

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DINÂMICA DA REMOÇÃO DE FÓSFORO EM LEITOS
CULTIVADOS COM *Typha sp.***

Tese de Doutorado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Agrícola, na Área de
Concentração Água e Solo.

ALINE REGINA PIEDADE

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Teixeira Filho

CAMPINAS
JULHO DE 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

P595d Piedade, Aline Regina
Dinâmica da remoção de fósforo em leitos cultivados
com Typha sp.. / Aline Regina Piedade. --Campinas, SP:
[s.n.], 2010.

Orientador: José Teixeira Filho.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Águas residuais - Purificação - Tratamento
biológico. 2. Esgotos - Tratamento. 3. Plantas
aquáticas. 4. Biorremediação. 5. Água - Controle de
qualidade. I. Teixeira Filho, José. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Dynamics of phosphorus removal in constructed wetlands
with Typha sp..

Palavras-chave em Inglês: Wastewater - Purification - Biological treatment,
Sewage - Treatment, Aquatic plants,
Phytoremediation, Water - Quality control

Área de concentração: Água e Solo

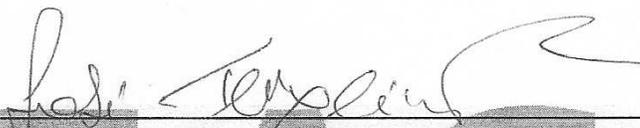
Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Andréa Bogatti Guimarães Tomazela, Plínio Barbosa de
Camargo, Bruno Couracci Filho, Denis Miguel Roston

Data da defesa: 30/07/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

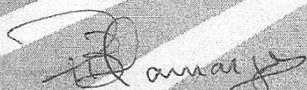
Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Aline Regina Piedade**, aprovada pela Comissão Julgadora em 30 de julho de 2010, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



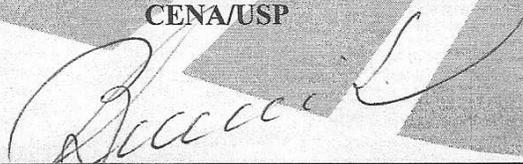
**Prof. Dr. José Teixeira Filho – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp**



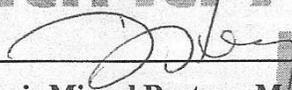
Prof.ª Dr.ª Andréa Bogatti Guimarães Tomazela - Membro Titular



**Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo - Membro Titular
CENA/USP**



**Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho - Membro Titular
FEC/Unicamp**



**Prof. Dr. Denis Miguel Roston - Membro Titular
Feagri/Unicamp**

Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.

Chico Xavier

Ao Professor Paulo Rodolfo Leopoldo (*in
memoriam*),

Grande Mestre e Amigo, com o qual pude aprender
muito no campo pessoal e profissional.

A minha eterna saudade e infinita gratidão.

DEDICO

Aos meus pais, Walkíria e José Antonio Piedade,
pelo amor incondicional e confiança depositada em
mim;

Ao meu noivo Marcio, pelo amor, companheirismo e
ensinamentos ao longo destes anos;

Aos meus irmãos Patrícia e Júnior, pela paciência e
carinho na convivência familiar.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Divina Providência, que em tempo integral, sempre me protegeu e iluminou.

À Nossa Senhora Desatadora dos Nós, pelo consolo e esperança a cada dia dessa jornada.

À Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Professor Dr. José Teixeira Filho pela orientação, amizade e principalmente pela paciência dedicada a mim.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Diretor da Faculdade de Engenharia Agrícola, Professor Dr. Denis Miguel Roston, pela amizade e ensinamentos transmitidos sobre a arte da docência na área do saneamento básico e como cidadão modelo na transmissão de valores éticos.

Ao Professor Dr. Zigomar Menezes de Souza, coordenador do curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola, e demais membros do Conselho de Curso, pela constante colaboração.

Aos docentes responsáveis pelas disciplinas do programa de pós-graduação, pelo empenho e capacidade, que me possibilitaram enriquecimento técnico e profissional.

Aos componentes da banca examinadora: Professora Dra. Andréa Bogatti Guimarães Tomazela, Professor Dr. Plínio Barbosa de Camargo e Professor Dr. Bruno Couracci Filho, pelas contribuições pertinentes na melhoria da redação da tese.

Ao meu noivo e maior incentivador pela busca do equilíbrio pessoal e profissional, Márcio, companheiro de todas as horas pelo amor, carinho, paciência, ensinamentos e força dispensados a mim desde o início.

As amigas super poderosas, Kelly Cristina Tonello e Rojane Magda Kletecke, pela convivência durante todos estes anos.

Aos amigos Tânia, Marcelo Colet, Vânia, Sônia, Ricardo, Luis Eduardo pelo companheirismo e palavras de apoio nos momentos difíceis.

Aos estagiários: Carina, Tiago, David e Gustavo pelo auxílio na coleta dos dados em campo e práticas no laboratório.

Aos funcionários da FEAGRI: Sérgio, Pequeno, Túlio, Domitilla, Gelson e Lucarelli que prontamente me ajudaram na realização dos trabalhos experimentais.

À Professora Dra. Helena Teixeira Godoy, Professor Dr. Marcelo Alexandre Prado e a todos os funcionários do Laboratório de Análise de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) pela oportunidade e ajuda nos trabalhos laboratoriais.

Ao Professor Dr. Inácio Maria Dal Fabbro e a Professora Dra. Maria Angela Fagnani, sempre pacientes, pelo acolhimento e paz transmitidos nessa jornada.

As companheiras de república: Mônica, Beatriz, Bianca, Rachel, Aline, Bruna, Thassiane, Alinerd, Paula, Jussara, Carla, Marina, Suzane, Laila e Ana Paula pela convivência e tolerância.

E a todos aqueles que, embora não citados, colaboraram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xviii
RESUMO.....	xxi
ABSTRACT	xxii
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2. HIPÓTESE.....	2
3. OBJETIVOS	3
3.1 Objetivos gerais	3
3.2 Objetivos específicos.....	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
4.1 Tecnologias para o tratamento de efluentes	4
4.2 Sistema de tratamento com leitos cultivados.....	4
4.2.1 Tipos de leitos cultivados	7
4.3 O elemento fósforo em leitos cultivados	10
4.3.1 Fósforo presente nas plantas.....	14
4.3.2 Fósforo presente na biomassa.....	15
4.3.3 A retirada e o armazenamento de fósforo pela biota em leitos cultivados	16
4.3.4 Sedimentação e Adsorção de fósforo	16
4.3.5 Retenção de fósforo em leitos cultivados	18
4.4 Escolha da macrófita <i>Typha sp.</i>	20
4.5 Evapotranspiração	23
5. MATERIAL E MÉTODOS	29
5.1 Caracterização da área experimental	29
5.2 Caracterização do efluente.....	29
5.3 PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico.....	31

5.4 Sistema de leitos cultivados.....	33
5.5 Monitoramento de variáveis do sistema de leitos cultivados	34
5.5.1 Quantidade de água	35
5.5.2 Qualidade de água	35
5.5.3 Fisiologia da vegetação	36
5.5.4 Variáveis meteorológicas	37
5.6 Avaliações da eficiência de retenção e eficiência de remoção	38
5.7 Período de monitoramento e Período estendido	39
6. RESULTADOS	43
6.1 Avaliações horárias.....	43
6.1.1 Quantidade de água	43
6.1.2 Qualidade de água	58
6.2 Avaliações diárias.....	90
6.2.1 Quantidade de água	91
6.2.2 Qualidade de água	108
6.3 Balanço do período monitorado	131
6.3.1 Quantidade de água	131
6.3.2 Qualidade de água	138
6.4 Balanço do período estendido	145
6.4.1 Quantidade de água	146
6.4.2 Qualidade de água	148
7. DISCUSSÃO	152
7.1 Metodologias similares.....	152
7.2 Quantidade de água	153
7.3 Qualidade de água	154
8. CONCLUSÕES.....	159
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	160

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Configuração típica de um leito cultivado de fluxo superficial. Modificado de Kadlec & Knight (1996).	8
Figura 2. Configuração típica de um leito cultivado de fluxo subsuperficial. Modificado de Kadlec & Knight (1996).	9
Figura 3. Configuração típica de um <i>wetland</i> natural. Modificado de Kadlec & Knight (1996).	10
Figura 4. Esquema simplificado dos processos que envolvem o fósforo nos leitos cultivados (Kadlec & Knight, 1996).	11
Figura 5. Distribuição das espécies de fósforo na água a 25°C. (Freeze & Cherry, 1979).	13
Figura 6. Ciclo do fósforo na biomassa em <i>wetlands</i> (Kadlec & Knight, 1996).	15
Figura 7. Ilustração microscópica de um solo de <i>wetland</i> . (Kadlec & Knight, 1996).	16
Figura 8. Inflorescência da <i>Typha sp.</i>	22
Figura 9. Fluxograma do tratamento dos efluentes gerado na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP e financiado pelo PROSAB.	32
Figura 10. Seqüência percorrida pelo efluente produzido na FEAGRI até a chegada nos leitos cultivados. (a) Efluente bruto; (b) Passagem do efluente pelos RACs; (c) Armazenamento e distribuição do efluente nos reservatórios; (d) Detalhe do dispositivo de entrada do afluente nos leitos cultivados; (e) Detalhe do dispositivo de saída e retirada de amostra do efluente; e (f) Leito cultivado com <i>Typha sp.</i> (FEAGRI/UNICAMP, 2006).	33
Figura 11. Formato e pontos de monitoramento dos leitos cultivados implantados no Campo Experimental da FEAGRI.	34
Figura 12. <i>Typha sp.</i> após receber poda drástica em sua parte aérea.	41
Figura 13. Valor horário medido de Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	45
Figura 14. Gráficos “Box Plot” da Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II:	

	19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	47
Figura 15.	Valor horário medido de Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	49
Figura 16.	Gráficos “Box Plot” de Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	51
Figura 17.	Valor horário medido de Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	52
Figura 18.	Gráficos “Box Plot” de Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	55
Figura 19.	Valor horário de concentração de PT_{eh} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.....	60
Figura 20.	Gráficos “Box Plot” de PT_{eh} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e;	

	Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	61
Figura 21.	Valor horário de concentração de PT_{eh} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	63
Figura 22.	Gráficos “Box Plot” de PT_{eh} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	64
Figura 23.	Valor horário de concentração de PT_{eh} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	66
Figura 24.	Gráficos “Box Plot” de PT_{eh} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	68
Figura 25.	Valor horário de carga de KT_{eh} , KT_{sh} e ΔKT_h de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e); 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	72
Figura 26.	Gráficos “Box Plot” de KT_{eh} e KT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e); 03/10/2007 (f) e;	

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DINÂMICA DA REMOÇÃO DE FÓSFORO EM LEITOS
CULTIVADOS COM *Typha sp.***

ALINE REGINA PIEDADE

CAMPINAS
JULHO DE 2010

	Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	74
Figura 27.	Valor horário de carga de KT_{eh} , KT_{sh} e ΔKT_h de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.....	76
Figura 28.	Gráficos “Box Plot” de KT_{eh} e KT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e); 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	77
Figura 29.	Valor horário de carga de KT_{eh} , KT_{sh} e ΔKT_h de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a.) e 03/02/2006 (b.); Período II: 19/09/2006 (c.) e 20/09/2006 (d.); Período III: 02/10/2007 (e.) e 03/10/2007 (f.) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.....	79
Figura 30.	Gráficos “Box Plot” de KT_{eh} e KT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e); 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	81
Figura 31.	Valor horário da eficiência de retenção de fósforo de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.....	85
Figura 32.	Valor horário da eficiência de retenção de fósforo de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e	

	03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.....	87
Figura 33.	Valor horário da eficiência de retenção de fósforo de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.....	88
Figura 34.	Valor médio diário de V_{ed} e V_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	93
Figura 35.	Valor médio diário de V_{ed} e V_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	97
Figura 36.	Valor médio diário de V_{ed} e V_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	100
Figura 37.	Valor médio do TDH nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	104
Figura 38.	Valor médio do volume evaporado nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	107
Figura 39.	Valor médio de PT_{ed} e PT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	110

- Figura 40. Valor médio de PT_{ed} e PT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). 112
- Figura 41. Valor médio de PT_{ed} e PT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). 114
- Figura 42. Valor médio do ΔPT_d nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). 116
- Figura 43. Valor médio de KT_{ed} e KT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). 119
- Figura 44. Valor médio de KT_{ed} e KT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). 121
- Figura 45. Valor médio de KT_{ed} e KT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). 123
- Figura 46. Valor médio de ΔKT_d nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). 125
- Figura 47. Valor médio da eficiência de retenção de fósforo nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP,

	2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	129
Figura 48.	Valor médio diário de V_{epm} e V_{spm} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2), nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	132
Figura 49.	Valor total do período monitorado de V_{epm} e V_{spm} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	134
Figura 50.	Volume médio diário da evaporação/evapotranspiração nos quatro períodos monitorados. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.....	136
Figura 51.	Volume total evaporado/evapotranspirado nos quatro períodos monitorados. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	137
Figura 52.	Valor médio do TDH nos quatro períodos monitorados. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.....	138
Figura 53.	Valor médio diário de PT_{epm} e PT_{spm} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	139
Figura 54.	Valor médio diário de KT_{epm} e KT_{spm} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09	

	a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	141
Figura 55.	Valor total de KT_{epm} e KT_{spm} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	143
Figura 56.	Eficiência de retenção de fósforo dos leitos cultivados nos períodos monitorados. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	145
Figura 57.	Valor total do período estendido de V_{epe} e V_{spe} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01/02 a 02/06/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (03/07 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	147
Figura 58.	Volume total evaporado/evapotranspirado no período estendido. Período I (01/02 a 02/06/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (03/07 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.	148
Figura 59.	Valor total do período estendido de KT_{epe} e KT_{spe} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01/02 a 02/06/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (03/07 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	149
Figura 60.	Eficiência de remoção de fósforo dos leitos cultivados com <i>Typha sp.</i> no período estendido. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01/02 a 02/06/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (03/07 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	150
Figura 61.	Relação da massa de matéria fresca com (a) eficiência de remoção e (b) retenção de fósforo. FEAGRI/UNICAMP (01/02/2006 a 04/12/2007).....	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Alguns tipos de precipitados encontrados em <i>wetlands</i> (Reddy & D'angelo, 1994).	13
Tabela 2. Porcentagem de fósforo nos tecidos de plantas usadas em <i>wetlands</i> (Kadlec & Knight, 1996).	14
Tabela 3. Concentração de fósforo (mg l^{-1}) em quatro profundidades em <i>wetland</i> . Modificado de Reddy et al. (1991).	18
Tabela 4 Principais plantas utilizadas em sistemas-piloto de leitos cultivados no campo experimental da FEAGRI/UNICAMP (1998-2010).	21
Tabela 5. Caracterização do efluente bruto da FEAGRI/UNICAMP, com amostragens realizadas entre os meses de março e maio de 2005, segundo Zanella (2008).	30
Tabela 6. Resultados médios horários de Q_{eh} , Q_{sh} , $\Delta Q_h \pm$ desvio padrão, para todos os valores medidos nos períodos I, II, III e IV no leito Brita. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	56
Tabela 7. Resultados médios da vazão horária de entrada (Q_{eh}), vazão horária de saída (Q_{sh}) e balanço entre Q_{eh} e Q_{sh} (ΔQ_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	56
Tabela 8. Resultados médios da vazão horária de entrada (Q_{eh}), vazão horária de saída (Q_{sh}) e balanço entre Q_{eh} e Q_{sh} (ΔQ_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	57
Tabela 9. Valores médios e desvio padrão de Radiação Solar, Temperatura do Ar e Déficit de Pressão de Vapor Saturado (DPVS) da Estação Meteorológica do Centro Integrado de Informações Agrometeorologias (CIIAGRO/APTA/IAC): Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).	58

Tabela 10. Resultados médios de concentração horária de fósforo total de entrada (PT_{eh}), fósforo total de saída (PT_{sh}) e balanço entre PT_{eh} e PT_{sh} (ΔPT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	69
Tabela 11. Resultados médios de concentração horária de fósforo total de entrada (PT_{eh}), fósforo total de saída (PT_{sh}), e balanço entre PT_{eh} e PT_{sh} (ΔPT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	69
Tabela 12. Resultados médios de concentração horária de fósforo total de entrada (PT_{eh}), fósforo total de saída (PT_{sh}), e balanço entre PT_{eh} e PT_{sh} (ΔPT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	70
Tabela 13. Resultados médios de carga horária de fósforo de entrada (KT_{eh}), fósforo de saída (KT_{sh}) e balanço entre KT_{eh} e KT_{sh} (ΔKT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	82
Tabela 14. Resultados médios de carga horária de fósforo de entrada (KT_{eh}), fósforo de saída (KT_{sh}) e balanço entre KT_{eh} e KT_{sh} (ΔKT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	83
Tabela 15. Resultados médios de carga horária de fósforo de entrada (KT_{eh}), fósforo de saída (KT_{sh}) e balanço entre KT_{eh} e KT_{sh} (ΔKT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	83

Tabela 16. Resultados médios da eficiência de retenção de fósforo \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados nos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	90
Tabela 17. Resultados médios diários de V_{ed} , V_{sd} e $\Delta V_d \pm$ desvio padrão, para todos os valores medidos nos períodos I, II, III e IV no leito Brita. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	94
Tabela 18. Resultados médios diários de V_{ed} , V_{sd} e $\Delta V_d \pm$ desvio padrão, para todos os valores medidos nos períodos I, II, III e IV no leito Typha 1. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	98
Tabela 19. Resultados médios diários de V_{ed} , V_{sd} e $\Delta V_d \pm$ desvio padrão, para todos os valores medidos nos períodos I, II, III e IV no leito Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	101
Tabela 20. Resultados médios de evaporação/evapotranspiração \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados nos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).....	108

RESUMO

O uso de leitos cultivados é uma alternativa no tratamento de águas residuárias, pois atuam na depuração de efluentes. Um aspecto importante deste tema está associado à complexidade ecossistêmica dos leitos. Com base neste enfoque, objetivou-se neste trabalho avaliar a dinâmica da retenção/remoção de fósforo em três sistemas de fluxo subsuperficial, com leitos cultivados por *Typha sp.* sob suporte de brita, o qual atuou no pós-tratamento de efluentes de esgoto doméstico de Reatores Anaeróbios Compartimentados (RAC). Para a determinação de critérios de projetos, houve o monitoramento da quantidade de água (vazão, volume, TDH e evaporação/evapotranspiração), da qualidade de água (concentração, carga e eficiência de retenção/remoção de fósforo), bem como dos levantamentos fisiológicos da vegetação e meteorológicos do local. Os leitos cultivados com a macrófita *Typha sp.* (leito Typha 1 e leito Typha 2) apresentaram eficiências de retenção de fósforo superiores ao leito no qual continha apenas brita (leito Brita). Em relação aos leitos cultivados com a macrófita, as vazões médias de entrada/saída foram de 55,4 e 51,2 l h⁻¹, respectivamente, com taxa de evapotranspiração média de 8,9 mm. O TDH médio foi de 1,99 dias. As concentrações médias de fósforo de entrada/saída foram de 4,0 e 3,3 mg l⁻¹, respectivamente. A carga média de fósforo de entrada foi de 226,3 mg h⁻¹ e a carga média de saída foi de 175,6 mg h⁻¹. A eficiência média de retenção de fósforo total foi de 22,4% e a eficiência média de remoção pela *Typha sp.* foi de 10,6%. Quanto ao desenvolvimento da vegetação, foram obtidas médias de 407 plantas e altura de 173,2 cm, sendo que cada planta tinha, em média, 11 folhas e área foliar de, aproximadamente, 0,27 m². A vegetação apresentou massa de matéria fresca de 35,8 kg e massa de matéria seca de 6,4 kg, totalizando 17,8% de matéria seca. A concentração média de fósforo total na parte aérea das plantas foi de 2,5 g kg⁻¹, que representou uma quantidade de 16,2 g de fósforo. Em relação às variáveis meteorológicas, notou-se grande influência do Déficit de Pressão de Vapor Saturado (DPVS) na demanda de evapotranspiração das plantas. Conclui-se que os sistemas de leitos cultivados com *Typha sp.* têm potencialidade de aplicação para tratamento de efluentes de esgoto doméstico.

Palavras - chave: *wetlands* construídos; pós-tratamento de efluentes; monitoramento da água; esgoto doméstico.

ABSTRACT

Constructed wetlands are important alternatives for polluted water treatment because they carry the secondary treatment of effluents in the purification process. The characteristic ecosystem complexity of the wetlands is an important issue in this subject matter. Based on that consideration, the objective of this research work was established in evaluating phosphorus retention in three subsurface flow systems in constructed wetlands, using gravel medium (substrate) cultivated with macrophyte *Typha sp.*, which acts as post-treatment domestic effluents of anaerobic baffled reactor (ABR). In order to establish criteria for projects, wetlands monitoring included flow recording, transpiration, water quantity (flow, evaporation/evapotranspiration and TDH), water quality (concentration, load and phosphorous retention efficiency) as well as surveys of physiological vegetation and meteorological site. Results indicated the constructed wetlands with the macrophyta *Typha sp.* (Typha be 1 and Typha 2) presented higher phosphorous retention efficiency if compared with gravel bed. Results also showed an average water input flow of 55.4 l h^{-1} and an output water flow of 51.2 l h^{-1} yielding a balance of 4.2 l h^{-1} which represents an average evapotranspiration rate of 8.9 mm. Average TDH was noted to be of 1.99 days. Inlet water showed an average phosphorous concentration of 4.0 mg l^{-1} meanwhile the outlet water presented of 3.3 mg l^{-1} holding a difference of 0.7 mg l^{-1} . Average phosphorous concentration of inlet water was recorded as 226.3 mg h^{-1} meanwhile the average phosphorous concentration at the outlet water was of 175.6 mg h^{-1} , holding a difference of 50.8 mg h^{-1} . Average phosphorous total retention efficiency was of 22.4% and of 10.6% of retention by *Typha sp.* Vegetation development indicated an average value of 173.2 cm measured in 407 individuals, observing that an average number of 11 leaves for each plant and a foliar area close to 0.27 m^2 . Total vegetation presented 35.8 kg of fresh mass and 6.4 kg of dry mass, representing 17.8% of dry matter. Average phosphorous total concentration in the aerial part was of 2.5 g kg^{-1} corresponding to a total value of 16.2 g. Among the meteorological variables associated to the physiological vegetative development, the variable named DPVS was noted to exhibit major influence on the plant evapotranspiration demand. It can be concluded that constructed wetlands with *Typha sp.* showed potential application in the wastewater treatment of domestic sewage.

Key words: constructed wetlands; post-treatment effluent; water monitoring; sewage domestic.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A crescente preocupação com os efeitos adversos da poluição de muitas fontes receptoras de água e com a recuperação de águas residuárias levou à utilização, no atual tratamento de águas servidas, de diversas técnicas que pretendem satisfazer as rigorosas normas para efluentes e assegurar a sustentabilidade dos recursos hídricos (Kimwaga et al., 2004).

Uma série de estudos sobre a melhoria da qualidade dos efluentes tem sido realizada para satisfazer as exigências de reutilização ou disposição em corpos receptores, direcionados tanto para sistemas de grande porte e de maior complexidade, quanto de pequeno porte, de baixo custo e simplicidade operacional, tais como tanques sépticos, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, disposição nos solos e leitos cultivados (Steinman et al., 2004; Kimwaga et al., 2004; Mazzola et al., 2005; Loures et al., 2006).

Os leitos cultivados foram concebidos por empregar processos ecológicos encontrados em áreas úmidas de ecossistemas naturais. Estes sistemas utilizam plantas, solos e microorganismos para remover contaminantes das águas residuárias e são eficazes no tratamento de efluentes domésticos, industriais, urbanos, agrícolas, escoamento superficiais relacionados com a produção animal, entre outros. Tal como acontece com outras tecnologias de tratamento biológico natural, os sistemas de tratamento de leitos cultivados são capazes de fornecer benefícios adicionais. Eles são geralmente sistemas viáveis por não precisar de fontes de energia e por utilizar o mínimo de requisitos operacionais. O tratamento das águas residuárias utilizando esta tecnologia também fornece uma oportunidade para criar ou rearmazenar as zonas úmidas de valorização ambiental, tais como habitats naturais, *greenbelts* e recreação passiva, associadas a tanques (Kadlec et al., 2000).

Embora existam atualmente milhares de leitos cultivados no mundo, a utilização destes sistemas é uma tecnologia relativamente nova na maioria dos países tropicais, tais como Brasil e Tanzânia, e esta utilização possui menos de duas décadas de idade (Kimwaga et al., 2004). No Brasil, segundo Mazzola (2003), faltam estudos que visem à exploração de todo o seu potencial. O uso de leitos cultivados como tecnologia a ser utilizada em países tropicais é importante, pois países como Brasil apresentam condições meteorológicas ideais ao longo do ano, favorecendo a atividade microbiana, que é vital para o desempenho dos sistemas.

A importância do pós-tratamento reside no fato que, no efluente bruto, além da grande quantidade de matéria orgânica presente, há quantidades substanciais de fósforo que não são retidas com eficácia no tratamento primário. Para a remoção de nutrientes, principalmente de fósforo, recomenda-se, por exemplo, o uso de leitos cultivados.

O fósforo está presente no efluente sanitário nas formas orgânica, inorgânica complexa (polifosfatos), como aquelas utilizadas em detergentes, e ortofosfato inorgânico solúvel, este como produto final no ciclo do fósforo e a forma mais prontamente disponível para uso biológico. Durante o processo de tratamento biológico, os compostos orgânicos são degradados, podendo disponibilizar ortofosfatos solúveis e polifosfatos que, quando hidrolisados, podem ser convertidos em ortofosfatos. Em um efluente orgânico bem estabilizado submetido a tratamento secundário, o ortofosfato é a forma predominante do fósforo, que pode ser removido por processos de precipitação química ou absorvida por plantas e microrganismos, como ocorre com o uso de leitos cultivados.

Vale notar que o meio suporte, o regime hidrológico e a vegetação escolhida são uns dos principais fatores que afetam o desempenho dos sistemas leitos cultivados. A interação destes é que determina o rendimento do sistema quanto à retenção dos nutrientes.

Diante do exposto, neste estudo objetivou-se avaliar o rendimento dos sistemas de leitos cultivados com *Typha sp.* para a retenção de fósforo e verificar a qualidade da água presente em quatro avaliações temporais distintas: avaliação horária, avaliação diária, balanço do período monitorado, bem como do período estendido.

2. HIPÓTESE

A eficiência da remoção de fósforo em sistemas de leitos cultivados é inferior a eficiência de retenção.

O manejo dos sistemas de leitos cultivados influencia na eficiência de retenção e remoção de fósforo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar a dinâmica da retenção/remoção de fósforo em leitos cultivados com *Typha sp.* no pós-tratamento de efluente de esgoto doméstico de Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) em clima tropical a fim de confirmar a potencialidade de retenção de nutrientes como alternativa tecnológica para tratamento descentralizado de esgoto doméstico.

3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- monitorar aspectos quantitativos e qualitativos da água;
- monitorar o desenvolvimento fisiológico e o manejo da macrófita *Typha sp.* em leitos cultivados e avaliar o aspecto geral do sistema;
- relacionar os elementos meteorológicos dos períodos monitorados com a retenção do nutriente fósforo pelo sistema de leitos cultivados;
- realizar mudança de escala temporal para as variáveis de quantidade e qualidade da água nas escalas: escala horária, escala diária, escala do período monitorado, escala do período estendido.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Tecnologias para o tratamento de efluentes

As opções para tratamento de efluentes ou recuperação de águas servidas de origem doméstica, agrícola ou industrial envolvem inúmeras alternativas, que podem ser complexas e onerosas, ou simples e de baixo custo (Gasi, 1988; Metcalf & Eddy, 1991). Os métodos convencionais mais aplicados ao controle da carga poluidora de efluentes são lodos ativados, lagoas de estabilização (Berthet, 1982; Kawai et al., 1990; Shimada et al., 1987), filtros (Matsumoto, 1987; Paterniani, 1991), reatores anaeróbios (Benincasa et al., 1986; Toledo, 1996; Vieira, 1984), disposição sobre o solo (Braile, 1979; Paganini, 1997; Breda, 2003), e ainda leitos cultivados (Leopoldo et al., 1996; Valentim, 2003).

Na Alemanha e nos Estados Unidos, por volta de 1955, surgiram os primeiros resultados decorrentes do uso de plantas aquáticas vasculares na depuração de águas servidas de origem doméstica e industrial (Blake, 1982). Blake observou que plantas do gênero *Spiricus*, *Typha* e *Phalaris* apresentam propriedades depuradoras úteis no controle da carga poluidora de águas residuárias.

Conte et al. (1992) obtiveram estudos promissores através do monitoramento de um sistema de tratamento de efluentes domésticos utilizando Taboas, Junco e Lírio do Brejo. Foi relatada a eficiência das plantas aquáticas na retenção de espécies químicas dissolvidas (N e K) e na redução das taxas de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), de demanda química de oxigênio (DQO) e de material sólido em suspensão. Observações similares foram relatadas por Zirschky (1986), Reuter et al. (1992), Roston (1993) e Valentim (2003), ressaltando o uso de macrófitas como interessante alternativa no controle da carga poluidora de massas de água.

4.2 Sistema de tratamento com leitos cultivados

O conceito de leitos cultivados é também encontrado em outras publicações científicas com os nomes *wetlands* construídos (Costa et al., 2003; Valetim, 2003), áreas alagadas construídas (Nogueira, 2003; Brasil, 2007), *reed bed* e zonas úmidas artificiais (Galvão,

2009). Porém, nesse trabalho, usa-se o termo *leitos cultivados* com o intuito de padronizar a terminologia.

A utilização de leitos cultivados como tecnologia de tratamento de águas residuárias tem sua origem na Europa nos anos 60, com seu uso para redução de materiais orgânicos em efluentes de origem industrial (Seidel, 1976). Nos Estados Unidos, as experiências começaram em 1975, com projetos em Houghton Lake (MI), Florida e Wisconsin (Kadlec & Hammer, 1985; Kadlec & Knight, 1996).

Segundo Metcalfy & Eddy (2002), os leitos cultivados foram introduzidos de maneira artificial pelo homem, mas, por tratarem as águas residuárias baseadas em processos físicos, químicos e biológicos como nos ecossistemas das várzeas naturais, são denominados sistemas naturais. Em linhas gerais, leitos cultivados constituem um tipo de ecossistema que passa significativa parte, ou todo o tempo, coberto por água a pouca profundidade (Mitsch & Gosselink, 1993).

Os leitos cultivados têm sido empregados no tratamento de águas residuárias de origem doméstica, industrial e agrícola, e do *runoff* urbano e rural. Do ponto de vista da remoção de poluentes, Kadlec & Knight (1996) relatam que esse sistema apresenta capacidade de remoção de poluentes como: DBO, organismos patogênicos, metais pesados e compostos orgânicos tóxicos.

Tal sistema pode ser edificado acima ou abaixo da superfície do solo existente, porém, se for abaixo, envolve a necessidade de movimentação de terra (Kadlec & Knight, 1996). Ele deve ser projetado e operado de maneira a existir uma quantidade adequada de água que permita o estabelecimento da vegetação. Porém, se a vazão de entrada for limitada ou se esta for variável no tempo, um leito cultivado pode chegar ao ponto de tornar-se seco, impossibilitando a fixação da vegetação.

Quando é necessário proteger a qualidade da água do lençol freático, são adicionadas camadas impermeáveis de solo ou de membranas geossintéticas. Tais camadas de solo são freqüentemente constituídas de bentonita ou emprega-se uma manta sintética de cloreto de polivinila (PVC) ou de polietileno de alta densidade (PAD) (Kadlec & Knight, 1996).

Um componente para a formação do meio filtrante do leito cultivado é constituído por plantas que apresentem propriedades de enraizamento adequadas. O meio suporte tem que permitir amplas raízes para a estabilidade estrutural e nutricional das plantas. A maioria das

plantas dos leitos cultivados geralmente apresenta um crescimento lento ou morre quando colocada em meio suporte inadequado, como solos densos ou solos contendo pedras grandes e angulosas (Kadlec & Knight, 1996). Tal fato foi observado em pesquisa realizada por Zanella (2008), na qual se notou a dificuldade de algumas espécies se estabelecerem em um meio suporte de bambus cortados em anéis, quando em comparação com um meio suporte de brita.

Porém a eficiência de remoção de poluentes pode ser afetada pelas seguintes variáveis: tipo de meio suporte, elementos meteorológicos, hidrologia, hidrodinâmica, flora, fauna e regra de operação e manejo do sistema. Apresentam-se a seguir os principais fatores que afetam o desempenho de leitos cultivados, conforme relatado por Lautenschlager (2001):

a) Elementos meteorológicos

- Temperatura – afeta taxas de reações físico-químicas e bioquímicas, re-aeração, volatilização e evapotranspiração;
- Radiação Solar – afeta a taxa de crescimento da vegetação devido à fotossíntese, que depende, por sua vez, do número de horas de insolação por dia;
- Déficit de Pressão de Vapor Saturado (DPVS) – afeta a evapotranspiração;
- Precipitação – afeta o balanço hídrico e a concentração;
- Vento – afeta a taxa de evapotranspiração e a troca gasosa entre a atmosfera e o sistema.

b) Meio Filtrante

Parte da capacidade de degradação de poluentes do sistema ocorre por meio de processos que envolvem as interações entre o meio filtrante e o poluente. O meio filtrante de leitos cultivados provém de uma superfície de contato adicional para o crescimento do biofilme, aumentando seu potencial de degradação dos contaminantes, o que pode significar necessidade de menores áreas para sua implantação (Kinsley et al., 2002).

c) Fatores Biológicos

As plantas desempenham papel de primeira importância na melhoria da qualidade da água, absorvendo vários poluentes, ou então os adsorvendo em suas raízes de grande superfície específica e caules submersos. Assim, a seleção e o manejo da vegetação devem ser cuidadosamente analisados para que sejam obtidas remoções satisfatórias dos poluentes.

Também se deve analisar a possibilidade de ocorrência do efeito de cargas tóxicas à biota local, para que esta não deixe de cumprir a função projetada. Adicionalmente, microrganismos decompositores atuam sobre a matéria orgânica biodegradável, consumindo a DBO disponível.

d) Características das águas residuárias afluentes

A vazão das águas residuárias que flui através de um leito cultivado é uma das principais variáveis para o dimensionamento geométrico e a escolha das variáveis que definem a capacidade de remoção de poluentes. A vazão apresenta, em geral, variações diárias e sazonais, devendo o leito cultivado estarem preparado para lidar com estas mudanças.

O conhecimento das concentrações dos contaminantes na água a ser tratada é um fator de importância para que se elabore um projeto e se realize um manejo adequado do leito cultivado. Com relação à qualidade dos efluentes dos leitos cultivados, deve-se também verificar a possibilidade de estes estarem contaminados por organismos patogênicos.

4.2.1 Tipos de leitos cultivados

Os leitos cultivados podem ser classificados de diversas formas: acerca do tipo de planta, se são naturais ou construídos, ou de acordo com seus objetivos (Lautenschlager, 2001).

Kadlec & Knight (1996) propõem uma classificação e descrevem três alternativas de leitos cultivados: (a) leitos cultivados de fluxo superficial; (b) leitos cultivados de fluxo subsuperficial e; (c) *wetlands* naturais. Existem inúmeras variações de projetos para cada uma das alternativas. Além destas três alternativas, pode-se ainda combiná-las entre si ou com outras tecnologias naturais e criar sistemas híbridos que satisfaçam necessidades específicas (Valentim, 2003; Hussar, 2001). Salienta-se, porém, que cada alternativa apresenta vantagens e desvantagens para as diferentes aplicações.

a) Leitos cultivados de fluxo superficial

Esses leitos cultivados procuram reproduzir o comportamento de *wetlands* naturais, principalmente aqueles que apresentam fluxos superficiais rasos. A Figura 1 mostra as quatro

partes principais de leitos cultivados deste tipo, as quais podem apresentar configurações distintas. São elas: (1) dispositivo de entrada do afluente; (2) diques; (3) vegetação e (4) dispositivo de saída do efluente.

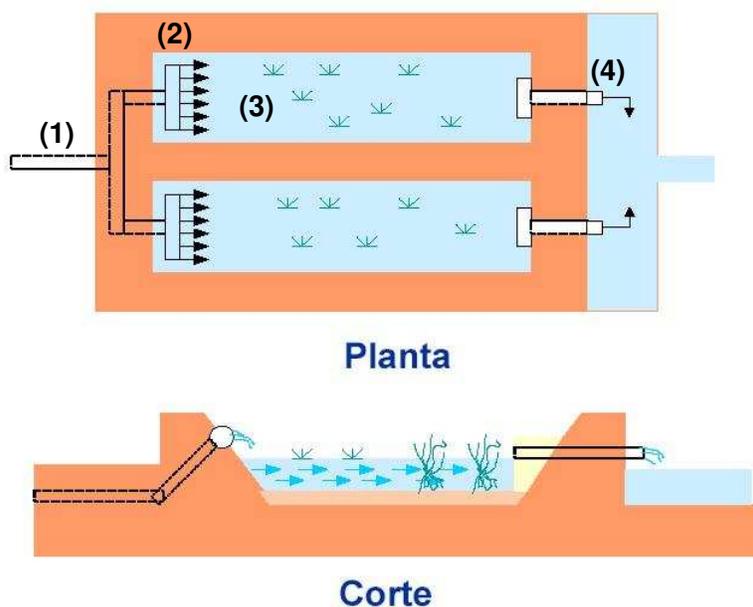


Figura 1. Configuração típica de um leito cultivado de fluxo superficial. Modificado de Kadlec & Knight (1996).

A vegetação utilizada é a principal responsável pela reciclagem de sais minerais e também funciona para remover substâncias contendo metais pesados e compostos orgânicos tóxicos.

Os dispositivos de saída em leitos cultivados de fluxo superficial coletam a água superficial e a dirigem para jusante. Tais dispositivos são também utilizados para controlar o fluxo do efluente.

b) Leitos cultivados de fluxo subsuperficial

Tais sistemas tratam as águas residuárias passando-as através de meios porosos contendo raízes de plantas, por meio de fluxos horizontais ou verticais. Os componentes principais de um leito cultivado de fluxo subsuperficial são apresentados na Figura 2, sendo eles: (1) sistema de entrada do afluente; (2) dique; (3) meio suporte; (4) sistema de controle de saída do efluente.

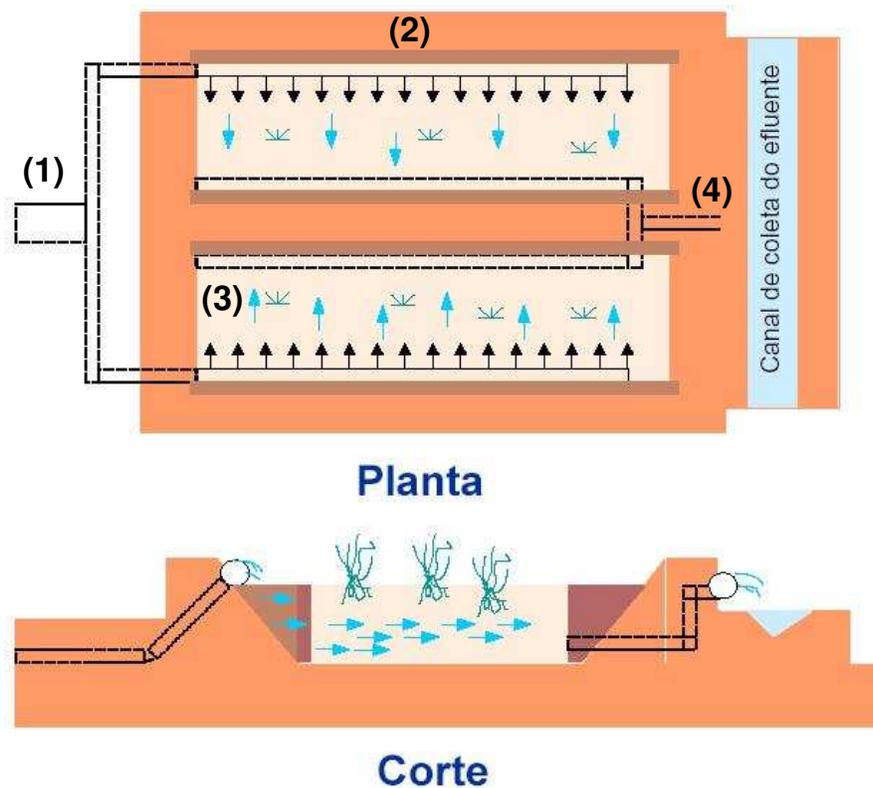


Figura 2. Configuração típica de um leito cultivado de fluxo subsuperficial. Modificado de Kadlec & Knight (1996).

O sistema de entrada e a configuração do dique em leitos cultivados de fluxo subsuperficial apresentam objetivos análogos aos de leitos cultivados de fluxo superficial, porém são projetados de um modo diferente, pois a operação deste tipo deve manter todo o fluxo subsuperficial, ou sua maior parte, através do meio poroso.

c) Wetlands naturais

Segundo Lautenschlager (2001), os projetos que envolvem sistemas de *wetlands* naturais necessitam de menores detalhes do que os sistemas de leitos cultivados descritos acima. Em *wetlands* naturais somente o efluente a ser tratado é um dado de projeto, as outras variáveis são pré-fixadas.

Do ponto de vista qualitativo, em *wetlands* naturais (Figura 3) são inclusos os mesmos componentes dos leitos cultivados, que são: (1) sistema de entrada do afluente; (2) área submersa do *wetland*; (3) vegetação natural; (4) meio poroso e; (5) sistema de saída do

efluente. Podem ser incluídas estruturas de saída em *wetlands* naturais, porém na maioria dos casos é viável a configuração do fluxo natural de saída (Kadlec & Knight, 1996).

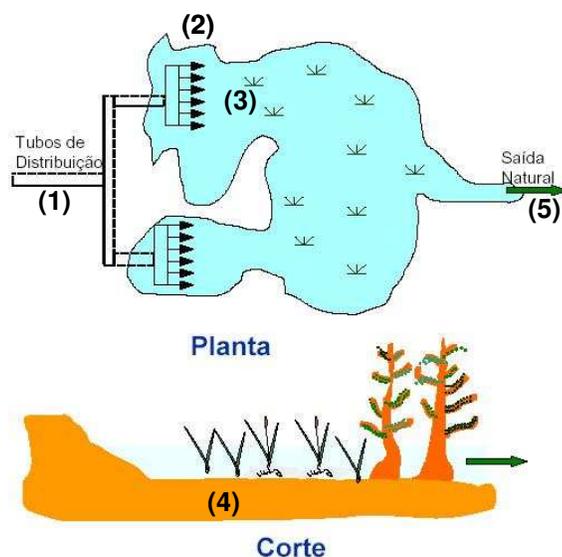


Figura 3. Configuração típica de um *wetland* natural. Modificado de Kadlec & Knight (1996).

Observa-se que essa técnica possui bons resultados na depuração de efluentes, porém, em vários países, esta última opção não é permitida, devido ao impacto ambiental causado no meio.

Lautenschlager (2001) nota que, apesar das inúmeras diferenças entre os três sistemas apresentados, o custo de construção pode ser considerado uma relevante semelhança. Isso porque ele está relacionado de forma direta à vazão afluente e a carga projetada de remoção. Ele destaca ainda que: “Os projetos dos sistemas construídos devem ser suficientes para alcançar as metas de tratamento, porém para isto os projetos devem ser mais seguros com relação à remoção de poluentes, o que pode aumentar substancialmente o custo de construção, pois as áreas do tratamento devem tornar-se maiores” (Lautenschlager, 2001).

4.3 O elemento fósforo em leitos cultivados

O fósforo é um nutriente necessário para o crescimento das plantas, de forma que a introdução deste elemento em água receptora pode acarretar efeitos no ecossistema aquático. Uma necessidade do ecossistema é que seja mantida a proporção entre os nutrientes carbono,

nitrogênio e fósforo, sendo esta frequentemente representada por 106C:16N:1P. Geralmente os efluentes não possuem esta relação e, portanto a adição de efluentes em ambientes aquáticos pode causar um desequilíbrio de nutrientes no ecossistema receptor. Frequentemente, verifica-se que há fósforo em excesso nos efluentes (Kadlec & Knight, 1996).

O fósforo é utilizado em leitos cultivados num ciclo biogeoquímico complexo. Um esquema dos processos que ocorrem com o fósforo em leitos cultivados é apresentado na Figura 4.

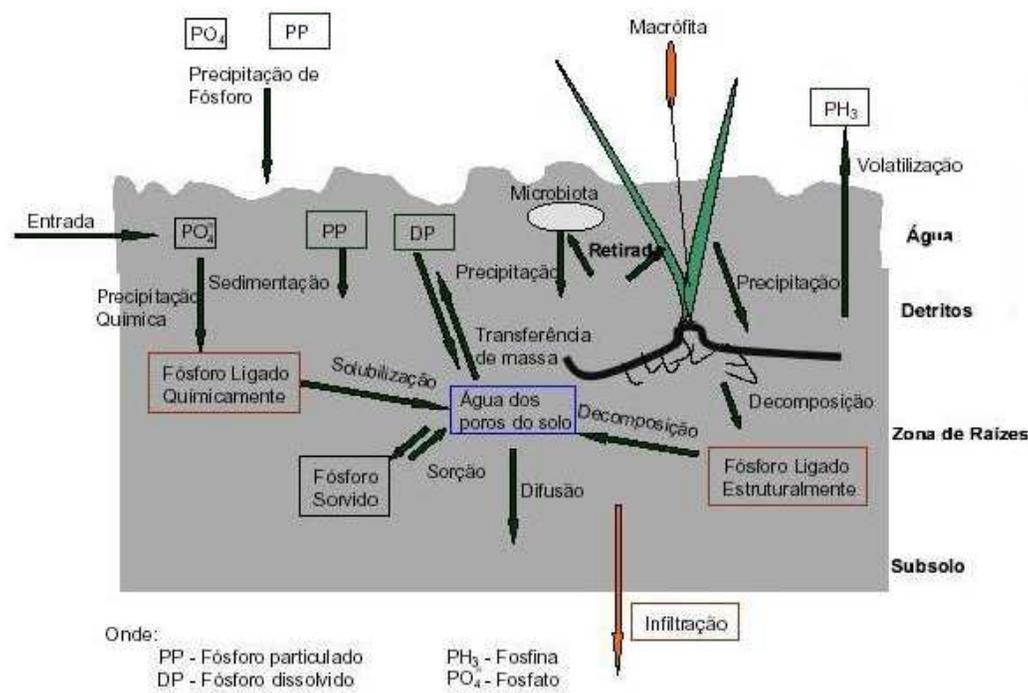


Figura 4. Esquema simplificado dos processos que envolvem o fósforo nos leitos cultivados (Kadlec & Knight, 1996).

Segundo Valentim (2003), as formas potenciais de remoção de fósforo em sistemas naturais incluem o consumo pelas plantas, outros processos biológicos, adsorção e precipitação.

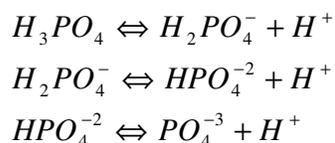
A retirada pelas plantas pode ser significativa em sistemas de baixa taxa e fluxo superficial, quando a colheita da vegetação é praticada rotineiramente. Nestes casos a colheita pode representar de 20 a 30% da remoção de fósforo, porém a vegetação usada nos leitos cultivados não é considerada um fator significante na remoção de fósforo pois, se não for realizada a colheita, o fósforo retorna para o sistema aquático devido ao decaimento natural da

vegetação. A remoção de fósforo por aguapés e outras plantas aquáticas fica limitado às necessidades das plantas, não excedendo 50-70% do fósforo presente no afluente (Reed et al., 1995).

As reações de adsorção e precipitação são as maiores formas de remoção do fósforo dos efluentes quando este tem oportunidade de contato com um volume significativo de solo ou sedimentos. As reações no solo envolvem certos elementos como a argila, os óxidos de ferro e alumínio, os componentes de cálcio presentes e o pH do solo. Solos de textura muito fina, bem como os de alto teor de argila, tendem a ter um alto potencial de adsorção, mas aumentam o tempo hidráulico de residência. A brita e a areia, que possuem textura grosseira, têm baixa capacidade de adsorção do fósforo, e os solos hidromórficos, que são ácidos e orgânicos, têm um elevado potencial de adsorção devido à presença de ferro e alumínio (Reed et al., 1995).

As principais formas de fósforo em leitos cultivados são: fósforo dissolvido, fósforo mineral sólido e fósforo orgânico sólido.

As formas inorgânicas estão relacionadas ao pH da solução (Figura 5) e a sua dissociação é representada pela equação abaixo.



Em que:

H_3PO_4 – Ácido fosfórico,

$H_2PO_4^-$ – Dihidrogênio de fosfato,

HPO_4^{-2} – Monohidrogênio de fosfato e

PO_4^{-3} – Fosfato.

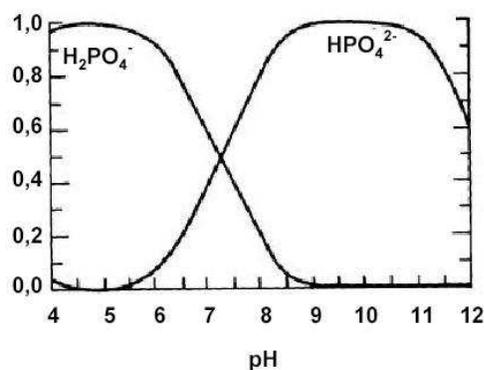


Figura 5. Distribuição das espécies de fósforo na água a 25°C. (Freeze & Cherry, 1979).

De acordo com Reddy & D'angelo (1994), uma variedade de cátions podem precipitar fosfato sobre certas condições e alguns precipitados encontrados em leitos cultivados seguem conforme Tabela 1.

Tabela 1. Alguns tipos de precipitados encontrados em *wetlands* (Reddy & D'angelo, 1994).

Apatita	$\text{Ca}_5(\text{ClF})(\text{PO}_4)_3$
Hidroxilapatita	$\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$
Variscite	$\text{Al}(\text{PO}_4)2\text{H}_2\text{O}$
Strengite	$\text{Fe}(\text{PO}_4)2\text{H}_2\text{O}$
Vivianite	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)8\text{H}_2\text{O}$
Wavellit	$\text{Al}_3(\text{OH})_3(\text{PO}_4)_25\text{H}_2\text{O}$

O fósforo precipitado pode co-precipitar com outros minerais como o hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) e o carbonato de cálcio (CaCO_3). Em solos de *wetlands* a co-precipitação de fósforo pode ocorrer de duas maneiras, conforme relatado por Reddy & D'angelo (1994):

- em solos ácidos o fósforo pode ser fixado através de alumínio e ferro, quando estes estão disponíveis;
- em solos alcalinos o fósforo pode ser fixado por cálcio e magnésio, quando estes estão disponíveis.

Uma forma gasosa do fósforo é a fosfina (PH₃), que foi encontrada em leitos cultivados (Gassman & Gllindemann, 1993). As emissões de fosfina em leitos cultivados com *Phragmites sp.*, na Hungria, foram da ordem de 1,7 g m⁻² ano⁻¹ (Dévai et al., 1988).

4.3.1 Fósforo presente nas plantas

A Tabela 2 apresenta a porcentagem de fósforo em várias espécies de plantas. Esta porcentagem é a relação entre a massa de fósforo total e a massa das folhas secas. Os valores da porcentagem para folhas vivas foram de 0,04% a 0,41% com média de 0,18% e desvio padrão de 0,11%.

Tabela 2. Porcentagem de fósforo nos tecidos de plantas usadas em *wetlands* (Kadlec & Knight, 1996).

Planta	Estado trófico de Água na <i>wetland</i>	Folha Viva (%)	Folha Morta (%)	Detrito (%)	Referência
<i>Cladium jamaicense</i>	Oligotrófico	0,04	0,02	0,02	Davis (1990)
<i>C. jamaicense</i>	Eutrófico	0,08	0,04	0,12	Davis (1990)
<i>Typha domingensis</i>	Oligotrófico	0,14	0,05	0,02	Toth (1990), Davis (1990)
<i>T. domingensis</i>	Eutrófico	0,20	0,07	0,16	Toth (1990), Davis (1990)
<i>Eleocharis sp.</i>	Oligotrófico	0,18	0,08		Walker et al. (1988)
<i>Eleocharis sp.</i>	Eutrófico	0,26	0,14		Walker et al. (1988)
<i>Panicum spp.</i>	Oligotrófico	0,13	0,07		Walker et al. (1988)
<i>Panicum spp.</i>	Eutrófico	0,16			Walker et al. (1988)
<i>Sagittaria sp.</i>	Oligotrófico	0,40			Walker et al. (1988)
<i>Sagittaria sp.</i>	Eutrófico	0,41	0,10		Walker et al. (1988)
<i>Utricularia spp.</i>	Oligotrófico	0,11	0,20		Walker et al. (1988)
<i>Utricularia spp.</i>	Eutrófico	0,16			Walker et al. (1988)
<i>Salix spp.</i>	Oligotrófico	0,12		0,10	Chamie (1976)
<i>Betula pumila</i>	Eutrófico	0,12		0,08	Chamie (1976)

Pela Tabela 2 verifica-se que quando o estado trófico de um *wetland* é modificado de oligotrófico para eutrófico, ocorre um aumento da porcentagem de fósforo nas plantas.

