

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ALAGADOS  
CONSTRUÍDOS COMO SISTEMA DE TRATAMENTO TERCIÁRIO  
DE EFLUENTES E PARA GERAÇÃO DE BIOMASSA DA CULTURA  
DE TABOA (*Typha sp*)**

**RICARDO MOLTO PEREIRA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU – SP

Dezembro - 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ALAGADOS  
CONSTRUÍDOS COMO SISTEMA DE TRATAMENTO TERCIÁRIO  
DE EFLUENTES E PARA GERAÇÃO DE BIOMASSA DA CULTURA  
DE TABOA (*Typha sp*)**

**RICARDO MOLTO PEREIRA**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Luiz de Oliveira

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU – SP

Dezembro – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P436a      Pereira, Ricardo Molto, 1984-  
Avaliação da utilização de sistemas de alagados construídos como sistema de tratamento terciário de efluentes e para geração de biomassa da cultura de taboa (*Typha sp*) / Ricardo Molto Pereira. - Botucatu : [s.n.], 2013  
xv, 67 f. : ils. color., grafs., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013  
Orientador: Eduardo Luiz de Oliveira  
Inclui bibliografia

1. Águas residuais - Purificação. 2. Biomassa vegetal. 3. Efluente - Qualidade. 4. Fitoremediação. I. Oliveira, Eduardo Luiz. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**

**CAMPUS DE BOTUCATU**

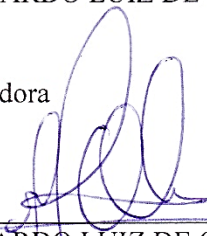
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO: “AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ALAGADOS  
CONSTRUÍDOS COMO SISTEMA DE TRATAMENTO TERCIÁRIO DE  
EFLUENTES E PARA GERAÇÃO DE BIOMASSA DA CULTURA DE  
TABOA (Typha SP.)”

ALUNO: RICARDO MOLTO PEREIRA

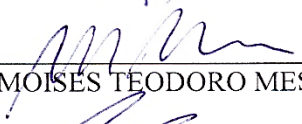
ORIENTADOR: PROF. DR. EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA

Aprovado pela Comissão Examinadora



---

PROF. DR. EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA



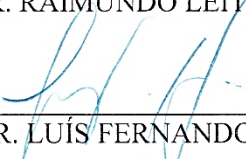
---

PROF. DR. MOISÉS TEODORO MESSI



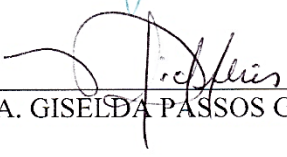
---

PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ



---

PROF. DR. LUÍS FERNANDO ROSSI LÉO



---

PROFA. DRA. GISELDA PASSOS GIAFFERIS

Data da Realização: 12 de dezembro de 2013.

**DEDICO**

Dedico este trabalho a todos que têm o interesse em realizar projetos a favor do próximo, sem envolver o próprio interesse.

A todos aqueles que reconhecem seus próprios erros, e com isso aprendem e fazem com que outras pessoas não precisem errar para aprender.

A todos aqueles que lutam para um mundo melhor, menos egoísta, mais sensato e com maior acesso à informação e educação.

A todos aqueles que creem na educação como sendo o fator fundamental para a evolução natural do ser humano.

A Deus por ter iluminado os caminhos pelos quais escolhi.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço este trabalho à minha esposa e companheira eterna Maysa pelo apoio, contribuição e compreensão nesta nossa jornada, e à minha filha Isabela que está por chegar, a qual me deu ânimo e fôlego extra na etapa final deste projeto.

Aos meus pais Sílvio e Angela, e ao meu irmão Marcelo pela orientação cultural e humana que recebi ao longo destes anos.

Aos meus avós Aube, Deise, Ana e Durval (*in memoriam*) pelo apoio, incentivo e reconhecimento dos anos dedicados aos estudos.

À minha sogra Marisa, à avó Nelly e ao Marcio pelo apoio desde a graduação até o doutorado.

De forma especial, agradeço ao amigo e orientador, Prof. Dr. Eduardo Luiz de Oliveira, pela orientação e paciência durante a graduação, mestrado e agora doutorado. Você foi o grande incentivador para minha carreira acadêmica, e por isto sou muito grato.

Aos meus mentores na carreira acadêmica-profissional Prof. Dr. Luis Fernando Rossi Léo e Prof. Dr. Moisés Teodoro Messi, pelos conselhos e apoio.

À Fundação Paulista de Tecnologia e Educação (FPTE) por ter ajudado com os custos do doutorado e pela disponibilização dos laboratórios e infraestrutura.

Em especial, agradeço aos meus orientados Daiene Maria de Oliveira Azevedo Martins, José Elias Bispo Neto, Alline Fernanda de Siqueira, Giovanna Andressa Martos, Matheus Hernandes Alves, Estela Domingues Costa pelo apoio e interesse à pesquisa em alagados construídos. Agradeço ainda a todos os meus alunos e orientados da UNESP e da UNILINS, que me auxiliam diariamente no desenvolvimento de novas pesquisas.

Ao Diretor Luis Carlos de Almeida Neto e todos os colaboradores do Jardim Botânico de Bauru, aos colegas discentes, docentes e funcionários da pós-graduação da UNESP.

Agradeço por fim todos aqueles que colaboraram com a minha formação teórica e prática.

Estes são meus sinceros agradecimentos.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

RICARDO MOLTO PEREIRA, filho de Silvio Tavarolo Pereira e de Angela Ana Molto Pereira, nascido em São Bernardo do Campo-SP em 14 de abril de 1984.

Cursou o primeiro grau no Colégio Regina Mundi em São Paulo-SP (1989-1998) e o segundo grau no COC Universitário em São Bernardo do Campo-SP (1999-2001).

Graduou em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista – UNESP em Bauru (2002-2006), onde conheceu sua esposa Maysa Malva e iniciou sua carreira acadêmica tendo sido bolsista FAPESP, sob orientação do Prof. Dr. Eduardo Luiz de Oliveira.

Cursou mestrado em Recursos Hídrico e Tecnologias Ambientais pela Universidade Estadual Paulista – UNESP (2007-2008) em um programa que envolveu os campi de Bauru, Ilha Solteira e Guaratinguetá, sob co-orientação do Prof. Dr. Eduardo Luiz de Oliveira e orientação do Prof. Dr. José Augusto de Lollo.

Atuou em empresas ligadas a engenharia civil e desde 2008 leciona nos cursos de graduação e pós-graduação do Centro Universitário de Lins, UNILINS, da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação.

É membro do conselho universitário da UNILINS.

É diretor de projetos da INOVATEC Serviços de Engenharia Civil e Ambiental Ltda.

Em 2009 e 2010 teve a oportunidade de lecionar no departamento de Engenharia Civil da UNESP de Bauru como professor conferencista e substituto das disciplinas de Hidráulica, Saneamento e Drenagem Urbana.

Em 2010 ingressou no programa de doutorado em Agronomia (Irrigação e Drenagem) na Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA – da UNESP Campus de Lageado, a fim de ampliar o seu conhecimento observando não apenas o sistema como um todo, mas sim os ciclos e as variáveis métricas das plantas.

Em 2011 ingressou no curso *Master Business Administration* (MBA) em gestão de projetos pela Faculdade Getúlio Vargas (FGV)



**SUMÁRIO**

|                                                     |      |
|-----------------------------------------------------|------|
| LISTA DE FIGURAS .....                              | X    |
| LISTA DE TABELAS .....                              | XIII |
| LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS .....                    | XIV  |
| RESUMO .....                                        | 1    |
| ABSTRACT .....                                      | 2    |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                  | 3    |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                       | 6    |
| 2.1. Alagados Naturais .....                        | 6    |
| 2.2. Alagados Construídos.....                      | 7    |
| 2.2.2. Vegetação aquática .....                     | 12   |
| 2.3. Variáveis climatológicas .....                 | 13   |
| 2.3.1. Precipitação .....                           | 14   |
| 2.3.2. Umidade relativa do ar .....                 | 14   |
| 2.3.3. Temperatura do ar.....                       | 15   |
| 2.3.4. Radiação Solar.....                          | 15   |
| 2.3.5. Ventos, direção predominante e rajadas ..... | 16   |
| 2.3.6. Evapotranspiração .....                      | 16   |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS .....                        | 18   |
| 3.1. Composição do sistema .....                    | 20   |
| 3.2. Amostragem de plantas .....                    | 21   |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 3.3. Amostragem temporal .....                                 | 22 |
| 3.4. Variáveis analisadas .....                                | 22 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                | 29 |
| 4.1. Caracterização Meteorológica do período.....              | 29 |
| 4.2. Análise das métricas de desenvolvimento das plantas ..... | 37 |
| 5. CONCLUSÕES.....                                             | 62 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                            | 64 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1: SISTEMA COM FLUXO HORIZONTAL SUPERFICIAL ( ANJOS, 2003 APUD SILVA, 2007).....                            | 10 |
| FIGURA 2: SISTEMA COM FLUXO HORIZONTAL SUB-SUPERFICIAL ( ANJOS, 2003 APUD SILVA, 2007) .....                       | 10 |
| FIGURA 3: SISTEMA COM FLUXO VERTICAL DESCENDENTE (ANJOS, 2003 APUD SILVA, 2007).....                               | 11 |
| FIGURA 4: SISTEMA COM PLANTAS FLUTUANTES (SALATI, 2000 APUD CUNHA, 2006) ....                                      | 12 |
| FIGURA 5: SISTEMA COM PLANTAS SUBMERSAS (SALATI, 2000 APUD CUNHA, 2006).....                                       | 12 |
| FIGURA 6: SISTEMA COM PLANTAS EMERGENTES (SALATI, 2000 APUD CUNHA, 2006)....                                       | 13 |
| FIGURA 7: BALANÇO DE RADIAÇÃO (BISCARO, 2007) .....                                                                | 16 |
| FIGURA 8: INTEGRAÇÃO ENTRE SOCIEDADE E O MEIO AMBIENTE NA ETE – JARDIM BOTÂNICO BAURU.....                         | 18 |
| FIGURA 9: FLUXOGRAMA DA ETE JARDIM BOTÂNICO DE BAURU. FONTE: GEAC.....                                             | 19 |
| FIGURA 10: REATOR AVALIADO NA PESQUISA. FONTE: GEAC. ....                                                          | 20 |
| FIGURA 11: LOCAÇÃO DAS PLANTAS 1,2,3,4,5 E 6 NO SISTEMA. ....                                                      | 21 |
| FIGURA 12: UMIDADE RELATIVA E CHUVA ACUMULADA NO PERÍODO DE UMA HORA DURANTE O EXPERIMENTO.....                    | 30 |
| FIGURA 13: TEMPERATURA DO PONTO MÉDIO E MÉDIA DIÁRIA NO PERÍODO.....                                               | 30 |
| FIGURA 14: CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA EM FAIXAS. ....                                                    | 31 |
| FIGURA 15: RADIAÇÃO SOLAR HORÁRIA E MÉDIA DIÁRIA.....                                                              | 31 |
| FIGURA 16: CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR DOS DADOS DIURNOS.....                                          | 32 |
| FIGURA 17: CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR TOTAL DIÁRIA. ....                                              | 33 |
| FIGURA 18: PONTOS LIDO PARA RADIAÇÃO, CURVA DO MÁXIMO, MÍNIMA E MÉDIA REGISTRADAS. ....                            | 33 |
| FIGURA 19: INSOLAÇÃO – PORCENTAGEM DA RADIAÇÃO SOLAR QUE ATINGE A SUPERFÍCIE NA LOCALIDADE E DATA REFERÊNCIA. .... | 34 |
| FIGURA 20: VELOCIDADE DE RAJADA DE VENTO. ....                                                                     | 34 |
| FIGURA 21: DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO.....                                                                      | 35 |
| FIGURA 22: VELOCIDADE EÓLICA MÉDIA HORÁRIA. ....                                                                   | 35 |
| FIGURA 23: PRESSÃO ATMOSFÉRICA NO PERÍODO.....                                                                     | 36 |

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 24: EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA.....                                                                          | 36 |
| FIGURA 25: EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DE <i>TYPHA</i> , CONFORME BRASIL E MATOS<br>(2008). ....                        | 37 |
| FIGURA 26: ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DAS PLANTAS. ....                                                                   | 37 |
| FIGURA 27: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 01 NA 1ª, 2ª E 3ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE.....                                         | 38 |
| FIGURA 28: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 02 NA 1ª, 2ª E 3ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE.....                                         | 38 |
| FIGURA 29: ALTURA INDIVIDUAL DAS FOLHAS PARA A PLANTA 01.....                                                            | 39 |
| FIGURA 30: ALTURA INDIVIDUAL DAS FOLHAS PARA A PLANTA 02.....                                                            | 39 |
| FIGURA 31: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 03 NA 1ª, 2ª E 3ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE.....                                         | 40 |
| FIGURA 32: FOTOGRAFIAS DA NOVA PLANTA 01 NA 6ª, 7ª, 8ª E 9ª SEMANAS,<br>RESPECTIVAMENTE. ....                            | 40 |
| FIGURA 33: FOTOGRAFIAS DA NOVA PLANTA 01 NA 10ª, 11ª E 12ª SEMANAS,<br>RESPECTIVAMENTE. ....                             | 41 |
| FIGURA 34: ALTURA INDIVIDUAL DAS FOLHAS PARA A NOVA PLANTA 01.....                                                       | 41 |
| FIGURA 35: FOTOGRAFIAS DA NOVA PLANTA 02 NA 6ª, 7ª, 8ª E 9ª SEMANAS,<br>RESPECTIVAMENTE. ....                            | 42 |
| FIGURA 36: FOTOGRAFIAS DA NOVA PLANTA 02 NA 10ª, 11ª E 12ª SEMANAS,<br>RESPECTIVAMENTE. ....                             | 42 |
| FIGURA 37: ALTURA INDIVIDUAL DAS FOLHAS PARA A NOVA PLANTA 02.....                                                       | 43 |
| FIGURA 38: FOTOGRAFIAS DA NOVA PLANTA 03 NA 6ª, 7ª, 8ª E 9ª SEMANAS,<br>RESPECTIVAMENTE. ....                            | 43 |
| FIGURA 39: FOTOGRAFIAS DA NOVA PLANTA 03 NA 10ª, 11ª E 12ª SEMANAS,<br>RESPECTIVAMENTE. ....                             | 44 |
| FIGURA 40: ALTURA INDIVIDUAL DAS FOLHAS PARA A NOVA PLANTA 03.....                                                       | 44 |
| FIGURA 41: DISPOSIÇÃO DO ACESSO PÚBLICO EM RELAÇÃO À MARGEM LESTE.....                                                   | 45 |
| FIGURA 42: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 04 NA 1ª, 2ª, 3ª E 4ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE. ...                                     | 45 |
| FIGURA 43: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 04 NA 5ª, 6ª E 7ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE.....                                         | 46 |
| FIGURA 44: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 04 NA 8ª E 9ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE. ....                                            | 46 |
| FIGURA 45: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 04 NA 10ª, 11ª E 12ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE...                                        | 47 |
| FIGURA 46: ALTURA INDIVIDUAL DAS FOLHAS PARA A NOVA PLANTA 04, EM COMPARAÇÃO<br>COM A VELOCIDADE DE RAJADA MÁXIMA.. .... | 47 |
| FIGURA 47: FOTOGRAFIAS DA ETE EM 2005(PRADO, 2005) E 2013. ....                                                          | 48 |
| FIGURA 48: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 05 NA 1ª, 2ª, 3ª E 4ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE. ...                                     | 48 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 49: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 05 NA 5ª, 6ª E 7ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE.....                                        | 49 |
| FIGURA 50: ALTURA INDIVIDUAL DAS FOLHAS PARA A NOVA PLANTA 05, EM COMPARAÇÃO<br>COM A VELOCIDADE DE RAJADA MÁXIMA. .... | 49 |
| FIGURA 51: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 06 NA 1ª, 2ª, 3ª E 4ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE. ...                                    | 50 |
| FIGURA 52: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 06 NA 5ª, 6ª E 7ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE.....                                        | 50 |
| FIGURA 53: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 06 NA 8ª, 9ª E 10ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE.....                                       | 51 |
| FIGURA 54: FOTOGRAFIAS DA PLANTA 06 NA 11ª E 12ª SEMANAS, RESPECTIVAMENTE. ....                                         | 51 |
| FIGURA 55: ALTURA INDIVIDUAL DAS FOLHAS PARA A NOVA PLANTA 06, EM COMPARAÇÃO<br>COM A VELOCIDADE DE RAJADA MÁXIMA. .... | 52 |
| FIGURA 56: MÉDIA DAS TAXAS DE CRESCIMENTO FOLIAR DAS PLANTAS EM RELAÇÃO À<br>CHUVA ACUMULADA EM UMA HORA. ....          | 53 |
| FIGURA 57: MÉDIA DAS TAXAS DE CRESCIMENTO FOLIAR DAS PLANTAS EM RELAÇÃO À<br>UMIDADE RELATIVA DO AR. ....               | 53 |
| FIGURA 58: MÉDIA DAS TAXAS DE CRESCIMENTO FOLIAR DAS PLANTAS EM RELAÇÃO À<br>TEMPERATURA MÉDIA.....                     | 54 |
| FIGURA 59: MÉDIA DAS TAXAS DE CRESCIMENTO FOLIAR DAS PLANTAS EM RELAÇÃO À<br>RADIAÇÃO SOLAR. ....                       | 54 |
| FIGURA 60: MÉDIA DAS TAXAS DE CRESCIMENTO FOLIAR DAS PLANTAS EM RELAÇÃO À<br>VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO.....             | 55 |
| FIGURA 61: MÉDIA DAS TAXAS DE CRESCIMENTO FOLIAR DAS PLANTAS EM RELAÇÃO À<br>DIREÇÃO DO VENTO. ....                     | 55 |
| FIGURA 62: MÉDIA DAS TAXAS DE CRESCIMENTO FOLIAR DAS PLANTAS EM RELAÇÃO À<br>RAJADA DE VENTO. ....                      | 56 |
| FIGURA 63: RAJADA DE VENTO E DIREÇÃO DO VENTO NO 17º DIA APÓS O MANEJO. ....                                            | 56 |
| FIGURA 64: CURVA DE CORRELAÇÃO ENTRE ÁREA FOLIAR, PESO SECO E PESO ÚMIDO. ....                                          | 58 |
| FIGURA 65: CURVA DE CORRELAÇÃO ÁREA FOLIAR X RELAÇÃO PESO SECO/PESO ÚMIDO. ....                                         | 58 |
| FIGURA 66: CURVA DE CORRELAÇÃO ÁREA FOLIAR X NITROGÊNIO, FÓSFORO, POTÁSSIO,<br>SÓDIO E CARBONO FIXO.....                | 59 |
| FIGURA 67: ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO, POTÁSSIO, SÓDIO E CARBONO FIXO NO<br>PERÍODO ANALISADO. ....                | 60 |
| FIGURA 68: TAXA DE ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO, POTÁSSIO, SÓDIO E CARBONO<br>FIXO NO PERÍODO ANALISADO. ....        | 61 |

**LISTA DE TABELAS**

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1: COMPARATIVO DOS SISTEMAS DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS. ....            | 11 |
| TABELA 2: VARIÁVEIS AVALIADAS NO SISTEMA PARA O DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS | 22 |
| TABELA 3: VARIÁVEIS AVALIADAS NO SISTEMA PARA FATORES EXTERNOS. ....        | 25 |

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

|                   |                                                          |
|-------------------|----------------------------------------------------------|
| $\alpha$          | Coeficiente de reflexão                                  |
| $\gamma$          | Constante psicométrica                                   |
| AC                | Alagados construídos                                     |
| ACFHS             | Alagados construídos de fluxo horizontal sub superficial |
| AF                | Área foliar                                              |
| BOC               | Balanço de ondas curtas                                  |
| BOL               | Balanço de ondas longas                                  |
| C                 | Comprimento da folha                                     |
| CF                | Carbono fixo                                             |
| D                 | Diâmetro                                                 |
| DBO               | Demanda bioquímica de oxigênio                           |
| e                 | Pressão atual de vapor na atmosfera                      |
| es                | Pressão de saturação à temperatura de bulbo seco         |
| ea                | Pressão real ou atual do vapor d'água                    |
| EMBRAPA           | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária              |
| EPS               | Poliestireno expandido                                   |
| ETE               | Estação de tratamento de esgotos e/ou efluentes          |
| ETo               | Evapotranspiração de referência                          |
| FH                | Fluxo horizontal                                         |
| FV                | Fluxo vertical                                           |
| G                 | Densidade de fluxo de calor para o solo                  |
| GEAC              | Grupo de Estudos em Alagados Construídos – UNESP-Bauru   |
| INMET             | Instituto Nacional de Meteorologia                       |
| IPMET             | Instituto de Pesquisas Meteorológicas                    |
| Kc                | Constante de evapotranspiração da cultura                |
| L                 | Largura da folha                                         |
| MS                | Massa seca                                               |
| MU                | Massa úmida                                              |
| n                 | Insolação                                                |
| N                 | Fotoperíodo                                              |
| PCU               | Poder calorífico útil                                    |
| Pe                | Perímetro                                                |
| Pr                | Pressão atmosférica                                      |
| Pr <sub>máx</sub> | Pressão atmosférica máxima                               |
| Pr <sub>mín</sub> | Pressão atmosférica mínima                               |
| Pr <sub>pm</sub>  | Ponto médio da pressão atmosférica                       |
| Qo                | Irradiância solar no topo da atmosfera                   |
| Qg                | Irradiância solar na superfície                          |
| Rn                | Radiação líquida disponível à superfície                 |
| Rg                | Irradiância solar global                                 |
| S                 | Declividade da curva de pressão vapor                    |
| PROSAB            | Programa de Pesquisa em Saneamento Básico                |
| SP                | Estado de São Paulo – Brasil                             |
| SST               | Sólidos sedimentáveis totais                             |
| t                 | Tempo                                                    |

|            |                                                          |
|------------|----------------------------------------------------------|
| T.....     | Temperatura                                              |
| Tb.....    | Temperatura do bulbo seco                                |
| Tar.....   | Temperatura do ar                                        |
| TCf.....   | Taxa de crescimento foliar                               |
| Tmáx.....  | Temperatura máxima                                       |
| Tmín.....  | Temperatura mínima                                       |
| Tpm.....   | Ponto médio da temperatura horária                       |
| UR.....    | Umidade relativa do ar                                   |
| URmáx..... | Umidade relativa do ar máxima                            |
| URmín..... | Umidade relativa do ar mínima                            |
| URpm.....  | Ponto médio da umidade relativa do ar                    |
| UNESP..... | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” |
| v.....     | velocidade média do vento                                |



## RESUMO

O problema de eutrofização dos cursos d'água, devido ao lançamento de efluentes sem o tratamento terciário, tem causados inúmeros danos sociais, ambientais e econômicos. Visando este cenário o sistema de Alagados Construídos é uma das alternativas para efetuar a remoção dos poluentes do tipo nutrientes do efluente, podendo aproveitá-los para a produção de biomassa, que após o manejo pode ser utilizada como fonte de energia em termoeletricas. O trabalho aqui apresentado teve como objetivo avaliar o sistema de alagados construídos do Jardim Botânico do município de Bauru-SP, através das métricas de crescimento e desenvolvimento das plantas, cruzando estas informações com dados climatológicos locais e dados disponíveis na literatura em relação à espécie *Typha sp.* Com isto foi possível chegar às equações de correlação entre as métricas de comprimento e largura das folhas, a área foliar, com a produção de massa seca, absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, sódio e incorporação de carbono fixo pela planta. Possibilitando a determinação de parâmetros de dimensionamento do sistema, a partir estas taxas.

