as características hidrodinâmicas das lagoas de estabilização e a remoção de matéria orgânica, torna-se interessante

a aplicação de modelos correlacionados a estes parâmetros, visando avaliar sua aplicabilidade.

Segundo Kellner e Pires (1998), as características hidrodinâmicas das lagoas de estabilização são muito importantes no processo de autodepuração que ocorre nessas unidades de tratamento de esgotos.

3.2.3.1 Ventos

O vento é resultante do deslocamento de massas de ar, proveniente das diferenças de pressão atmosférica entre regiões distintas e é influenciado pela topografia local. Segundo Moraes (2009), estas diferenças de pressão estão relacionadas com a radiação solar e os processos de aquecimento das massas de ar.

A determinação do vento depende de fatores como altitude, relevo, direção, entre outros. Para que os valores sejam utilizados para a previsão de ondas, devem ser padronizados segundo critérios específicos e é necessária a correção da velocidade do vento segundo U.S. Army Corps of Engineers (2001 apud MORAIS, 2009) como:

- *Elevação*, os ventos medidos a uma altura diferente de 10 m necessitam de correção;
- *Efeitos de localização*, geralmente as medições de velocidade não são realizadas na água e sim na terra, havendo, portanto, uma relação entre a velocidade do vento na água e a velocidade do vento na terra;
- *Correção da estabilidade*, relativa às diferenças de temperatura do ar e da água.
- *Velocidade média no tempo*, geralmente a velocidade dos ventos é observada e relatada como velocidade máxima medida pelo período de 24 horas. Estudos indicam que esta velocidade máxima ocorre em período menores que dois minutos.

- *Coeficiente de arrasto* para corpos d'água interiores, lagos, baías e estuários é recomendado a utilização de dados de ventos obtidos através de instrumentação, como anemômetros e anemógrafos, como é o caso do presente trabalho.

No caso de geração de ondas é necessário, segundo Moraes (2009) que exista uma fonte de energia que, ao ser transmitida à água, produza movimento oscilatório das partículas do líquido sem que haja transporte de massa. Segundo Moraes (2009) em sua pesquisa, as ondas se desenvolvem por transferência de energia entre o vento e a superfície do corpo d'água.

Segundo Moraes (2009), o local que recebe os efeitos do vento é chamado de área de geração. Pela contínua ação dos ventos, as ondas vão se modificando, até que, ao sair desta área assumem forma mais regular e simétrica. Quando a velocidade do vento persiste o bastante e tem área suficiente para atuar, atinge-se um limite em que a transferência de energia do ar para a água iguala à taxa de dissipação de energia por arrebentação das ondas.

3.2.3.2 Estratificação térmica

Devido à diferença de temperatura ou salinidade entre as camadas líquidas das lagoas, as camadas mais leves tendem a se sobrepor às mais densas criando condição de estratificação. Essa estratificação pode ser quebrada pelo vento que sopra sobre a superfície da água. As camadas superficiais do corpo d'água são misturadas graças aos efeitos cisalhantes e de mergulho que o vento exerce sobre o líquido e, no decorrer do tempo, as camadas mais densas e menos turbulentas misturam-se às menos densas (CHU, SOONG, 1997 apud KELLNER, MOREIRA, PIRES, 2009).

Nas lagoas de estabilização, a zona afetada pelas correntes de circulação depende da estabilidade da estratificação, da magnitude da vazão e da geometria da lagoa.

Como os dispositivos de saída das lagoas estratificadas localizam-se na região do epilímnio e, por serem as vazões efluentes pequenas em relação ao

volume total da lagoa, o fluxo vem apenas dessa zona. Portanto, a região de tomada de água é aquela determinada pelo volume útil da lagoa, com influência direta sobre o tempo de detenção hidráulica (TDH) da lagoa e a ocorrência de curtos-circuitos.

Entre os problemas hidráulicos provocados pela estratificação térmica está a diminuição do volume da zona ativa (volume útil de reação) e, conseqüentemente do Tempo de Detenção Hidráulico (TDH). Vários estudos sobre a influência da estratificação térmica na eficiência da mistura em uma lagoa de estabilização já foram desenvolvidos.

Observa-se que no inverno a zona ativa estende-se até o fundo da lagoa e, durante o verão a zona ativa estende-se da superfície até a profundidade onde se localizava a tubulação de saída do efluente. Os volumes das zonas ativas foram estimados como sendo 70% e 20% do volume total da lagoa durante o inverno e o verão, respectivamente (TORRES et al., 1997, 2000).

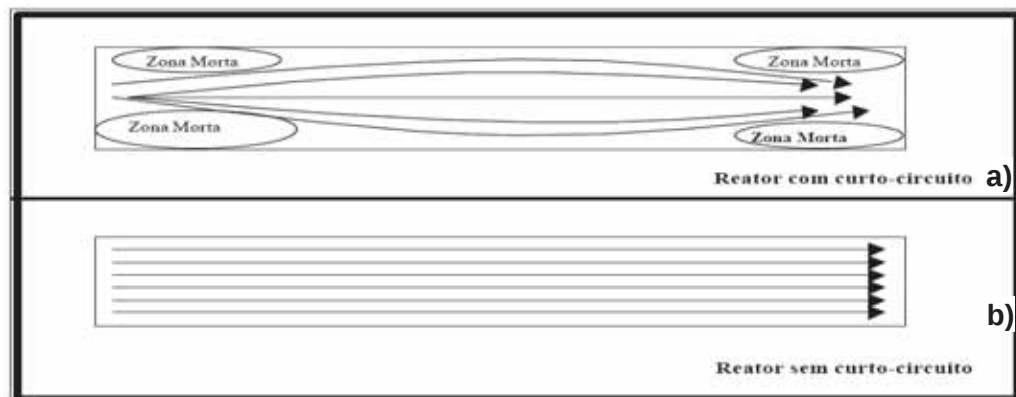
Ainda segundo Torres et al (2000), com a estratificação térmica, as algas têm o seguinte comportamento:

- Sedimentação das algas não motoras, deixando de produzir e passando a consumir oxigênio;
- As algas motoras tendem a fugir da camada mais superficial de elevada temperatura, formando uma densa camada a qual dificulta a penetração da energia solar.

3.2.3.3 Curtos-circuitos

O termo curto-circuito, segundo Teixeira (1995) apud Naval et al., (2002) é usado para descrever situações em que o tempo de residência real na lagoa é inferior ao tempo de detenção hidráulico teórico, ou seja, o fluido dentro do reator percorre caminhos que reduzem sua permanência conforme ilustrado na figura 5, fato prejudicial à decomposição da matéria orgânica.

Figura 5 – Demonstração de reator com curto-circuito (a) e sem curto-circuito (b)



Fonte: Kellner e Pires (1998)

Consequências dos curtos-circuitos

De acordo com Uehara e Vidal (1989) e Jordão e Pessoa (1995 apud KELLNER; PIRES, 1998), a ocorrência de curtos-circuitos também pode ser observada pelas baixas concentrações de oxigênio dissolvido em partes da lagoa, condições anaeróbias e baixos valores de pH. Os autores relatam que a variação de 100 a 200% nos valores de OD pode indicar a má distribuição do afluente da lagoa, sendo provável que estejam ocorrendo curtos-circuitos.

As possíveis causas de problemas de curto-circuito ou formação de correntes preferenciais, segundo Kellner e Pires (1998) podem ser:

- Má distribuição do afluente em relação à forma geométrica da lagoa;
- Presença de obstáculos que impeçam a ação dos ventos;
- Irregularidades no fundo da lagoa;
- Presença de vegetais aquáticos no fundo da lagoa.

Os curtos-circuitos são consequências de significativa estratificação térmica que ocorre no meio líquido em sua distribuição vertical.

Segundo Kellner e Pires (1998), uma conhecida forma de melhorar a eficiência destes reatores biológicos é o uso de chicanas cuidadosamente orientados em relação à direção predominante do vento. A temperatura também pode influenciar o desempenho hidráulico de um reator, especialmente durante os períodos mais quentes. No verão, lagoas mais profundas do que 2 ou 3 m, também se estratificam termicamente, o que aumenta significativamente a sua percentagem de zonas mortas.

3.2.3.4 Zonas mortas

As zonas mortas representam as regiões em que os tempos de permanência de partículas do líquido no seu interior são, em média, relativamente altos, quando comparados ao valor do tempo teórico de detenção hidráulico (TEIXEIRA, 1995).

Segundo Chu e Soong (1997) apud Kellner, Moreira e Pires (2009) no interior das lagoas de estabilização pode ocorrer a formação de três regiões distintas entre si: zona advectiva, zona morta e zona de mistura. A principal diferença entre a zona morta e a zona de mistura, é a velocidade de troca do líquido entre a referida zona e a zona advectiva. A zona morta apresenta uma taxa de troca muito menor quando comparada à região de mistura. As zonas mortas não fazem parte do volume pelo qual o líquido escoar; dessa maneira, o volume efetivo da lagoa é menor que o volume total e o TDH real é menor que o TDH teórico, ocorrendo então os chamados curtos-circuitos como apresentado na Figura 5.

As zonas mortas podem ser formadas por material sedimentado no fundo da lagoa, desenvolvendo bancos de lodo, e por regiões da massa líquida, principalmente do hipolímnio, quando estagnadas devido à ocorrência de estratificação térmica duradoura. Dessa maneira, do ponto de vista térmico, há um volume útil formado principalmente por uma zona advectiva e uma zona de mistura, que deve influenciar o TDH da lagoa ao longo do dia.

4 ESTUDO DE CASOS

As lagoas de estabilização de esgotos têm se tornado cada vez mais populares no Brasil e também em outros países, por apresentarem baixos custos de implantação e operação, tudo como consequência do aumento na demanda por água, preocupação pela saúde da população e com o saneamento ambiental.

As lagoas de estabilização oferecem boa qualidade de efluentes, com um alto grau de desinfecção e um baixo teor em matéria orgânica quando bem projetadas.

A crescente utilização de lagoas de estabilização levou a um interesse em rever os métodos tradicionais de sua concepção, a fim de elevar a eficiência das instalações e reduzir as necessidades das áreas para a sua implantação. Um dos aspectos que vêm sendo abordados está relacionado com o desempenho hidráulico e hidrodinâmico das lagoas de estabilização em pesquisas realizadas com traçadores e *drogues*.

- Moreno (1990) injetou traçador na entrada de cada uma das lagoas facultativas em cinco instalações. As funções de distribuição resultante do tempo foram utilizadas para calcular o tempo médio de residência hidráulico e a extensão do curto-circuito dentro das lagoas. A porcentagem de zonas mortas variou de 10 a 42%.

- Kellner, Moreira e Pires (2009) realizaram ensaios hidrodinâmicos com o traçador Rodamina B e concluíram que as lagoas possuem comportamento semelhante ao de reatores com mistura completa, com zonas mortas, volume útil de aproximadamente 60% na lagoa facultativa e 30% na lagoa de maturação.

- Short, Cromar e Fallowfield (2010) apresentaram resultados dos experimentos realizados com traçador para caracterizar o comportamento hidrodinâmico de diversos sistemas avançados de tratamento de lagoa em escala

piloto. Os resultados desta pesquisa, em geral, destacam a importância da realização da caracterização detalhada do funcionamento hidrodinâmico de sistemas de tanques experimentais e também enfatizam o valor da pré-validação do projeto hidráulico de reatores experimentais utilizadas para a investigação lagoa de estabilização.

Existem também outras técnicas disponíveis para investigar o tipo de comportamento hidrodinâmico em lagoas de estabilização de esgotos, como por exemplo, o uso de computadores através de modelagem em laboratório, utilização de “*drogues*” (flutuadores) dispostos nas lagoas com a intenção de medir e determinar a velocidade e o padrão de fluxo, bem como a existência de curtos-circuitos (MENESES, 2006).

De acordo com Meneses (2006) a utilização de *drogues* para a medição de corrente de água são mais comumente empregados em estudos de corpos de água maiores como correntes de oceano. Em 1971, Mangelson, utilizou em seu trabalho de tese em lagoas de estabilização quatro *drogues* para realizar uma observação geral das correntes de fluxo.

- Em 1990, Martin *et al* apud Meneses (2006) utilizou *drogues* em lagoas de aquicultura. O movimento dos *drogues* em redor da lagoa foi registrado por uma câmara cinematográfica localizada sobre a lagoa. O cálculo da velocidade do fluxo foi realizado com base na análise das imagens de vídeo produzidas.

Meneses (2006) utilizou laranjas e cocos verdes com a intenção de calcular o fluxo hidráulico na camada de superfície de uma lagoa facultativa na cidade de Natal.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de propriedade da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP – localizada às margens da Rodovia Calimério Correa Sales, vicinal que liga Álvares Florence ao distrito de Boa Vista dos Andradas (Figura 6) latitude sul a 20°19'15"S e longitude oeste a 49°54'39"W e altitude média de 447 m. A cidade de Álvares Florence possui população estimada de 2652 habitantes (IBGE, 2010).

Figura 6 - Localização de Álvares Florence–SP



Fonte: Wikipedia (2011)

A cidade de Álvares Florence possui clima quente e úmido com registro das seguintes médias históricas:

Temperatura média : entre 22 e 25°C

Precipitação média: 1350 mm/ano

5.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

A pesquisa foi realizada na ETE de propriedade da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP – em operação desde 1992, sendo composta por 2 lagoas de estabilização tipo facultativa primária.

Todo o esgoto coletado na área urbana é encaminhado para a lagoa por meio de uma Estação Elevatória de Esgotos (EEE). Dispositivo este necessário devido à diferença de cota existente entre a chegada do emissário e a entrada a ETE conforme mostra Figura 7.

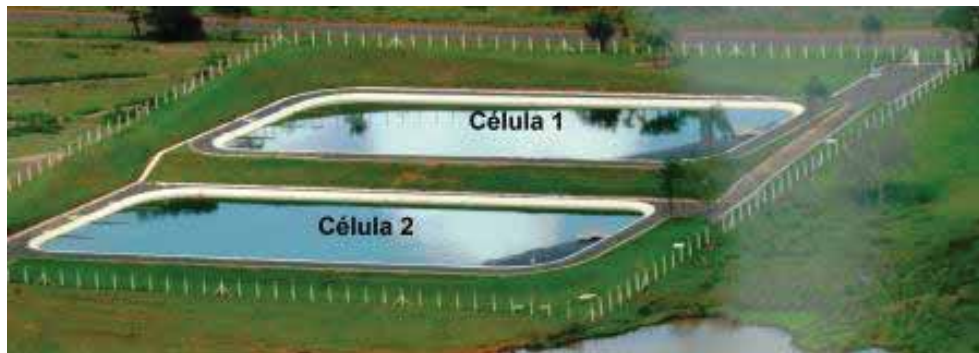
Figura 7 - Estação Elevatória Esgotos (Sabesp-2011)



Fonte: Elaborado pelo autor

A ETE foi concebida para tratar 100% dos esgotos coletados na cidade de Álvares Florence. O volume gerado é dividido em duas lagoas facultativas primárias operadas em paralelo. A ETE é alimentada com esgoto tipicamente doméstico por fluxo intermitente devido à existência da EEE. A Figura 8 mostra a vista da ETE.

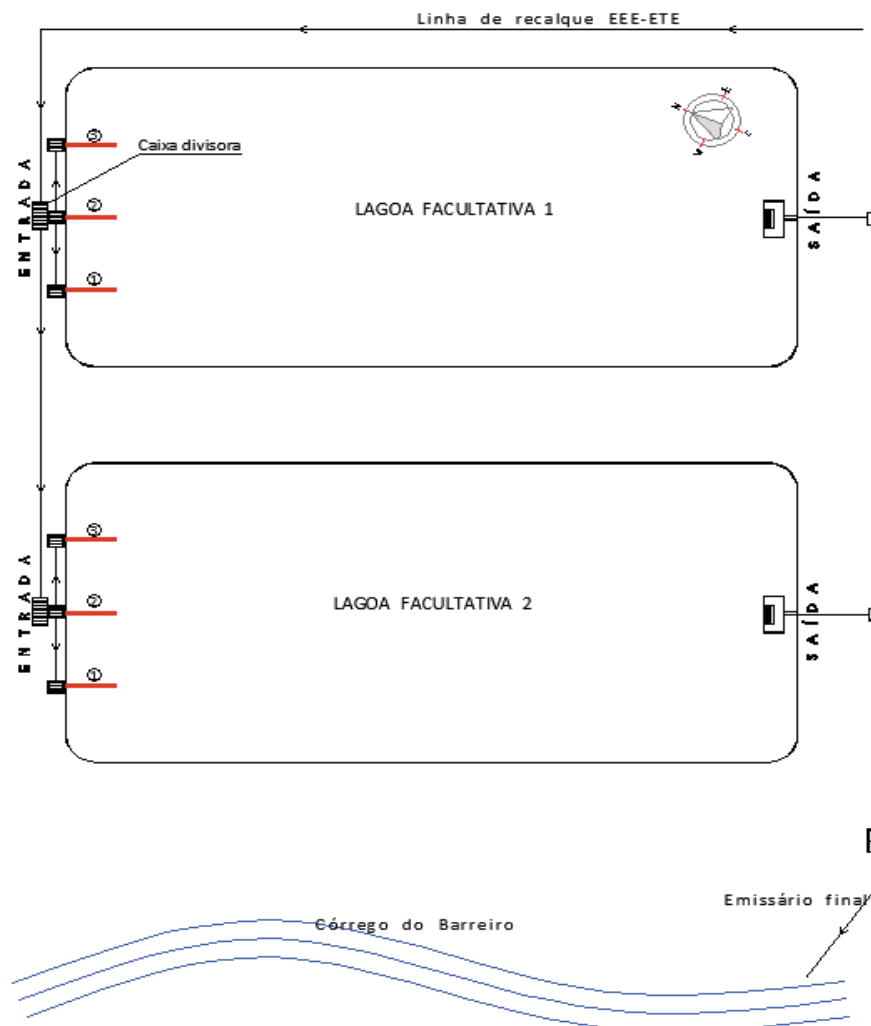
Figura 8 - Vista aérea da ETE Álvares Florence



Fonte: SABESP (2011)

Na Figura 9 é mostrada a configuração da ETE de Álvares Florence.

Figura 9 - Configuração da ETE Álvares Florence (Sabesp-2011)



Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados de projeto da ETE de Álvares Florence têm dimensões conforme informações no Quadro 4:

Quadro 4 - Configurações do Sistema de Tratamento de Esgotos de Álvares Florence

TIPO DE SISTEMA	FACULTATIVO – 2 células em paralelo	
CORPO RECEPTOR	Córrego do Barreiro	CLASSE 2
DADOS OPERACIONAIS		
Estimativa populacional	2680	Habitantes
Número de economias de água	1060	Unidades
Número de economias de esgoto	1024	Unidades
Vazão afluente de esgotos	372	m ³ /dia
Vazão de infiltração	54	m ³ /dia
Vazão total (ETE + infiltração)	426	m ³ /dia
Consumo per capita	0,139	m ³ /d.hab
Carga orgânica	70	kg.DBO/dia
Coeficiente de retorno	80	%
LAGOA FACULTATIVA 1		
Volume	1570	m ³
Área superficial	0,157	ha
Tempo detenção hidráulica	7,4	Dias
Taxa de aplicação superficial	445,2	kg.DBO/ha.dia
LAGOA FACULTATIVA 2		
Volume	1523	m ³
Área superficial	0,160	ha
Tempo detenção hidráulica	7,2	Dias
Taxa de aplicação superficial	436,1	kg.DBO/ha.dia

Fonte: SABESP (2011)

A realização dos experimentos da pesquisa foi desenvolvida na lagoa facultativa 2 da ETE, escolhida por ser menos influenciada pelos cortes e aterros dos taludes quanto à ação dos ventos que a lagoa facultativa 1.