Verifica-se também que as folhas mortas possuem uma porcentagem de fósforo menor do que a observada nas folhas vivas.

4.3.2 Fósforo presente na biomassa

A quantidade de fósforo efetivamente removida por um leito cultivado é geralmente menor do que a quantidade de fósforo retirado pelas plantas durante o seu crescimento (Kadlec & Knight, 1996). Um sistema de leitos cultivados sofre um ciclo de crescimento, morte e decomposição conforme é ilustrado na Figura 6. Kadlec & Hammer (1985) observaram que a biomassa total foi relativamente constante durante as estações do ano.

Estudo realizado por Mitsch & Gosselink (1993) para macrófitas em *wetlands*, localizados no norte dos Estados Unidos, apresentaram que as macrófitas eram substituídas de uma a duas vezes ao ano. Já Kadlec & Knight (1996) relataram a substituição da vegetação de três a seis vezes ao ano em regiões quentes como a Flórida.

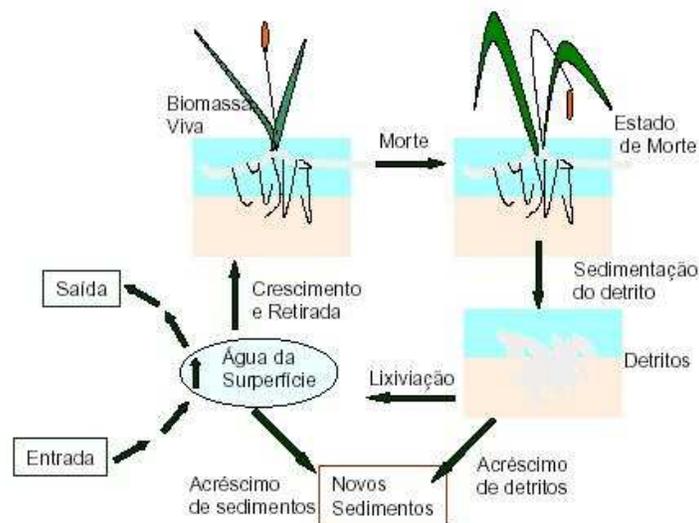


Figura 6. Ciclo do fósforo na biomassa em *wetlands* (Kadlec & Knight, 1996).

4.3.3 A retirada e o armazenamento de fósforo pela biota em leitos cultivados

Os organismos que habitam os leitos cultivados usam o fósforo para o crescimento, incorporando o mesmo nos seus tecidos. A retirada pelos microorganismos (bactérias, fungos, algas e micro-invertebrados) é rápida porque estes organismos crescem e se multiplicam em altas taxas.

Como o fósforo é um nutriente, a adição deste elemento em leitos cultivados estimula o crescimento das plantas causando acréscimo de biomassa e detritos (Richardson & Marshall, 1986).

4.3.4 Sedimentação e Adsorção de fósforo

Sedimentação e adsorção são processos importantes para a remoção de fósforo em leitos cultivados. Os solos de leitos cultivados têm capacidade de adsorver o fósforo, porém esta capacidade possui um limite de saturação e, caso este limite seja ultrapassado, os leitos cultivados se tornam incapazes de retê-lo por adsorção. Geralmente os leitos cultivados de fluxo superficial possuem uma capacidade de adsorção menor do que os leitos cultivados de fluxo subsuperficial. Na Figura 7 observa-se uma seção de solo de um leito cultivado, constituído de partículas de solo e água nos espaços vazios (Kadlec & Knight, 1996).

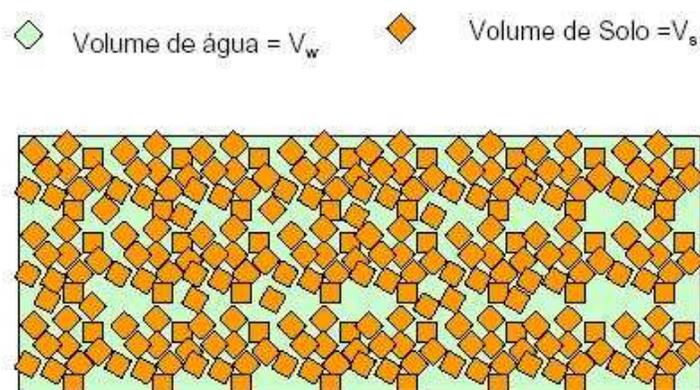


Figura 7. Ilustração microscópica de um solo de *wetland*. (Kadlec & Knight, 1996).

A armazenagem do fósforo no solo ocorre na água existente nos poros do solo, dentro da parte sólida e sobre a superfície da parte sólida. Usando as seguintes equações se pode definir o conteúdo total de fósforo no solo:

$$\begin{aligned}V_T &= V_W + V_S \\M_S &= V_T \rho_b \\P &= C_W \cdot V_W + (C_S + C_{IS}) M_S\end{aligned}$$

Em que:

V_T - Volume total do solo (L^3),

V_W - Volume da água dos poros do solo (L^3),

V_S - Volume das partículas sólidas do solo (L^3),

ρ_b - Densidade aparente do solo ($M L^{-3}$),

M_S - Massa de sólidos (M),

C_W - Concentração de fósforo na água dos poros do solo ($M L^{-3}$),

C_S - Concentração de fósforo sorvido nas partículas sólidas do solo (adimensional),

C_{IS} - Concentração de fósforo dentro das partículas sólidas do solo (adimensional) e

P - Massa total de fósforo no solo (M).

O fósforo presente na água dos poros do solo pode ser encontrado como: fósforo solúvel reativo, fósforo orgânico dissolvido, fósforo dissolvido total e fósforo como ortofosfato (Kadlec & Knight, 1996).

As concentrações de fósforo encontradas em profundidade de solo em *wetlands* naturais são apresentadas na Tabela 3, na qual se verifica que ocorre uma redução acentuada após a camada dos 0,30 m, já que esta profundidade corresponde à zona de raízes das macrófitas. A Tabela 3 apresenta a decomposição ocorrida durante um tempo estudado de 25 anos (Reddy et al., 1991).

Tabela 3. Concentração de fósforo (mg l^{-1}) em quatro profundidades em *wetland*. Modificado de Reddy et al. (1991).

Compartimento do solo	Tipo de Composto	Altura (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-36,5
Água dos poros (I)	P reativo solúvel	0,62	0,24	0,07	0,00
	P inorgânico solúvel	0,82	0,29	0,20	0,01
Superfície das partículas sólidas (II)	P orgânico solúvel	0,63	0,13	0,08	0,10
	Total de P sorvido	1,45	0,42	0,28	0,11
	Fe + Al	9,97	1,87	1,23	0,36
Dentro das partículas sólidas (III)	Ca	15,02	2,36	0,63	0,18
	Total inorgânico	24,99	4,39	1,96	0,61
	Fúlvico/Húmico	16,96	5,63	3,87	1,64
Dentro das partículas sólidas (IV)	P orgânico residual	30,79	11,26	6,66	3,81
	Total de P orgânico	47,75	16,89	10,54	5,45
Dentro das partículas sólidas	Total (III + IV)	72,94	21,28	12,50	6,06
Total (I + II + III + IV)		74,81	21,94	12,85	6,17

4.3.5 Retenção de fósforo em leitos cultivados

Ceballos et al. (2000), com o objetivo de avaliar o desempenho de um sistema de leitos cultivados com *Typha sp.* na melhoria da qualidade microbiológica das águas de um córrego poluído tendo em vista a viabilização de seu uso na irrigação, verificaram que o sistema teve reduções significativas de fósforo (71,4%). Nessa mesma pesquisa se constatou que a eficiência dos leitos cultivados apresentou significativos aumentos ao longo do tempo, indicando estreita relação entre a evolução da retenção dos parâmetros estudados e a evolução da formação do biofilme junto ao crescimento da rizosfera. Observou-se também que a influência da vegetação foi evidente em relação às retenções menores no tanque controle.

Brasil et al. (2003) avaliaram um sistema de tratamento de leitos cultivados com *Typha sp.*, constatando que o sistema possui grande eficiência na redução da matéria orgânica e de nutriente presentes na água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro.

Urbanc-Bercic & Bulc (1995) pesquisaram durante seis meses o desempenho de dois leitos cultivados como pós-tratamento de efluentes de um tanque séptico na Eslovênia. A

vegetação utilizada foi a *Phragmites australis* e os autores observaram uma remoção de fósforo de 97,1 %. Essa taxa de remoção de fósforo é substancialmente superior às encontradas em outras pesquisas.

Souza & Bernardes (1996) trataram o esgoto doméstico de uma comunidade próxima a Brasília/DF por uma combinação de reator anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo (UASB) com pós-tratamento em três leitos cultivados, vegetados com *Typha latifolia*. A remoção de fósforo foi de 40,0 %.

Avaliando durante seis meses de funcionamento o desempenho de quatro leitos cultivados, sendo dois cultivados com *Typha dominguensis* Pers. x *Typha latifolia*, um cultivado com *Eleocharis fistulosa* e o último sendo o controle (sem cultivo) no pós-tratamento de efluentes provenientes de uma lagoa de estabilização, Mansor (1998) obteve melhores resultados para a remoção de fósforo nos leitos cultivados com *Typha dominguensis* Pers. x *Typha latifolia*, cujo valor foi igual a 86,4 %.

Philippi et al. (1998) avaliaram um sistema composto por um tanque séptico associado a um leito cultivado com *Zizanopsis bonariensis* para o tratamento de águas residuárias de origem doméstica e agroindustrial. Obtiveram uma remoção média de fósforo de 13,0 %.

Souza et al. (2000) avaliaram o desempenho de quatro leitos cultivados com *Juncus sp.* no pós-tratamento de efluente de um reator UASB. A avaliação durou 43 semanas, divididas em três fases. Em relação à remoção de fósforo total, foi observada diminuição das taxas ao longo do tempo tanto no leito cultivado controle (Fase 1 = 53 %, Fase 2 = 50 %, Fase 3 = 36 %) quanto nos leitos cultivados com *Juncus sp.* (Fase 1 = 88 a 100 %, Fase 2 = 100 %, Fase 3 = 74 a 88 %). Segundo os autores esse decaimento se deve à saturação do meio suporte com precipitado de compostos de fósforo. Verifica-se que, à medida que aumentava o tempo de operação do sistema, diminuía a remoção de fósforo.

Campos et al. (2002) avaliaram sistemas de leitos cultivados com *Typha sp.* e uma gramínea da própria região da pesquisa, no tratamento de chorume de aterro sanitário. Os autores observaram que para o fósforo total as plantas favorecem a redução deste elemento, sendo os resultados, no leito cultivado apenas com *Typha sp.*, de aproximadamente 95,0%; no leito cultivado com *Typha sp.* e a gramínea, de aproximadamente 88,0%; no leito cultivado apenas com a gramínea, aproximadamente 80,0% e no leito controle (somente solo), aproximadamente 42,0%.

Sezerino et al. (2002) avaliaram o potencial de quatro leitos cultivados no pós-tratamento de efluente de lagoa de estabilização que tratava dejetos de suínos. O sistema utilizou como meio suporte areia fina (areia 1) e areia média (areia 2). Em relação à redução de fósforo, obteve-se 84,0% para o leito com areia 1 e 57,0% para o leito com areia 2.

Sousa et al. (2002) avaliaram durante 36 meses três sistemas de leitos cultivados, sendo dois cultivados com *Juncus sp.* e o último sendo o controle, todos utilizados no pós-tratamento de efluente do reator UASB. O meio suporte utilizado foi areia lavada. Durante o primeiro ano de operação, nos dois sistemas vegetados, a eficiência variou entre 82,0 e 90,0%, caindo para 22-34,0% no 2º ano e 13-26,0% no 3º ano. Os autores concluíram que nas condições do experimento a redução de fósforo em leitos cultivados contendo areia lavada como meio suporte diminuiu à medida que aumenta o tempo de operação.

Mazzola (2003) avaliou o desempenho de um RAC seguido por três unidades de leitos cultivados (dois cultivados por macrófitas e um sendo o controle) no tratamento das águas residuárias. Nos leitos cultivados com *Typha sp.* foram observados os maiores índices de remoção de fósforo (30,0 %).

Lautenschlager (2001), após fazer uma revisão bibliográfica relativa à eficiência de leitos cultivados na remoção de nitrogênio total e fósforo total e sobre diferentes modelos matemáticos para a simulação desta remoção, propôs um modelo matemático próprio para a simulação da eficiência de remoção de nutrientes em leitos cultivados. Observou que estes dados apresentavam comportamento bastante complexo, sendo que, por vezes, a eficiência de remoção medida apresentava valores negativos, o que demonstra a liberação destes nutrientes por alguma descarga do leito.

Observou-se nesse subitem apenas os resultados obtidos por diversos autores em relação aos leitos cultivados e à retenção de fósforo, porém é importante salientar que essas pesquisas possuíam outros parâmetros avaliados que deixaram de ser citados aqui, pois não pertencem aos objetivos da presente pesquisa.

4.4 Escolha da macrófita *Typha sp.*

Existem diversas plantas que são recomendadas para o sistema de leitos cultivados, porém alguns especialistas afirmam que ainda não existe um critério geral para a escolha da

planta apropriada para esses sistemas, sendo aconselhável observar as espécies presentes nas proximidades da região onde será instalado o sistema de leitos cultivados. Também é aconselhável a montagem de um sistema piloto com algumas dessas variedades de plantas, seja em monocultivo ou em policultivo. Com o monitoramento do desempenho do sistema piloto se determina qual a melhor macrófita utilizada no tratamento das águas residuárias.

Davis (1995) alerta que essas plantas devem possuir características próprias que as tornem tolerantes às condições de alagamento contínuo, conjugado com altas concentrações de nutrientes presentes nas águas residuárias.

No campo experimental da FEAGRI/UNICAMP, local dos sistemas de leitos cultivados utilizados neste experimento, diversos tipos de plantas foram estudados a fim de avaliar a potencialidade de cada macrófita no desempenho do tratamento secundário de efluentes. Na Tabela 4, apresentam-se as principais macrófitas cultivadas no campo experimental da FEAGRI/UNICAMP e seus respectivos autores.

Tabela 4 Principais plantas utilizadas em sistemas-piloto de leitos cultivados no campo experimental da FEAGRI/UNICAMP (1998-2010).

Planta		Autores
Nome científico	Nome popular	
<i>Canna x generalis</i>	Biri	Zanella (2008)
<i>Cyperus isocladius</i>	Mini papiro	Zanella (2008)
<i>Cyperus papyrus</i>	Papiro	Zanella (2008)
<i>Eichornia crassipes</i>	Aguapé	Pereira et al. (2006)
<i>Eleocharis sp.</i>	Junco manso	Valentim (1999 e 2003); Mazzola (2003)
<i>Oryza sativa</i>	Arroz	Oliveira (2006)
<i>Scirpus sp.</i>	Navalha de mico	Valentim (2003)
<i>Typha sp.</i>	Taboa	Oliveira (2006); Valentim (1999 e 2003); Mazzola (2003); Piedade & Teixeira Filho. (2007)
<i>Vallisneria gigantea</i>	Valisnéria gigante	Martins et al. (2006)
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Copo de leite	Zanella (2008)

Dentre os vários tipos de plantas indicados para os leitos cultivados, a *Typha sp.* foi a escolhida nesta pesquisa para o monitoramento da dinâmica de retenção de fósforo presente no efluente. Essa escolha se justifica por esta ser bem adaptada e abundante na região de

Campinas/SP. Aliado a estes argumentos, destaca-se a experiência de outros autores da FEAGRI/UNICAMP, já que estes serviram para o embasamento teórico e científico dos resultados obtidos desta pesquisa.

Typhaceae é uma família de plantas pertencentes à ordem Poales (Lohmueller, 2006). Esta família contém apenas o gênero *Typha*, que é de distribuição cosmopolita, sendo encontrado em ambos os hemisférios nas regiões temperadas e tropicais. (Joly, 1979; Lorenzi, 1982).

São plantas perenes e de habitat úmido, seu caule contém uma porção rizomatosa rastejante e outra parte que é ereta e que suporta as folhas, sendo estas sésseis (fixadas diretamente à parte principal-rizoma), lineares, e quase todas se inserem próximas da base e possuem nervação paralela. As flores são de sexos separados e reunidos em densas inflorescências cilíndricas muito características, sendo as masculinas acima e as femininas abaixo (Figura 8). Possui fruto minúsculo e seco, sementes com endosperma farináceo e altura variando de 2 a 3 metros.

O sistema de classificação de Cronquist, de 1881, também reconhecia esta família, colocando-a na ordem *Typhales*, na subclasse *Commelinidae*, classe *Liliopsida*, divisão *Magnoliophyta*. O sistema de classificação de Wettstein, de 1935, colocava esta família na ordem *Pandanales*, família *Thyphaceae*, apresentando folhas lineares e não tendo caule lenhoso (Joly, 1979).

Algumas espécies são: *Typha angustifolia*, *Typha dominguensis*, *Typha latifolia*, *Typha laxmannii*, *Typha mínima* e *Typha shuttleworthii*.

Segundo Lorenzi (1982), a macrófita do gênero *Typha sp.*, possui várias denominações regionais popularmente conhecidas como taboa, tabua, partasana, paineira-de-flecha, paineira-do-brejo, espadana, landim, capim-de-esteira, pau-de-lagoa, tabebuia e erva-de-esteira.



Figura 8. Inflorescência da *Typha sp.*

A *Typha sp.* é uma planta daninha aquática muito freqüente nas margens de lagoas ou represas, canais de drenagem e baixadas pantanosas em geral. É bastante agressiva chegando a produzir 7.000 kg de rizomas por hectare, possuindo um teor de proteínas igual ao do milho e de carboidratos igual ao da batata, além de propriedades medicinais (adstringente, diurético e emoliente) (Lorenzi, 1982).

Bernard (1998) destaca a taboa (*Typha sp.*) como própria para utilização em leitões cultivados por sua estrutura interna ser formada por tecidos que contém espaços abertos denominados *aerenchyma* que, nas folhas e nas raízes, são maiores enquanto que, nos rizomas, possuem aparência esponjosa. Esses espaços abertos são importantes, pois permitem o transporte do oxigênio da atmosfera para as folhas e daí para as raízes e rizomas. Parte do oxigênio pode ainda sair do sistema radicular para a área em torno da rizosfera criando condições de oxidação para os sedimentos, para decomposição aeróbia da matéria orgânica, bem como para crescimento de bactérias nitrificantes.

Suas folhas e as hastes são usadas para a fabricação de pasta de papel, devido à grande porcentagem de celulose. Das folhas se pode fazer artesanato como esteiras, chapéus, cestas e sandálias. De seu fruto se aproveita a paina de seda para encher travesseiros, almofadas e acolchoados e a própria flor como ornamento (Peckolt, 1942; Lorenzi, 1982).

A *Typha sp.* é uma planta que possui elevados índices de saturação luminosa e suporta altas temperaturas. Caso estes índices sejam superados, estas plantas produzem altas taxas de transpiração com grandes perdas de água pelos seus estômatos para que a sua temperatura interna se re-equilibre, cessando momentaneamente a fotossíntese (Guntenspergen et al., 1988).

4.5 Evapotranspiração

De toda a água absorvida pelo sistema radicular apenas uma pequena fração fica retida na planta. A maior parte é evaporada pela parte aérea para o ar circundante. Verificou-se que, numa planta de milho, cerca de 98,0 % da água absorvida é evaporada, 1,8 % é retida e apenas 0,2 % são utilizada na fotossíntese (Costa, 2004).

A água penetra o solo, sendo absorvida pelas plantas por meio das raízes, percorrendo-as até atingir as folhas, onde ocorre a transferência para a atmosfera na forma de vapor. É em função da existência de um potencial hídrico e de uma condutividade hidráulica entre o solo e as folhas que esse fenômeno acontece. A água é transportada pelo vegetal por uma rede formada de vasos condutores, que são o floema e o xilema. O floema distribui, a partir das folhas, uma solução concentrada e rica em substâncias nutritivas. O xilema assegura o transporte para as folhas da solução proveniente do sistema radicular. A transpiração vegetal permite que as células foliares recebam os elementos e as substâncias dissolvidas na água procedentes do solo. O motor responsável pela circulação da água nos vegetais é a energia solar e que, para poderem captar mais e melhor a radiação solar, dividiram a sua parte aérea em um número muito elevado de lâminas, as folhas.

A evaporação das plantas é chamada de transpiração, sendo este o mecanismo principal de transferência de água para a atmosfera, quando o solo está coberto por vegetação. Quando o solo está parcialmente descoberto, entretanto, a evaporação ocorre tanto através das plantas como na superfície do solo que se encontra descoberta. Como é difícil separar os dois processos, eles são tratados, em geral, em conjunto como se fossem um só fenômeno e sob a denominação de evapotranspiração (Berlato & Molion, 1981).

A evapotranspiração é influenciada por diversos fatores, que são: clima, espécie vegetal, idade da planta, solo etc., e, por esta razão, trata-se de um processo mais difícil de ser completamente elucidado. Para uma dada espécie, a transpiração depende da chamada resistência superficial, que é o produto da resistência estomática pelo índice de área foliar (IAF) (Roberts et al., 1982). A resistência superficial, por sua vez, varia ao longo do dia e de dia para dia (Stewart, 1981 e Whitehead et al., 1981). A transpiração nas plantas pode ser cuticular, lenticular e estomática (Costa, 2004). A primeira é uma interface líquido-vapor, na qual ocorre a evaporação, as outras duas são uma via estrutural para o movimento do vapor que existe entre um espaço já preenchido com vapor de água e a atmosfera. Dessa forma, procura-se estudar a transpiração estomática que consiste na saída de vapor de água da planta (80,0 a 90,0 % da perda de água total de um vegetal), através dos estômatos situados na epiderme de uma folha ou caule verde e representa um dos processos de maior importância na interação entre a planta e o ambiente. Assim, quando se considera a transpiração como um

todo, o componente estomático é largamente dominante. Então se passa a tratar a transpiração como se fosse apenas estomática (Costa, 2004).

Todas as superfícies de um vegetal, em contato direto ou indireto com a atmosfera, estão sujeitas a perder maior ou menor quantidade de água por transpiração. Caules, flores, frutos transpiram, mas a perda maior de água por transpiração se dá por meio das folhas. O grau de abertura dos estômatos é variável nas diferentes horas do dia e vai determinar as variações de perdas de água pelo vegetal ao longo do dia. A transpiração é um processo que ocorre, essencialmente, em duas fases: a evaporação da água para os espaços intercelulares e, posteriormente, a difusão da água para a atmosfera. A passagem da água do vegetal para a atmosfera é realizada pelos estômatos, as suas aberturas irão depender do grau de saturação hídrica das células estomáticas, podendo haver grande restrição da transpiração quando o déficit de água na planta for muito grande. Ao mesmo tempo em que as plantas necessitam abrir os estômatos para absorver CO_2 e assim realizar a fotossíntese, também necessitam fechá-los para evitar a perda de água. A solução encontrada foi à regulação temporal da abertura estomática. À noite quando não há fotossíntese e, portanto não há demanda por CO_2 dentro da folha, a abertura estomática fica pequena. Nas manhãs ensolaradas e com suprimento de água abundante e ainda quando a radiação solar incidente na folha favorece altas taxas de fotossíntese, a demanda por CO_2 dentro da folha é alta e por isso o poro estomático permanece amplamente aberto.

A transpiração tem uma importância fisiológica indiscutível, de modo que apresenta alguns efeitos benéficos para a planta dentre os quais se destacam: o transporte de nutrientes minerais, a turgidez ótima e o arrefecimento das folhas. Os nutrientes minerais que são absorvidos pelas raízes se movem pela parte aérea no fluxo transpiracional. Embora também haja movimento de sais minerais em plantas que não transpiram, não há dúvidas que o fluxo transpiracional permite que a absorção de sais minerais a partir do solo se processe a uma taxa mais elevada. Para a turgidez ótima, verificou-se experimentalmente que as plantas num ambiente de 100,0 % de umidade relativa não crescem tão bem como em situações em que existe certa transpiração. Pensa-se que existe uma turgidez ótima acima e abaixo, na qual as funções celulares das plantas são menos eficientes. Se as plantas não podem transpirar, as células se tornam demasiadas túrgidas e não crescem à mesma medida que o fazem quando existe certa carência hídrica (Costa, 2004). O efeito resfriante, que pode ser definido como a

passagem do estado líquido para o gasoso em que há perda de energia na forma de calor (calor latente de vaporização), poderia ser benéfico para o vegetal. No entanto, no período em que o vegetal necessita mais desse mecanismo (nas horas mais quentes do dia) ocorre um fechamento estomático ocasionando o cessar da transpiração. Isso acontece porque a absorção de água do solo pelas raízes não possui a mesma intensidade da transpiração pelas folhas, provocando um déficit hídrico.

As folhas das plantas são a fábrica na qual água, CO₂ e os nutrientes são convertidos em carboidratos na presença de luz solar. Segundo Humbert (1968) são três as funções principais atribuídas às folhas: produção de carboidratos (fotossíntese); síntese de outros compostos a partir de carboidratos e transpiração.

A perda de água por evaporação vegetal ocorre através dos estômatos (Morison, 1987; Jones, 1992), os quais permitem a difusão do CO₂ para os tecidos foliares, assim como limitam a perda de vapor de água para a atmosfera. A regularização das trocas de vapor de água e de CO₂ representa a função central dos estômatos (Zimmermann, 1983). Os estômatos são controlados por mecanismos complexos que condicionam o fechamento ou a abertura estomática em resposta aos fatores fisiológicos e ambientais (Sharkey & Ogawa, 1987; Schulze, 1994), dos quais se destacam: radiação solar, déficit de pressão de vapor saturado, temperatura do ar e disponibilidades hídricas no solo (Farquhar & Wong, 1978; Jarvis & Morison, 1981; Farquhar & Cowan, 1987; Jones, 1992).

Todos os fatores exógenos e endógenos que afetam a transpiração estão sujeitos a alterações durante o dia, originando uma periodicidade diurna na taxa a que este processo ocorre. Para a maior parte das plantas, durante a noite, a taxa de transpiração é geralmente baixa, perto de zero, aumentando depois do nascer do sol até atingir o máximo ao meio-dia. Ao entardecer a transpiração diminui e à noite atinge valores mínimos.

As medições da transpiração total de um determinado povoamento florestal, nas condições de campo, para um dado período, mostraram resultados surpreendentemente semelhantes entre diferentes espécies de um mesmo gênero e mesmo entre gêneros diferentes. Roberts (1983) citou resultados de vários trabalhos realizados em plantações de coníferas e de folhosas na Europa, cujos totais anuais de transpiração são semelhantes. Na Austrália, uma comparação entre florestas naturais de eucalipto e plantações de *Pinus radiata* também mostrou resultados similares de evaporação total (Smith et al., 1974). Em Piracicaba,

estimativas da evapotranspiração em povoamentos de *Pinus caribaea* e de *Eucalyptus saligna* de mesma idade também foram idênticas (Lima & Freire, 1976, Lima & Reichardt, 1977).

Alguns pesquisadores, como Grantz & Meizer (1989), têm sugerido que a transpiração sob condições de campo pode ser estimada como o produto da condutância estomática, determinada com um porômetro e com a diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar.

Hsiao (1973) verificou uma diminuição da transpiração devido ao estresse hídrico. A taxa de transpiração de folhas de plantas mantidas em condições naturais é determinada, principalmente, por duas variáveis físicas, radiação e déficit de saturação, e por uma variável fisiológica, condutância estomática. Entretanto, o fechamento dos estômatos é, geralmente, o mecanismo dominante na diminuição da taxa de transpiração em plantas mesófitas, durante o desenvolvimento do estresse hídrico, sendo que os estômatos não respondem a mudanças no potencial hídrico foliar até que um valor crítico de potencial seja alcançado. Johnson et al. (1974) postularam que a taxa de transpiração de plantas de trigo e cevada crescendo no campo foi igual a zero quando o potencial hídrico foliar atingiu -2,8 MPa. Hansen (1974) estudou a influência dos estresses hídricos e a demanda de transpiração sobre o teor relativo de água, resistência ao fluxo hídrico no solo e na planta e transpiração em *Lolium multiflorum*. O autor concluiu que a resistência do solo é muito pequena quando comparada à resistência da planta, sendo que esta última varia com a transpiração e é dependente das taxas de fluxo e decrescente com o aumento do potencial hídrico foliar. O estudo em questão mostrou, também, uma relação não linear entre o potencial no sistema e a taxa de transpiração. A resistência estomática aumentou rapidamente em potenciais hídricos foliares menores do que -1,1 MPa, tendo sido observada uma correlação linear positiva entre condutância estomática e taxa relativa de transpiração (relação entre taxa real e taxa máxima de transpiração).

Trabalhos direcionados para culturas tropicais se ampliaram a partir da década de 80 (Nogueira & Silva Jr., 2001). Foram analisadas, sob condições de laboratório, as trocas gasosas em laranjeiras “Valência”, enxertadas sobre duas espécies de porta-enxerto e submetidas à variação de umidade de água no substrato de crescimento, por meio de medidas diárias de: taxa de fotossíntese, condutância estomática, taxa de transpiração, fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (medidas executadas com um analisador portátil de fotossíntese, modelo 6200 Li Cor), teor de umidade no substrato, conteúdo relativo de água nas folhas e

potencial hídrico foliar, sendo que os resultados indicaram que, sob estresse mais severo, a fotossíntese diminuiu relativamente mais que a transpiração (Machado et al., 1999).

Nogueira et al. (2000) estudaram o curso diário e sazonal das trocas gasosas, a temperatura foliar e o potencial hídrico foliar da aceroleira, no campo, em um pomar comercial localizado no município de Paudalho, PE, sendo que para as duas matrizes selecionadas (UFRPE7 e UFRPE8) foram realizadas medidas de conteúdo de água no solo, transpiração, resistência difusiva e temperatura foliar (realizadas com um porômetro, modelo Li-1600 Li Cor) e radiação fotossinteticamente ativa. Os autores concluíram que o estresse hídrico atua na regulação das relações hídricas das duas matrizes, restringindo a transpiração, aumentando a resistência difusiva e reduzindo o potencial hídrico foliar. A matriz UFRPE8 mostrou-se mais adaptada a períodos de estiagem do que a matriz UFRPE7.

Nogueira et al. (2001), estudando o potencial hídrico foliar em plantas jovens de acerolas oriundas de dois tipos de propagação, observaram queda de potencial hídrico das plantas estressadas que, nesse dia, chegou a -4,3 MPa para as sexuadas e -1,8 MPa para as assexuadas. Um mesmo potencial hídrico foliar pode ser observado em plantas sem restrição de disponibilidade hídrica ou naquelas submetidas a um estresse hídrico de acordo com os níveis de perda do vapor da água pela transpiração (Schulze et al., 1987). Os períodos crescentes de estresse hídrico causaram decréscimos na transpiração nas plantas dos dois “tipos de propagação”. Tanto as aceroleiras propagadas de forma sexuada como as de forma assexuada apresentaram padrões de comportamento semelhantes durante os períodos de medidas, isto é, os valores máximos, ao redor de $4,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, ocorreram nas plantas isentas de estresse, porém, com o estresse hídrico, a transpiração decresceu acentuadamente até o décimo dia de suspensão da rega e mantiveram-se com pouca variação até o final do experimento (Nogueira et al., 2001). O fechamento estomático causado por valores críticos de potencial hídrico foi observado anteriormente por Zabadal (1974), Denmead & Millar (1976), Nogueira et al. (2001).

De acordo com os resultados de diversas pesquisas, verifica-se a relação direta entre os elementos meteorológicos e a evapotranspiração. O domínio desse conhecimento se torna importante principalmente na execução de projetos de diversas áreas, na qual envolvem a participação direta ou indireta da transpiração.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP (FEAGRI/UNICAMP), no município de Campinas-SP, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22°48'57" sul, longitude 47°03'33" oeste e altitude média de 640 m.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é uma transição entre os tipos Cwa e Cfa, o que indica clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. A temperatura do mês mais quente (fevereiro) é superior a 22°C e a do mês mais frio (junho) inferior a 18°C. A precipitação média anual é de 1.382 mm, com o período chuvoso estando entre outubro a março (1.048 mm), o que representa 75,8 % do total de chuva anual. O período mais seco ocorre de junho a setembro (Sentelhas et al., 2007).

Esse campo experimental possui uma área de 15 hectares e abriga diversos laboratórios, dentre eles máquinas e implementos agrícolas, matérias-primas e armazenagem, secagem de produtos agrícolas, hidráulica e irrigação, solos, geoprocessamento, termodinâmica e energia, e saneamento rural.

No período escolar o público diário que frequenta a FEAGRI é de aproximadamente 300 pessoas, representados por alunos, pesquisadores e funcionários. Fora deste período o número de pessoas é reduzido para 80.

5.2 Caracterização do efluente

A água utilizada nas atividades de rotina da Faculdade de Engenharia Agrícola é servida pela Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A (SANASA). Todo o efluente bruto das águas servidas é lançado na rede de esgoto da UNICAMP e parte desse volume é tratado e utilizado nos leitos cultivados. Este sistema de tratamento foi desenvolvido dentro de um projeto financiado do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB).

O efluente bruto é composto de dejetos sanitários e de águas residuárias dos laboratórios proveniente da limpeza/manutenção do local e lavagem de vidraria. As

substâncias manuseadas agressivas ao meio ambiente nos laboratórios não são lançadas na rede. Nesses casos a FEAGRI/UNICAMP tem protocolos de procedimentos predefinidos para descarte adequado. A Tabela 5 apresenta algumas variáveis analisadas do esgoto da FEAGRI para melhor caracterização do efluente gerado.

Tabela 5. Caracterização do efluente bruto da FEAGRI/UNICAMP, com amostragens realizadas entre os meses de março e maio de 2005, segundo Zanella (2008).

Variável	Média ± Desvio padrão
Temperatura (°C)	28,3 ± 1,3
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg l ⁻¹)	225,0 ± 86,0
Demanda Química de Oxigênio (mg l ⁻¹)	453,0 ± 235,0
Sólidos Suspensos Totais (mg l ⁻¹)	288,0 ± 189,0
Sólidos Suspensos Voláteis (mg l ⁻¹)	216,0 ± 140,0
Sólidos Suspensos Fixos (mg l ⁻¹)	72,0 ± 42,0
pH	7,8 ± 0,4
Condutividade elétrica (µS cm ⁻¹)	594,0 ± 96,0
Oxigênio dissolvido (mg l ⁻¹)	3,5 ± 1,1
Cor aparente (mg Pt l ⁻¹)	757,0 ± 163,0
Turbidez (uT)	47,0 ± 4,0
Alcalinidade total (mg l ⁻¹)	190,0 ± 62,0
Ácidos voláteis (mg l ⁻¹)	60,0 ± 20,0
Coliformes totais (NMP 100ml ⁻¹)	2,5 . 10 ⁸ ± 7,0 . 10 ⁷
Coliformes fecais termotolerantes (NMP 100ml ⁻¹)	2,5 . 10 ⁸ ± 7,0 . 10 ⁷
Fósforo total (mg l ⁻¹)	5,6 ± 1,6
Nitrito (mg l ⁻¹)	1,0 ± 0,5
Nitrato (mg l ⁻¹)	2,5 ± 0,5
N-NH ₃ (mg l ⁻¹)	42,6 ± 11,2

5.3 PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

O PROSAB foi um programa de ação conjunta para o desenvolvimento de alternativas tecnológicas para a área de saneamento básico, cujas prioridades foram linhas de pesquisa que buscassem maior possibilidade de solucionar problemas das populações menos favorecidas.

O PROSAB visou ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias (esgoto), resíduos sólidos (lixo e biossólidos), manejo de águas pluviais urbanas, uso racional de água e energia, que sejam de fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção, bem como visem à recuperação ambiental dos corpos d'água e à melhoria das condições de vida da população, especialmente as menos favorecidas e que mais necessitem de ações nessas áreas (Mota e Von Sperling, 2009).

Portanto, atendendo a esses objetivos, esta tese de doutorado fez parte desse programa e, nas Figuras 9 e 10, está o fluxograma do sistema que foi implantado na FEAGRI.

Parte do efluente tratado passa por quatro unidades colocadas em série:

1. Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC): trata o esgoto bruto, produzindo um efluente em nível secundário;
2. Leitos Cultivados: pós-tratamento do efluente anaeróbio e foco desta tese;
3. Filtros Lentos: produz um efluente com baixa cor e turbidez, diminuta concentração de microorganismos, inclusive patogênicos, com características essenciais à desinfecção efetiva;
4. Unidade de Desinfecção: produz um líquido com as características necessárias para ser utilizado em equipamentos sanitários onde não sejam exigidas águas consideradas potáveis, por exemplo, os vasos sanitários.

Após a passagem do efluente bruto pelo tratamento preliminar, o mesmo é conduzido por uma caixa de cimento amianto com capacidade de 500L (Figura 10a), onde são bombeados para os reatores anaeróbios compartimentados (RAC) (Figura 10b), estabilizando aproximadamente 70,0% da matéria orgânica biodegradável de entrada. Por gravidade, o afluente percorre dois reservatórios plásticos com capacidade de 1000 l cada (Figura 10c) e destes reservatórios derivam as tubulações que alimentam os leitos cultivados. As Figuras 10d e 10e mostram detalhes do dispositivo de entrada do afluente e saída do efluente,

respectivamente, e a Figura 10f mostra uma vista do leito cultivado com a macrófita *Typha sp.* já estabelecida no sistema.

O sistema de tratamento da FEAGRI, que utiliza uma combinação de tecnologias simples e de baixo custo, tem sido pesquisado por diversos autores com o objetivo de viabilizar aplicações no meio rural.

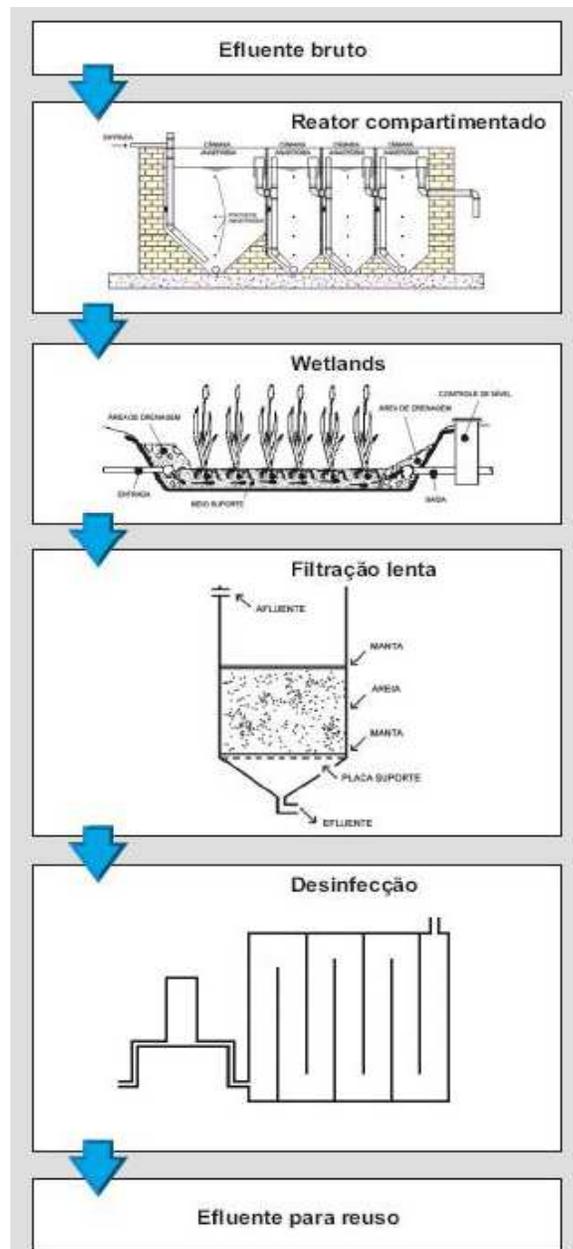


Figura 9. Fluxograma do tratamento dos efluentes gerado na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP e financiado pelo PROSAB.

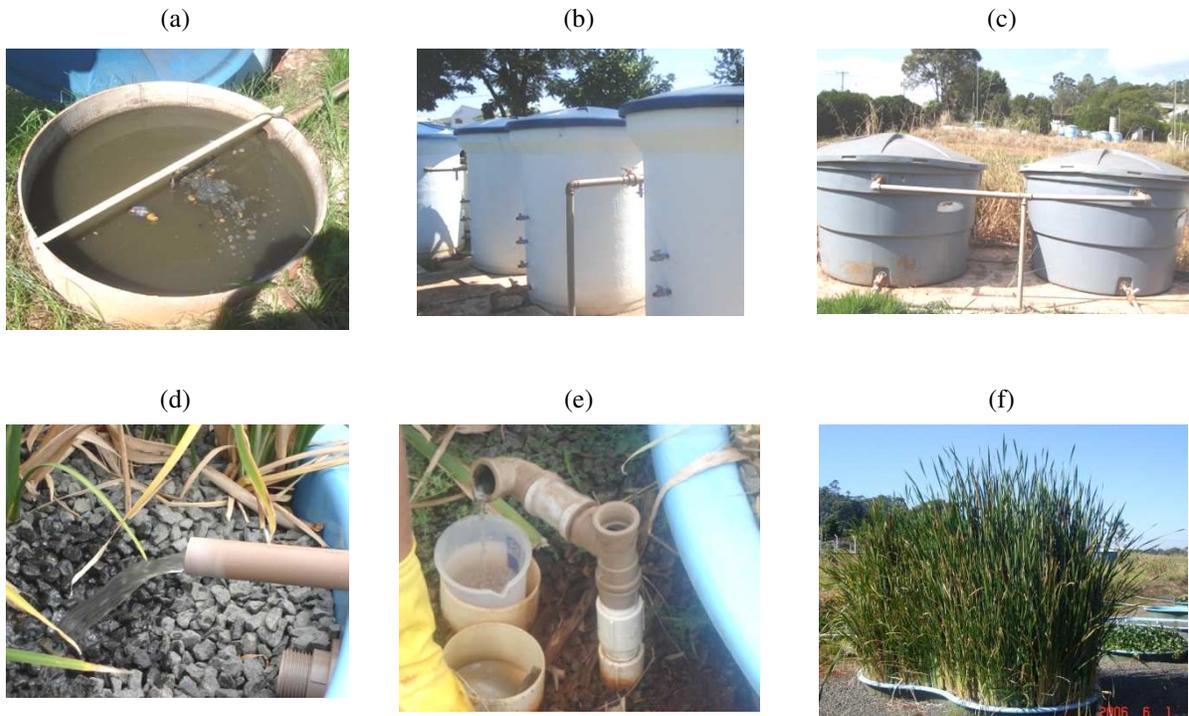


Figura 10. Seqüência percorrida pelo efluente produzido na FEAGRI até a chegada nos leitos cultivados. (a) Efluente bruto; (b) Passagem do efluente pelos RACs; (c) Armazenamento e distribuição do efluente nos reservatórios; (d) Detalhe do dispositivo de entrada do afluente nos leitos cultivados; (e) Detalhe do dispositivo de saída e retirada de amostra do efluente; e (f) Leito cultivado com *Typha sp.* (FEAGRI/UNICAMP, 2006).

5.4 Sistema de leitos cultivados

As mudas das plantas de *Typha sp.* foram transplantadas em 15 de agosto de 2005 e aproximadamente durante seis meses se observou, sem monitoramento diário, o estabelecimento da vegetação no sistema, objetivando corrigir futuras falhas que pudessem ocorrer nos períodos de monitoramento.

Foram utilizados três unidades de leitos cultivados, sendo dois cultivados com *Typha sp.* e outro sem cultivo (controle). Todas as unidades foram preenchidas por brita nº2 e cada leito cultivado possuía um volume de $2,5\text{m}^3$, profundidade de 0,55 m e área de $4,6\text{m}^2$.

Na Figura 11, mostra-se o formato dos leitos cultivados, a maneira como estavam dispostos e os pontos de monitoramento.

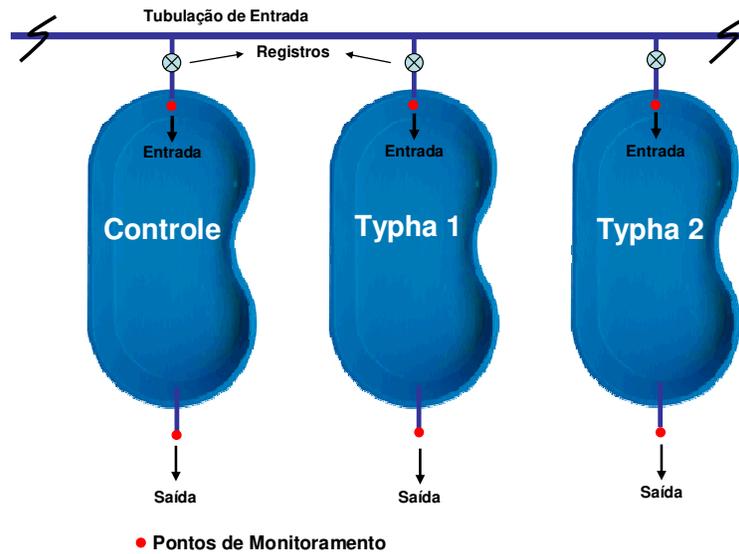


Figura 11. Formato e pontos de monitoramento dos leitos cultivados implantados no Campo Experimental da FEAGRI.

5.5 Monitoramento de variáveis do sistema de leitos cultivados

O monitoramento foi dividido em quatro aspectos: quantidade de água, qualidade de água, fisiologia da vegetação e dados meteorológicos. As variáveis escolhidas para o monitoramento da quantidade de água foram: vazão de entrada/saída, volume de entrada/saída, tempo de detenção hidráulica (TDH) e evaporação/evapotranspiração. Quanto às variáveis que caracterizam a qualidade de água foram escolhidas: concentração de fósforo de entrada/saída e carga de fósforo de entrada/saída. O monitoramento da fisiologia da vegetação foi considerado para as variáveis: altura média das plantas, número médio de folhas por planta, quantidade de plantas, massa de matéria fresca/seca e área foliar. As variáveis meteorológicas selecionadas foram: radiação global, umidade relativa, temperatura do ar e déficit de pressão de vapor saturado (DPVS).

5.5.1 Quantidade de água

Com o auxílio de equipamentos de proteção individual (EPI), cronômetro digital e proveta plástica graduada, mediu-se, pelo método direto, a vazão de entrada/saída dos três sistemas de leitos cultivados.

O tempo de medição da vazão foi de 20 segundos e, utilizando a proveta graduada, mediu-se o volume do efluente coletado durante esse tempo. Os dados de vazão de entrada/saída foram medidos diariamente, com intervalos de uma hora, no período das 9h00 às 18h00.

O cálculo do volume diário de entrada/saída foi resultante da soma dos valores horários de vazão de entrada/saída.

Para cálculo do TDH foi necessário determinar a porosidade do meio suporte. A porosidade foi determinada a partir do enchimento e esgotamento total do volume de água contido nos três leitos. Assim, com a definição dos volumes de entrada diária do efluente foi possível o cálculo diário do TDH.

Os dados de evaporação/evapotranspiração foram calculados pela diferença das vazões entrada/saída (afluente/efluente). Esses valores foram correlacionados com os dados meteorológicos horários dos dias monitorados da fase experimental.

5.5.2 Qualidade de água

Para a caracterização da qualidade da água envolvida neste sistema de tratamento foi escolhido, como indicador, o nutriente fósforo. Essa escolha se deve a fatores como: (i) facilidade de coleta e conservação das amostras; (ii) facilidade na execução das análises laboratoriais, em parceria com o Laboratório de Análise de Alimentos, da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (LAA/FEA/UNICAMP); (iii) além de ser um dos principais elementos envolvidos nos processos bioquímicos da biota aquática.

As análises de concentrações de fósforo foram realizadas a partir de coletas de amostras de água na entrada/saída de cada leito em intervalos de uma hora no período entre

9h00 e 18h00. Esse procedimento foi realizado logo após a medida da vazão de entrada/saída. As amostras foram acondicionadas em frascos de 250 ml, previamente identificadas, foram armazenadas e congeladas.

A cada hora da coleta, obtinham-se quatro frascos, nos quais se armazenavam uma amostra do afluente de entrada e três amostras dos efluentes de saída, totalizando 40 amostras diárias para todos os leitos.

Com o término do monitoramento diário, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Alimentos, da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (LAA/FEA/UNICAMP), para a determinação de fósforo total. A análise realizada para fósforo total seguiu o Método Oficial do Ácido Ascórbico, segundo Standard Methods (APHA, 1998).

O cálculo da carga de fósforo foi realizado pelo produto da vazão de entrada/saída com a concentração de fósforo do afluente/efluente, conforme a Equação 1.

$$KT_{\text{afluente/efluente}} = PT_{\text{afluente/efluente}} \times Q_{\text{afluente/efluente}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que

$KT_{\text{afluente/efluente}}$ - Carga de fósforo do afluente/efluente (mg),

$PT_{\text{afluente/efluente}}$ - Concentração de fósforo total no afluente/efluente (mg l^{-1}),

$Q_{\text{afluente/efluente}}$ - Vazão do afluente/efluente (l h^{-1}).

A variável carga representa a vazão mássica de fósforo do sistema dos leitos cultivados.

5.5.3 Fisiologia da vegetação

O monitoramento da fisiologia da vegetação foi realizado no término de cada fim de período. Primeiramente, mediu-se a altura e o número de folhas de vinte plantas escolhidas, ao acaso, para representarem altura do maciço vegetal e o número médio de folhas por planta em cada leito cultivado. Depois, com o auxílio de um facão, todo o estande vegetal recebia uma poda drástica na parte aérea, sendo que, conforme se realizava o corte, quantificavam a

população de plantas em cada leito e armazenavam as mesmas em sacos plásticos de 100 l de capacidade para posteriormente realizar a quantificação da sua massa de matéria fresca em uma balança (marca Superbrás, modelo PSP-500).

Após a pesagem da massa de matéria fresca, coletou-se uma amostra representativa do volume total, que também foi quantificada. Essa amostra permaneceu durante 24h em estufa de secagem de circulação mecânica (marca FANEM), com temperatura de 65°C. O material seco foi pesado utilizando uma balança (marca GEHAKA, modelo BKS-5000). A amostra seca foi moída e armazenada em envelopes de papel para verificação da concentração de fósforo em sua parte aérea. As análises foliares da vegetação foram realizadas no Centro de Solos e Recursos Agroambientais, pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (CSRA/IAC/APTA). Esse procedimento foi realizado para cada fim de período.

Para o cálculo da área foliar, as folhas de quatro plantas foram coladas lado a lado, formando figuras geométricas com áreas de fórmulas matemáticas conhecidas.

5.5.4 Variáveis meteorológicas

As variáveis meteorológicas específicas dos dias de monitoramento foram obtidas da Estação Meteorológica do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas, pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (CIIAGRO/ IAC/APTA). As variáveis meteorológicas da Radiação Global, Umidade Relativa do Ar, Temperatura do Ar e o Déficit de Pressão de Vapor Saturado (DPVS) foram relacionados ao desenvolvimento fisiológico da vegetação e às variáveis monitoradas de quantidade e qualidade.

Para o cálculo do DPVS horário foram considerados os dados de temperatura do ar e da umidade relativa do ar. O DPVS foi calculado pela diferença entre a pressão de saturação de vapor de água (e_s) e a pressão parcial de vapor (e_a) (Pereira et al., 2002), conforme a Equação 2.

$$DPVS = e_s - e_a \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que

DPVS - Déficit de pressão de vapor saturado (kPa),

e_s - Pressão de saturação de vapor (kPa),

e_a - Pressão parcial de vapor (kPa).

A pressão de saturação de vapor (e_s) foi calculada aplicando-se a Equação 3.

$$e_s = 0,6108 \times 10^{7,5 T_{ar}/237,3 + T_{ar}} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que

e_s - Pressão de saturação de vapor (kPa),

T_{ar} - Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

A pressão parcial de vapor (e_a), por sua vez, foi calculada pela Equação 4.

$$e_a = UR \times e_s / 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Em que

e_a - Pressão parcial de vapor (kPa),

e_s - Pressão de saturação de vapor (kPa).

5.6 Avaliações da eficiência de retenção e eficiência de remoção

A eficiência de retenção de fósforo (Ef_{RT}) foi calculada pela Equação 5.

$$Ef_{RT} = \frac{(KT_e - KT_s)}{KT_e} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Em que

Ef_{RT} - Eficiência de retenção de fósforo pelo sistema de leitos cultivados (%),

KT_e - Carga de fósforo de entrada do efluente (mg l^{-1}),

KT_s - Carga de fósforo de saída do efluente ($mg\ l^{-1}$).

Para o cálculo da eficiência de remoção de fósforo (Ef_{RM}) dos leitos cultivados foi utilizada, para cada período realizado, a Equação 6.

$$Ef_{RM} = \frac{KT_{planta}}{KT_e} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Em que

Ef_{RM} - Eficiência de remoção de fósforo pelas plantas em sistema de leitos cultivados (%),

KT_{planta} - Carga de fósforo na parte aérea das plantas (g),

KT_e - Carga de fósforo de entrada do efluente (g).

O cálculo da quantificação da carga de fósforo (KT_{planta}) foi obtido pela Equação 7:

$$KT_{planta} = PT_{planta} \times M. Seca \quad (\text{Equação 7})$$

Em que

KT_{planta} - Carga de fósforo na parte aérea das plantas (g),

PT_{planta} - Concentração de fósforo total na parte aérea das plantas ($g\ kg^{-1}$),

M.Seca - Massa de matéria seca da parte aérea das plantas (kg).