**Palavras-Chave:** Alagados Construídos; Taboa; Tratamento Terciário; *Typha sp.*; Biomassa; Manejo.

**EVALUATION OF SYSTEMS CONSTRUCTED WETLANDS AS TERTIARY TREATMENT SYSTEM SEWAGE, AND GENERATION FROM BIOMASS IN CULTURE CATTAIL (*Typha sp.*)**. Botucatu, 2013. 94p. Tese (doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Author: RICARDO MOLTO PEREIRA

Adviser: EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA

## **ABSTRACT**

The eutrophication of watercourses due to discharge of effluents without tertiary treatment, has caused severe damage, such as social, environmental and economic. Aiming this scenario, the Constructed Wetlands Systems is an alternative to effect removal of pollutants like nutrients and may make use of them for producing of biomass , which after handling can be used as a source of energy in thermoelectrics. This work intends evaluate the constructed wetland system of Jardim Botânico in Bauru-SP, through measurements of growth and development of plants, crossing this information with local climatological data and available data in the literature concerning of species *Typha sp.* With this it was possible to reach at equations of correlation between the metrics of length and width of leaves, leaf area, with dry matter yield, nitrogen absorption, phosphorus, potassium, sodium and incorporation of carbon fixed by the plant. Enabling the determination of parameters of the system design, from the absorption rates of the plants.

**Keywords:** Constructed Wetlands; Cuttail; Tertiary Treatment; *Typha sp.*; Biomass; Handling.

## 1. INTRODUÇÃO

Os recursos pedológicos, atmosféricos e hídricos são fundamentais para que se garanta a vida dos seres vivos que retiram destes recursos naturais as substâncias químicas necessárias aos processos de alimentação, reprodução e respiração para a vida terrestre. Porém estes elementos, quando usufruídos pelos seres vivos, nem sempre voltam ao meio ambiente com a mesma estrutura físico-química de quando foi absorvido.

A vida somente se difundiu ao longo do tempo, devido à própria capacidade da natureza de reequilibrar estes elementos, através dos organismos consumidores e decompositores. Além disso, existem também recursos armazenados em suas diversas formas, que necessitam passar por alguma modificação, para que possam ser utilizados pelos seres vivos. Estes processos de modificação envolvem outros elementos, que por sua vez, também devem ser modificados. Além deste fato, há a dependência energética demandada no processamento destas modificações.

Com o aumento da população mundial, e principalmente com o crescimento do consumo, se tem conhecimento do déficit qualitativo e quantitativo de muitos destes recursos. O solo é explorado ao longo do tempo e em muitos casos não existe o correto reequilíbrio dos nutrientes, dentre eles os macro nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio. Com isso, áreas produtivas tornam-se improdutivas, já que os nutrientes são absorvidos pela biota para o crescimento da biomassa e removidos do local pela colheita. Os recursos hídricos são essenciais para garantir o desenvolvimento da biomassa contida no ecossistema, e devem ter qualidade e disponibilidade compatível com o seu uso.

Segundo dados da EMBRAPA (2010), o Brasil importa a maior parte dos nutrientes consumidos na agricultura, o que torna o país extremamente dependente do mercado externo para desenvolver a economia agrícola e energética. Uma alternativa que tem sido bastante discutida no meio científico é a fertirrigação com reuso de efluentes tratados, uma vez que atualmente os nutrientes são considerados poluentes, devido a problemas de eutrofização nos cursos d'água, o que obriga na maioria das ETEs a utilização de sistemas terciários para remoção de nutrientes. O problema é que, em muitos casos, o tratamento para polimento final do efluente tem um alto custo de implantação e de operação, o que torna o tratamento da água residuária mais caro, além do fato de poder haver a geração de resíduo sólido, o qual deverá ser encaminhado a aterros sanitários.

A ideia discutida é de aproveitar o efluente tratado sem o polimento, ou seja, com baixos valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), elevada concentração de nutrientes, livre de patógenos, no caso do uso direto da cultura a ser irrigada, para fertilizar a agricultura.

A tese aqui apresentada visa a utilização do próprio sistema de tratamento para remoção dos nutrientes do efluente como um sistema produtor de biomassa. Foi utilizado sistema de Alagados Construídos com Fluxo Horizontal Sub-superficial (ACFHS). Este sistema é semelhante a um biofiltro, onde o meio suporte utilizado, areia, brita resíduos plásticos ou até mesmo poliestireno expandido (EPS) triturado, tem a função de fixar o biofilme e as raízes das plantas constituintes do sistema. A taboa (*Typha sp.*), espécie utilizada na pesquisa, teve a função de auxiliar na remoção dos nutrientes do efluente. No entanto, este sistema exige que se faça o manejo, conforme descrito por Lautenschlager (2001), ou seja, a poda das plantas em intervalos de tempo regulares, pois após atingir sua fase adulta, a cultura retira nutrientes essenciais do solo e também contribui com nutrientes através da mortandade de folhas e raízes. Depois de podada, a planta irá crescer novamente em velocidades elevadas, se comparada à fase adulta. Este manejo gera outro problema na ETE, as plantas podadas se tornam resíduos sólidos orgânicos para serem decompostos na natureza. Para tanto se avaliou a alternativa de utilizar o resíduo sólido gerado como biomassa na geração de energia em termoeletricas.

Em resumo, os objetivos específicos deste trabalho são:

- Avaliar a real taxa de absorção de nutrientes (N, P, K e Na) pela macrófita *Typha sp*;
- Avaliar a potencialidade energética da biomassa resultante do manejo;
- Avaliar variáveis de interferência do sistema em relação ao plantio, cultivo e manejo;
- Analisar a sensibilidade da *Typha sp* em função de variáveis climatológicas;
- Propor diretrizes para concepção de sistemas de alagados construídos, que equalizem a eficiência do sistema;
- Comparar o método de monitoramento do sistema através das plantas, com o método tradicional de monitoramento de entrada e saída do reator;
- Apontar novas pesquisas que possam ser desenvolvidas no futuro, complementando o trabalho realizado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sistemas de alagados construídos, também conhecidos como *constructed wetlands*, *wetlands*, leitos cultivados, jardins filtrantes, entre outras denominações, são sistemas que foram desenvolvidos a partir da observação de áreas originalmente úmidas e suas respectivas funções na autodepuração e controle da natureza. Estes sistemas são modelados em reatores, nos quais existe a possibilidade de monitoramento e controle de variáveis bio-físico-químicas do sistema.

Há dois tipos de alagados construídos, que segundo Tchobanoglous (1981) é classificado como sendo um sistema natural. A primeira é do tipo Aplicação Direta no Solo, que pode ser de baixa ou alta taxa de infiltração ou de escoamento superficial. Este sistema possui restrições em alguns órgãos ambientais, pois, a possível contaminação de solo e do lençol freático pela falta de impermeabilização e controle, é de difícil reparação. Já o segundo tipo, mais usual no Brasil, são os sistemas de reatores construídos, nos quais áreas delimitadas e impermeabilizadas, desenvolvidas e projetadas especialmente para tratamento de águas residuárias que recebem a carga de poluente.

### 2.1. Alagados Naturais

Segundo Salati (1999), estes sistemas são também conhecidos como as várzeas dos rios, os igapós na Amazônia, os pântanos, os manguezais, os banhados e as formações lacustres de baixa profundidade, dentre outros. Estas áreas possuem importantes funções dentro dos ecossistemas onde estão inseridas, dentre as quais se destacam:

- a capacidade de regularização dos fluxos de água

- a capacidade de modificar e controlar naturalmente a qualidade das águas;
- a reprodução e alimentação da fauna aquática;
- a proteção à biodiversidade como área de refúgio da fauna terrestre;

Brix (1993) afirma que apesar de sistemas naturais apresentarem melhoras nas qualidades das águas, estes sistemas apresentam baixas taxas de decaimento, e apresentam elevada sensibilidade ao ambiente externo, o que dificulta bastante a modelagem de estações de tratamento em alagados naturais. O risco às áreas de preservação neste tipo de concepção é notável e devem ser evitados.

## **2.2. Alagados Construídos**

Partindo da premissa das vantagens dos alagados naturais, os sistemas construídos têm por função modelar um sistema apropriado, monitorado e controlado na qual as taxas de eficiência sejam otimizadas e o sistema conte com dispositivos de proteção contra poluição de mananciais, por exemplo, impermeabilização, controle de transbordo, controle qualitativo da saída entre outros.

Segundo Masi (2004), o primeiro alagado construído foi projetado na Alemanha em 1952 pelo *Max Planck Institute*. No entanto, somente em 1977 foi construído em Othfresen, na Alemanha, um sistema real para tratamento de esgotos domésticos.

Outros países como Austrália, Portugal, Inglaterra, Itália, Bélgica, Dinamarca, França, Hungria, Noruega, Polônia, Suécia, Eslovênia, Suíça, Holanda, Estados Unidos, Canadá, Noruega, Uganda, Irã, Marrocos, Tailândia e Republica Tcheca também possuem sistemas de alagados construídos (SILVA, 2007).

Atualmente no Brasil sistemas de alagados construídos são operados e monitorados pelo GEAC (Grupo de Estudos de Alagados Construídos da UNESP-Bauru), Instituto de Ecologia Aplicada de Piracicaba, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, demais universidade ligadas ao PROSAB (Programa de Pesquisa em Sanemaneto Básico). Ainda

nota-se certa resistência na implantação destes sistemas no Brasil, o que é injustificado, já que o clima brasileiro é tropical e propicia elevadas eficiências neste tipo de tratamento. Estas resistências geralmente são originadas em sistemas que não apresentam eficiência regular, ou satisfatória, o que pode ocorrer devido à falta de observação no projeto de fatores biológicos e botânicos dos sistemas. Outro fator muito comum é a falta ou o manejo inadequado do sistema.

Os processos e operações unitárias que ocorrem nos alagados construídos são filtração, sedimentação, adsorção e absorção de nutrientes e poluentes, volatilização, precipitação de compostos insolúveis, processos biológicos aeróbios, anaeróbios, anóxicos, desinfecção via ultravioleta proveniente do Sol, oxidação e redução de metais (DIAS et al, 2000).

A água residuária entra em contato com as raízes, onde ocorrerão os processos de absorção e adsorção de nutrientes, as plantas aquáticas direcionam oxigênio até o sistema radicular através dos aerênquimas, fazendo com que o biofilme aeróbio se desenvolva na zona das raízes. Sob a zona das raízes poderá ocorrer os processos anaeróbios. Estes processos biológicos farão a decomposição da matéria orgânica liberando assim nutrientes essenciais para as plantas, que se fossem lançados em corpo receptor seriam denominados poluentes, por causarem a eutrofização dos mesmos.

Silva (2007), em sua tese, reuniu as vantagens dos sistemas de alagados construídos apontadas por diversas citações. Dentre elas podem ser destacada as seguintes:

- Custos de construção e operação relativamente baixos (DUARTE,2002; DENNY,1997; KOOTTATEP et al., 2001);
- Tolerância a picos hidráulicos e picos de cargas (SILVESTRE, PEDRO-DE-JESUS, 2002);
- Utilização da área como áreas de lazer e recreação (SILVESTRE, PEDRO-DE-JESUS, 2002);
- Boa eficiência na decomposição de material orgânico e na remoção de sólidos sedimentáveis (COOPER, 1999);



- Não apresentam odores desagradáveis, se operado corretamente (SILVESTRE, PEDRO-DE-JESUS, 2002; DUARTE, 2002);
- Elevada produção de biomassa (BRASIL, 2007);
- Remoção de poluentes nutrientes, como nitrogênio e fósforo (CHERNICHARO, 2001).

A mesma autora levantou algumas desvantagens do sistema a partir de levantamento bibliográfico, nos quais se destacam:

- Existência de vetores (SILVESTRE, PEDRO-DE-JESUS, 2002);
- Caracterização e conhecimento do efluente e das condições climatológicas locais (SILVESTRE, PEDRO-DE-JESUS, 2002);
- Ocorrência da colmatação, devido a picos de carga e/ou vazão no sistema (SILVESTRE, PEDRO-DE-JESUS, 2002);
- Período de início de baixa eficiência, onde as plantas devem se estabilizar para apresentar eficiência satisfatória (DUARTE, 2002);
- Existência de diferentes taxas de eficiência devido à sazonalidade do sistema (DUARTE, 2002).

### **2.2.1. Tipificação de fluxos hidráulicos**

Existe a possibilidade do reator de alagados construídos operar em fluxo horizontal, em fluxo vertical ascendente e em fluxo vertical descendente. O sistema pode ou não contar com recirculação de uma porcentagem da vazão no reator. Existem ainda alagados de lâmina livre, com meio suporte no qual o fluxo pode ser superficial ou ainda subsuperficial.

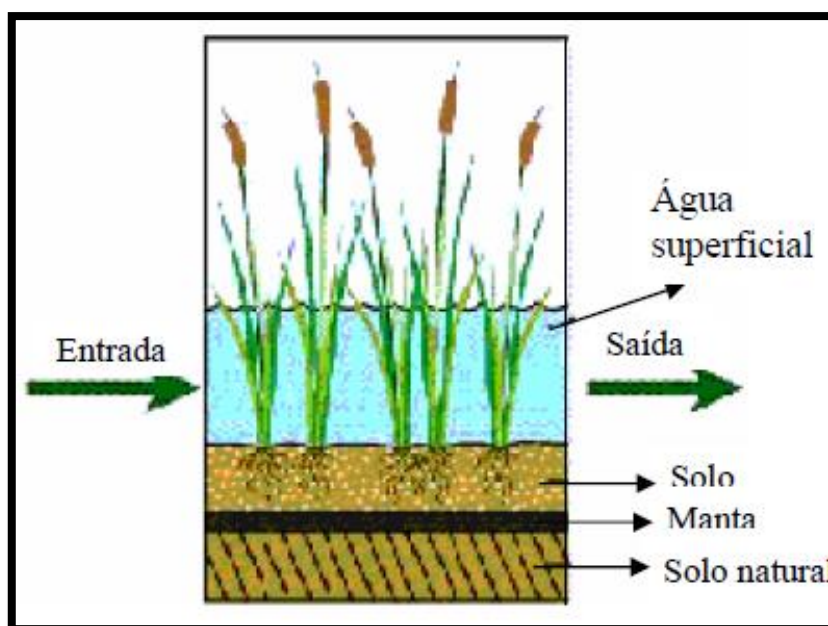


Figura 1: Sistema com fluxo horizontal superficial ( ANJOS, 2003 apud SILVA, 2007)

O efeito da ocupação dos poros do meio suporte do sistema por água, reduzindo assim o valor do oxigênio disponível para o biofilme. No entanto sistemas de fluxo vertical com zona saturada e zona não saturada apresenta relativa oxigenação do sistema (OLIVEIRA, 2005).

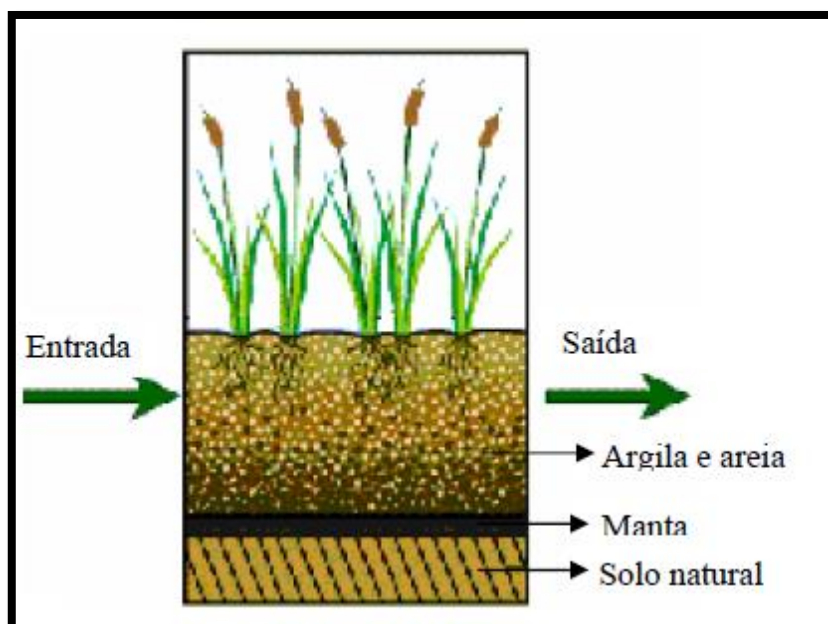


Figura 2: Sistema com fluxo horizontal sub-superficial ( ANJOS, 2003 apud SILVA, 2007)

Sistemas de fluxo horizontal possuem elevadas eficiências na redução da DBO, mas baixas taxas de nitrificação, pois prevalece o sistema biológico anaeróbio (COOPER, 1999). Já sistemas de fluxo vertical, possuem características mais

aeróbias, nas quais se possibilita maior eficiência na redução da DBO e maiores taxas de nitrificação. (BOUTIN, LIÉNARD, 2004).

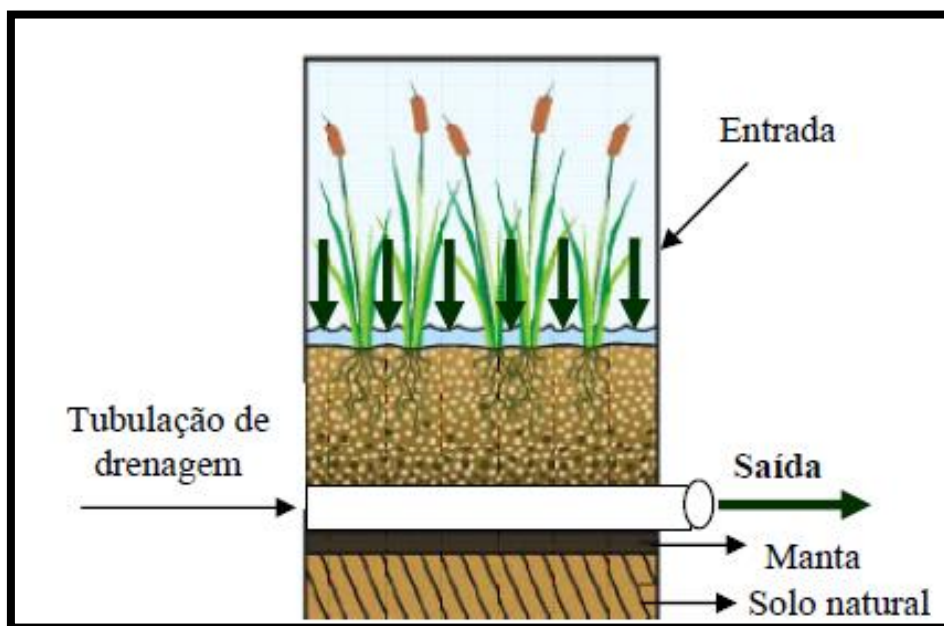


Figura 3: Sistema com fluxo vertical descendente (ANJOS, 2003 apud SILVA, 2007)

Segundo Silva (2007), os reatores de fluxo vertical, quando utilizados no sentido descendente, apresentam melhores eficiências, pois a carga inicial de nutrientes ocorre no início do reator, ou seja, na parte superficial do meio suporte onde estão localizadas as raízes.

Em relação às eficiências dos sistemas, pode-se apontar que:

Tabela 1: Comparativo dos sistemas de alagados construídos.

| Característica                                     | Sistemas sub-superficiais                                             |                                         |                             |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
|                                                    | Fluxo Horizontal (FH)                                                 | Fluxo Vertical (FV)                     | Híbridos ou mistos (FH +FV) |
| Remoção de DBO.                                    | Satisfatório até uma determinada capacidade de transferência de $O_2$ | Satisfatório                            | Satisfatório                |
| Remoção de SST.                                    | Satisfatório                                                          | Pouco satisfatório                      | Satisfatório.               |
| Remoção de bactérias.                              | Satisfatório                                                          | Pode remover bactérias                  | Satisfatório                |
| Remoção de nutrientes.                             | 30% a 50% (ou 60%)                                                    | -                                       | -                           |
| Capacidade de transferência de $O_2$ .             | Baixa                                                                 | Elevada                                 | Satisfatória                |
| Nitrificação no Tratamento secundário              | Pobre                                                                 | Satisfatório                            | Completa                    |
| Desnitrificação.                                   | Satisfatório                                                          | Parcial                                 | Parcial                     |
| Requerimento de área para o Tratamento secundário. | $5-10 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$                              | $1-2 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ | Sem informação              |

Fonte: Cooper et al. (1999)

### 2.2.2. Vegetação aquática

Segundo Brix (1993), a classificação de alagados construídos pode ser feita a partir de três grupos:

- Alagados com plantas flutuantes:

Alagados deste gênero deverão ter baixas profundidades a fim de facilitar o crescimento das plantas e a passagem do efluente por toda a zona de raízes. Este sistema pode ser usado também em como pós aeração e/ou desinfecção via incidência de raios ultra violeta do sol.

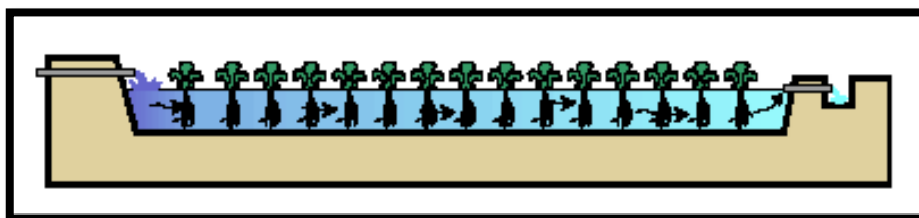


Figura 4: Sistema com plantas flutuantes (SALATI, 2000 apud CUNHA, 2006)

As macrófitas que podem ser utilizadas nestes sistemas são:

- *Lemna sp* (Lentilha d'água);
- *Salvinia sp*;
- *eichhornia crassipes* (Aguapé);
- entre outras.

- Alagados com plantas submersas:

As macrófitas submersas geralmente são utilizadas em sistemas nos quais se pretendem condições mais aeróbias, devido à fotossíntese e a liberação de oxigênio ocorrer dentro do meio aquático. Neste sistema, o manejo torna-se mais difícil de ser executado.



Figura 5: Sistema com plantas submersas (SALATI, 2000 apud CUNHA, 2006)

As macrófitas que podem ser utilizadas nestes sistemas são:

- *Nymphaea sp*;
  - *Nuphar sp*;
  - Entre outras..
- Alagados com plantas emergentes:

O sistema radicular destas plantas é fixado ao meio suporte, que pode ser areia, solo, brita, poliestireno expandido (EPS), anel pall, bambu picado, entre outros. Este sistema, o qual pode ser de fluxo vertical, ou horizontal, com lâmina livre ou de fluxo subsuperficial, possui excelente aplicabilidade no tratamento secundário, no qual objetiva-se a decomposição do material biodegradável existente na água residuária. Existe ainda a aplicabilidade em leitos de evapotranspiração e de remoção de nutrientes.

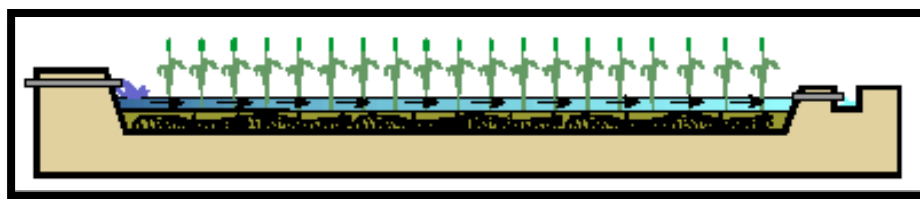


Figura 6: Sistema com plantas emergentes (SALATI, 2000 apud CUNHA, 2006)

As macrófitas que podem ser utilizadas nestes sistemas são:

- *Elodea sp*;
- *Potamogeton sp*;
- *Hydrilla sp*;
- *Egeria sp*;
- Entre outras.