5.3 MATERIAIS

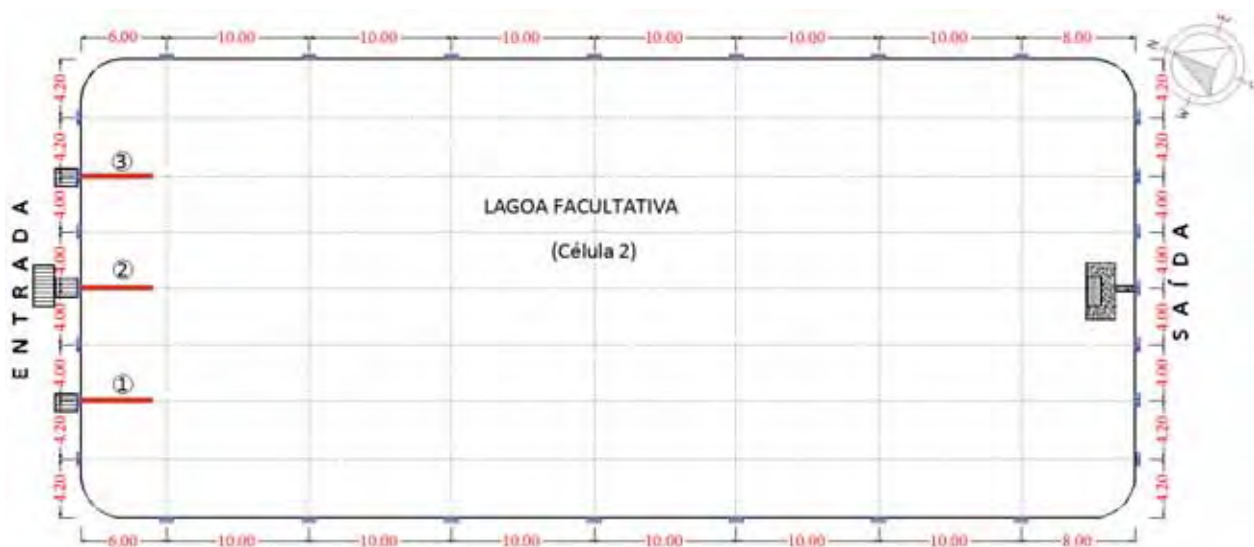
A realização da pesquisa foi dividida em duas etapas sendo a 1ª etapa tendo sido realizada em Novembro e Dezembro de 2010 e a 2ª etapa realizada Fevereiro de 2011.

5.3.1 Demarcação da lagoa

A demarcação da lagoa com piquetes de madeira foi necessária para auxiliar as anotações das posições dos flutuadores durante os experimentos.

A lagoa foi dividida e demarcada nos 04 lados com piquetes conforme mostrado na Figura 10 com a cor azul. No sentido longitudinal em distâncias de 10,00 m, com exceção dos extremos que ficaram com 6,00 m e 8,00 m próximos a entrada e saída, respectivamente, perfazendo um comprimento total de 74,00 m. No sentido transversal, a lagoa foi dividida nas seguintes distâncias: entre a borda da lagoa e a entrada 1, dois espaços de 4,20 m; entre a borda da lagoa e a entrada 3, dois espaços de 4,20 m e mais quatro espaços de 4,00 m entre as entradas 1 e 3, perfazendo uma largura total de 32,80 m de lâmina d'água.

Figura 10 - Distribuição dos piquetes (em azul) na lagoa facultativa 2 da ETE Álvares Florence (Sabesp-2011)



Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.2 Flutuadores

5.3.2.1 *Flutuadores da 1ª etapa*

Para a realização dos experimentos da primeira etapa da pesquisa foram utilizados nove flutuadores confeccionados em tubos PVC para esgotos, diâmetro 50 mm conforme mostra a Figura 11. Para o fechamento dos tubos foram utilizadas placas de PVC de 2 mm de espessura, coladas nas extremidades dos tubos e como lastro foi utilizada brita número 1.

Os flutuadores foram confeccionados em três diferentes cores e dimensões, tendo na parte submersa duas placas em formato “X” de 15,00 x 9,00 cm formando atuadores, conforme segue discriminado e representado na Figura 11:

1. 3 flutuadores com 15 cm de comprimento, ficando 10,00 cm submersos e 5,00 cm emersos pintados na cor amarela denominados de A_1 , A_2 e A_3 ;
2. 3 flutuadores com 25 cm de comprimento, ficando 20,00 cm submersos e 5,00 cm emersos pintados na cor verde denominados V_1 , V_2 e V_3 e;
3. 3 flutuadores com 35 cm de comprimento, ficando 30,00 cm submersos e 5,00 cm emersos pintados na cor azul denominados Z_1 , Z_2 e Z_3 .

Figura 11 - Foto dos flutuadores (1ª etapa)



Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.2.2 Flutuadores da 2ª etapa

Para a realização dos experimentos da segunda etapa da pesquisa foram confeccionados nove flutuadores. O material utilizado para confecção foi tubo PVC para esgotos, diâmetro 50 mm. Para o fechamento dos tubos foram utilizados CAP's de PVC colados, para garantir uma vedação confiável. Foi utilizada brita número 1 como lastro para que pudessem ficar com parte do corpo submerso.

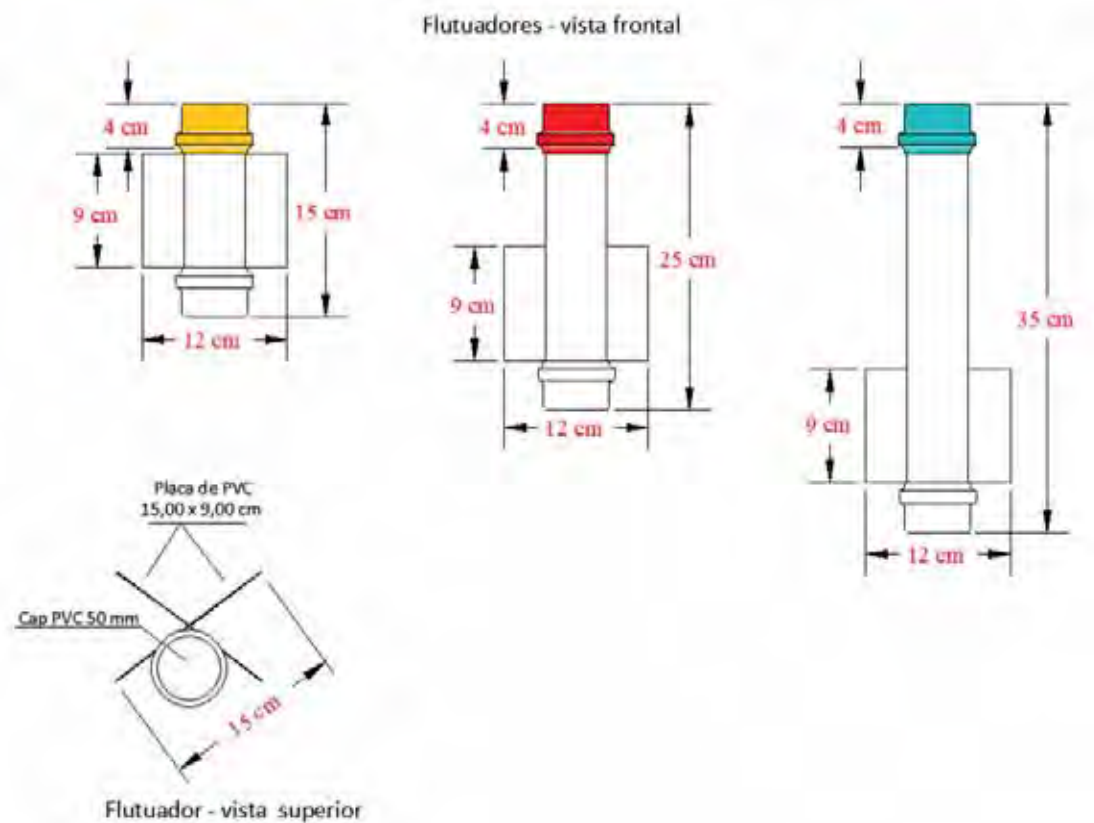
Os flutuadores foram confeccionados em três diferentes cores e dimensões, tendo na parte submersa duas placas em formato "X" de 15,00 x 9,00 cm formando atuadores, conforme segue discriminado a seguir e representado nas Figuras 12 e 13:

1. 03 flutuadores com 15 cm de comprimento, ficando 11,00 cm submersos e 4,00 cm emersos pintados na cor amarela, denominados A_1 , A_2 e A_3 e identificados com os símbolos I, II e III, respectivamente, para identificar a raia experimental;
2. 03 flutuadores com 25 cm de comprimento, ficando 21,00 cm submersos e 4,00 cm emersos pintados na cor vermelha,

denominados de V_1 , V_2 e V_3 e identificados com os símbolos I, II e III, respectivamente, para identificar a raia experimental;

3. 03 flutuadores com 35 cm de comprimento, ficando 31,00 cm submersos e 4,00 cm emersos pintados na cor azul, denominados Z_1 , Z_2 e Z_3 e identificados com os símbolos I, II e III, respectivamente, para identificar a raia experimental.

Figura 12 - Representação dos flutuadores: vista frontal e superior



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 - Foto dos flutuadores (detalhe da marcação “I” do flutuador azul indicando o seu lançamento na raia 1 da lagoa).



Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.2.3 *Calibração dos flutuadores*

Após terem sido construídos, foi efetuada a colocação do lastro (brita número 1) nos flutuadores para que estes ficassem com parte do corpo submerso. Para que todos tivessem a mesma condição, ou seja, ficassem com a mesma área emersa, os flutuadores foram colocados numa piscina para realização da colocação do lastro. Desta forma, todos os flutuadores teriam a mesma condição e área exposta à ação dos ventos.

Para verificar a vedação, os flutuadores permaneceram dentro da piscina durante 24 horas. Isto foi realizado para assegurar que não haveria nenhum problema construtivo que os fizessem submergir durante a realização dos experimentos.

5.4 METODOLOGIA

5.4.1 Ensaios experimentais

Para execução da pesquisa, a metodologia utilizada foi dividida em duas etapas sendo a 1ª etapa realizada nos meses de Novembro e Dezembro de 2010 e a 2ª etapa realizada no mês de Fevereiro de 2011.

5.4.1.1 *Primeira etapa da pesquisa*

Na 1ª (primeira) etapa da pesquisa foram realizados 4 ensaios nos dias 15 e 27 de Novembro e nos dias 05 e 12 de Dezembro de 2010.

Foi definido para esta etapa, que os dados referentes à temperatura do ar, velocidade e direção dos ventos seriam retirados de relatórios enviados pela Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) que mantém uma estação meteorológica no Polo Regional do Noroeste Paulista localizado no município de Votuporanga-SP, distante da ETE de Álvares Florence aproximadamente 22 km.

Foram também realizadas algumas análises *in loco*, como temperatura do ar, direção e velocidade dos ventos.

Nesta etapa foram dispostos, no ensaio 1, 3 grupos de flutuadores (Figura 11) em cada uma das entradas da lagoa facultativa 2 da ETE. Cada grupo de flutuadores compreende 1 flutuador de 15 cm (A), 1 flutuador de 25 cm (V) e 1 flutuador de 35 cm (Z). No ensaio 2 foram dispostos 3 grupos de flutuadores na mesma composição que o ensaio 1, com exceção da entrada 3 que contou com 1 flutuador de 15 cm (A) e 1 flutuador de 25 cm (V). No ensaio 3, foram dispostos 3 grupos de flutuadores composto da seguinte forma: na entrada 1 da lagoa foram lançados 1 flutuador de 15 cm (A), 1 flutuador de 25 cm (V) e 1 flutuador de 35 cm (Z); na entrada 2 e na entrada 3 foram lançados 1 flutuador de 15 cm (A) e 1 flutuador de 25 cm (V).

5.4.1.2 Segunda etapa da pesquisa

Na 2ª (segunda) etapa da pesquisa foram realizados 5 ensaios nos dias 11, 17, 19, 23 e 27 de Fevereiro de 2011.

Os flutuadores utilizados nesta etapa da pesquisa, conforme Figura 13, foram dispostos na entrada da lagoa facultativa 2, assim como na primeira etapa. Nesta etapa foi definido um intervalo padronizado de 30 minutos para a realização das medições das posições dos flutuadores na lagoa, das medições de velocidade e direção do vento.

Nesta etapa, os flutuadores foram definidos para cada raia experimental como descrito no item 4.3.2.2. Em todos os ensaios realizados na segunda etapa, o lançamento dos flutuadores foi efetuado da seguinte forma: na raia número 1 (entrada 1 da lagoa) foram lançados os flutuadores A_1 , V_1 e Z_1 . Na raia número 2 (entrada 2 da lagoa) foram lançados os flutuadores A_2 , V_2 e Z_2 . Na raia número 3 (entrada 3 da lagoa) foram lançados os flutuadores A_3 , V_3 e Z_3 .

A realização da segunda etapa do experimento foi proposta para ratificar dados observados, corrigir avarias que poderiam ter ocorrido na primeira etapa.

Nesta etapa, foram realizadas análises de OD, pH, DQO, temperatura do ar e da amostra e velocidade e direção dos ventos.

Na segunda etapa foram mantidos os piquetes colocados na 1ª etapa com substituições de alguns que foram quebrados e repintados.

5.4.2 Análises laboratoriais

Os parâmetros físico-químicos analisados nas duas etapas da pesquisa e os procedimentos analíticos empregados encontram-se no Quadro 5.

Devido à distância de 180 km entre Ilha Solteira e Álvares Florence dificultando e até impossibilitando a realização de algumas análises laboratoriais, as análises das amostras foram efetuadas *in loco* (ETE): pH, OD e temperatura do ar e da amostra. As análises de DQO foram realizadas nas dependências da SABESP, obedecendo às recomendações quanto à integridade das amostras, sua preservação e prazo para a realização das análises.

Os aparelhos utilizados para as análises químicas estão apresentados nas Figuras 14, 15, 16 e 17.

Quadro 5 - Variáveis analisadas e procedimentos analíticos empregados.

Parâmetros	Métodos	Referências
Temperatura da água (°C)	Termômetro de filamento de mercúrio	APHA (2005)
Temperatura da amostra (°C)	Termômetro de filamento de mercúrio	APHA (2005)
pH	Potenciométrico	APHA (2005)
Oxigênio Dissolvido (mg/l)	Titulométrico (Winkler modificado)	APHA (2005)
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/l)	Colorimétrico (espectrofotometria)	APHA (2005)

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14 - Espectrofotômetro DR/2000 (Análise de DQO - UNESP)



Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 15 - Termo reator MA 4005(ajustado a 150°C)
(Análise de DQO - UNESP)**



Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 16 -
1.Termômetro de mercúrio
(Análise de temperatura do ar e água - SABESP)
2. Medidor de potencial Hidrogeniônico PHTEK
(Análise de pH - SABESP)**



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 17 -
1. Frasco DBO modificado (Hach)
2. Frasco de medição quadrado (Hach)
3. Cubeta de medida (Hach)-volume aproximado de 5,6 ml
(Análise de OD - SABESP)



Fonte: Elaborado pelo autor

5.4.2.1 *Oxigênio Dissolvido (OD)*

Para a determinação do oxigênio dissolvido (OD) as amostras foram coletadas diretamente em frascos de DBO adicionando-se sulfato manganoso e alcalina azida sódica aguardando a floculação e precipitação e em seguida é adicionado ácido sulfúrico. Transfere-se então um volume suficiente até encher a cubeta (Hach) que é transferido para o frasco de medição quadrado (Hach).

Para a medição, é adicionado gota a gota da solução Tiossulfato de Sódio 0,0109N até que a coloração amarelada desapareça, ficando incolor. Cada gota equivale a 1,0 mg/l de O₂ livre.

5.4.2.2 *Demanda Química de Oxigênio (DQO)*

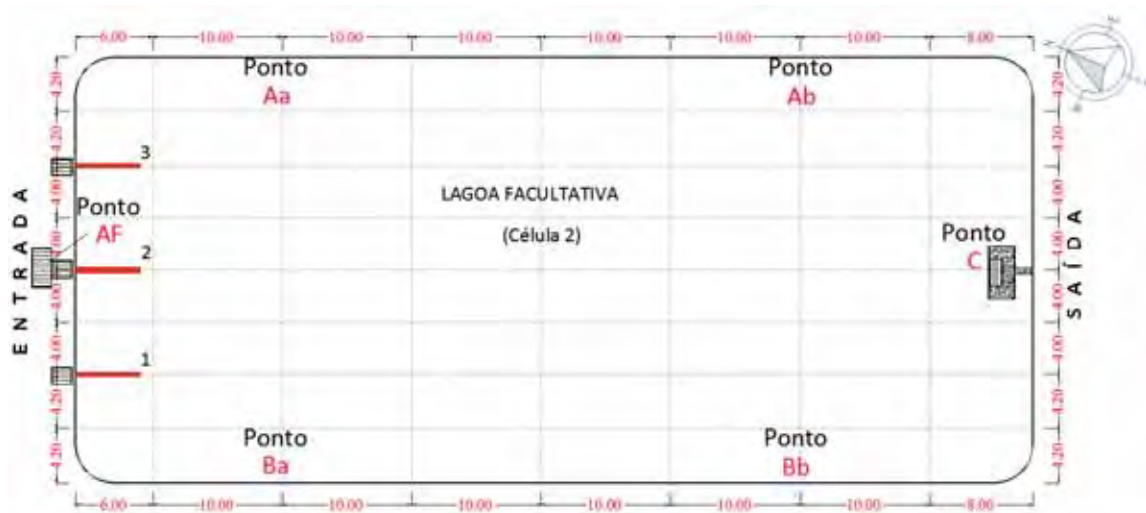
Para análise de DQO foram coletadas amostras estratificadas divididas em 6 (seis) diferentes pontos da lagoa facultativa 2 conforme Figura 18, em três

níveis de profundidade: amostras “1” (a 70 cm de profundidade); amostras “2” (a 40 cm de profundidade) e amostras “3” (a 15 cm de profundidade).

As amostras foram identificadas da seguinte forma:

- Ponto Aa: **Aa₁, Aa₂ e Aa₃**;
- Ponto Ab: **Ab₁, Ab₂ e Ab₃**;
- Ponto Ba: **Ba₁, Ba₂ e Ba₃**;
- Ponto Bb: **Bb₁, Bb₂ e Bb₃**;
- Ponto C: **C₁, C₂ e C₃** e;
- Ponto AF: **AF**.