5.7 Período de monitoramento e Período estendido

O *Período de monitoramento* foi considerado o intervalo de dias em que ocorreu o trabalho de campo nos leitos cultivados. Esse período foi dividido em intervalos denominados períodos I, II, III e IV. O intervalo de cada período foi definido a seguir:

- Período I: período de monitoramento compreendido entre 01 e 22 de fevereiro de 2006 (Dias Julianos de 31 a 53);

- Período II: período de monitoramento compreendido entre 04 de setembro e 20 de dezembro de 2006 (Dias Julianos de 247 a 290);

- Período III: período de monitoramento compreendido entre 24 de setembro a 16 de outubro de 2007 (Dias Julianos de 267 a 289);
- Período IV: período de monitoramento compreendido entre 17 de outubro e 04 de dezembro de 2007 (Dias Julianos de 290 a 339).

Nos períodos monitorados, para quantidade de água, foram calculadas as variáveis: volumes médios diários de entrada/saída, volumes totais de entrada/saída, volumes médios diários evaporados/evapotranspirados, volumes totais evaporados/evapotranspirados e o TDH médio de cada leito. Para a qualidade de água, foram calculadas as variáveis: valores médios diários da concentração de fósforo total de entrada/saída, valores médios diários de carga de fósforo total de entrada/saída, valores totais da carga de fósforo de entrada/saída e a eficiência de retenção de fósforo de cada leito cultivado. A seguir é descrita a forma de cálculo de cada variável:

- o volume médio diário de entrada/saída foi obtido pela soma dos valores da vazão horária de entrada/saída de cada dia, sendo posteriormente dividido pelo número de dias monitorados de cada período;
- o volume total de entrada/saída foi calculado a partir da soma de todos os valores da vazão de entrada/saída horária monitorada em campo e em cada período;
- a evaporação/evapotranspiração média foi obtida pela diferença entre os valores médios diários do volume de entrada e saída, porém calculada em lâmina evaporada/evapotranspirada, expressa em milímetros por dia;
- a evaporação/evapotranspiração total foi calculada a partir da soma de todos os valores diários evaporados/evapotranspirados;
- o TDH médio foi calculado pela soma dos valores de TDH de cada dia, sendo posteriormente dividido pelo número de dias monitorados de cada período;
- o cálculo da carga média foi obtido pelo produto resultante da concentração de fósforo total horário dos valores de entrada/saída com suas respectivas vazões horárias de entrada/saída;
- a carga total de fósforo de entrada/saída foi calculada a partir da soma das cargas horárias;
- a eficiência de retenção foi calculada pela Equação 5.

O *Período estendido* foi considerado o intervalo de tempo entre os cortes da macrófita, ou seja, as podas drásticas na sua parte aérea (corte-a-corte) (Figura 12). Nesse período foram considerados os dados do monitoramento fisiológico da vegetação de cada leito. Durante esse período também foi calculada a eficiência de remoção de fósforo ($E_{f_{RM}}$) de cada leito cultivado. O intervalo de cada período foi definido a seguir:

- Período estendido I: para os leitos Brita e Typha 1 foi o período compreendido entre 01 de fevereiro e 03 de abril (n° de dias = 40) e para o leito Typha 2 foi o período compreendido entre 01 de fevereiro e 02 de junho de 2006 (n° de dias = 60);
- Período estendido II: período compreendido entre 04 de setembro e 20 de dezembro de 2006 (n° de dias = 69);
- Período estendido III: período compreendido entre 03 de julho a 16 de outubro de 2007 (n° de dias = 74);
- Período estendido IV: período compreendido entre 17 de outubro e 04 de dezembro de 2007 (n° de dias = 30).



Figura 12. *Typha sp.* após receber poda drástica em sua parte aérea.

No período estendido foram calculados os volumes totais de entrada/saída, a evaporação/evapotranspiração total, as cargas totais de entrada/saída e a eficiência de remoção de fósforo, a partir dos dados dos períodos de monitoramento. Nesses cálculos não foram considerados os fins de semana e feriados, pois nestes dias as vazões de entrada eram praticamente inexistentes, devido ao pequeno número de pessoas na FEAGRI. O cálculo das variáveis para o período estendido está a seguir:

- o volume total de entrada/saída, do período estendido, foi calculado a partir do produto do número de dias existentes em cada período e o volume médio diário dos valores de entrada/saída;
- o volume total evaporado/evapotranspirado foi obtido a partir do produto do número de dias de cada período estendido com o valor médio diário do volume evaporado/evapotranspirado do leito cultivado correspondente;
- a carga total de fósforo de entrada/saída foi calculada a partir do produto do número de dias de cada período estendido com o valor médio diário das cargas de fósforo de entrada/saída;
- a eficiência de remoção foi calculada pela Equação 6.

6. RESULTADOS

6.1 Avaliações horárias

O monitoramento do sistema de leitos cultivados foi baseado em avaliações horárias e posteriormente, com estes resultados tabulados nas planilhas eletrônicas do programa computacional, foi possível o cálculo para outras escalas temporais distintas. Por isso, os resultados apresentados neste item foram subdivididos em avaliações horárias, avaliações diárias, balanço do período monitorado, bem como do período estendido. Assim, a análise dos resultados poderá expressar as diversas mudanças de escala deste trabalho nos aspectos da quantidade e qualidade de água e permitirá um maior entendimento dinâmico dos leitos cultivados.

Os resultados do monitoramento do sistema de leitos cultivados para escala horária serão considerados nos quatro períodos monitorados e estão divididos em dois grandes grupos: (i) Quantidade de Água e (ii) Qualidade de Água.

Nos resultados de Quantidade de Água, abordou-se o monitoramento horário de vazão de entrada (Q_{eh}), vazão de saída (Q_{sh}) e do balanço entre Q_{eh} e Q_{sh} (ΔQ_h) de dias característicos e consecutivos para cada período.

Quanto aos resultados de Qualidade de Água, abordou-se o monitoramento horário da concentração de fósforo total de entrada (PT_{eh}), concentração de fósforo total de saída (PT_{sh}) e do balanço entre PT_{eh} e PT_{sh} (ΔPT_h); da carga de fósforo de entrada (KP_{eh}), carga de fósforo de saída (KP_{sh}) e do balanço entre KP_{eh} e KP_{sh} (ΔKP_h), e a eficiência de retenção de fósforo de dias característicos e consecutivos para cada período.

6.1.1 Quantidade de água

Na Figura 13 estão lançados os valores horários medidos de Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos dos quatro períodos monitorados no leito Brita, na qual se pode notar que tanto Q_{eh} quanto Q_{sh} não são constantes ao longo do dia.

Com os valores da Figura 13a calcularam-se as médias e os desvios padrões da Q_{eh} e Q_{sh} e os resultados foram respectivamente $54,4 \pm 15,8 \text{ l h}^{-1}$ e $52,9 \pm 15,9 \text{ l h}^{-1}$. Os valores

máximos de vazão, seja de entrada ou de saída, ocorreram às 10h do dia, e foram de $87,3 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{eh} e $86,4 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{sh} . O valor do ΔQ_h foi de $14,4 \text{ l}$, sendo que a maior diferença entre a entrada e a saída de $2,7 \text{ l}$, ocorreu às 18h.

Na Figura 13b, a Q_{eh} média e o desvio padrão foram de $42,9 \pm 28,2 \text{ l h}^{-1}$ e a Q_{sh} foram de $39,8 \pm 27,9 \text{ l h}^{-1}$. Seus picos ocorreram às 9h, sendo $122,4 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{eh} , valor este superior em $40,2\%$ em relação ao seu dia anterior ($87,3 \text{ l h}^{-1}$) e $118,8 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{sh} , superior em $37,5\%$ em relação ao valor máximo de Q_{sh} do dia anterior ($86,4 \text{ l h}^{-1}$). O ΔQ_h foi de $30,6 \text{ l}$ e a maior diferença entre Q_{eh} e Q_{sh} foi às 18h, com $9,0 \text{ l}$.

A Figura 13c apresenta média e desvio padrão de $75,1 \pm 2,4 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{eh} e para Q_{sh} de $74,2 \pm 2,5 \text{ l h}^{-1}$, valores estes sem grandes variações ao longo do dia monitorado, justificado pelo baixo CV ($3,2\%$ para Q_{eh} e $3,4\%$ para Q_{sh}). O maior valor medido nesse dia da Q_{eh} foi $79,2 \text{ l h}^{-1}$, ocorrido às 10h, e da Q_{sh} foi $77,4 \text{ l h}^{-1}$, às 12h. O ΔQ_h foi de $9,0 \text{ l}$ e a maior diferença de entrada e saída foi de $3,6 \text{ l}$, às 9h e 10h do dia.

Na Figura 13d, observam-se os valores médios e os desvios padrões de Q_{eh} e Q_{sh} de $97,0 \pm 1,0 \text{ l h}^{-1}$ e $95,8 \pm 1,1 \text{ l h}^{-1}$, respectivamente. Nesse dia verificam-se, também, poucas variações encontradas ao longo do dia, justificadas também pelo baixo valor do CV, sendo $1,0\%$ para Q_{eh} e $1,1\%$ para Q_{sh} . O valor máximo de Q_{eh} ocorreu às 13h e foi de $99,0 \text{ l h}^{-1}$, superior em $25,0\%$ ao seu dia anterior ($79,2 \text{ l h}^{-1}$) e o valor máximo de Q_{sh} foi de $97,2 \text{ l h}^{-1}$, ocorrido às 17h e 18h, valor esse superior $25,6\%$ em relação ao dia anterior ($77,4 \text{ l h}^{-1}$). A maior diferença dos valores de entrada e de saída ocorreu às 13h do dia e foi de $3,6 \text{ l}$, apresentando ΔQ_h de $12,6 \text{ l}$.

Na Figura 13e, a Q_{eh} média e o desvio padrão foram de $56,8 \pm 9,4 \text{ l h}^{-1}$ e a Q_{sh} média e o desvio padrão de $53,3 \pm 8,6 \text{ l h}^{-1}$. O valor Q_{eh} máximo, ocorrido às 9h, foi de $70,2 \text{ l h}^{-1}$ e Q_{sh} máxima de $64,8 \text{ l h}^{-1}$ e ocorreu às 16h. O ΔQ_h foi de $36,0 \text{ l}$, sendo 16h o horário em que ocorreu a maior diferença dos valores de entrada e saída, com $14,4 \text{ l}$.

A Figura 13f apresenta valores médios e desvios padrões de Q_{eh} e Q_{sh} que foram de $59,4 \pm 11,6 \text{ l h}^{-1}$ e $56,7 \pm 11,2 \text{ l h}^{-1}$, respectivamente. O valor Q_{eh} máximo foi de $79,2 \text{ l h}^{-1}$, valor este $12,8\%$ superior ao valor máximo de Q_{eh} do dia anterior ($70,2 \text{ l h}^{-1}$), e ocorreu às 18h do dia. Para Q_{sh} máximo, ocorrido às 17h, o valor foi de $75,6 \text{ l h}^{-1}$ sendo superiores $16,7\%$ em relação ao Q_{sh} do dia anterior ($64,8 \text{ l h}^{-1}$). A maior diferença entre os valores de entrada e saída foi $5,4 \text{ l}$ e ocorreu às 9h do dia, tendo ΔQ_h de $27,0 \text{ l}$.

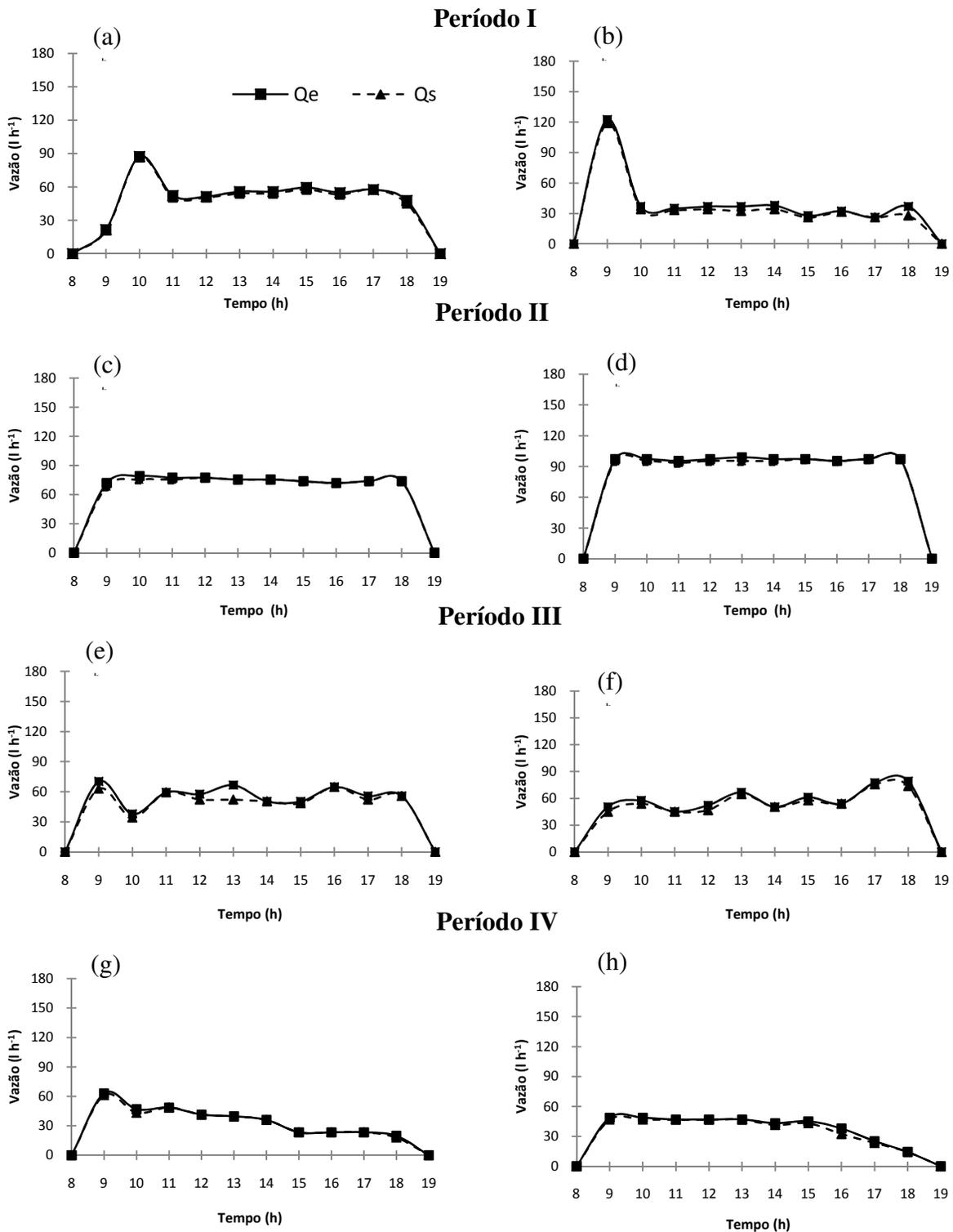


Figura 13. Valor horário medido de Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Na Figura 13g, os valores médios e os desvios padrões das variáveis de Q_{eh} e Q_{sh} foram $36,5 \pm 14,1 \text{ l h}^{-1}$ e $35,82 \pm 13,7 \text{ l h}^{-1}$ respectivamente, e seus valores máximos foram $63,0 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{eh} e $61,2 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{sh} , ambos ocorridos às 9h. O valor de ΔQ_h foi de $7,2 \text{ l}$ e a maior diferença entre Q_{eh} e Q_{sh} foi de $3,6 \text{ l}$, às 10h.

Na Figura 13h, Q_{eh} média e desvio padrão foram de $40,3 \pm 11,5 \text{ l h}^{-1}$ e Q_{sh} respectivamente de $35,8 \pm 13,7 \text{ l h}^{-1}$. Os maiores valores encontrados de Q_{eh} foram de $48,6$ e ocorreram às 9h e 10h, e os de Q_{sh} foram $46,8 \text{ l h}^{-1}$ e ocorrem no período entre 9h e 13h do dia. A maior diferença entre os valores de entrada e saída foi $5,4 \text{ l}$ e ocorreu às 16h do dia, tendo ΔQ_h de $14,4 \text{ l}$.

De maneira geral, os valores de vazão de entrada/saída (Figura 13) foram próximos indicando uma menor perda de água por evaporação. As variações de entrada/saída para cada dia e seu dia seguinte são semelhantes, que indica para dias próximos o manejo das vazões de entrada foi estável.

Na Figura 14, têm-se os mesmos valores da Figura 13, porém trata-se de gráficos “Box Plot”.

Na Figura 15 estão representados os valores das vazões entrada/saída do leito Typha 1 para os mesmos dias das Figuras 13 e 14. A Figura 15a, a média e o desvio padrão de Q_{eh} foram de $16,2 \pm 13,0 \text{ l h}^{-1}$ e de Q_{sh} de $10,6 \pm 14,5 \text{ l h}^{-1}$. Os valores máximos de Q_{eh} e Q_{sh} coincidiram ($42,3 \text{ l h}^{-1}$) às 9h. O ΔQ_h foi de $56,7 \text{ l}$ e a maior diferença entre Q_{eh} e Q_{sh} foi às 15h, com $10,8 \text{ l}$.

Para a Figura 15b, a média e o desvio padrão de Q_{eh} foram de $17,7 \pm 15,3 \text{ l h}^{-1}$ e de Q_{sh} de $12,2 \pm 16,6 \text{ l h}^{-1}$. Os valores máximos observados de Q_{eh} e Q_{sh} quase coincidiram e foram $57,6 \text{ l h}^{-1}$ e $56,7 \text{ l h}^{-1}$, respectivamente, ambos ocorridos às 10h. O ΔQ_h foi de $55,8 \text{ l}$ e a maior diferença entre Q_{eh} e Q_{sh} foram às 15h, com $9,9 \text{ l}$, valor e hora de ocorrência similar ao dia anterior.

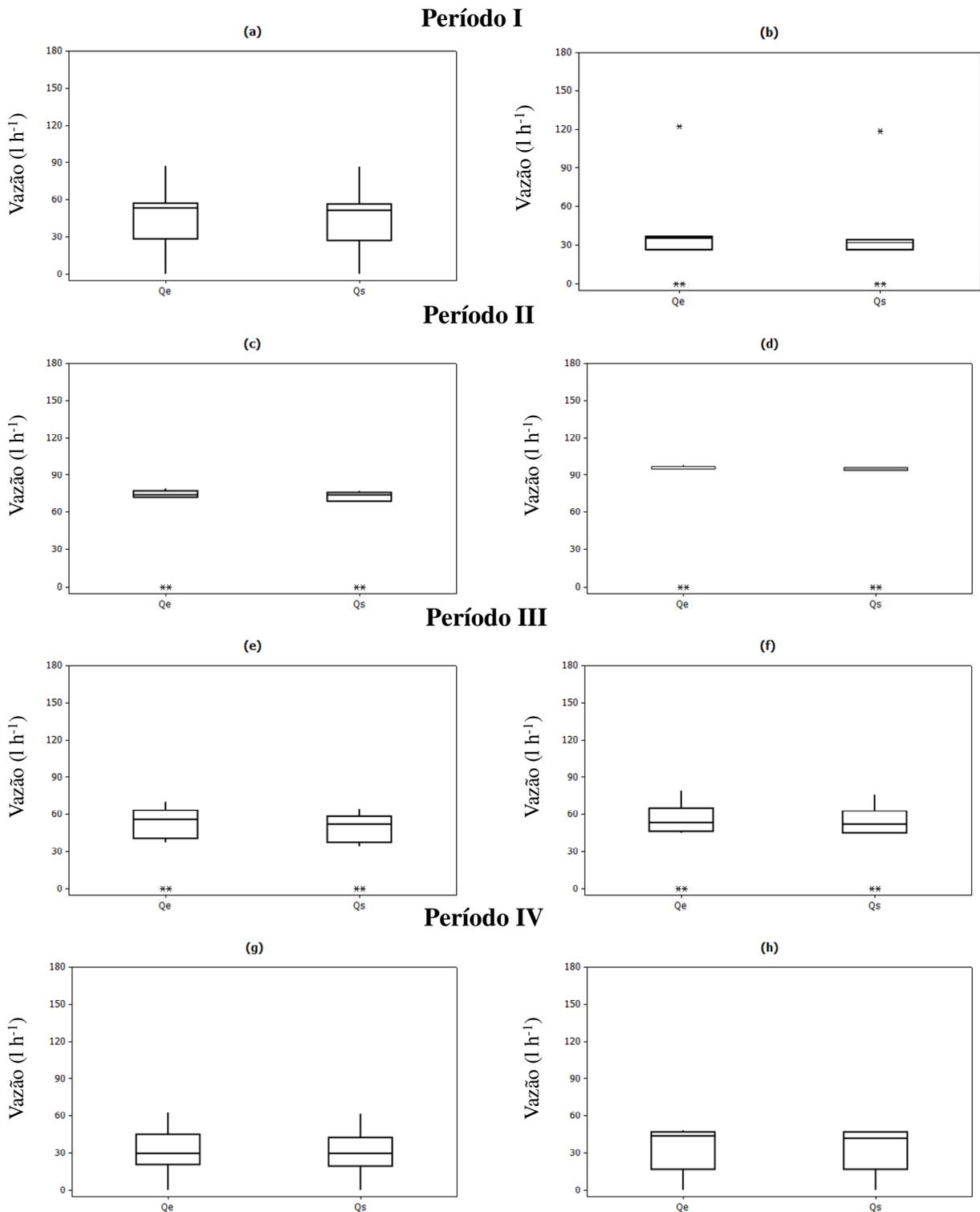


Figura 14. Gráficos “Box Plot” da Q_{ch} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Para a Figura 15c, a média e o desvio padrão de Q_{eh} foram de $67,8 \pm 1,9 \text{ l h}^{-1}$ e de Q_{sh} foram de $64,9 \pm 3,1 \text{ l h}^{-1}$. Seus valores máximos de Q_{eh} e Q_{sh} coincidiram ($70,2 \text{ l h}^{-1}$) e isso ocorreu no fim da tarde, ou seja, às 17h e 18h. O ΔQ_h foi de $28,8 \text{ l}$ e as diferenças entre Q_{eh} e Q_{sh} foram constantes entre às 9h e 16h, com valores de $3,6 \text{ l}$. Para a Figura 15d a média e o desvio padrão de Q_{eh} foram de $19,2 \pm 2,4 \text{ l h}^{-1}$ e de Q_{sh} de $17,5 \pm 1,5 \text{ l h}^{-1}$. Os valores máximos de Q_{eh} e Q_{sh} foram $23,4 \text{ l h}^{-1}$ e $19,8 \text{ l h}^{-1}$, respectivamente. O ΔQ_h foi de $18,0 \text{ l}$ e a maior diferença entre os valores de Q_{eh} e Q_{sh} foi de $16,2 \text{ l}$ às 15h.

Na Figura 15e, a média e o desvio padrão de Q_{eh} foram de $46,6 \pm 5,8 \text{ l h}^{-1}$ e de Q_{sh} de $38,9 \pm 6,5 \text{ l h}^{-1}$. Os valores máximos de Q_{eh} e Q_{sh} foram de $54,0$ e $45,0 \text{ l h}^{-1}$ respectivamente, com valores máximos de Q_{eh} ocorridos às 11h e 12h e de Q_{sh} às 11h, 16h e 17h. O ΔQ_h foi de $77,4 \text{ l}$ e a maior diferença de Q_{eh} e Q_{sh} foi às 15h, com $16,2 \text{ l}$. Para a Figura 15f, a média e o desvio padrão de Q_{eh} foram de $95,0 \pm 27,7 \text{ l h}^{-1}$ e de Q_{sh} de $87,3 \pm 27,0 \text{ l h}^{-1}$. Os valores máximos de Q_{eh} e Q_{sh} foram $127,8 \text{ l h}^{-1}$, ocorridos às 13h e $56,7 \text{ l h}^{-1}$ às 15h, respectivamente. Neste dia o ΔQ_h foi de $77,4 \text{ l}$, sendo a máxima diferença dos valores de entrada e saída, ocorrida às 13h e 18h, de $19,8 \text{ l}$.

Para a Figura 15g, os valores médios e os desvios padrões de Q_{eh} e Q_{sh} foram respectivamente $53,5 \pm 6,0 \text{ l h}^{-1}$ e $46,6 \pm 4,5 \text{ l h}^{-1}$, apresentando picos de $61,2 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{eh} e $54,0 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{sh} , ambos ocorridos às 18h. O ΔQ_h foi de $68,4 \text{ l}$, sendo a maior diferença de Q_{eh} e Q_{sh} ocorrida às 14h e 15h do dia, com valores de $10,8 \text{ l}$. Na Figura 15h, os valores médios e o desvio padrão de Q_{eh} foram $33,3 \pm 3,8 \text{ l h}^{-1}$ e para Q_{sh} de $28,9 \pm 3,9 \text{ l h}^{-1}$, com picos ocorridos às 15h para Q_{eh} de $39,6 \text{ l h}^{-1}$ e para Q_{sh} de $34,2 \text{ l h}^{-1}$. O ΔQ_h deste dia foi de $43,2 \text{ l}$, sendo este valor $36,8\%$ inferior ao ΔQ_h do dia anterior ($68,4 \text{ l}$). A maior diferença ocorrida entre Q_{eh} e Q_{sh} foi de 9 l , às 17h do dia.

De maneira geral, os valores de vazão de entrada/saída (Figura 15) foram maiores quando comparados com os valores da Figura 13. Essas maiores diferenças indicam uma maior perda de água por evaporação, produzidas pelas plantas colocadas no leito. Assim, espera-se que essa maior diferença entre as vazões entrada/saída produzam maiores retenções de nutrientes. As variações de entrada/saída para cada dia e seu dia seguinte não foram semelhantes, que indica para dias próximos o manejo das vazões de entrada menos estável quando comparado com os valores da Figura 13.

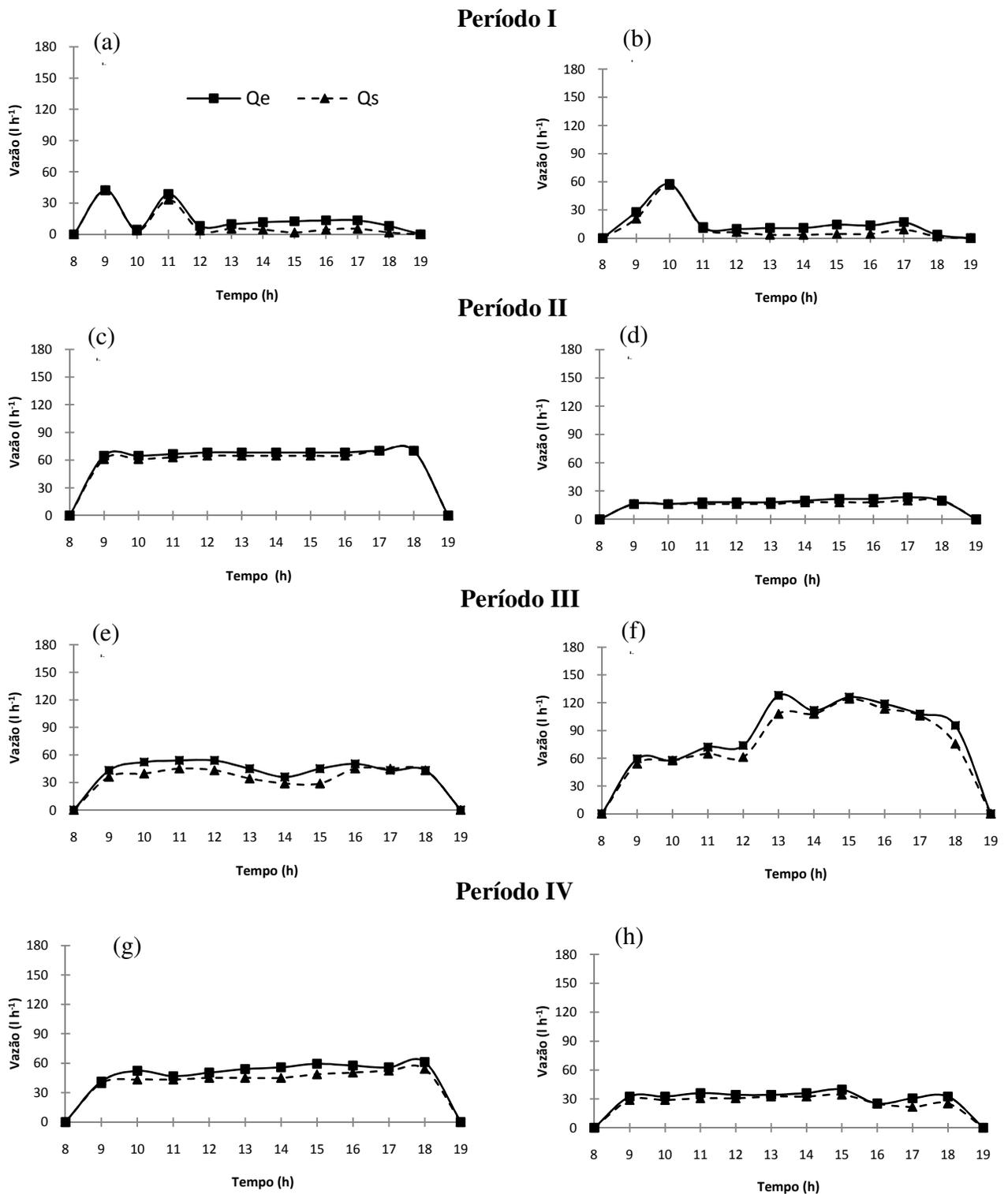


Figura 15. Valor horário medido de Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Na Figura 16, têm-se os mesmos valores medidos da Figura 15, porém trata-se de gráficos do tipo “Box Plot”.

Da mesma maneira que as Figuras 13 e 15, na Figura 17 se encontram os valores horários de Q_{eh} e Q_{sh} , porém esta se refere às horas monitoradas ao longo dos dias no leito Typha 2. Nesta figura, tem-se comportamento semelhante em relação à falta de tendência da uniformidade de Q_{eh} e Q_{sh} , corroborando as outras figuras (Figuras 13 e 15) já apresentadas.

A Figura 17a mostra que Q_{eh} média e desvio padrão foram de $68,2 \pm 30,8 \text{ l h}^{-1}$ e Q_{sh} média de $57,9 \pm 32,8 \text{ l h}^{-1}$, com picos tanto da Q_{eh} como da Q_{sh} de $140,4 \text{ l h}^{-1}$, ocorreram às 9h. Comparando esta com a Figura 15a, notou-se que ambas tiveram picos de Q_{eh} e Q_{sh} no mesmo horário (9h), porém o leito Typha 2 (Figura 17a) apresentou valor de pico superior em 231,9% em relação ao pico da Figura 15a ($42,3 \text{ h}^{-1}$). O ΔQ_h da Figura 17a ($103,5 \text{ l}$) também foi superior ao da Figura 15a ($56,7 \text{ l}$), com 82,5%. A maior diferença entre os valores de entrada e saída foi de $26,1 \text{ l}$ e ocorreu às 15h do dia.

Pela Figura 17b, nota-se que há valores menores aos ocorridos no dia anterior (Figura 17a), Q_{eh} média e o desvio padrão foram de $48,2 \pm 19,3 \text{ l h}^{-1}$, valor este 29,3% inferior a Q_{eh} média e o desvio padrão da Figura 17a ($68,2 \pm 30,8 \text{ l h}^{-1}$). Para Q_{sh} média, a diferença foi de 27,6% inferior ao seu dia anterior (Figura 17b: Q_{sh} médio e o desvio padrão = $41,9 \pm 20,8 \text{ l h}^{-1}$; Figura 17a: Q_{sh} médio e o desvio padrão = $57,9 \pm 32,8 \text{ l h}^{-1}$). Os maiores valores encontrados de Q_{eh} e Q_{sh} foram de $81,9 \text{ l h}^{-1}$, ambos ocorridos às 9h. O ΔQ_h foi de $63,9 \text{ l}$ e a maior diferença dos valores de entrada e saída foi de $17,1 \text{ l}$, às 17h.

Para a Figura 17c verificou-se que a Q_{eh} média e o desvio padrão foram de $27,5 \pm 3,2 \text{ l h}^{-1}$ e Q_{sh} média e o desvio padrão de $26,6 \pm 3,6 \text{ l h}^{-1}$. Comparando esses valores (Figura 17c) aos ocorridos no leito Typha 1 (Figura 15c; $Q_{eh} = 67,9 \pm 1,9 \text{ l h}^{-1}$; $Q_{sh} = 64,9 \pm 3,11 \text{ l h}^{-1}$), notam-se que os valores do leito Typha 1 (Figura 15c) são superiores em 146,9% e 143,9,1%, respectivamente, em relação aos valores médios de Q_{eh} e Q_{sh} ocorridos no leito Typha 2 (Figura 17c). O ΔQ_h da Figura 17c ($9,0 \text{ l}$), também possui valor menor que o ΔQ_h da Figura 15c ($28,8 \text{ l}$), sendo o ΔQ_h da Figura 17c ($9,0 \text{ l}$) inferior em 68,8% em relação ao ΔQ_h da Figura 15 c ($28,8 \text{ l}$). A maior diferença ocorrida entre os valores de entrada e saída da Figura 17c foi de $1,8 \text{ l}$, ocorrida das 11h às 15h do dia.

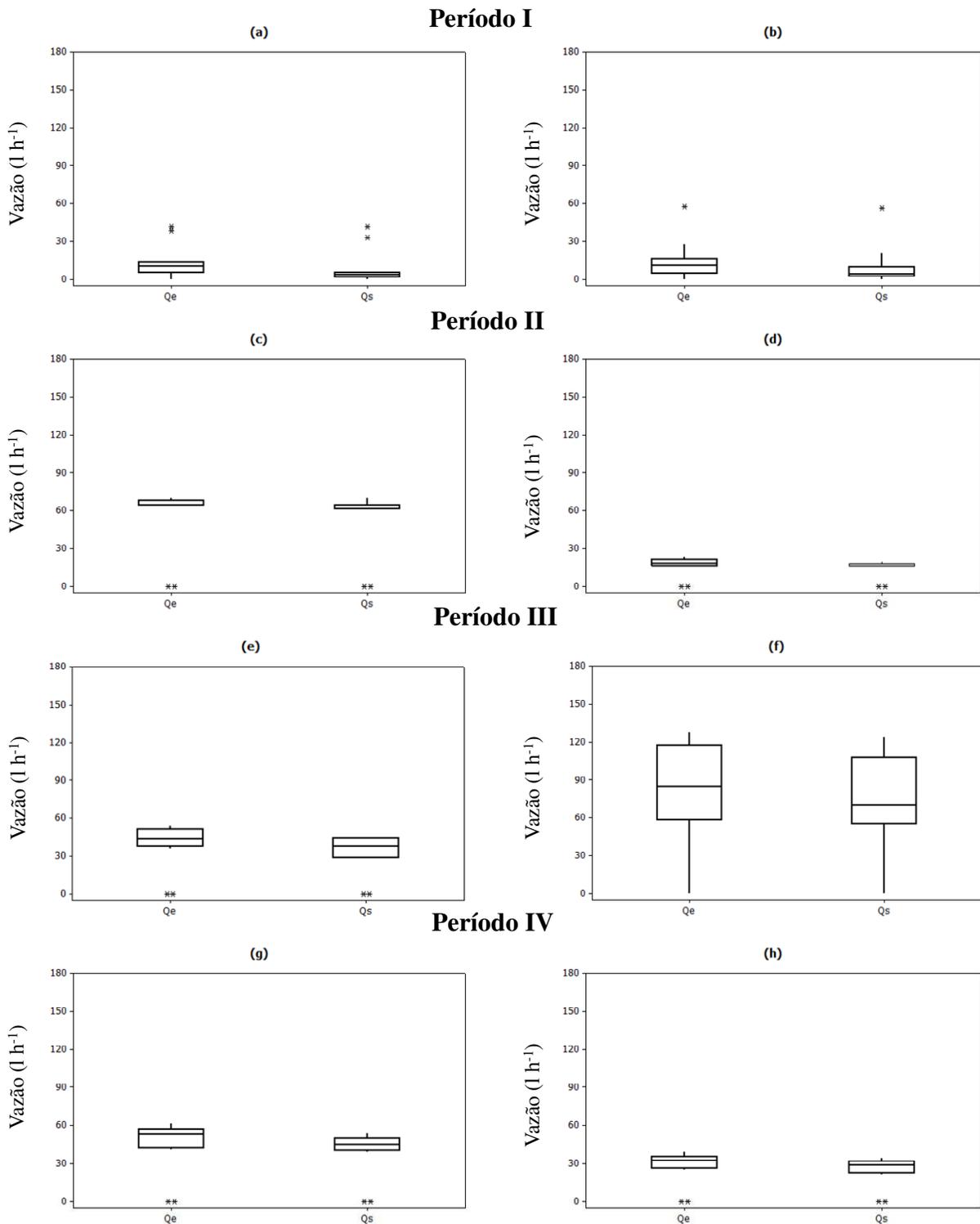


Figura 16. Gráficos “Box Plot” de Q_{ch} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

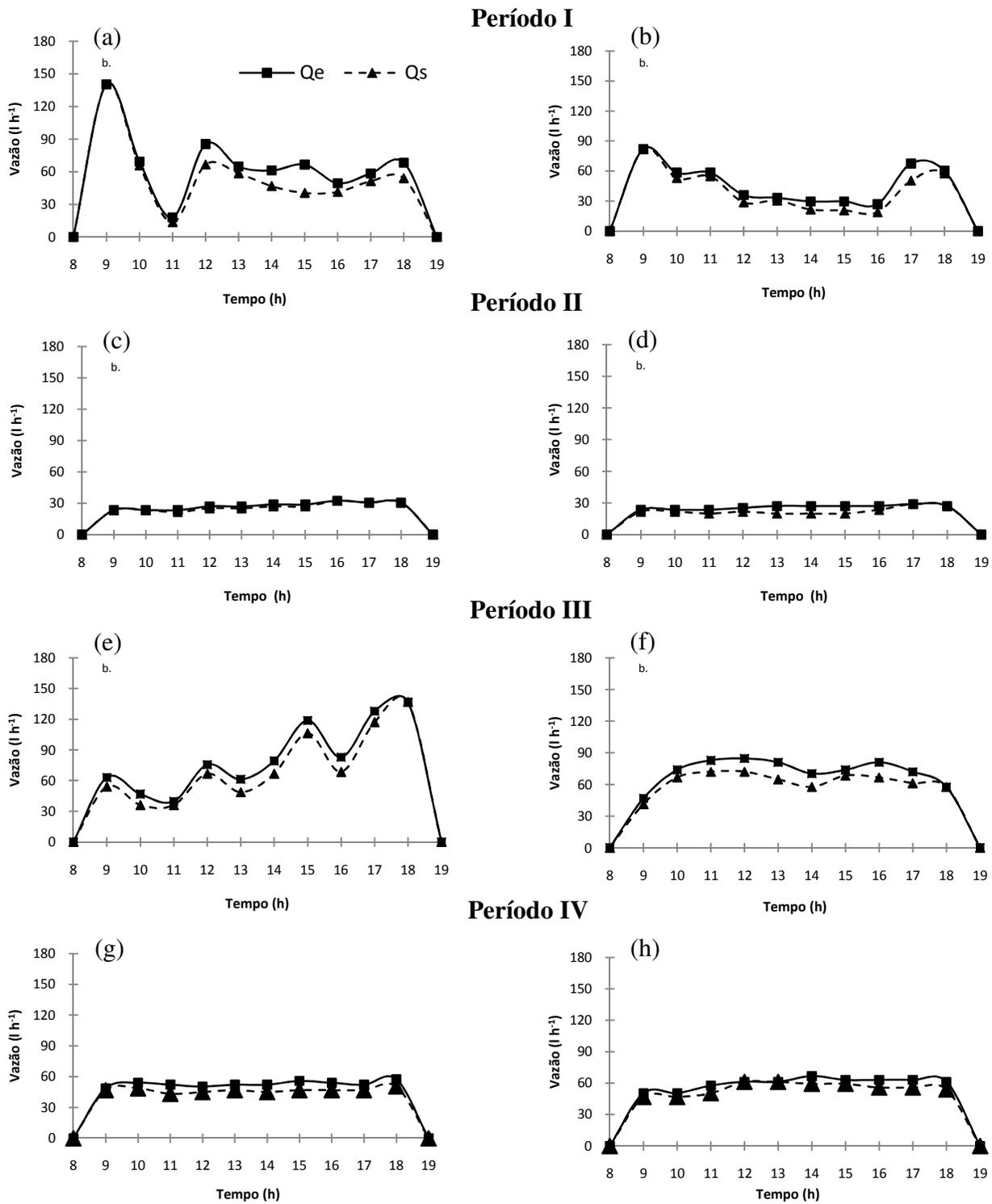


Figura 17. Valor horário medido de Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

A Figura 17d apresentou comportamento semelhante ao da Figura 15d. Porém, a Q_{eh} média e o desvio padrão foram de $25,9 \pm 1,9 \text{ l h}^{-1}$, sendo este valor superior em 25,9% à Q_{eh} média e desvio padrão ($19,2 \pm 2,4 \text{ l h}^{-1}$) ocorrida no leito Typha 1 (Figura 15d). A Q_{sh} média e o desvio padrão foram de $22,3 \pm 3,2 \text{ l h}^{-1}$, superior em 21,5% à Q_{sh} média e o desvio padrão da Figura 15d, cujo valor foi de $17,5 \pm 1,5 \text{ l h}^{-1}$. O ΔQ_h da Figura 17d foi de 36,0 l, valor este 50,0% superior ao ΔQ_h da Figura 14c (18,0 l). A maior diferença ocorrida foi das 13 às 15h, com 7,2 l.

Pela Figura 17e, verificou-se que Q_{eh} média e o desvio padrão calculados foram de $83,1 \pm 33,8 \text{ l h}^{-1}$ e Q_{sh} média e o desvio padrão de $73,6 \pm 34,8 \text{ l h}^{-1}$, valores estes superiores em 78,3% e 89,2%, respectivamente, em relação aos valores de Q_{eh} e Q_{sh} médios da Figura 15e (Q_{eh} médio e o desvio padrão = $46,6 \pm 5,8 \text{ l h}^{-1}$; Q_{sh} médio e o desvio padrão = $38,9 \pm 6,5 \text{ l h}^{-1}$). Os valores máximos de Q_{eh} e Q_{sh} foram iguais ($136,8 \text{ l h}^{-1}$), assim como seus picos, que ocorreram às 18h. O ΔQ_h foi de 95,4 l, sendo este valor superior em 23,2% ao valor de ΔQ_h (77,4 l) do leito Typha 1 (Figura 15e). A maior diferença entre a entrada e saída foi de 14,4 l, ocorrida às 16h.

Na Figura 17f, foi apresentado ΔQ_h de 95,4 l, cujo valor foi 23,3% superior ao valor de ΔQ_h do leito Typha 1 (Figura 15f e $\Delta Q_h = 77,4 \text{ l}$), porém seus valores Q_{eh} e Q_{sh} médios foram inferiores em 23,9% e 21,2% nesta mesma comparação, ou seja, para o leito Typha 2 (Figura 17f) os valores de Q_{eh} e Q_{sh} médio e o desvio padrão foram $72,3 \pm 11,9 \text{ l h}^{-1}$ e $62,8 \pm 9,1 \text{ l h}^{-1}$, respectivamente, e os valores médios e o desvio padrão de Q_{eh} e Q_{sh} do leito Typha 1 (Figura 15f) foram de $95,0 \pm 27,3 \text{ l h}^{-1}$ e $87,3 \pm 27,0 \text{ l h}^{-1}$, respectivamente. Os valores máximos de Q_{eh} e Q_{sh} encontrados na Figura 17f foram $84,6 \text{ l h}^{-1}$ e $72,0 \text{ l h}^{-1}$, respectivamente ocorridos às 12h para Q_{eh} e às 11h e 12h para Q_{sh} .

A Figura 17g (Typha 2) teve comportamento semelhante à Figura 15g (Typha 1) e seus valores foram pouco diferentes em si. Os valores médios e os desvios padrões da Figura 175g foram $52,9 \pm 2,6 \text{ l h}^{-1}$ e $46,6 \pm 1,9 \text{ l h}^{-1}$, respectivamente para Q_{eh} e Q_{sh} , enquanto que para a Figura 15g foram $53,4 \pm 6,0 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{eh} e $46,6 \pm 4,5 \text{ l h}^{-1}$ para Q_{sh} . Os picos também coincidiram com a Figura 15g, pois tanto os picos de Q_{eh} como os de Q_{sh} ocorreram às 18h (Q_{eh} máxima = $61,2 \text{ l h}^{-1}$ e Q_{sh} máximo = $54,0 \text{ l h}^{-1}$ para a Figura 15g; Q_{eh} máxima = $57,6 \text{ l h}^{-1}$ e Q_{sh} máximo = $50,4 \text{ l h}^{-1}$ para a Figura 17g).

Na Figura 17h, os valores médios e o desvio padrão de Q_{eh} foram de $59,7 \pm 5,42 \text{ l h}^{-1}$ e os valores médios de Q_{sh} e o desvio padrão foram de $55,0 \pm 5,5 \text{ l h}^{-1}$, o pico de maior valor de Q_{eh} ocorreu às 14h com $66,6 \text{ l h}^{-1}$ e o de Q_{sh} ocorreu às 12h e 13h, com $61,2 \text{ l h}^{-1}$. O ΔQ_h deste dia foi de 46,8 l e as maiores diferenças entre Q_{eh} e Q_{sh} foram de 7,3 l, ocorridas nas seguintes horas do dia: 11h,14h,16h,17h e 18h.

Comparando as Figura 15 e 17 verifica-se que o manejo dos valores das vazões de entrada foi distinto para cada dia e cada leito. Além disso, os resultados das vazões das Figuras 13, 15 e 17 visaram mostrar que não existiu uniformidade das vazões ao longo do dia e nem uma tendência. A soma de todos os valores de ΔQ_h das Figuras 15 ($\Delta Q_h = 425,7 \text{ l}$) e Figura 17 ($\Delta Q_h = 513,0 \text{ l}$) foram superiores ao ΔQ_h da Figura 13 ($\Delta Q_h = 151,2$). As diferenças (ΔQ_h) das Figuras 15 e 17 estão próximas, o que indica grau de desenvolvimento semelhante.

Na Figura 18, encontram-se os mesmos resultados da Figura 17, porém tratam-se de gráficos do tipo “Box Plot”.

As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam o cálculo dos valores horários medidos e das vazões de entrada/saída e o balanço de vazão para os períodos I, II, III e IV.

Na Tabela 6, verifica-se variação importante entre os períodos para o leito Brita. O período IV foi o que apresentou maiores valores de Q_{eh} ($60,4 \pm 27,6 \text{ l h}^{-1}$) e Q_{sh} ($58,1 \pm 26,8 \text{ l h}^{-1}$), seguidos do período I ($Q_{eh} = 59,5 \pm 23,1 \text{ l h}^{-1}$ e $Q_{sh} = 58,0 \pm 23,4 \text{ l h}^{-1}$), do período III ($Q_{eh} = 52,1 \pm 22,6 \text{ l h}^{-1}$; $Q_{sh} = 49,7 \pm 43,2 \text{ l h}^{-1}$), e do período II ($Q_{eh} = 47,4 \pm 31,9 \text{ l h}^{-1}$; $Q_{sh} = 46,0 \pm 32,0 \text{ l h}^{-1}$). Quanto aos valores médios de ΔQ_h (Tabela 6) os valores calculados para os períodos I e II são próximos. Quanto aos períodos III e IV os valores encontrados são próximos, mas diferentes dos dois períodos anteriores. Esse fato pode estar ligado aos potenciais de evaporação, em especial, os valores calculados de DPVS confirmam essa informação (Tabela 9).

Esses valores semelhantes para ΔQ_h foram esperados, pois se tratava do leito Brita, sem o cultivo de nenhuma macrófita e preenchido apenas com brita, cuja função foi servir de tratamento testemunha. Nas Tabelas 7 e 8, por serem leitoss cultivados com a macrófita *Typha sp.*, notou-se interferência do desenvolvimento vegetativo nos valores de ΔQ_h .

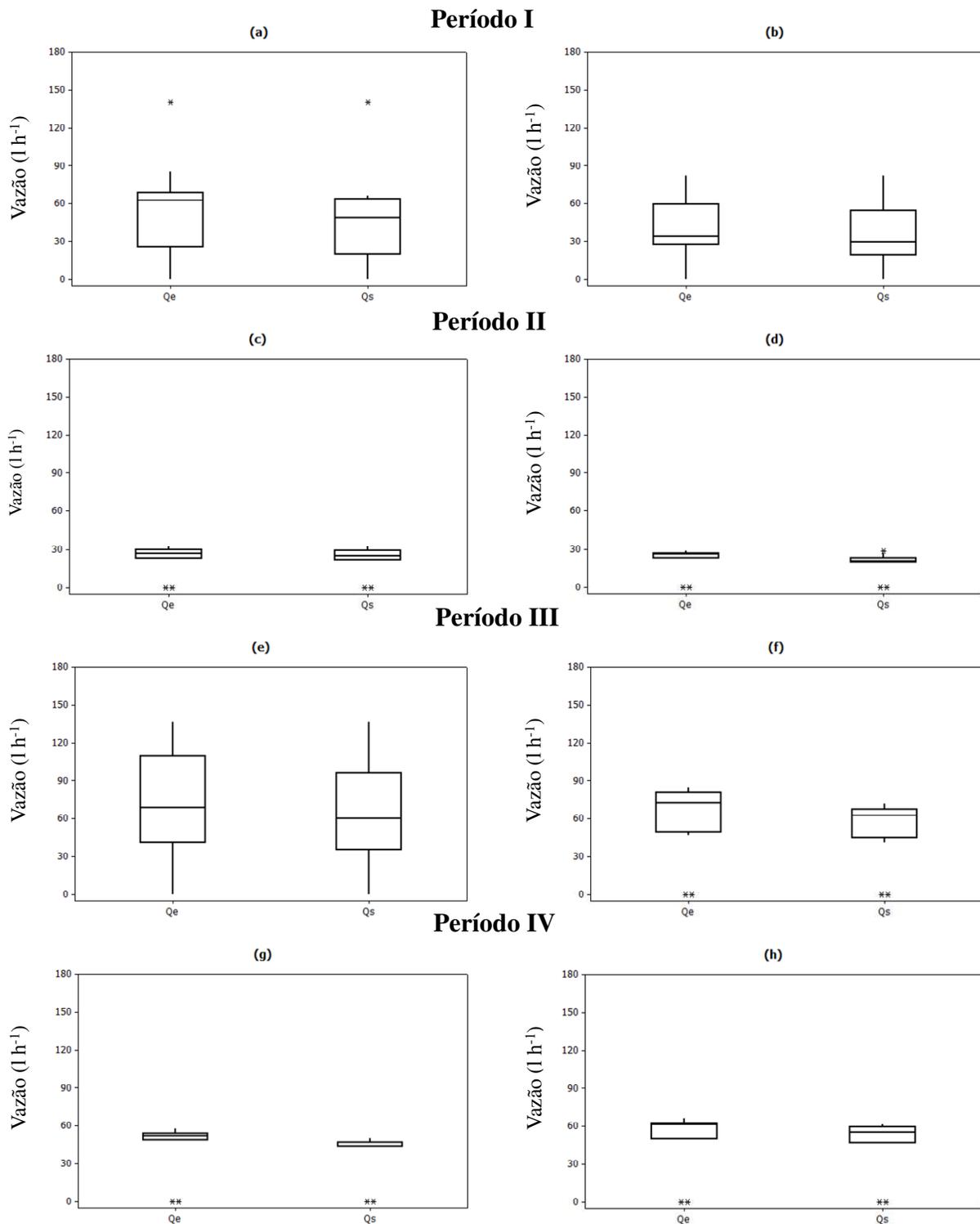


Figura 18. Gráficos “Box Plot” de Q_{eh} e Q_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Tabela 6. Resultados médios horários de Q_{eh} , Q_{sh} , $\Delta Q_h \pm$ desvio padrão, para todos os valores medidos nos períodos I, II, III e IV no leito Brita. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	Q_{eh} ($l\ h^{-1}$)	Q_{sh} ($l\ h^{-1}$)	ΔQ_h ($l\ h^{-1}$)
I	$59,6 \pm 23,1$	$58,0 \pm 23,4$	$1,5 \pm 1,8$
II	$47,4 \pm 31,9$	$46,0 \pm 32,0$	$1,4 \pm 2,1$
III	$47,6 \pm 15,7$	$45,2 \pm 14,7$	$2,3 \pm 2,8$
IV	$60,4 \pm 27,6$	$58,1 \pm 26,8$	$2,3 \pm 2,8$

Pela Tabela 7, o último período monitorado (período IV) apresentou os maiores valores de Q_{eh} ($80,2 \pm 38,8\ l\ h^{-1}$) e Q_{sh} ($74,9 \pm 40,4\ l\ h^{-1}$), seguidos do período III ($Q_{eh} = 55,1 \pm 26,6$ e $Q_{sh} = 47,3 \pm 25,7\ l\ h^{-1}$), do período I ($Q_{eh} = 53,4 \pm 41,4\ l\ h^{-1}$ e $Q_{sh} = 51,3 \pm 41,9\ l\ h^{-1}$) e do período II ($Q_{eh} = 42,1 \pm 19,9\ l\ h^{-1}$ e $Q_{sh} = 39,2 \pm 20,0\ l\ h^{-1}$). O ΔQ_h do período III foi o que apresentou maior valor, com $7,4 \pm 8,1\ l$, seguido do período IV com $5,3 \pm 6,8\ l$, do período II, com $2,9 \pm 3,1\ l$ e, com o menor valor de ΔQ_h , o período I, com $2,2 \pm 3,2\ l$.