## 2.3. Variáveis climatológicas

As variáveis climatológicas são essenciais para o compreensão, concepção, dimensionamento e operação dos sistemas de alagados construídos. Geralmente em estações de tratamento não existem estações de superfície automáticas, no entanto o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) possui um sistema de coleta e divulgação de dados de uma rede de estações instaladas no Brasil. No entanto, existem regiões de menor

densidade populacional, nas quais não existem estações disponíveis próximas, e geralmente sistemas de alagados construídos são soluções viáveis para estas regiões.

Dentre as variáveis influentes nos sistemas, destacam-se as seguintes:

### **2.3.1. Precipitação**

Segundo Biscaro (2007), a precipitação pode ocorrer na forma de chuva, granizo ou neve. É um fenômeno do ciclo hidrológico na Terra, no qual recarrega a água na superfície terrestre e nos reservatórios subterrâneos.

A mensuração da precipitação é realizada por pluviômetros ou pluviógrafos, o qual além de medir, registrar a quantidade precipitada. Os valores lidos são expressos em lâmina d'água, que correlacionada a uma área de influência pode ser convertida em volume, ou se analisada em um espaço temporal, determina a vazão da bacia.

Em sistemas de alagados construídos artificialmente, ela não afeta a saturação do solo, já que o solo é saturado pela presença de águas residuárias. No entanto altera o desenvolvimento das plantas, pois influencia na nebulosidade, na evapotranspiração e na umidade relativa do ar. A precipitação, se ocorrer em forte intensidade, pode ocasionar um pico de vazão no sistema, promovendo assim a lavagem do biofilme.

### **2.3.2. Umidade relativa do ar**

É a medida relativa de quantidade de vapor de água contido na atmosfera em relação ao limite máximo possível de concentração de vapor na mesma. A determinação da umidade relativa (UR) é feita através de psicrômetros ou higrógrafos que medem e registram valores de UR (BISCARO, 2007).

Nos alagados construídos a umidade relativa influencia diretamente no desenvolvimento das plantas, pois impacta nas taxas de evapotranspiração da cultura.

### **2.3.3. Temperatura do ar**

A temperatura do ar, segundo mesmo autor, é o grau de agitação das moléculas do ar. É fator limitante para outras variáveis como evaporação, evapotranspiração, umidade relativa, formação de orvalho e ventos, e pode ser também afetada pela variação destes fatores citados. Segundo Braga et al. (2005) cerca de 99% da energia térmica utilizada nos nossos ecossistemas é oriunda do Sol. Ou seja, a radiação global e a radiação na superfície, descontada a reflexão da atmosfera, é fator determinante para a temperatura média do ar.

Em sistemas de alagados construídos a temperatura do ar média é essencial para escolha da vegetação a ser utilizada. Os valores extremos de temperaturas máximas e mínimas podem provocar um estresse na cultura, influenciando negativamente na eficiência do sistema.

### **2.3.4. Radiação Solar**

Biscaro (2007), defini radiação solar como sendo a radiação do astro Sol em formas de ondas eletromagnéticas, que incidem sobre a Terra.

A radiação global é a soma da radiação direta e da radiação difusa incidentes na superfície terrestre. Já a radiação líquida depende do balanço de ondas curtas, ou seja, àquelas emitidas pelo Sol; e do balanço de ondas longas, a qual a Terra emite.

O balanço de ondas curtas é a diferença entre a radiação recebida e a refletida. E o balanço de ondas longas é a diferença entre a contra-radiação e a radiação emitida pela Terra. A figura abaixo ilustra o fluxo de radiação do Sol na Terra.

A radiação solar pode ser mensurada através de piranômetros, heliógrafos ou actinógrafos, sendo o piranômetro utilizado em estações automáticas.





O uso de lisímetros é mais difícil de ser feito, pois depende da instalação de instrumentação no solo a qual mensura o peso do volume de controle do solo com as variantes precipitação e plantas. No entanto se aplicado de forma correta oferece excelentes resultados.

Os métodos indiretos são menos precisos e dependerão das variáveis meteorológicas disponíveis. Tubelis e Nascimento (1980) apresentaram os seguintes métodos:

- THORNTHWAITE: Estima a evapotranspiração potencial mensal padrão para um fotoperíodo de 12 horas (SYPERRECK, 2006). Aplicado para estimativas, cuja escala temporal é mensal (PEREIRA et al., 1997). As variáveis para esta modelagem são: temperatura média mensal e índice térmico regional.
- CAMARGO: Este método simplifica o método Thornthwaite, utilizando dados de radiação solar diário, temperatura média anual e o número de dias no período considerado, possibilita precisão maior para períodos entre 10 e 30 dias (SYPERRECK, 2006).
- HARGREAVES-SAMANI: Segundo Pereira et al. (1997), este método utiliza métricas de radiação, temperatura mínima, máxima e média diária, e por isso apresenta valores mais precisos, mas demandam estações de superfície automáticas próximas.
- PENMAN-MONTEITH - FAO: considerado como o método mais adequado para cálculo estimativo de evapotranspiração, considera todas as variáveis climáticas influentes na evapotranspiração (LEE et al.;2004)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na ETE do Jardim Botânico do município de Bauru, SP. O Jardim Botânico foi criado em 1992, quando ainda era chamado de Parque Ecológico Tenri Cidade-Irmã, em uma antiga área de cerrado a qual serviu de manancial de água para abastecimento do município entre os anos de 1917 a 1940. No ano de 2004, em parceria com o GEAC – Grupo de Estudos de Alagados Construídos, da UNESP Bauru, foi desenvolvido e construído o sistema de tratamento de esgotos e águas residuárias geradas pelo Jardim Botânico. Desde então este sistema tem servido como um centro de pesquisas do GEAC, implementação de programas de educação ambiental, além de permitir o lazer e a recreação da sociedade.



Figura 8: Integração entre a sociedade e o meio ambiente na ETE – Jardim Botânico Bauru.

Na fotografia do dia 09 de dezembro de 2012, representada na figura 8, é possível visualizar a integração de um sistema de tratamento de esgotos, com a natureza e com o bem estar da sociedade, nesta ocasião, uma manhã de domingo, os cidadãos foram fazer pique nique com a família e acompanhar uma apresentação artística de chorinho dentro da ETE. Isto somente é possível, pois a tecnologia de alagados construídos não exala odor desagradável e é totalmente inserida no contexto paisagístico do parque.

Esta ETE recebe águas residuárias do mudário e do orquidário, além do esgoto sanitário gerado pelos visitantes e colaboradores do parque. A visitação média durante em 2012 foi de 817 visitantes por mês, já nos finais de semana foi de 2138 visitantes por mês, e as visitas para fins de educação ambiental foram de 622 visitantes no mesmo período. No entanto em meses em que há eventos especiais, o Jardim Botânico chegou a receber 5617 visitas em um único mês. Na figura 9 é possível avaliar o fluxograma de funcionamento deste sistema.

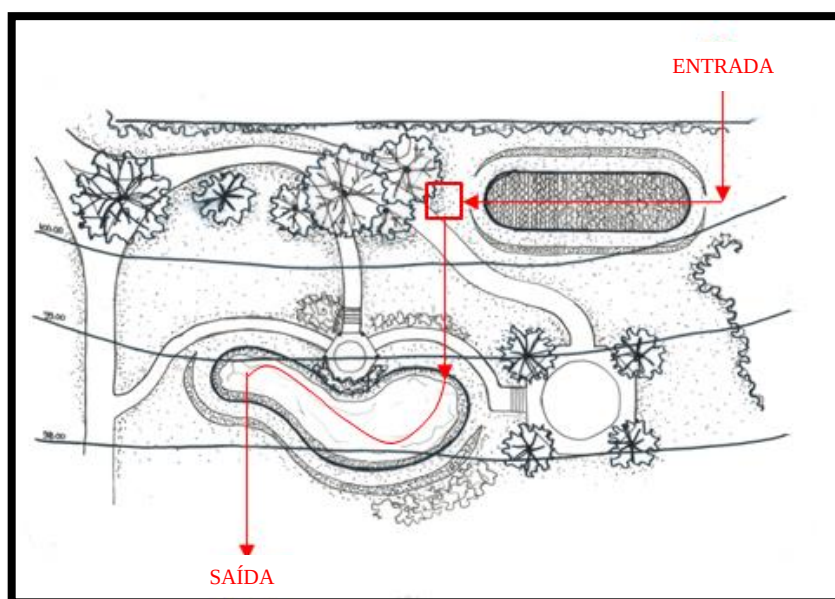


Figura 9: Fluxograma da ETE Jardim Botânico de Bauru. Fonte: GEAC.

Toda a metodologia de trabalho, que contou com a contribuição da comissão examinadora do projeto de pesquisa, foi desenvolvida tendo em base que geralmente o monitoramento das atividades de uma ETE são mensuradas através das eficiências obtidas pela diferença entre a entrada e a saída do sistema. Por se tratar de um sistema complexo, onde variáveis como fatores biológicos, físicos e químicos internos e externos ao sistema, influenciam diretamente e indiretamente, a metodologia aqui proposta visou a avaliação da planta, através do cruzamento das informações climatológicas locais.

Este processo também é justificado pelo objetivo do sistema de capacitar um sistema que alie tratamento de águas residuárias com a produção de biomassa, em um espaço onde se possam desenvolver atividades de integração da sociedade ao meio ambiente, através de lazer, recreação, educação ambiental e desenvolvimento tecnológico.

### 3.1. Composição do sistema

O sistema utilizado foi projetado para tratar um volume diário de águas residuárias 5000 litros por dia, sendo que 2000 litros são oriundos de esgoto sanitário dos banheiros e 3000 litros por dia são oriundos de sistemas de irrigação do orquidário e do mudário. O esgoto sanitário passa por decantação primária antes de adentrar ao sistema de alagados construídos (OLIVEIRA et al, 2005). O sistema de *wetlands*, outra denominação de alagados construídos, possui 64 m<sup>2</sup> de área superficial, e profundidade variando entre 60 cm e 76 cm, o que resulta em um tempo de detenção hidráulica de 3 dias com sistema de irrigação em funcionamento, e de 7,6 dias apenas com o esgoto sanitário. Este reator possui fluxo horizontal subsuperficial, onde a planta macrófita atuante é a taboa (*Typha sp*).



Figura 10: Reator Avaliado na pesquisa. Fonte: GEAC.



### 3.2. Amostragem de plantas

Inicialmente identificou-se 6 plantas para a avaliação de um total de aproximadamente 130 plantas distribuídas sobre uma área de aproximadamente 40 m<sup>2</sup> de plantio, resultando a uma densidade de plantio de 3,25 plantas por metro quadrado. A distribuição das amostragens foi feita sistematicamente através da posição das mesmas sobre o sistema. Procurou-se dividir o reator em 3 setores, início, meio e fim; onde foram escolhidas duas plantas em cada setor, uma de cada lado do eixo longitudinal do reator, denominados margem Leste e margem Oeste. Não foi possível obter amostras muito próximas ao eixo central, pois as aferições semanais causariam danos as plantas vizinhas o que implicaria em distorções dos resultados. A partir da divisão em setores foram escolhidas as plantas que estavam em estágios de amadurecimento similares. Devido ao fato de não ser possível analisar a raiz das plantas para a escolha das amostras, verificou-se plantas que possuíam número de folhas e diâmetro da base do caule semelhantes. Pode-se melhor visualizar a distribuição das amostras no sistema na figura 11.

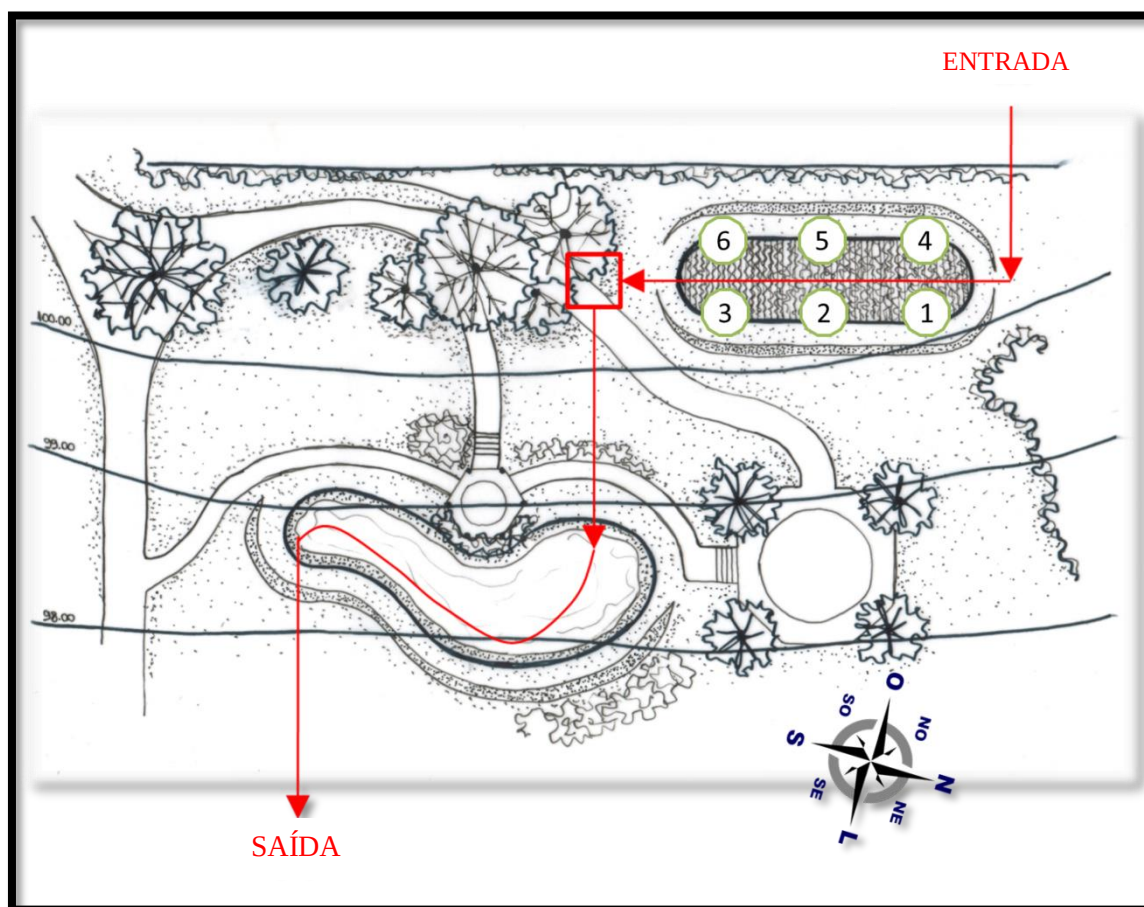


Figura 11: Locação das plantas 1,2,3,4,5 e 6 no sistema.

Após a escolha das plantas que representariam a população total do sistema, houve a poda das mesmas respeitando o manejo convencional do sistema, ou seja, a poda total das folhas no ramo 10 centímetros acima do meio suporte.

### 3.3. Amostragem temporal

A coleta de dados perdurou por 11 semanas entre os dias 26/03/2013 a 06/06/2013. A periodicidade de coleta de dados para as métricas do desenvolvimento da planta foram semanais, já para dados climatológicos, foram coletados dados com periodicidade horária.

### 3.4. Variáveis analisadas

As variáveis analisadas se dividiram em 2 grupos, um que se refere as métricas de desenvolvimento das plantas e outro que se refere as métricas dos fatores externos, e classificadas como sendo qualitativas e quantitativas. A tabela 2 apresenta todas as variáveis analisadas para mensuração do desenvolvimento da planta, dividindo-as em grupos e classificando-as. As formas de obtenção das variáveis foram direta e indireta, feitas através de cálculos e/ou correlações matemáticas.

Tabela 2: Variáveis avaliadas no sistema para o desenvolvimento das plantas

| VARIÁVEL                             | CLASSIFICAÇÃO | FORMA DE OBTENÇÃO |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| QUANTIDADE DE FOLHAS                 | QUANTITATIVA  | DIRETA            |
| ALTURA DE CADA FOLHA                 | QUANTITATIVA  | DIRETA            |
| LARGURA MÁXIMA DE CADA FOLHA         | QUANTITATIVA  | DIRETA            |
| ÁREA FOLIAR DE CADA FOLHA            | QUANTITATIVA  | INDIRETA          |
| ÁREA FOLIAR TOTAL                    | QUANTITATIVA  | INDIRETA          |
| TAXA DE CRESCIMENTO FOLIAR           | QUANTITATIVA  | INDIRETA          |
| ESTIMATIVA DE MASSA SECA             | QUANTITATIVA  | INDIRETA          |
| ESTIMATIVA DE ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO | QUANTITATIVA  | INDIRETA          |
| ESTIMATIVA DE ABSORÇÃO DE FÓSFORO    | QUANTITATIVA  | INDIRETA          |

| VARIÁVEL                           | CLASSIFICAÇÃO | FORMA DE OBTENÇÃO |
|------------------------------------|---------------|-------------------|
| ESTIMATIVA DE ABSORÇÃO DE POTÁSSIO | QUANTITATIVA  | INDIRETA          |
| MANCHAS NAS FOLHAS                 | QUALITATIVO   | DIRETA            |
| MURCHAMENTO                        | QUALITATIVO   | DIRETA            |
| MORTANDADE                         | QUALITATIVO   | DIRETA            |

A quantidade de folhas foi obtida através da simples contagem de folhas aparentes externamente. Este tipo de contagem implica em um erro sistemático, no qual a folha já pode existir e estar em crescimento, mas não ser contada. Este erro experimental ocorrerá principalmente quando uma nova folha crescer entre folhas antigas, já que o desenvolvimento de novas folhas da *Typha* se dá no centro do ramo. Foi adotada tal técnica, pois mesmo a folha já existindo, as suas atividades fotossintéticas somente iniciarão quando houver a incidência de luz sobre a mesma, ou seja, quando estiver visível externamente. Outra vantagem de tal técnica para aferição é que não há danos físicos para a contagem de folhas, o que ocorreria se a contagem objetivasse folhas ainda não visíveis.

A altura de cada folha foi mensurada com fita métrica com graduação em milímetro, na qual foi aferido o comprimento, desde o ponto de poda até a crista da folha. Uma interferência possível neste tipo de medição seria a curvatura da folha ser diferente da curvatura da fita métrica. Este fato foi minimizado através da junção da fita com a folha, prensando-as levemente com os dedos, em intervalos aproximados de 15 centímetros, tomando cuidado para não haver deslizamentos entre a fita e a folha. Tomou-se cuidado também, em relação a possíveis danos às folhas, principalmente em relação a quebras próximas a base durante as aferições. Esta mesma atenção foi tomada em relação às plantas vizinhas, de forma a impactar o mínimo possível o ambiente externo. Um exemplo foi deixar as folhas da mesma forma que estavam antes da aferição, pois uma folha estruturada em outra planta naturalmente se fosse deixada solta, poderia na outra semana estar quebrada, ou seca.

A largura máxima de cada folha, foi medida a aproximadamente 5 cm acima do aparecimento da folha com fita métrica. Este método de coleta de dado não capta a medida da maior largura da folha, a qual ocorre na base, mas é uma medida muito próxima, na qual visivelmente não apresentou erros maiores que 1 milímetro, já que a folha

da taboa apresenta estreitamento da folha apenas na proximidade da crista. A medida na base implicaria na remoção das folhas, causando assim o término do experimento.

O perímetro (Pe) da base foi obtido através de uma fita métrica com graduação de 1 milímetro. Esta medida foi obtida, ao invés do diâmetro (D) da base, devido a facilidade local de obtenção, como a base se aproxima muito de uma seção circular, o diâmetro médio pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$D = \frac{Pe}{\pi} \quad (I)$$

A área foliar (Af) de cada folha foi obtida através de correlação descrita por Bianco et al. (2003) que, através de observações e apurações estatísticas de 200 limbos foliares de *T. latifolia*, chegou a um equacionamento para área foliar da planta, em função da largura máxima da folha (L) e do comprimento (C) desta, que pode ser descrito abaixo:

$$Af = 0,9651 \cdot (L \cdot C) \quad (II)$$

Já área foliar total (Aft), foi obtida através do somatório das “n” áreas foliares de cada folha da planta, conforme segue:

$$Aft = \sum_1^n Aft_n \quad (III)$$

A taxa de crescimento foliar (TCf) foi obtida através do cálculo da derivada da função da área foliar total em função do tempo. Ou seja:

$$TCf(t) = \frac{\delta Aft(t)}{\delta t} \quad (IV)$$

Para estimar a massa seca das folhas utilizou-se o método indireto, pois o método direto implicaria na remoção das folhas. Partindo deste princípio coletou-se 14 folhas de 4 plantas *Typha* de diferentes tamanhos. Elaborou-se uma curva de correlação entre medidas obtidas diretamente, largura máxima e comprimento da folha, com a pesagem de sua massa seca. Com isto foi possível correlacionar a área foliar com a estimativa de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, sódio e incorporação de carbono fixo descritos por Brasil e Matos (2008) e Martins et. al. (2012).



A verificação das variáveis qualitativas de surgimento de manchas, murchamento e mortandade, foram feitas visualmente durante as visitas semanais ao campo experimental, e quando ocorridas foram relatadas e fotografadas. As variáveis qualitativas têm por finalidade explicar ocorrências na variação dos dados quantitativos avaliados, juntamente com as variáveis ligadas a fatores externos. Estas por sua vez, estão expressas na tabela 3 juntamente com suas respectivas classificações e formas de obtenção.

Tabela 3: Variáveis avaliadas no sistema para fatores externos.

| VARIÁVEL                        | CLASSIFICAÇÃO | FORMA DE OBTENÇÃO |
|---------------------------------|---------------|-------------------|
| TEMPERATURA                     | QUANTITATIVA  | DIRETA            |
| UMIDADE RELATIVA DO AR          | QUANTITATIVA  | DIRETA            |
| EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA | QUANTITATIVA  | INDIRETA          |
| EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA    | QUANTITATIVA  | INDIRETA          |
| VENTO                           | QUANTITATIVA  | DIRETA            |
| DIREÇÃO                         | QUANTITATIVA  | DIRETA            |
| RAJADA DE VENTO                 | QUANTITATIVA  | DIRETA            |
| RADIAÇÃO                        | QUANTITATIVA  | DIRETA            |
| CHUVA                           | QUANTITATIVA  | DIRETA            |
| FATORES EXTERNOS DIVERSOS       | QUALITATIVA   | DIRETA            |

Todos os dados meteorológicos foram obtidos por estação meteorológica de observação de superfície, do tipo automática, localizada a aproximadamente 2 km do campo experimento, dentro do Instituto de Pesquisas Meteorológicas – IPMET (UNESP), e disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Os dados disponíveis pelo INMET para temperatura, conforme nota técnica 001/2011 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, são obtidos através de amostragens realizadas em um intervalo de 5 segundos, na qual se apura o valor máximo ( $T_{\text{máx}}$ ) e mínimo ( $T_{\text{mín}}$ ) dentro do espaço amostral de 1 hora. Já para o valor da temperatura instantânea, utiliza-se a média de 12 amostras em hora redonda completada. Os valores utilizados para compilação não puderam ser os valores médios de temperatura em

uma hora, pois em relatório disponibilizado pelo INMET, apresenta apenas valores máximos, mínimos e instantâneos. Sendo assim trabalhou com o ponto médio da série ( $T_{pm}$ ), pois no intervalo trabalhado não existe grandes variações entre a média e o ponto médio. O cálculo foi feito com base na seguinte equação:

$$T_{pm} = \frac{T_{máx} + T_{mín}}{2} \quad (V)$$

A umidade relativa do ar (UR) e a pressão atmosférica (Pr), ainda segundo a norma técnica 001/2011, segue as mesmas premissas da temperatura, sendo assim a compilação dos dados foi feita a partir das seguintes formulações.

$$UR_{pm} = \frac{UR_{máx} + UR_{mín}}{2} \quad (VI)$$

$$Pr_{pm} = \frac{Pr_{máx} + Pr_{mín}}{2} \quad (VII)$$

A radiação solar apresentada em relatório do INMET é a média de 12 amostras coletas durante 1 minuto em horas redondas transformadas como sendo a energia total aplicada em uma área unitária durante uma hora.