Figura 18 - Localização dos pontos de coletas estratificadas para análise de DQO na lagoa facultativa 2 da ETE de Álvares Florence (SABESP).



Fonte: Elaborado pelo autor

Para determinação da DQO as amostras foram coletadas em garrafas plásticas (PET) de 2 litros e acondicionadas em caixa térmica com gelo para preservação da amostra até o local das análises.

Para a realização das coletas estratificadas foi utilizado um coletor cilíndrico com abertura inferior controlada, confeccionado com tubo PVC 50 mm com controle de abertura inferior por intermédio de uma bola de borracha afixada numa haste de aço passando pelo interior do tubo conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Coletor de amostras com abertura inferior controlada por haste de aço na extremidade oposta.



Fonte: Elaborado pelo autor

5.4.3 Aspectos climáticos

As variáveis climáticas observadas nesta segunda etapa do estudo foram velocidade e direção dos ventos e temperatura do ar.

5.4.3.1 Temperatura

Para a realização das medições da temperatura do ar foi utilizado o mesmo termômetro da Figura 14. O termômetro utilizado é graduado com escala interna, divisão de grau em grau Celsius, com marcação numérica de 10 em 10. A escala do termômetro varia de -10 a 60°C .

5.4.3.2 Ventos

Para os experimentos foi utilizado um anemômetro da marca/modelo *VEB Anemometerbau Dresden* conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20. Anemômetro VEB Anemometerbau Dresden
(velocidade do vento em m.s^{-1})



Fonte: Elaborado pelo autor

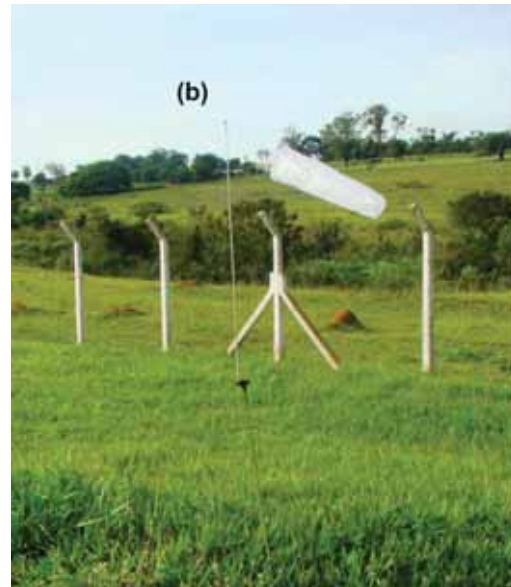
Além da utilização do anemômetro, foram também utilizados uma biruta, para indicar o direcionamento dos ventos, e uma bússola para conhecer a direção de apontamento da biruta conforme ilustrado na Figura 21 e 22. Para cada intervalo de 30 minutos foram realizadas 3 medições de velocidade média do vento com duração de 1 minuto e então extraída a média dos registros.

Figura 21. Foto da bússula (a)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 22. Foto da biruta (b)



Fonte: Elaborado pelo autor

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões das duas etapas da pesquisa, focando-se mais na segunda etapa na qual algumas deficiências observadas na primeira etapa foram melhoradas e algumas observações foram ratificadas.

6.1 1ª ETAPA DA PESQUISA

A 1ª etapa da pesquisa foi realizada no período de 15 de Novembro a 12 de Dezembro de 2010 compreendendo 4 ensaios de aquisição de dados.

6.1.1 Ensaio 1

O Quadro 6 apresenta os valores máximos, mínimos e médios da velocidade dos ventos e a direção que eles atuam no decorrer do ensaio 1 realizado em 15 de novembro de 2010. No relatório enviado pela APTA constava apenas o horário das 17h46 e por este motivo não foi utilizado, pois os dados divergiram dos retirados durante a realização do ensaio.

Quadro 6 - Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 1 (15/11/2010)

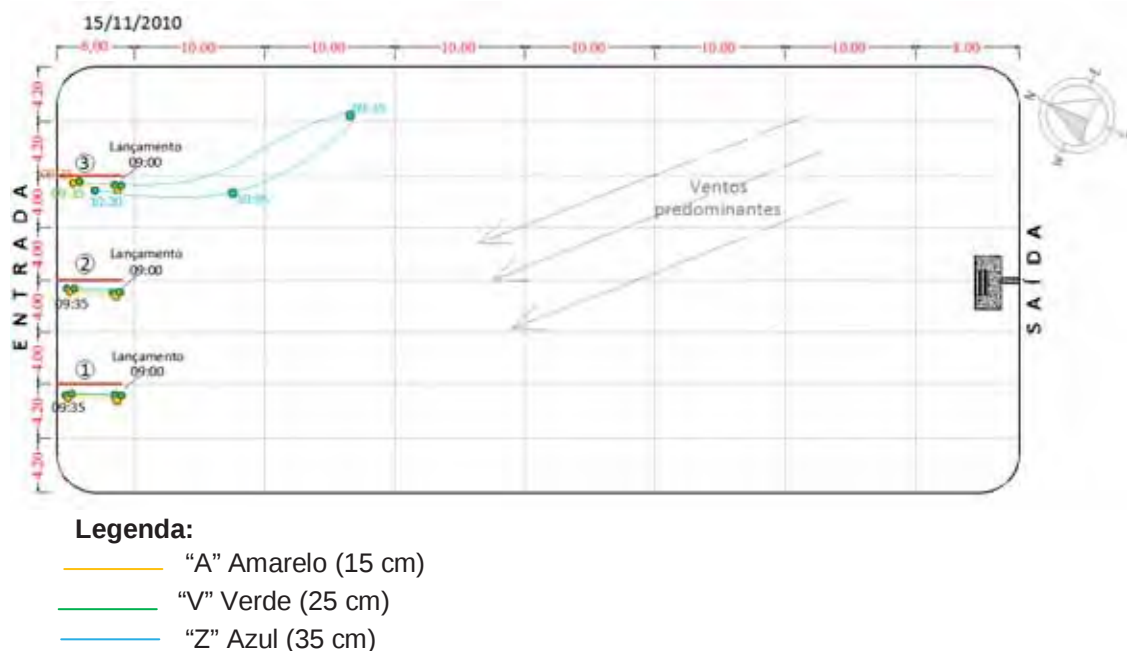
Hora	Velocidade do vento (m/s)			Direção
	Max	Min	Med	
9h00	3,3	1,9	2,47	SE-NO
9h35	1,8	0,8	1,2	SE-NO
10h05	2,2	1,4	1,7	SE-NO
10h20	2,9	1,8	2,1	SE-NO

Fonte: Elaborado pelo autor

Neste ensaio, iniciado às 9h00, observou-se que mesmo com o vento na direção contrária ao fluxo natural da lagoa (entrada-saída), o flutuador Z_3

movimentou-se contrário à direção do vento até às 9h35 e retornou ao ponto inicial conforme mostra Figura 23.

Figura 23. Comportamento dos flutuadores no ensaio 1 da 1ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

Provavelmente o flutuador Z_3 foi influenciado pela movimentação da massa líquida da lagoa que atuava no sentido horário na profundidade e posição do atuador justificando o movimento em sentido contrário ao sentido dos ventos naquela posição em relação ao início da observação. Ao sair da área de atuação do movimento da massa líquida, a força de atuação do vento foi maior e fez com que retornasse ao ponto de partida.

Como não houve mudança na direção do vento, os demais flutuadores não saíram da posição inicial até o encerramento do ensaio.

6.1.2 Ensaio 2

Na realização do ensaio 2, o flutuador Z_3 havia submergido, mesmo assim o ensaio foi realizado com os demais flutuadores. O Quadro 7 apresenta os

valores máximos, mínimos e médios da velocidade dos ventos e a direção que eles atuam no decorrer deste ensaio realizado em 27 de novembro de 2010.

O relatório enviado pela APTA registrou direção dos ventos às 10h15 no sentido 312,5° em relação ao Norte e velocidade média de 1,52 m/s.

Quadro 7 - Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 2 (27/11/2010)

Hora	Velocidade do vento (m/s)			Direção
	Max	Min	Med	
9h15	1,9	0,9	1,5	NO-SE
10h20	2,3	0,7	1,6	NO-SE
10h30	3,1	1,6	2,2	NO-SE
10h45	0,9	0,4	0,8	N-S
11h10	1,1	0,5	0,7	SE-NO

Fonte: Elaborado pelo autor

Neste ensaio o comportamento dos flutuadores se manteve na direção predominante dos ventos conforme apresentado na Figura 24. Às 10h45, devido à alteração no sentido dos ventos, os flutuadores mudaram a sua trajetória e, às 11h00, quando houve a inversão do sentido dos ventos, se comparados ao sentido do início do ensaio, iniciaram o caminho de volta à entrada da lagoa (ponto inicial). Os dois flutuadores Z_1 e Z_2 ficaram retidos no banco de areia existente nos pontos de lançamentos das entradas 1 e 2 da lagoa facultativa 2. O comportamento do flutuador V2 se explica pois, na entrada 2 há um banco de areia, já visível externamente (ilha).

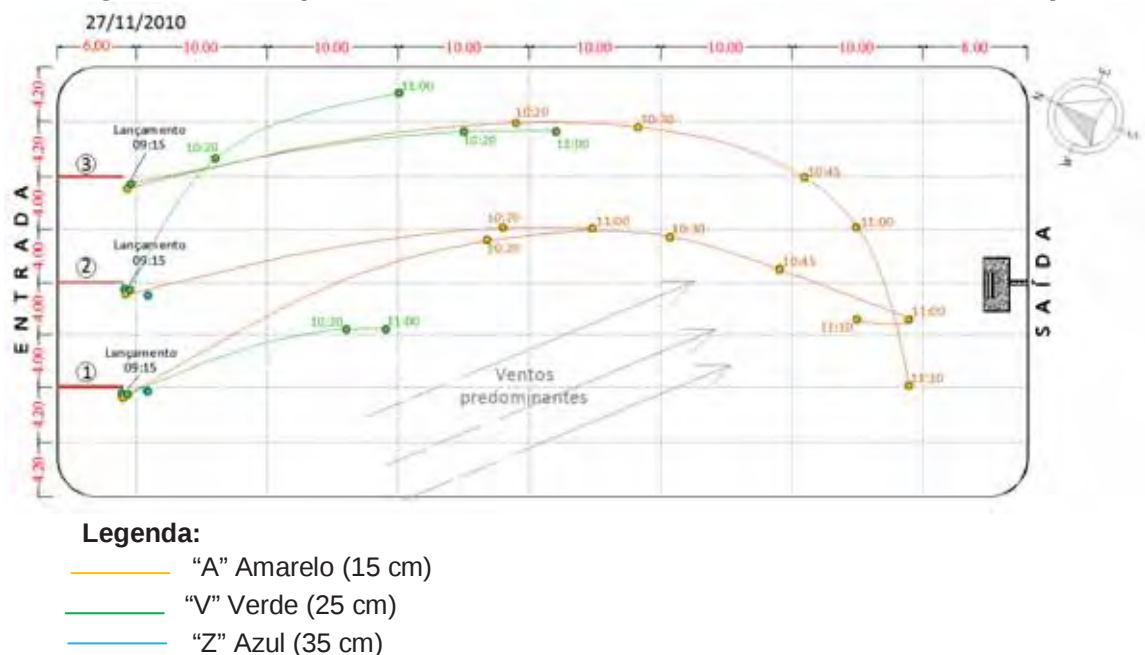
O Quadro 8 mostra a diferenças entre as velocidades médias dos flutuadores A_1 e A_2 comparadas com as velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 e do vento.

Quadro 8 - Velocidades médias dos flutuadores nos intervalos de tempo do ensaio 2 (27/11/2010)

	Velocidades médias (m/s)						
	Vento	A1	A2	A3	V1	V2	V3
9h15	1,5	-	-	-	-	-	-
10h20	1,6	0,0078	0,0075	0,0077	0,0045	0,0031	0,0066
10h30	2,2	0,0233	-	0,0155	-	-	-
10h45	0,8	0,0097	-	0,0148	-	-	-
11h10	0,7	0,0101	0,0023	0,0085	0,0010	0,0050	0,0023

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 24. Comportamento dos flutuadores no ensaio 2 da 1ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

6.1.3 Ensaio 3

O Quadro 9 apresenta os valores máximos, mínimos e médios da velocidade dos ventos e a direção que eles atuam no decorrer deste ensaio realizado em 05 de Dezembro de 2010. O relatório enviado pela APTA registrou direção dos ventos às 19h48 no sentido 159,5° em relação ao Norte e velocidade média de 2 m/s. Os dados divergiram do retirados durante a realização do ensaio devido à diferença entre as anotações dos dados do ensaio e do relatório.

Quadro 9 - Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 3 (05/12/2010)

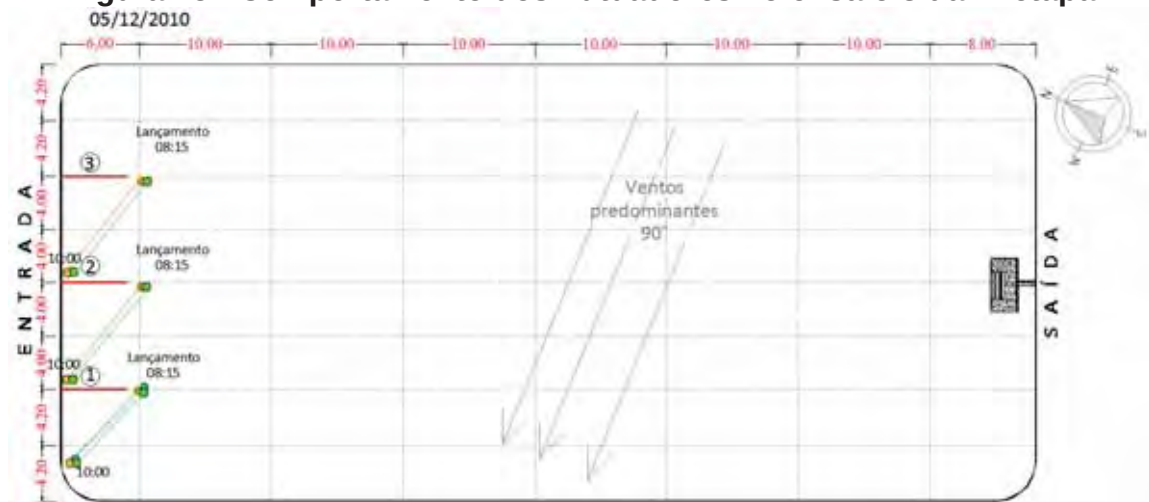
Hora	Velocidade do vento (m/s)			Direção
	Max	Min	Med	
8h15	2,0	0,5	1,1	E-O
9h15	2,3	0,3	1,1	E-O
10h00	1,8	1,1	1,47	E-O

Fonte: Elaborado pelo autor

Neste ensaio, com o sentido dos ventos predominantes E-O e velocidade média dos ventos conforme indicado na Quadro 5, os flutuadores percorreram caminho oposto ao fluxo natural da lagoa, conforme se encontra indicado na Figura 25, vindo a estacionar na borda do lançamento e aí permanecendo até o final do período de ensaio do dia. Neste ensaio houve a baixa do flutuador Z₂, que submergiu na lagoa.

Com os ventos no sentido 90° em relação ao Norte notou-se, pelo comportamento dos flutuadores, que a circulação da massa líquida da lagoa não influenciou um direcionamento diferente ao sentido dos ventos.

Figura 25 - Comportamento dos flutuadores no ensaio 3 da 1ª etapa



Legenda:

- "A" Amarelo (15 cm)
- "V" Verde (25 cm)
- "Z" Azul (35 cm)

Fonte: Elaborado pelo autor

6.1.4 Ensaio 4

No ensaio 4, último da 1ª etapa, pode-se constatar que os flutuadores não resistiram aos ensaios e deveriam ser substituídos, uma vez que a área externa dos flutuadores encontrava-se modificada em virtude da vedação imperfeita efetuada na sua construção. Desta forma não se poderia garantir que a somente a ação dos ventos sobre os flutuadores seria capturada da mesma forma.

Quadro 10 - Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 4 (12/12/2010)

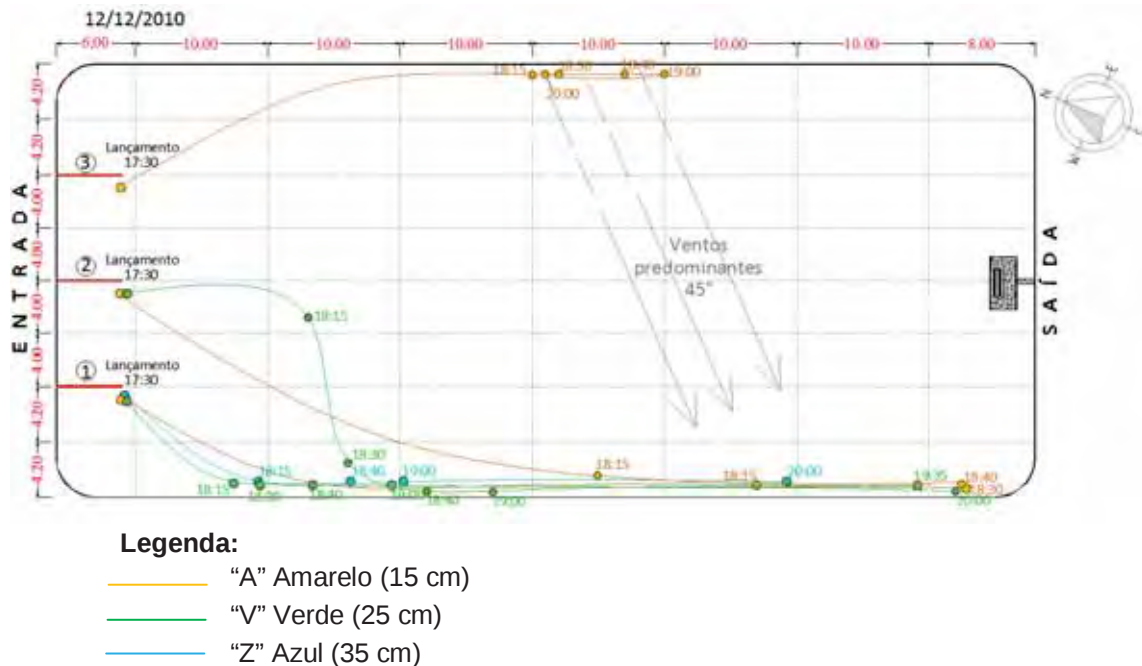
Hora	Velocidade do vento (m/s)			Direção
	Max	Min	Med	
17h30	2,5	1,5	1,97	N-S
18h15	1,7	0,4	0,93	NE-SO
18h30	2,2	1,5	1,9	NE-SO
18h40	1,8	0,9	1,3	NE-SO
19h00	1,1	0,7	0,87	NE-SO
20h00	0,05	0	0,0	-

Fonte: Elaborado pelo autor

No relatório enviado pela APTA constou o horário das 10h40 com ventos no sentido de 4,39° em relação ao Norte com velocidade média de 2,7 m/s.