Tabela 7. Resultados médios da vazão horária de entrada (Q_{eh}), vazão horária de saída (Q_{sh}) e balanço entre Q_{eh} e Q_{sh} (ΔQ_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	Q_{eh} ($l\ h^{-1}$)	Q_{sh} ($l\ h^{-1}$)	ΔQ_h ($l\ h^{-1}$)
I	$53,5 \pm 41,4$	$51,3 \pm 41,9$	$2,2 \pm 3,2$
II	$42,1 \pm 19,9$	$39,2 \pm 20,0$	$2,9 \pm 3,1$
III	$55,1 \pm 26,6$	$47,3 \pm 25,7$	$7,4 \pm 8,1$
IV	$80,2 \pm 38,8$	$74,9 \pm 40,4$	$5,3 \pm 6,8$

Uma possível explicação do resultado do ΔQ_h da Tabela 7 é devido ao desenvolvimento vegetativo da macrófita cultivada no leito Typha 1. Conforme descrito no item Material e Métodos, a cada término de monitoramento do período (exceto período IV), a parte aérea das plantas era avaliada em relação a algumas variáveis básicas do seu desenvolvimento vegetativo, como altura da planta, número de folhas, massa de matéria fresca e seca e área foliar.

No período III, as plantas apresentaram desenvolvimento vegetativo superior aos dos outros períodos. O número de plantas do período III foi 615, enquanto que os períodos I e II foram 269 e 240 plantas, respectivamente. A massa de matéria fresca (MF), massa de matéria seca (MS) e porcentagem de matéria seca (%MS) das plantas do período III foram respectivamente 41,4 kg, 7,0 kg e 17,1 %, valores estes, exceto a porcentagem de MS do

período II, superiores aos encontrados nos demais períodos (sendo, período I: MF = 28,2 kg; MS = 4,1 kg; %MS = 14,4 % e período II: MF = 21,2; MS = 4,3 kg; %MF = 20,1 %).

A altura média das plantas do período III também foi superior aos outros períodos, com 1,83 m, enquanto que no período II foi de 1,72 m e no período I foi de 1,54 m. Assim também foi o resultado para área foliar, com uma média de 0,24 m² para o período III e 0,16 m² para o período II; no período I não foi avaliada esta variável. Apenas para o número médio de folhas por planta o período III não apresentou valor superior e teve uma média de 11,0 folhas planta⁻¹, enquanto que o período II, com 12,4 folhas planta⁻¹, apresentou valor maior. O período I teve o menor valor, com 9,6 folhas planta⁻¹. Diante da descrição destes resultados, explica-se o maior valor de ΔQ_h ($7,4 \pm 8,1$ l) do leito Typha 1 para o período III.

Também pela Tabela 8 observaram-se valores superiores de Q_{eh} , Q_{sh} e ΔQ_h para o período III ($Q_{eh} = 67,9 \pm 22,9$ l h⁻¹; $Q_{sh} = 58,7 \pm 21,3$ l h⁻¹; $\Delta Q_h = 8,7 \pm 5,7$ l h⁻¹) em relação aos outros períodos. Destacam-se nesta tabela que a maioria dos valores de ΔQ_h foram superiores aos da Tabela 7 (exceto o ΔQ_h do período I, que foi similar) e mais uma vez esta ocorrência pode, possivelmente, ser explicada pelo desenvolvimento vegetativo da macrófita.

Tabela 8. Resultados médios da vazão horária de entrada (Q_{eh}), vazão horária de saída (Q_{sh}) e balanço entre Q_{eh} e Q_{sh} (ΔQ_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	Q_{eh} (l h ⁻¹)	Q_{sh} (l h ⁻¹)	ΔQ_h (l h ⁻¹)
I	57,8 \pm 27,1	55,5 \pm 26,7	2,2 \pm 3,2
II	55,4 \pm 34,5	51,7 \pm 33,7	3,7 \pm 4,5
III	67,9 \pm 22,9	58,7 \pm 21,3	8,7 \pm 5,7
IV	63,2 \pm 15,5	57,6 \pm 13,6	5,6 \pm 4,6

No término do período III do leito Typha 1 (Tabela 7), tinha-se 615 plantas e no leito Typha 2 (Tabela 8) 556. Apesar da população de plantas ser superior no leito Typha 1, sua massa de matéria fresca e seca e também a porcentagem de massa de matéria seca foram inferiores às massas do leito Typha 2 (leito Typha 1: MF = 41,4 kg; MS = 7,0 kg; % MS = 17,1 % e leito Typha 2: MF = 53,6 kg; MS = 12,8 kg; %MS = 23,8 %). A área foliar do leito Typha 2 (Tabela 8 e 0,32 m²) foi superior em 33,3% em relação ao leito Typha 1 (Tabela 7 e 0,24 m²).

O desenvolvimento vegetativo das plantas é ligado diretamente aos elementos meteorológicos e por isso na Tabela 9 encontram-se os valores médios de Radiação Solar, Temperatura do Ar e Déficit de Pressão de Vapor Saturado (DPVS) com desvio padrão dos períodos monitorados. Tais resultados demonstram valores superiores de DPVS ocorridos no período III e esses vem ao encontro dos resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 9. Valores médios e desvio padrão de Radiação Solar, Temperatura do Ar e Déficit de Pressão de Vapor Saturado (DPVS) da Estação Meteorológica do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO/APTA/IAC): Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	Radiação global ($W m^{-2}$)	Temperatura Ar ($^{\circ}C$)	DPVS (KPa)
I	470,8 \pm 265,7	26,6 \pm 2,8	1,2 \pm 0,6
II	529,8 \pm 272,2	26,7 \pm 8,5	1,2 \pm 1,0
III	458,1 \pm 282,9	25,3 \pm 5,1	2,0 \pm 1,0
IV	503,8 \pm 302,9	27,7 \pm 3,4	1,9 \pm 0,8

6.1.2 Qualidade de água

Nas Figuras 19, 20, 21, 22, 23 e 24 têm-se os valores horários medidos de PT_{eh} e PT_{sh} de dias característicos dos quatro períodos monitorados nos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2, respectivamente, na qual se pode notar que tanto PT_{eh} quanto PT_{sh} não possuem uniformidade ao longo do dia.

Na Figura 19a, o valor de PT_{eh} médio e o desvio padrão foram de $1,2 \pm 0,3 mg l^{-1}$ e PT_{sh} de $1,5 \pm 0,4 mg l^{-1}$, com picos de $1,9 mg l^{-1}$ para PT_{eh} e $2,1 mg l^{-1}$ para PT_{sh} , ambos ocorridos às 14h. O ΔPT_h foi de $-4,4 mg$. Na Figura 19b, estas mesmas variáveis se apresentaram da seguinte maneira: PT_{eh} médio e o desvio padrão de $5,6 \pm 1,1 mg l^{-1}$; PT_{sh} médio e o desvio padrão de $1,4 \pm 0,4 mg l^{-1}$; PT_{eh} máximo de $7,3 mg l^{-1}$, às 18h, e PT_{sh} máximo de $2,0 mg l^{-1}$, às 17h e 18h; e ΔPT_h de $42,8 mg$.

Na Figura 19c, observa-se um acompanhamento do formato das curvas de PT_{eh} com PT_{sh} . Seus valores médios e o desvio padrão ficaram em $4,2 \pm 1,3 mg l^{-1}$ e $4,4 \pm 1,4 mg l^{-1}$, respectivamente, para PT_{eh} e PT_{sh} . Os seus valores máximos ocorreram na mesma hora do dia, ou seja, às 10h com valores de $6,9 mg l^{-1}$ para PT_{eh} e $7,1 mg l^{-1}$ para PT_{sh} , apresentando ΔPT_h de $-2,1 mg$.

Na Figura 19d, o valor máximo de PT_{eh} se deu às 18h e foi de $4,3 \text{ mg l}^{-1}$ e de PT_{sh} , às 11h, com $5,3 \text{ mg l}^{-1}$. O valor de PT_{eh} médio e o desvio padrão foram de $4,0 \pm 0,4 \text{ mg l}^{-1}$ e de PT_{sh} de $4,8 \pm 0,3 \text{ mg l}^{-1}$, com ΔPT_h de $-8,1 \text{ mg}$.

Na Figura 19e, o valor de PT_{eh} médio e o desvio padrão foi de $4,2 \pm 0,3 \text{ mg l}^{-1}$ e PT_{sh} de $4,5 \pm 1,0 \text{ mg l}^{-1}$, com picos de $4,7 \text{ mg l}^{-1}$ para PT_{eh} e $6,8 \text{ mg l}^{-1}$ para PT_{sh} , ocorridos às 12h e 9h, respectivamente. O ΔPT_h foi de $-3,6 \text{ mg}$.

Estas mesmas variáveis se apresentaram na Figura 19f da seguinte maneira: PT_{eh} médio e o desvio padrão de $6,8 \pm 0,5 \text{ mg l}^{-1}$; PT_{sh} médio e o desvio padrão de $5,9 \pm 1,7 \text{ mg l}^{-1}$; PT_{eh} máximo de $7,4 \text{ mg l}^{-1}$, às 9h, e PT_{sh} máximo de $9,2 \text{ mg l}^{-1}$, também às 9h; e ΔPT_h de $8,7 \text{ mg}$.

Na Figura 19g observa-se que o maior valor de PT_{eh} foi de $5,7 \text{ mg l}^{-1}$, pico este ocorrido às 10h, enquanto que o seu maior valor de PT_{sh} foi de $4,6 \text{ mg l}^{-1}$ ocorrido às 13h e 17h. Seus valores médios e desvio padrão foram $3,8 \pm 1,0 \text{ mg l}^{-1}$ para PT_{eh} e $4,22 \pm 0,46 \text{ mg l}^{-1}$ para PT_{sh} , e ΔPT_h foi de $-3,7 \text{ mg}$.

Na Figura 19h os valores médios e o desvio padrão de PT_{eh} foram $3,0 \pm 0,5 \text{ mg l}^{-1}$ e de PT_{sh} foram $3,7 \pm 0,4 \text{ mg l}^{-1}$, com valores máximos de PT_{eh} e PT_{sh} de $3,5 \text{ mg l}^{-1}$ ocorrido às 17h e $4,2 \text{ mg l}^{-1}$ ocorrido às 12h, respectivamente. O ΔPT_h foi de $-6,31 \text{ mg}$.

Na Figura 20, encontram-se os mesmos resultados da Figura 19, porém tratam-se de gráficos do tipo “Box Plot”.

Da mesma maneira da Figura 19, descreve-se na Figura 21 os resultados obtidos do monitoramento horário dos quatro períodos, porém se referindo ao leito Typha 1.

Vale ressaltar que a configuração do sistema de entrada de efluente dos leitos cultivados deste experimento ocorreu a partir de um reservatório e foi distribuída numa única linha, por isso para a variável concentração de fósforo total dos valores de entrada (PT_{eh}) para cada dia de cada período monitorado das Figuras 19, 21 e 23 aparecem valores e curvas idênticas.

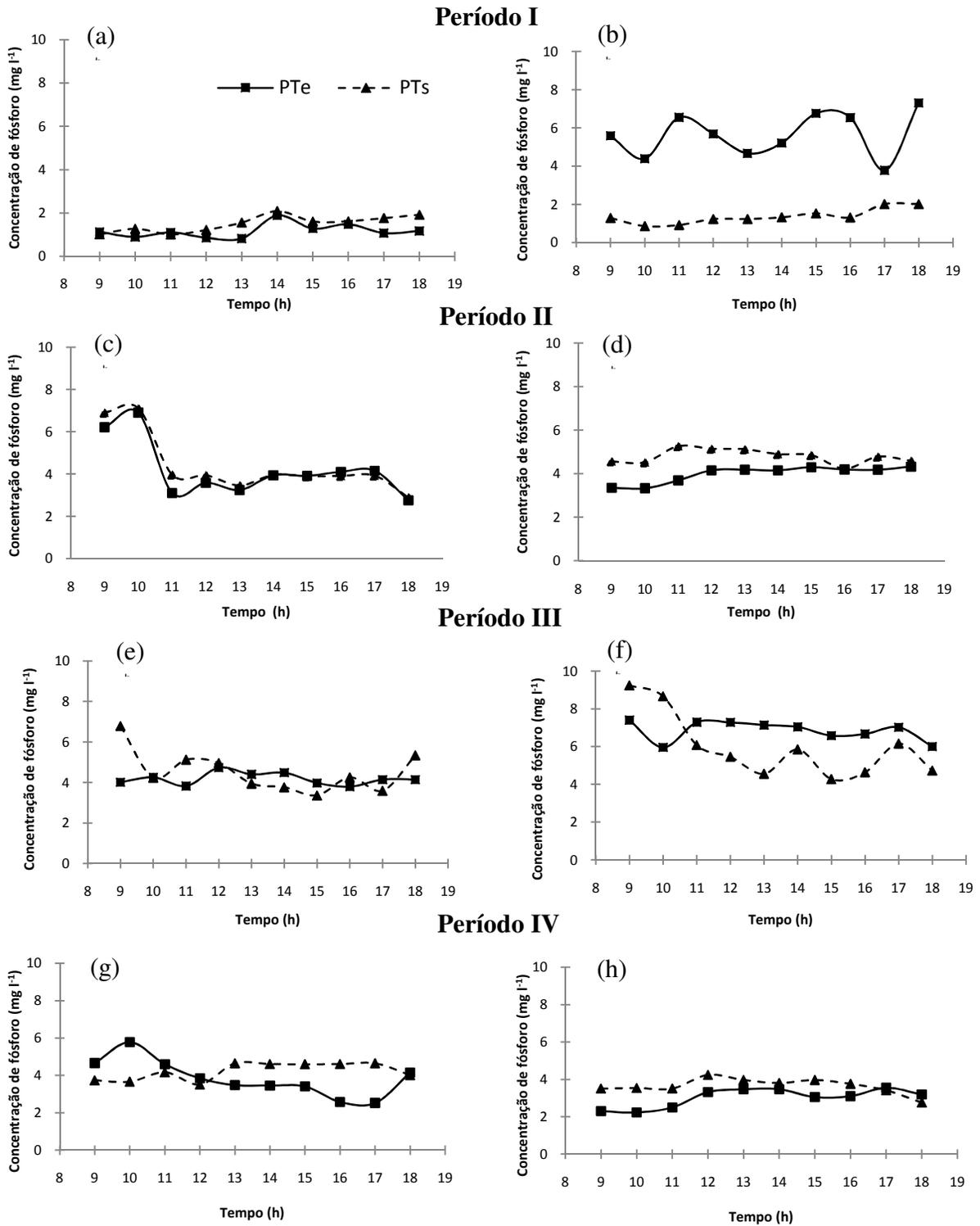


Figura 19. Valor horário de concentração de PT_{ch} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

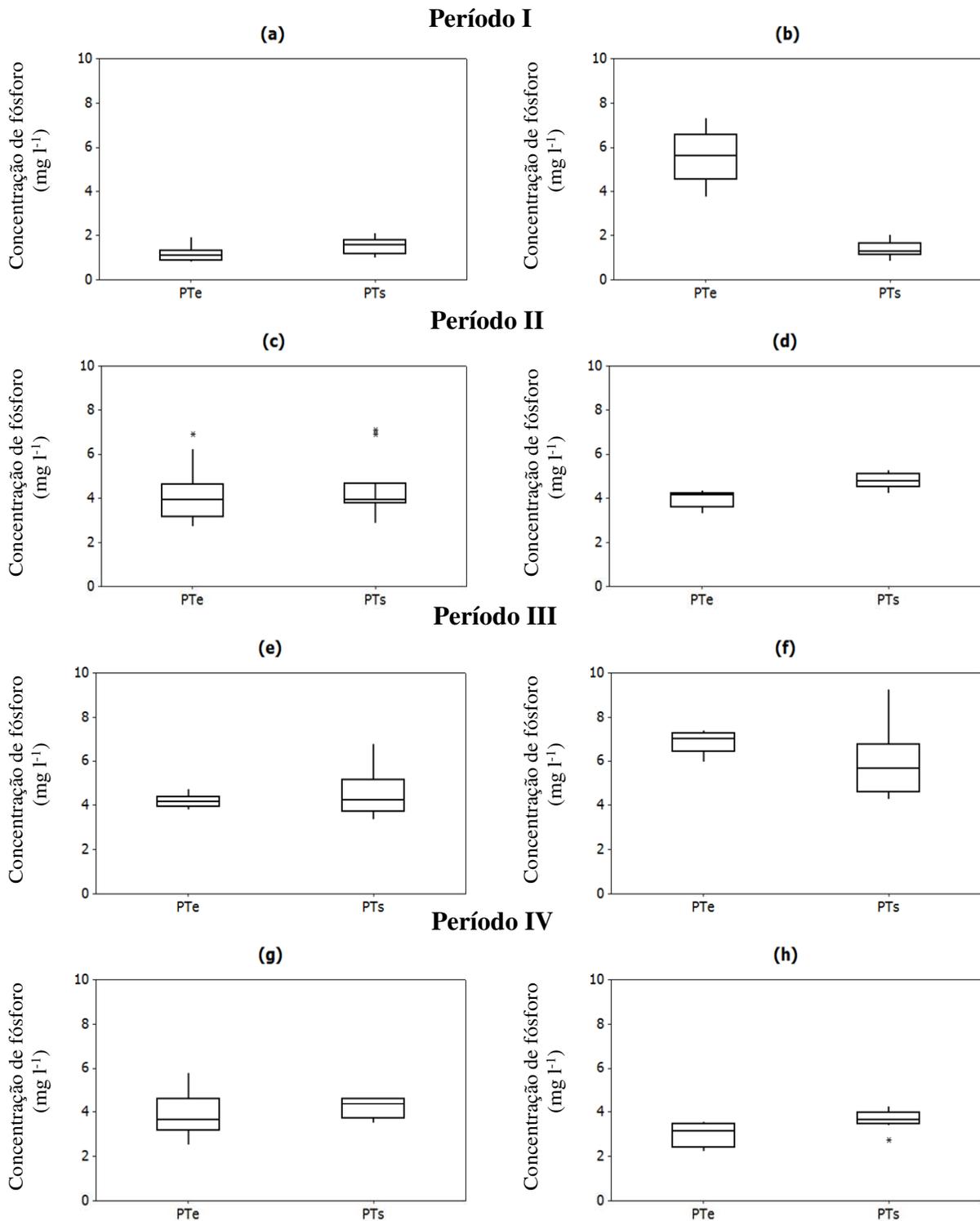


Figura 20. Gráficos “Box Plot” de PT_{ch} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Na Figura 21a, verificou-se que o PT_{eh} médio e desvio padrão foram de $1,2 \pm 0,3 \text{ mg l}^{-1}$ e o PT_{sh} de $1,8 \pm 0,3 \text{ mg l}^{-1}$, com valores máximos de PT_{eh} e PT_{sh} idênticos aos ocorridos na Figura 19a, ou seja, $1,9 \text{ mg l}^{-1}$ para PT_{eh} e $2,1 \text{ mg l}^{-1}$ para PT_{sh} . Seu ΔPT_h foi de $-6,1 \text{ mg}$.

Na Figura 21b, o valor médio e o desvio padrão para PT_{sh} foi $3,6 \pm 1,8 \text{ mg l}^{-1}$, valor este inferior a PT_{eh} ($5,6 \pm 1,1 \text{ mg l}^{-1}$). O valor máximo de PT_{sh} ocorreu às 18h, com $6,6 \text{ mg l}^{-1}$. O ΔPT_h foi de $20,5 \text{ mg}$.

Na Figura 21c, o PT_{sh} médio e o desvio padrão foram de $1,4 \pm 0,2 \text{ mg l}^{-1}$, valor este também inferior ao valor médio e desvio padrão de PT_{eh} ($4,2 \pm 1,3 \text{ mg l}^{-1}$). Observou-se pouca variação dos valores de PT_{sh} , justificados pelo baixo valor do CV de 15,3% e o valor máximo encontrado foi de $1,9 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 17h. O ΔPT_h foi de $28,0 \text{ mg}$.

Na Figura 21d, os valores médios e desvio padrão de PT_{eh} e PT_{sh} foram $4,0 \pm 0,4 \text{ mg l}^{-1}$ e $2,1 \pm 0,2 \text{ mg l}^{-1}$, respectivamente. Os valores máximos foram $4,3 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 18h, para PT_{eh} e $2,5 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 9h e 10h, para PT_{sh} . O ΔPT_h foi $18,4 \text{ mg}$.

Na Figura 21e, os valores médios de PT_{eh} e PT_{sh} foram de $4,1 \text{ mg l}^{-1}$, sendo diferenciados somente pelos seus respectivos desvios padrão que foram $\pm 0,3$ para PT_{eh} e $\pm 0,5$ para PT_{sh} . Os valores máximos também foram próximos, com $4,7 \text{ mg l}^{-1}$, às 12h para PT_{eh} e $4,9 \text{ mg l}^{-1}$ às 18h para PT_{sh} . O ΔPT_h foi de $1,4 \text{ mg}$.

Para a Figura 21f, os valores de PT_{eh} e PT_{sh} médio e o desvio padrão foram respectivamente $6,8 \pm 0,5 \text{ mg l}^{-1}$ e $4,5 \pm 0,3 \text{ mg l}^{-1}$. O valor máximo de PT_{eh} ($7,4 \text{ mg l}^{-1}$) ocorreu às 9h, valor este superior em 43,4% em relação ao PT_{sh} ($5,16 \text{ mg l}^{-1}$), que ocorreu às 15h. O ΔPT_h foi de $23,5 \text{ mg}$.

Na Figura 21g, o PT_{eh} médio e o desvio padrão foram de $3,85 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e o PT_{sh} médio e o desvio padrão foram de $3,4 \pm 0,7 \text{ mg l}^{-1}$. Os valores máximos encontrados de PT_{eh} e PT_{sh} foram $5,8 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 10h, e $4,4 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 18h. O ΔPT_h foi de $4,2 \text{ mg}$.

Na Figura 21h, o valor médio e desvio padrão encontrado para PT_{sh} foi $3,7 \pm 0,5 \text{ mg l}^{-1}$, valor este superior 33,3% em relação ao PT_{eh} ($3,0 \pm 0,5 \text{ mg l}^{-1}$). O valor máximo de PT_{eh} foi de $3,5 \text{ mg l}^{-1}$ e ocorreu às 17h e PT_{sh} ocorreu às 11h, com $4,5 \text{ mg l}^{-1}$. O ΔPT_h foi de $-6,97 \text{ mg}$.

Da mesma maneira da Figura 21, encontram-se na Figura 22 os resultados obtidos do monitoramento horário dos quatro períodos, porém se referindo aos gráficos do tipo “Box Plot”.

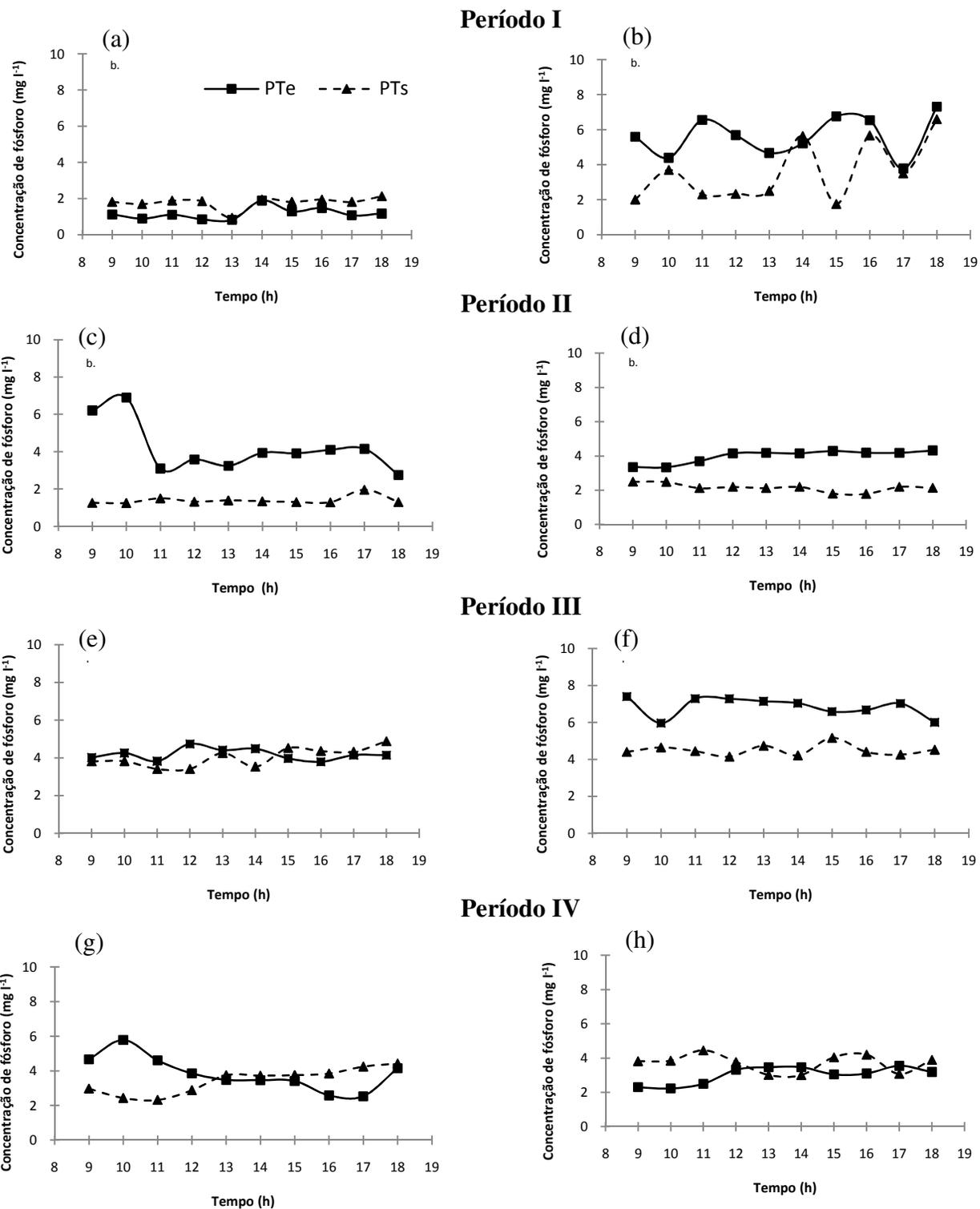


Figura 21. Valor horário de concentração de PT_{eh} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

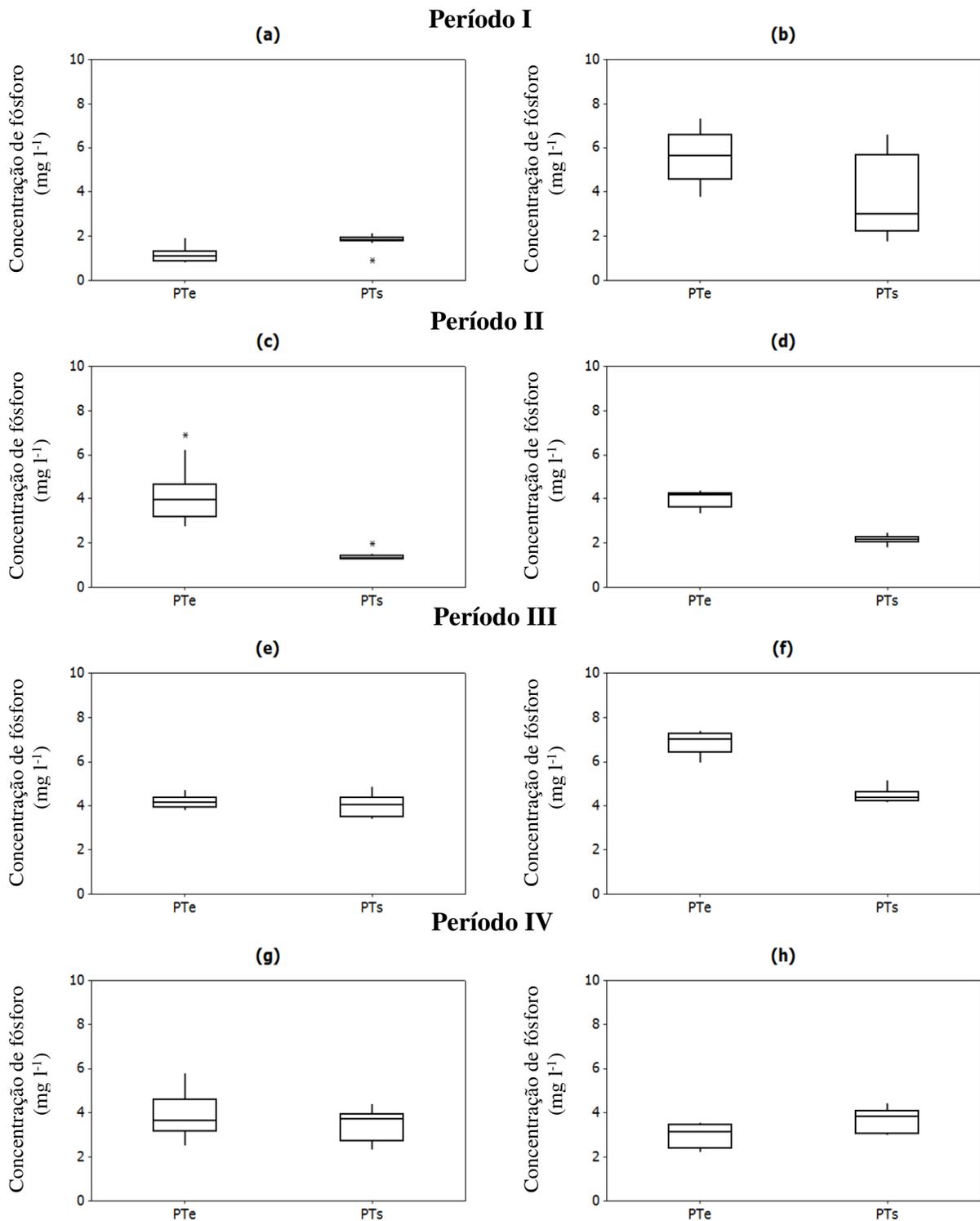


Figura 22. Gráficos “Box Plot” de PT_{eh} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Semelhantes resultados, aos apresentados na Figura 21, são apresentados na Figura 23, na qual os mesmos se referem ao monitoramento ocorrido para o leito Typha 2, sendo escolhidos dois dias consecutivos e característicos de cada período.

Na Figura 23a, nota-se que o valor de PT_{eh} médio e desvio padrão foi $1,2 \pm 0,3 \text{ mg l}^{-1}$ e o PT_{sh} de $1,8 \pm 0,5 \text{ mg l}^{-1}$, sendo este valor de PT_{sh} semelhante ao encontrado na Figura 21a ($PT_{sh} = 1,8 \pm 0,3 \text{ mg l}^{-1}$). Os valores PT_{eh} e PT_{sh} máximos foram respectivamente $1,8 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 14h, e $3,4 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 16h. O ΔPT_h foi de $-6,5 \text{ mg}$, com diferença de apenas $0,4 \text{ mg}$ do ΔPT_h do leito Typha 1 (Figura 21a; $\Delta PT_h = -6,1 \text{ mg}$).

Na Figura 23b o valor médio e desvio padrão encontrados para PT_{sh} foi $1,8 \pm 0,2 \text{ mg l}^{-1}$, valor este inferior a PT_{eh} ($5,6 \pm 1,1 \text{ mg l}^{-1}$). O máximo de PT_{sh} ocorreu às 18h, com $1,9 \text{ mg l}^{-1}$. O ΔPT_h foi de $39,1 \text{ mg}$, superior 90,7% em relação ao ΔPT_h da Figura 21b ($20,5 \text{ mg}$).

Na Figura 23c, o PT_{sh} médio e o desvio padrão foram de $3,1 \pm 1,1 \text{ mg l}^{-1}$, valor este também inferior ao valor médio de PT_{eh} ($4,2 \pm 1,3 \text{ mg l}^{-1}$). Observou-se pouca variação dos valores de PT_{sh} , justificados pelo baixo valor do CV de 2,85% e o valor máximo encontrado foi de $3,2 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 15h. O ΔPT_h foi de $11,0 \text{ mg}$.

Na Figura 23d, os valores médios e os desvios padrões de PT_{eh} e PT_{sh} foram, respectivamente, $4,0 \pm 0,4 \text{ mg l}^{-1}$ e $3,3 \pm 0,1 \text{ mg l}^{-1}$. Os valores máximos foram $4,3 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 18h para PT_{eh} e $3,4 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 9h para PT_{sh} . O ΔPT_h foi $6,8 \text{ mg}$.

Na Figura 23e, os valores médios e os desvios padrões de PT_{eh} e PT_{sh} foram, respectivamente, $4,1 \pm 0,3 \text{ mg l}^{-1}$ e $4,4 \pm 0,5 \text{ mg l}^{-1}$. O valor máximo de PT_{eh} , ocorreu às 12h, e foi $4,7 \text{ mg l}^{-1}$ e, para PT_{sh} foi de $5,4 \text{ mg l}^{-1}$, às 18h. O ΔPT_h foi de $-2,1 \text{ mg}$.

A Figura 23f, o PT_{eh} e PT_{sh} médio e desvio padrão foi $6,8 \pm 0,5 \text{ mg l}^{-1}$ e $4,8 \pm 0,5 \text{ mg l}^{-1}$, respectivamente. O valor máximo de PT_{eh} ($7,4 \text{ mg l}^{-1}$) ocorreu às 9h e foi 29,8% superior em relação ao PT_{sh} ($5,7 \text{ mg l}^{-1}$) que ocorreu às 17h. O ΔPT_h foi de $19,6 \text{ mg}$.

Na Figura 23g, o PT_{eh} médio e o desvio padrão foram de $3,85 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e o PT_{sh} médio e desvio padrão foram de $3,4 \pm 0,8 \text{ mg l}^{-1}$. Os valores máximos encontrados de PT_{eh} e PT_{sh} foram $5,8 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 10h, e $4,2 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido às 18h. O ΔPT_h foi de $5,0 \text{ mg}$.

Na Figura 23h, o valor médio e o desvio padrão para PT_{sh} foi $3,6 \pm 0,6 \text{ mg l}^{-1}$, valor este superior em 20,0 % em relação à PT_{eh} ($3,0 \pm 0,5 \text{ mg l}^{-1}$). O PT_{eh} máximo foi de $3,5 \text{ mg l}^{-1}$ e ocorreu às 17h e para PT_{sh} , ocorreu às 10h, com $4,0 \text{ mg l}^{-1}$. O ΔPT_h foi $-5,3 \text{ mg}$.

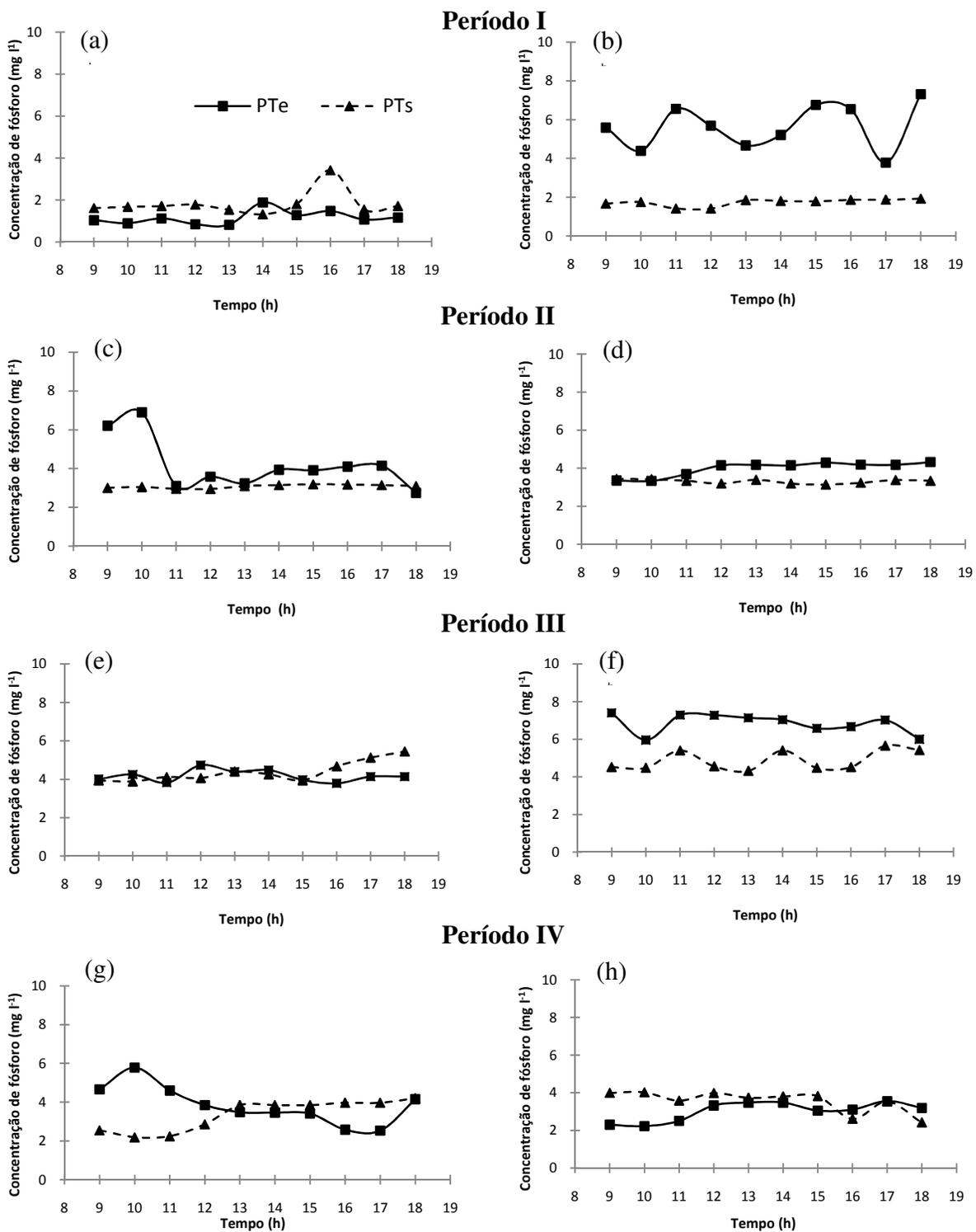


Figura 23. Valor horário de concentração de PT_{eh} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Da mesma maneira da Figura 23, encontram-se na Figura 24 os resultados obtidos do monitoramento horário dos quatro períodos, porém se referindo aos gráficos do tipo “Box Plot”.

A descrição dos resultados das Figuras 19, 21 e 23 visaram mostrar que, assim como nas figuras relacionadas com as vazões, não existe uniformidade das concentrações de fósforo total e nem uma tendência ao longo do dia.

A soma dos valores de ΔPT_h das Figuras 19, 21 e 23 demonstram uma ordem de classificação com valor superior para o leito Typha 1 ($\Delta PT_h = 82,9$ mg), seguido do leito Typha 2 ($\Delta PT_h = 67,5$ mg) e, por fim, do leito Brita ($\Delta PT_h = 23,3$ mg), sugerindo desta maneira que o cultivo da macrófita afeta positivamente a retenção de fósforo. Tal afirmação é confirmada com a carga de fósforo resultante do produto concentração de fósforo e vazão. Isso está descrito nas Figuras 19, 20 e 21 e nas Tabelas 13, 14 e 15.

Os próximos resultados apresentados se referem às tabelas de concentração de fósforo horárias (Tabela 10, 11 e 12) que foram construídas a partir do cálculo de todos os valores horários medidos nos períodos I, II, III e IV e possuem os resultados médios e desvio padrão de PT_{eh} , PT_{sh} e ΔPT_h .

A ordem de classificação decrescente dos resultados médios das concentrações de fósforo de entrada (PT_{eh}) e saída (PT_{sh}) dos quatro períodos monitorados para os leitos Brita, Typha 1 e Typha 2 foram: período III, seguido do período IV, período II e período I. Para o ΔPT_h a ordem não seguiu esta classificação e cada leito teve uma ordem particular.

Como já descrito anteriormente, a configuração do sistema de entrada do efluente nos leitos cultivados deste experimento ocorreu a partir de um reservatório e foi distribuído numa única linha, por isso a variável concentração de fósforo total de entrada (PT_{eh}) apresenta o mesmo valor em todos os leitos das Tabelas 10, 11 e 12.

Na Tabela 10 (leito Brita), verifica-se que os valores médios de PT_{eh} foram maiores no período III com $5,4 \pm 1,2$ mg l⁻¹, seguidos do período IV com $4,5 \pm 1,1$ mg l⁻¹, período II com $3,8 \pm 1,2$ mg l⁻¹ e período I com $3,2 \pm 2,1$ mg l⁻¹.

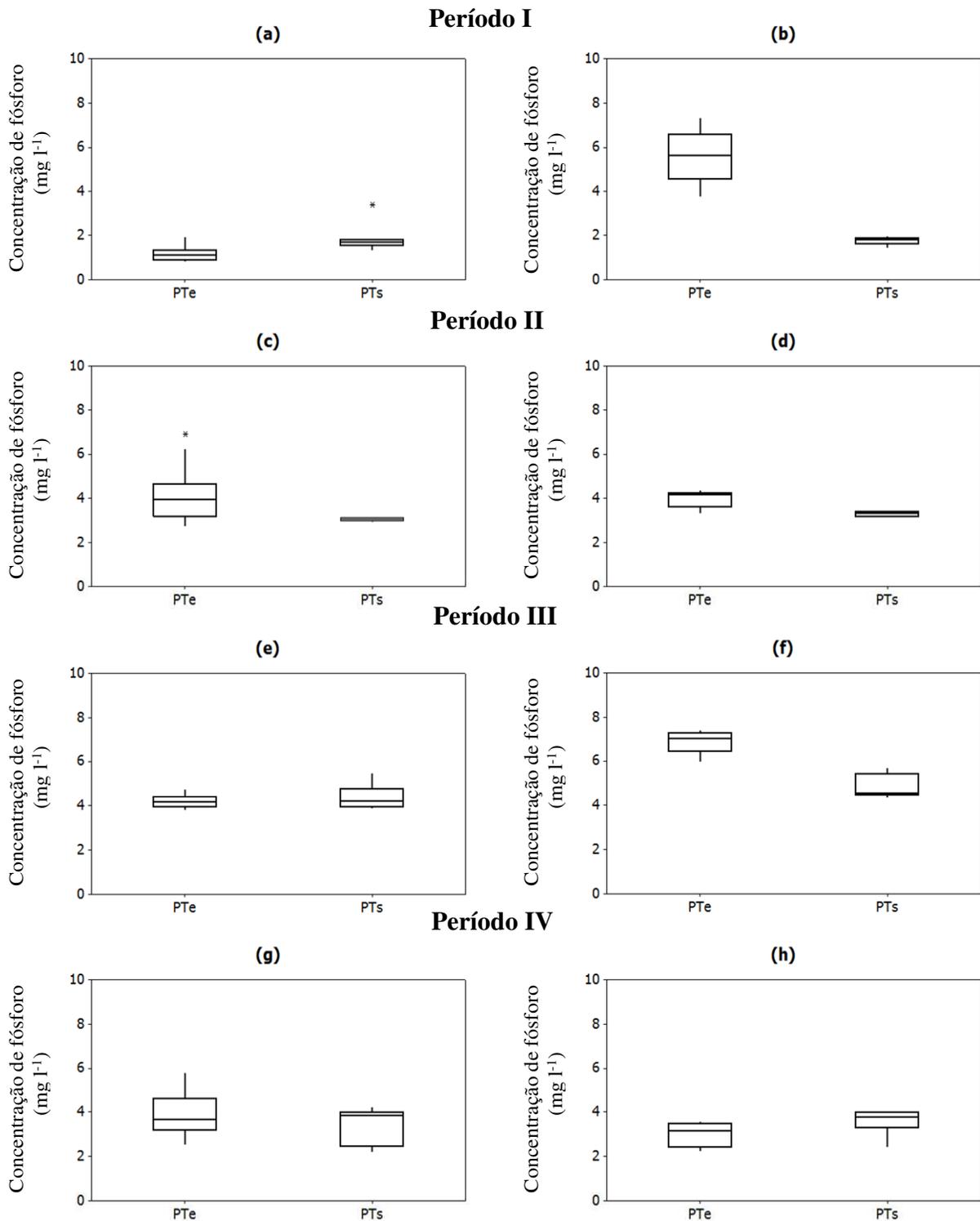


Figura 24. Gráficos “Box Plot” de PT_{ch} e PT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Tabela 10. Resultados médios de concentração horária de fósforo total de entrada (PT_{eh}), fósforo total de saída (PT_{sh}) e balanço entre PT_{eh} e PT_{sh} (ΔPT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	PT_{eh} (mg l ⁻¹)	PT_{sh} (mg l ⁻¹)	ΔPT_h (mg)
I	3,2 \pm 2,1	2,2 \pm 0,7	1,1 \pm 2,4
II	3,8 \pm 1,2	3,2 \pm 1,1	0,6 \pm 1,2
III	5,4 \pm 1,2	5,0 \pm 1,1	-0,2 \pm 1,5
IV	4,5 \pm 1,1	4,4 \pm 0,7	0,1 \pm 1,0

Nesta mesma Tabela 10, os valores médios e desvio padrão de PT_{sh} foram: período III com 5,0 \pm 1,1 mg l⁻¹; período IV com 4,4 \pm 0,7 mg l⁻¹; período II com 3,2 \pm 1,1 mg l⁻¹ e período I com 2,2 \pm 0,7 mg l⁻¹. Para ΔPT_h , a ordem de classificação e seus valores médios foram: período I com 1,1 \pm 2,4 mg; período II com 0,6 \pm 1,2 mg; período IV com 0,1 \pm 1,0 mg e período III com -0,2 \pm 1,5 mg.

No leito Typha 1 (Tabela 11), estes mesmos resultados de PT_{sh} foram: período III com 4,6 \pm 1,3 mg l⁻¹; período IV com 4,5 \pm 1,7 mg l⁻¹; período II com 3,0 \pm 1,1 mg l⁻¹ e período I com 2,6 \pm 1,7 mg l⁻¹. Para ΔPT_h , a ordem de classificação decrescente e seus valores médios e desvio padrão foram: período II com 0,8 \pm 1,3 mg; período III com 0,7 \pm 1,6 mg; período I com 0,6 \pm 1,7 mg e período IV com 0,0 \pm 1,6 mg.

Tabela 11. Resultados médios de concentração horária de fósforo total de entrada (PT_{eh}), fósforo total de saída (PT_{sh}), e balanço entre PT_{eh} e PT_{sh} (ΔPT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	PT_{eh} mg l ⁻¹)	PT_{sh} (mg l ⁻¹)	ΔPT_h (mg)
I	3,2 \pm 2,1	2,6 \pm 1,7	0,6 \pm 1,7
II	3,8 \pm 1,2	3,0 \pm 1,1	0,8 \pm 1,3
III	5,4 \pm 1,2	4,6 \pm 1,3	0,7 \pm 1,6
IV	4,5 \pm 1,1	4,5 \pm 1,7	0,0 \pm 1,6

Na Tabela 12, o leito Typha 2 apresentou a seguinte ordem de classificação decrescente e os seguintes resultados para PT_{sh} : período III com 4,7 \pm 1,3 mg l⁻¹; período IV com 4,5 \pm 1,6 mg l⁻¹; período II com 3,0 \pm 1,1 mg l⁻¹ e período I com 2,1 \pm 0,8 mg l⁻¹. Para ΔPT_h , a ordem de classificação e seus valores médios foram: período I com 1,1 \pm 2,3 mg; período II com 0,8 \pm 1,2 mg; período III com 0,7 \pm 1,6 mg e período IV com 0,0 \pm 1,6 mg.

Tabela 12. Resultados médios de concentração horária de fósforo total de entrada (PT_{eh}), fósforo total de saída (PT_{sh}), e balanço entre PT_{eh} e PT_{sh} (ΔPT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	PT_{eh} (mg l ⁻¹)	PT_{sh} (mg l ⁻¹)	ΔPT_h (mg)
I	3,2 \pm 2,1	2,1 \pm 0,8	1,1 \pm 2,3
II	3,8 \pm 1,2	3,0 \pm 1,1	0,8 \pm 1,2
III	5,4 \pm 1,2	4,7 \pm 1,3	0,7 \pm 1,6
IV	4,5 \pm 1,1	4,5 \pm 1,6	0,0 \pm 1,6

Os resultados médios e desvio padrão de ΔPT_h dos leitos Typha 1 (Tabela 11) e Typha 2 (Tabela 12) foram similares para quase todos os períodos, exceto para o período I, em que o ΔPT_h do leito Typha 1 foi inferior ao leito Typha 2 (ΔPT_h leito Typha 1 = 0,6 \pm 1,7 mg l⁻¹; ΔPT_h leito Typha 2 = 1,1 \pm 2,3 mg l⁻¹).

Os próximos resultados apresentados referem-se à variável carga total de fósforo (KT) e nas Figuras 25, 26, 27, 28 e 29 têm-se os valores horários medidos de KT_{eh} , KT_{sh} e a diferença entre a entrada e saída da carga total (ΔKT_h) de dias característicos e consecutivos dos quatro períodos monitorados nos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2, respectivamente.

Na Figura 25 descrevem-se os resultados ocorridos no leito Brita. Para a Figura 25a, as médias e os desvios padrões de KT_{eh} e KT_{sh} foram 58,9 \pm 27,0 mg h⁻¹ e 80,7 \pm 28,6 mg h⁻¹, respectivamente. Seus valores máximos de carga total de fósforo, seja de entrada ou de saída, ocorreram às 14h do dia, com valores de 105,2 mg h⁻¹ para KT_{eh} e 112,9 mg h⁻¹ para KT_{sh} . O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de -21,73 \pm 13,2 mg h⁻¹, sendo que o maior valor de ΔKT_h ocorreu às 16h e foi de -5,0 mg. As somas dos valores de ΔKT_h deste dia resultaram em -217,3 mg.

Na Figura 25b, a KT_{eh} média e o desvio padrão foi de 242,4 \pm 161,6 mg h⁻¹ e para a KT_{sh} média e o desvio padrão foi de 50,2 \pm 27,8 mg h⁻¹. Seus picos ocorreram às 9h, sendo 684 mg h⁻¹ para KT_{eh} , valor este superior em 550% em relação ao seu dia anterior (105 mg h⁻¹) e 125,5 mg h⁻¹ para KT_{sh} , superior em 11,2% em relação ao valor máximo de KT_{sh} do dia anterior (112,9 mg h⁻¹). O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de 189,5 \pm 128,5 mg e o maior valor de ΔKT_h foi de 531,7 mg, ocorrido às 9h. A soma de ΔKT_h foi 1895,3 mg.

A Figura 25c apresentou média e desvio padrão de 314,6 \pm 103,8 mg h⁻¹ de KT_{eh} e 324,7 \pm 99,5 mg h⁻¹ de KT_{sh} . O maior valor medido de KT_{eh} foi 546,5 mg h⁻¹ e para KT_{sh} de 536,8 mg h⁻¹, ambos ocorridos às 10h. O ΔKT_h médio foi de -10,2 mg, sendo o maior valor de

ΔKT_h de 16,9 mg, ocorrido às 17h do dia. A soma do balanço de entrada e saída da carga de fósforo total foi de -100,3 mg.

Na Figura 25d, tem-se valores médios e os desvios padrões de KT_{eh} e KT_{sh} que foram de $386,5 \pm 36,7 \text{ mg h}^{-1}$ e $459,1 \pm 29,6 \text{ mg h}^{-1}$, respectivamente. O valor máximo de KT_{eh} ocorreu às 18h e foi de $419,9 \text{ mg h}^{-1}$ e de KT_{sh} de $492,3 \text{ mg h}^{-1}$, ocorrido às 11h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de $-72,6 \pm 40,6 \text{ mg}^{-1}$. A maior diferença dos valores de entrada e saída ocorreu às 16h do dia e foi de -3,8 mg. As somas de todos os valores de ΔKT_h foram de -725,9 mg.

Na Figura 25e, a KT_{eh} média e o desvio padrão foi de $236,8 \pm 39,4 \text{ mg h}^{-1}$ e a KT_{sh} média e o desvio padrão foi de $245,4 \pm 85,2 \text{ mg h}^{-1}$. A KT_{eh} máxima, ocorrida às 13h, foi de $293,0 \text{ mg h}^{-1}$ e a KT_{sh} máxima foi de $427,1 \text{ mg h}^{-1}$, ocorrida às 9h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de $-8,6 \pm 70,3 \text{ mg}$, sendo às 13h o horário em que ocorreu a maior diferença dos valores de entrada e saída, com 87,4 mg. A soma de todos os valores de ΔKT_h foi de -86,1 mg.

A Figura 25f apresentou valores médios e desvio padrão de KT_{eh} e KT_{sh} de $403,6 \pm 70,7 \text{ mg h}^{-1}$ e $331,48 \pm 87,9 \text{ mg h}^{-1}$, respectivamente. O KT_{eh} máximo foi de $543,4 \text{ mg h}^{-1}$, valor este 85,5% superior ao valor máximo de KT_{eh} do dia anterior ($293,0 \text{ mg h}^{-1}$) e isso ocorreu às 17h do dia. Para KT_{sh} máximo, ocorrido às 10h, o valor foi de $467,6 \text{ mg h}^{-1}$ e superior em 9,5% em relação ao KT_{sh} do dia anterior ($427,1 \text{ mg h}^{-1}$). A maior diferença entre os valores de entrada e saída foi 180,0 mg, ocorrida às 13h do dia, tendo ΔKT_h médio e o desvio padrão de $72,1 \pm 93,1 \text{ mg}$. A soma de todos os valores de ΔKT_h foi de 721,3 mg.