Os valores eólicos, segundo o INMET, são aferidos por medidas digitais nas quais são coletados dados a cada segundo apresentando valores médios horários. A velocidade média do vento é uma informação fornecida, onde existe ainda a indicação da direção predominante do vento naquela hora, especificados como sendo  $0^\circ/360^\circ$ , para ventos que vêm do norte e seguem para o sul;  $90^\circ$  para ventos que vêm do leste e vão para o oeste;  $180^\circ$  para ventos que vêm do sul e vão para o norte e  $270^\circ$  para ventos que vêm do oeste e vão para o leste. Por último, há a especificação da maior velocidade do vento naquele intervalo de hora, denominada de rajada.

Os valores de chuva fornecido pelo banco de dados do INMET, refere-se à precipitação acumulada em uma hora na estação meteorológica, e é expressa em lâmina d'água precipitada.

A evapotranspiração foi calculada a partir do Método de Penman-Monteith-FAO, o qual segundo Lee et al. (2004), é uma metodologia de estimativa adequada quando se tem dados meteorológicos próximos ao local, pois baseia-se em todos os

parâmetros climatológicos que influenciam na evapotranspiração. A equação VIII expressa o cálculo utilizado para o valor de evapotranspiração de referência, a qual é dada por:

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot s \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \frac{900}{t} \cdot v \cdot (e_s - e_a)}{s + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot v)} \quad (\text{VIII})$$

Onde:

ET<sub>o</sub>: Evapotranspiração de referência [mm]

s: Declividade da curva de pressão de vapor [kPa.°C<sup>-1</sup>]

$$s = \frac{4098 \cdot e_s}{(t + 237,3)^2} \quad (\text{IX})$$

Rn: Radiação Líquida disponível à superfície [MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>]

$$Rn = BOL + BOC \quad (\text{X})$$

BOC: Balanço de ondas curtas [MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>]

$$BOC = Rg \cdot (1 - \alpha) \quad (\text{XI})$$

α: Coeficiente de Reflexão [adimensional]

Rg: Irradiância Solar Global [MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>]

$$Rg = Q_o \cdot \left( 0,19 + 0,45 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (\text{XII})$$

Q<sub>o</sub>: Irradiância solar no topo da atmosfera [MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>]

Q<sub>g</sub>: Irradiância solar na superfície [MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>]

n: Insolação[horas], calculada a partir dos dados de Q<sub>g</sub> / Q<sub>o</sub>

N: Fotoperíodo [horas]

BOL: Balanço de ondas longas [MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>]

$$BOL = - \left( 4,903 \cdot 10^{-9} \cdot Tar^4 \cdot (0,56 - 0,25\sqrt{e}) \cdot \left( 0,1 + 0,9 \cdot \frac{n}{N} \right) \right) \quad (\text{XIII})$$

Tar: Temperatura do ar [K]

e: Pressão atual de vapor na atmosfera [kPa]

$$e = \frac{UR \cdot e_s}{100} \quad (XIV)$$

$e_s$ : Pressão de Saturação à temperatura de bulbo seco [kPa]

$$e_s = 0,61078 \cdot 10^{\frac{Tb \cdot 7,5}{Tb + 237,3}} \quad t > 0^\circ\text{C} \quad (XV)$$

UR: Umidade Relativa do Ar [%]

G: Densidade de fluxo de calor para o solo [ $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ ]

$\gamma$ : Constante psicométrica

Tb: Temperatura do bulbo seco [K]

v: velocidade do vento [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$e_a$ : Pressão real ou atual de vapor d'água [kPa]

A variável qualitativa denominada fatores externos diversos, refere-se a observações realizadas em campo em relação a presença de pragas, animais, vandalismo, pisoteio e manutenção. Estes registros foram feitos em forma de relatório escrito e fotográfico.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Este capítulo apresentará os resultados obtidos em cada semana do monitoramento com suas respectivas discussões, de forma a facilitar o entendimento das ocorrências.

Primeiramente serão apresentadas as condições meteorológicas monitoradas durante o período de coleta de dados, para a caracterização climática do mesmo. Lembrando que o manejo foi realizado na data de 26 de março de 2013 e o final da coleta dos dados foi feita após 72 dias, ou seja, em 6 de junho de 2013.

Posteriormente os dados de crescimento e absorção das plantas serão apresentados observados serão apresentados, confrontando-os quando se fizer necessário com os dados meteorológicos.

### **4.1. Caracterização Meteorológica do período**

No gráfico da figura 12, podem ser visualizadas as chuvas acumuladas no dia ao longo do período, ressaltando para o período chuvoso logo após o manejo, e no final do período. Nota-se também um longo período de estiagem de praticamente 40 dias que implicou na baixa da umidade relativa do ar, atingindo um mínimo de 19,5%.

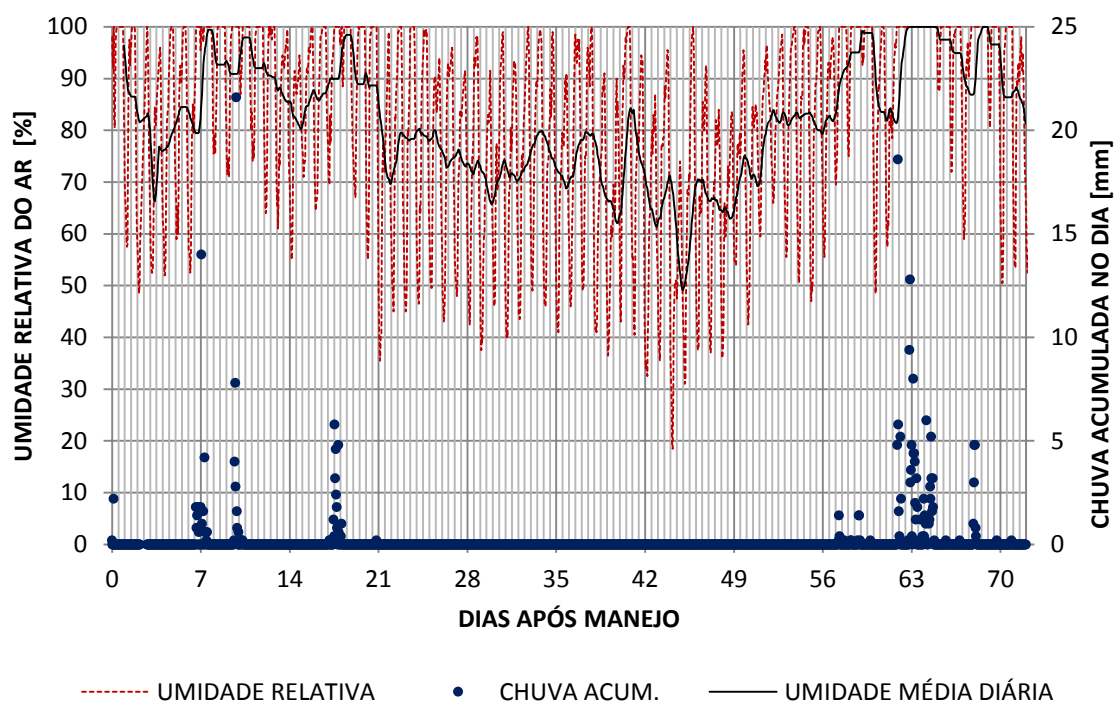


Figura 12: Umidade relativa e chuva acumulada durante o experimento.

Para a variável temperatura, durante o período, foi observado valores extremos de 9,0°C e 31,5°C, sendo que a média foi de 20,1°C, como pode ser visto no gráfico da figura 13.

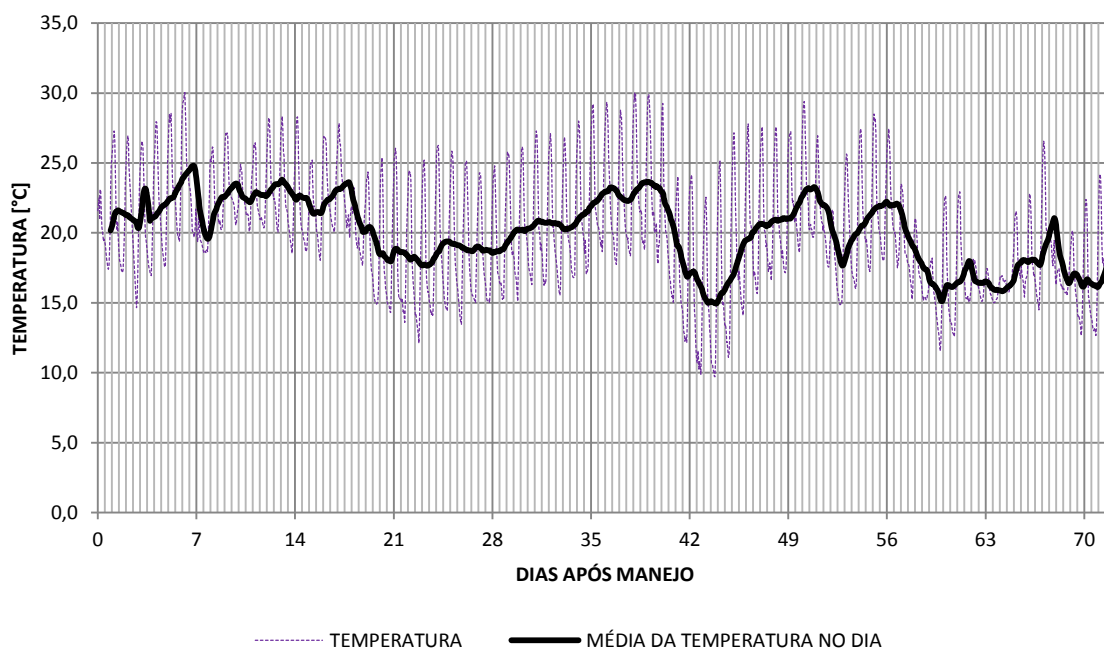


Figura 13: Temperatura do ponto médio e média diária no período.

A distribuição das faixas de ocorrência das temperaturas, que pode ser visualizada na figura 14, indica que a temperatura ao longo do experimento ficou em 52% do tempo entre 16,0°C e 22,0°C.

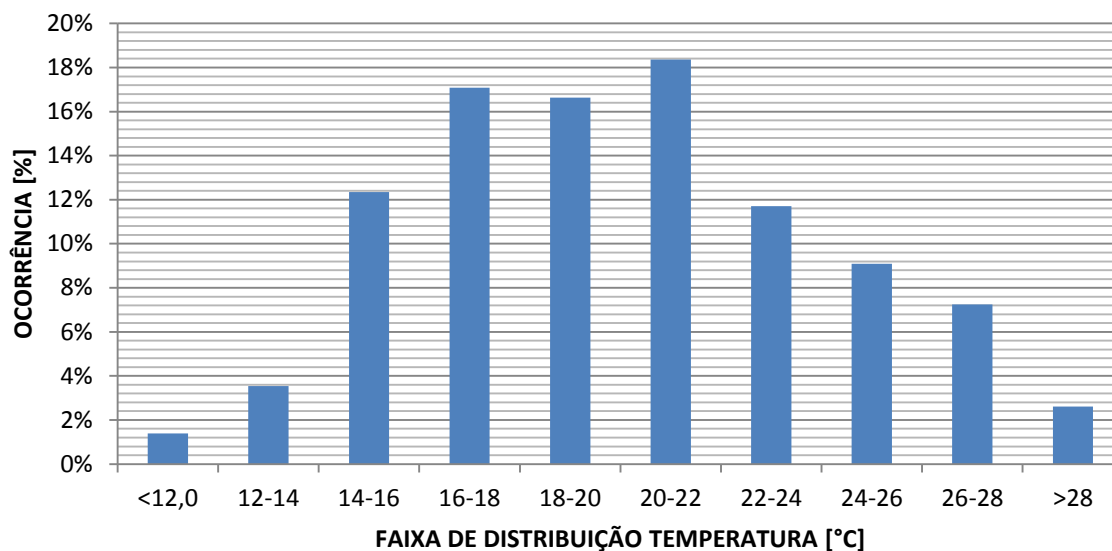


Figura 14: Curva de distribuição de temperatura em faixas.

Os dados de radiação solar expressos em  $\text{kJ.m}^{-2}$ , necessitaram ser tratados na etapa de compilação, uma vez que o relatório do INMET apontou valores diferentes de zero para radiação, em períodos noturnos. Estes valores foram considerados como sendo zeros, pois não há emissão de radiação nestes períodos. No gráfico da figura 15 é possível ver a radiação no período, bem como a média diária.

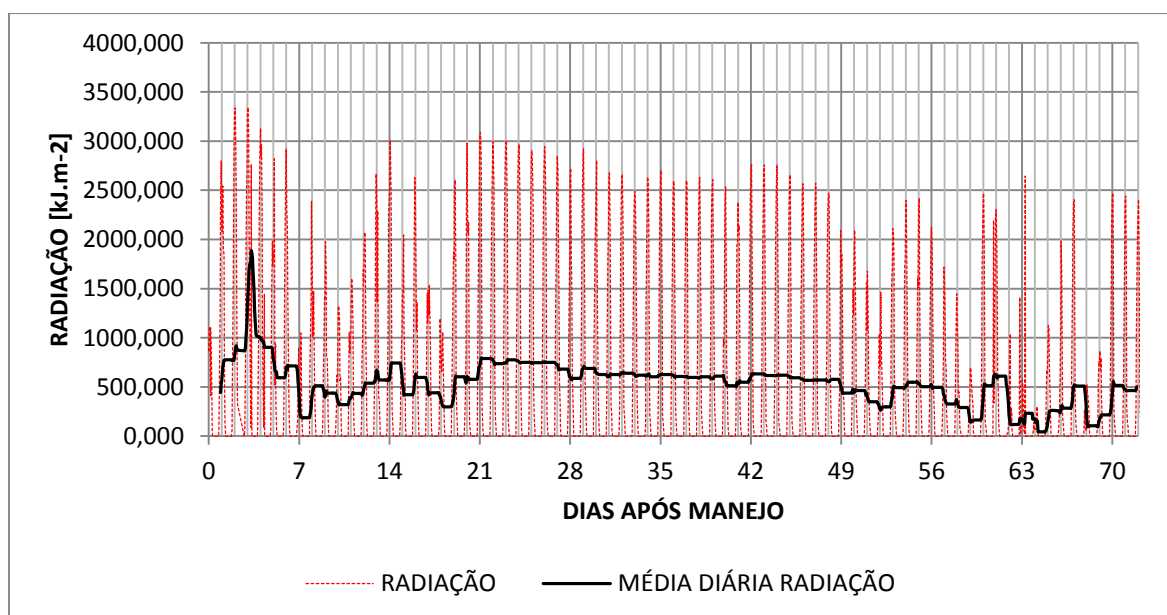


Figura 15: Radiação solar horária e média diária.

Na análise da curva de distribuição em faixas da radiação solar apenas nos dados diurnos, gráfico da figura 16, nota-se uma elevada ocorrência de radiação nas faixas entre 0 e 600  $\text{kJ.m}^{-2}$ , aproximadamente 44% do tempo, este fato é explicado pela ocorrência típica diária de dois eventos de gradiente, um de crescimento, e outro de decrescimento, da radiação: no nascer e no pôr do sol.

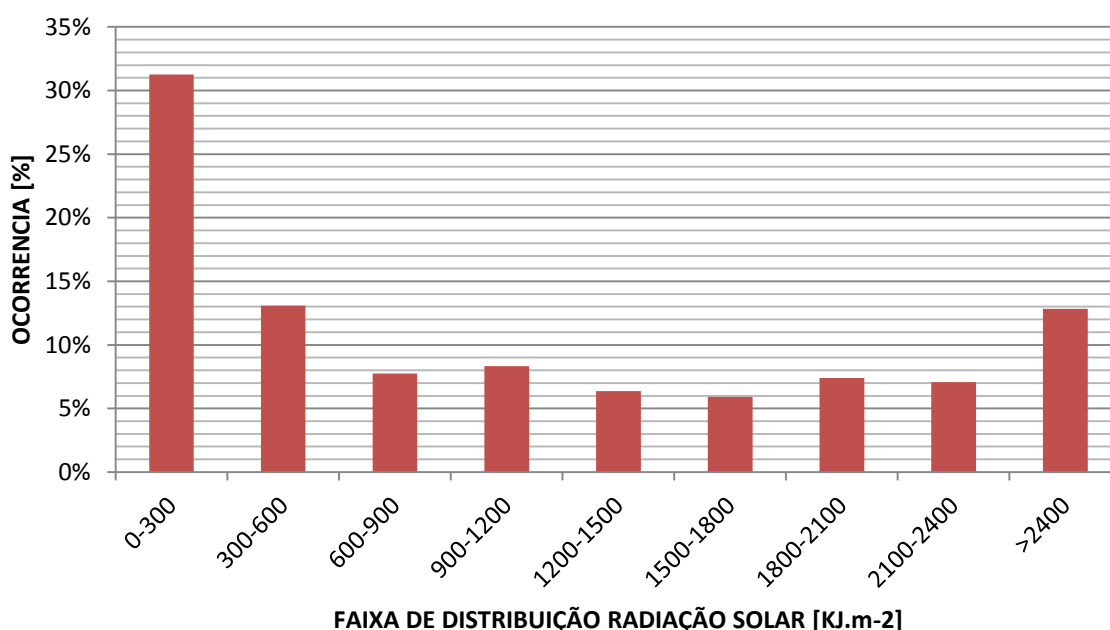


Figura 16: Curva de distribuição da radiação solar dos dados diurnos.

Quando se observa a radiação solar na superfície total em um dia, figura 17, pode-se visualizar que no período de 72 dias a radiação solar total ficou em 75% dos dias na faixa compreendida entre 10,0 e 20,0  $\text{MJ.m}^{-2}$ . Já o fotoperíodo foi de 12 horas em 79,17% dos dias, 11 horas em 16,67% dos dias e 13 horas em 4,17% dos dias. Vale salientar que estes valores foram obtidos em Estação Meteorológica Automática do INMET próxima ao local do experimento.

A nebulosidade na estação automática no período, quando é comparada a radiação solar na superfície em relação à radiação global para a localidade no dia figura 18, pode ser visualizada em termos de porcentagem de insolação no gráfico da figura 19. Nota-se que ao final do período houve uma redução média da insolação, o que já era esperado, pois estas datas são mais próximas do inverno; e na segunda e terceira semana de experimento houve uma sequência de dias nebulosos.



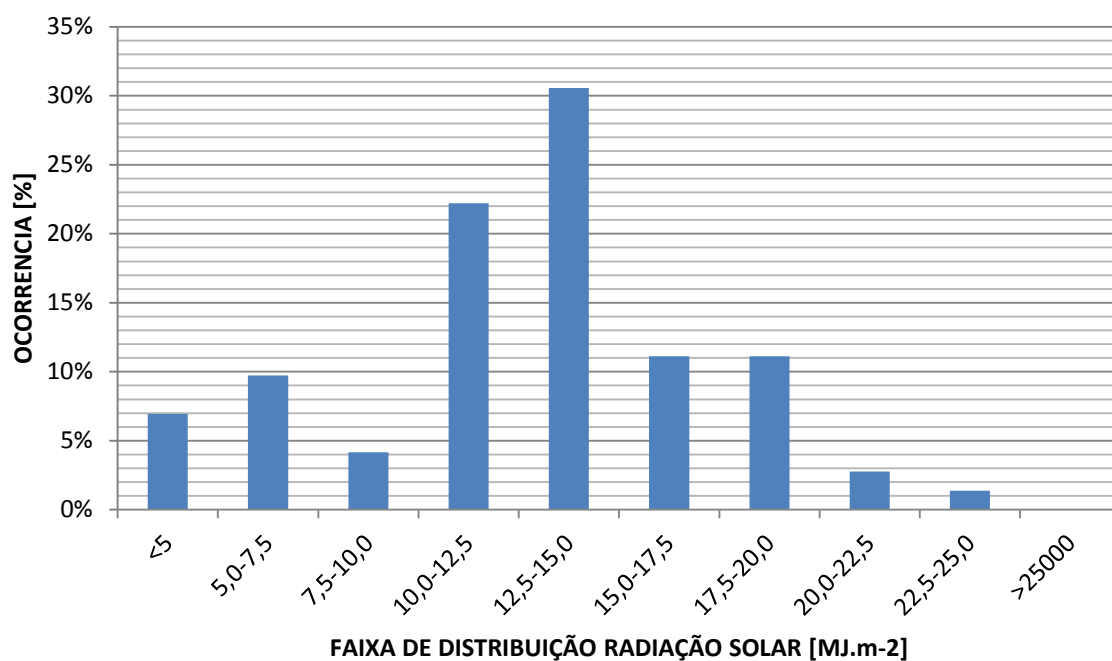


Figura 17: Curva de distribuição da radiação solar total diária.

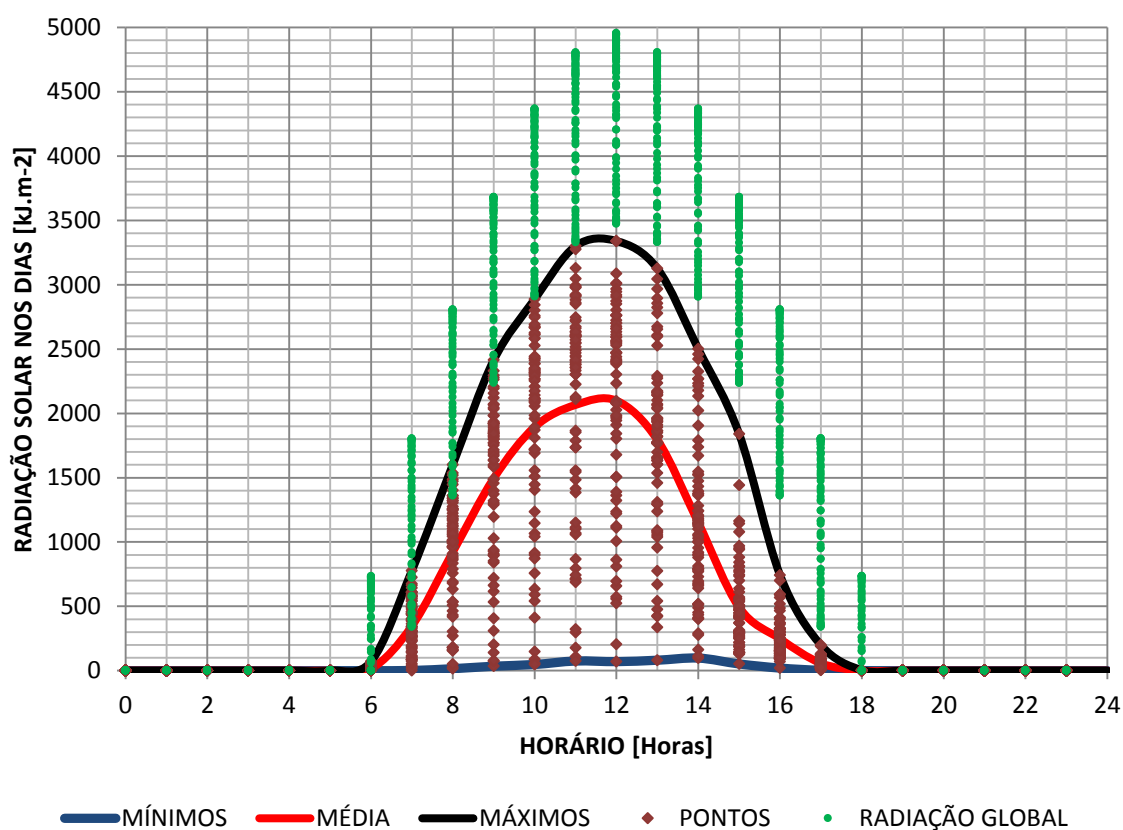


Figura 18: Pontos lidos para radiação, curva do máximo, mínima e média registradas.