Com os ventos predominantes a 45° em relação ao Norte, como mostrado na Figura 26 e indicado no Quadro 10, todos os flutuadores foram direcionados à borda direita (sentido entrada-saída), com exceção do flutuador A₃ que se encaminhou para a borda esquerda (sentido entrada-saída) por sofrer menor ação dos ventos nesta direção. Isto se explica porque a entrada 3 da lagoa facultativa 2 é a que recebe menor influência dos ventos nesta direção por se encontrar próximo ao talude em corte existente entre as lagoas 1 e 2 comparando-se com as entradas 1 e 2. A partir das 19h00 quando diminuiu a intensidade dos ventos, o flutuador A₃, iniciou percurso inverso ao anterior justificado pelo movimento da massa líquida da lagoa neste sentido proporcionada pela ação dos ventos no sentido NE-SO.

Figura 26 - Comportamento dos flutuadores no ensaio 4 da 1ª etapa



O comportamento dos demais flutuadores (A_1 , A_2 , V_1 e V_2) no ensaio 4 da 1ª etapa, foram todos direcionados, devido a direção predominante dos ventos a 45° em relação do Norte, para a borda direita (sentido entrada-saída) da lagoa. Somando o comportamento destes flutuadores ao comportamento do flutuador A_3 , concluímos o comportamento da massa líquida da lagoa no sentido anti-horário.

6.2 2ª ETAPA DA PESQUISA

Na segunda etapa da pesquisa realizada entre os meses de Janeiro e Fevereiro de 2011, foram realizados 5 ensaios nos dias 11, 17, 19, 23 e 27 de Fevereiro.

Nesta etapa foram melhorados alguns aspectos como a mudança dos flutuadores, necessária devido aos problemas de vedação em virtude do ressecamento da cola das tampas utilizadas nos flutuadores provocado pelo tempo de exposição às intempéries da natureza no interior da lagoa.

Outra alteração efetuada na 2ª etapa foi a padronização na anotação dos dados durante os ensaios ficando definido o tempo de 30 minutos.

Na 2ª etapa, os resultados serão apresentados na seguinte ordem: comportamento dos flutuadores individualmente por tamanho: A_1, A_2, A_3 ; V_1, V_2, V_3 e Z_1, Z_2, Z_3 . Em seguida, todos os flutuadores juntos: $A_1, A_2, A_3 + V_1, V_2, V_3 + Z_1, Z_2, Z_3$.

6.2.1 Ensaio 1

O ensaio 1 da 2ª etapa foi iniciado às 9h00 com ventos médios de 1,43 m/s na direção E-O e permaneceu nesta direção até às 10h45 quando mudou a direção para N-S e às 11h30 mudou novamente para NO-SE conforme indicado no Quadro 7 e, partir desta alteração, os flutuadores começaram a se mover.

A velocidade média dos ventos no ensaio 1 da 2ª etapa foi de 1,05 m/s.

Quadro 11 - Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 1 da 2ª etapa (11/02/2011).

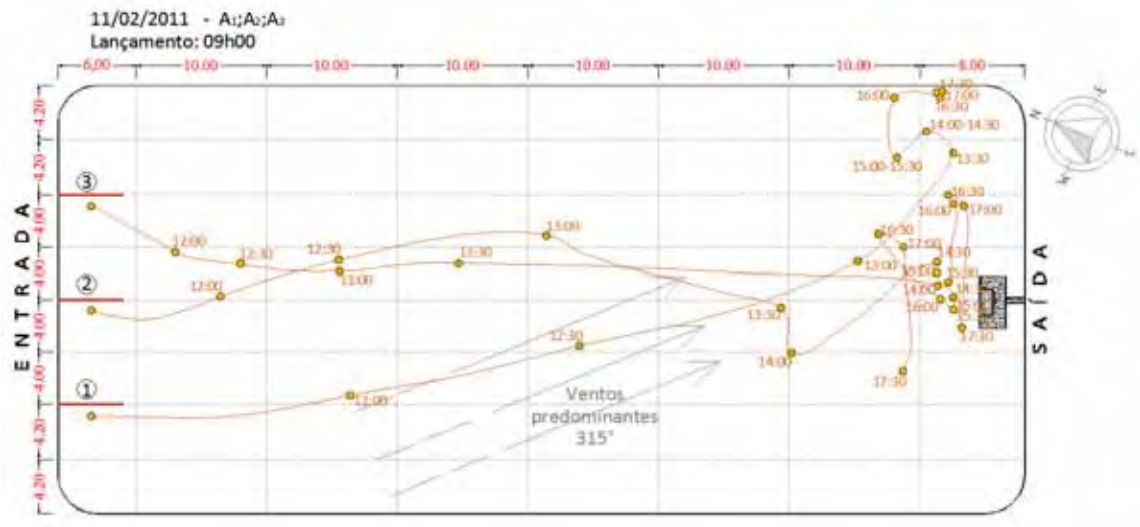
Hora	Velocidade do vento (m/s)			Direção
	Max	Min	Med	
09h00	1,8	0,9	1,43	E-O
09h30	1,6	1,3	1,40	E-O
10h00	2,5	1,5	2,00	E-O
10h30	2,9	1,5	2,13	E-O
11h00	0,8	0,1	0,50	N-S
11h30	1,5	0,0	0,60	NO-SE
12h00	1,3	0,2	0,80	NO-SE
12h30	1,0	0,2	0,70	NO-SE
13h00	1,6	0,9	1,25	NO-SE
13h30	3,1	1	1,90	N-S
14h00	1,0	0,8	0,87	N-S
14h30	1,7	1,3	1,50	N-S
15h00	1,1	0,6	0,80	N-S
15h30	0,0	0,0	0,00	-
16h00	1,8	0,0	0,92	NO-SE
16h30	0,6	0,4	0,50	O-E
17h00	1,6	0,3	0,83	N-S

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.1.1 Flutuadores A_1 , A_2 , A_3

A Figura 27 mostra o comportamento dos flutuadores A_1 , A_2 e A_3 . Estes flutuadores foram direcionados pela ação dos ventos predominantes NO-SE em praticamente todo o percurso realizado numa considerando o tempo de início até o fim do percurso ocorrido das 11h30 até às 13h30. A influência dos ventos na camada superior da lagoa representada pelos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 foi visível principalmente no flutuador A_2 no período de deslocamento entre 13 e 14 horas. Neste período, o flutuador mudou o sentido de deslocamento seguindo a mudança do sentido dos ventos.

Figura 27 - Comportamento dos flutuadores A₁, A₂, A₃ no ensaio 1 da 2ª etapa.



Fonte: Elaborado pelo autor

O Quadro 12 mostra a velocidade média de cada flutuador nos intervalos de tempo considerando o início e o fim do percurso (entrada-saída) na lagoa comparadas à velocidade média do vento.

Quadro 12 -Velocidades médias dos flutuadores A₁, A₂, A₃ nos intervalos de tempo do ensaio 1 da 2ª etapa(11/02/2011).

	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	A ₁	A ₂	A ₃
11h30	1,5	-	-	-
12h00	1,3	0,0111	0,0057	0,0038
12h30	1,0	0,0100	0,0052	0,0029
13h00	1,6	0,0062	0,0089	0,0042
13h30	3,1	-	0,0104	0,0051
14h00	1,0	-	0,0074	0,0204

Fonte: Elaborado pelo autor

A movimentação realizada pelos flutuadores próximos à saída da lagoa indicou que a massa líquida nesta região não se encontra estagnada. A energia do vento transferida a massa líquida da lagoa não permitiu que os flutuadores ficassem estagnados.

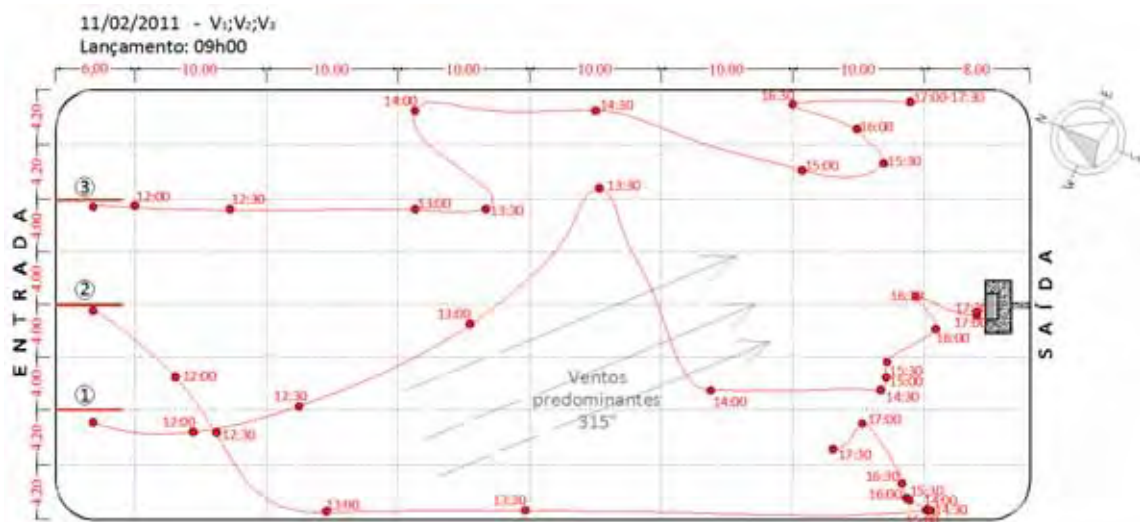
6.2.1.2 Flutuadores V_1 , V_2 , V_3

No comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 conforme nos mostra a Figura 28, observou-se que nem sempre coincidem com o direcionamento dos ventos. O flutuador V_3 , no período entre 13h30 e 14h00 teve comportamento contrário ao sentido dos ventos que, naquele intervalo de tempo, mudou de NO-SE para N-S e, a partir do momento em que encontrou a borda da lagoa, continuou seu percurso até a saída da lagoa. Este comportamento demonstra as diferenças entre os fluxos superficial e a 21 cm de profundidade, local em que se encontra os atuadores dos flutuadores vermelhos (V).

O flutuador V_2 , entre 11h30 e 13h00 foi arrastado pelo fluxo da massa líquida até a borda direita da lagoa (sentido entrada-saída) e, daí seguiu o curso até o final na saída da lagoa.

O comportamento dos flutuadores mostrou-nos o contínuo movimento da massa líquida na região próxima à saída da lagoa enquanto há movimentação do vento.

Figura 28 - Comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 no ensaio 1 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

O Quadro 13 mostra a velocidade média de cada flutuador nos intervalos de tempo considerando o início e o fim do percurso (entrada-saída) na lagoa comparadas à velocidade média do vento.

Quadro 13 - Velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 nos intervalos de tempo do ensaio 1 da 2ª etapa (11/02/2011).

	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	V_1	V_2	V_3
11h30	1,5	-	-	-
12h00	1,3	0,0043	0,0043	0,0016
12h30	1,0	0,0046	0,0029	0,0041
13h00	1,6	0,0081	0,0062	0,0078
13h30	3,1	0,0080	0,0084	0,0030
14h00	1,0	0,0101	0,0170	0,0058
14h30	1,7	0,0072	-	0,0078
15h00	1,1	0,0018	-	0,0091
15h30	0,0	-	-	0,0072

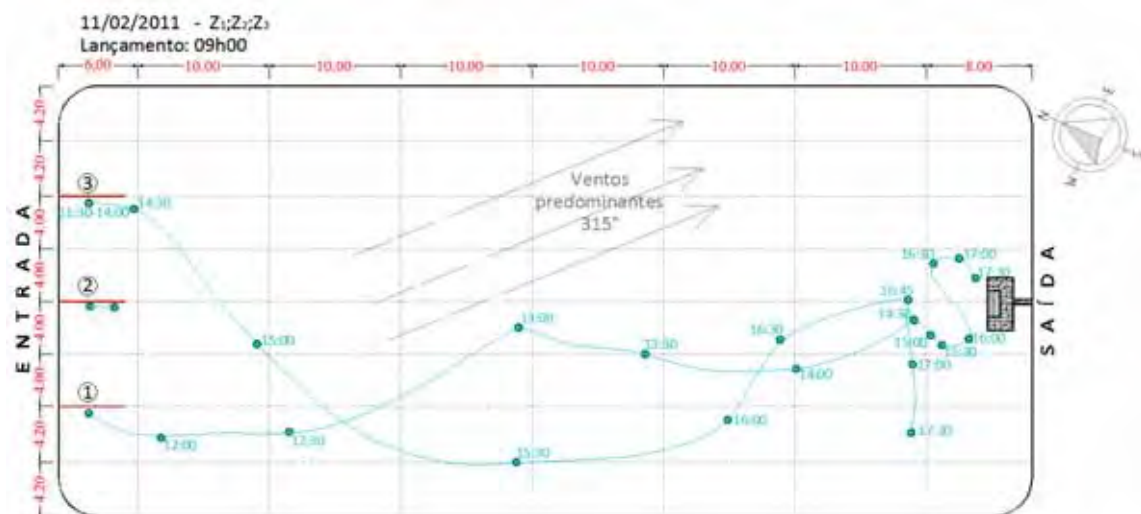
Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.1.3 Flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3

Os ventos predominantes NO-SE para o ensaio 1 da 2ª etapa são validos até às 13h00 quando passou a ter sentido N-S até às 15h30 quando voltou a ser de NO-SE novamente. O flutuador Z_1 exprimiu estas variações da direção dos ventos pelo seu comportamento.

No caso dos flutuadores azuis podemos dizer que o comportamento seguiu exatamente a direção dos ventos, com exceção do flutuador Z_2 que ficou no banco de areia conforme ilustrado na figura 28.

Figura 29 - Comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 no ensaio 1 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

O Quadro 14 mostra a velocidade média de cada flutuador nos intervalos de tempo considerando o início e o fim do percurso (entrada-saída) na lagoa comparadas à velocidade média do vento.

Quadro 14 - Velocidades médias dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 nos intervalos de tempo do ensaio 1 da 2ª etapa(11/02/2011)

	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	Z_1	Z_2	Z_3
11h30	1,5	-	-	-
12h00	1,3	0,0033	0,0057	-
12h30	1,0	0,0054	0,0052	-
13h00	1,6	0,0107	0,0089	-
13h30	3,1	0,0049	0,0104	-
14h00	1,0	0,0064	0,0074	-
14h30	1,7	0,0054	-	0,0019
15h00	1,1	0,0009	-	0,0078
15h30	0,0	-	-	0,0126
16h00	1,8	-	-	0,0093
16h30	0,6	-	-	0,0041
17h00	1,6	-	-	0,0168

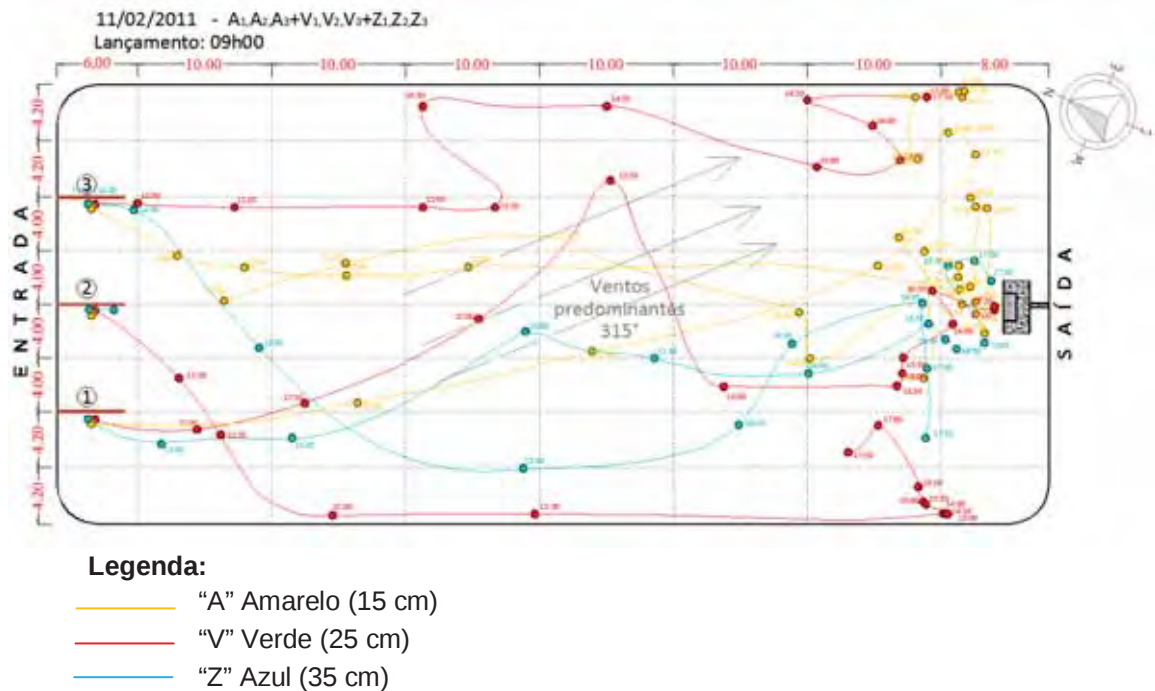
Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.1.4 Flutuadores A_{15} , V_{25} , Z_{35}

Na figura 30 é mostrado o comportamento de todos os flutuadores e o percurso de cada um mediante as mesmas condições. Vale ressaltar que os flutuadores da entrada 1 (A_1 , V_1 e Z_1), pelo motivo de não sofrerem influência dos taludes, foram os primeiros a iniciarem o percurso.

Com ventos predominantes NO-SE com velocidade média 0,92 m/s conforme mostra Figura 31, o comportamento dos flutuadores na lagoa facultativa 2 mostrou o comportamento da massa líquida da lagoa provocada pela energia entre o vento e a superfície do corpo d'água.

Figura 30 - Comportamento dos flutuadores no ensaio 1 da 2ª etapa



Na Figura 32 é apresentado o deslocamento de cada flutuador durante a realização do ensaio 1 da 2ª etapa onde o flutuador Z₃ foi responsável pelo maior deslocamento realizado devido à movimentação provocada pela massa líquida na profundidade dos atuadores ser divergente da massa líquida superficial e fazendo com que o flutuador tenha maior movimentação que os demais flutuadores.