Na Figura 25g, os valores médios e os desvios padrões de KT_{eh} e KT_{sh} foram $149,1 \pm 86,4 \text{ mg h}^{-1}$ e $148,3 \pm 49,2 \text{ mg h}^{-1}$, respectivamente, e seus máximos foram $293,6 \text{ mg h}^{-1}$ para KT_{eh} e $228,9 \text{ mg h}^{-1}$ para KT_{sh} , ambos ocorridos às 9h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão foi de $0,83 \pm 54,6 \text{ mg}$ e a maior diferença entre KT_{eh} e KT_{sh} foi de 111,9 mg, às 9h. A soma de todos os valores do ΔKT_h foi de 8,33 mg.

Na Figura 25h, KT_{eh} média e o desvio padrão foram de $119,5 \pm 34,8 \text{ mg h}^{-1}$ e KT_{sh} média e o desvio padrão de $145,6 \pm 50,1 \text{ mg h}^{-1}$. Os maiores valores encontrados de KT_{eh} foram $162,4 \text{ mg h}^{-1}$ e ocorreram às 13h, e os maiores valores de KT_{sh} foram $198,4 \text{ mg h}^{-1}$, ocorridos às 12h do dia. A maior diferença entre os valores de entrada e saída foi 9,43 mg e ocorreu às 17h do dia, apresentando ΔKT_h médio e o desvio padrão de $-26,01 \pm 25,7 \text{ mg}$. A soma de todos os valores de ΔKT_h foi de -260,9 mg.

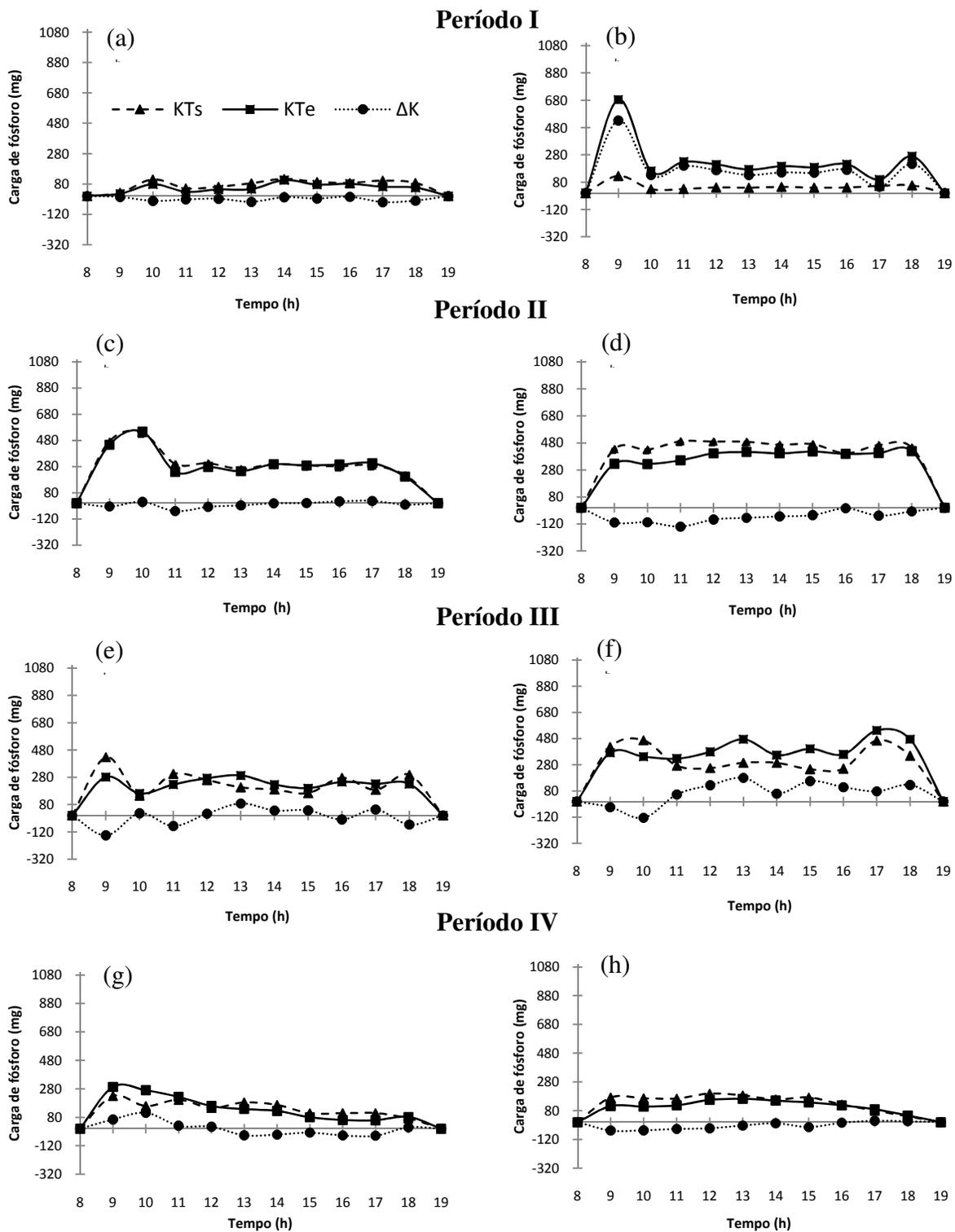


Figura 25. Valor horário de carga de KT_{eh} , KT_{sh} e ΔKT_h de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e); 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Na Figura 26, encontram-se os mesmos resultados obtidos para a Figura 25, porém trata-se de gráficos do tipo “Box Plot”.

Da mesma maneira da Figura 25, descreve-se na Figura 27 os resultados obtidos do monitoramento horário dos quatro períodos, porém se referindo ao leito Typha 1.

Na Figura 27a, a média de KT_{eh} e o desvio padrão foi de $19,1 \pm 14,8 \text{ mg h}^{-1}$ e de KT_{sh} de $19,1 \pm 26,8 \text{ mg h}^{-1}$. Os valores máximos de KT_{eh} e KT_{sh} foram respectivamente $47,4 \text{ mg h}^{-1}$ e $76,6 \text{ mg h}^{-1}$, ambos ocorridos às 9h. O ΔKT_h médio e desvio padrão foi de $-0,02 \pm 14,1 \text{ mg}$, a maior diferença entre KT_{eh} e KT_{sh} ocorreu às 14h, com $13,3 \text{ mg}$ e a soma de todos os valores de ΔKT_h foi de $-0,18 \text{ mg}$.

Para a Figura 27b, a média de KT_{eh} e o desvio padrão foram $92,5 \pm 66,3 \text{ mg h}^{-1}$ e de KT_{sh} $39,7 \pm 60,7 \text{ mg h}^{-1}$. Os valores máximos de KT_{eh} e KT_{sh} foram respectivamente $252,9 \text{ mg h}^{-1}$ e $209,8 \text{ mg h}^{-1}$, ambos ocorridos às 10h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de $52,8 \pm 29,4 \text{ mg}$, a maior diferença entre KT_{eh} e KT_{sh} ocorreu às 9h, com $114,6 \text{ mg}$, e a soma de todos os valores de ΔKT_h deste dia foi $528,3 \text{ mg}$.

Para a Figura 27c, a média de KT_{eh} e o desvio padrão foi de $282,4 \pm 82,2 \text{ mg h}^{-1}$ e de KT_{sh} de $90,7 \pm 17,4 \text{ mg h}^{-1}$. Seus valores máximos de KT_{eh} e KT_{sh} foram $447,1 \text{ mg h}^{-1}$, ocorrido às 10h, e $137,6 \text{ mg h}^{-1}$, ocorrido às 17h. O ΔKT_h médio e desvio padrão foi de $191,7 \pm 88,6 \text{ mg}$ e a maior diferença entre KT_{eh} e KT_{sh} foi de $370,6 \text{ mg}$, ocorrido às 10h. A soma dos valores de ΔKT_h foi de $1917,0 \text{ mg}$.

Para a Figura 27d a média de KT_{eh} e o desvio padrão foram de $77,3 \pm 15,4 \text{ mg h}^{-1}$ e de KT_{sh} de $37,4 \pm 4,2 \text{ mg h}^{-1}$. Os máximos de KT_{eh} e KT_{sh} foram $97,8 \text{ mg h}^{-1}$ e $43,4 \text{ mg h}^{-1}$, respectivamente, tendo ambos ocorrido às 17h. O ΔKT_h médio foi de $39,9 \text{ mg h}^{-1}$ e a maior diferença entre os valores de KT_{eh} e KT_{sh} foi de $60,44 \text{ mg}$, ocorrida às 15h. A soma de todos os valores ΔKT_h foi de $399,4 \text{ mg}$.

Na Figura 27e, a média de KT_{eh} e o desvio padrão foram de $194,3 \pm 27,7 \text{ mg h}^{-1}$ e de KT_{sh} de $156,8 \pm 33,8 \text{ mg h}^{-1}$. Os valores máximos de KT_{eh} e KT_{sh} foram de $255,4 \text{ mg h}^{-1}$ e $210,8 \text{ mg h}^{-1}$, respectivamente, com valores máximos de KT_{eh} ocorridos às 12h e de KT_{sh} às 18h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de $35,8 \pm 42,9$ e a maior diferença de KT_{eh} e KT_{sh} foi às 12h, com $108,1 \text{ mg}$. A soma de todos os valores de ΔKT_h foi de $375,6 \text{ mg}$.

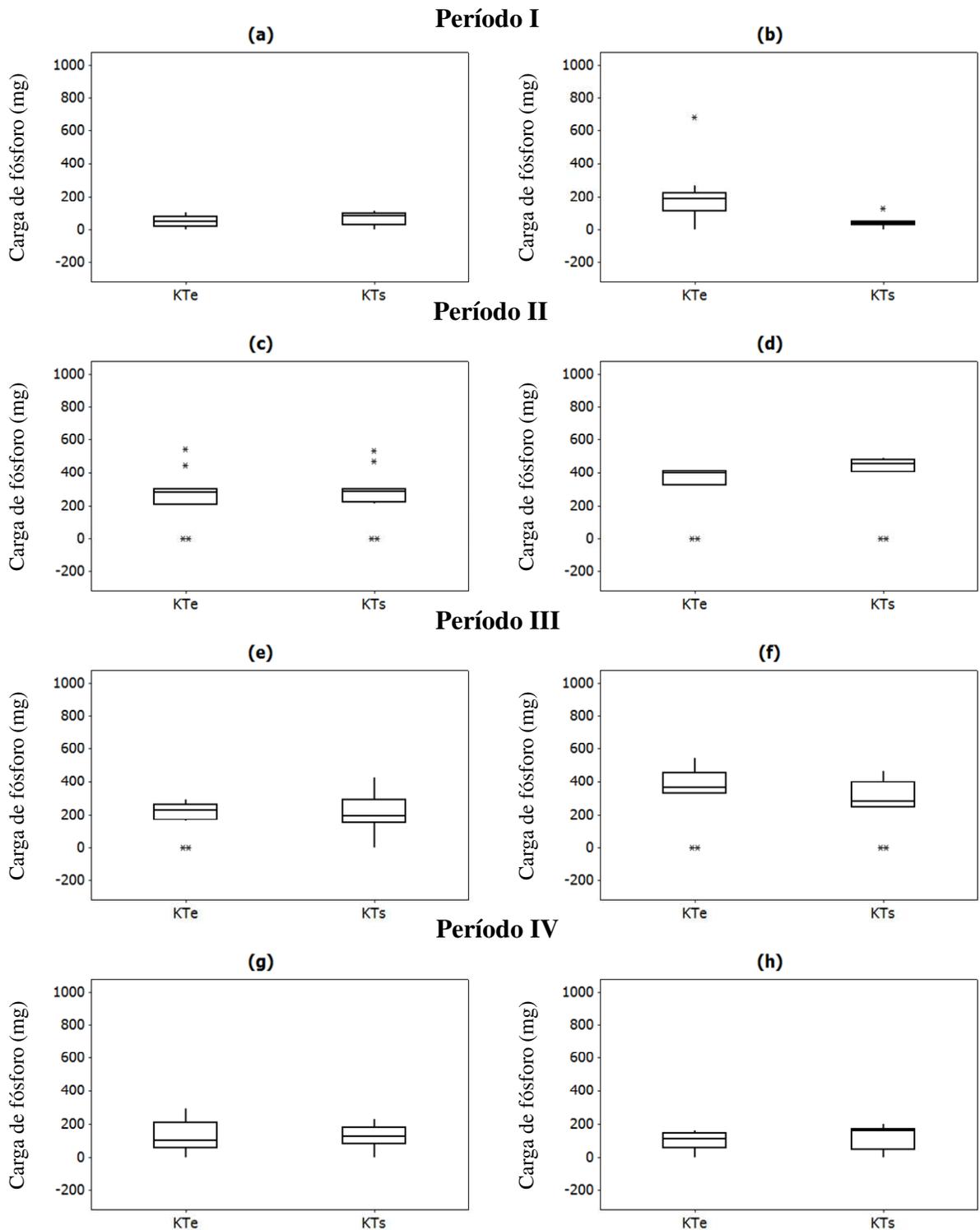


Figura 26. Gráficos “Box Plot” de KT_{ch} e KT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e); 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Para a Figura 27f, a média e o desvio padrão de KT_{eh} foram de $649,5 \pm 189,8 \text{ mg h}^{-1}$ e de KT_{sh} de $394,4 \pm 136,2 \text{ mg h}^{-1}$. Os valores máximos de KT_{eh} e KT_{sh} foram respectivamente $912,5 \text{ mg h}^{-1}$, ocorrido às 13h, e $640,87 \text{ h}^{-1}$, às 15h, horários estes iguais aos horários de ocorrência dos valores máximos de Q_{eh} e Q_{sh} . Neste dia o ΔKT_h médio e o desvio padrão foi de $255,0 \pm 89,8 \text{ mg}$, sendo a máxima diferença encontrada dos valores de entrada e saída de $108,1 \text{ mg}$, ocorrida às 12h. A soma de todos os valores de ΔKT_h foi de $2550,8 \text{ mg}$.

Para a Figura 27g, os valores médios de KT_{eh} e KT_{sh} e desvio padrão foram respectivamente $203,1 \pm 46,9 \text{ mg h}^{-1}$ e $162,4 \pm 48,3 \text{ mg h}^{-1}$, apresentando picos às 10h de $301,7 \text{ mg h}^{-1}$ para KT_{eh} e $238,7 \text{ mg h}^{-1}$ para KT_{sh} , às 18h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de $40,7 \pm 78,4 \text{ mg}$, sendo a maior diferença de KT_{eh} e KT_{sh} ocorrida às 10h do dia, com valores de $196,7 \text{ mg}$. A soma de todos os valores de ΔKT_h foi de $406,9 \text{ mg}$.

Na Figura 27h, os valores médios e desvio padrão de KT_{eh} foram $100,5 \pm 20,2 \text{ mg h}^{-1}$ e para KT_{sh} de $107,7 \pm 20,6 \text{ mg h}^{-1}$. Os maiores valores para KT_{sh} foram de $124,9 \text{ mg h}^{-1}$, ocorridos às 14h, e para KT_{sh} de $138,5 \text{ mg h}^{-1}$, ocorrido às 15h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão deste dia foram de $-7,2 \pm 30,6 \text{ mg h}^{-1}$. A maior diferença ocorrida entre KT_{eh} e KT_{sh} foi de $42,1 \text{ mg h}^{-1}$, ocorrida às 17h do dia. A soma de todos os valores de ΔKT_h foi de $-72,2 \text{ mg}$.

Encontram-se na Figura 28, os mesmos resultados obtidos do monitoramento horário dos quatro períodos da Figura 27, porém se referem para gráficos do tipo “Box Plot”.

Na Figura 29 encontram-se os valores horários de KT_{eh} , KT_{sh} e ΔKT_h referentes às horas monitoradas ao longo dos dias no leito Typha 2.

Na Figura 29a, KT_{eh} média e o desvio padrão foram de $76,9 \pm 34,3 \text{ mg h}^{-1}$ e KT_{sh} média e o desvio padrão de $101,9 \pm 54,9 \text{ mg h}^{-1}$. Assim como ocorreu na vazão (Figura 17a), os maiores valores encontrados tanto de KT_{eh} como de KT_{sh} ocorreram às 9h, sendo $146,0 \text{ mg h}^{-1}$ para KT_{eh} e $227,7 \text{ mg h}^{-1}$ para KT_{sh} . Comparando a Figura 29a à Figura 27a, notou-se que ambas tiveram os maiores valores de KT_{eh} e KT_{sh} no mesmo horário (9h), porém o leito Typha 2 (Figura 29a com $KT_{eh} = 146,0 \text{ mg h}^{-1}$) apresentou valor superior $208,0\%$ em relação ao maior valor de KT_{eh} da Figura 27a ($47,4 \text{ mg h}^{-1}$) e para KT_{sh} ($227,7 \text{ mg h}^{-1}$) da Figura 29a, o maior valor foi superior $197,3\%$ em relação ao maior valor de KT_{sh} da Figura 27a. O ΔKT_h médio e o desvio padrão da Figura 29a foram de $-24,9 \pm 40,11 \text{ mg}$. A maior diferença entre os valores de entrada e saída foi de $53,4 \text{ mg}$ e ocorreu às 14h do dia, sendo a soma de todos os valores dessa diferença de $-248,9 \text{ mg}$.

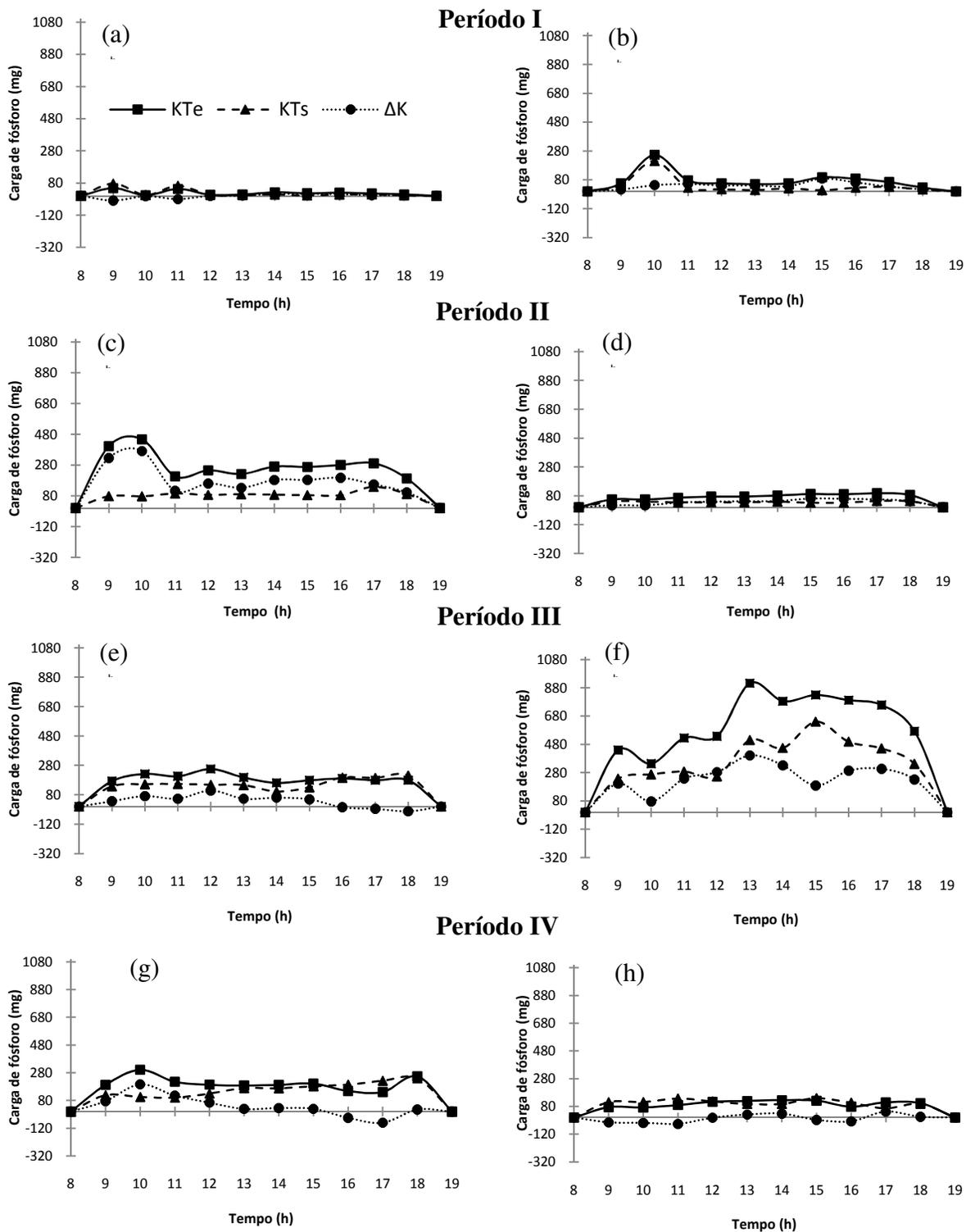


Figura 27. Valor horário de carga de KT_{eh} , KT_{sh} e ΔKT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

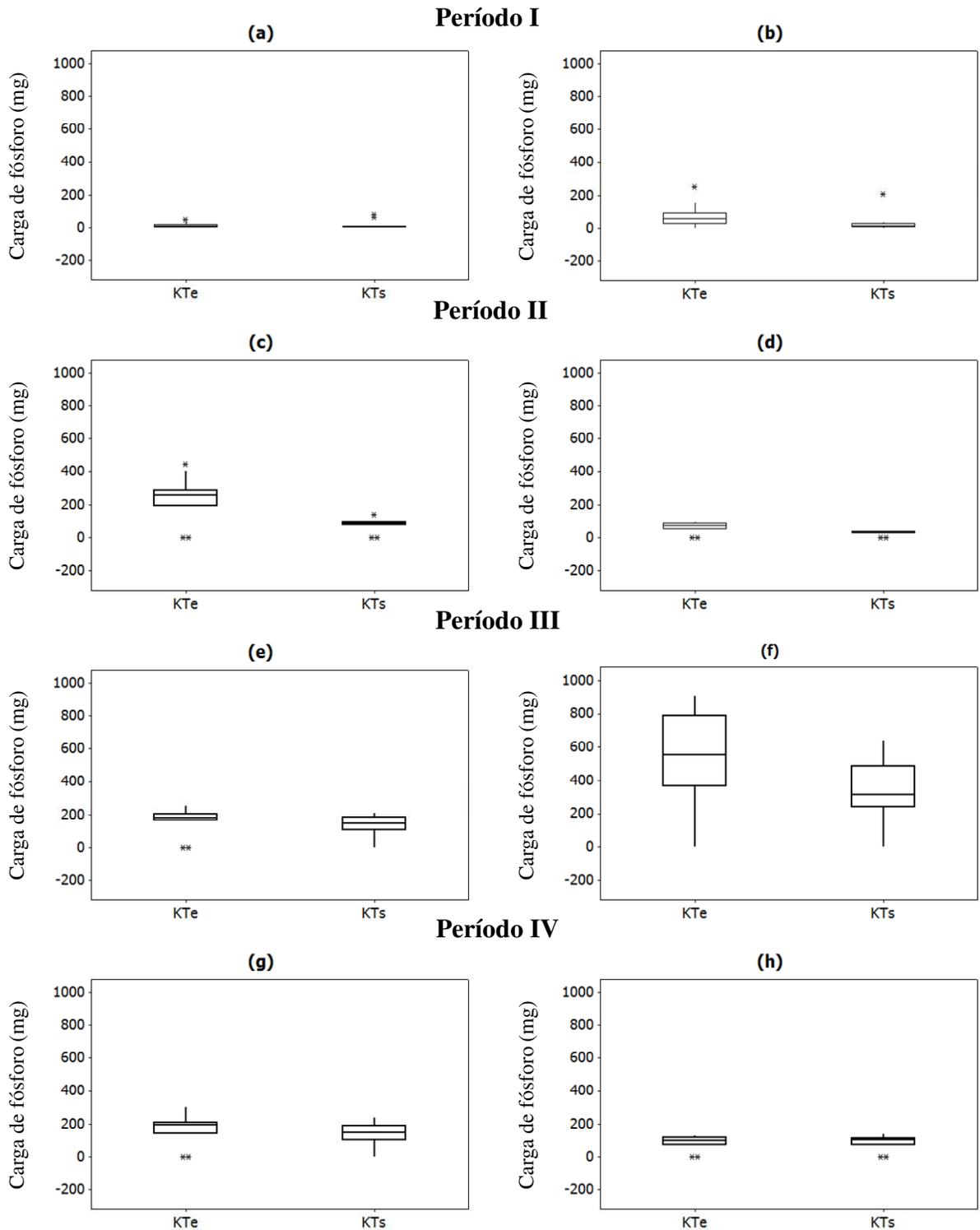


Figura 28. Gráficos “Box Plot” de KT_{eh} e KT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e); 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Pela Figura 29b, KT_{eh} média e o desvio padrão foram de $268,6 \pm 116,3 \text{ mg h}^{-1}$ e KT_{sh} média e desvio padrão de $72,4 \pm 35,9 \text{ mg h}^{-1}$. Os maiores valores encontrados de KT_{eh} e KT_{sh} foram respectivamente, $457,8 \text{ mg h}^{-1}$ e $137,3 \text{ mg h}^{-1}$, ambos ocorridos às 9h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de $196,3 \pm 87,3 \text{ mg}$, e a maior diferença entre os valores de entrada e saída de $329,5 \text{ mg}$, às 18h. A soma de todos os valores de ΔKT_h foram de $1962,7 \text{ mg}$.

Na Figura 29c, a KT_{eh} média e o desvio padrão foram de $113,4 \pm 28,6 \text{ mg h}^{-1}$ e KT_{sh} média e o desvio padrão de $82,4 \pm 12,9 \text{ mg h}^{-1}$. Os maiores valores registrados de KT_{eh} e KT_{sh} foram respectivamente, $161,5 \text{ mg h}^{-1}$, ocorrido às 10h e $103,0 \text{ mg h}^{-1}$, ocorrido às 16h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de $30,9 \pm 30,2 \text{ mg}$ e a maior diferença ocorrida entre os valores de entrada e saída foi $90,1 \text{ mg}$, ocorrida às 10h. A soma de todos os valores de ΔKT_h foi de $309,9 \text{ mg}$.

A Figura 29d apresentou as médias e o desvio padrão de KT_{eh} e KT_{sh} respectivamente de $103,8 \pm 16,5 \text{ mg h}^{-1}$ e $73,9 \pm 11,6 \text{ mg h}^{-1}$. O maior valor registrado de KT_{eh} foi de $120,4 \text{ mg h}^{-1}$ e de KT_s de $97,3 \text{ mg h}^{-1}$, ambos ocorridos às 17h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão foi de $29,9 \pm 17,5 \text{ mg}$ e a maior diferença dos valores de entrada e saída ocorreu às 15h e foi de $53,6 \text{ mg}$. A soma dos valores de ΔKT_h foi de $299,3 \text{ mg}$.

Na Figura 29e, verificou-se que a KT_{eh} média e seu respectivo desvio padrão foram de $346,5 \pm 138,8 \text{ mg h}^{-1}$ e KT_{sh} média e o desvio padrão de $334,9 \pm 198,3 \text{ mg h}^{-1}$. Os valores máximos de KT_{eh} e KT_{sh} foram respectivamente $566,4 \text{ mg h}^{-1}$ e $744,2 \text{ mg h}^{-1}$, ambos ocorridos às 18h. O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de $11,7 \pm 80,9 \text{ mg}$ e a maior diferença entre os valores de entrada e saída foi de $87,2 \text{ mg}$, ocorrida às 12h. A soma de todos os valores de ΔKT_h foi de $116,6 \text{ mg}$.

Na Figura 29f, pode-se observar que os valores médios e os desvios padrões de KT_{eh} e KT_{sh} foram, respectivamente, $495,5 \pm 96,1 \text{ mg h}^{-1}$ e $305,9 \pm 51,5 \text{ mg h}^{-1}$. O valor máximo de KT_{eh} ($615,9 \text{ mg h}^{-1}$) foi superior 8,7% em relação ao valor máximo do dia anterior ($566,4 \text{ mg h}^{-1}$), porém para KT_{sh} ($388,8 \text{ mg h}^{-1}$) foi inferior 47,8% em relação ao KT_{sh} do dia anterior ($744,2 \text{ mg h}^{-1}$). O ΔKT_h médio e o desvio padrão foram de $189,6 \pm 76,9 \text{ mg}$, e a maior diferença dos valores de entrada e saída foi de $298,4 \text{ mg}$, ocorrida às 13h. A soma de todos os valores de ΔKT_h resultou em $1896,1 \text{ mg}$.

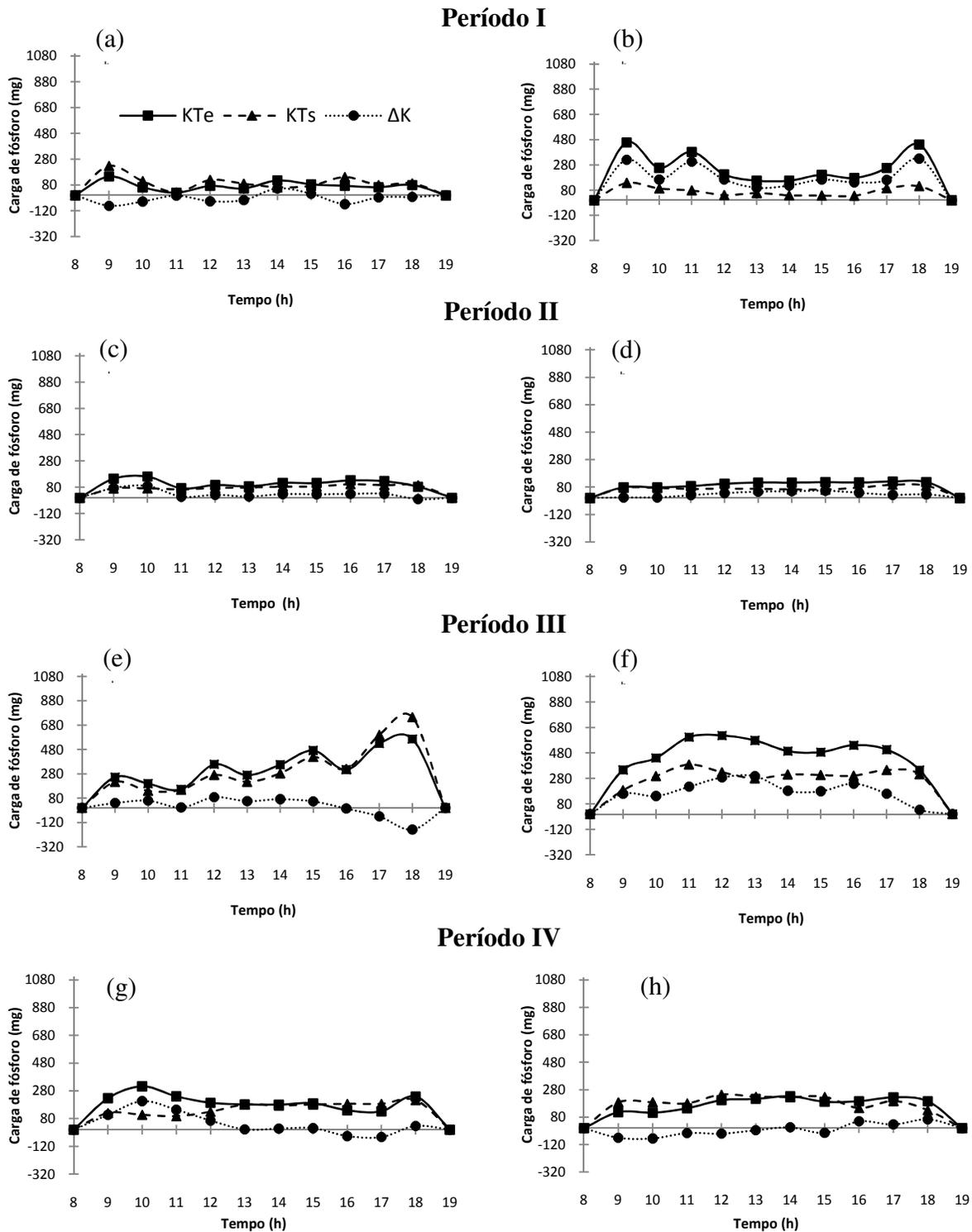


Figura 29. Valor horário de carga de KT_{ch} , KT_{sh} e ΔKT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a.) e 03/02/2006 (b.); Período II: 19/09/2006 (c.) e 20/09/2006 (d.); Período III: 02/10/2007 (e.) e 03/10/2007 (f.) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

A Figura 29g (leito Typha 2) teve comportamento semelhante à Figura 27g (leito Typha 1) e seus valores foram pouco diferentes em si. Isto também ocorreu com as figuras que representaram as vazões (Figura 15g e Figura 17g). Os valores médios e o desvio padrão da Figura 29g foram $203,6 \pm 53,1 \text{ mg h}^{-1}$ e $156,9 \pm 40,1 \text{ mg h}^{-1}$, respectivamente para KT_{eh} e KT_{sh} , enquanto que para a Figura 27g foram de $203,1 \pm 46,9 \text{ mg h}^{-1}$ para KT_{eh} e $162,4 \pm 48,3 \text{ mg h}^{-1}$ para KT_{sh} . Os horários dos picos de KT_{eh} e KT_{sh} também coincidiram com os picos da Figura 20g, os picos de KT_{eh} ocorreram às 10h e os de KT_{sh} ocorreram às 18h e seus valores foram $312,1 \text{ mg h}^{-1}$ para KT_{eh} e $212,2$ para KT_{sh} . O ΔKT_h médio e o seu respectivo desvio padrão foi de $46,7 \pm 83,5 \text{ mg}$ e a maior diferença ocorrida entre os valores de entrada e saída foi de $205,7 \text{ mg}$, ocorrida às 10h. A soma dos valores de ΔKT_h foi de $467,1 \text{ mg}$.

Na Figura 29h, os valores médios e desvio padrão de KT_{eh} foi de $182,5 \pm 42,9 \text{ mg h}^{-1}$ e os valores médios e o desvio padrão de KT_{sh} foi de $195,3 \pm 37,0 \text{ mg h}^{-1}$. O maior valor de KT_{eh} ocorreu às 14h, com $231,1 \text{ mg h}^{-1}$ e o de KT_{sh} ocorreu às 12h, com $243,6 \text{ mg h}^{-1}$. O ΔKT_h médio e o desvio padrão deste dia foram $-12,8 \pm 48,2 \text{ mg}$ e a maior diferença entre KT_{eh} e KT_{sh} foi de $64,6 \text{ mg}$, ocorrida às 18h. A soma de todos os valores de ΔKT_h foi de $-127,8 \text{ mg}$.

Ressalta-se pelas Figuras 25, 27 e 29, uma forte interferência de contribuição dos leitões cultivados com a macrófita (leito Typha 1 e leito Typha 2) na retenção da carga de fósforo em relação ao leito sem cultivo (leito Brita). Principalmente quando se soma todos os valores de ΔKT_h para cada leito, cujo resultado foi: leito Brita com $1234,68 \text{ mg}$, leito Typha 1 com $6105,73 \text{ mg}$ e leito Typha 2 com $4638,97 \text{ mg}$. Esta hipótese é confirmada no próximo subitem, com mudanças de escala horária (avaliação horária) para a escala diária (avaliação diária).

Encontram-se na Figura 30, os mesmos resultados obtidos do monitoramento horário dos quatro períodos da Figura 29, porém se referem para gráficos do tipo “Box Plot”.

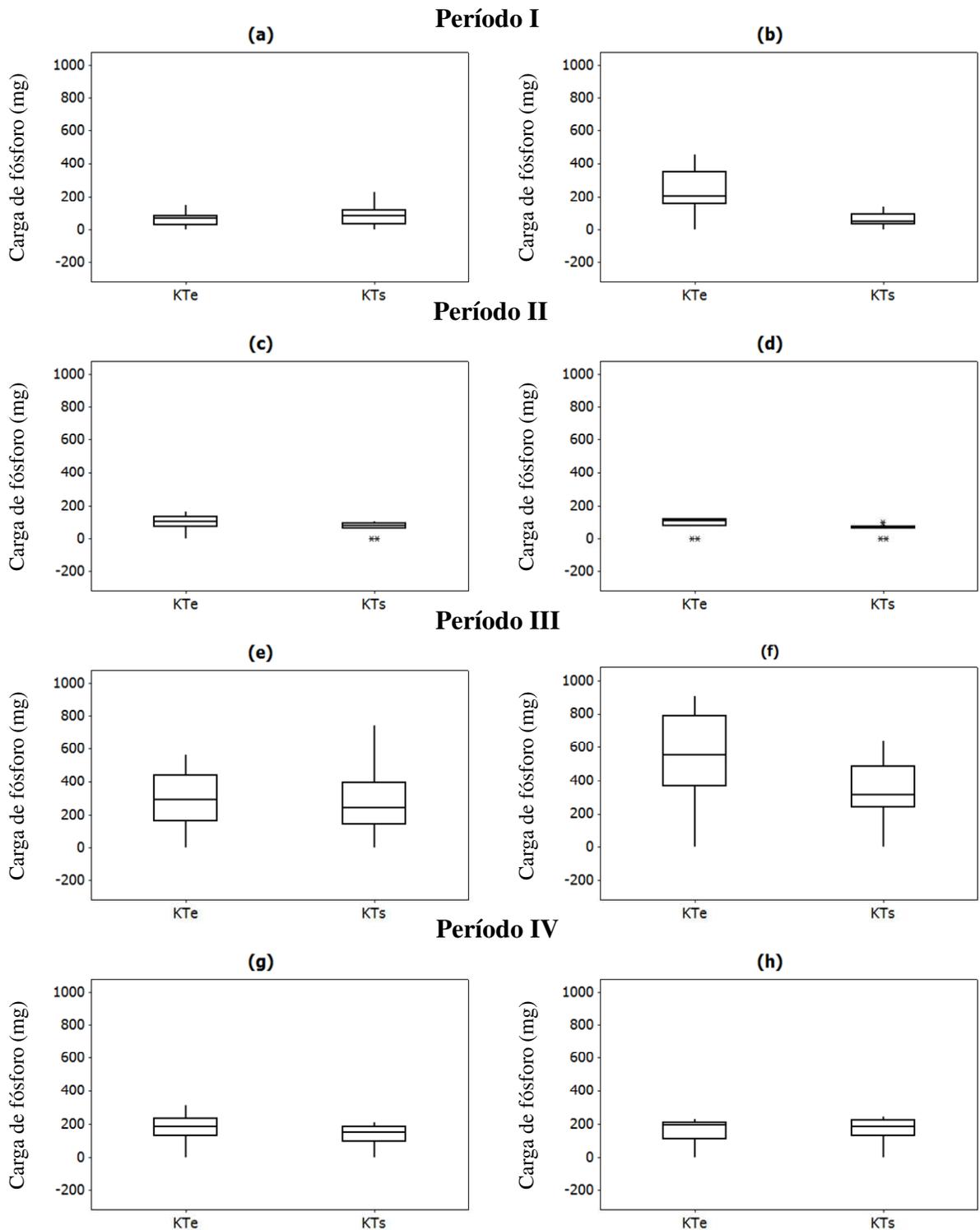


Figura 30. Gráficos “Box Plot” de KT_{ch} e KT_{sh} de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e); 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Os próximos resultados apresentados referem-se às tabelas de carga de fósforo total horária (Tabelas 13, 14 e 15), que foram construídas a partir do cálculo de todos os valores horários medidos nos períodos I, II, III e IV e possuem os resultados médios e desvio padrão de KT_{eh} , KT_{sh} e ΔKT_h .

Pela Tabela 13, verificou-se pouca variação entre os resultados apresentados para o leito Brita, nos períodos I e II, e pouca variação nos períodos III e IV. O período IV foi o que apresentou os maiores valores de KT_{eh} ($280,9 \pm 155,5 \text{ mg h}^{-1}$) e KT_{sh} ($265,8 \pm 141,9 \text{ mg h}^{-1}$), seguido do período III ($KT_{eh} = 262,0 \pm 100,2 \text{ mg h}^{-1}$ e $KT_{sh} = 256,3 \pm 95,4 \text{ mg h}^{-1}$), do período II ($KT_{eh} = 183,4 \pm 146,6 \text{ mg h}^{-1}$ e $KT_{sh} = 157,7 \pm 143,0 \text{ mg h}^{-1}$) e do período I ($KT_{eh} = 182,1 \pm 137,7 \text{ mg h}^{-1}$ e $KT_{sh} = 128,4 \pm 71,5 \text{ mg h}^{-1}$). Porém, a seqüência do ΔKT_h foi diferente desta anteriormente apresentada e o período I foi que apresentou maiores valores de ΔKT_h ($50,3 \pm 143,7 \text{ mg}$), seguido do período II ($25,7 \pm 60,5 \text{ mg}$), do período IV ($15,1 \pm 59,1 \text{ mg}$) e do período III ($5,7 \pm 72,7 \text{ mg}$).

Tabela 13. Resultados médios de carga horária de fósforo de entrada (KT_{eh}), fósforo de saída (KT_{sh}) e balanço entre KT_{eh} e KT_{sh} (ΔKT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	KT_{eh} (mg)	KT_{sh} (mg)	ΔKT_h (mg)
I	$182,1 \pm 137,7$	$128,4 \pm 71,5$	$50,3 \pm 143,7$
II	$183,4 \pm 146,6$	$157,7 \pm 143,0$	$25,7 \pm 60,5$
III	$262,0 \pm 100,2$	$256,3 \pm 95,4$	$5,7 \pm 72,7$
IV	$280,9 \pm 155,5$	$265,8 \pm 141,9$	$15,1 \pm 59,1$

Esta mesma seqüência de valores de entrada e saída dos períodos monitorados foi encontrada no leito Typha 1, descritos na Tabela 14. O período IV foi o que apresentou os maiores valores de KT_{eh} ($380,4 \pm 221,2 \text{ mg h}^{-1}$) e KT_{sh} ($379,8 \pm 296,9 \text{ mg h}^{-1}$), seguido do período III ($KT_{eh} = 302,3 \pm 177,6 \text{ mg h}^{-1}$ e $KT_{sh} = 215,0 \pm 130,2 \text{ mg h}^{-1}$), do período II ($KT_{eh} = 165,2 \pm 112,8 \text{ mg h}^{-1}$; $KT_{sh} = 124,2 \pm 100,0 \text{ mg h}^{-1}$) e do período I ($KT_{eh} = 147,0 \pm 122,7 \text{ mg h}^{-1}$; $KT_{sh} = 122,7 \pm 124,7 \text{ mg h}^{-1}$). A seqüência decrescente dos valores de ΔKT_h foi: período III, com $87,3 \pm 104,2 \text{ mg}$, seguido do período II com $41,0 \pm 66,2 \text{ mg}$, do período I, com $24,3 \pm 59,3 \text{ mg}$ e do período IV, com $0,7 \pm 130,2 \text{ mg}$.

Tabela 14. Resultados médios de carga horária de fósforo de entrada (KT_{eh}), fósforo de saída (KT_{sh}) e balanço entre KT_{eh} e KT_{sh} (ΔKT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	KT_{eh} (mg)	KT_{sh} (mg)	ΔKT_h (mg)
I	147,0 \pm 117,9	122,7 \pm 124,7	24,3 \pm 59,3
II	165,2 \pm 112,8	124,2 \pm 100,0	41,0 \pm 66,2
III	302,3 \pm 177,6	215,0 \pm 130,2	87,3 \pm 104,2
IV	380,4 \pm 221,2	379,8 \pm 296,9	0,7 \pm 130,2

Na Tabela 15, descrevem-se os resultados médios de carga de entrada, saída e balanço entre a entrada e a saída dos períodos monitorados no leito Typha 2. A seqüência dos valores de entrada e saída não seguiram a mesma das Tabelas 13 e 14. A seqüência da Tabela 15 foi: período III ($KT_{eh} = 359,4 \pm 122,7 \text{ mg h}^{-1}$; $KT_{sh} = 268,4 \pm 108,4 \text{ mg h}^{-1}$), período IV ($KT_{eh} = 283,5 \pm 106,9 \text{ mg h}^{-1}$ e $KT_{sh} = 259,3 \pm 122,9 \text{ mg h}^{-1}$), período II ($KT_{eh} = 213,3 \pm 168,0 \text{ mg h}^{-1}$; $KT_{sh} = 165,4 \pm 151,1 \text{ mg h}^{-1}$) e período I ($KT_{eh} = 196,7 \pm 190,6 \text{ mg h}^{-1}$; $KT_{sh} = 114,1 \pm 63,6 \text{ mg h}^{-1}$). A seqüência do ΔKT_h foi: período III (91,0 \pm 102 mg), período I (82,6 \pm 180 mg), período II (47,9 \pm 82,4 mg) e período IV (24,2 \pm 109,8 mg).

Tabela 15. Resultados médios de carga horária de fósforo de entrada (KT_{eh}), fósforo de saída (KT_{sh}) e balanço entre KT_{eh} e KT_{sh} (ΔKT_h) \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	KT_{eh} (mg)	KT_{sh} (mg)	ΔKT_h (mg)
I	196,7 \pm 190,6	114,1 \pm 63,6	82,6 \pm 180,1
II	213,3 \pm 168,0	165,4 \pm 151,1	47,9 \pm 82,4
III	359,4 \pm 122,7	268,4 \pm 108,4	91,0 \pm 102,5
IV	283,5 \pm 106,9	259,3 \pm 122,9	24,2 \pm 109,8

Repetitivamente a influência, devido à presença da macrófita, é notada nos resultados da Tabela 14 (leito Typha 1) e Tabela 15 (leito Typha 2).

Nas Tabelas 13, 14 e 15 observam-se que, exceto o ΔKT_h dos períodos I e IV do leito Typha 1 (Tabela 13), todos os valores das Tabelas 14 e 15 referentes ao ΔKT_h são bastante superiores aos valores apresentados no leito Brita (Tabela 13). Destacam-se os altos valores descritos no período III dos leitos com a macrófita em relação ao leito Brita, tendo o leito Typha 1 (Tabela 14) resultado em um ΔKT_h médio horário e o desvio padrão de $87 \pm 104 \text{ mg}$ e o leito Typha 2 em um ΔKT_h médio horário e o desvio padrão de $91,0 \pm 102,5 \text{ mg}$,

superiores respectivamente, 1431,6% e 1496,5% em relação ao valor médio horário de $\Delta K T_h$ ($5,7 \pm 72,7$ mg) do leito Brita (Tabela 13).

Ainda nas Tabelas 14 e 15, uma possível hipótese dos altos valores descritos para os $\Delta K T_h$ médios horários do período III (Tabela 14: $\Delta K T_h = 87,3 \pm 104,2$ mg e Tabela 15: $\Delta K T_h = 91,0 \pm 102,5$ mg), serem menores no período IV (Tabela 14: $\Delta K T_h = 0,7 \pm 130,2$ mg e Tabela 15: $\Delta K T_h = 24,2 \pm 109,85$ mg), período esse ocorrido logo na seqüência, se deve ao fato de que o término do período III foi marcado justamente com uma poda drástica na parte aérea das plantas, iniciando em seguida, sem nenhum dia de intervalo, o monitoramento do período IV. Pode-se demonstrar dessa forma a influência do grau de desenvolvimento da macrófita na retenção da carga de fósforo. Nota-se, porém, que o valor $0,7 \pm 130$ mg, descrito no $\Delta K T_h$ médio horário do período IV da Tabela 14, é muito baixo. Isso pode ser devido a uma possível descarga de fósforo nesse leito cultivado (leito Typha 1), pois durante o período IV foi possível notar diversos valores negativos referente ao balanço da concentração de fósforo total ($\Delta P T_h$).

Os próximos resultados apresentados referem-se à eficiência da retenção de fósforo, expressos em porcentagem. E, nas Figuras 31, 32 e 33 têm-se os valores médios horários medidos desta eficiência de retenção de fósforo total de dias característicos dos quatro períodos monitorados nos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2, respectivamente.

A Figura 31 trata dos gráficos da eficiência de retenção de fósforo total em dias característicos e consecutivos, no leito Brita, nos quatro períodos monitorados.

Na Figura 31a, a eficiência média e o desvio padrão de retenção foram de $-44,29 \pm 27,28\%$. Na Figura 31b, a eficiência média e o desvio padrão foram de $76,9 \pm 11,0\%$, com eficiência máxima de 86,8%, ocorrida às 11h. Na Figura 31c, a eficiência média e o desvio padrão foram de $-4,1 \pm 8,9\%$. Na Figura 31d, a eficiência média e o desvio padrão foi de $-19,7 \pm 12,5\%$. Pela Figura 31e, a eficiência média e o desvio padrão foram de $-2,9 \pm 27,3\%$, com eficiência máxima de 29,9%, ocorrida às 13h. Pela Figura 31f, a eficiência média e o desvio padrão foram de $16,7 \pm 23,7\%$, com eficiência máxima de 38,8%, ocorrida às 15h. Na Figura 31g, a eficiência média e o desvio padrão foram de $-17,1 \pm 42,5\%$, com eficiência máxima de -41,4%, ocorrida às 10h. Na Figura 31h, a eficiência média e o desvio padrão foram de $-19,82 \pm 24,0\%$, com eficiência máxima de 13,5%, ocorrida às 18h.

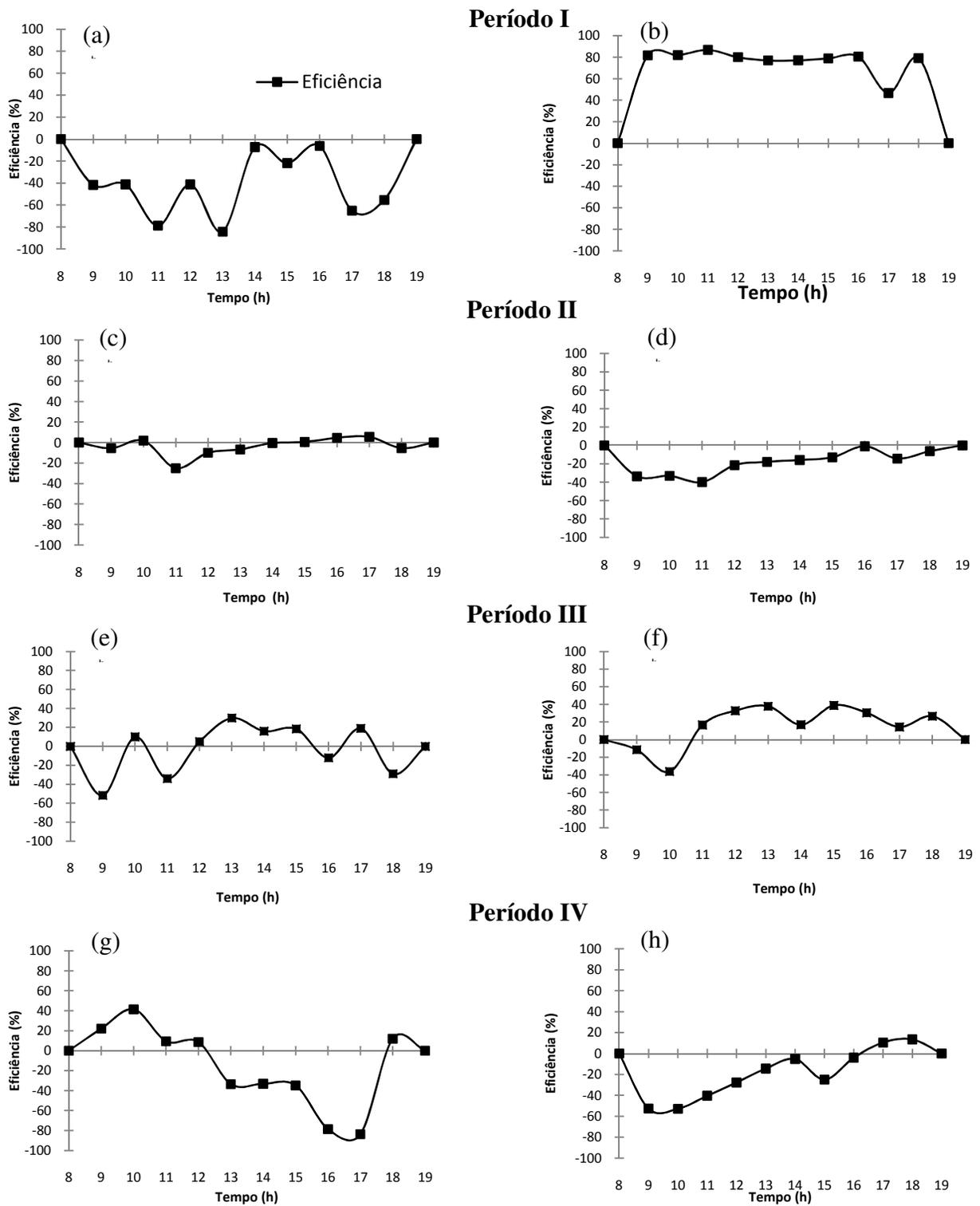


Figura 31. Valor horário da eficiência de retenção de fósforo de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

A Figura 32 trata dos gráficos da eficiência de retenção de fósforo total em dias característicos e consecutivos, no leito Typha 1, para os quatro períodos monitorados.