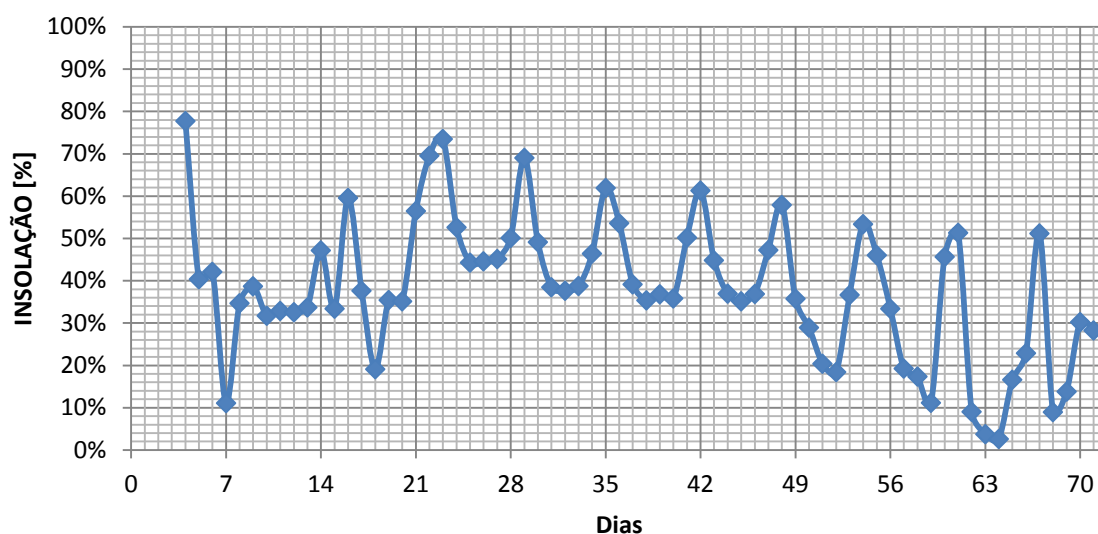


Figura 19: Insolação – Porcentagem da radiação solar que atinge a superfície na localidade e data referência.

Os valores eólicos, também coletados na Estação Automática do INMET próxima, indicam importantes ocorrências de rajada de ventos e suas respectivas direções, representadas nos gráficos das figuras 20 e 21. Estes valores auxiliam na análise das observações ocorridas em relação ao dobramento das folhas e tombamento das plantas.

Além destas 2 variáveis, foi observado também a velocidade média do vento ao longo do tempo, figura 22, esta variável auxilia na compreensão dos dados em relação à evapotranspiração, já que esta depende além da radiação, temperatura e umidade, também da velocidade eólica média (SENTELHAS e ANGELOCCI, 2009).

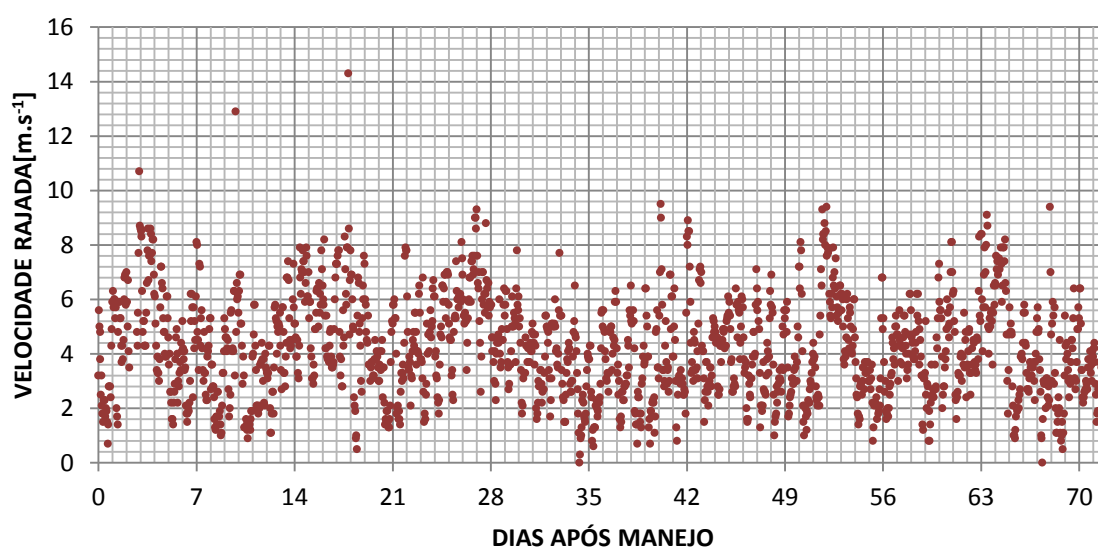


Figura 20: Velocidade de rajada de vento.

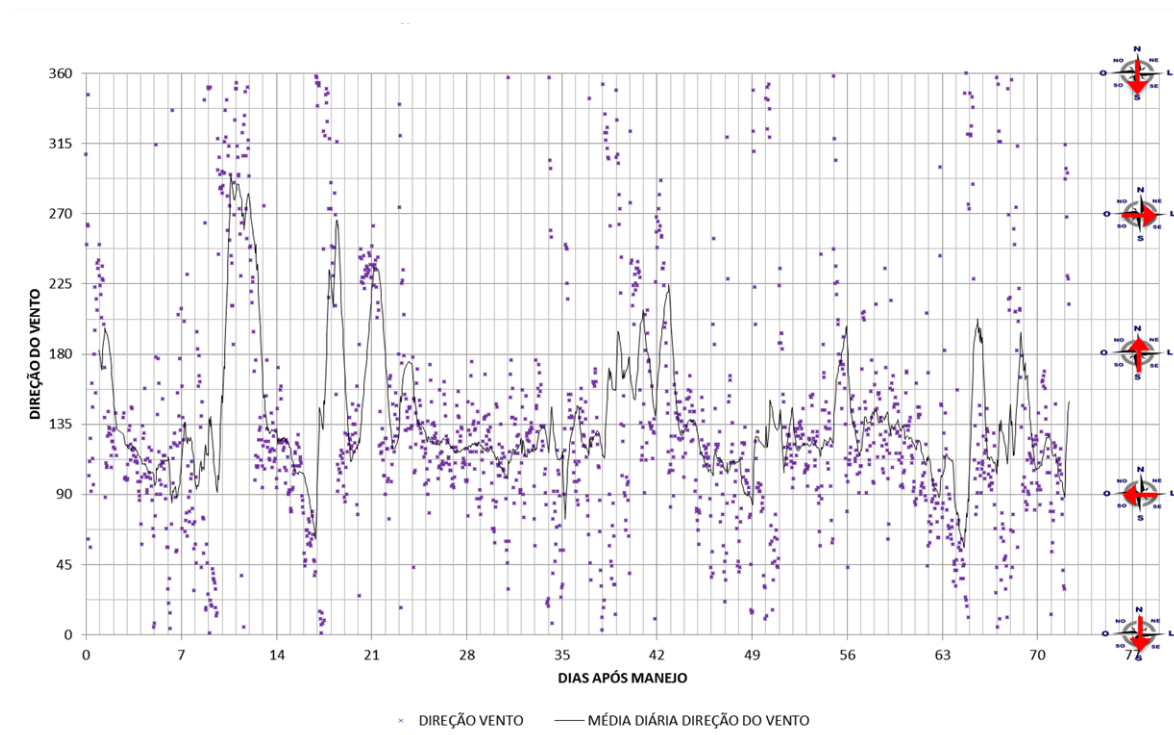


Figura 21: Direção predominante do vento.

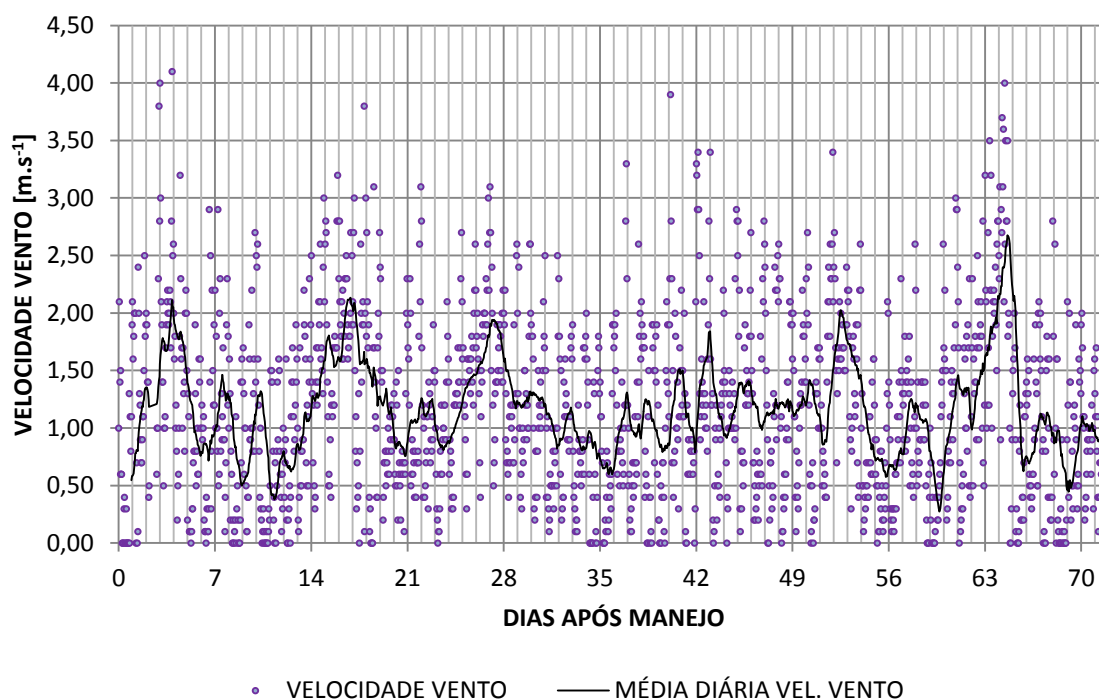


Figura 22: Velocidade eólica média horária.

A evapotranspiração, conforme metodologia de Penman-Monteith – FAO, foi analisada sob os dados de insolação no período, figura 19, média diária de velocidade eólica, figura 22; umidade relativa do ar, figura 12; radiação global e local, figura 18; temperatura, figura 11; e pressão atmosférica gráfico 23.

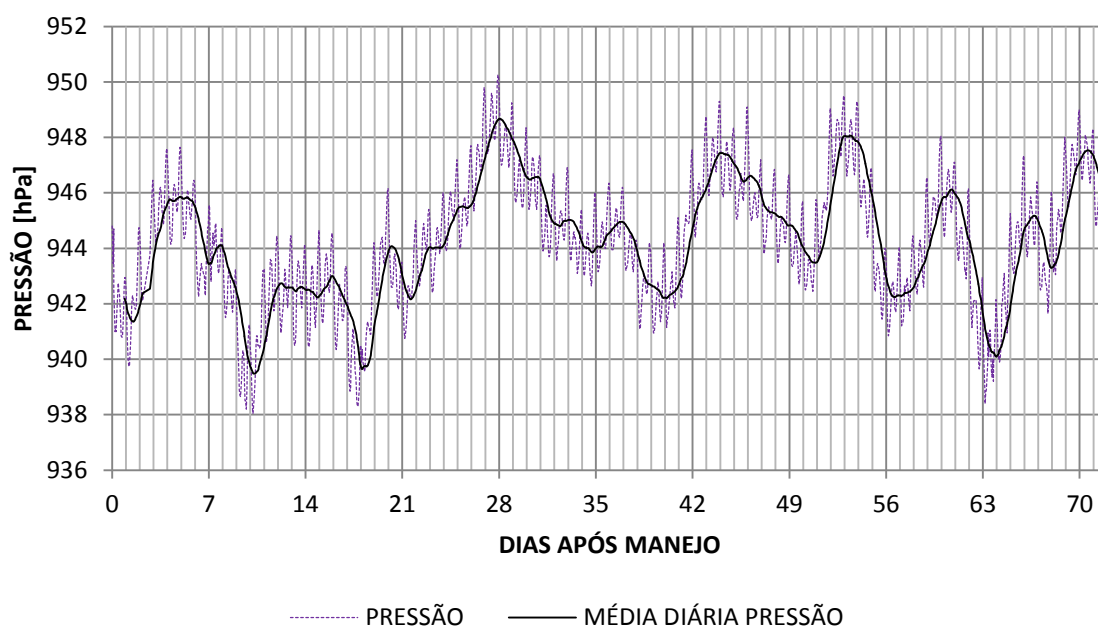


Figura 23: Pressão atmosférica no período.

Portanto, nota-se no gráfico da figura 24 que a evapotranspiração de referência no período foi em média de  $2,5 \text{ mm.d}^{-1}$ , com uma amplitude de valores entre 0,1 e  $4,1 \text{ mm.d}^{-1}$ . Estes valores resultam em uma evapotranspiração de referência total nos 72 dias de aproximadamente 183 mm.

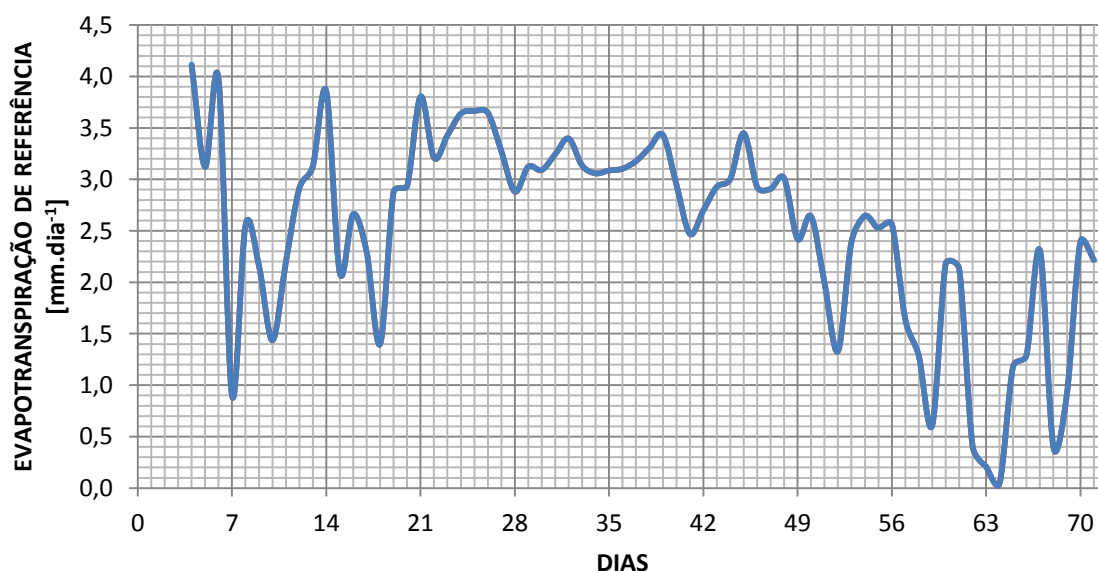


Figura 24: Evapotranspiração de referência.

Adotando valores de  $k_c$  da cultura igual a 3,27 (BRASIL e MATOS, 2008) tem-se uma evapotranspiração da cultura *Typha* em média de  $8,2 \text{ mm.d}^{-1}$ , com amplitude de valores calculados entre 0,2 e  $13,5 \text{ mm.d}^{-1}$ . A evapotranspiração total da

cultura, para plantio de *thpha* semelhante ao exposto por Brasil e Matos (2008), seria de aproximadamente 600 mm no período, distribuído conforme figura 25.

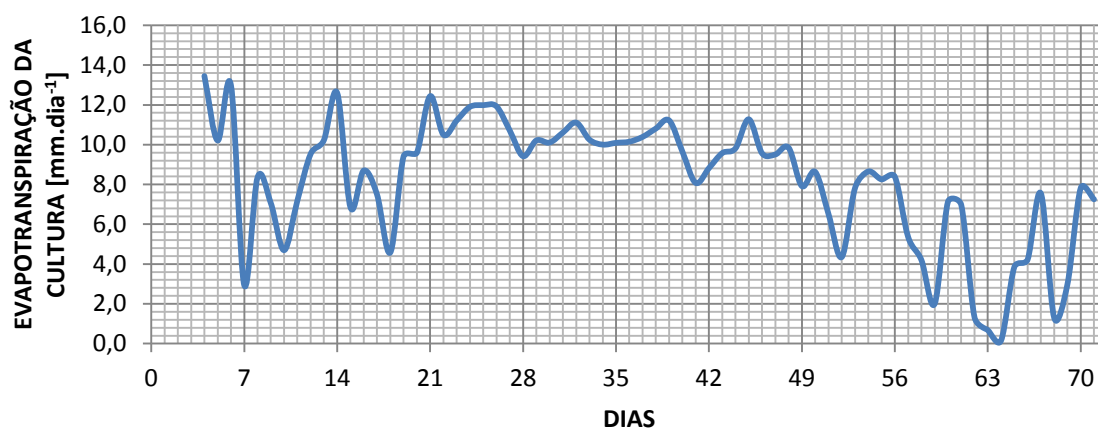


Figura 25: Evapotranspiração da cultura de *Typha*, conforme Brasil e Matos (2008).

## 4.2. Análise das métricas de desenvolvimento das plantas

Através das leituras semanais de dados como quantidade de folhas, tamanho e largura de uma das 25 folhas analisadas após a poda inicial, pode-se fazer uma relação com a área foliar seguindo a metodologia de Bianco et al. (2003). Os valores estimados da área foliar de cada planta estão descritos no gráfico da figura 26, lembrando que as plantas localizadas na margem leste, são denominadas 01, 02 e 03 e na margem oeste 04, 05 e 06.

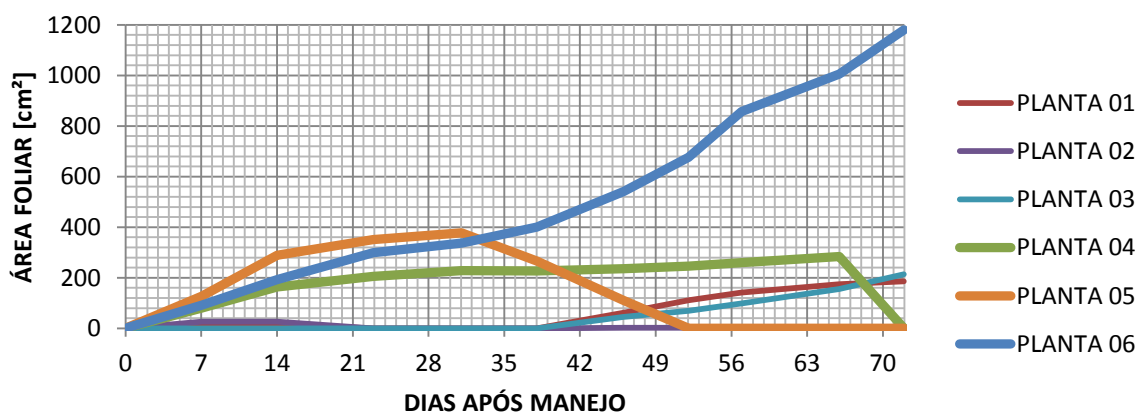


Figura 26: Estimativa da área foliar das plantas.

As plantas 01 (entrada do reator à margem leste) e 02 (meio do reator à margem leste) se desenvolveram na 1ª semana após o a poda, no entanto, na segunda



semana não apresentou folhas novas, além das podadas e iniciaram o murchamento das mesmas, como pode ser observado nas figuras 27 e 28.



Figura 27: Fotografias da planta 01 na 1ª, 2ª e 3ª semanas, respectivamente.



Figura 28: Fotografias da planta 02 na 1ª, 2ª e 3ª semanas, respectivamente.

Nos gráficos das figuras 29 e 30 é possível ver o crescimento individual das folhas, em relação a sua altura, das plantas 01 e 02 respectivamente.

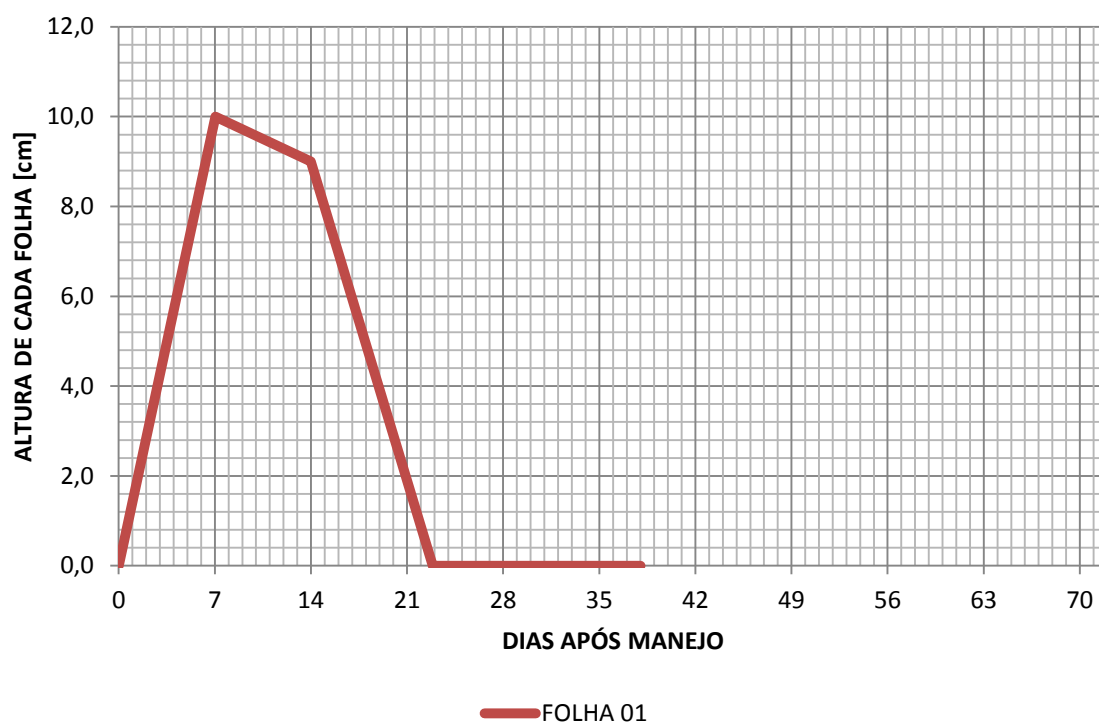


Figura 29: Altura individual das folhas para a planta 01.