Figura 31 - Velocidade média dos flutuadores durante a realização do ensaio 1 da 2ª etapa

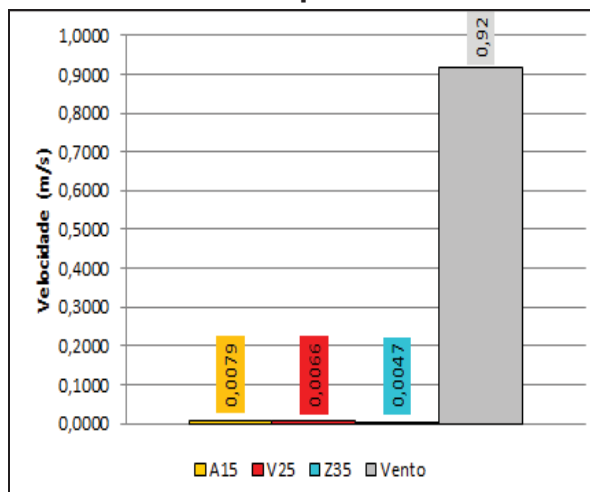
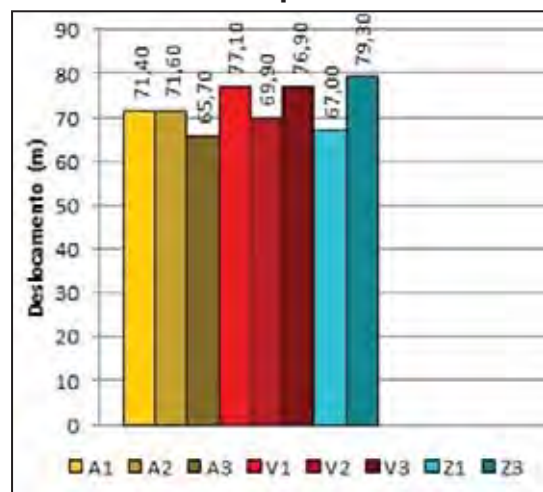


Figura 32 - Deslocamento dos flutuadores durante a realização do ensaio 1 da 2ª etapa



6.2.2 Ensaio 2

O ensaio 2 da 2ª etapa foi iniciado às 8h30 com ventos médios de 1,73 m/s na direção E-O. Às 10h30 mudou a direção para NE-SO permanecendo nesta direção até a finalização do ensaio conforme mostra Quadro 15.

Conforme Quadro 15, a velocidade média dos ventos no ensaio 2 da 2ª etapa foi de 2,35 m/s.

Quadro 15 - Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 2 da 2ª etapa (17/02/2011)

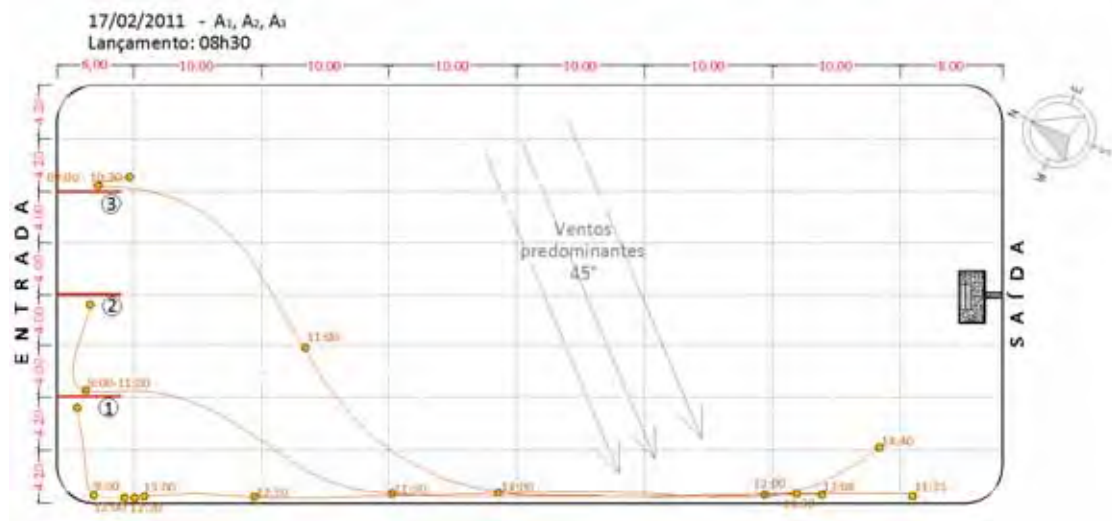
Hora	Velocidade do vento (m/s)			Direção
	Max	Min	Med	
08h30	2,0	1,3	1,73	E-O
09h00	2,3	1,8	2,03	E-O
09h30	2,1	1,3	1,70	E-O
10h00	3,9	2,2	2,90	E-O
10h30	3,1	2,1	2,60	E-O
11h00	2,7	1,8	2,33	NE-SO
11h30	2,3	2,15	2,22	NE-SO
12h00	3,0	1,7	2,22	NE-SO
12h30	2,8	2,2	2,47	NE-SO
13h00	2,9	2,7	2,80	NE-SO
13h30	3,3	2,0	2,70	NE-SO
14h00	3,0	1,8	2,40	NE-SO
14h30	3,0	1,8	2,40	NE-SO

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.2.1 Flutuadores A_1 , A_2 , A_3

O comportamento dos flutuadores A_1 , A_2 e A_3 como mostrado na Figura 33, foi influenciado na sua totalidade pelos ventos na direção NE-SO. Os flutuadores foram conduzidos até a borda direita (sentido entrada-saída) da lagoa e daí, até o final do percurso na extremidade oposta. Esta movimentação provavelmente é a movimentação da massa líquida da lagoa (sentido anti-horário). Este movimento da massa líquida foi confirmado pela movimentação dos flutuadores no início do ensaio.

Figura 33 - Comportamento dos flutuadores A₁, A₂, A₃ no ensaio 2 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

O Quadro 16 mostra a velocidade média de cada flutuador nos intervalos de tempo considerando o início e o fim do percurso (entrada-saída) na lagoa comparadas à velocidade média do vento.

Quadro 16 - Velocidades médias dos flutuadores A₁, A₂, A₃ nos intervalos de tempo do ensaio 2 da 2ª etapa (17/02/2011).

	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	A ₁	A ₂	A ₃
08h30	2,0	-	-	-
09h00	2,3	0,0038	0,0044	0,0
09h30	2,1	0,0	0,0	0,0
10h00	3,9	0,0	0,0	0,0
10h30	3,1	0,0	0,0	0,0
11h00	2,7	0,0	0,0	0,0094
11h30	2,3	0,0	0,0144	0,0306
12h00	3,0	0,0013	0,0162	0,0250
12h30	2,8	0,0004	0,0092	-
13h00	2,9	0,0048	-	-
13h30	3,3	0,0106	-	-
14h00	3,0	0,0129	-	-
14h30	3,0	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.2.2 Flutuadores V_1 , V_2 , V_3

A baixa velocidade média do flutuador A_1 como mostra o Quadro 17, se justifica uma vez que ficou praticamente parado das 09h00 as 13h00.

De forma análoga, os flutuadores vermelhos tiveram o mesmo comportamento dos flutuadores amarelos, com exceção do V_1 que ficou estacionado no canto da lagoa até o final do ensaio conforme ilustrado na Figura 34. Após a mudança na direção dos ventos de E-O para NE-SO, os flutuadores foram conduzidos pela ação do vento até a borda direita (sentido entrada-saída) e seguiram o fluxo da massa líquida até o final da lagoa.

Figura 34 - Comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 no ensaio 2 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 17 - Velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 nos intervalos de tempo do ensaio 2 da 2ª etapa (17/02/2011).

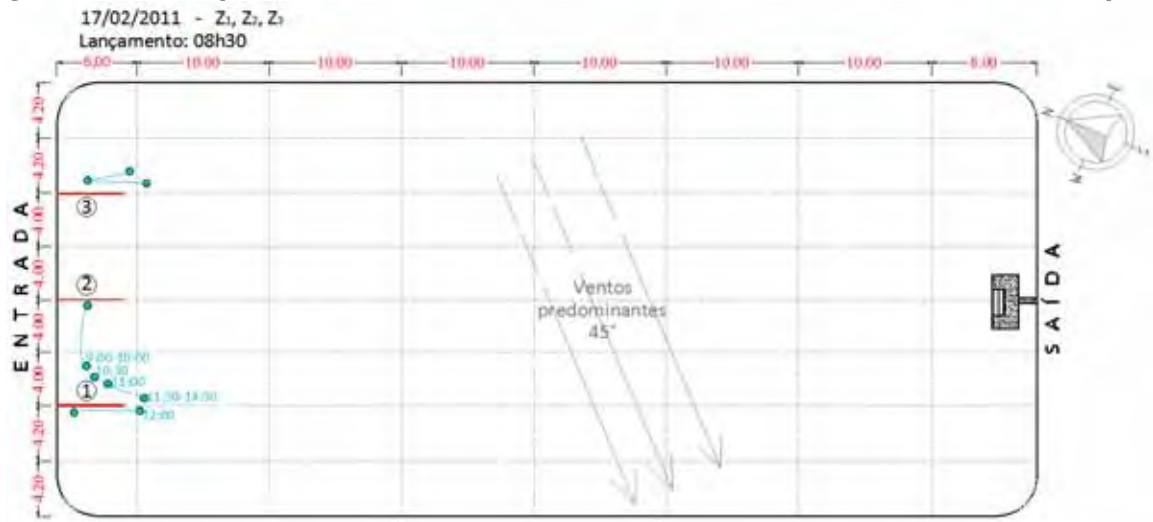
	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	V_1	V_2	V_3
08h30	2,0	-	-	-
09h00	2,3	0,0037	0,0044	0,0
09h30	2,1	0,0	0,0	0,0
10h00	3,9	0,0	0,0	0,0
10h30	3,1	0,0	0,0	0,0
11h00	2,7	0,0	0,0	0,0
11h30	2,3	0,0	0,0065	0,0013
12h00	3,0	0,0	0,0032	0,0042
12h30	2,8	0,0	0,0008	0,0061
13h00	2,9	0,0	0,0007	0,0059
13h30	3,3	0,0015	0,0127	0,0172
14h00	3,0	0,0	0,0117	0,0069
14h30	3,0	0,0006	0,0028	0,0113

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.2.3 Flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3

Neste ensaio todos os flutuadores azuis ficaram parados nos bancos de areia existentes nas entradas da lagoa facultativa 2 da ETE conforme mostra Figura 35.

Figura 35 - Comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 no ensaio 2 da 2ª etapa

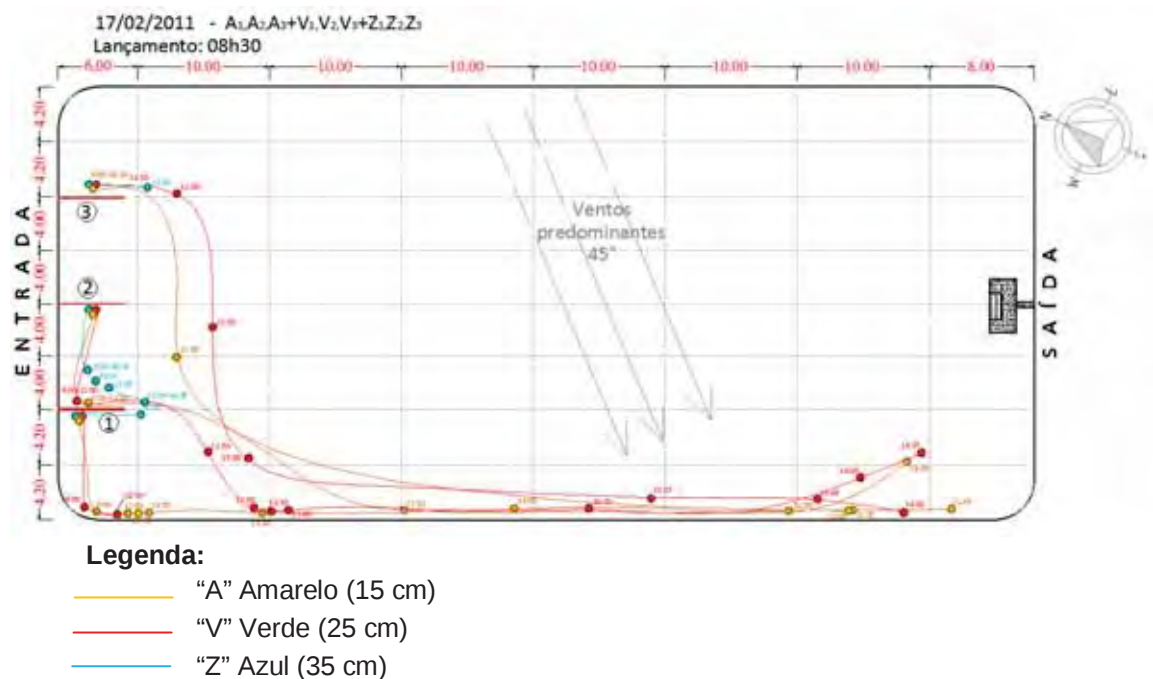


Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.2.4 Flutuadores A_{15} ; V_{25} ; Z_{35}

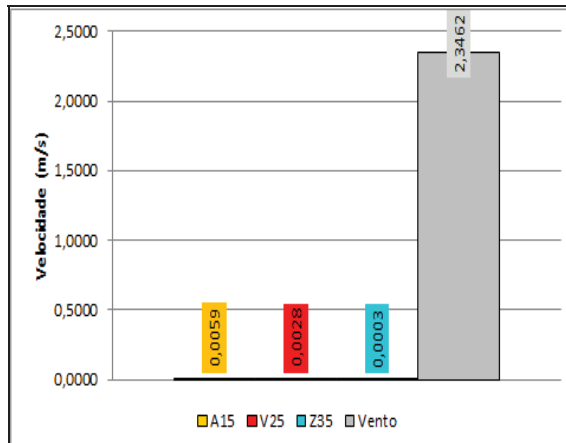
Como comentado anteriormente e mostrado na Figura 36, o comportamento dos flutuadores neste ensaio foi definido pela direção dos ventos predominantes no sentido NE-SO.

Figura 36 - Comportamento dos flutuadores no ensaio 2 da 2ª etapa



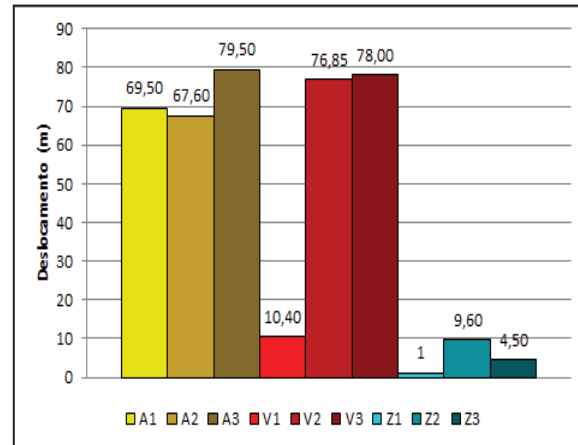
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 37 - Velocidade média dos flutuadores durante a realização do ensaio 2 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 38 - Deslocamento dos flutuadores durante a realização do ensaio 2 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

Pelas Figuras 37 e 38 conclui-se que o ensaio 2 da 2ª etapa, mesmo tendo apresentado deficiências na movimentação dos flutuadores azuis e o V₁, mas com velocidade média dos ventos maior que a velocidade do ensaio 1 da 2ª etapa, com ventos predominantes na direção NE-SO, a movimentação da massa líquida tende a ser menor.

6.2.3 Ensaio 3

Como nos ensaios anteriores os ventos no período matutino se encontraram na direção contrária ao fluxo natural da lagoa facultativa 2 da ETE de Álvares Florence, o ensaio 3 da 2ª etapa foi iniciado às 11h20 com o lançamento de todos os flutuadores. Como apresentado no Quadro 18, houve predominância dos ventos na direção de NO-SE com algumas incidências de ventos na direção O-E com velocidade média de 1,40 m/s.

Quadro 18 - Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 3 da 2ª etapa (19/02/2011)

Hora	Velocidade do vento (m/s)			Direção
	Max	Min	Med	
11h20	2,5	1,1	1,70	NO-SE
11h50	2,4	1,4	1,80	NO-SE
12h20	2,3	0,8	1,60	NO-SE
12h50	1,9	1,6	1,77	NO-SE
13h20	3,3	2,3	2,93	O-E
13h50	1,3	1,0	1,20	NO-SE
14h20	0,9	0,7	0,80	O-E
14h50	0,7	0,3	0,50	NO-SE
15h20	0,4	0,2	0,30	O-E
16h00	0,0	0,0	0,0	O-E

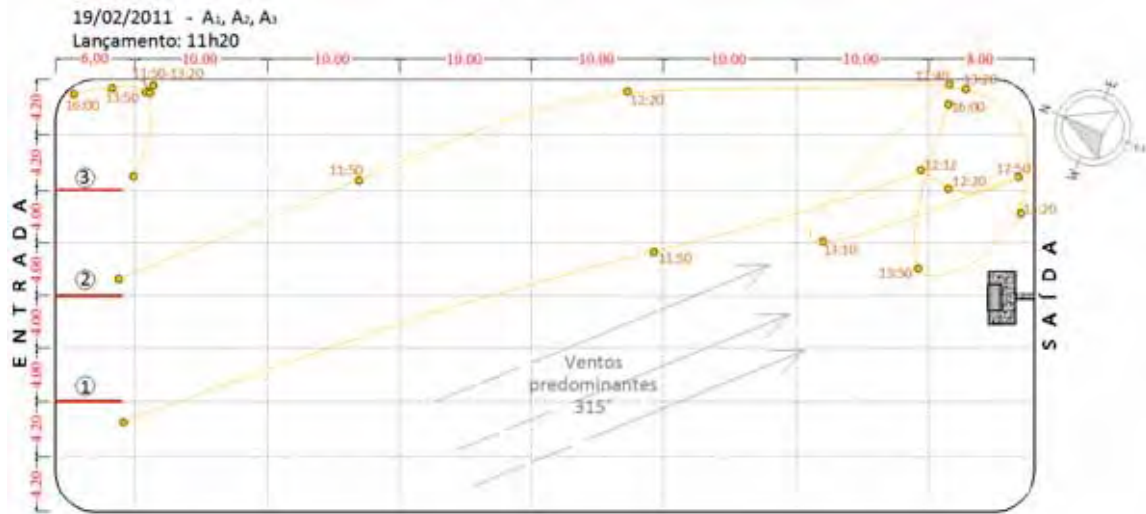
Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.3.1 Flutuadores A_1 , A_2 , A_3

Neste ensaio, os flutuadores A_1 e A_2 tiveram seu deslocamento na direção dos ventos NO-SE. Observou-se que os flutuadores, após chegarem ao final do percurso, realizaram movimentos em círculo ao lado do efluente da lagoa, mostrando-nos o tipo de movimentação na massa líquida presente nesta região. Provavelmente provocada pela energia do vento transferida a massa líquida da lagoa não permitindo que os flutuadores ficassem parados num mesmo ponto.

O flutuador A_1 permaneceu à esquerda da entrada 1 onde os ventos nesta direção têm pouca influência sobre os flutuadores devido ao corte de talude existente nesta região conforme mostrado na Figura 39.

Figura 39 - Comportamento dos flutuadores A₁, A₂, A₃ no ensaio 3 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

O Quadro 19 mostra as velocidades médias dos flutuadores. O flutuador A₁ deslocou-se do ponto inicial até o ponto final em 58 minutos e o flutuador fez o mesmo percurso em 80 minutos. A diferença entre os tempos de deslocamentos justifica sendo que o flutuador A₂ foi conduzido até a borda esquerda (sentido entrada-saída) da lagoa tendo executar um maior deslocamento para o mesmo percurso. As velocidades médias do flutuador justifica-se devido ao mesmo ter permanecido na entrada da lagoa, apenas movimentando-se em círculo à esquerda do ponto de lançamento (entrada 3).

Quadro 19 - Velocidades médias dos flutuadores A₁, A₂, A₃ nos intervalos de tempo do ensaio 3 da 2ª etapa (19/02/2011).