Na Figura 32a, a eficiência média de retenção de fósforo total e o desvio padrão foram de $16,9 \pm 52,8\%$, com eficiência máxima de $79,9\%$, ocorrida às 15h do dia. Na Figura 32b, a eficiência média foi superior ao seu dia anterior (Figura 32a), com $64,7 \pm 20,6\%$, e eficiência máxima de $91,9\%$, ocorrida às 15h do dia.

Na Figura 32c, a eficiência média e o desvio padrão foram de $65,4 \pm 10,9\%$, tendo a eficiência máxima ocorrida às 10h do dia com $82,9\%$. Na Figura 32d, a eficiência média e o desvio padrão foram de $18,2 \pm 20,5\%$, sendo a máxima eficiência desse dia ocorrida às 12h, com $42,3\%$.

Pela Figura 32e, a eficiência média e o desvio padrão foram de $39,3 \pm 9,8\%$, com eficiência máxima de $52,8\%$, ocorrida às 12h. Na Figura 32f, a eficiência média e o desvio padrão foram de $16,7 \pm 23,7\%$, com eficiência máxima de $38,8\%$, ocorrida às 15h.

Na Figura 32g, a eficiência média e o desvio padrão foram de $14,3 \pm 36,9\%$, com eficiência máxima de $65,2\%$, ocorrida às 10h. Pela Figura 32h, a eficiência média e o desvio padrão foram de $-12,1 \pm 33,5\%$, com eficiência máxima de $38,8\%$, ocorrida às 17h.

Da mesma maneira como as duas figuras foram anteriormente descritas, a Figura 33 trata dos gráficos da eficiência de retenção de fósforo total em dias característicos e consecutivos no leito Typha 2, para os quatro períodos monitorados.

Na Figura 33a, a eficiência média e o desvio padrão de retenção de fósforo total foram de $-35,9 \pm 44,3\%$, com eficiência máxima de $46,3\%$, ocorrida às 14h do dia. Na Figura 33b, a eficiência média e o desvio padrão foram $73,1 \pm 7,5\%$ e a eficiência máxima foi superior ao seu dia anterior (Figura 24a), com $81,5\%$, ocorrida às 15h do dia.

Na Figura 33c, a eficiência média e o desvio padrão foram de $23,5 \pm 19,6\%$, tendo a eficiência máxima ocorrida às 10h do dia, com $55,8\%$. Na Figura 33d, a eficiência média e o desvio padrão foi de $27,3 \pm 14,8\%$, sendo a máxima eficiência desse dia ocorrida às 15h, com $46,3\%$.

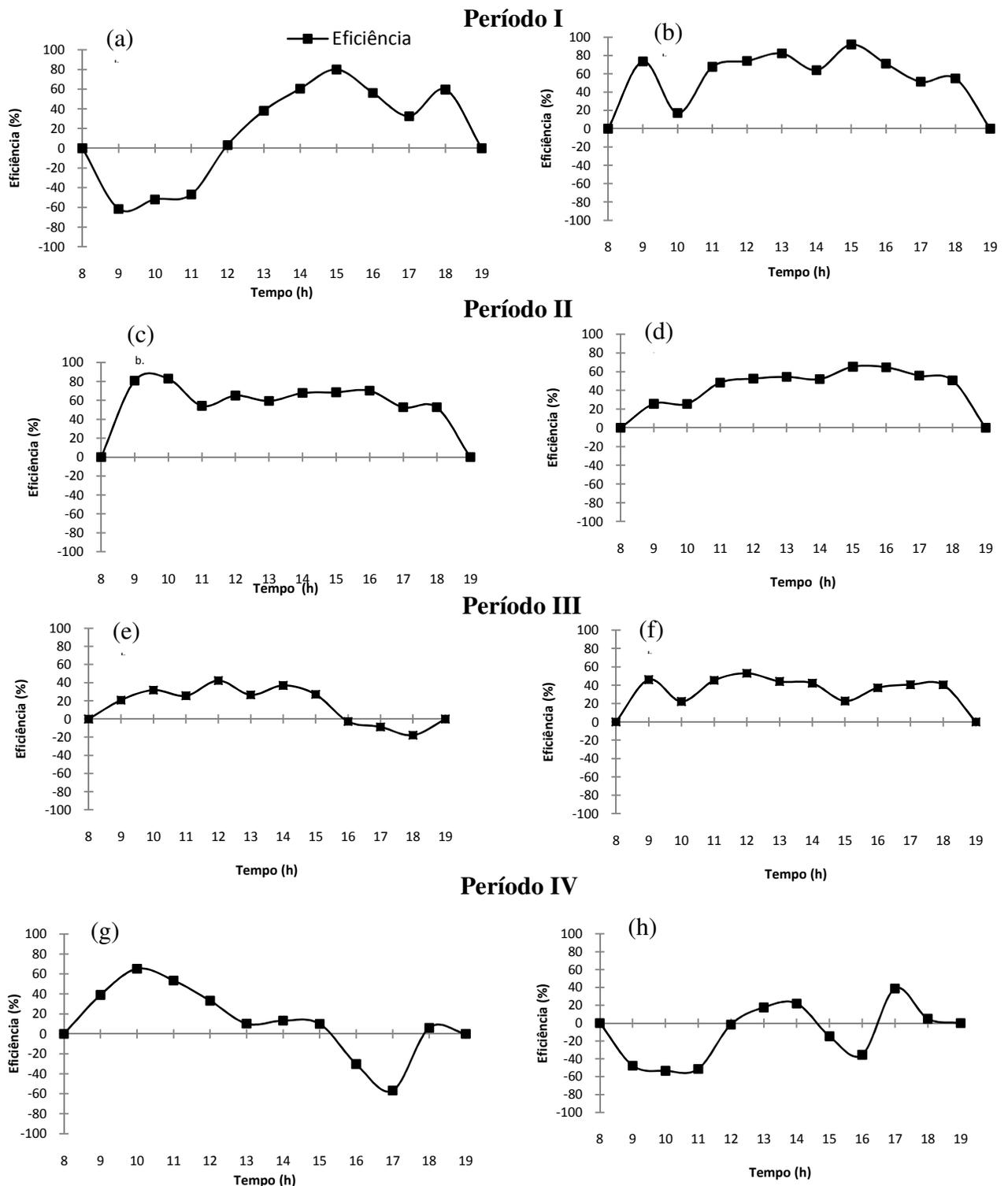


Figura 32. Valor horário da eficiência de retenção de fósforo de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

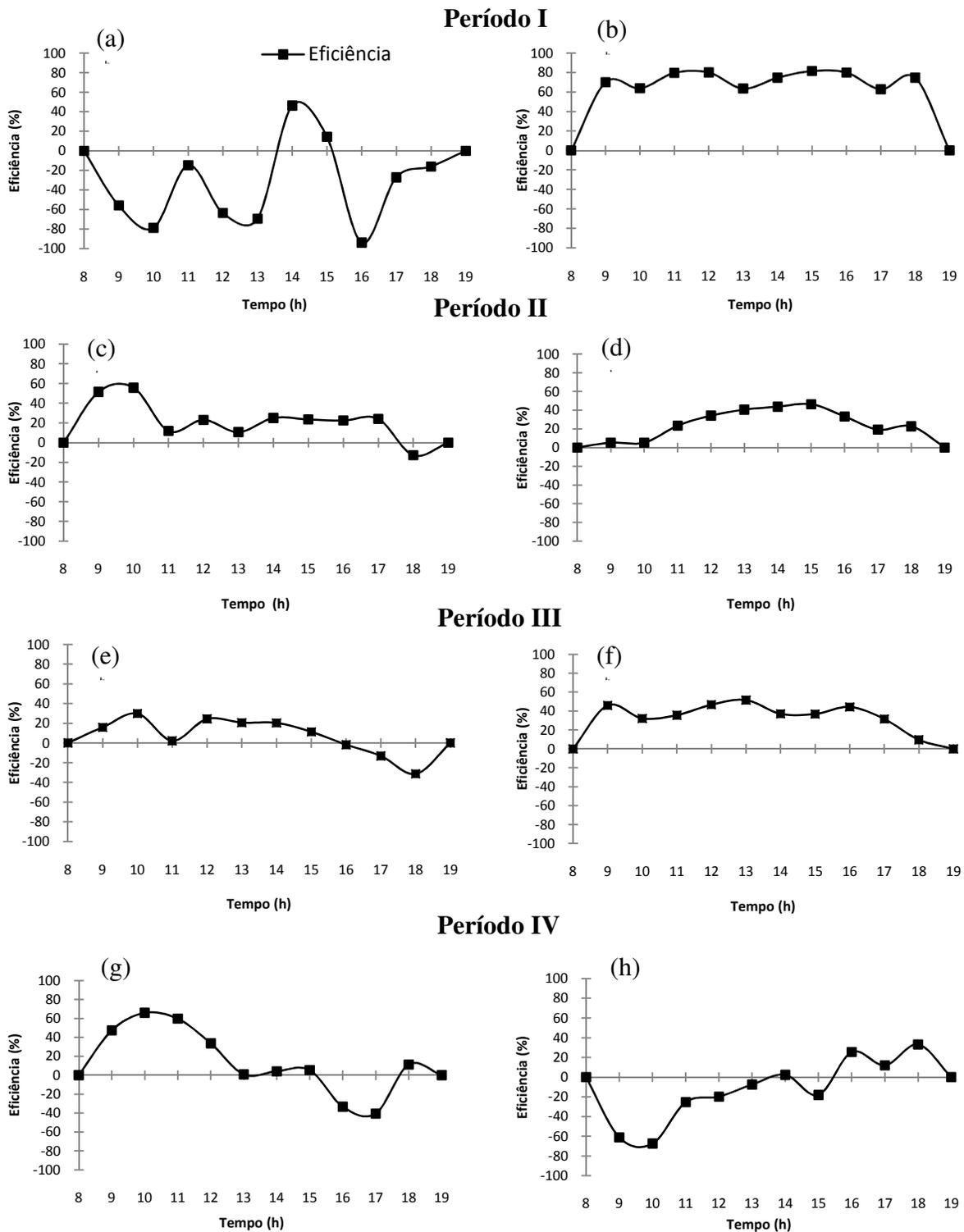


Figura 33. Valor horário da eficiência de retenção de fósforo de dias característicos nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I: 02/02/2006 (a) e 03/02/2006 (b); Período II: 19/09/2006 (c) e 20/09/2006 (d); Período III: 02/10/2007 (e) e 03/10/2007 (f) e; Período IV: 27/11/2007 (g) e 28/11/2007 (h). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Pela Figura 33e, a eficiência média e o desvio padrão foram de $7,8 \pm 19,0\%$, com eficiência máxima de $29,8\%$, ocorrida às 10h. A Figura 33f, a eficiência média e o desvio padrão foram de $37,2 \pm 11,8\%$, com eficiência máxima de $51,6\%$, ocorrida às 13h.

Na Figura 33g, a eficiência média e o desvio padrão foram de $15,4 \pm 36,3\%$, com eficiência máxima de $65,9\%$, ocorrida às 10h. E a Figura 33h, a eficiência média e o desvio padrão foram de $-12,7 \pm 33,3\%$, com eficiência máxima de $33,1\%$, ocorrida às 18h.

Por meio das três últimas figuras descritas, é interessante destacar que o leito Brita (Figura 31) foi o que apresentou as menores eficiências de retenção de fósforo total. Dos oito gráficos que compõem cada figura, na Figura 31 (leito Brita), apenas dois deles apresentaram médias de retenção positivas (Figura 31b e 31f). Enquanto que nos gráficos que compõem as Figuras 32 e 33, a grande maioria apresentou eficiências de retenção de fósforo positivas.

Para os oito gráficos da Figura 32 (leito Typha 1), apenas um apresentou retenção média negativa (Figura 32h, com $-12,1 \pm 33,5\%$). Similares observações podem ser realizadas para a Figura 33 (leito Typha 2), em que apenas dois gráficos que a compõem resultaram em eficiências de retenção negativas (Figura 33a, com $-35,9 \pm 44,3\%$, e Figura 33g, com $-12,7 \pm 33,7\%$). Confirma-se assim a influência benéfica na utilização da macrófita *Typha sp.* para retenção de fósforo. Na próxima tabela, Tabela 16, pode-se confirmar esta afirmação.

Os próximos resultados apresentados se referem aos valores médios de eficiência de retenção de fósforo total, dos três leitos cultivados, para os quatro períodos monitorados. Trata-se da Tabela 16, na qual se descreve os resultados médios da eficiência de retenção de fósforo \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados, nos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2.

No período I, os maiores valores da eficiência de retenção de fósforo foram descritos para o leito Typha 1 ($18,3 \pm 45,2\%$), seguido do leito Typha 2 ($13,2 \pm 49,6\%$). Já no período II, apesar da pouca diferença entre os valores, esta ordem de classificação foi invertida, sendo que o leito Typha 2 apresentou valor superior da eficiência de retenção de fósforo ($22,6 \pm 31,1\%$) em relação ao leito Typha 1, que foi de $21,9 \pm 32,5\%$.

O período III foi o que apresentou as maiores médias de eficiência de retenção para os leitos com macrófita, tendo o leito Typha 1 uma eficiência média e o desvio padrão de $25,7 \pm 25,6\%$ e o leito Typha 2 com média e o desvio padrão de $23,0 \pm 25,4\%$. No período IV a eficiência média sofreu uma queda significativa para todos os leitos, apresentando o leito

Typha 1 média e o desvio padrão de $5,6 \pm 36,7\%$ e o leito Typha 2 média e o desvio padrão de $4,5 \pm 36,1\%$. Para o leito Brita, as eficiências de retenção de fósforo foram todas inferiores aos leitos com *Typha sp.*, chegando a apresentar média negativa na eficiência de retenção, como observado no período III ($-2,3 \pm 28,1\%$).

Tabela 16. Resultados médios da eficiência de retenção de fósforo \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados nos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	Brita Eficiência (%)	Typha 1 Eficiência (%)	Typha 2 Eficiência (%)
I	$5,9 \pm 57,7$	$18,3 \pm 45,2$	$13,2 \pm 49,6$
II	$14,3 \pm 31,2$	$21,9 \pm 32,5$	$22,6 \pm 31,1$
III	$-2,3 \pm 28,1$	$25,7 \pm 25,6$	$23,0 \pm 25,4$
IV	$0,0 \pm 26,7$	$5,6 \pm 36,7$	$4,5 \pm 36,1$

6.2 Avaliações diárias

Os resultados do monitoramento do sistema de leitos cultivados para escala diária também foram considerados nos quatro períodos monitorados. Os mesmos estão divididos em dois grandes grupos: (i) Quantidade de Água e (ii) Qualidade de Água.

Nos resultados de Quantidade de Água, abordou-se o monitoramento diário do volume de entrada (V_{ed}), volume de saída (V_{sd}), balanço entre V_{ed} e V_{sd} (ΔV_d) e o tempo de detenção hidráulica (TDH) diário de todos os dias monitorados. A partir das avaliações diárias da Quantidade de Água, é possível afirmar que o ΔV_d é a evaporação ocorrida no leito Brita e a evapotranspiração ocorrida nos leitos cultivados (leito Typha 1 e leito Typha 2). Por isso, nos resultados referentes ao balanço de volume (ΔV_d), utilizaremos, neste texto, a denominação evaporação/evapotranspiração em sua descrição.

Nos resultados de Qualidade de Água, abordou-se o monitoramento diário da concentração de fósforo total de entrada (PT_{ed}), concentração de fósforo total de saída (PT_{sd}) e do balanço entre PT_{ed} e PT_{sd} (ΔPT_d), a carga de fósforo de entrada (KT_{ed}), carga de fósforo de saída (KT_{sd}) e do balanço entre KT_{ed} e KT_{sd} (ΔKT_d) e ainda a eficiência de retenção de todos os leitos monitorados em cada período.

6.2.1 Quantidade de água

Na Figura 34 têm-se os valores diários de V_{ed} e V_{sd} dos dias monitorados nos quatro períodos para o leito Brita. Tais valores foram obtidos a partir da soma dos valores médios horários das vazões de entrada e saída, medidas em campo.

Na Figura 34a observa-se que a média e o desvio padrão dos valores de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente $648,1 \pm 208,4 \text{ l d}^{-1}$ e $631,8 \pm 212,7 \text{ l d}^{-1}$, sendo o maior valor do V_{ed} de $999,5 \text{ l d}^{-1}$ e do V_{sd} de $990,0 \text{ l d}^{-1}$, ambos ocorridos no dia 17/02/2006 (Dia Juliano = 48). Já o menor valor do V_{ed} foi de $247,5 \text{ l d}^{-1}$ e do V_{sd} de $234,0 \text{ l d}^{-1}$, ambos ocorridos em 06/02/2006 (Dia Juliano = 37). O ΔV_d médio e o desvio padrão foram $16,3 \pm 11,6 \text{ l d}^{-1}$, o que corresponde a uma evaporação média e o desvio padrão de $34,9 \pm 24,8 \text{ mm d}^{-1}$. A maior taxa de evaporação ocorrida do período I foi de $84,0 \text{ mm}$, em 22/02/2006 (Dia Juliano = 53) e a menor evaporação foi de $12,6 \text{ mm}$, em 10/02/2006 (Dia Juliano = 41). De acordo com os dados meteorológicos do período I, verificaram que o dia 10/02/2006 teve o maior valor de umidade relativa ($UR = 84,4\%$), o mais baixo valor em temperatura do ar ($T_{ar} = 23,7^\circ\text{C}$) e o menor valor de DPVS ($DPVS = 0,5 \text{ KPa}$), condições estas que justificam o menor valor de evaporação ocorrido nesta data.

Na Figura 34b, o valor médio e o desvio padrão de V_{ed} foram $477,2 \pm 290,6 \text{ l d}^{-1}$ e de V_{sd} de $463,6 \pm 290,1 \text{ l d}^{-1}$. Os maiores valores observados de V_{ed} e V_{sd} foram, respectivamente, $1476,9 \text{ l d}^{-1}$ e $1460,7 \text{ l d}^{-1}$, ambos ocorridos no dia 12/09/2006 (Dia Juliano = 255). O menor valor de V_{ed} foi $190,8 \text{ l d}^{-1}$ e de V_{sd} de $163,8 \text{ l d}^{-1}$, ambos ocorridos em 26/10/2006 (Dia Juliano = 299). O ΔV_d médio e o desvio padrão foram de $13,6 \pm 11,9 \text{ l d}^{-1}$, correspondendo a uma evaporação média e o desvio padrão de $29,9 \pm 25,4 \text{ mm d}^{-1}$. A maior evaporação deste período II ocorreu em 05/12/2006 (Dia Juliano = 339), com $112,0 \text{ mm}$. A menor evaporação foi zero, sendo que isto ocorreu em vários dias do período II, como os dias 17/10/2006 (Dia Juliano = 290), 01 e 07/11/2006 (Dias Juliano = 305 e 311, respectivamente) e 14/12/2006 (Dia Juliano = 348). No dia de maior valor de evaporação, os dados meteorológicos foram: Radiação Global de $417,1 \text{ W m}^{-2}$, UR de $100,0 \%$, Temperatura do ar de $26,2^\circ\text{C}$ e DPVS de $0,0 \text{ KPa}$. Nos dias que apresentaram menores valores de evaporação, os dados meteorológicos foram: dia 17/10/2006: Radiação Global de $314,8 \text{ W m}^{-2}$, UR de $99,4 \%$, Temperatura do ar de $23,5^\circ\text{C}$ e DPVS de $0,02 \text{ KPa}$; dia 01/11/2006: Radiação Global de $251,6 \text{ W m}^{-2}$, UR de $89,8$

%, Temperatura do ar de 26,2°C e DPVS de 0,34 KPa; dia 07/11/2006: Radiação Global de 537,2 W m⁻², UR de 69,1 %, Temperatura do ar de 24,0°C e DPVS de 0,93 KPa; e dia 14/12/2006: Radiação Global de 491,6 W m⁻², UR de 78,7 %, Temperatura do ar de 26,9°C e DPVS de 0,75 KPa.

Na Figura 34c, o valor médio e o desvio padrão de V_{ed} foram $498,3 \pm 130,8$ l d⁻¹ e de V_{sd} de $472,9 \pm 125,8$ l d⁻¹, sendo o maior valor de V_{ed} 675,9 l d⁻¹ e de V_{sd} 650,7 l d⁻¹, ambos ocorridos em 01/10/2007 (Dia Juliano = 274). Os menores valores foram 322,2 l d⁻¹ para V_{ed} e 299,7 l d⁻¹ para V_{sd} , ambos ocorridos em 25/09/2007 (Dia Juliano = 268). O ΔV_d médio e o desvio padrão foram de $25,3 \pm 7,8$ l d⁻¹, valor este que corresponde a uma evaporação média e o desvio padrão do período III de $54,3 \pm 16,6$ mm d⁻¹. No dia 02/10/2007 (Dia Juliano = 275) foi que ocorreu a maior evaporação do período, com 84,9 mm, e o dia 24/09/2007 (Dia Juliano = 267) foi o dia de menor evaporação, com 27,0 mm.

Na Figura 34d os valores médios e o desvio padrão de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente $657,6 \pm 285,6$ l d⁻¹ e $632,1 \pm 271,5$ l d⁻¹. O maior valor observado de V_{ed} foi de 1100,7 l d⁻¹ e o de V_{sd} foi de 1057,5 l d⁻¹, ambos ocorridos no dia 17/10/2007 (Dia Juliano = 290). Os menores valores de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente 387,9 l d⁻¹ e 373,5 l d⁻¹, ambos ocorridos em 30/11/2007 (Dia Juliano = 334). O ΔV_d médio e o desvio padrão deste período IV foram de $25,6 \pm 15,8$ l d⁻¹, valor este que corresponde em $54,9 \pm 33,8$ mm d⁻¹ da evaporação média. A maior evaporação ocorrida foi em 18/10/2007 (Dia Juliano = 291), com 106,2 mm, e a menor evaporação ocorreu em 27/11/2007 (Dia Juliano = 331), com 19,3 mm. No dia de maior valor de evaporação, os dados meteorológicos foram: Radiação Global de 263,4 W m⁻², UR de 55,8 %, Temperatura do ar de 26,4°C e DPVS de 1,55 KPa. No dia de menor valor de evaporação, os dados meteorológicos foram: Radiação Global de 687,6 W m⁻², UR de 57,2 %, Temperatura do ar de 26,2°C e DPVS de 1,47 KPa.

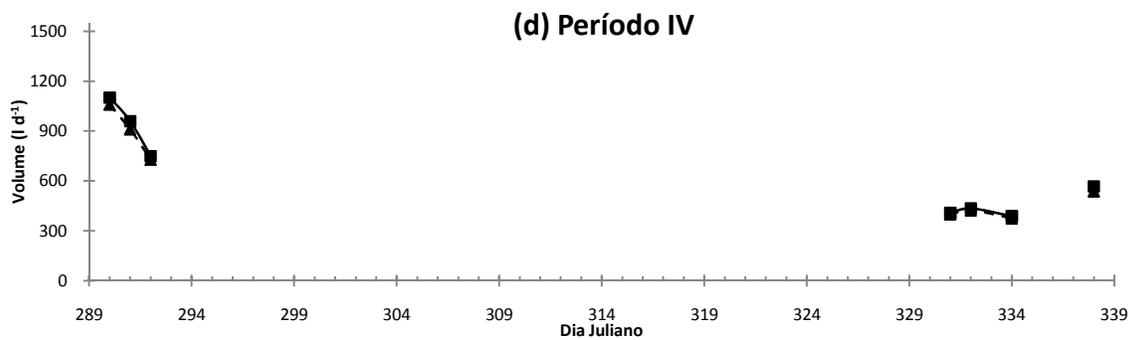
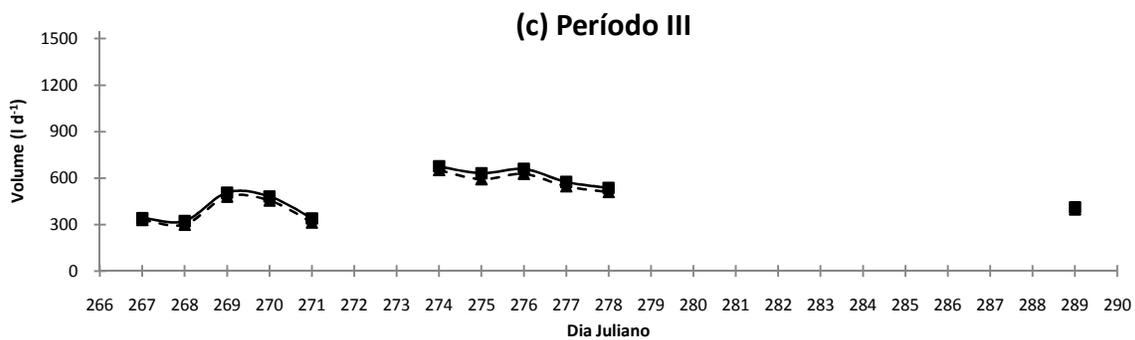
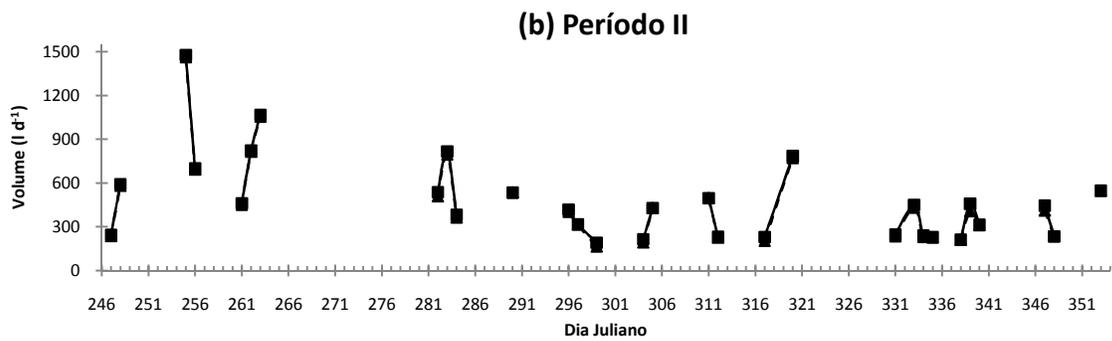
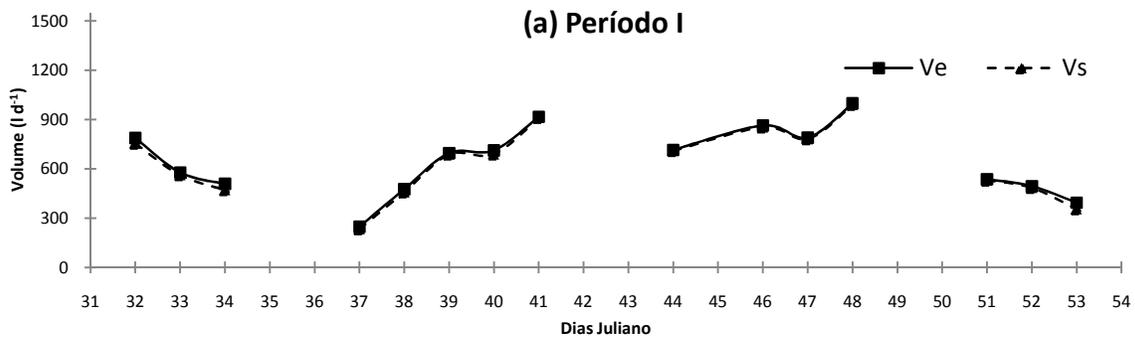


Figura 34. Valor médio diário de V_{ed} e V_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Por meio da Figura 34, é possível observar que os volumes de entrada (V_{ed}) são sempre superiores aos volumes de saída (V_{sd}). Esta afirmação pode ser confirmada na próxima tabela (Tabela 17).

Na Tabela 17, encontram-se os resultados médios e desvio padrão diários de V_{ed} e V_{sd} dos dias monitorados nos quatro períodos, para o leito Brita. Tais valores foram obtidos a partir da soma dos valores médios horários das vazões de entrada e saída, medidas em campo.

Tabela 17. Resultados médios diários de V_{ed} , V_{sd} e $\Delta V_d \pm$ desvio padrão, para todos os valores medidos nos períodos I, II, III e IV no leito Brita. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	V_{ed} (l d ⁻¹)	V_{sd} (l d ⁻¹)	ΔV_d (l d ⁻¹)
I	648,1 ± 208,4	631,8 ± 212,6	16,3 ± 11,6
II	477,2 ± 290,6	463,6 ± 290,1	13,6 ± 11,9
III	498,3 ± 130,8	472,9 ± 125,7	25,3 ± 7,8
IV	657,6 ± 285,6	632,6 ± 271,5	25,6 ± 15,8

Destacam-se na Tabela 17, os valores observados do ΔV_d médio e o desvio padrão do período III ($\Delta V_d = 25,3 \pm 7,8$ l d⁻¹) e período IV ($\Delta V_d = 25,6 \pm 15,8$ l d⁻¹), superiores ao período I ($\Delta V_d = 16,3 \pm 11,6$ l d⁻¹) e ao período II ($\Delta V_d = 13,6 \pm 11,9$ l d⁻¹). Isso também ocorreu no ΔQ_h (Tabela 5), sendo que o ΔQ_h médio e o desvio padrão do período III ($\Delta Q_h = 2,3 \pm 2,8$ l d⁻¹) e do período IV ($\Delta Q_h = 2,3 \pm 2,8$ l d⁻¹) foram superiores em relação ao período I ($\Delta Q_h = 1,4 \pm 2,1$ l d⁻¹) e ao período II ($\Delta Q_h = 1,5 \pm 1,8$ l d⁻¹).

Na Figura 35, têm-se as mesmas variáveis avaliadas pela figura anterior (Figura 34), porém esses valores se referem aos dias monitorados nos quatro períodos para o leito Typha 1. Tais valores foram obtidos a partir da soma dos valores médios horários da vazão de entrada e saída, medidas em campo. Podem-se notar pela Figura 35, assim como na Figura 34, que os valores de V_{ed} também acompanham os valores de V_{sd} .

Na Figura 35a, o valor médio e o desvio padrão de V_{ed} foram de $579,2 \pm 436,2$ l d⁻¹ e de V_{sd} foi de $556,6 \pm 442,2$ l d⁻¹. Os maiores valores observados de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente $1521,5$ d⁻¹ e $1519,2$ l d⁻¹, ambos ocorridos em 10/02/2006 (Dia Juliano = 41). O menor valor de V_{ed} foi de $188,1$ l d⁻¹ e de V_{sd} de $128,3$ l d⁻¹, ambos ocorridos em 02/02/2006 (Dia Juliano = 33). O ΔV_d médio e o desvio padrão do período I, para o leito Typha 1, foram de $22,7 \pm 23,0$ l d⁻¹, cujo valor corresponde a $48,6 \pm 49,4$ mm d⁻¹ de evapotranspiração média.

A evapotranspiração máxima ocorreu em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32), e foi de 143,9 mm, e a mínima foi zero ocorrida em 07/02/2006 (Dia Juliano = 38). Os dados meteorológicos do dia 01/02/2006, dia este em que ocorreu a maior evapotranspiração do período I para o leito Typha 1, foram: Radiação Global de $627,6 \text{ W m}^{-2}$, UR de 61,5 %, Temperatura do ar de $27,1^{\circ}\text{C}$ e DPVS de 1,46 KPa. Para o dia de menor valor de evapotranspiração (Dia 07/02/2006), os dados meteorológicos foram: Radiação Global de $437,5 \text{ W m}^{-2}$, UR de 71,5 %, Temperatura do ar de $26,6^{\circ}\text{C}$ e DPVS de 1,07 KPa.

Pela Figura 35b, os valores médios e o desvio padrão de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente $420,1 \pm 206,4 \text{ l d}^{-1}$ e $391,9 \pm 204,9 \text{ l d}^{-1}$, sendo que o maior valor registrado foi de $910,8 \text{ l d}^{-1}$ para V_{ed} e $894,6 \text{ l d}^{-1}$ para V_{sd} , ambos ocorridos em 09/10/2006 (Dia Juliano = 282). Os menores volumes registrados ocorreram em 06/12/2006 (Dia Juliano = 340) e foram de $135,0 \text{ l d}^{-1}$ para V_{ed} e $120,6$ para V_{sd} . O ΔV_d médio e o desvio padrão foram de $28,1 \pm 18,8 \text{ l d}^{-1}$, correspondendo a uma evapotranspiração média e o desvio padrão de $60,4 \pm 40,4 \text{ mm d}^{-1}$, sendo a maior diferença desta evapotranspiração ocorrida no dia 12/09/2006 (Dia Juliano = 255), com 185,4 mm, e a menor, ocorrida em 04/12/2006 (Dia Juliano = 338), com 3,9 mm. De acordo com os dados meteorológicos do período II, pode-se notar que no dia 12/09/2006 ocorreu à menor umidade relativa do período (UR = 28,6 %), justificando assim a ocorrência, nesta mesma data, da maior evapotranspiração do leito Typha 1. As condições meteorológicas do dia de maior evapotranspiração (12/09/2006) foram: Radiação Global de $574,8 \text{ W m}^{-2}$, UR de 28,6 %, Temperatura do ar de $30,3^{\circ}\text{C}$ e DPVS de 3,14 KPa, e para o dia de menor evapotranspiração (04/12/2006) foram: Radiação Global de $537,8 \text{ W m}^{-2}$, UR de 97,8%, Temperatura do ar de $26,6^{\circ}\text{C}$ e DPVS de 0,08 KPa.

Na Figura 35c, V_{ed} médio e o desvio padrão foram de $566,1 \pm 241,5 \text{ l d}^{-1}$ e V_{sd} médio e desvio padrão de $487,0 \pm 224,4 \text{ l d}^{-1}$. Os maiores V_{ed} e V_{sd} foram, respectivamente, $1027,8 \text{ l d}^{-1}$ e $937,8 \text{ l d}^{-1}$, ambos ocorridos em 03/10/2007 (Dia Juliano = 276). Os menores valores de V_{ed} e V_{sd} ocorreram em 25/09/2007 (Dia Juliano = 268) e foram de $224,1 \text{ l d}^{-1}$ para V_{ed} e $178,2 \text{ l d}^{-1}$ para V_{sd} . O ΔV_d médio e o desvio padrão foram de $79,1 \pm 36,4 \text{ l d}^{-1}$, o que corresponde a uma evapotranspiração média e o desvio padrão de $169,8 \pm 78,2 \text{ mm d}^{-1}$. O maior valor de evapotranspiração do período III foi de 357,3 mm e ocorreu em 04/10/2007 (Dia Juliano = 277). Neste dia também ocorreu à menor umidade relativa do período III, com UR de 31,4%, justificando, assim, este fenômeno. O menor valor de evapotranspiração foi de 71,5 mm e

ocorreu em 28/09/2007 (Dia Juliano = 271). As condições meteorológicas do dia de maior evapotranspiração (04/10/2007) foram: Radiação Global de $602,4 \text{ W m}^{-2}$, UR de 31,4%, Temperatura do ar de $27,9^{\circ}\text{C}$ e DPVS de 2,69 KPa, e para o dia de menor evapotranspiração (28/09/2007) foram: Radiação Global de $301,2 \text{ W m}^{-2}$, UR de 50,7%, Temperatura do ar de $25,4^{\circ}\text{C}$ e DPVS de 1,62 KPa.

Na Figura 35d, os valores médios e o desvio padrão de V_{ed} e V_{sd} foram, respectivamente, $870,3 \pm 398,8 \text{ l d}^{-1}$ e $814,4 \pm 418,1 \text{ l d}^{-1}$. E os maiores valores de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente $1556,1 \text{ l d}^{-1}$, e $1534,5 \text{ l d}^{-1}$, ambos ocorridos em 17/10/2007 (Dia Juliano = 290). Os menores valores de V_{ed} e V_{sd} foram $365,4 \text{ l d}^{-1}$ e $316,8 \text{ l d}^{-1}$ respectivamente, ambos ocorridos em 22/11/2007 (Dia Juliano = 332). O ΔV_d médio e o desvio padrão foram de $55,9 \pm 41,7 \text{ l d}^{-1}$, valor este que corresponde a $120,0 \pm 89,5 \text{ mm d}^{-1}$ de evapotranspiração média. A evapotranspiração máxima deste período IV foi de 299 mm e ocorreu em 30/11/2007 (Dia Juliano = 334). A evapotranspiração mínima foi de 28,9 mm e ocorreu em 19/10/2007 (Dia Juliano = 292).

Alguns dados meteorológicos do período IV justificam a menor evapotranspiração ocorrida no dia 19/10/2007, pois neste dia foi registrado a maior umidade relativa do período (UR = 74,29%) e o menor DPVS (DPVS = 0,73 KPa), porém também foram registrados nesse dia o menor valor de radiação global (Radiação Global = $227,2 \text{ W m}^{-2}$) e a menor temperatura do ar ($T_{ar} = 22,6^{\circ}\text{C}$). Já no dia de máxima evapotranspiração (Dia 30/11/2007), registrou-se a maior radiação global do período, com $687,6 \text{ W m}^{-2}$.

Por meio da Figura 35, assim como na Figura 34, é possível observar que os volumes de entrada (V_{ed}) são sempre superiores aos volumes de saída (V_{sd}). Esta afirmação pode também ser confirmada na próxima Tabela 18.

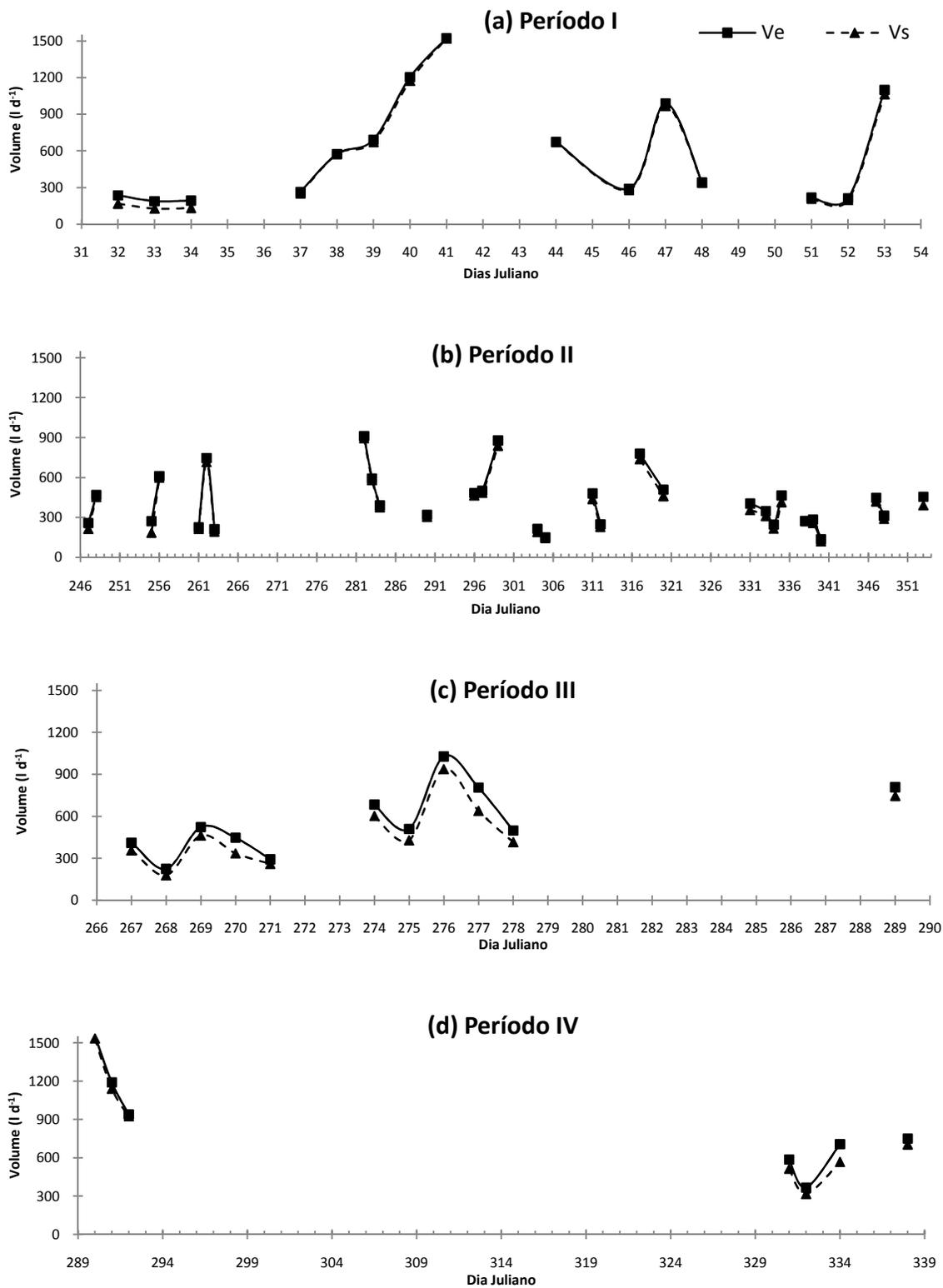


Figura 35. Valor médio diário de V_{ed} e V_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Na Tabela 18, encontram-se os resultados médios e desvio padrão diários de V_{ed} e V_{sd} dos dias monitorados nos quatro períodos para o leito Typha1. Tais valores foram obtidos a partir da soma dos valores médios horários das vazões de entrada e saída, medidas em campo. Pode-se notar que os valores de V_{ed} são sempre superiores aos valores de V_{sd} .

A mesma observação feita na Tabela 17 tem destaque na Tabela 18, sendo os valores de ΔV_d médios do período III ($\Delta V_d = 79,1 \pm 36,4 \text{ l d}^{-1}$) e do período IV ($\Delta V_d = 55,9 \pm 41,7 \text{ l d}^{-1}$) superiores em relação ao período I ($\Delta V_d = 22,7 \pm 23,0 \text{ l d}^{-1}$) e ao período II ($\Delta V_d = 28,1 \pm 18,8 \text{ l d}^{-1}$). Isso também ocorreu no ΔQ_h (Tabela 7), sendo ΔQ_h médio do período III ($\Delta Q_h = 7,4 \pm 8,1 \text{ l d}^{-1}$) e do período IV ($\Delta Q_h = 5,3 \pm 6,8 \text{ l d}^{-1}$) superiores em relação ao período I ($\Delta Q_h = 2,2 \pm 3,2 \text{ l d}^{-1}$) e ao período II ($\Delta Q_h = 2,9 \pm 3,1 \text{ l d}^{-1}$).

Tabela 18. Resultados médios diários de V_{ed} , V_{sd} e $\Delta V_d \pm$ desvio padrão, para todos os valores medidos nos períodos I, II, III e IV no leito Typha 1. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	$V_{ed} (\text{l d}^{-1})$	$V_{sd} (\text{l d}^{-1})$	$\Delta V_d (\text{l d}^{-1})$
I	$579,2 \pm 432,2$	$556,6 \pm 442,2$	$22,7 \pm 23,0$
II	$420,1 \pm 206,4$	$391,9 \pm 204,9$	$28,1 \pm 18,8$
III	$566,1 \pm 241,5$	$487,0 \pm 224,4$	$79,1 \pm 36,4$
IV	$870,3 \pm 398,8$	$814,4 \pm 418,1$	$55,9 \pm 41,7$

Na próxima figura (Figura 36), encontram-se os volumes V_{ed} e V_{sd} médios, nos períodos monitorados para o leito Typha 2. Pode-se observar que existe a mesma situação ocorrida nas duas últimas figuras (Figura 34 e 35), ou seja, os valores de V_{ed} acompanham os de V_{sd} , sendo alguns valores, às vezes, sobrepostos.

Na Figura 36a, os valores médios e o desvio padrão de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente $629,13 \pm 261,5 \text{ l d}^{-1}$ e $606,3 \pm 254,0 \text{ l d}^{-1}$, sendo o maior valor de V_{ed} $1188,9 \text{ l d}^{-1}$ e de V_{sd} $1157,9 \text{ l d}^{-1}$, ambos ocorridos em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32). Os menores valores de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente $185,4 \text{ l d}^{-1}$ e $180,5 \text{ l d}^{-1}$. O ΔV_d médio e o desvio padrão foram de $22,9 \pm 29,3 \text{ l d}^{-1}$, valor este que corresponde a uma evapotranspiração média e o desvio padrão de $49,06 \pm 62,8 \text{ mm d}^{-1}$, sendo a maior evapotranspiração de $237,6 \text{ mm}$, ocorrida em 02/02/2006 (Dia Juliano = 33), e a menor de $8,7 \text{ mm}$, ocorrida em 10/02/2006 (Dia Juliano = 41). De acordo com os dados meteorológicos do período I, registrou-se que no dia de maior valor de evapotranspiração (Dia 02/02/2006) houve a maior radiação global, com

665,0 W m⁻², e para o menor valor de evapotranspiração (Dia 10/02/2006), registraram-se os menores valores de temperatura do ar ($T_{ar} = 23,7^{\circ}\text{C}$) e de DPVS (DPVS = 0,5 KPa) e o maior valor para umidade relativa (UR = 84,8%), justificando assim a ocorrência desses valores de evapotranspiração.

Pela Figura 36b, os valores médios e o desvio padrão de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente $540,2 \pm 347,7 \text{ l d}^{-1}$ e $505,3 \pm 338,1 \text{ l d}^{-1}$, sendo que o maior valor registrado foi de 1387,8 l d⁻¹ para V_{ed} e 1344,6 l d⁻¹ para V_{sd} , ambos ocorridos em 09/10/2006 (Dia Juliano = 282). Foi também neste dia que ocorreram os maiores valores de V_{ed} e V_{sd} da Figura 35b. Assim como na Figura 35b, os menores volumes registrados ocorreram em 06/12/2006 (Dia Juliano = 340) e foram de 112,5 l d⁻¹ para V_{ed} e 111,2 para V_{sd} . O ΔV_d médio e o desvio padrão foram de $35,0 \pm 23,4 \text{ l d}^{-1}$, correspondendo a uma evapotranspiração média de $75,1 \pm 50,1 \text{ mm d}^{-1}$, sendo a maior diferença desta evapotranspiração ocorrida no dia 13/09/2006 (Dia Juliano = 256), com 239,5 mm, e a menor, ocorrida em 06/12/2006 (Dia Juliano = 340), com 2,9 mm. As condições meteorológicas do dia de menor evapotranspiração (06/12/2006) registraram que neste dia ocorreu UR de 100% e DPSV de zero, justificando assim essa situação. Para o dia de maior evapotranspiração (13/09/2006), as condições meteorológicas registraram valores de Radiação Global de 581,3 W m⁻², UR de 28,9 %, Temperatura do ar de 30,5°C e DPVS de 3,16 KPa e, para o dia de menor evapotranspiração (06/12/2006), a Radiação Global foi de 412,3 W m², a UR de 100,0%, a Temperatura do ar de 25,1°C e o DPVS zero.

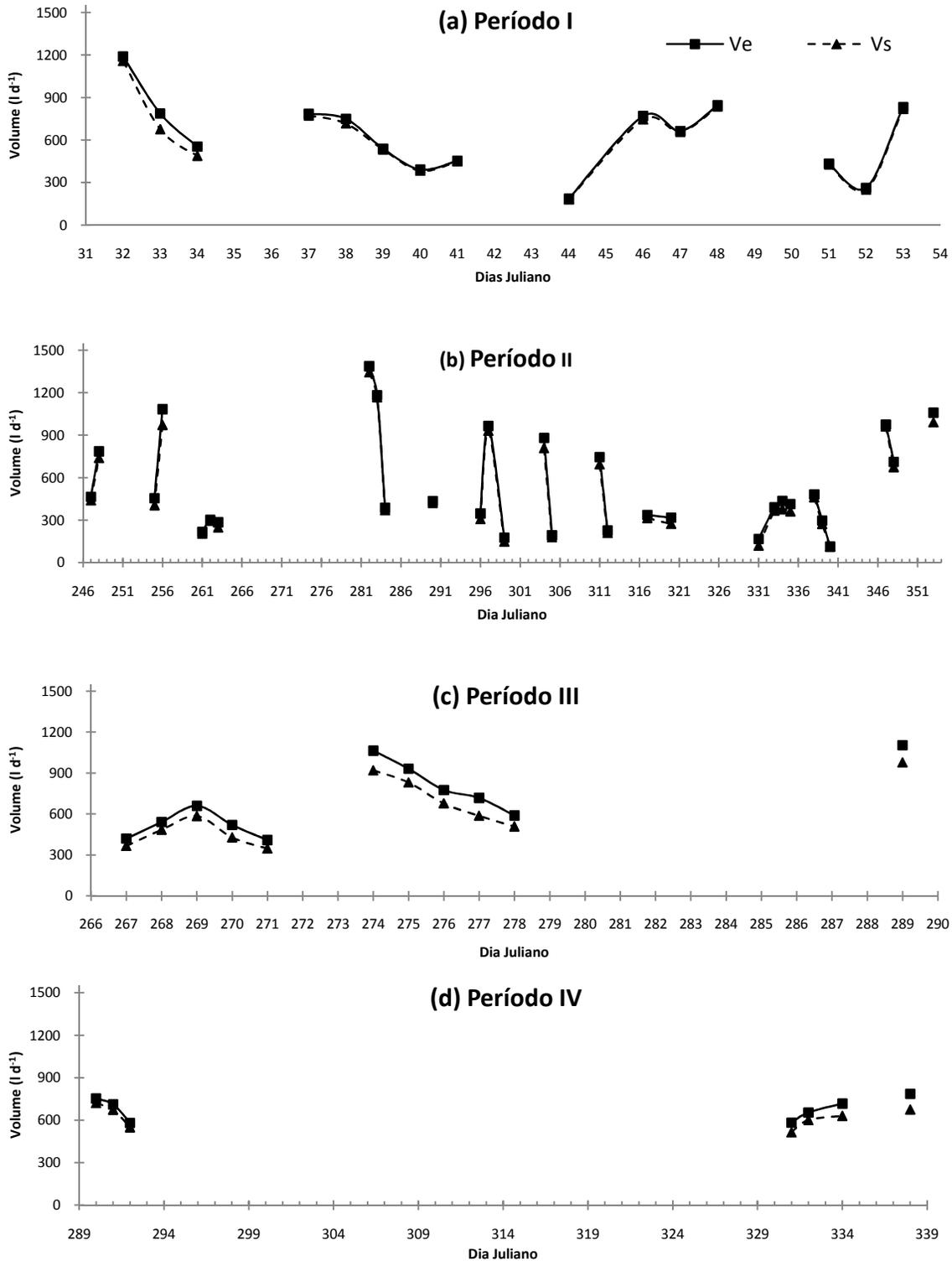


Figura 36. Valor médio diário de V_{ed} e V_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Na Figura 36d, os valores médios e o desvio padrão de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente $683,1 \pm 80,4 \text{ l d}^{-1}$ e $623,4 \pm 73,6 \text{ l d}^{-1}$. O maior valor de V_{ed} foi $785,7 \text{ l d}^{-1}$, ocorrido em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338) e de V_{sd} de $720,9 \text{ l d}^{-1}$, ocorrido em 17/10/2007 (Dia Juliano = 290), e os menores valores de V_{ed} e V_{sd} foram respectivamente $580,5 \text{ l d}^{-1}$, ocorrido em 10/10/2007 (Dia Juliano = 297), e $514,8 \text{ l d}^{-1}$, ocorrido em 27/11/2007 (Dia Juliano = 331). O ΔV_d médio e o desvio padrão foram de $59,7 \pm 30,3 \text{ l d}^{-1}$, que corresponde a $128,0 \pm 64,9 \text{ mm d}^{-1}$ de evapotranspiração média. A evapotranspiração máxima deste período IV foi de $237,55 \text{ mm}$ e ocorreu em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338). A evapotranspiração mínima foi de $67,6 \text{ mm}$ e ocorreu em 19/10/2007 (Dia Juliano = 292). Em 04/12/2007, dia de ocorrência de máxima evapotranspiração, registrou-se também a menor umidade relativa do período IV (UR = 42,9%), justificando assim este fenômeno. As condições meteorológicas do dia de maior evapotranspiração (04/10/2007) foram: Radiação Global de $565,3 \text{ W m}^{-2}$, UR de 42,9%, Temperatura do ar de $30,5^\circ\text{C}$ e DPVS de 2,52 KPa, e para o dia de menor evapotranspiração (17/10/2007) foram: Radiação Global de $528,4 \text{ W m}^{-2}$, UR de 45,7%, Temperatura do ar de $29,9^\circ\text{C}$ e DPVS de 2,36 KPa.

Por meio da Figura 36, assim como nas Figuras 34 e 35, foi possível observar que os volumes de entrada (V_{ed}) são sempre acompanhados pelos volumes de saída (V_{sd}). Esta afirmação pode também ser confirmada na próxima Tabela 19.

Na Tabela 19, encontram-se os resultados médios diários de V_{ed} e V_{sd} dos dias monitorados nos quatro períodos para o leito Typha 2. Tais valores foram obtidos a partir da soma dos valores médios horários das vazões de entrada e saída, medidas em campo. Pode-se notar que os valores de V_{ed} são sempre superiores aos valores de V_{sd} .