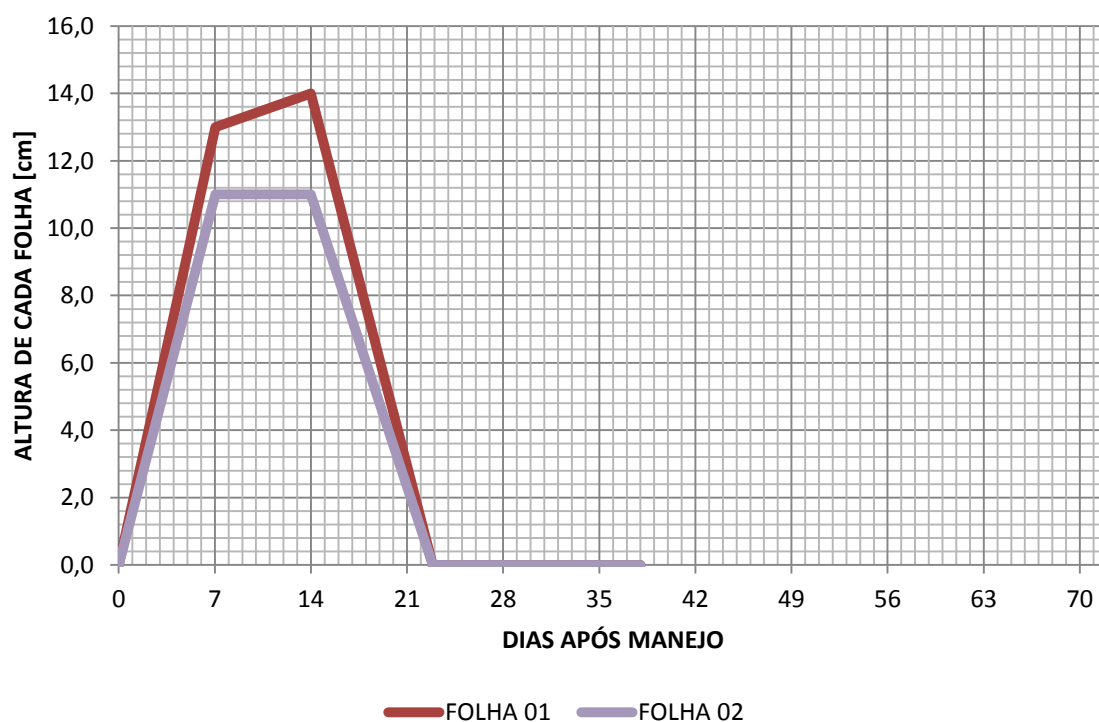


Figura 30: Altura individual das folhas para a planta 02.

Já a planta 03 (final do reator à margem leste), não apresentou nenhum desenvolvimento após a poda, como pode ser observado na figura 31.





Figura 31: Fotografias da planta 03 na 1ª, 2ª e 3ª semanas, respectivamente.

Na sexta semana, estas 3 amostras, plantas 01, 02 e 03, foram substituídas por mais 3 amostras localizadas próximas as antigas amostras. No entanto somente as novas plantas 01 (figuras 32 e 33) e 03 (figura 38 e 39) apresentaram desenvolvimento positivo, enquanto a planta 02 não se desenvolveu.



Figura 32: Fotografias da nova planta 01 na 6ª, 7ª, 8ª e 9ª semanas, respectivamente.





Figura 33: Fotografias da nova planta 01 na 10<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> semanas, respectivamente.

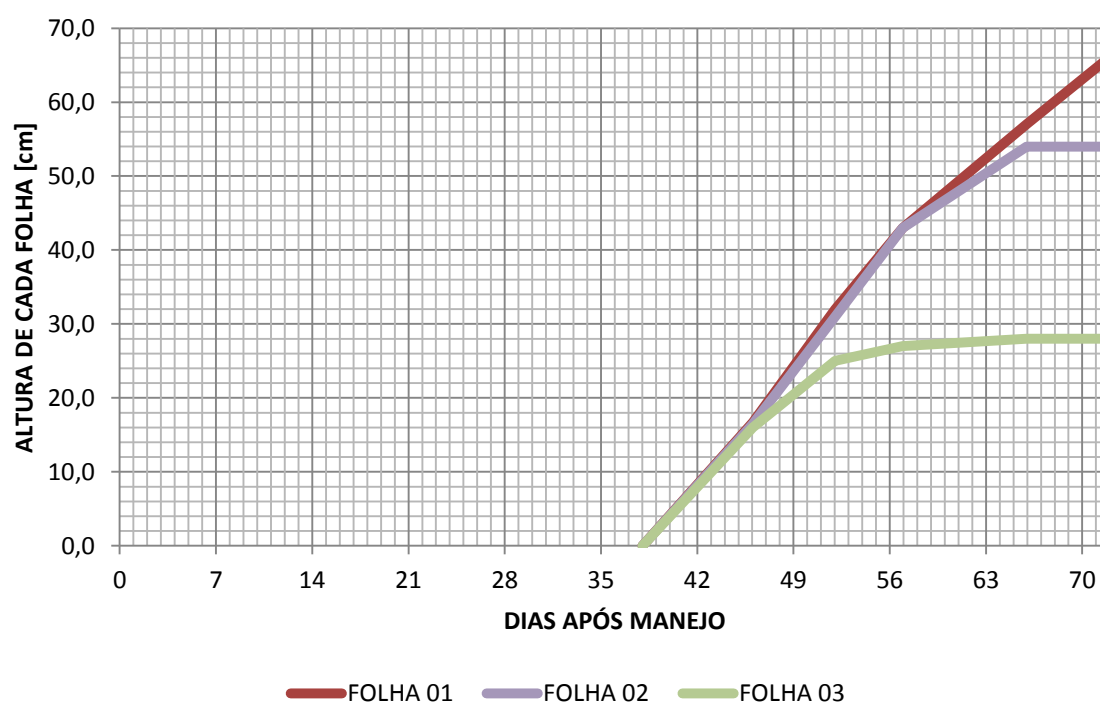


Figura 34: Altura individual das folhas para a nova planta 01.

A planta considerada como sendo nova planta 2, ou seja, nova amostra do meio do reator na margem leste apresentou desenvolvimento conforme figuras 35 e 36.





Figura 35: Fotografias da nova planta 02 na 6ª, 7ª, 8ª e 9ª semanas, respectivamente.



Figura 36: Fotografias da nova planta 02 na 10ª, 11ª e 12ª semanas, respectivamente.

Este desenvolvimento, pode ser visualizado em termos de altura de cada folha da nova planta 02 na figura 37.



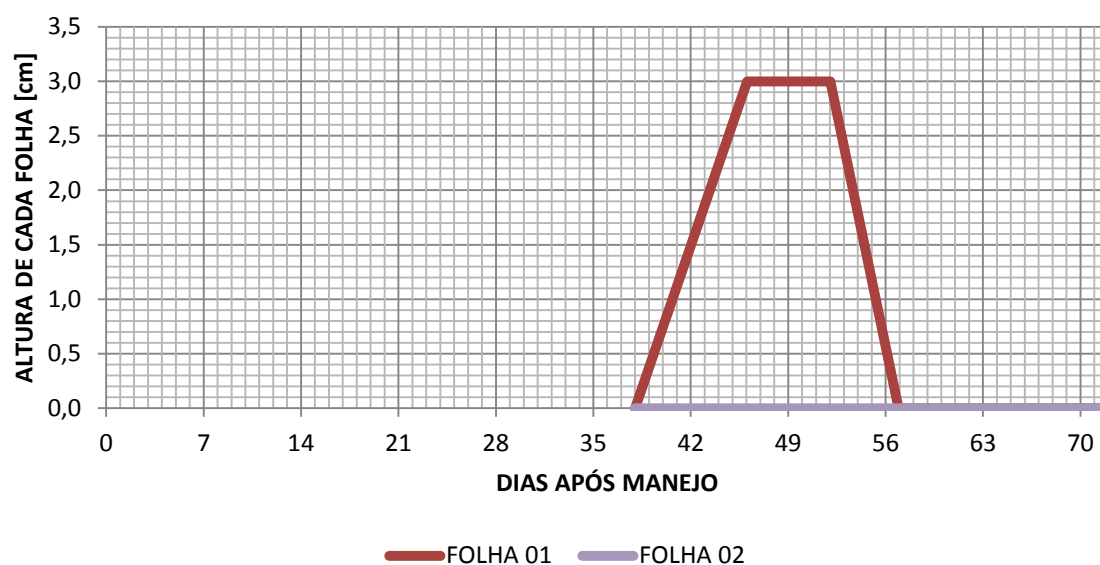


Figura 37: Altura individual das folhas para a nova planta 02.

Já a planta considerada como sendo nova planta 3, ou seja, nova amostra do fim do reator na margem leste apresentou desenvolvimento conforme figuras 38 e 39.



Figura 38: Fotografias da nova planta 03 na 6ª, 7ª, 8ª e 9ª semanas, respectivamente.



Figura 39: Fotografias da nova planta 03 na 10<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> semanas, respectivamente.

O desenvolvimento, pode ser visualizado em termos de altura de cada folha da nova planta 03 na figura 40.

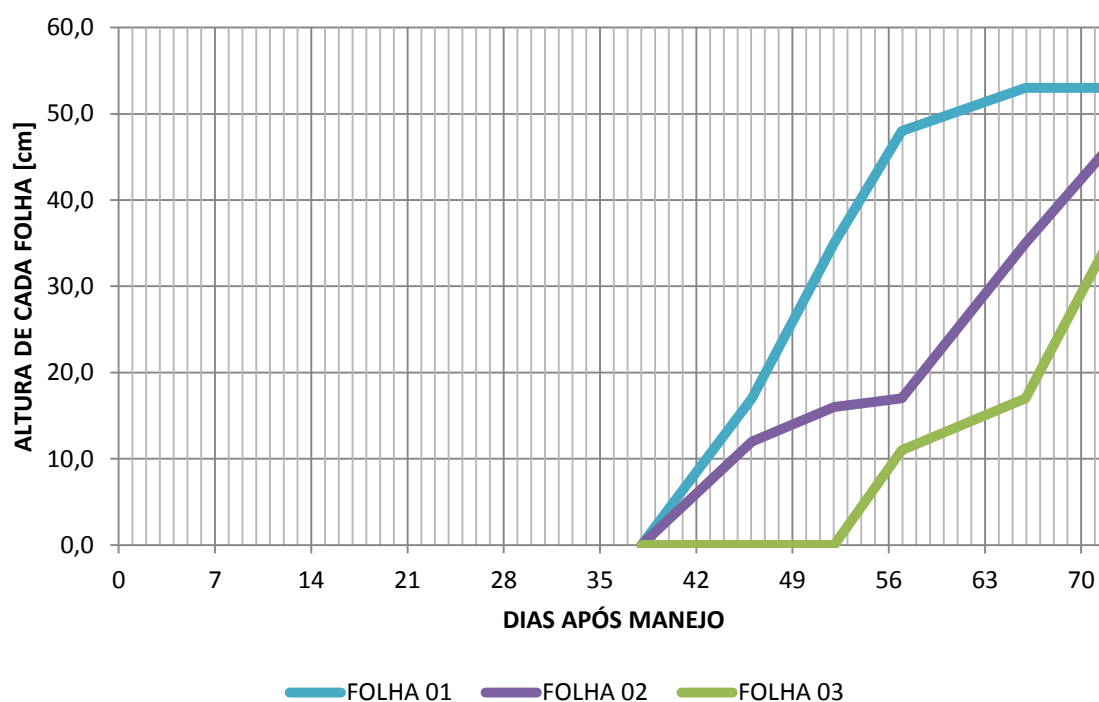


Figura 40: Altura individual das folhas para a nova planta 03.

O desenvolvimento insatisfatório da margem leste do reator pode ser explicado a partir de 2 causas possíveis. A margem leste do reator é a margem com acesso mais fácil do público, como pode ser observado na figura 41. Outra causa possível é que a



direção predominante do vento, gráfico da figura 21, que vêm do sudeste e seguem para noroeste. As plantas localizadas nesta margem recebem o vento sem amortecimento, devido à inexistência de barreiras mais a leste.



Figura 41: Disposição do acesso público em relação à margem leste.

Já a planta 04 (início do reator na margem oeste) apresentou crescimento até 3ª semana após a poda, quando se estabilizou. As figuras 42, 43, 44 e 45 ilustram o desenvolvimento da planta 04 ao longo das 12 semanas.



Figura 42: Fotografias da planta 04 na 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semanas, respectivamente.



É possível ver que a planta 04 na 4ª semana apresentou pontas queimadas o que pode ter sido a causa da redução da taxa de crescimento. Na 5ª semana houve o dobramento de uma das folhas, como pode ser visto na 43, o que implicou na poda da parte da folha seca na 6ª semana, esta parte retirada da folha, foi contabilizada no cálculo da área foliar nas semanas seguintes.



Figura 43: Fotografias da planta 04 na 5ª, 6ª e 7ª semanas, respectivamente.



Figura 44: Fotografias da planta 04 na 8ª e 9ª semanas, respectivamente.





Figura 45: Fotografias da planta 04 na 10<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> semanas, respectivamente.

O desenvolvimento vertical individualizado das folhas na planta 04, localizada na margem oeste no início do reator, está ilustrado no gráfico abaixo.

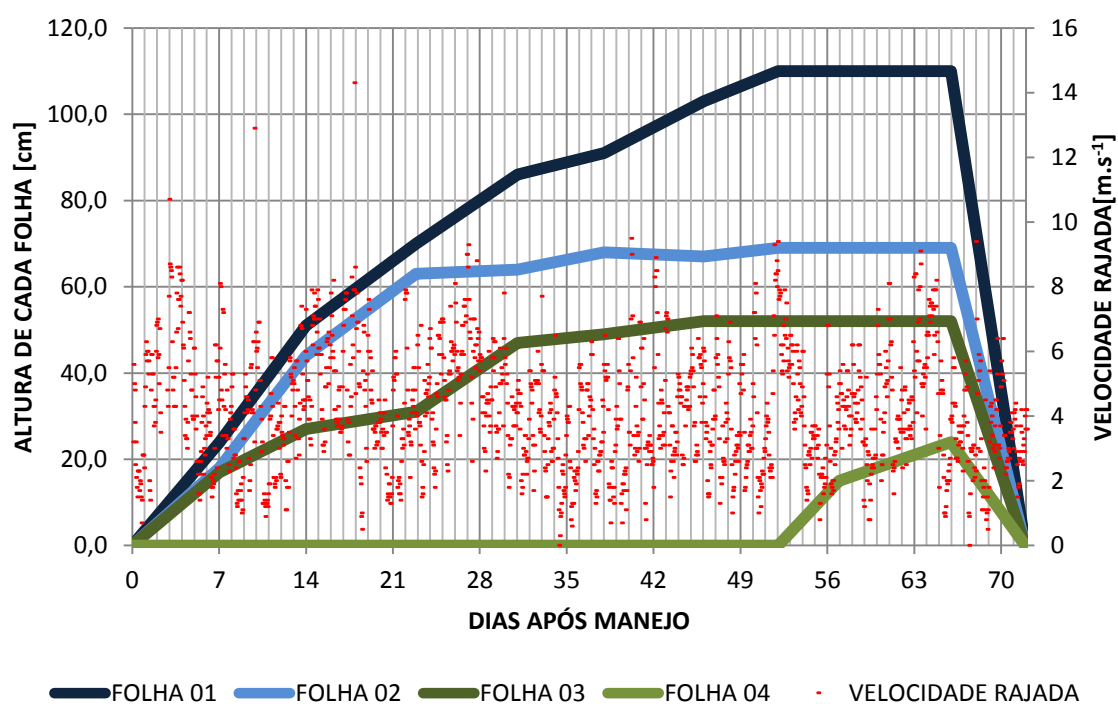


Figura 46: Altura individual das folhas para a nova planta 04, em comparação com a velocidade de rajada máxima.

Na figura 45, observa-se que outras plantas maiores tombaram sobre a planta número 04 na 10<sup>a</sup> semana, prejudicando o desenvolvimento da mesma nas semanas seguintes. Houveram rajadas de vento vindo de leste neste período em torno de  $9 \text{ m.s}^{-1}$ , estas rajadas podem ter sido a causa do dobramento das plantas vizinhas, ou até mesmo a presença

de animais na ETE podem ter causado o tombamento. O sistema do Jardim Botânico apresenta uma baixa densidade de plantas, cerca de 3 a 4 plantas por metro quadrado, onde Brasil, Matos e Soares (2007) trabalharam com densidade de 31,5 brotos por metro quadrado a partir de um plantio inicial de 8,5 plantas por metro quadrado. Esta baixa densidade de plantas, aliadas ao seu rápido crescimento vertical prejudica a resistência das plantas em relação a dobramentos, já que não há proteção contra ventos e apoio estruturantes das plantas vizinhas. Na figura 47, é possível notar de forma comparativa a mesma ETE em 2005, com elevada densidade de plantas, em relação à imagem atual. Nota-se ainda que um novo ramo iniciou o desenvolvimento a partir da mesma raiz, mas este não foi considerado para o cálculo da área foliar, pois se tratava de outro broto.



Figura 47: Fotografias da ETE em 2005(Prado, 2005) e 2013.

A planta 05 (meio do reator à margem oeste, teve desenvolvimento satisfatório até a semana 4, se estabilizando até semana 7 quando houve a interrupção completa do seu ciclo de vida, como pode ser observado no surgimento de manchas amarelas nas folhas da planta na 4ª semana na figura 48.



Figura 48: Fotografias da planta 05 na 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semanas, respectivamente.



Nota-se que na figura 49, na 7ª semana a planta 05 estava totalmente seca e sua raiz destacada do solo.



Figura 49: Fotografias da planta 05 na 5ª, 6ª e 7ª semanas, respectivamente.

No gráfico da figura 50, observa-se o crescimento individualizado das folhas da planta 05, no qual se pode notar que após a ocorrência de rajada de aproximadamente  $50 \text{ km.h}^{-1}$ , maior marca do período, esta aparentemente afetou a folha 03 e impactou no crescimento das demais folhas.

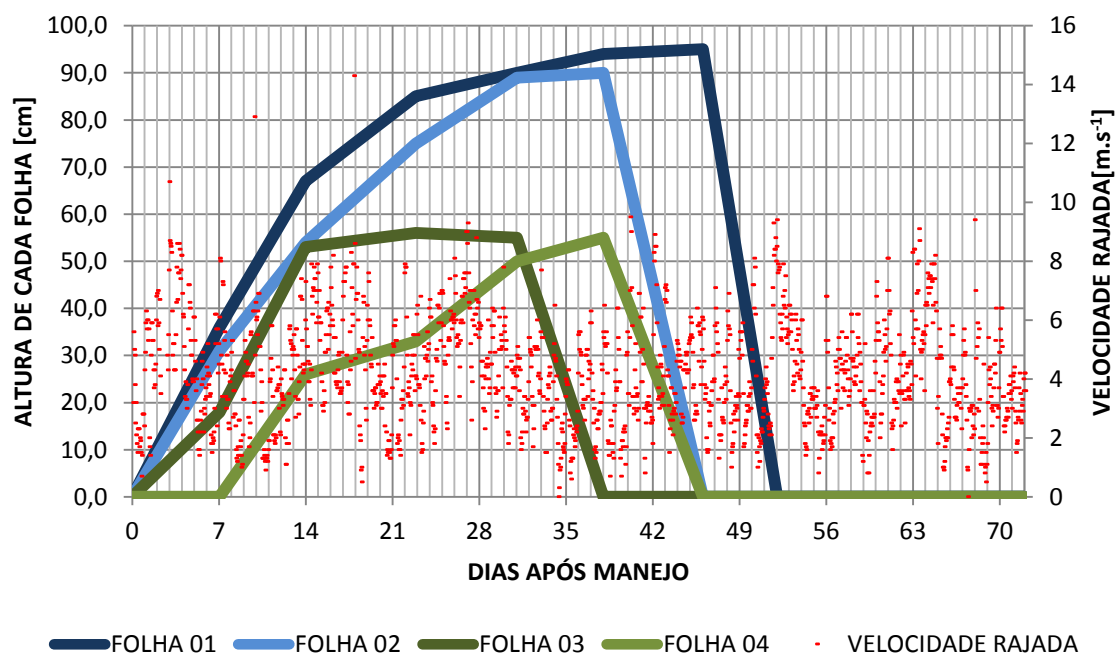


Figura 50: Altura individual das folhas para a nova planta 05, em comparação com a velocidade de rajada máxima.

Já a planta 06 (final do reator à margem oeste) apresentou desenvolvimento satisfatório durante todo o período de análise. A menor incidência de tombamento de plantas vizinhas e a presença de plantas vizinhas próximas, cerca de 10 cm de espaçamento entre as plantas, a qual auxiliou a estruturação o crescimento das folhas, contribuiu para esta observação positiva. Nas figuras 51, 52, 53 e 54 é possível notar o desenvolvimento da planta 06 ao longo das semanas analisadas.



Figura 51: Fotografias da planta 06 na 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semanas, respectivamente.



Figura 52: Fotografias da planta 06 na 5ª, 6ª e 7ª semanas, respectivamente.





Figura 53: Fotografias da planta 06 na 8<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup> e 10<sup>a</sup> semanas, respectivamente.



Figura 54: Fotografias da planta 06 na 11<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> semanas, respectivamente.

Na 12<sup>a</sup> semana, houve a necessidade de remover as plantas para que fosse feita manutenção no sistema de meio suporte dos alagados construídos. No gráfico da figura 55, o desenvolvimento individualizado de cada uma das 6 folhas da planta 06 durante o período, pode ser observado:

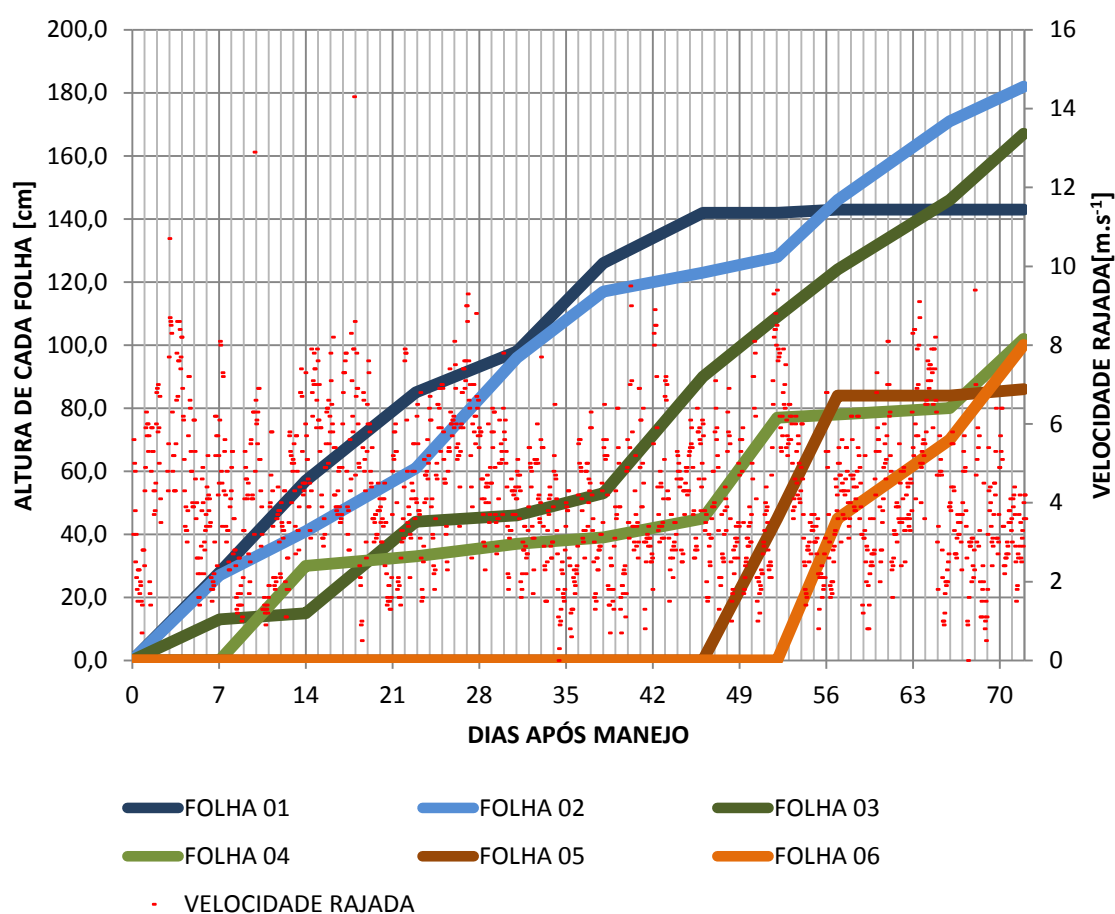


Figura 55: Altura individual das folhas para a nova planta 06, em comparação com a velocidade de rajada máxima.