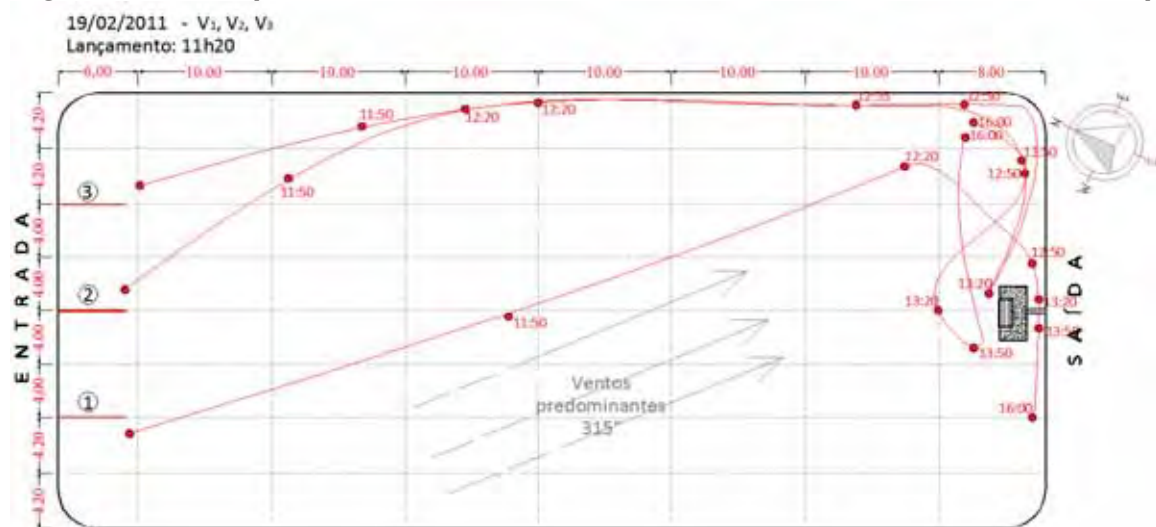
	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	A ₁	A ₂	A ₃
11h20	1,70	-	-	-
11h50	1,80	0,0234	0,108	0,0037
12h20	1,60	0,0160	0,120	0,0
12h50	1,77	-	0,180	0,0
13h20	2,93	-	-	0,0
13h50	1,20	-	-	0,0016
14h20	0,80	-	-	0,0
14h50	0,50	-	-	0,0
15h20	0,30	-	-	0,0
16h00	0,0	-	-	0,0016

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.3.2 Flutuadores V₁, V₂, V₃

Analogamente ao ocorrido com os flutuadores amarelos neste ensaio, ocorreu também com os flutuadores vermelhos V₁, V₂ e V₃ conforme mostra Figura 40. Todos se moveram em direção ao ponto final da lagoa não tendo efetuado nenhum movimento contrário à ação dos ventos.

Figura 40 - Comportamento dos flutuadores V₁, V₂, V₃ no ensaio 3 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

As velocidades médias do flutuador V_1 justifica-se pelo motivo da entrada 1 da lagoa se encontrar sem taludes em corte, o que justifica as menores velocidades nos tempos 11h50 e 11h40 nos flutuadores V_2 e V_3 e, após passarem pela influência do talude em corte aumentaram a velocidade. Os dados foram anotados no Quadro 20 até a chegada de cada flutuador no ponto final.

Quadro 20 - Velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 nos intervalos de tempo do ensaio 3 da 2ª etapa (19/02/2011).

	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	V_1	V_2	V_3
11h20	1,70	-	-	-
11h50	1,80	0,0165	0,0082	0,0096
12h20	1,60	0,0177	0,0078	0,0074
12h50	1,77	-	0,0208	0,0132
13h20	2,93	-	-	-
13h50	1,20	-	-	-
14h20	0,80	-	-	-
14h50	0,50	-	-	-
15h20	0,30	-	-	-
16h00	0,0	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

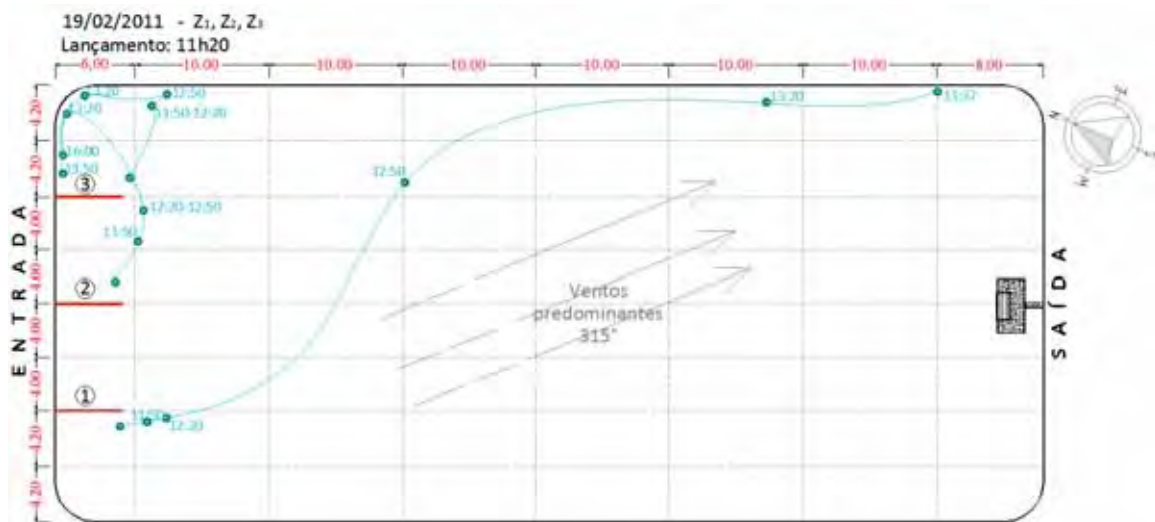
6.2.3.3 Flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3

A Figura 41 nos mostra que os flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 tiveram comportamento diferente dos flutuadores amarelos e vermelhos. Este comportamento só pode ser observado pelo após utilização de um bastão para posicionar os flutuadores após os bancos de areia existentes nas entradas da lagoa facultativa 2. Devido aos seus atuadores se situarem a 31 centímetros de profundidade, percebeu-se que estes nem sempre desenvolveram movimentação condizente com a direção dos ventos predominantes.

Os flutuadores Z_2 e Z_3 se encaminharam para a borda esquerda (sentido entrada-saída) da lagoa devido ao movimento da massa líquida na profundidade dos atuadores nesta região estarem atuando de forma diferente das camadas superficiais, ou seja, a força exercida nos atuadores destes flutuadores foi

maior que a exercida pelo vento na parte emersa. O flutuador Z_1 apresentou um percurso onde no período entre 12h20 e 12h50 também foi influenciado pela movimentação da massa líquida presente na região próxima a entrada 1 da lagoa.

Figura 41 - Comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 no ensaio 3 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

As velocidades médias mostradas no Quadro 21 dos flutuadores Z_2 e Z_3 equivalem a deslocamentos resultantes da ação da massa líquida uma vez que os estes flutuadores não deslocam no mesmo sentido dos ventos.

Quadro 21 - Velocidades médias dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 nos intervalos de tempo do ensaio 3 da 2ª etapa (19/02/2011).

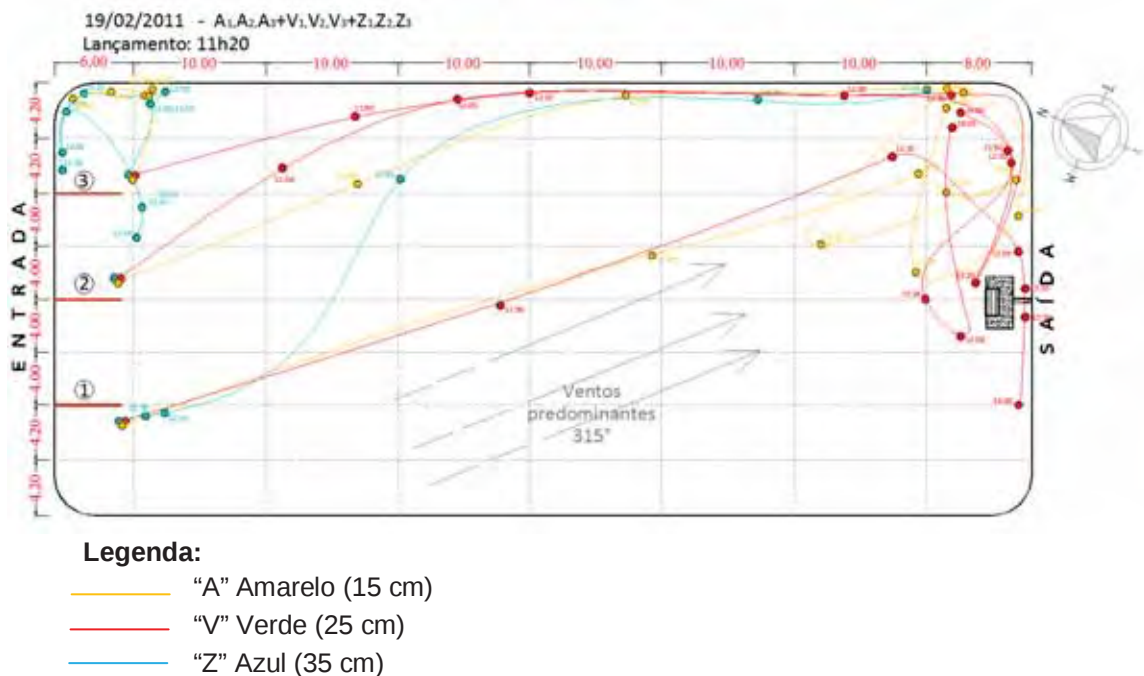
	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	Z_1	Z_2	Z_3
11h20	1,70	-	-	-
11h50	1,80	0,0011	0,0019	0,0032
12h20	1,60	0,0008	0,0013	0,0
12h50	1,77	0,0147	0,0	0,0008
13h20	2,93	0,0159	0,0055	0,0034
13h50	1,20	0,0072	0,0026	-
14h20	0,80	0,0	-	-
14h50	0,50	0,0069	-	-
15h20	0,30	-	-	-
16h00	0,0	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.3.4 Flutuadores A_{15} ; V_{25} ; Z_{35}

No ensaio 3 da 2ª etapa pode-se observar a diferença entre o comportamento dos flutuadores considerando-se a profundidade dos atuadores neles instalados. Observou-se também duas zonas de estagnação do líquido pelo movimento em círculo efetuado pelos flutuadores como mostrado na Figura 42, tanto na entrada como na saída da lagoa facultativa 2.

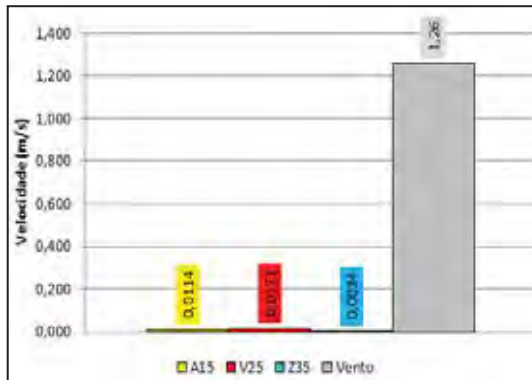
Figura 42 - Comportamento dos flutuadores no ensaio 3 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

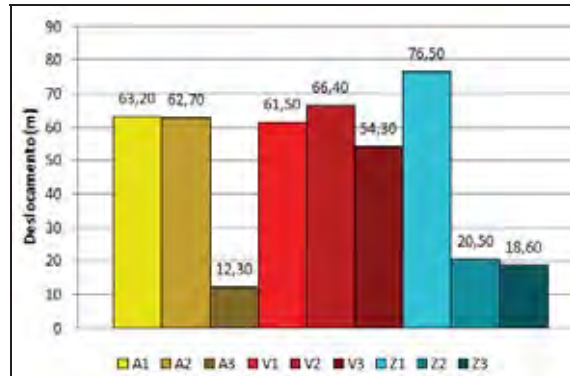
As Figuras 43 e 44 mostram um desenvolvimento da velocidade média dos flutuadores vermelhos, maior que a velocidade média dos flutuadores amarelos, motivada pelo flutuador A3 ter permanecido no ponto inicial de lançamento pelos motivos já explanados. Como no desenvolvimento dos deslocamentos descritos nos ensaios anteriores, os flutuadores azuis sempre percorreram percursos maiores que os outros flutuadores.

Figura 43 - Velocidade média dos flutuadores durante a realização do ensaio 3 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 44 - Deslocamento dos flutuadores durante a realização do ensaio 3 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.4 Ensaio 4

O ensaio 4 da 2ª etapa realizado no período vespertino com início às 14h20 com o lançamento de todos os flutuadores e tendo sido finalizando às 18h20. Como apresentado no Quadro 22, houve predominância dos ventos na direção NO-SE com alteração para a direção O-E às 17h20 quando todos os flutuadores já haviam chegado ao final do percurso. A velocidade média dos ventos foi de 1,49 m/s até às 17h20 quando, a partir desta marcação o vento parou.

Quadro 22 - Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 4 da 2ª etapa (23/02/2011)

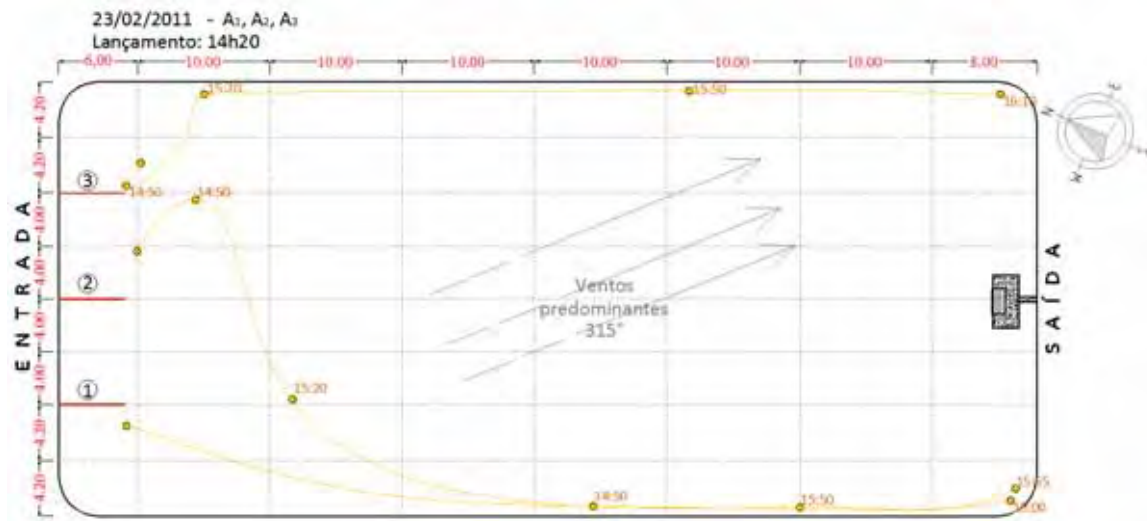
Hora	Velocidade do vento (m/s)			Direção
	Max	Min	Med	
14h20	2,5	1,3	1,93	NO-SE
14h50	2,6	1,1	1,95	NO-SE
15h20	1,85	0,8	1,22	NO-SE
15h50	1,9	1,0	1,37	NO-SE
16h20	4,0	1,95	3,08	NO-SE
16h50	1,0	0,5	0,77	NO-SE
17h20	0,15	0,05	0,10	O-E

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.4.1 Flutuadores A_1 , A_2 , A_3

Os flutuadores A_1 , A_2 , A_3 , desenvolveram aparentemente contrariando a direção dos ventos predominantes no início do percurso. A região localizada próximo a entrada 3 da lagoa deservia no momento de lançamento dos flutuadores movimentos circulares como ocorrido em outros ensaios justificando o comportamento dos flutuadores A_2 e A_3 . Os flutuadores demonstraram a tendência de direcionamento para as bordas como mostra a Figura 45, para depois seguirem o curso até o final da lagoa, mantendo-se nas bordas direita e esquerda da lagoa.

Figura 45 - Comportamento dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 no ensaio 4 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

As velocidades dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 , do ensaio 4 foram as maiores velocidades encontradas em todos os ensaios conforme Quadro 23. As baixas velocidades dos flutuadores A_2 e A_3 no início do ensaio é resultado do comportamento da massa líquida como descrito acima.

Quadro 23 - Velocidades médias dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 nos intervalos de tempo do ensaio 4 da 2ª etapa (23/02/2011).

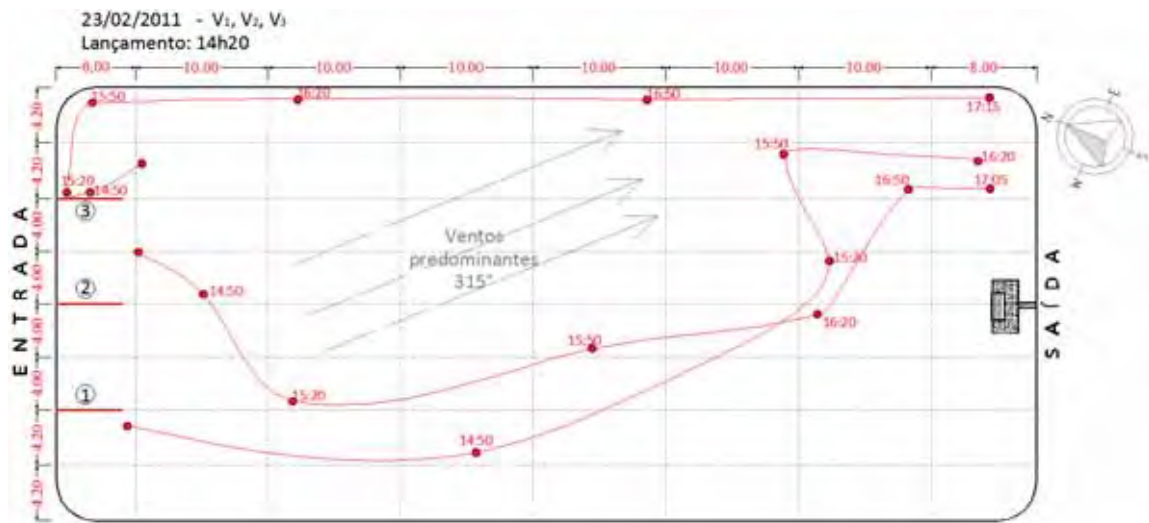
	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	A_1	A_2	A_3
14h20	1,93	-	-	-
14h50	1,95	0,200	0,0034	0,0012
15h20	1,22	0,0528	0,0096	0,0055
15h50	1,37	-	0,0339	0,0204
16h20	3,08	-	0,0550	0,0198
16h50	0,77	-	-	-
17h20	0,10	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.4.2 Flutuadores V_1 , V_2 , V_3

No comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 , pode-se notar que há diferença entre o direcionamento do fluxo da lagoa facultativa 2 a 21,00 cm de profundidade e a direção dos ventos. Tanto o flutuador V_1 como o V_2 tiveram a mesma mudança de direção na mesma região da lagoa e em horários distintos. Isto nos faz acreditar que esta região seria, neste período do ensaio, uma região de divisa de fluxo da massa líquida com o fluxo da superfície da lagoa, propiciado pela força dos ventos. O comportamento do flutuador V_1 se justifica estar sendo impulsionado pelo fluxo que ocorre a 21,00 cm da superfície, tal como os outros dois flutuadores conforme mostrado na Figura 46.