Tabela 19. Resultados médios diários de V_{ed} , V_{sd} e $\Delta V_d \pm$ desvio padrão, para todos os valores medidos nos períodos I, II, III e IV no leito Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	$V_{ed} (\text{l d}^{-1})$	$V_{sd} (\text{l d}^{-1})$	$\Delta V_d (\text{l d}^{-1})$
I	$629,1 \pm 261,5$	$606,3 \pm 254,0$	$22,9 \pm 29,3$
II	$540,2 \pm 347,7$	$505,3 \pm 338,1$	$35,0 \pm 23,4$
III	$702,6 \pm 243,1$	$609,9 \pm 218,0$	$96,6 \pm 30,7$
IV	$683,1 \pm 80,4$	$623,4 \pm 73,6$	$59,7 \pm 30,3$

Assim como observado nas Tabelas 17 e 18, destaca-se na Tabela 19 a superioridade dos valores obtidos nos ΔV_d médios e o desvio padrão do período III ($\Delta V_d = 96,6 \pm 30,71 \text{ d}^{-1}$) e do período IV ($\Delta V_d = 59,7 \pm 30,31 \text{ d}^{-1}$) em relação ao período I ($\Delta V_d = 22,9 \pm 29,3 \text{ d}^{-1}$) e ao período II ($\Delta V_h = 35,0 \pm 23,4 \text{ d}^{-1}$). Isso também foi observado no ΔQ_h (Tabela 8), sendo o ΔQ_h médio do período III ($\Delta Q_h = 8,7 \pm 5,7 \text{ l d}^{-1}$) e do período IV ($\Delta Q_h = 5,6 \pm 4,6 \text{ l d}^{-1}$) superiores em relação ao período I ($\Delta Q_h = 2,2 \pm 3,2 \text{ l d}^{-1}$) e ao período II ($\Delta Q_h = 3,7 \pm 4,5 \text{ l d}^{-1}$).

Uma possível hipótese aos resultados superiores observados nos períodos III e IV em relação aos períodos I e II de ΔQ_h (Tabelas 5, 6 e 7) e ΔV_d (Tabelas 16, 17 e 18) pode ser devido à variável meteorológica DPVS (Tabela 8). Observou-se que no período III (DPVS = $2,0 \pm 1,0 \text{ KPa}$) e no período IV (DPVS = $1,9 \pm 0,8 \text{ KPa}$), tais valores foram superiores aos do período I (DPVS = $1,2 \pm 0,6 \text{ KPa}$) e do período II (DPVS = $1,2 \pm 1,0 \text{ KPa}$).

Na Figura 37, encontram-se os gráficos referentes aos tempos de detenção hidráulica (TDH) diário, dos três leitos cultivados estudados, nos quatro períodos monitorados.

Pela Figura 37a, verifica-se que o dia de maior TDH ocorreu em 03/02/2006 (Dia Juliano = 34) para o leito Typha 1, com valor de TDH de 4,58 dias, e o no dia 13/02/2006 (Dia Juliano = 44), o leito Typha 2 apresentou o segundo maior valor de TDH, com 4,29 dias. Para o leito Brita, o valor médio e o desvio padrão de TDH foram de $1,28 \pm 0,57$ dias, para o leito Typha 1, a média e o desvio padrão foram de $2,25 \pm 1,42$ dias, e para o leito Typha 2 a média e o desvio padrão foi de $1,56 \pm 0,90$ dias. Os valores máximos de TDH foram: leito Brita com 2,99 dias, ocorrido em 06/02/2006 (Dia Juliano = 37); leito Typha 1 com 4,58 dias, ocorrido em 03/02/2006 (Dia Juliano = 34); e leito Typha 2 com 4,29, ocorrido em 13/02/2006 (Dia Juliano = 44). Os valores mínimos de TDH foram: leito Brita com 0,73 dias, ocorrido em 17/02/2006 (Dia Juliano = 48); leito Typha 1 com 0,53 dias, ocorrido em 10/02/2006 (Dia Juliano = 41); e leito Typha 2 com 0,67, ocorrido em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32).

Na Figura 37b, o maior TDH ocorreu para o leito Typha 2, com 8,10 dias ocorrido em 06/12/2006 (Dia Juliano = 340). Nesta mesma data também ocorreu o maior TDH do leito Typha 1, apresentando TDH de 6,75 dias. Da mesma maneira, no dia 09/10/2006 (Dia Juliano = 282), esses dois leitos apresentaram os menores valores de TDH, sendo respectivamente para o leito Typha 1 e leito Typha 2 TDH de 0,87 dias e 0,57 dias. Para o leito Brita, o maior valor de TDH foi de 3,91 dias e o menor de 0,50 dias. Os valores médios e o desvio padrão de

TDH foram: leito Brita com $2,09 \pm 1,03$ dias; leito Typha 1 com $2,48 \pm 1,37$ dias; e leito Typha 2 com $2,31 \pm 1,64$ dias.

Na Figura 37c é possível observar que 25/09/2007 (Dia Juliano = 268) foi a data em que ocorreu os maiores valores de TDH para os leitos Brita e Typha 1, sendo respectivamente 2,32 dias e 3,68 dias. Para o leito Typha 2, o maior valor de TDH foi de 2,09 dias e ocorreu em 28/09/2007 (Dia Juliano = 271). Os menores valores de TDH, para cada leito, ocorreram em dias distintos, sendo para o leito Brita a data 01/10/2007 (Dia Juliano = 274), com TDH de 1,08 dias, para o leito Typha 1 03/10/2007 (Dia Juliano = 276), com TDH de 0,77 dias, e para o leito Typha 2 em 16/10/2007 (Dia Juliano = 289) com TDH de 0,72 dias. Os valores médios e o desvio padrão de TDH foram: leito Brita com $1,58 \pm 0,46$ dias; leito Typha 1 com $1,76 \pm 0,93$ dias e leito Typha 2 com $1,28 \pm 0,45$ dias.

Pela Figura 37d tem-se que os menores valores de TDH do leito Brita e do leito Typha 1 ocorrem no dia 17/10/2007 (Dia Juliano = 290) e seus valores foram de 0,67 dias e 0,52 dias, respectivamente. Para o leito Typha 2, o menor valor de TDH foi de 1,02 dias, ocorrido em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338). Os maiores valores do TDH foram: leito Brita com 1,88 dias, ocorrido em 30/11/2007 (Dia Juliano = 334); leito Typha 1 com 2,19 dias, ocorrido em 28/11/2007 (Dia Juliano = 332); e leito Typha 2 com 1,38 dias, ocorrido em 27/11/2007 (Dia Juliano = 331). Os valores médios e o desvio padrão de TDH foram: leito Brita com $1,30 \pm 0,50$ dias; leito Typha 1 com $1,12 \pm 0,55$ dias; e leito Typha 2 com $1,18 \pm 0,14$ dias.

Na Figura 38, encontram-se os gráficos dos volumes de evaporação/evapotranspiração dos leitos cultivados nos quatro períodos monitorados. Tais resultados já foram descritos separadamente quando apresentados nas Figuras 34, 35 e 36. Porém, com a finalidade de verificar e comparar o comportamento da evaporação/evapotranspiração de cada leito, os mesmos foram plotados juntos em seus respectivos períodos.

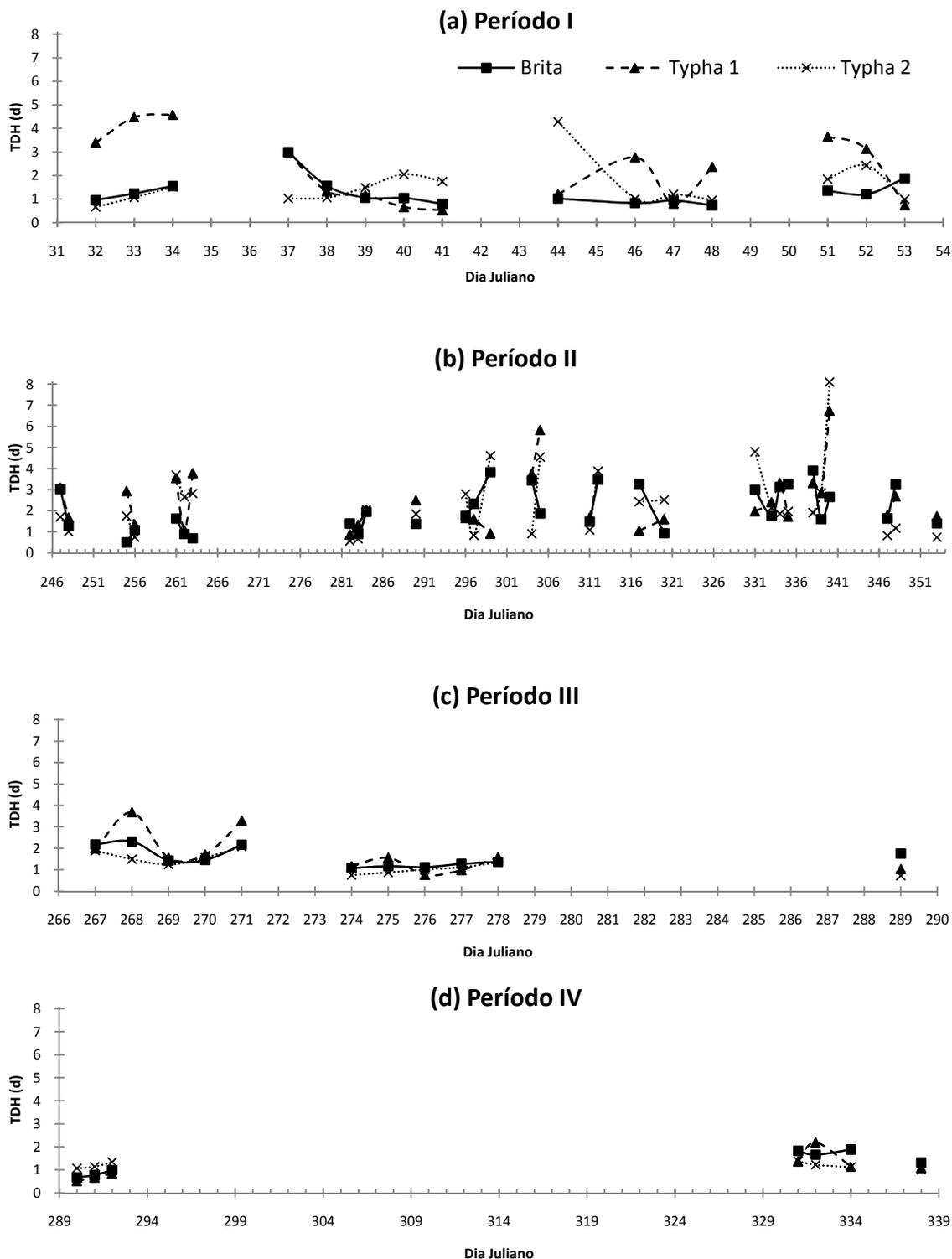


Figura 37. Valor médio do TDH nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Pela Figura 38a, pode-se observar que o leito Typha 2 foi o que apresentou valores superiores de evapotranspiração, na maior parte do período I, em relação aos demais leitos cultivados. O maior valor de evapotranspiração do leito Typha 2 foi de 237,6 mm e ocorreu em 02/02/2006 (Dia Juliano = 33), enquanto que o do leito Typha 1 foi de 143,9 mm, ocorrido em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32), e a evaporação do leito Brita foi de 84,0 mm, ocorrida em 22/02/2006 (Dia Juliano = 53). Esses valores altos de evapotranspiração dos leitos Typha 1 e Typha 2 chamam a atenção e podem ser justificados pelo fato de que, pelo aspecto visual, as macrófitas dos leitos Typha 1 e Typha 2 estavam no auge do desenvolvimento vegetativo, com folhas vistosas e bem desenvolvidas, algumas inflorescências e altura superior a dois metros, sendo que no dia 03/02/2006, ou seja, um dia após este acontecimento, realizou-se uma poda drástica em toda parte aérea das plantas, marcando assim o início da fase experimental. Isso pode ser confirmado pelos valores subseqüentes há este dia, os quais são bem mais baixos e, apesar de ainda superiores, são mais próximo dos valores da evaporação do leito Brita.

Nesta mesma Figura 38a, a evaporação média e o desvio padrão do leito Brita foram de $34,9 \pm 24,8$ mm d⁻¹; do leito Typha 1 foram de $48,6 \pm 49,4$ mm d⁻¹; e do leito Typha 2 foram de $49,1 \pm 62,8$ mm d⁻¹. Os valores mínimos da evaporação no leito Brita e da evapotranspiração do leito Typha 2 ocorreram na mesma data, isto é, em 10/02/2006 (Dia Juliano = 41), com 12,6 mm e 8,7 mm respectivamente. O menor valor da evapotranspiração do leito Typha 1 foi zero e ocorreu em 07/02/2006 (Dia Juliano = 38).

Na Figura 38b, é possível observar que o leito Typha 2 apresentou o maior valor de evapotranspiração do período II, com 239,5 mm, e isso ocorreu em 13/09/2006 (Dia Juliano = 256). Em seguida, ficou o leito Typha 1 com 185,4 mm, ocorrido em 12/09/2006 (Dia Juliano = 255). O leito Brita apresentou a maior evaporação em 05/12/2006 (Dia Juliano = 339) com 112,0 mm. Para os menores valores de evaporação/evapotranspiração tem-se que no leito Brita este valor foi zero para vários dias como: 17/10/2006 (Dia Juliano = 290); 01 e 07/11/2006 (Dias Julianos = 305 e 311, respectivamente); 14/12/2006 (Dia Juliano = 348). Os valores médios e o desvio padrão foram: leito Brita com $29,2 \pm 25,4$ mm d⁻¹; leito Typha 1 com $60,4 \pm 40,4$ mm d⁻¹; e leito Typha 2 com $75,1 \pm 50,1$ mm d⁻¹.

Na Figura 38c, tratou-se do monitoramento do período III, período este em que as plantas estavam num estágio de desenvolvimento alto, semelhante aos dois primeiros dias do período I (Dias Julianos 32 e 33 da Figura 38a). O primeiro corte drástico realizado na parte

aérea deste período III foi em 03/07/2007 (Dia Juliano = 184), ou seja, passados 83 dias (ou 2,7 meses) as plantas dos leitos cultivados estavam crescidas, com desenvolvimento vegetativo avançado e potencialmente com taxa de evapotranspiração altas, justificando assim os valores superiores obtidos tanto dos leitos Typha 1 e Typha 2, em relação ao leito Brita.

Nesta mesma Figura 38c, o maior valor do leito Brita ocorreu em 02/12/2007 (Dia Juliano = 275) e foi de 84,9 mm; do leito Typha 1 foi de 357,3 mm e ocorreu em 04/10/2007 (Dia Juliano = 277); e do leito Typha 2 foi de 309,0 mm e ocorreu em 01/10/2007 (Dia Juliano = 274). A menor evaporação do leito Brita foi 27,0 mm e a menor evapotranspiração do leito Typha 2 foi de 115,9 mm, ambas ocorridas em 24/09/2007 (Dia Juliano = 267). Para o leito Typha 1, a menor evapotranspiração foi de 71,46 mm, ocorrida em 28/09/2007 (Dia Juliano = 271). Os valores médios e o desvio padrão foram: leito Brita com $54,3 \pm 16,6 \text{ mm d}^{-1}$; leito Typha 1 com $169,8 \pm 78,2 \text{ mm d}^{-1}$; e leito Typha 2 com $198,8 \pm 65,9 \text{ mm d}^{-1}$.

Para a Figura 38d, os maiores valores da evapotranspiração dos leitos Typha 1 e Typha 2 ocorreram no fim do monitoramento do período IV, ou seja, no dia 30/11/2007 (Dia Juliano = 334) e dia 19/10/2007 (Dia Juliano = 338), respectivamente, e foram 299,4 mm para o leito Typha 1 e 237,6 mm para leito Typha 2. Da mesma maneira como descrito no penúltimo parágrafo, o corte drástico da parte aérea do período IV ocorreu em 17/10/2007 (Dia Juliano = 290) e nos dias em que se registraram as maiores evapotranspiração (Dia Juliano 334 para o leito Typha 1 e Dia Juliano 338 para o leito Typha 2), as plantas tiveram 44 e 48 dias respectivamente para desenvolverem novas folhas e, assim, realizarem a evapotranspiração, justificando os valores superiores aos ocorridos no começo do período IV. O menor valor de evaporação do leito Brita ocorreu em 27/11/2007 (Dia Juliano = 331) e foi de 19,3 mm, e para os leitos Typha 1 e Typha 2 foram respectivamente, 28,9 mm e 67,6 mm, ambos ocorridos em 19/10/2007 (Dia Juliano = 292). Os valores médios e o desvio padrão foram: leito Brita com $54,9 \pm 33,8 \text{ mm d}^{-1}$; leito Typha 1 com $120,0 \pm 89,5 \text{ mm d}^{-1}$; e leito Typha 2 com $128,0 \pm 64,9 \text{ mm d}^{-1}$.

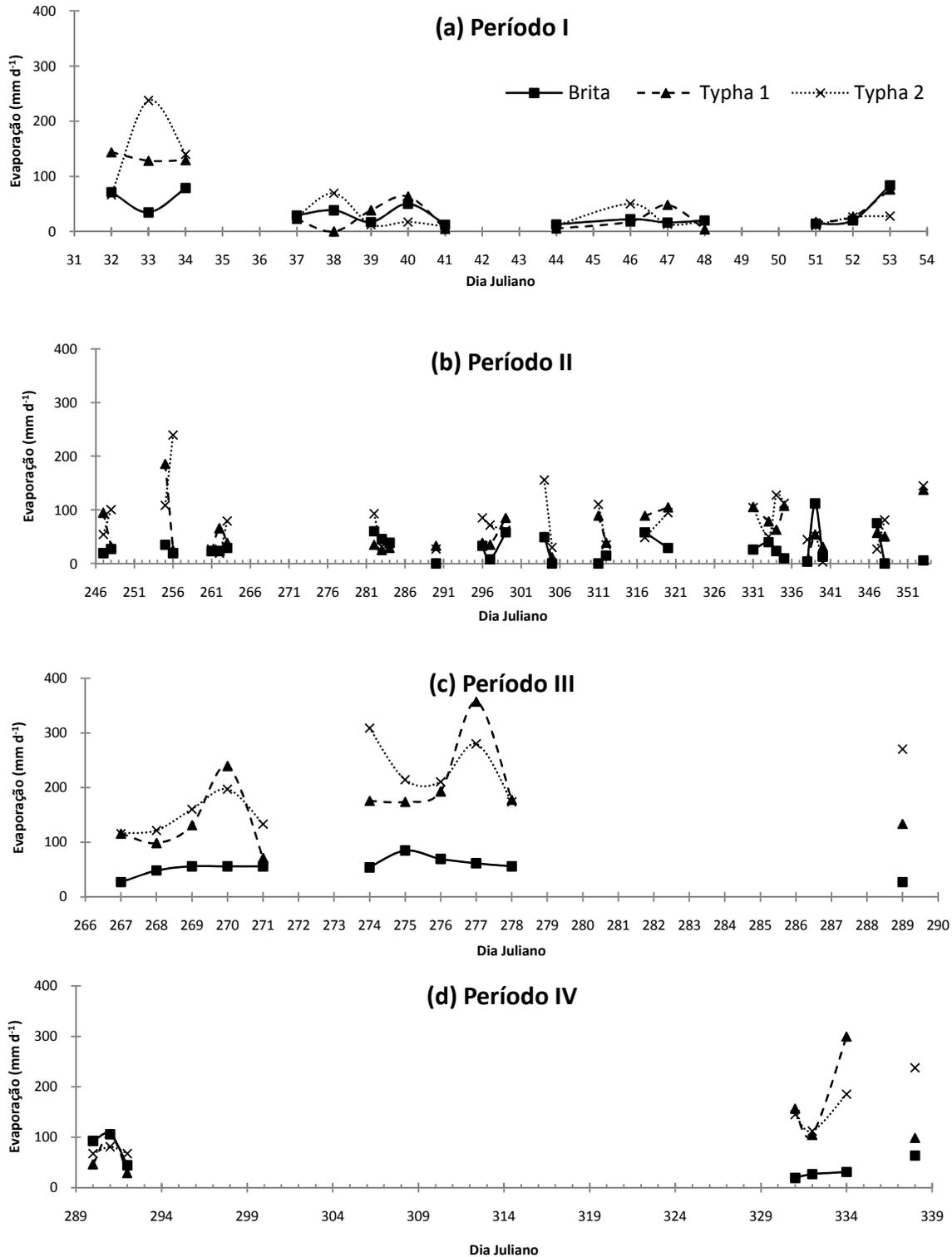


Figura 38. Valor médio do volume evaporado nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Por meio da Figura 38, foi possível observar que os leitos Typha 1 e Typha 2, por possuírem as macrófitas, apresentaram valores superiores de evapotranspiração em relação aos valores de evaporação encontrados no leito Brita. Esta afirmação pode ser confirmada na próxima tabela apresentada (Tabela 20).

Nesta mesma Tabela 20, notam-se que os períodos III e IV apresentam valores muito superiores de evaporação/evapotranspiração em relação aos períodos I e II. Uma possível explicação para tal fato se deve principalmente ao DPVS (Tabela 9). Na Tabela 9 foram apresentados os valores médios das condições meteorológicas dos períodos como radiação global, temperatura do ar e DPVS. Porém, somente o DPVS apresentou diferença que auxiliasse na explicação dos resultados apresentados referentes à evaporação/evapotranspiração. Essa variável apresentou média e o desvio padrão de $1,2 \pm 0,6$ KPa para o período I, $1,2 \pm 1,0$ KPa para o período II, $2,0 \pm 1,0$ KPa no período III e $1,9 \pm 0,8$ KPa no período IV.

Tabela 20. Resultados médios de evaporação/evapotranspiração \pm desvio padrão, para os quatro períodos monitorados nos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Período	Brita Evaporação (mm d ⁻¹)	Typha 1 Evapotranspiração (mm d ⁻¹)	Typha 2 Evapotranspiração (mm d ⁻¹)
I	34,9 \pm 24,8	48,6 \pm 49,4	49,1 \pm 62,8
II	29,2 \pm 25,4	60,4 \pm 40,4	75,1 \pm 50,1
III	54,3 \pm 16,6	169,8 \pm 78,2	198,8 \pm 65,9
IV	54,9 \pm 33,8	120,0 \pm 89,5	128,0 \pm 64,9

6.2.2 Qualidade de água

As próximas figuras apresentadas (Figuras 39 a 47) se referem às variáveis relacionadas à qualidade de água em relação ao nutriente fósforo.

Na Figura 39, encontram-se as concentrações médias diárias de fósforo total de entrada (PT_{ed}) e de fósforo total de saída (PT_{sd}), nos quatro períodos monitorados para o leito Brita.

Pela Figura 39a, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente, $3,3 \pm 1,8$ mg l⁻¹ e $2,2 \pm 0,6$ mg l⁻¹, sendo o maior valor de PT_{ed} de 6,5 mg l⁻¹, ocorrido em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32) e de PT_{sd} de 3,3 mg l⁻¹, ocorrido em 10/02/2006

(Dia Juliano = 41). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} coincidiram e foram $1,2 \text{ mg l}^{-1}$, porém ocorridos em dias distintos, sendo para PT_{ed} 02/02/2006 (Dia Juliano = 33) e para PT_{sd} 01/02/2006 (Dia Juliano = 32). O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $1,1 \pm 1,9 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32), de $5,3 \text{ mg l}^{-1}$, e a menor diferença de concentração de $-1,7 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 09/02/2006 (Dia Juliano = 40).

Pela Figura 39b, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente, $3,8 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e $3,2 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $5,4 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 10/10/2006 (Dia Juliano = 283) e de PT_{sd} de $4,8 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 20/10/2006 (Dia Juliano = 263). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente, $1,5 \text{ mg l}^{-1}$ e $2,0 \text{ mg l}^{-1}$, ocorridos em 17/10/2006 (Dia Juliano = 290) para PT_{ed} e em 29/11/2006 (Dia Juliano = 333) para PT_{sd} . O ΔPT_d médio e o desvio padrão foi de $0,6 \pm 0,7 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 11/10/2006 (Dia Juliano = 284), de $2,56 \text{ mg l}^{-1}$, e a menor diferença de concentração de $-0,81 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 20/09/2006 (Dia Juliano = 263).

Pela Figura 39c, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente, $5,2 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e $5,6 \pm 0,8 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $7,1 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 26/09/2007 (Dia Juliano = 269) e de PT_{sd} de $6,5 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 05/10/2007 (Dia Juliano = 278). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $4,2 \text{ mg l}^{-1}$ e $4,1 \text{ mg l}^{-1}$, ocorridos em 02/10/2007 (Dia Juliano = 275) para PT_{ed} e 16/10/2007 (Dia Juliano = 289) para PT_{sd} . O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $-0,2 \pm 1,1 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 26/09/2007 (Dia Juliano = 269), de $2,0 \text{ mg l}^{-1}$ e a menor diferença de concentração de $-1,9 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 24/09/2007 (Dia Juliano = 267).

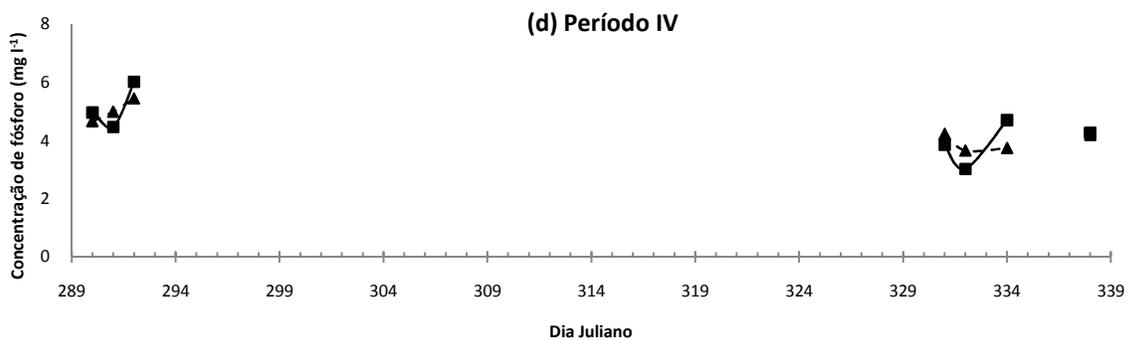
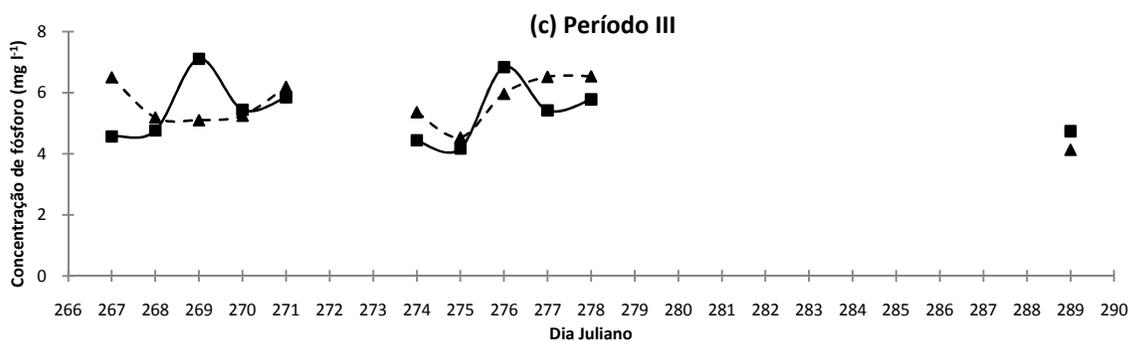
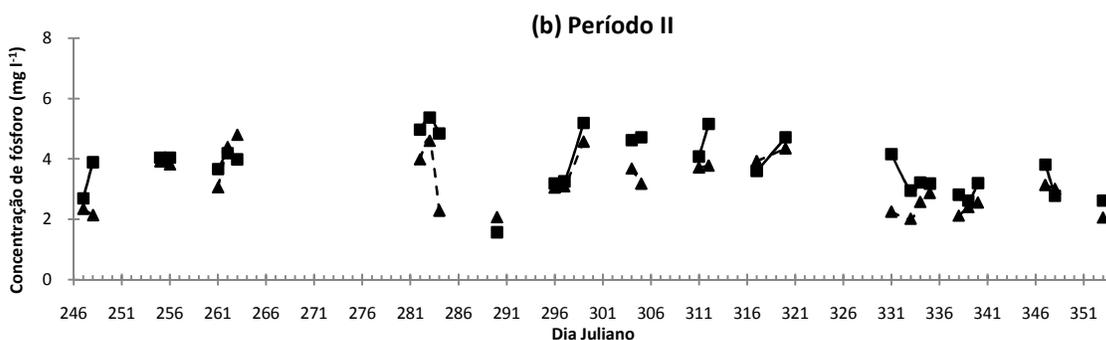
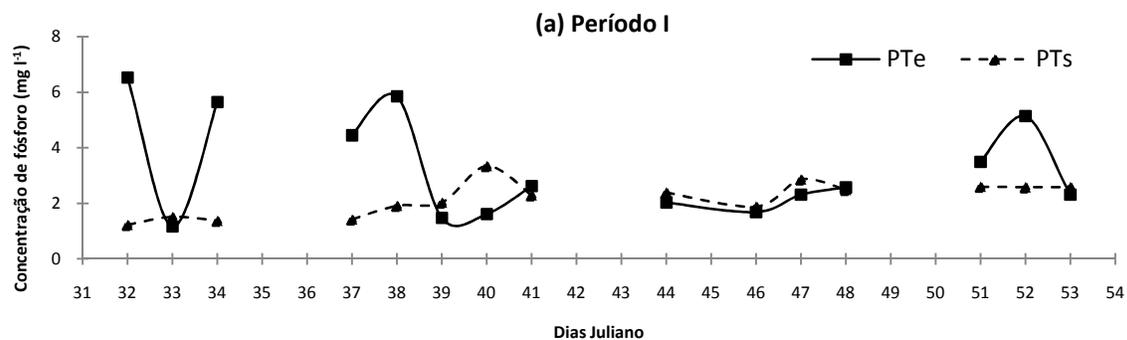


Figura 39. Valor médio de PT_{ed} e PT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Pela Figura 39d, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $4,5 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e $4,4 \pm 0,7 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $6,0 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 19/10/2007 (Dia Juliano = 292) e de PT_{sd} de $5,4 \text{ mg l}^{-1}$, que coincidentemente ocorreu no mesmo dia. Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $3,0 \text{ mg l}^{-1}$ e $3,7 \text{ mg l}^{-1}$, ambos ocorridos em 28/11/2007 (Dia Juliano = 332). O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $0,1 \pm 0,6 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 30/11/2007 (Dia Juliano = 334), de $1,0 \text{ mg l}^{-1}$, e a menor diferença de concentração de $-0,6 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 28/11/2007 (Dia Juliano = 332).

Na Figura 40, encontram-se as concentrações médias diárias de fósforo total de entrada (PT_{ed}) e do fósforo total de saída (PT_{sd}), nos quatro períodos monitorados para o leito Typha 1.

Pela Figura 40a, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $3,3 \pm 1,8 \text{ mg l}^{-1}$ e $2,6 \pm 1,3 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $6,5 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32) e de PT_{sd} de $5,5 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 07/02/2006 (Dia Juliano = 38). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $1,2 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido no dia 02/02/2006 (Dia Juliano = 33), e $0,8 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 08/02/2006 (Dia Juliano = 39). O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $0,7 \pm 1,1 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 21/02/2006 (Dia Juliano = 52), de $3,4 \text{ mg l}^{-1}$, e a menor diferença de concentração de $-0,6 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 02/02/2006 (Dia Juliano = 33).

Pela Figura 40b, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $3,8 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e $3,0 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $5,4 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 10/10/2006 (Dia Juliano = 283) e de PT_{sd} de $4,8 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 20/10/2006 (Dia Juliano = 263). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $1,5 \text{ mg l}^{-1}$ e $1,3 \text{ mg l}^{-1}$, ocorridos em 17/10/2006 (Dia Juliano = 290) para PT_{ed} e em 13/12/2006 (Dia Juliano = 347) para PT_{sd} . O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $0,8 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 19/09/2006 (Dia Juliano = 262), de $2,8 \text{ mg l}^{-1}$, e a menor diferença de concentração de $-0,8 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 04/09/2006 (Dia Juliano = 247).

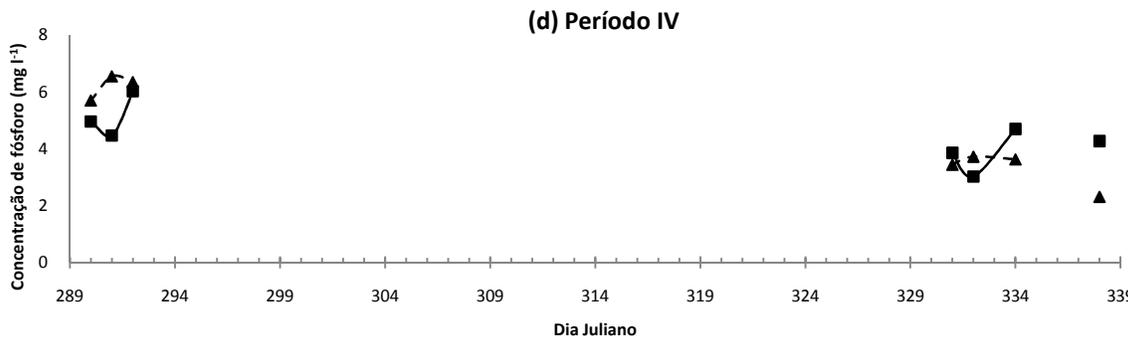
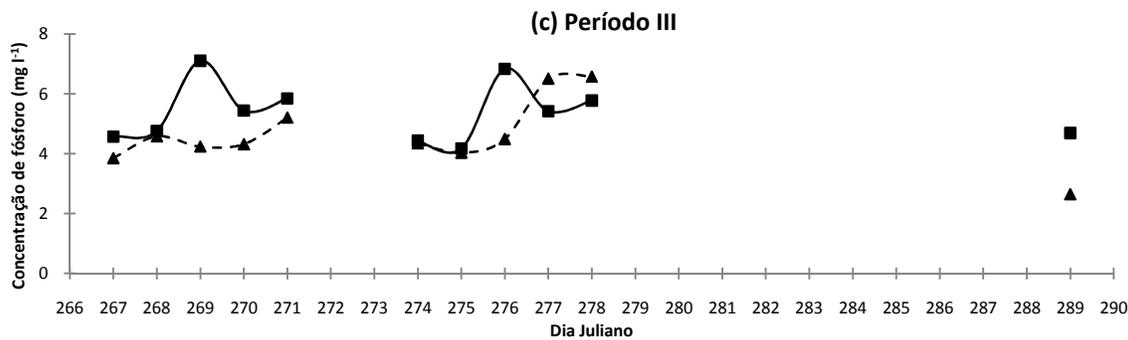
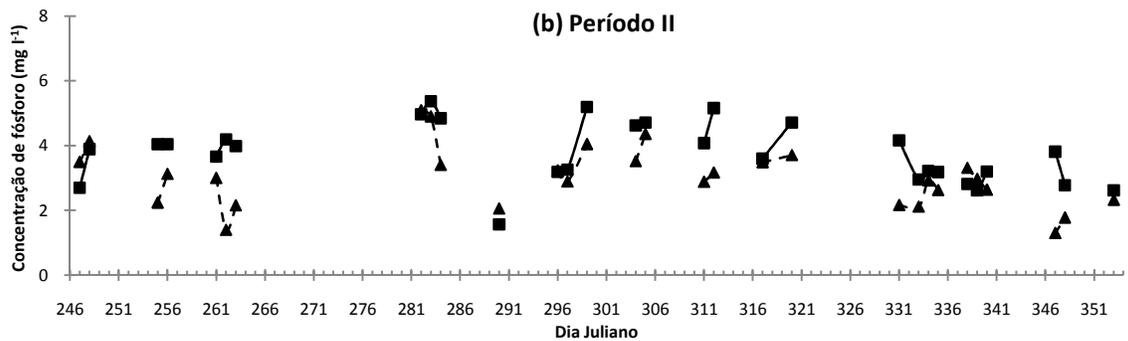
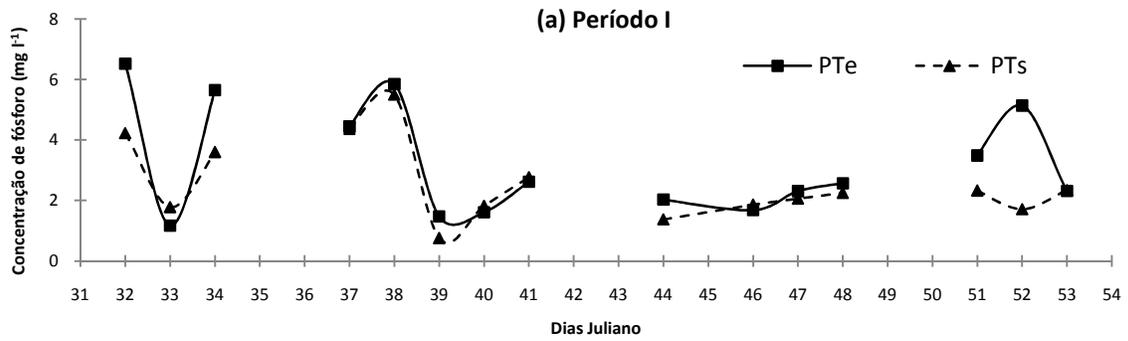


Figura 40. Valor médio de PT_{ed} e PT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Pela Figura 40c, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $5,2 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e $4,6 \pm 1,1 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $7,1 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 26/09/2007 (Dia Juliano = 269) e de PT_{sd} de $6,6 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 05/10/2007 (Dia Juliano = 278). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $4,2 \text{ mg l}^{-1}$ e $2,6 \text{ mg l}^{-1}$, ocorridos em 02/10/2007 (Dia Juliano = 275) para PT_{ed} e 16/10/2007 (Dia Juliano = 289) para PT_{sd} . O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $0,8 \pm 1,3 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 26/09/2007 (Dia Juliano = 269), de $2,9 \text{ mg l}^{-1}$, e a menor diferença de concentração de $-1,1 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 04/10/2007 (Dia Juliano = 277).

Pela Figura 40d, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $4,5 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e $4,5 \pm 1,7 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $6,0 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 19/10/2007 (Dia Juliano = 292) e de PT_{sd} de $6,5 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 18/10/2007 (Dia Juliano = 291). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $3,0 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 28/11/2007 (Dia Juliano = 332), e $2,3 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338). O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $-0,1 \pm 1,3 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338), de $2,0 \text{ mg l}^{-1}$, e a menor diferença de concentração de $-2,1 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 18/10/2007 (Dia Juliano = 291).

Na Figura 41, encontram-se as concentrações médias diárias de fósforo total de entrada (PT_{ed}) e de fósforo total de saída (PT_{sd}), nos quatro períodos monitorados para o leito Typha 2.

Pela Figura 41a, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $3,3 \pm 1,8 \text{ mg l}^{-1}$ e $2,1 \pm 0,6 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $6,5 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32) e de PT_{sd} de $3,1 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 20/02/2006 (Dia Juliano = 51). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $1,2 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido no dia 02/02/2006 (Dia Juliano = 33), e $1,0 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 08/02/2006 (Dia Juliano = 39). O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $1,1 \pm 1,9 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32), de $5,2 \text{ mg l}^{-1}$, e a menor diferença de concentração de $-1,1 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 09/02/2006 (Dia Juliano = 40).

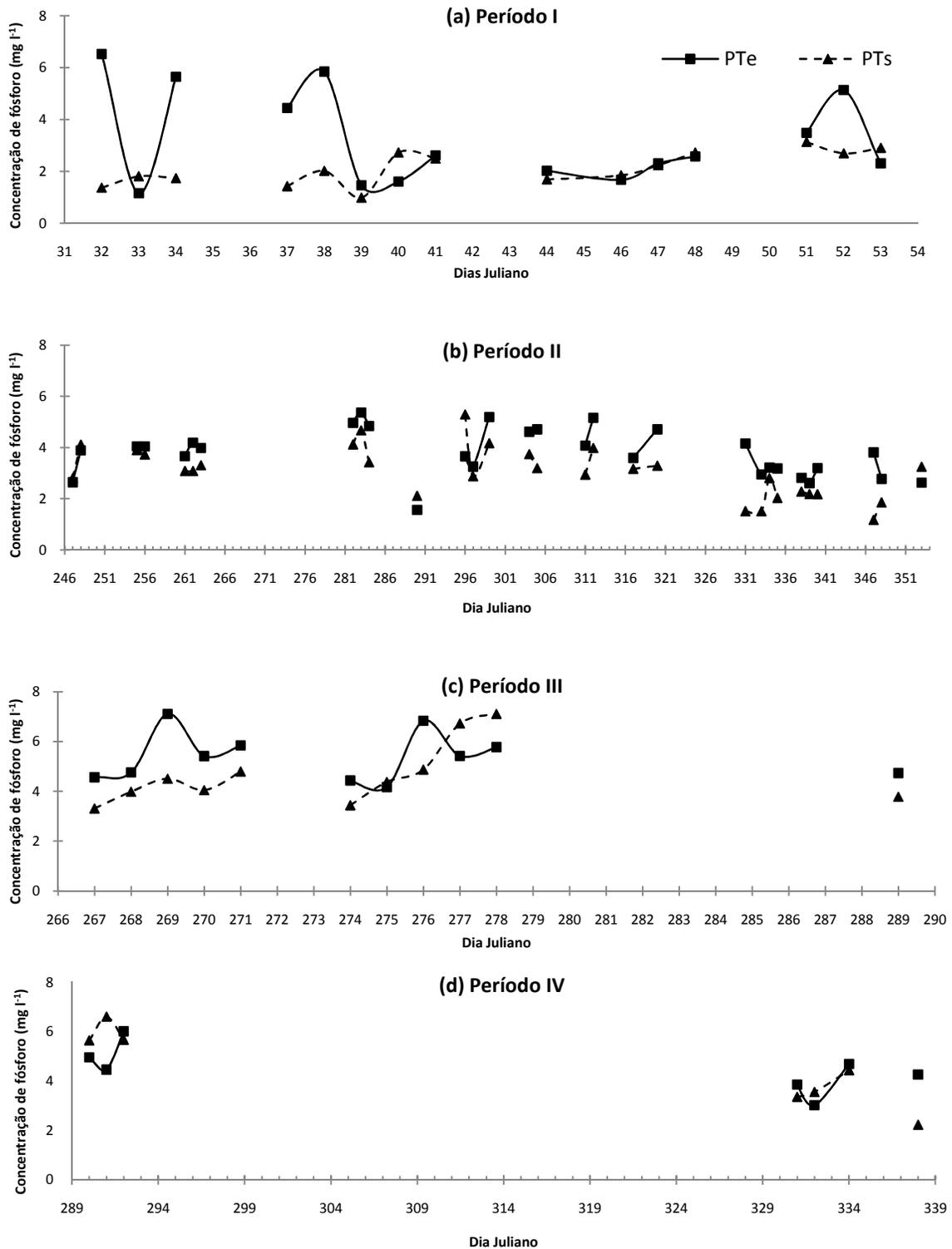


Figura 41. Valor médio de PT_{ed} e PT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Na Figura 41b, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $3,8 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e $3,1 \pm 1,0 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $5,4 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 10/10/2006 (Dia Juliano = 283), e de PT_{sd} de $5,3 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 23/10/2006 (Dia Juliano = 296). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $1,5 \text{ mg l}^{-1}$ e $1,2 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 17/10/2006 (Dia Juliano = 290) para PT_{ed} e em 13/12/2006 (Dia Juliano = 347) para PT_{sd} . O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $0,7 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 27/11/2006 (Dia Juliano = 331), de $2,7 \text{ mg l}^{-1}$, e a menor diferença de concentração de $-1,6 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 23/10/2006 (Dia Juliano = 296).

Pela Figura 41c, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente, $5,2 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e $4,6 \pm 1,2 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $7,1 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 26/09/2007 (Dia Juliano = 269) e de PT_{sd} de $7,11 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 05/10/2007 (Dia Juliano = 278). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $4,2 \text{ mg l}^{-1}$ e $3,3 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 02/10/2007 (Dia Juliano = 275) para PT_{ed} e 24/09/2007 (Dia Juliano = 267) para PT_{sd} . O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $0,7 \pm 1,2 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 26/09/2007 (Dia Juliano = 269), de $2,6 \text{ mg l}^{-1}$ e a menor diferença de concentração de $-1,3 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 05/10/2007 (Dia Juliano = 278).

Pela Figura 41d, os valores médios e o desvio padrão de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $4,5 \pm 0,9 \text{ mg l}^{-1}$ e $4,5 \pm 1,6 \text{ mg l}^{-1}$, sendo o maior valor de PT_{ed} de $6,0 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 19/10/2007 (Dia Juliano = 292) e de PT_{sd} de $6,6 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 18/10/2007 (Dia Juliano = 291). Os menores valores observados de PT_{ed} e PT_{sd} foram respectivamente $3,0 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 28/11/2007 (Dia Juliano = 332), e $2,2 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338). O ΔPT_d médio e o desvio padrão foram de $-0,03 \pm 1,3 \text{ mg l}^{-1}$, sendo a máxima diferença de concentração dos valores de entrada e saída, ocorrida em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338), de $2,4 \text{ mg l}^{-1}$, e a menor diferença de concentração de $-2,4 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrida em 18/10/2007 (Dia Juliano = 291).

Na Figura 42, encontram-se os gráficos referentes ao balanço de fósforo total (ΔPT_d) diário, nos três leitos cultivados estudados, dos quatro períodos monitorados.

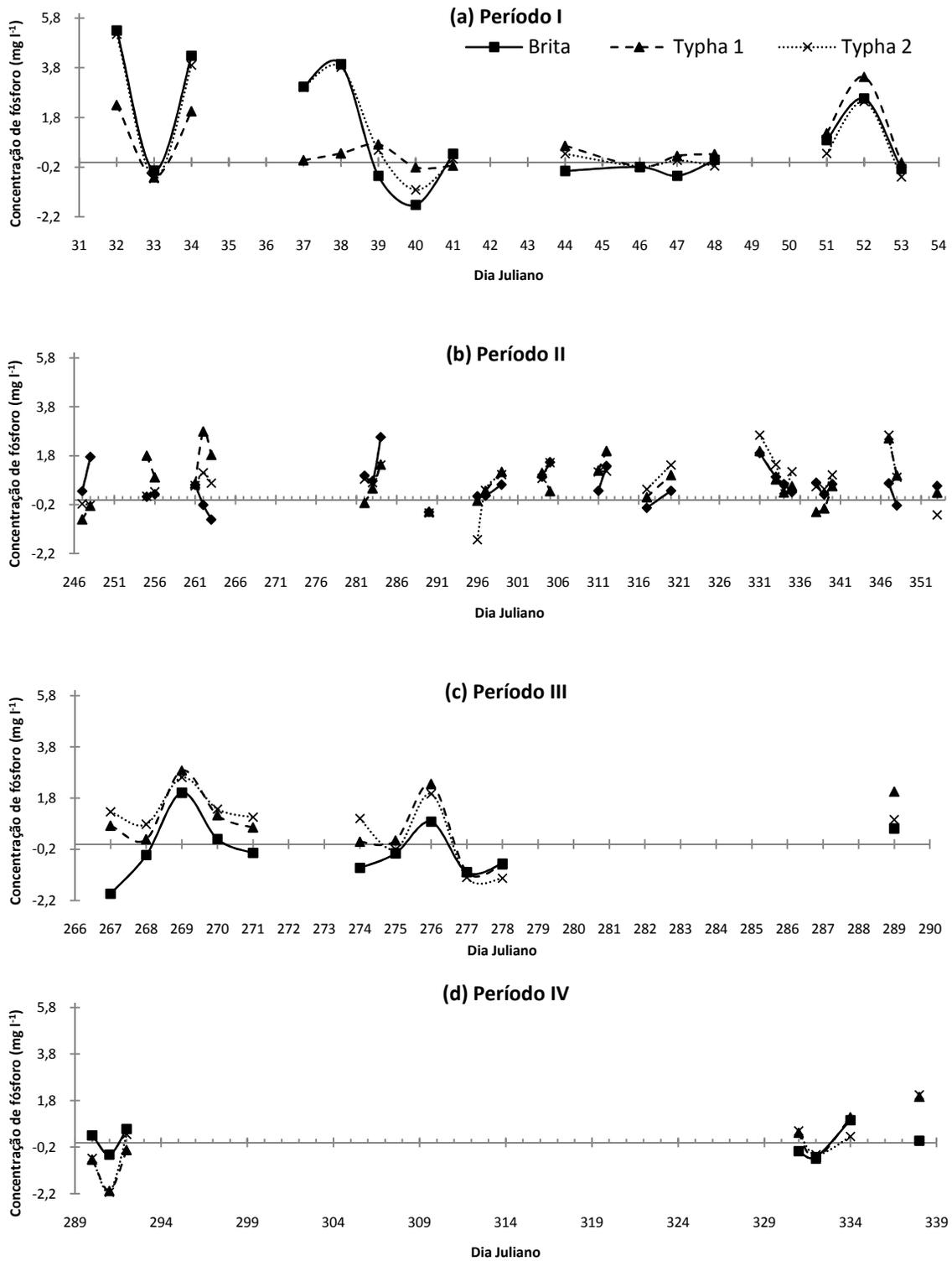


Figura 42. Valor médio do ΔPT_d nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Pela Figura 42a, verifica-se que o dia de maior ΔPT_d ocorreu em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32) para o leito Brita, com valor do ΔPT_d de $5,3 \text{ mg l}^{-1}$. Nesse mesmo dia, o leito Typha 2 apresentou o segundo maior valor do ΔPT_d , com $5,1 \text{ mg l}^{-1}$. O leito Typha 1 apresentou o maior ΔPT_d de $3,4 \text{ mg l}^{-1}$ em 21/02/2006 (Dia Juliano = 52). Para o leito Brita, o valor médio e o desvio padrão de ΔPT_d foram de $1,1 \pm 1,9 \text{ mg l}^{-1}$, para o leito Typha 1 a média e o desvio padrão foram de $0,7 \pm 1,1 \text{ mg l}^{-1}$, e para o leito Typha 2 a média e o desvio padrão do ΔPT_d foram de $1,1 \pm 1,9 \text{ mg l}^{-1}$. Os valores mínimos do ΔPT_d foram: leito Brita com $-1,7 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 09/02/2006 (Dia Juliano = 40); leito Typha 1 com $-0,6 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 02/02/2006 (Dia Juliano = 33); e leito Typha 2 com $-1,1 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 09/02/2006 (Dia Juliano = 40).

Na Figura 42b, o maior ΔPT_d ocorreu para o leito Typha 1, com $2,8 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 19/09/2006 (Dia Juliano = 262). Em 27/11/2006 (Dia Juliano = 331), ocorreu o maior ΔPT_d do leito Typha 2, com $2,7 \text{ mg l}^{-1}$. Para o leito Brita, o maior valor do ΔPT_d foi de $2,5 \text{ mg l}^{-1}$. Os valores mínimos do ΔPT_d foram: leito Brita com $-0,81 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 20/09/2006 (Dia Juliano = 263); leito Typha 1 com $-0,80 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 04/09/2006 (Dia Juliano = 247); e leito Typha 2 com $-1,63 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 23/10/2006 (Dia Juliano = 296). Os valores médios e o desvio padrão do ΔPT_d foram: leito Brita com $0,58 \pm 0,73 \text{ mg l}^{-1}$; leito Typha 1 com $0,76 \pm 0,91 \text{ mg l}^{-1}$; e leito Typha 2 com $0,73 \pm 0,87 \text{ mg l}^{-1}$.

Na Figura 42c é possível observar que 26/09/2007 (Dia Juliano = 269) foi a data em que ocorreram os maiores valores do ΔPT_d para leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2 sendo, respectivamente, $2,01 \text{ mg l}^{-1}$, $2,87 \text{ mg l}^{-1}$ e $2,61 \text{ mg l}^{-1}$ os valores destes balanços. Os menores valores do ΔPT_d , para cada leito, ocorreram em dias distintos, sendo que para o leito Brita foi em 24/09/2007 (Dia Juliano = 267) com ΔPT_d de $-1,94 \text{ mg l}^{-1}$, para o leito Typha 1 em 04/10/2007 (Dia Juliano = 277) com ΔPT_d de $-1,09 \text{ mg l}^{-1}$ e para o leito Typha 2 em 05/10/2007 (Dia Juliano = 278) com ΔPT_d de $-1,33 \text{ mg l}^{-1}$. Os valores médios e o desvio padrão do ΔPT_d foram: leito Brita com $-0,20 \pm 1,08 \text{ mg l}^{-1}$; leito Typha 1 com $0,75 \pm 1,26 \text{ mg l}^{-1}$; e leito Typha 2 com $0,74 \pm 1,23 \text{ mg l}^{-1}$.

Pela Figura 42d, têm-se que os menores valores do ΔPT_d do leito Typha 1 e do leito Typha 2 ocorreram no dia 18/10/2007 (Dia Juliano = 291), e seus valores foram de $-2,08 \text{ mg l}^{-1}$ e $-2,14 \text{ mg l}^{-1}$, respectivamente. Para o leito Brita, o menor valor do ΔPT_d foi de $-0,63 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 28/11/2007 (Dia Juliano = 332). Os maiores valores do ΔPT_d foram: leito Brita

com $0,96 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 30/11/2007 (Dia Juliano = 334); leito Typha 1 com $1,96 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338); e leito Typha 2 com $2,04 \text{ mg l}^{-1}$, ocorrido na mesma data que o leito Typha 1, em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338). Os valores médios e o desvio padrão do ΔPT_d foram: leito Brita com $0,05 \pm 0,60 \text{ mg l}^{-1}$; leito Typha 1 com $-0,06 \pm 1,33 \text{ mg l}^{-1}$; e leito Typha 2 com $-0,03 \pm 1,29 \text{ mg l}^{-1}$.