O rápido crescimento das folhas 4, 5 e 6 se deve ao fato de que a folha já existia internamente na planta, mas não era contabilizada na coleta dos dados, por não ser visível ainda. As novas folhas surgem no centro da planta, e as folhas antigas ficam na região externa da planta, para que as folhas antigas sirvam de apoio para as novas folhas.

A partir dos dados coletados em todas as plantas pôde-se observar que a média da taxa de crescimento foliar da planta, que variou entre valores de 4 cm<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> a 14 cm<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>. Esta variação ocorre, além de fatores diversos como explicados anteriormente, devido a variação dos fatores meteorológicos como segue a explicação mais abaixo. No entanto, houve uma tendência de estabilização máxima de crescimento em torno de 11 cm<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>.

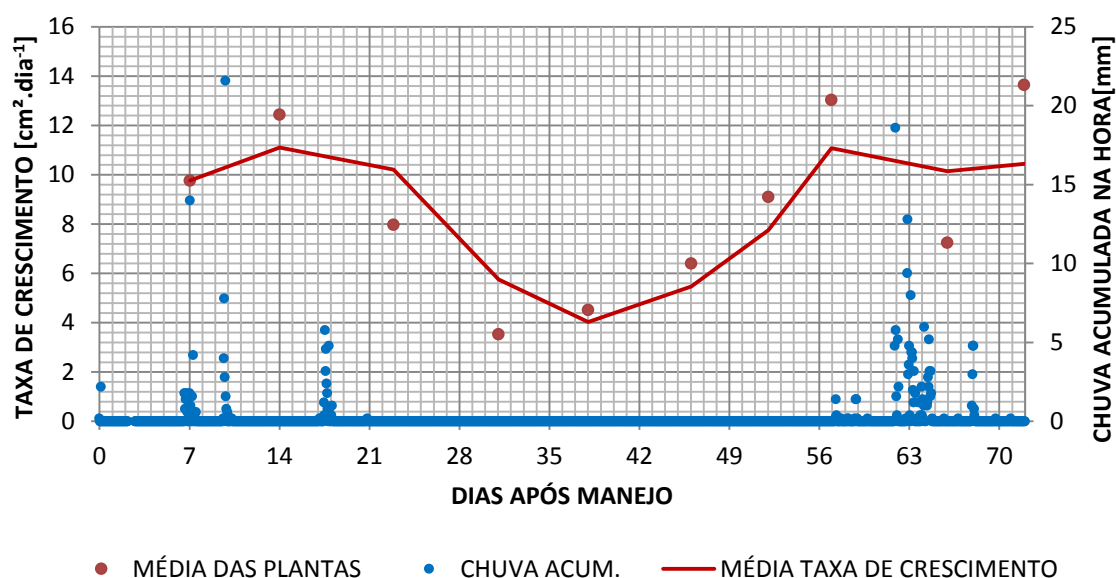


Figura 56: Média das taxas de crescimento foliar das plantas em relação à chuva acumulada em uma hora.

Nota-se que no gráfico da figura 56 o crescimento médio na época de seca, entre os dias 18 e 57, foram menores que nas épocas chuvosas. Apesar das raízes sempre estarem em ambiente saturado, pois é abastecido constantemente por águas residuárias, o fator diluição dos poluentes devido à água pluvial inserida no sistema e a umidade relativa, gráfico da figura 57, do ar explicam o ocorrido. Determinando assim a precipitação e umidade com variáveis importantes no desenvolvimento das plantas. No entanto a taxa de crescimento voltou a subir dias antes da chuva retornar, ressaltando a importância dos outros fatores em conjunto com a precipitação e umidade.

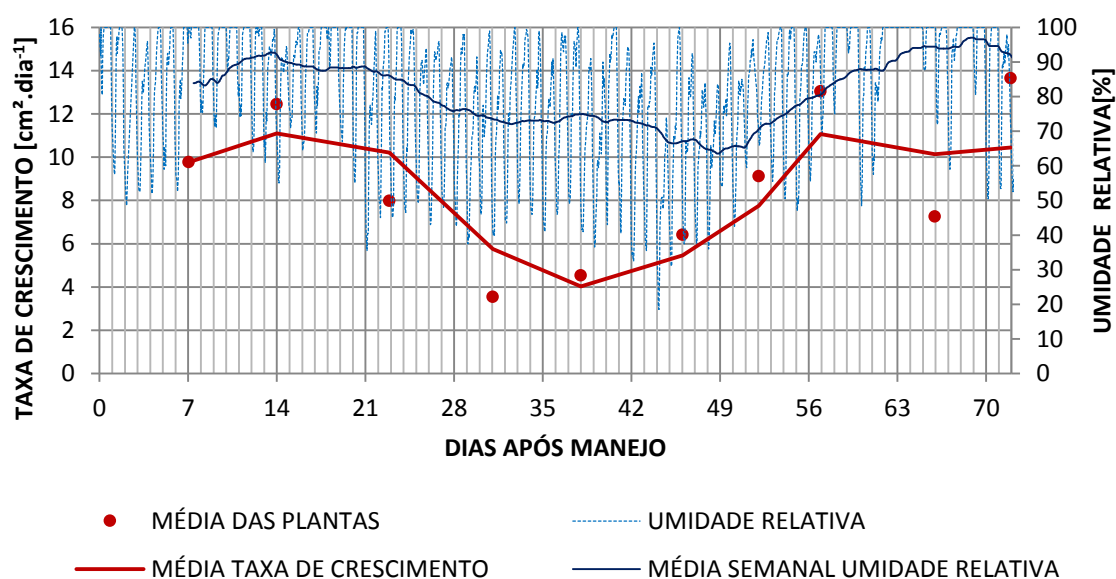


Figura 57: Média das taxas de crescimento foliar das plantas em relação à umidade relativa do ar.



Em relação à temperatura média ambiente não se pôde constatar nenhuma relação direta, até mesmo porque a amplitude térmica das médias semanais foram relativamente baixas, variando entre 16,0°C e 22,5°C, conforme gráfico da figura 58.

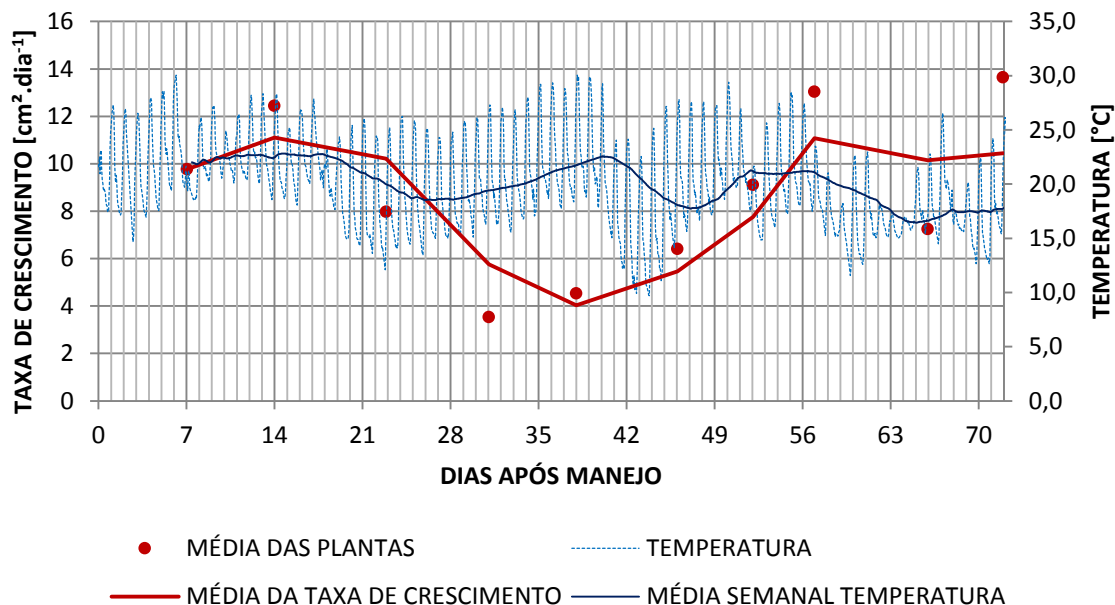


Figura 58: Média das taxas de crescimento foliar das plantas em relação à temperatura média.

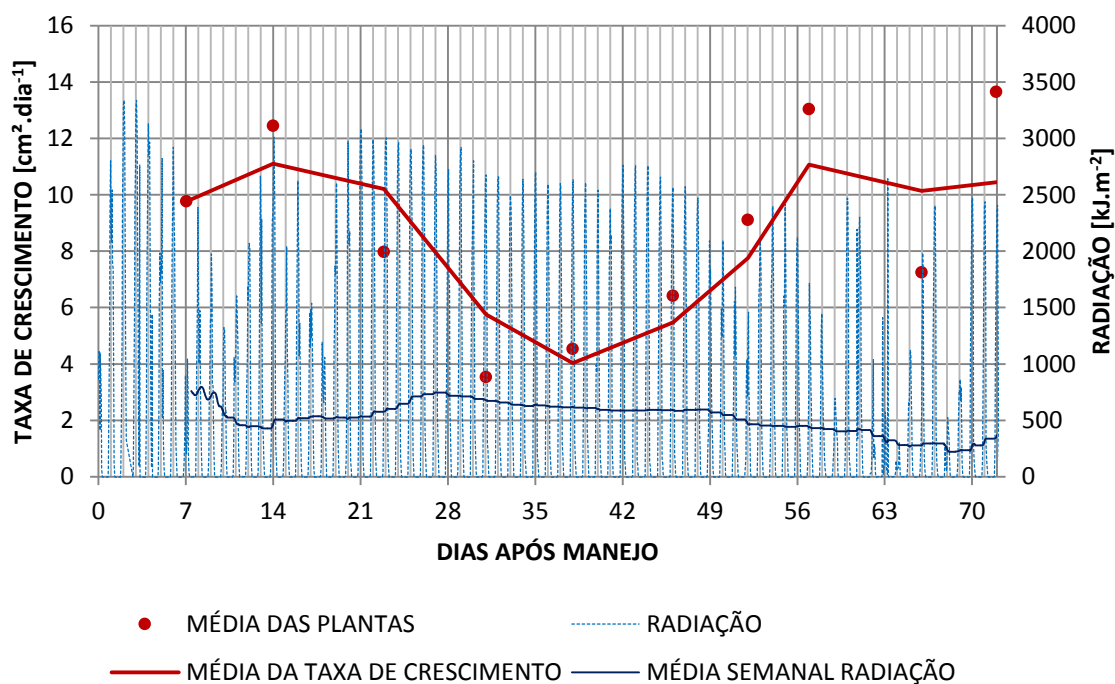


Figura 59: Média das taxas de crescimento foliar das plantas em relação à radiação solar.

Em relação a radiação solar, figura 59, observa-se que no final do período, a partir 56º dia após o manejo, que com a redução da média semanal de radiação



solar, houve uma redução da taxa de crescimento. Esta observação também foi feita em torno do 14º dia após o manejo.

As velocidades médias horárias dos ventos não influenciaram na taxa de crescimento, pois quando analisadas em termos médios semanais apresentou baixa amplitude de valores, como pode ser observado na figura 60.

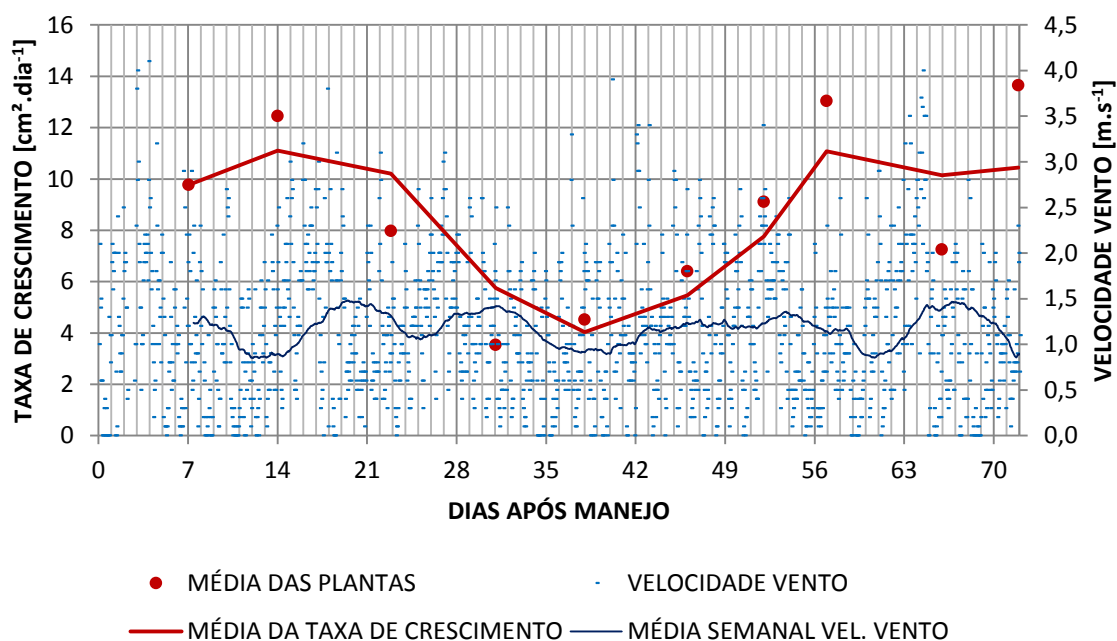


Figura 60: Média das taxas de crescimento foliar das plantas em relação à velocidade média do vento.

No entanto quando se analisa a direção do vento, figura 61, e a velocidade de rajada do vento, figura 62, nota-se influencia direta no crescimento foliar da planta.

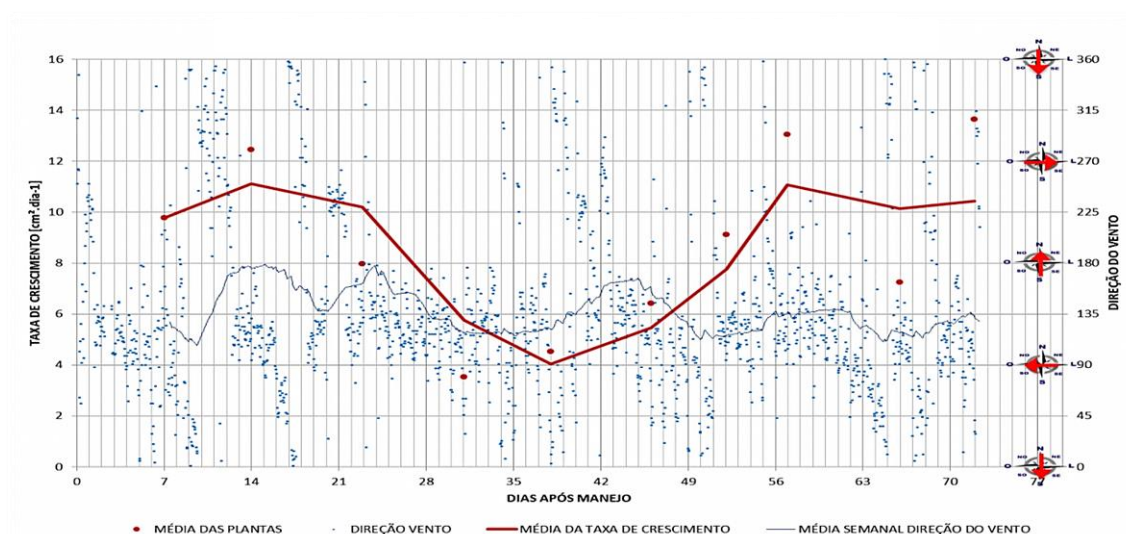


Figura 61: Média das taxas de crescimento foliar das plantas em relação à direção do vento.

Observou-se *in loco* que ventos vindo de leste e sudeste são os ventos que mais atingem as plantas, devido à inexistência de barreiras físicas e da topografia local. No entanto, somente a figura 61 não é conclusiva, pois apenas aponta a direção dos ventos. A intensidade dos mesmos, principalmente em picos de rajadas auxilia na compreensão, e está apresentado no gráfico 62, onde é possível observar que a rajada de aproximadamente  $50 \text{ km.h}^{-1}$ , ou  $14 \text{ m.s}^{-1}$ , afetou diretamente o desenvolvimento das plantas por volta do 17º dia em diante, como observado no gráfico 63 que amplia a ocorrência eólica do dia 17.

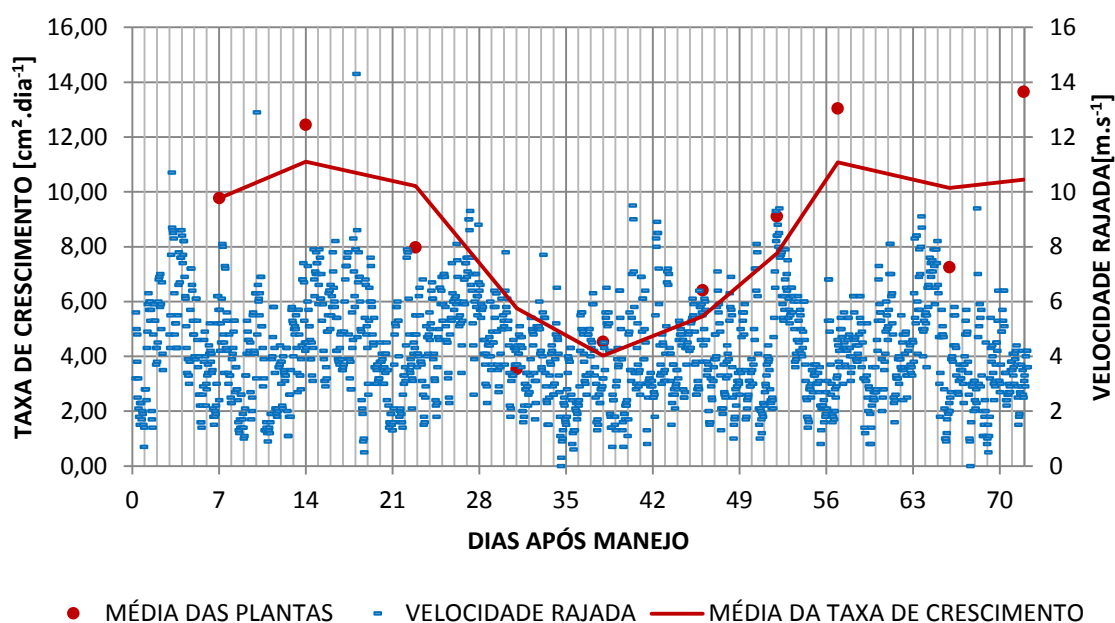


Figura 62: Média das taxas de crescimento foliar das plantas em relação à rajada de vento.

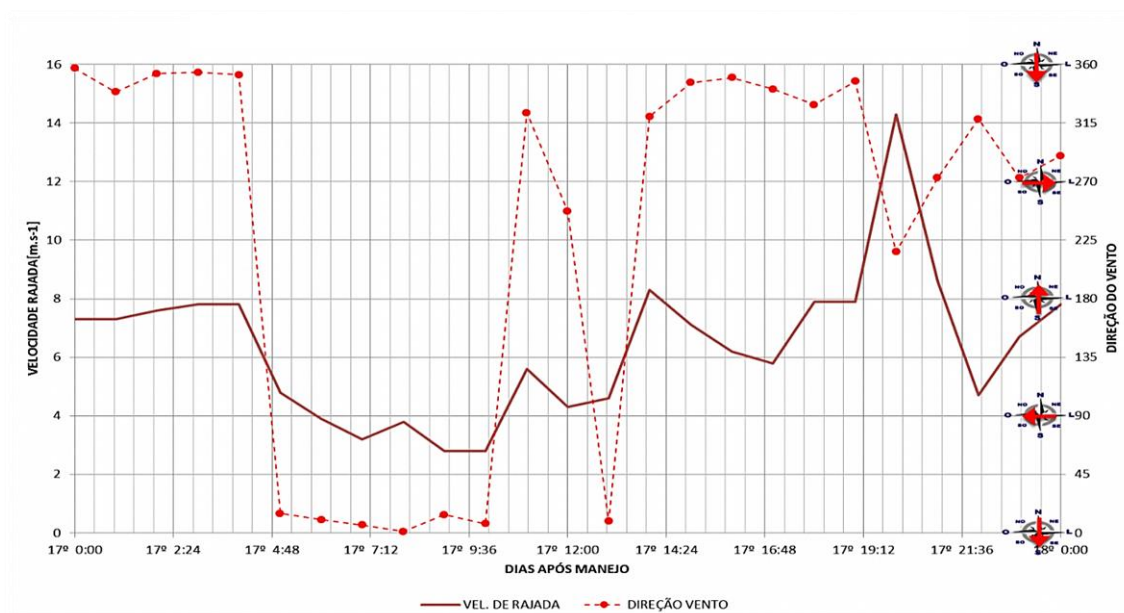


Figura 63: Rajada de vento e direção do vento no 17º dia após o manejo.

A partir dos valores da planta 06, a qual apresentou em 72 dias desenvolvimento satisfatório devido ao seu espaçamento entre as plantas vizinhas, pode-se chegar a uma taxa média de crescimento de  $17,59 \text{ cm}^2.\text{dia}^{-1}$  com desvio padrão amostral de  $9,62 \text{ cm}^2.\text{dia}^{-1}$ , sendo que o valor mínimo de crescimento lido em época de seca foi de  $4,55 \text{ cm}^2.\text{dia}^{-1}$  e o valor máximo em época de chuva e/ou de aparecimento de novas folhas de  $36,76 \text{ cm}^2.\text{dia}^{-1}$ .