Figura 46 - Comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 no ensaio 4 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim como ocorrido com a velocidade média dos flutuadores A_2 e A_3 , também ocorreu com o flutuador V_3 , tendo desenvolvido velocidade menor que os outros flutuadores em virtude de ter entrado na zona de estagnação da lagoa localizada no lado esquerdo da entrada 3, provavelmente resultante do talude em corte existente nesta área conforme mostrado no Quadro 24.

Quadro 24 - Velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 nos intervalos de tempo do ensaio 4 da 2ª etapa (23/02/2011).

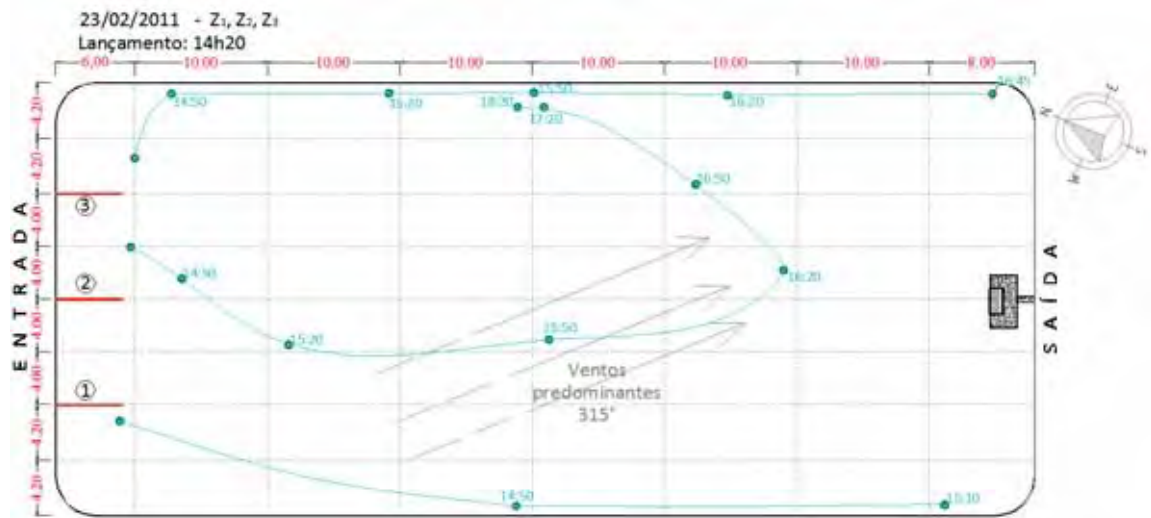
	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	V_1	V_2	V_3
14h20	1,93	-	-	-
14h50	1,95	0,0147	0,0032	0,0025
15h20	1,22	0,0174	0,0060	0,0042
15h50	1,37	0,0049	0,0129	0,0086
16h20	3,08	0,0082	0,0096	0,0147
16h50	0,77	-	0,0066	0,0172
17h20	0,10	-	0,0067	-

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.4.3 Flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3

Observou-se que o comportamento do flutuador Z_2 no ponto das 16h20 mudou a sua trajetória conforme mostrado pela Figura 47. Mesmo com velocidade média do vento neste momento a 3,08 m/s (a maior velocidade média registrada nos ensaios) conforme Quadro 25, na direção NO-SE, o flutuador realiza a partir deste ponto movimento em direção contrária ao vento. O flutuador Z_2 é conduzido pelo fluxo da massa líquida a profundidade de 31,00 cm que é divergente do fluxo superficial. O flutuador Z_2 segue neste trajeto até o final do experimento às 18h20 quando cessou o vento.

Figura 47 - Comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 no ensaio 4 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 25 - Velocidades médias dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 nos intervalos de tempo do ensaio 4 da 2ª etapa (23/02/2011).

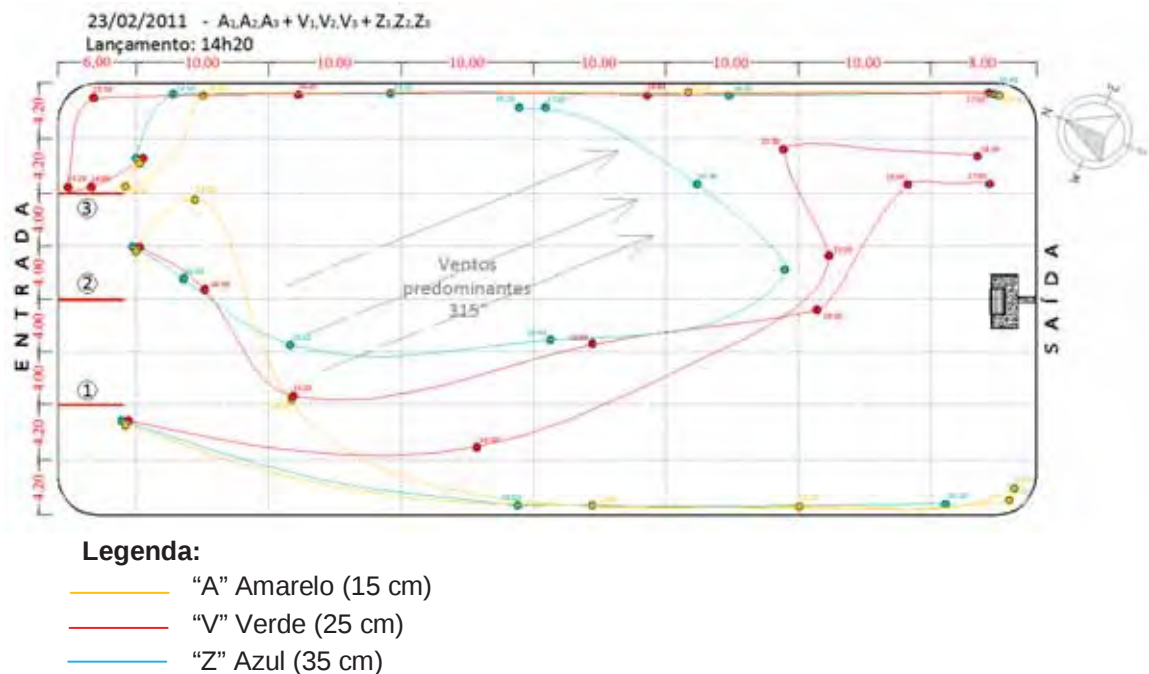
	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	Z_1	Z_2	Z_3
14h20	1,93	-	-	-
14h50	1,95	0,171	0,0025	0,0032
15h20	1,22	0,0269	0,0053	0,0091
15h50	1,37	-	0,0109	0,0061
16h20	3,08	-	0,0108	0,0081
16h50	0,77	-	0,0052	0,0134
17h20	0,10	-	0,0072	-

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.4.4 Flutuadores A_{15} ; V_{25} ; Z_{35}

O comportamento dos flutuadores no ensaio 4, como mostrado na Figura 48, representa um padrão de fluxo da água até então não ficado tão nítido nos ensaios anteriores. O comportamento dos flutuadores Z_2 , V_1 e V_2 mostrou que a aproximadamente 15 metros do ponto de saída da lagoa facultativa 2 existia um ponto que dividia os fluxos a 30 cm de profundidade e a zona superficial provocado pela ação do vento sobre a massa líquida desta lagoa.

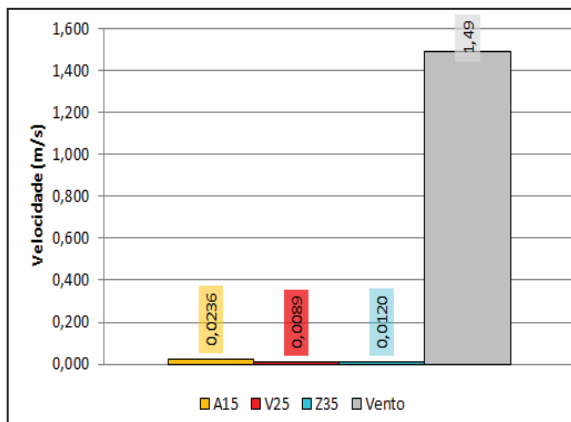
Figura 48 - Comportamento dos flutuadores no ensaio 4 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

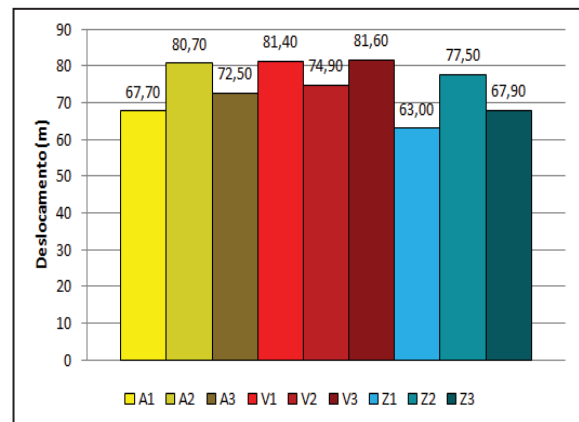
O comportamento da velocidade neste ensaio conforme mostrado nas Figuras 49 e 50, teve um resultado diferente devido a demora para o início do percurso do flutuador V_3 e o deslocamento dos flutuadores azuis foram menores devido ao movimento conforme comentado anteriormente.

Figura 49 - Velocidade média dos flutuadores durante a realização do ensaio 4 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 50 - Deslocamento dos flutuadores durante a realização do ensaio 4 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.5 Ensaio 5

O ensaio 5 da 2ª etapa foi realizado das 14h40 com o lançamento de todos os flutuadores finalizando às 17h10. Como apresentado no Quadro 26 os ventos oscilaram entre as direções N-S e NNE-SSO. A velocidade média dos ventos foi de 0,97 m/s. Como ocorridos em outros ensaios, após as 17h00 cessou os ventos.

Quadro 26 - Velocidade e direção dos ventos no intervalo de tempo do ensaio 5 da 2ª etapa (27/02/2011)

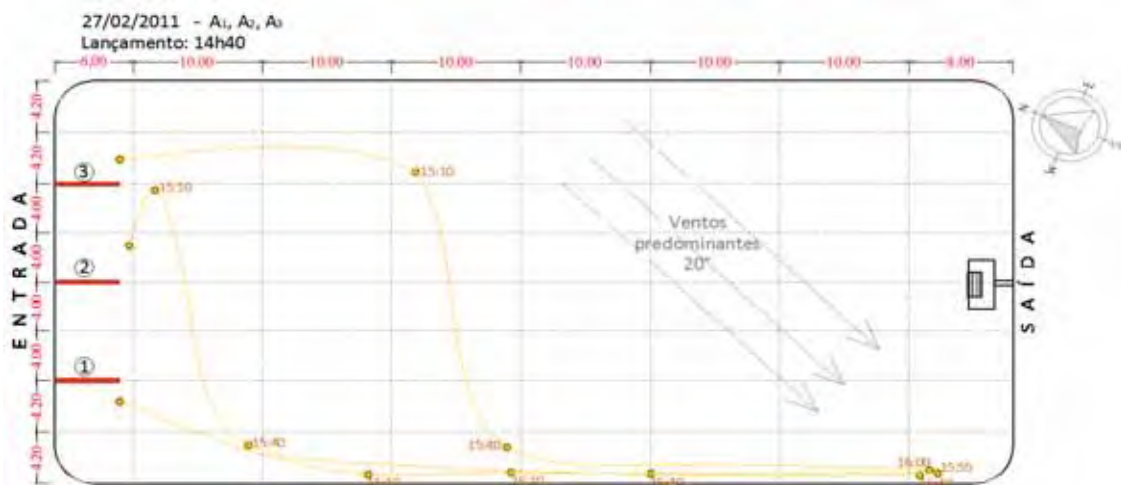
Hora	Velocidade do vento (m/s)			Direção
	Max	Min	Med	
14h40	0,9	0,3	0,50	N-S
15h10	1,5	1,2	1,40	NNE-SSO
15h40	0,8	0,4	0,60	NNE-SSO
16h10	3,0	1,8	2,23	N-S
16h40	0,3	0,0	0,13	N-S
17h10	0,0	0,0	0,00	-

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.5.1 Flutuadores A_1 , A_2 , A_3

Com os ventos oscilando entre as direções N-S e NNE-SSO, o comportamento dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 , conforme Figura 51, mantiveram o seu percurso na direção dos ventos predominantes do início ao fim do percurso. Todos os flutuadores terminaram o percurso pela borda direita (sentido entrada-saída) da lagoa.

Figura 51 - Comportamento dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 no ensaio 5 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

O motivo da velocidade do flutuador A_2 ser mais baixa que a velocidade dos demais flutuadores no período das 14h40 às 15h10 conforme Quadro 27, se justifica pelo motivo do desvio praticado pelo flutuador do banco de areia existente na entrada 2 da lagoa.

Quadro 27 - Velocidades médias dos flutuadores A_1 , A_2 , A_3 nos intervalos de tempo do ensaio 5 da 2ª etapa (27/02/2011).

	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	A_1	A_2	A_3
14h40	0,50	-	-	-
15h10	1,40	0,0112	0,0034	0,0129
15h40	0,60	0,0061	0,0096	0,0133
16h10	2,23	0,0367	0,0339	0,0273
16h40	0,13	-	0,0092	-
17h10	0,00	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.5.2 Flutuadores V_1 , V_2 , V_3

Com exceção do flutuador V_2 que retornou ao ponto de lançamento e ficou até o final do experimento, os outros flutuadores tiveram o mesmo comportamento que os flutuadores amarelos, acompanhando o sentido dos ventos até a borda direita e daí até o final do percurso como apresentado na figura 52.

Figura 52 - Comportamento dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 no ensaio 5 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

A velocidade alcançada pelos flutuadores na medição das 16h10 se justifica pelo fato do vento ter incidido diretamente nos flutuadores devido a distância do talude em corte existente na posição de origem dos ventos predominantes conforme Quadro 28.

Quadro 28 - Velocidades médias dos flutuadores V_1 , V_2 , V_3 nos intervalos de tempo do ensaio 5 da 2ª etapa (27/02/2011).

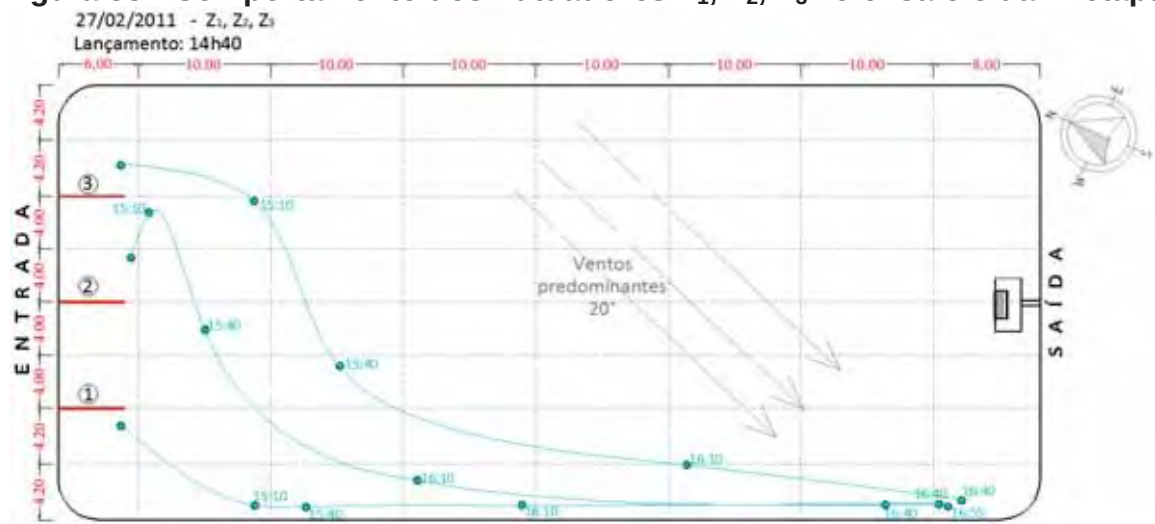
	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	V_1	V_2	V_3
14h40	0,50	-	-	-
15h10	1,40	0,0109	0,0036	0,0063
15h40	0,60	0,0119	-	0,0113
16h10	2,23	0,0457	-	0,0156
16h40	0,13	-	-	0,0259
17h10	0,00	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.5.3 Flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3

O comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 acompanhou o comportamento dos flutuadores amarelos e vermelhos. Esta relação nos leva a crer que o fluxo interno da massa líquida da lagoa facultativa 2 se encontrava em sentido anti-horário. Sendo assim, o comportamento dos flutuadores se desenvolveu na direção dos ventos predominantes, proporcionando desta forma o mesmo comportamento em todos os flutuadores como mostrado na Figura 53.

Figura 53 - Comportamento dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 no ensaio 5 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

A velocidade alcançada pelos flutuadores, conforme Quadro 29, na medição das 16h40 se justifica pelo fato relatado no item 6.2.5.2 sobre os flutuadores vermelhos.

Quadro 29 - Velocidades médias dos flutuadores Z_1 , Z_2 , Z_3 nos intervalos de tempo do ensaio 5 da 2ª etapa (27/02/2011).

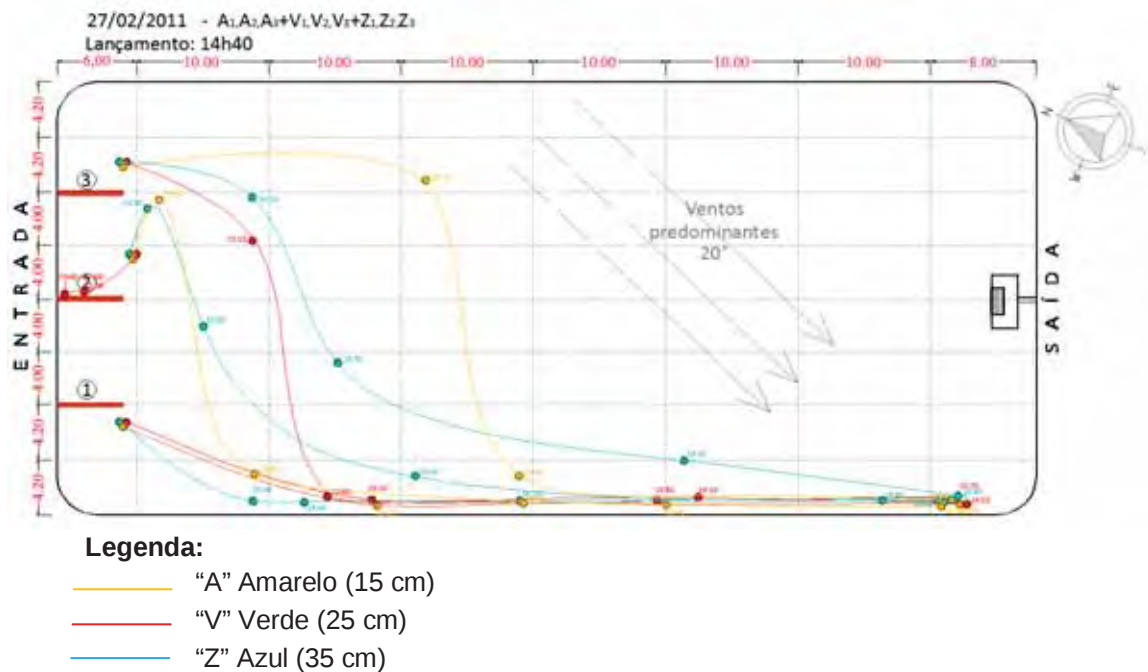
	Velocidades médias (m/s)			
	Vento	Z_1	Z_2	Z_3
14h40	0,50	-	-	-
15h10	1,40	0,0066	0,0021	0,0058
15h40	0,60	0,0022	0,0058	0,0079
16h10	2,23	0,0091	0,0116	0,0154
16h40	0,13	0,0174	0,0197	0,0117
17h10	0,00	-	0,0051	-

Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.5.4 Flutuadores A_{15} ; V_{25} ; Z_{35}

A ação dos ventos sobre a lagoa, direciona o fluxo interno da lagoa facultativa de tal forma que coincide com o direcionamento imposto pela ação dos ventos a todos os flutuadores, tanto os superficiais (A) como os mais profundos (V e Z) conforme mostra Figura 54.