Com a relação obtida através da curva de correlação apresentada no gráfico da figura 64, no qual foi analisado um total de 14 folhas saudáveis de 4 plantas diferentes e comprimentos variáveis, é possível determinar a massa seca produzida por dia. A equação que melhor se adequa como tendência da relação área foliar com a massa úmida é para o período de área foliar analisado é:

$$MU = 0,0001 \cdot AF^2 + 0,0466 \cdot AF \quad (\text{XVI})$$

Onde:

MU: Massa úmida em gramas

AF: Área foliar em  $\text{cm}^2$ , obtida através da correlação de Bianco (2003)

$$Af = 0,9651 \cdot (L \cdot C)$$

L: largura da folha em cm

C: comprimento da folha em cm

Já para a relação da massa seca em relação a área foliar, onde porcentagem de massa seca em relação a massa úmida foi em média de 19,56%, conforme gráfico da figura 65 é de:

$$MS = 0,00002 \cdot AF^2 + 0,0107 \cdot AF \quad (\text{XVII})$$

Onde:

MS: Massa seca em gramas

AF: Área foliar em cm<sup>2</sup>, obtida através da correlação de Bianco (2003)

$$Af = 0,9651 \cdot (L \cdot C) \quad (II)$$

L: largura da folha em cm

C: comprimento da folha em cm

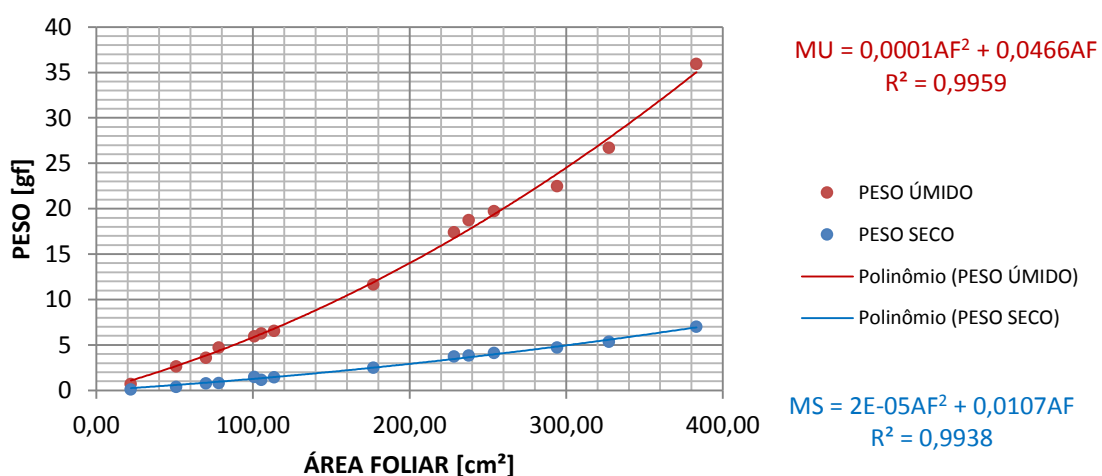


Figura 64: Curva de correlação entre área foliar, peso seco e peso úmido.

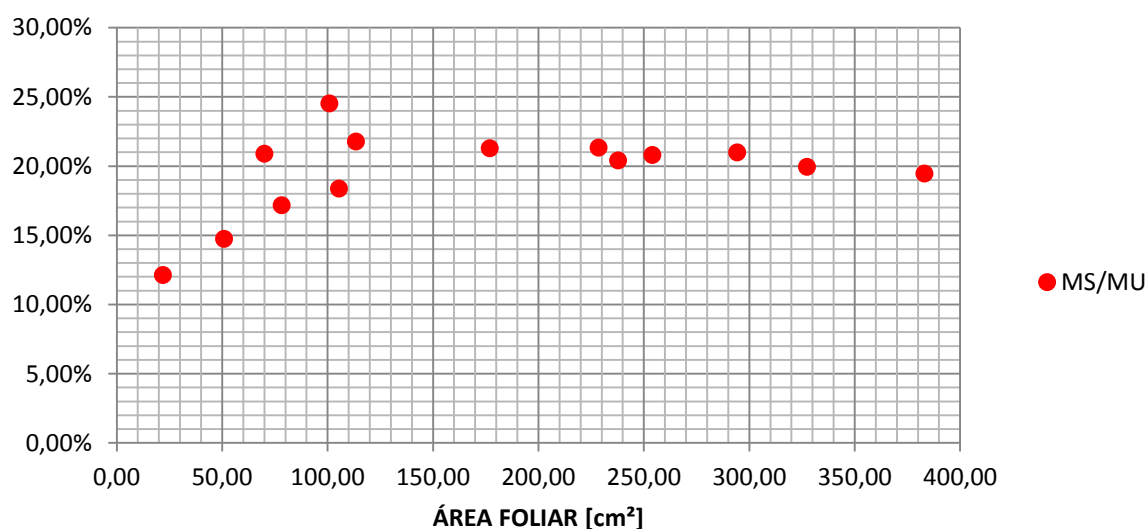


Figura 65: Curva de correlação área foliar x relação peso seco/peso úmido.

A partir destas curvas de correlação e através de dados bibliográficos levantados por Brasil (2007) e Martins et al.(2012) é possível correlacionar para uma área unitária semelhante a analisada, cuja a densidade de plantas é de 3,25 plantas.m<sup>-2</sup>, e clima análogo ao da presente pesquisa, taxas de absorção de nutrientes e carbono fixo.

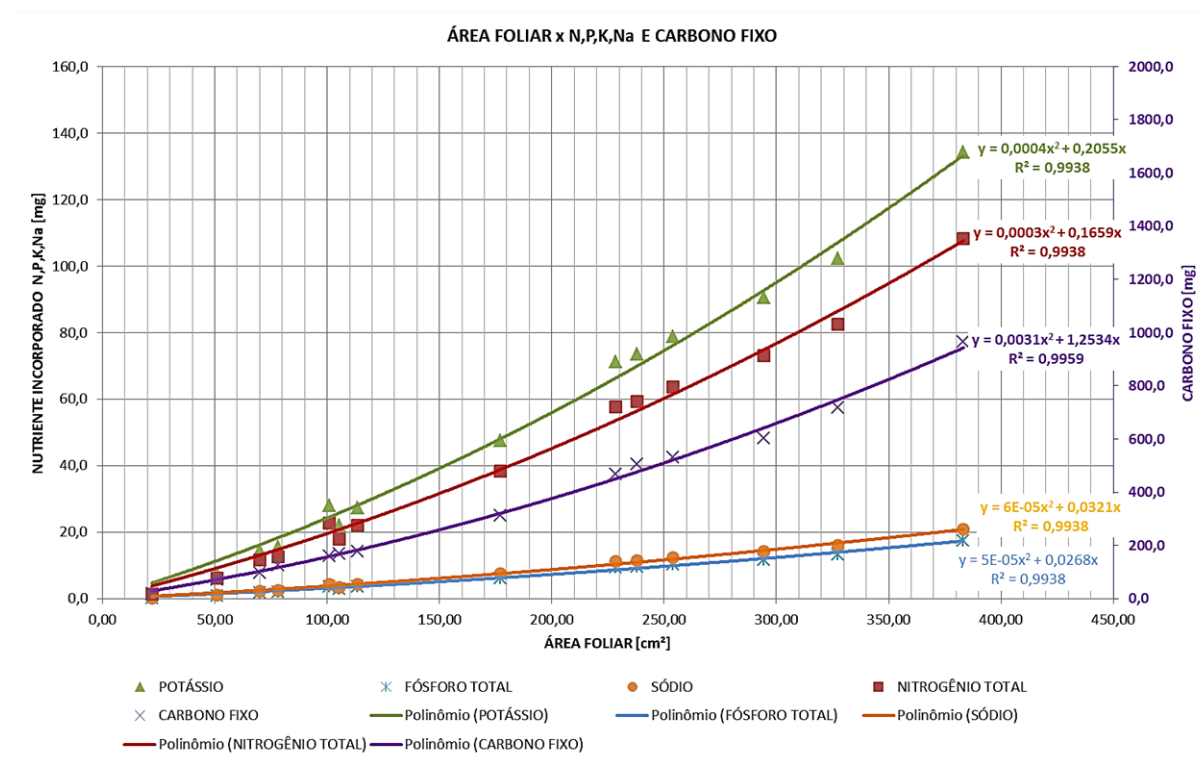


Figura 66: Curva de correlação área foliar x Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Sódio e Carbono Fixo.

Através do gráfico da figura 66, pôde-se determinar as seguintes equações de tendência da correlação de nutrientes e carbono em relação a área foliar determinada pela metodologia proposta por Bianco (2003).

- Nitrogênio (N) em mg em relação a Área Foliar (AF) em cm²:

$$N = 0,0003 \cdot AF^2 + 0,1659 \cdot AF \quad (\text{XVIII})$$

- Fósforo (P) em mg em relação a Área Foliar (AF) em cm²:

$$P = 0,00005 \cdot AF^2 + 0,0268 \cdot AF \quad (\text{XIX})$$

- Potássio (K) em mg em relação a Área Foliar (AF) em cm²:

$$K = 0,0004 \cdot AF^2 + 0,2055 \cdot AF \quad (\text{XX})$$

- Sódio (Na) em mg em relação a Área Foliar (AF) em cm²:

$$Na = 0,00006 \cdot AF^2 + 0,0321 \cdot AF \quad (\text{XXI})$$

- Carbono Fixo (CF) em mg em relação a Área Foliar (AF) em cm<sup>2</sup>:

$$CF = 0,0031 \cdot AF^2 + 1,2534 \cdot AF \quad (\text{XXII})$$

Utilizando o crescimento mensurado na amostra 06, a qual apresenta espaçamento próximo entre as plantas vizinhas próximas ao ideal, chegou-se a uma curva de absorção de nutrientes e carbono para uma área unitária de 1 metro quadrado com densidade de plantio de 3,25 plantas em cada área unitária, conforme gráfico da figura 67.

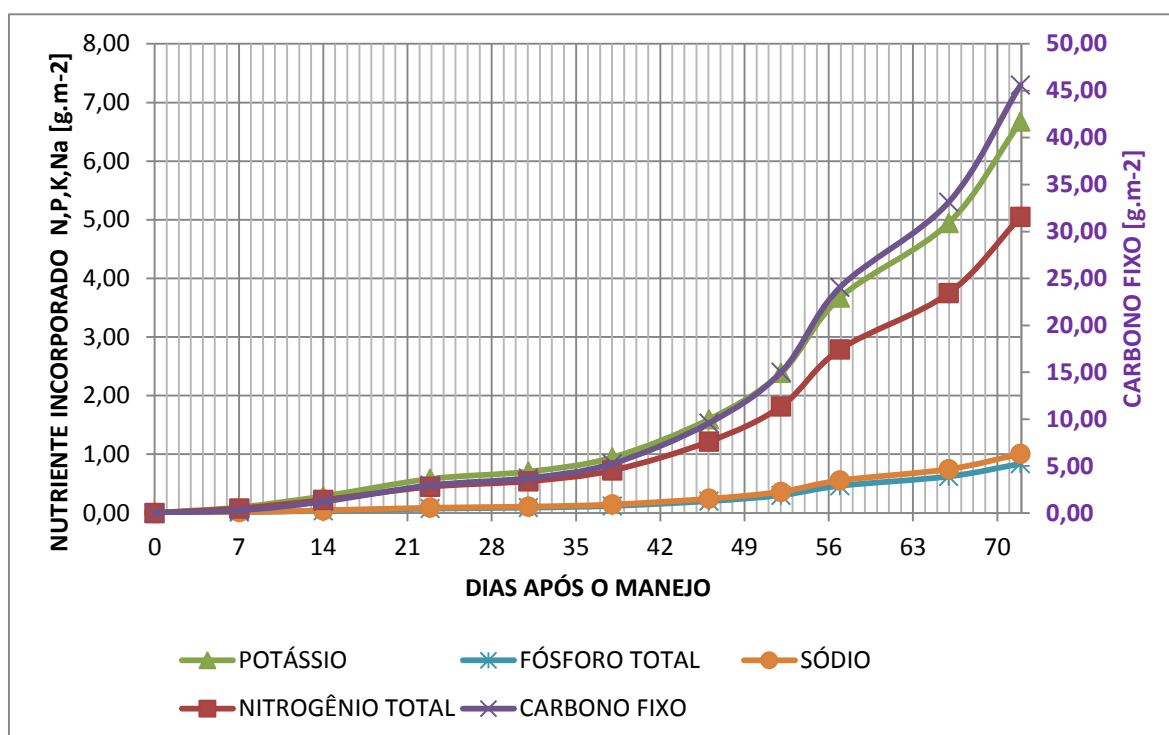


Figura 67: Absorção de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Sódio e Carbono Fixo no período analisado.

Na figura 68, o gráfico apresenta a taxa de absorção dos nutrientes e incorporação de carbono fixo, ao longo do tempo após o manejo, para uma área unitária. Nota-se que no início o sistema apresenta baixas taxa, atingindo suas mais altas taxas de absorção em torno do 56º dia após o manejo, quando a altura da planta era de 1,5m aproximadamente.



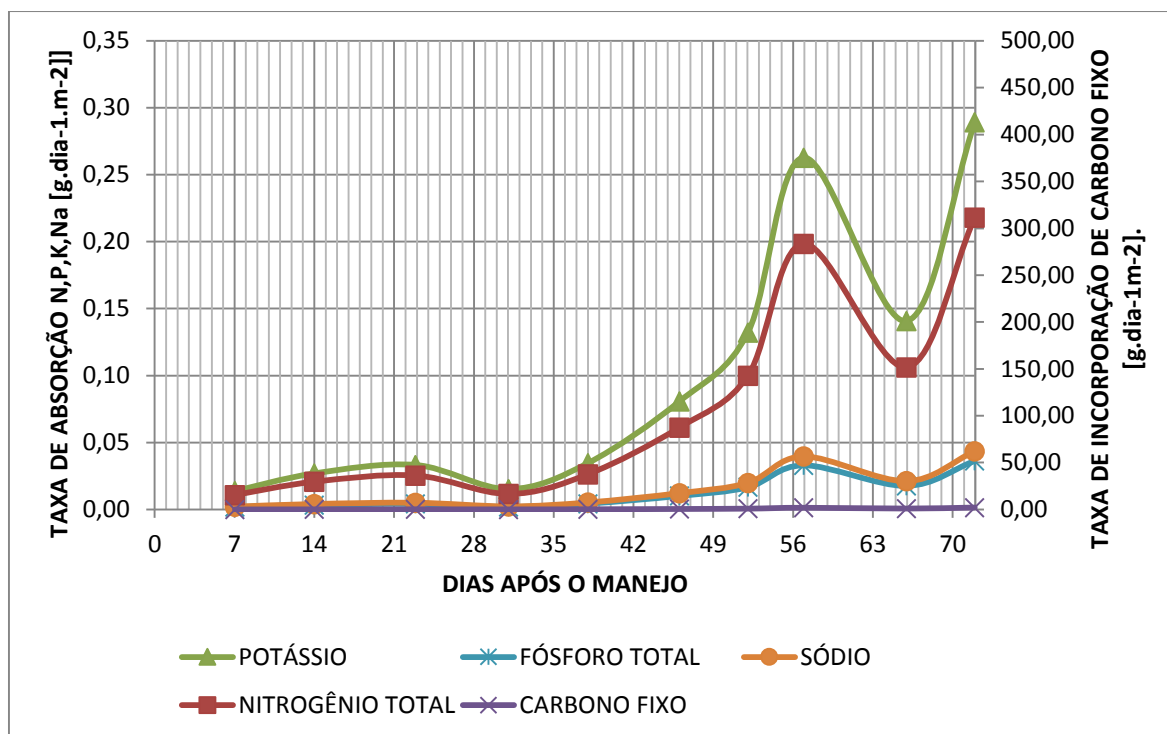


Figura 68: Taxa de Absorção de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Sódio e Carbono Fixo no período analisado.

Portanto a absorção total em aproximadamente 70 dias, de uma área unitária cujo o plantio segue uma densidade de 3,25 plantas por metro quadrado, de 5,1 g de nitrogênio, 0,8 g de fósforo, 6,7 g de potássio, 1,01 g de sódio e incorporação de 45,6 g de carbono fixo por metro quadrado. A produção total de massa seca de taboa é de 1,7 kg de MS por metro quadrado por ano, o que resulta em uma produção por hectare de 17 toneladas por hectare por ano. Segundo Oliveira (2010) que em sua tese avaliou o poder calorífico da taboa, o PCU (Poder Calorífico Útil) para a taboa inteira é de  $14,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . Sendo assim uma área unitária de um metro quadrado de plantio de taboa geraria por ano um potencial calorífico útil de  $24,6 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ , ou  $246 \text{ GJ.hectare}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

## 5. CONCLUSÕES

Os sistemas de Alagados Construídos para remoção de nutrientes poluentes com a finalidade de produção de biomassa se mostrou eficiente, produzindo biomassa e conseqüentemente energia para ser utilizada em termoelétricas.

No entanto, é essencial para a otimização da produção e da eficiência do sistema, que as plantas possuam pequeno espaçamento entre elas, o que diminui a incidência de quebras e dobras das folhas, e auxilia na estruturação das folhas, favorecendo o seu desenvolvimento.

Condições climáticas afetam o desenvolvimento do sistema proposto, bem como o período de desenvolvimento pós poda em que a planta está. Foi notado que logo após o manejo as taxas de absorção de nutrientes e de crescimento das plantas são baixos, atingindo valores interessantes a partir de aproximadamente 7 semanas após o manejo, este fato é conclusivo para o dimensionamento de alagados construídos, pois implica na concepção de sistemas em paralelo ou até mesmo em série, os quais devem sofrer manejo de forma intercalada fazendo com que a eficiência do sistema global seja mais equalizada que em um sistema de um único reator, ou de diversos reatores em paralelo que sofram podas simultâneas.

Notou-se uma elevada sensibilidade da taboa em relação à umidade relativa do ar, rajadas e direção dos ventos. Observou uma sensibilidade menor em relação à temperatura média e, em relação à radiação solar, não foi observada interferência, pois durante todo o período analisado houveram elevados índices de radiação.

O monitoramento de sistemas de alagados construídos a partir de observações das plantas é mais complexo que o sistema de monitoramento tradicional o qual consiste na análise do efluente de entrada e saída do reator, no entanto delimita importantes

parâmetros de operação e manejo do sistema, de acordo com a espécie cultivada e o clima local. A avaliação da eficiência na remoção de poluentes do sistema deve continuar sendo feita a partir de parâmetros de entrada e saída, uma vez que nos sistemas de alagados construídos existem outros fatores que contribuem com a eficiência do tratamento, que não as plantas, como por exemplo, o biofilme aderido ao meio suporte, volatilização da amônia presente, a nitrificação e desnitrificação do nitrogênio, entre outros processos.

Novas pesquisas devem surgir de forma a criar um mapeamento de aplicação de espécies de macrófitas em diversas regiões, contribuindo com um acervo que favorecerá o projeto e a operação destes sistemas no Brasil. Estudos referentes à definição do melhor espaçamento para o plantio das macrófitas são também parâmetros que devem ser aprimorado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIANCO, S., PITELLI, R.A. and PITELLI, A.M.C.M. Estimativa da área foliar de *Typha latifolia* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta daninha**, vol.21, no.2, p.257-261, 2003.

BISCARO, G. A.; **Meteorologia Agrícola Básica**. UNIGRAF. Mato Grosso do Sul. 2007. 83p.

BOUTIN, C. e LIÉNARD A.; Reed bed filters for wastewater treatment in France: major designs aspects and history of development. Restoring Florida's Everglades. **Magazine of the international water association**, , p. 58-60. 2004.

BRAGA, B, et al.. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2ª Edição. Pearson Prentice Hall. São Paulo. 2005. 336p.

BRASIL, M. da S.; MATOS, A. T. de. Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial. **Eng. Sanitária Ambiental**., Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, Set. 2008 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-1522008000300012&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-1522008000300012&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 09 Ago. 2013.

BRASIL, M. da S.; MATOS, A. T. de; SOARES, ALVES A. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Typha* sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. **Eng. Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, set. 2007 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522007000300006&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522007000300006&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 22 ago. 2012

BRIX, H. **Wasterwater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance**. Constructed wetlands for water quality improvement. Lewis Publishers, Flórida. p. 9-22. 1993.

BROWN et al. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural**. Chelsea, Lewis Publishers, 1989. 831p.

CHERNICHARO, C. A. L.; Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. PROSAB – **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico**. Belo Horizonte. 2, 55-63. 544p. 2001.

COOPER, P.; A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems. **Water Science e Technology**, p.1-9. 1999.

COOPER, P. GRIFFIN, P, HUMPHRIES, S E POUND, A. **Design of a hybrid reed bed system to achieve complete nitrification and denitrification of domestic sewage**. Water Science and Technology. P283-289, 1999.

CUNHA, C. A. G.. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas**, 2006. 174f. São Paulo. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

DENNY, P.. Implementation of constructed wetlands in developing countries. **Water Science e Technology**, p.27-34. 1997.

DIAS, V. N., INÁCIO, M., PACHECO, P., LOPES, J., CORREIA, P. e SOUTINHO, E. (2000). Fitoetars: pressupostos teóricos de funcionamento e tipos. **Anais do 9º Encontro Nacional de Saneamento Básico**, Loures, Portugal, 587-607.

DUARTE, S.; **Estudo das Potencialidades das Zonas Húmidas Artificiais no Tratamento de Efluentes Aquícolas**, 2002. Monografia de final de Curso, Departamento de Engenharia Biológica e Química, Licenciatura em Engenharia do Ambiente, Portugal, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. 2002.

**EMBRAPA**-Rede de pesquisa busca reduzir importação brasileira de fertilizantes. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2010. Disponível em: < <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2010/junho/4a-semana/rede-de-pesquisa-busca-reduzir-importacao-brasileira-de-fertilizantes/>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

KOOTTATEP, T, POLPRASERT, C., OANH, N. T. K., HEINSS, U., MONTANGERO, A. E STRAUSS, M.. Potentials of vertical-flow constructed wetlands for septage treatment in

tropical regions. **Water e Sanitation in Developing Countries**. SANDEC. Publications of the Programme on Faecal Sludges Management. 2001.

LAUTENSCHLAGER, S. R. **Modelagem do desempenho de wetlands Construídas**. 2001. 90p. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. 2001.

LEE, T. M.; NAJIM, M.M.M.; ANIMUL, M.H. Estimating evapotranspiration of irrigated rice at the west coast of the Peninsular of Malaysia. **Journal of Applied Irrigation Science**, v.39, n.1, p.103-117, 2004.

MARTINS, D.M. de O. A et al. Viabilidade de tratamento terciário de esgotos sanitários através de alagados construídos. **3º Seminário Luso-Brasileiro**. Lins. 2012.

MASI, F. (2004). **Constructed wetland for wastewater treatment**. Disponível em: [http://www.iredra.it/cw/fitodep/fitodepu\\_eng.htm](http://www.iredra.it/cw/fitodep/fitodepu_eng.htm). Acesso em: 18 de Agosto, 2004.

**Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Nota técnica 001/2011, Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET. 2011.

OLIVEIRA, A. F.. **Avaliação de desempenho de fibras lignocelulósicas na sorção de óleos diesel e biodiesel**. 2010, Tese (Doutorado em Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP-Lageado. Departamento de Energia na Agricultura. Botucatu. 2010.

OLIVEIRA, E. L. et al.. Alagados construídos no tratamento de águas residuárias do jardim botânico municipal de Bauru-SP. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2005, Campo Grande.

PEREIRA, A.R.; et al.. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

SALATI, E. F, SALATI, E. Wetland projects development Brasil, **Water Science e Technology**, p.19-25. 1999.

SENTELHAS, P.C., ANGELOCCI, L.R. Notas de aula: **Meteorologia Agrícola**. Escola Superior de Agricultura – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. 2009.

SILVA, S. C. (2007). **“Wetlands Construídos” de Fluxo Vertical com Meio Suporte de Solo Natural Modificado no Tratamento de Esgotos Domésticos**. 2007. 231f. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF 2007.



SILVESTRE, A. e PEDRO-DE-JESUS, M.. **Tratamento de Águas Residuais Domésticas em Zonas Húmidas Artificiais**. 2002. Monografia de Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Biológica e Química.2002.

SYPERRECK, V. L.G. **Avaliação de desempenho de modelos para estimativas de evapotranspiração de referência para região de Palotina, Paraná**. 2006, Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Departamento de Agronomia. Marechal Cândido Rondon. 2006.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva**: fundamentos e aplicações sileiras. Nobel,São Paulo, SP, 1980, 374 p.

TCHOBANOGLIOUS, G. Metcalf & Eddy: **Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater**. Mc Graw-Hill. New York, 1981