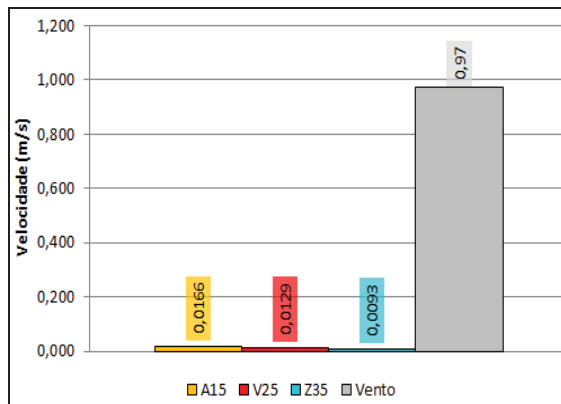
Figura 54 - Comportamento dos flutuadores no ensaio 5 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

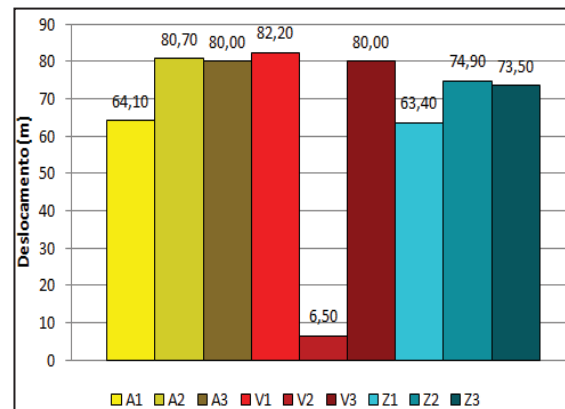
A Figura 55 mostra um comportamento na velocidade dos flutuadores já esperado ao contrário da Figura 56 que mostra deslocamentos menores para os flutuadores azuis. Isto é justificado pela coincidência da direção dos ventos e circulação da massa líquida da lagoa desenvolver o movimento no mesmo sentido.

Figura 55 - Velocidade média dos flutuadores durante a realização do ensaio 5 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 56 - Deslocamento dos flutuadores durante a realização do ensaio 5 da 2ª etapa



Fonte: Elaborado pelo autor

6.3 COMENTÁRIO FINAL DOS EXPERIMENTOS

A realização dos experimentos com os flutuadores confeccionados em tubos de PVC com atuadores na extremidade inferior alcançou um resultado satisfatório diante das discussões anteriormente comentadas.

A verificação da influência dos ventos na movimentação da massa líquida da lagoa foi constatada em vários ensaios, principalmente por meio dos flutuadores azuis (35 cm).

Por problemas técnicos, falta de equipamento e pessoal, não pode ser realizado batimetria como desejado. A batimetria poderia auxiliar na definição dos tamanhos dos flutuadores e dos pontos de lançamento dos flutuadores.

6.4 RESULTADOS DA DQO

Para verificação da mistura da massa líquida da lagoa facultativa 2 da ETE de Álvares Florence, foram realizadas coletas de amostras estratificadas em 5 pontos da lagoa e no afluente.

6.4.1 Análises realizadas em 11/02/11

Os valores obtidos das análises estratificadas de DQO realizadas em 11/02/2011 são apresentados no Quadro 30 que segue.

Quadro 30 - Resultado das análises de DQO, Temperatura e pH através de coletas estratificadas do dia 11/02/11

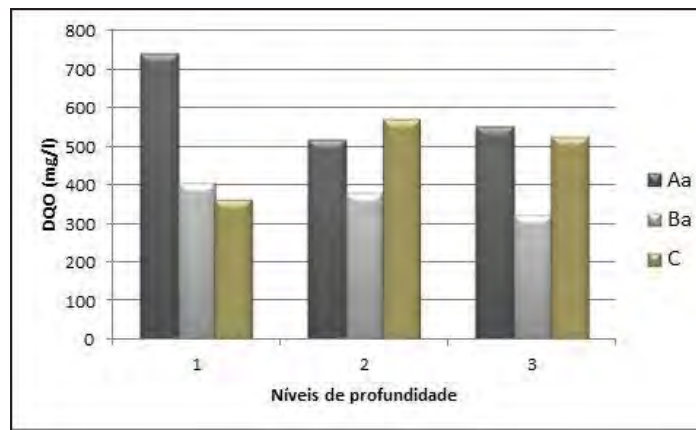
Ponto de coleta	HORA	TEMPERATURA (°C)		DQO (mg/l)	pH
		AR	Amostra		
Aa ₁	10:15	30	29	743,67	7,1
Aa ₂	10:25	30	30	518,33	7,1
Aa ₃	10:40	30	30	554,00	7,4
Ab ₁	09:30	26	28	401,00	7,2
Ab ₂	09:45	26	28	312,67	7,3
Ab ₃	10:00	26	29	386,00	7,2
Ba ₁	11:10	31	29	407,33	7,1
Ba ₂	11:25	31	29	380,00	7,1
Ba ₃	11:40	31	30	324,33	7,1
Bb ₁	12:00	34	29	410,00	7,1
Bb ₂	12:15	34	29	415,33	7,2
Bb ₃	12:25	34	30	760,67	6,8
C ₁	12:40	35	28	366,67	7,1
C ₂	12:50	35	30	574,00	7,5
C ₃	13:00	35	30	528,67	6,9
AF*	-	-	-	-	-

*Não foi efetuado coleta no ponto AF, pois estavam sendo realizados reparos técnicos no painel de comando da ETE e não estava bombeando para a lagoa.

Fonte: Elaborado pelo autor

Pelos resultados obtidos nas análises de DQO, observou-se que os valores entre os níveis 1, 2 e 3 de cada ponto amostrado possuem pequena variação na concentração. Em alguns casos, como no ponto C, localizado no dispositivo de saída da lagoa, os valores na camada superficial (C3) possuíram concentrações maiores que a camada inferior (C1). Estes resultados confirmam a verificação de mistura nos diversos pontos da lagoa conforme mostra Figura 57.

Figura 57 - Concentração de DQO nos 3 níveis da lagoa nas posições Aa, Ba e C (11/02/2011)

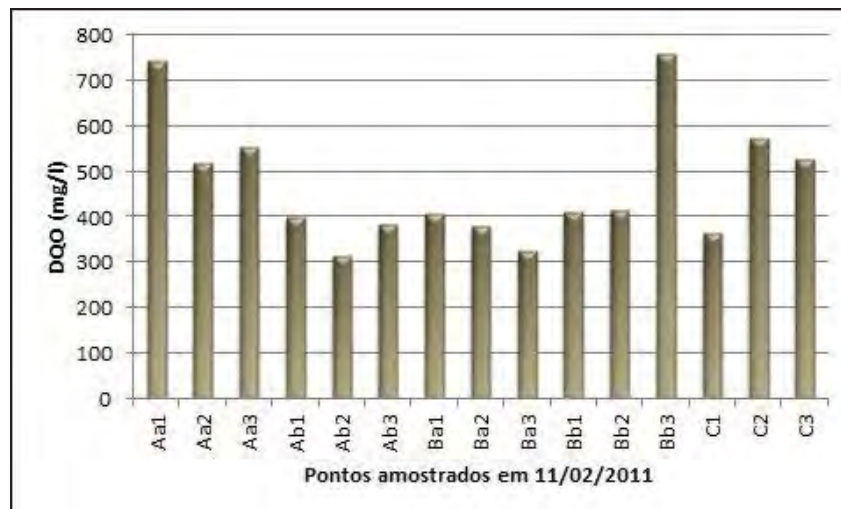


Fonte: Elaborado pelo autor

Alguns resultados ficaram acima da média como nos pontos Aa1 e Bb3, é possível terem ocorrido problemas na coleta das amostras.

A Figura 58 nos mostra que, quando comparados os resultados obtidos na análise de DQO entre pontos equidistantes, como é o caso dos pontos Aa1 e Ba1, Aa2 e Ba2 e assim continuamente, observou-se que os resultados não mantêm uma ordem natural, ou seja, na parte superficial da lagoa ter concentração menor que a inferior, ou ainda, a posição próxima à entrada da lagoa ter concentração maior que próximo à saída.

Figura 58 - Concentração de DQO nos 3 níveis da lagoa em todos pontos amostrados (11/02/2011)



Fonte: Elaborado pelo autor

6.4.2 Análises realizadas em 17/02/11

Nos resultados amostrados no Quadro 31 referente a análise estratificada de DQO do dia 17/02/2011, nos é apresentado o mesmo perfil de resultados do ensaio do dia 11/02/11. Este perfil caracterizou, juntamente com os resultados obtidos pelos ensaios com os flutuadores, a proposta da lagoa facultativa 2 estar atuando como um reator de mistura completa.

Alguns resultados ficaram acima da média como nos pontos Ba1, é possível terem ocorrido problemas na coleta das amostras.

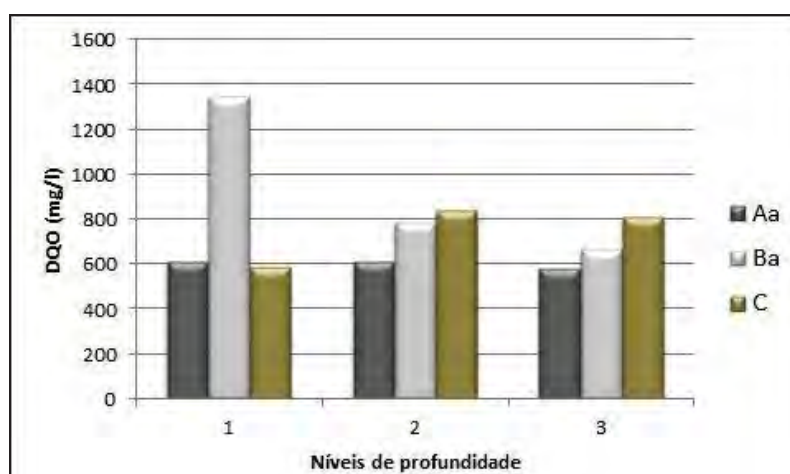
Quadro 31 - Resultado das análises de DQO, Temperatura e pH através de coletas estratificadas do dia 17/02/11

Ponto de coleta	HORA	TEMPERATURA (°C)		DQO (mg/l)	pH
		AR	Amostra		
Aa ₁	12:35	30	29	615,00	7,2
Aa ₂	12:40	30	30	614,67	7,2
Aa ₃	12:45	30	30	582,00	7,2
Ab ₁	12:55	26	28	612,67	7,3
Ab ₂	13:00	26	28	761,33	7,3
Ab ₃	13:10	26	29	812,00	7,4
Ba ₁	11:10	31	29	1350,00	7,4
Ba ₂	11:25	31	29	790,67	7,5
Ba ₃	11:40	31	30	671,00	7,3
Bb ₁	11:25	34	29	712,33	7,1
Bb ₂	11:30	34	29	832,00	7,2
Bb ₃	11:35	34	30	852,00	6,8
C ₁	11:45	35	28	593,67	7,1
C ₂	12:00	35	30	843,67	7,5
C ₃	12:20	35	30	812,67	6,9
AF	12:30	35	28	945,67	7,2

Fonte: Elaborado pelo autor

Coletas realizadas no mesmo ponto, com resultados distintos nos confirmam a posição de mistura completa na lagoa facultativa 2 da ETE de Álvares Florence como mostrado nas Figuras 59 e 60.

Figura 59 - Concentração de DQO nos 3 níveis da lagoa nas posições Aa, Ba e C (17/02/2011)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 60 - Concentração de DQO nos 3 níveis da lagoa em todos pontos amostrados (17/02/2011).



Fonte: Elaborado pelo autor

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir para a lagoa facultativa 2 da ETE de Álvares Florence que:

- Os ensaios com flutuadores de diferentes níveis evidenciaram a diferença na velocidade de deslocamento entre eles em relação à direção do vento e ao fluxo da massa líquida na região superficial e a 30 cm de profundidade.
- Os resultados obtidos nos ensaios mostraram influência do entorno da lagoa quanto ao direcionamento do vento proporcionando a transmissão de energia do vento à superfície líquida.
- Os resultados dos ensaios com flutuadores, principalmente os azuis (35 cm) demonstraram a influência dos ventos na movimentação da massa líquida.
- O sentido da circulação da massa líquida se relaciona com o direcionamento dos ventos predominantes.
- Pelos resultados obtidos das análises das amostras estratificadas de DQO, pode-se constatar pequenas alterações de valores, o que demonstra um padrão de mistura completa nos diferentes níveis de profundidade em todos os pontos amostrados.
- O vento foi o mecanismo principal na determinação do padrão de mistura e circulação da massa líquida da lagoa.

Como recomendações:

- Deve ser realizada uma batimetria na lagoa antes do início dos trabalhos para definição dos tamanhos dos flutuadores e avaliar primariamente o seu perfil interno.
- É importante ter uma miniestação meteorológica no local de pesquisa para obtenção de dados mais precisos de vento e condições climáticas.

REFERÊNCIAS

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. São Paulo: PHD/USP, 1999. 548 p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWW; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington, DC.: American Public Health Association, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n. 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 efluente e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

CARDOSO, L. S.; SILVEIRA A. L.; MARQUES, D. M. L. M. A ação do vento como gestor da hidrodinâmica na Lagoa Itapeva (Litoral Norte do Rio Grande do Sul-Brasil). *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 5-15, jul./set. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Cidades*. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 12 fev. 2011.

KELLNER, E.; MOREIRA, J. F. V.; PIRES, E. C. Influência da estratificação térmica no volume útil e no comportamento hidrodinâmico de lagoa de estabilização: determinação experimental e teórica. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 129-138, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=1413-415220090001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 fev. 2011.

KELLNER, E.; PIRES, E. C. *Lagoas de estabilização: projeto e operação*. Rio de Janeiro: ABES, 1998. 244 p.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 3. ed. Rio de Janeiro, 1995. 720 p.

MARA, D. D. et al. *Waste stabilization ponds: a design manual for Eastern Africa*. Leeds: Lagoon Technology International, 1992. 121 p.

MENESES, C. G. R. *Evolução da biodegradabilidade da matéria orgânica em um sistema de lagoas de estabilização*. 2006. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal, 2006.

MORAIS, V.S. *Previsão de ondas geradas por ventos em águas interiores e sua alteração devido à presença de vegetação aquática em margens de lagos*. 2009. 250 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Térmicas) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MORENO, M.D. A tracer study of the hydraulics of facultative stabilization ponds. *Water Research*, New York, v. 24, n. 8, p. 1025-1030, 1990.

NAMECHE, T. H.; VASEL, J. L. Hydrodynamic studies and modelization for aerated lagoons and waste stabilization ponds. *Water Research*, New York, v. 32, n. 10, p. 3039-3045, 1998.

NAVAL, L. P. et al. Aplicação de um modelo relacionado ao comportamento da hidrodinâmica em um sistema de lagoas de estabilização em região tropical. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún, México. *Programa oficial...* São Paulo: AIDIS, 2002.

NAVAL, L. P. et al. Influência do chicaneamento na remoção da matéria orgânica em um sistema de lagoas de estabilização operando em escala real. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún, México. *Programa oficial...* São Paulo: AIDIS, 2002.

PERSSON, J. The hydraulic performance of ponds of various layouts. *Urban Water*, Amsterdam, v. 2, n. 3, p. 243-250, Sep. 2000.

PINTO, M. T. et al. ETE Samambaia: dos projetos à prática dos novos conceitos no processo de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1997.

PIRES, E. C.; KELLNER, E. Modelo matemático para estimativa do tempo médio de detenção hidráulico de lagoas de estabilização sob influência da estratificação térmica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 2001.

SÃO PAULO (Estado). *Decreto Estadual 8.468*, de 08 de Setembro de 1976. Regulamento da Lei Nº 997, de 31 de Maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Atualizado com redação dada pelo Decreto 54.487, de 26/06/09, que passou a vigorar em 180 dias após sua publicação em 27/06/09. São Paulo: CETESB, 2011. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2011.

SILVA, R. A. T. *ÉRIS – Sistema de acompanhamento e monitoramento climático e meteorológico*. 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

SILVA, S. A.; MARA, D. D. *Tratamentos biológicos de águas residuárias*. Rio de Janeiro: ABES, 1979.

SHORT, M. D.; CROMAR, N. J.; FALLOWFIELD, H. J. Hydrodynamic performance of pilot-scale duckweed, algal-based, rock filter and attached-growth media reactors used for waste stabilisation pond research. *Ecological Engineering*, Oxford, v. 36, n. 12, p. 1700-1708, Dec. 2010.

TEIXEIRA, E. C. Importância da hidrodinâmica de reatores na otimização de processos de desinfecção de águas de abastecimento: uma análise crítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18., 1995, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1995.

TORRES, J. J. et al. Hydraulic performance of a deep wastewater stabilization pond fed at 3,5m depth. *Water Research*, New York, v. 34, n. 2, p.1042-1049, 2000.

TORRES, J. J. et al. Study of the internal hydrodynamics in three facultative ponds of two municipal WSPS. *Water Research*, New York, v. 33, n. 5, p. 1133-1140, 1999.

TORRES, J. J.; SOLER, A. J.; ORTUNO, J. F. Hydraulic performance of a deep wastewater stabilization pond. *Water Research*, New York, v. 31, n. 4, p. 679-688, 1997.

UEHARA, M. Y.; VIDAL, W. L. *Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas*. São Paulo: CETESB, 1989. (Série Manuais).

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuária: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2005. 243 p.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: princípios básicos do tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 1996.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização*. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2002. 196 p.

WIKIPEDIA. *Álvares Florence*. [S.l.], 2011. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81lvares_Florence>. Acesso em: 12 fev. 2011.