Na Figura 43, encontram-se as concentrações médias diárias da carga total de entrada (KT_{ed}) e da carga total de saída (KT_{sd}) nos quatro períodos monitorados para o leito Brita.

Pela Figura 43a, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram, respectivamente, $2016,9 \pm 1206,4 \text{ mg}$ e $1393,7 \pm 654,5 \text{ mg}$, sendo o maior valor de KT_{ed} de $5474,5 \text{ mg}$, ocorrido em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32) e de KT_{sd} de $2460,4 \text{ mg}$, ocorrido em 17/02/2006 (Dia Juliano = 48). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $625,2 \text{ mg}$, ocorrido no dia 02/02/2006 (Dia Juliano = 33), e $345,5 \text{ mg}$, ocorrido em 06/02/2006 (Dia Juliano = 37). O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $623,3 \pm 1378,9 \text{ mg}$, sendo a máxima diferença da carga total dos valores de entrada e saída, ocorrida em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32), de $4553,4 \text{ mg}$, e a menor diferença de carga de $-1110,2 \text{ mg}$, ocorrida em 09/02/2006 (Dia Juliano = 40).

Pela Figura 43b, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $1850,8 \pm 1328,4 \text{ mg}$ e $1587,6 \pm 1369,5 \text{ mg}$, sendo o maior valor de KT_{ed} de $6022,4 \text{ mg}$ e de KT_{sd} de $5789,1 \text{ mg}$, ambos ocorridos em 12/09/2006 (Dia Juliano = 255). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $591,9 \text{ mg}$ e $443,58 \text{ mg}$, ocorrido em 04/09/2006 (Dia Juliano = 247) para PT_{ed} e em 04/12/2006 (Dia Juliano = 338) para KT_{sd} . O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $263,2 \pm 359,9 \text{ mg}$, sendo a máxima diferença de carga dos valores de entrada e saída, ocorrida em 05/09/2006 (Dia Juliano = 248), de $1229,9 \text{ mg}$, e a mínima diferença de carga de fósforo de $-793,48 \text{ mg}$, ocorrida em 20/09/2006 (Dia Juliano = 263).

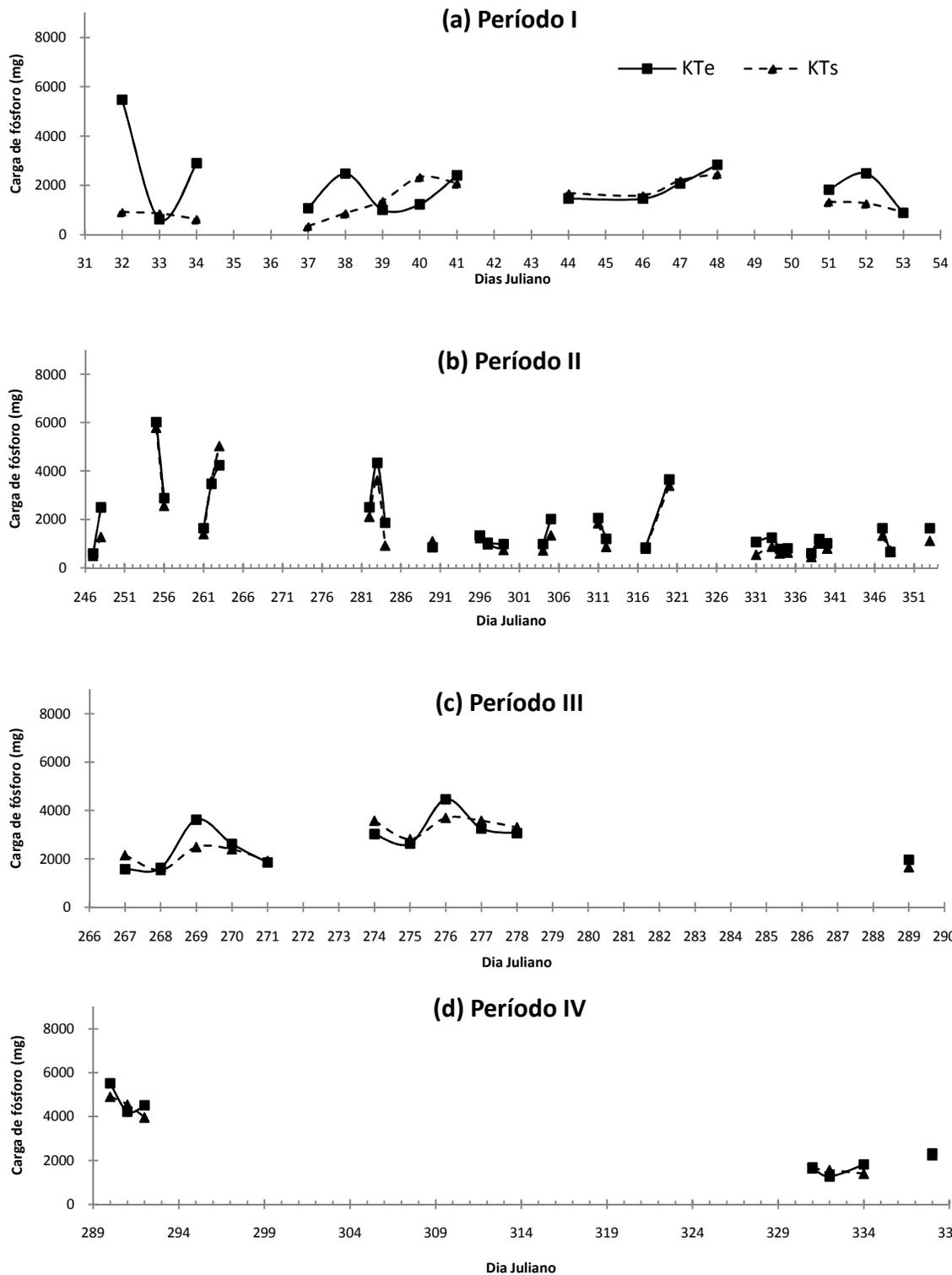


Figura 43. Valor médio de KT_{ed} e KT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Brita. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Pela Figura 43c, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $2696,7 \pm 905,7$ mg e $2645,21 \pm 801,11$ mg, sendo o maior valor de KT_{ed} de 4460,1 mg e de KT_{sd} de 3697,2 mg, ambos ocorridos em 03/10/2007 (Dia Juliano = 276). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente 1568,5 mg e 1535,8 mg, ocorridos em 24/09/2007 (Dia Juliano = 267) para KT_{ed} e 25/09/2007 (Dia Juliano = 268) para KT_{sd} . O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $51,5 \pm 531,7$ mg, sendo a máxima diferença de carga dos valores de entrada e saída, ocorrida em 26/09/2007 (Dia Juliano = 269), de 1128,3 mg e a mínima diferença de carga de -577,6 mg, ocorrida em 24/09/2007 (Dia Juliano = 267).

Pela Figura 43d, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $3048,4 \pm 1668,7$ mg e $2891,4 \pm 1526,1$ mg, sendo o maior valor de KT_{ed} de 5516,21 mg, ocorrido em 17/10/2007 (Dia Juliano = 290), e de KT_{sd} de 4906,4 mg, também ocorrido em 17/10/2007 (Dia Juliano = 290). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente 1273,5 mg, ocorrido em 28/11/2007 (Dia Juliano = 332), e 1393,5 mg, ocorrido em 30/11/2007 (Dia Juliano = 334). O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $157,1 \pm 384,1$ mg, sendo a maior diferença de carga dos valores de entrada e saída, ocorrida em 17/10/2007 (Dia Juliano = 290), de 609,9 mg, e a menor diferença de carga de -325,0 mg, ocorrida em 18/10/2007 (Dia Juliano = 291).

Na Figura 44, encontram-se as cargas médias diárias de fósforo total de entrada (KT_{ed}) e de fósforo total de saída (KT_{sd}), nos quatro períodos monitorados para o leito Typha 1.

Pela Figura 44a, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $1585,1 \pm 1074,6$ mg e $1322,3 \pm 1216,4$ mg, sendo o maior valor de KT_{ed} de 4007,1 mg e de KT_{sd} de 4226,1 mg, ambos ocorridos em 10/02/2006 (Dia Juliano = 41). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} também ocorreram na mesma data (02/02/2006; Dia Juliano = 33) e foram respectivamente 219,4 mg e 231,3 mg. O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $262,8 \pm 326,4$ mg, sendo a maior diferença de carga de fósforo dos valores de entrada e saída, ocorrida em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32), de 893,4 mg e a menor diferença de carga de fósforo de -219,1 mg, ocorrida em 10/02/2006 (Dia Juliano = 41).

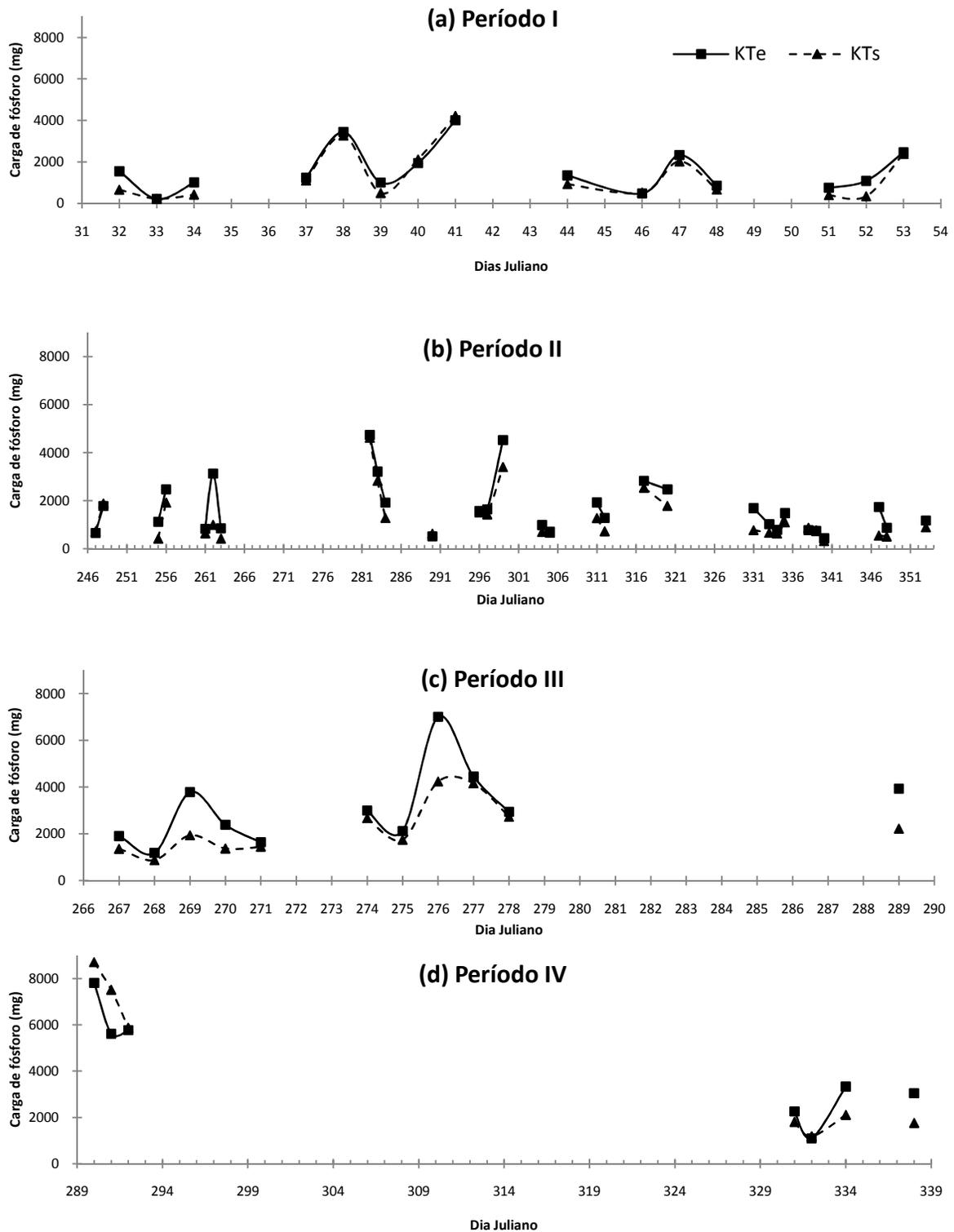


Figura 44. Valor médio de KT_{ed} e KT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 1. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Pela Figura 44b, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $1656,3 \pm 1110,2$ mg e $1244,7 \pm 985,3$ mg, sendo o maior valor de KT_{ed} de 4730,8 mg, ocorrido em 09/10/2006 (Dia Juliano = 282), e de KT_{sd} de 4614,5 mg, ocorrido na mesma data. Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente, 429,8 mg e 317,5 mg, ambos ocorridos em 06/12/2006 (Dia Juliano = 340). O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $411,6 \pm 473,5$ mg, sendo a máxima diferença de carga de fósforo dos valores de entrada e saída, ocorrida em 19/09/2006 (Dia Juliano = 262), de 2130,5 mg, e a mínima diferença de carga de fósforo de -116,5 mg, ocorrida em 17/10/2006 (Dia Juliano = 290).

Pela Figura 44c, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $3121,8 \pm 1640,6$ mg e $2247,5 \pm 1116,9$ mg, sendo o maior valor de KT_{ed} de 7001,1 mg, e de KT_{sd} de 4234,0 mg, ambos ocorridos em 03/10/2007 (Dia Juliano = 276). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente 1186,4 mg e 873,5 mg, e ocorreram também na mesma data, em 25/09/2007 (Dia Juliano = 268). O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $874,3 \pm 862,9$ mg, sendo a máxima diferença de carga de fósforo dos valores de entrada e saída, ocorrida em 03/10/2007 (Dia Juliano = 276), de 2767,2 mg, e a mínima diferença de carga de fósforo de 200,1 mg, ocorrida em 28/10/2007 (Dia Juliano = 271).

Pela Figura 44d, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $4130,4 \pm 2344,9$ mg e $4134,4 \pm 3143,0$ mg, sendo o maior valor de KT_{ed} de 7811,8 mg e de KT_{sd} de 8707,2 mg, ambos ocorridos em 17/10/2007 (Dia Juliano = 290). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente 1093,7 mg, ocorrido em 28/11/2007 (Dia Juliano = 332), e 1181,1 mg l-1, ocorrido na mesma data que KT_{ed} . O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $-3,97 \pm 1139,2$ mg, sendo a maior diferença da carga de fósforo dos valores de entrada e saída de 1293,4 mg, ocorrida em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338), e a menor diferença da carga de fósforo de -1900,7 mg, ocorrida em 18/10/2007 (Dia Juliano = 291).

Na Figura 45, encontram-se as cargas médias diárias de fósforo total de entrada (KT_{ed}) e fósforo total de saída (KT_{sd}), nos quatro períodos monitorados para o leito Typha 2.

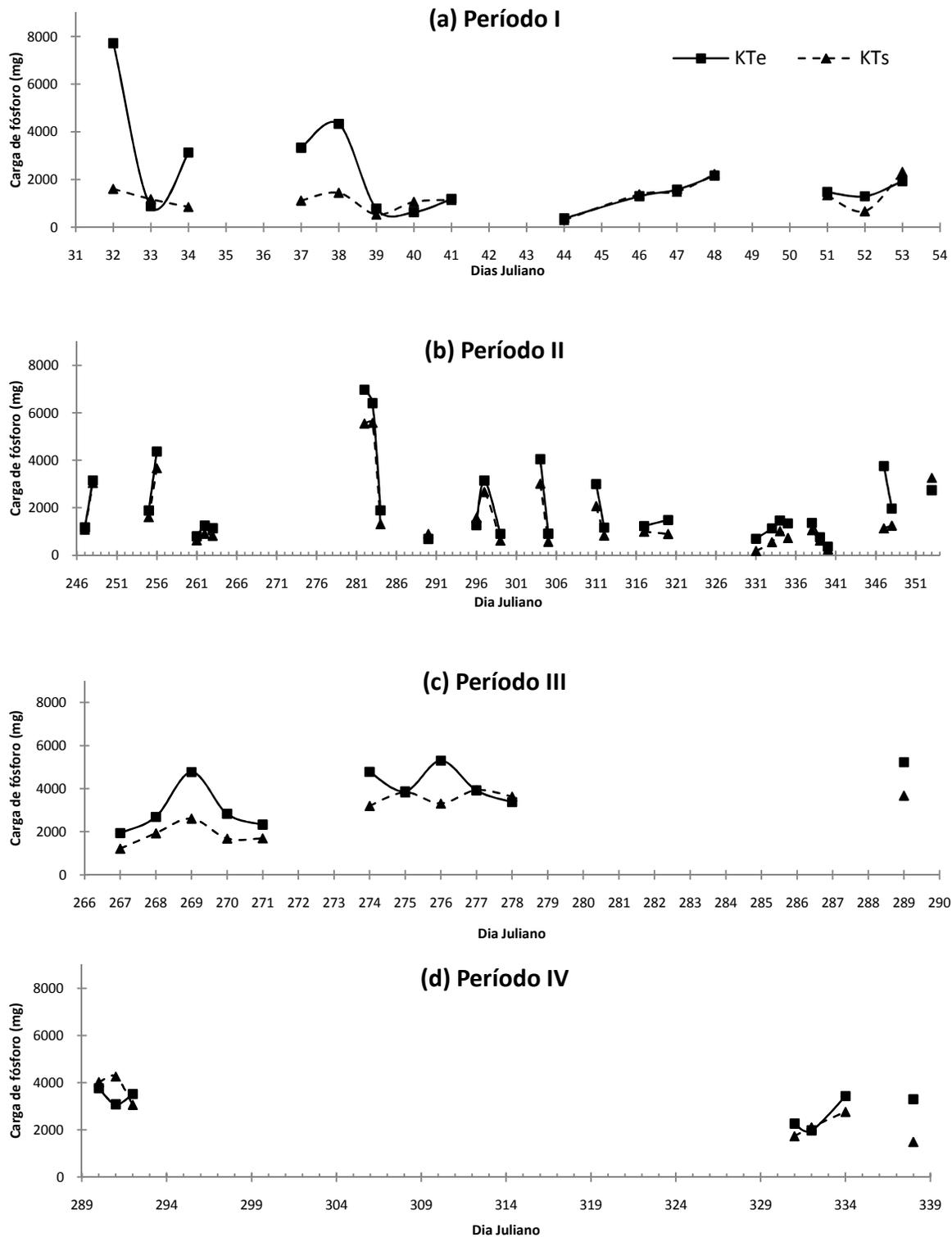


Figura 45. Valor médio de KT_{ed} e KT_{sd} nos quatro períodos monitorados no leito Typha 2. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Na Figura 45a, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $2145,2 \pm 1894,7$ mg e $1246,1 \pm 556,6$ mg, sendo o maior valor de KT_{ed} de 7719,5 mg, ocorrido em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32) e de KT_{sd} de 2323,6 mg, ocorrido em 17/02/2006 (Dia Juliano = 48). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente 376,1 mg e 307,0 mg, ambos ocorridos em 13/02/2006 (Dia Juliano = 44). O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $899,07 \pm 1786,2$ mg, sendo a maior diferença da carga de fósforo dos valores de entrada e saída, ocorrida em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32), de 6110,3 mg, e a menor diferença da carga de fósforo de -426,7 mg, ocorrida em 09/02/2006 (Dia Juliano = 40).

Pela Figura 45b, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $2081,2 \pm 1646,4$ mg e $1611,8 \pm 1413,1$ mg, sendo o maior valor de KT_{ed} de 6974,9 mg, ocorrido em 09/10/2006 (Dia Juliano = 282), e de KT_{sd} de 5577,9 mg, ocorrido um dia após o KT_{ed} , ou seja, em 10/10/2006 (Dia Juliano = 283). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente 363,3 mg, ocorrido em 06/12/2006 (Dia Juliano = 340), e 180,2 mg, ocorridos em 27/11/2006 (Dia Juliano = 331). O ΔKT_d e o desvio padrão médio foram de $469,46 \pm 564,6$ mg, sendo a maior diferença de carga de fósforo dos valores de entrada e saída, ocorrida em 13/12/2006 (Dia Juliano = 347), de 2620,4 mg, e a menor diferença de carga de fósforo de -520,9 mg, ocorrida em 19/12/2006 (Dia Juliano = 353).

Pela Figura 45c, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $3731,0 \pm 1189,5$ mg e $2791,4 \pm 998,1$ mg, sendo o maior valor de KT_{ed} de 5301,1 mg, ocorrido em 03/10/2007 (Dia Juliano = 276), e de KT_{sd} de 3931,3 mg, ocorrido em 04/10/2007 (Dia Juliano = 277). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente 1934,3 mg e 1217,5 mg, ambos ocorridos em 24/09/2007 (Dia Juliano = 267). O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $939,6 \pm 819,9$ mg, sendo a maior diferença da carga de fósforo dos valores de entrada e saída, ocorrida em 26/09/2007 (Dia Juliano = 269), de 2157,5 mg, e a menor diferença da carga de fósforo de -252,5 mg, ocorrida em 05/10/2007 (Dia Juliano = 278).

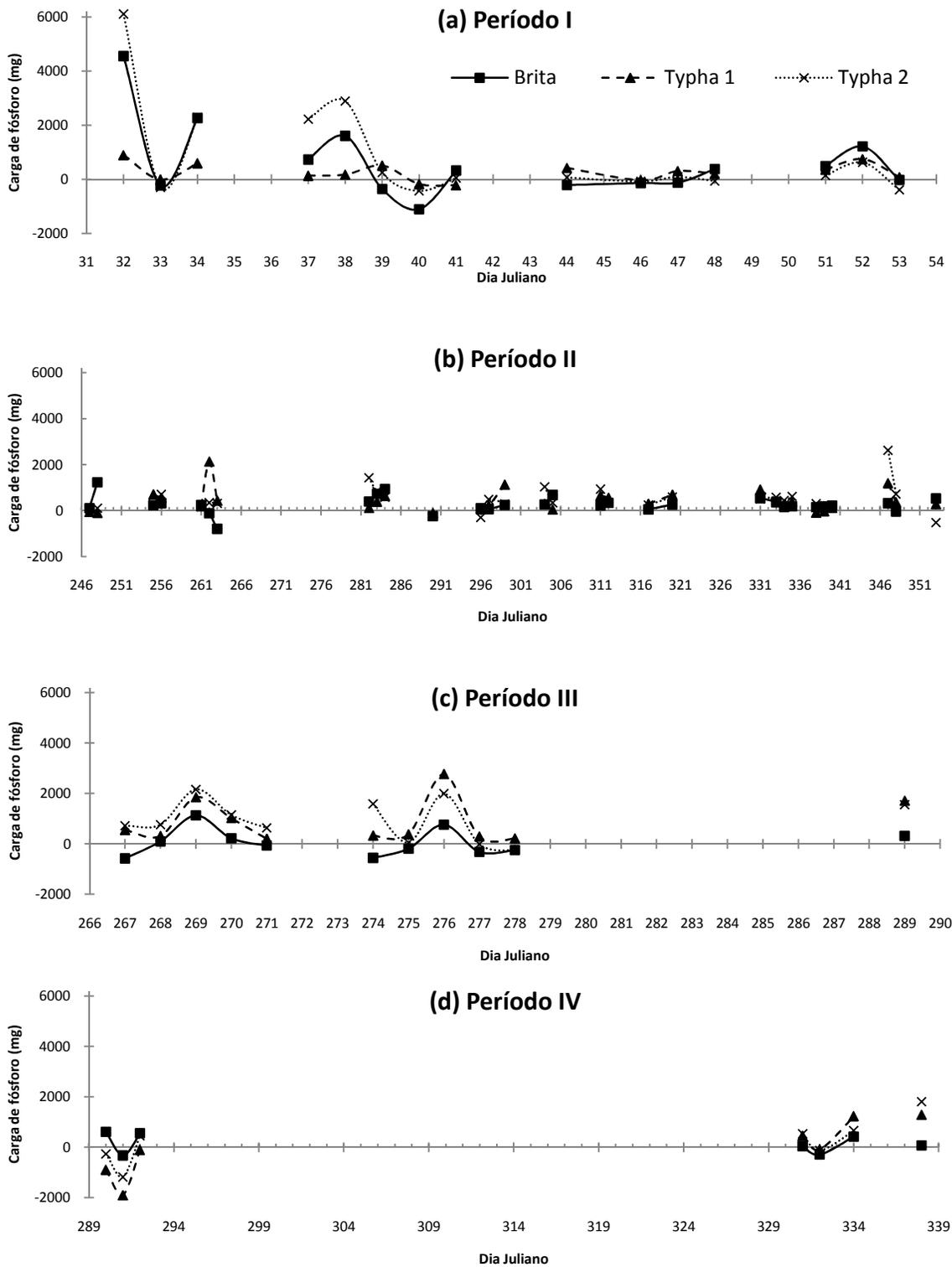


Figura 46. Valor médio de ΔKT_d nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Pela Figura 45d, os valores médios e o desvio padrão de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente $3050,6 \pm 670,4$ mg e $2780,6 \pm 1082,4$ mg, sendo o maior valor de KT_{ed} de 3762,7 mg, ocorrido em 17/10/2007 (Dia Juliano = 290), e de KT_{sd} de 4264,2 mg, ocorrido em 18/10/2007 (Dia Juliano = 291). Os menores valores observados de KT_{ed} e KT_{sd} foram respectivamente 1980,9 mg, ocorrido em 28/11/2007 (Dia Juliano = 332), e 1495,4 mg, ocorrido em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338). O ΔKT_d médio e o desvio padrão foram de $269,9 \pm 928,0$ mg, sendo a maior diferença da carga de fósforo dos valores de entrada e saída, ocorrida em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338), de 1805,9 mg, e a menor diferença da carga de fósforo de -1179,4 mg, ocorrida em 18/10/2007 (Dia Juliano = 291).

Na Figura 46, encontram-se os gráficos referentes aos balanços das cargas de fósforo do total (ΔKT_d) diário, dos três leitos cultivados estudados, nos quatro períodos monitorados.

Pela Figura 46a, verifica-se que no dia 01/02/2006 (Dia Juliano = 32) ocorreram os maiores valores referentes aos balanços da carga de fósforo (ΔKT_d), nos três leitos monitorados. Os maiores valores foram: 4553,4 mg para o leito Brita, 893,4 mg para o leito Typha 1 e 6110,3 mg para o leito Typha 2. Os menores valores do balanço da carga de fósforo ocorreram na mesma data para o leito Brita e leito Typha 2 (09/02/2006, Dia Juliano = 40), com -1110,2 mg para o leito Brita e -426,7 mg para o leito Typha 2. O menor valor do balanço da carga de fósforo para o leito Typha 1 foi de -219,1 mg, em 10/02/2006 (Dia Juliano = 41). Em relação aos valores médios diário ao ΔKT_d , tem-se que: para o leito Brita o valor médio e o desvio padrão do ΔKT_d foram de $623,3 \pm 1378,9$ mg, para o leito Typha 1 a média e o desvio padrão foram de $262,8 \pm 326,4$ mg e para o leito Typha 2 a média e o desvio padrão do ΔKT_d foram de $899,1 \pm 1786,1$ mg.

Na Figura 46b, o valor médio e o desvio padrão do ΔKT_d para o leito Brita foram de $263,2 \pm 359,8$ mg, do leito Typha 1 de $411,6 \pm 473,4$ mg e para do leito Typha 2 de $469,5 \pm 564,6$ mg. O maior valor observado no período II para o leito Brita foi de 1229,9 mg e ocorreu em 05/09/2006 (Dia Juliano = 248), para o leito Typha 1 de 2130,5 mg e ocorreu em 19/09/2006 (Dia Juliano = 262) e o leito Typha 2, de 2620,4 mg, ocorrido em 13/12/2006 (Dia Juliano = 347). Já os menores valores observados nos leito Brita, Typha 1 e Typha 2 foram respectivamente: -793,5 mg (em 20/09/2006, Dia Juliano = 263), -116,5 mg (em 17/10/2006, Dia Juliano = 290) e -520,9 mg (em 19/12/2006, Dia Juliano = 353).

Pela Figura 46c, é possível verificar que 26/09/2007 (Dia Juliano = 269) foi a data de ocorrência dos maiores valores do balanço da carga de fósforo dos leitos Brita e Typha 2, sendo seus valores do ΔKT_d respectivamente 11283,2 mg e 2157,5 mg. Já o maior valor de ΔKT_d do leito Typha 1 ocorreu em 03/10/2007 (Dia Juliano = 276) e foi de 2767,2 mg. Os valores médios e o desvio padrão de ΔKT_d nos três leitos monitorados foram: leito Brita com $51,5 \pm 531,7$ mg, leito Typha 1 com $874,3 \pm 862,9$ mg e leito Typha 2 com $939,6 \pm 819,9$ mg.

Pela Figura 46d, verifica-se que no segundo dia de monitoramento deste período ocorreram os menores valores para os três leitos. Este dia foi 18/10/2007 (Dia Juliano = 291) e o leito Brita apresentou ΔKT_d de -325,0 mg, o leito Typha 1 de -1900,7 mg e o leito Typha 2 de -1179,4 mg. No dia 04/12/2007 (Dia Juliano = 338) ocorreram os maiores valores de ΔKT_d dos leitos Typha 1 e Typha 2, sendo respectivamente 1283,4 mg e 1805,9 mg. O maior valor do ΔKT_d observado no leito Brita ocorreu no primeiro dia do monitoramento deste período, ou seja, em 17/10/2007 (Dia Juliano = 290), e foi de 609,9 mg. Os valores médios e o desvio padrão do balanço da carga de fósforo foram: leito Brita com $157,1 \pm 384,1$ mg, leito Typha 1 com $-3,9 \pm 1139,3$ mg e leito Typha 2 com $269,9 \pm 928,0$ mg.

Para finalizar as avaliações diárias, encontra-se na próxima figura, Figura 47, as eficiências médias de retenção diária dos três leitos cultivados, nos quatro períodos monitorados.

Pela Figura 47a, têm-se uma eficiência de retenção média de fósforo para o leito Brita de 30,9% e para os leitos Typha 1 e Typha 2 de 16,6% e 41,9%, respectivamente. As menores eficiências de retenção de fósforo observadas ocorreram, para todos os leitos cultivados, no dia 09/02/2006 (Dia Juliano = 40), e foram de -90,3% para o leito Brita, -9,1% para o leito Typha 1 e -66,8% para o leito Typha 2. Salienta-se que neste mesmo dia 09/02/2006 (Dia Juliano = 40) ocorreram também, para os leitos Brita e Typha 2, os menores valores dos balanços de carga de fósforo (Figura 46a). Já as maiores eficiências de retenção de fósforo dos leitos Brita e Typha 2 ocorreram em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32) e foram, respectivamente, 83,2% e 79,2%; porém para o leito Typha 1 a maior eficiência de retenção ocorreu em um dia diferente deste, em 21/02/2006 (Dia Juliano = 52), com 68,4%. Destaca-se que os maiores valores do balanço de carga de fósforo (ΔKT_d) para os três leitos cultivados também ocorreram em 01/02/2006 (Dia Juliano = 32), conforme citado na descrição dos resultados da Figura 46a.

Na Figura 47b, as médias de retenção de fósforo para os leitos cultivados no período I foram: 14,2% no leito Brita, 24,9% no leito Typha 1 e 22,6% no leito Typha 2. Os menores valores de retenção de fósforo ocorreram no mesmo dia, sendo este dia 17/10/2006 (Dia Juliano = 290), e suas eficiências de retenção com porcentagens semelhantes entre todos os leitos, sendo -29,3% para o leito Brita, -23,0% para o leito Typha 1 e -30,7% para o leito Typha 2. Os maiores valores da eficiência de retenção de fósforo ocorreram em dias distintos para todos os leitos cultivados, sendo em 11/10/2006 (Dia Juliano = 284) com 50,7% para o leito Brita, 13/12/2006 (Dia Juliano = 347) com 68,6% para o leito Typha 1 e 27/11/2006 (Dia Juliano = 331) com 74,0% para o leito Typha 2.

Pela Figura 47c, a eficiência da retenção média de fósforo para o leito Brita foi de 1,9%, para o leito Typha 1 de 28,0% e para o leito Typha 2 de 25,2%. As maiores eficiências de retenção de fósforo observadas ocorreram, para todos os leitos cultivados, no dia 26/09/2007 (Dia Juliano = 269), e foram de 31,2% para o leito Brita, 48,8% para o leito Typha 1 e 45,3% para o leito Typha 2. Salienta-se que neste mesmo dia 26/09/2007 (Dia Juliano = 269) ocorreram também, para os leitos Brita e Typha 2, os maiores valores dos balanços de carga de fósforo (Figura 46c). Já as menores eficiências de retenção de fósforo ocorreram em dias distintos para todos os leitos, sendo em 24/09/2007 (Dia Juliano = 267) com -36,8% para o leito Brita, em 04/10/2007 (Dia Juliano = 277) com 6,6% para o leito Typha 1 e, em 05/10/2007 (Dia Juliano = 278), com -7,5% para o leito Typha 2.

Na Figura 47d, têm-se as retenções de fósforo para os leitos cultivados monitorados no período IV. Porém foi verificado que quando se considerou o período como um todo, tiveram-se as seguintes médias de retenção de fósforo: leito Brita com 5,2%, leito Typha 1 com -0,1% e leito Typha 2 com 8,9%. Tais valores foram muito menores aos encontrados nos outros períodos monitorados, principalmente para os leitos Typha 1 e Typha 2, cujos valores médios ficavam entre 16,6% e 41,9%.

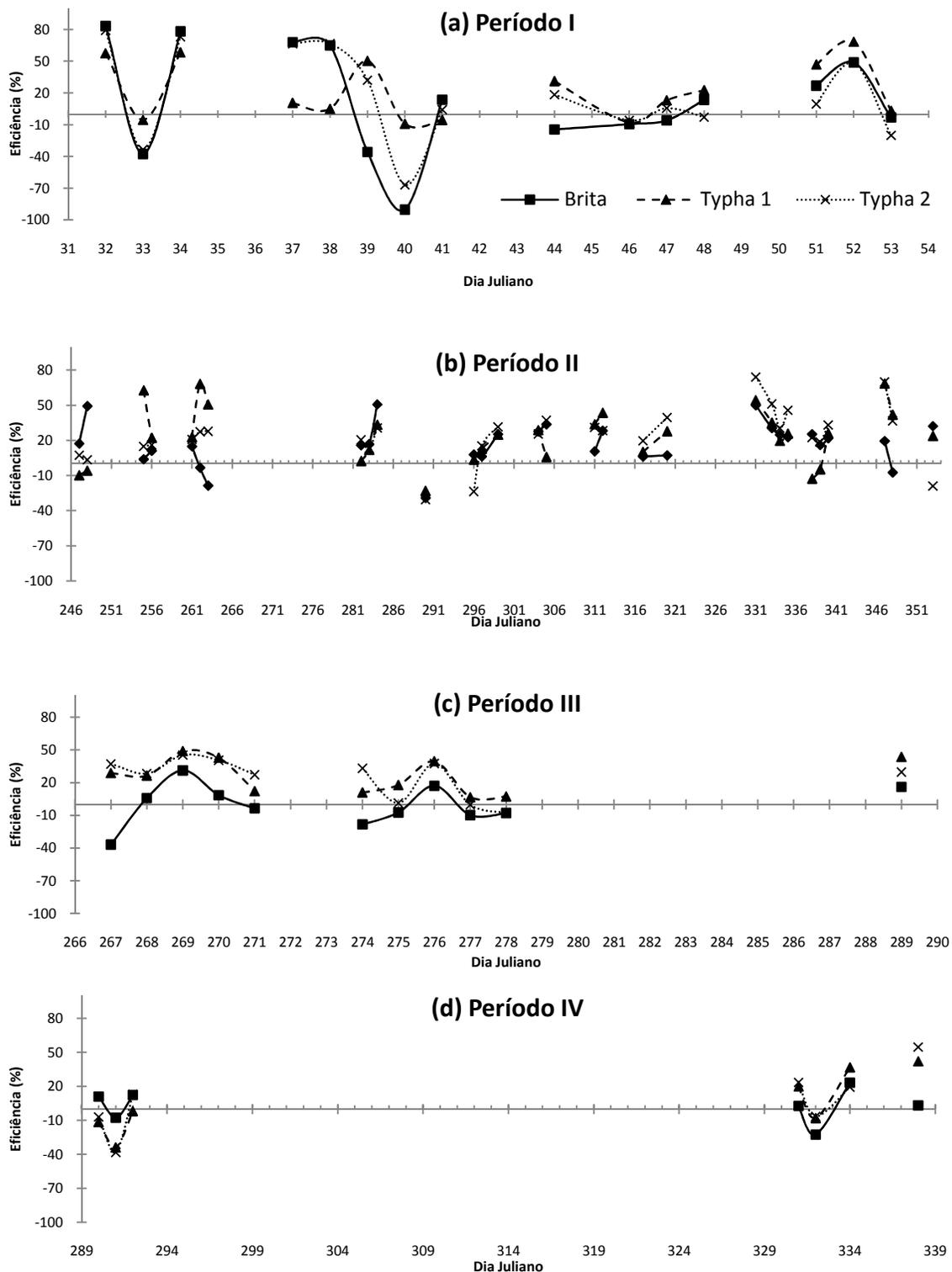


Figura 47. Valor médio da eficiência de retenção de fósforo nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Uma possível explicação para a ocorrência destes valores baixos de retenção se deve ao fato de que neste período IV, houve um intervalo de dias no qual não foi realizado o monitoramento em campo e, possivelmente, as médias de retenção de fósforo, observadas nos três primeiros dias de monitoramento, tiveram grande influência nos valores médios acima descritos. Além disso, nesses três primeiros dias, as plantas tinham recebido recentemente uma poda drástica nas partes aéreas (Dia 17/10/2007, Dia Juliano = 290).

Diante disso, decidiu-se subdividir o período IV em duas partes.

A primeira subdivisão se referiu aos três primeiros dias de monitoramento, sendo calculadas as seguintes médias da retenção de fósforo: leito Brita com 5,9%, leito Typha 1 com -15,1% e leito Typha 2 com -9,5%.

Na segunda subdivisão, referente aos quatro últimos dias monitorados no período IV, foi possível notar valores maiores para a retenção de fósforo, que podem ser justificados principalmente pelo maior desenvolvimento de vegetação. As médias da retenção de fósforo para estes últimos dias foram: leito Brita com 3,6%, leito Typha 1 com 29,6% e leito Typha 2 com 26,2%.

Na mesma Figura 47d, tem-se a maior eficiência de retenção de fósforo para o leito Brita, ocorrida em 30/11/2007 (Dia Juliano = 334), de 23,3%; do leito Typha 1 e Typha 2, ambas ocorridas em 04/12/2007 (Dia Juliano = 338), de 42,2% e 54,7% respectivamente. A menor eficiência de retenção de fósforo para o leito Brita foi de -22,6% e ocorreu em 28/11/2007 (Dia Juliano = 332), para o leito Typha 1 e Typha 2 foram respectivamente de -33,9% e -38,2%, sendo que ambas ocorreram em 18/10/2007 (Dia Juliano = 291). Neste mesmo dia 18/10/2007 (Dia Juliano = 291), ocorreram as menores diferenças dos valores da carga de entrada e saída (ΔKT_d) (Figura 46d).

Pela descrição desta última figura, é importante destacar a influência positiva da macrófita *Typha sp.* no desempenho da retenção do fósforo em relação ao leito Brita, cujos valores médios descritos, excetuando-se o valor médio observado no período I, foram sempre superiores ao leito Brita.

6.3 Balanço do período monitorado

Os próximos resultados a serem apresentados do monitoramento do sistema de leitos cultivados se referem ao balanço do período monitorado nos quatro períodos e que, para melhor compreensão também estão divididos em dois grandes grupos: (i) Quantidade de Água e (ii) Qualidade de Água.

Nos resultados de Quantidade de Água, abordou-se os volumes médios diários de entrada (V_{epm}) e volumes médios diários de saída (V_{spm}) de cada leito (Figura 48); dos volumes totais de entrada (V_{epm}) e volumes totais de saída (V_{spm}) de cada leito (Figura 49); do volume médio diário evaporado/evapotranspirado em cada leito (Figura 50); do volume total evaporado/evapotranspirado em cada leito (Figura 51) e do valor médio diário do TDH (Figura 52).

Nos resultados de Qualidade de Água, abordou-se os valores médios diários da concentração de fósforo total de entrada (PT_{epm}) e da concentração de fósforo total de saída (PT_{spm}) nos três leitos (Figura 53); dos valores médios diários da carga de fósforo total de entrada (KT_{epm}) e da carga de fósforo total de saída (KT_{spm}) nos três leitos (Figura 54); dos valores totais das cargas de fósforo total de entrada (KT_{epm}) e das cargas de fósforo total de saída (KT_{spm}) nos três leitos (Figura 55); da eficiência de retenção de fósforo no leitos (Figura 56).

6.3.1 Quantidade de água

Na Figura 48, têm-se os resultados dos valores médios diários do volume do efluente de entrada (V_{epm}) e do volume do efluente de saída (V_{spm}) para o leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2 nos quatro períodos monitorados.

Destaca-se, de maneira geral, nesta Figura 48, que os volumes do efluente de entrada são sempre superiores aos volumes do efluente de saída.

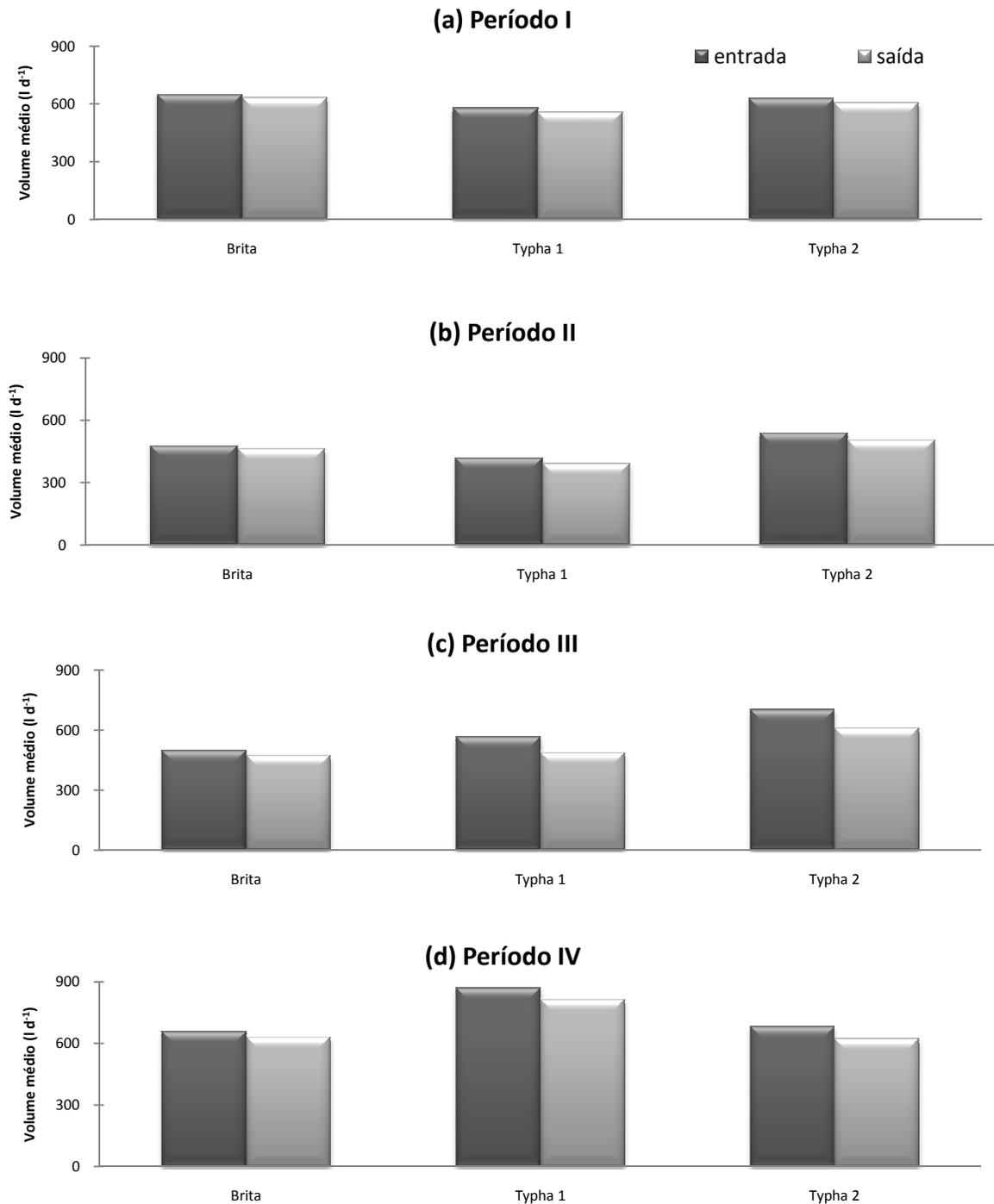


Figura 48. Valor médio diário de V_{epm} e V_{spm} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2), nos quatro períodos monitorados. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Verifica-se na Figura 48a que tanto os volumes de entrada quanto os volumes de saída, para os três leitos, foram similares. O valor médio de V_{epm} do leito Brita foi de $648,1 \text{ l d}^{-1}$ e o de V_{spm} foi de $631,8 \text{ l d}^{-1}$. Para o leito Typha 1, os valores médios de V_{epm} e V_{spm} foram respectivamente $579,2 \text{ l d}^{-1}$ e $556,6 \text{ l d}^{-1}$, e o para o leito Typha 2 estas variáveis foram $629,1 \text{ l d}^{-1}$ para V_{epm} e $606,3 \text{ l d}^{-1}$ para V_{spm} .

No período II (Figura 48b), encontram-se valores dos volumes médios de entrada e saída menores aos observados no período I (Figura 48a). Estes valores foram: leito Brita com $477,2 \text{ l d}^{-1}$ para V_{epm} e $463,6 \text{ l d}^{-1}$ para V_{spm} ; leito Typha 1 com $420,1 \text{ l d}^{-1}$ para V_{epm} e $391,9 \text{ l d}^{-1}$ para V_{spm} ; e leito Typha 2 com $540,2 \text{ l d}^{-1}$ para V_{epm} e $505,3 \text{ l d}^{-1}$ para V_{spm} .

Na Figura 48c, V_{epm} e V_{spm} do leito Brita foram respectivamente $498,3 \text{ l d}^{-1}$ e $472,9 \text{ l d}^{-1}$; para o leito Typha 1 estas mesmas variáveis foram $566,1 \text{ l d}^{-1}$ para V_{epm} e $487,0 \text{ l d}^{-1}$ para V_{spm} ; e o leito Typha 2 com V_{epm} de $702,6 \text{ l d}^{-1}$ e V_{spm} de $609,9 \text{ l d}^{-1}$.

Pela Figura 48d, verificam-se os maiores valores médios diários tanto de V_{epm} quanto de V_{spm} em relação aos outros períodos. O valor médio de V_{epm} do leito Brita foi de $657,6 \text{ l d}^{-1}$ e o de V_{spm} foi de $632,1 \text{ l d}^{-1}$. Para o leito Typha 1, os valores médios de V_{epm} e V_{spm} foram respectivamente $870,3 \text{ l d}^{-1}$ e $814,4 \text{ l d}^{-1}$, e o para o leito Typha 2 estas variáveis foram $683,1 \text{ l d}^{-1}$ para V_{epm} e $623,4 \text{ l d}^{-1}$ para V_{spm} .

Da mesma forma que na figura anterior, na Figura 49 estão apresentados os gráficos referentes ao volume de entrada (V_{epm}) e ao volume de saída (V_{spm}) do efluente, porém tratam-se dos volumes totais monitorados nos períodos I, II, III e IV. Na Figura 49a, o leito Brita apresentou V_{epm} de $9720,9 \text{ l}$, valor este superior $2,6\%$ em relação ao V_{spm} ($90476,8 \text{ l}$); no leito Typha 1, V_{epm} ($8688,6 \text{ l}$) foi superior em $4,1\%$ em relação ao V_{spm} ($8344,9 \text{ l}$); e o leito Typha 2 apresentou valor superior $3,8\%$ do V_{epm} ($9436,9 \text{ l}$) em relação ao V_{spm} ($9094,1 \text{ l}$).

Segundo a Figura 49b, o leito Typha 1 foi o leito que apresentou a maior superioridade de V_{epm} em relação ao V_{spm} . Esta diferença do valor de V_{epm} ($12603,6 \text{ l}$) foi superior $7,2\%$ em relação ao valor de V_{spm} ($11759,4 \text{ l}$). No leito Typha 2, o V_{epm} foi de $16207,2 \text{ l}$, superior $6,9\%$ em relação ao V_{spm} ($15157,4 \text{ l}$), e no leito Brita o V_{epm} foi de $14317,2 \text{ l}$, superior $2,9\%$ em relação ao V_{spm} ($13908,6 \text{ l}$).

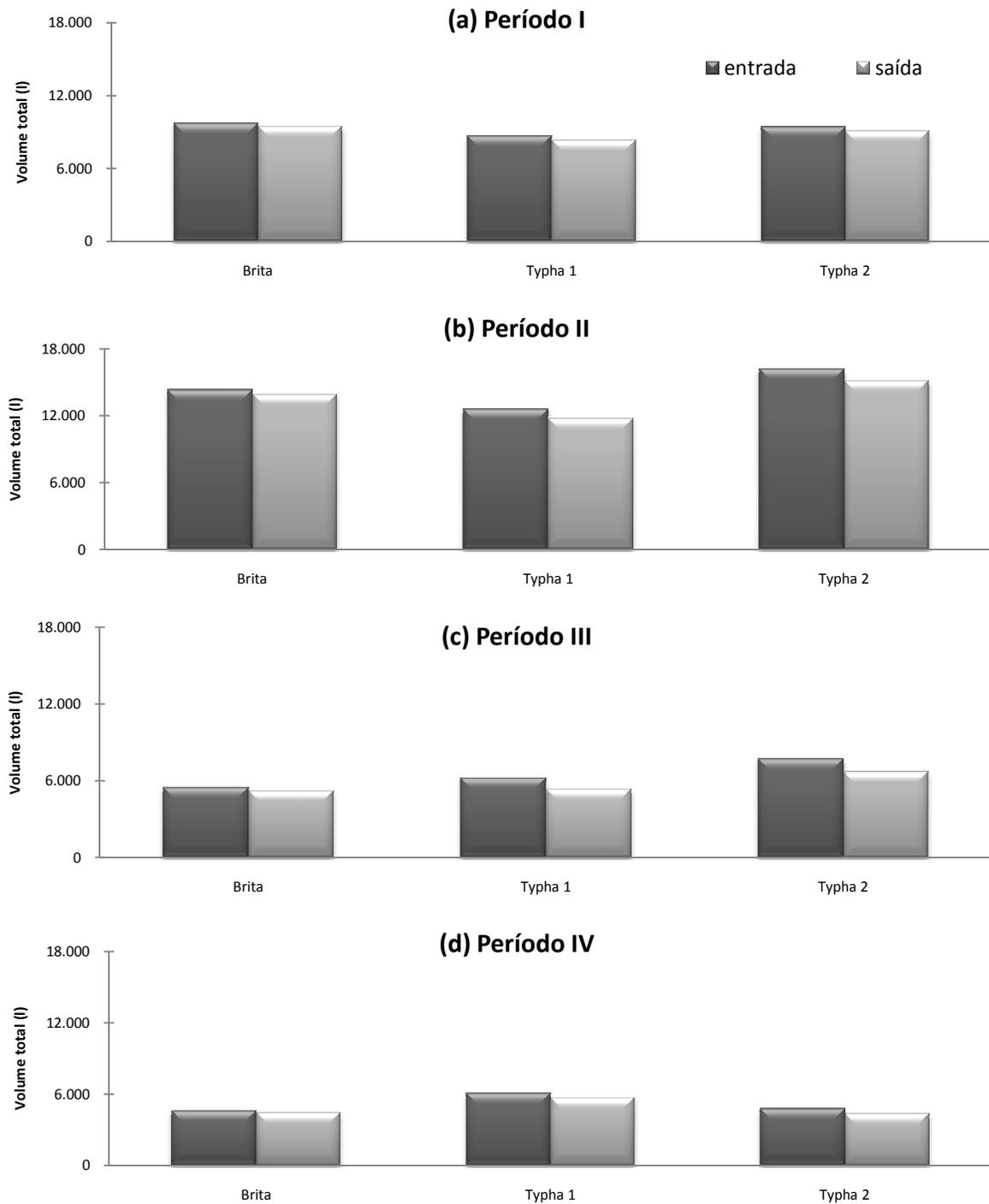


Figura 49. Valor total do período monitorado de V_{epm} e V_{spm} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Pela Figura 49c, o leito Typha 1 também foi o leito que apresentou a maior superioridade do valor de V_{epm} em relação ao valor do V_{spm} e foi de 16,2%, seguido do leito Typha 2, com 15,2%, e do leito Brita, com 5,3%. Os valores de V_{epm} e V_{spm} dos leitos foram respectivamente: 5481,0 l e 5202,9 l para o leito Brita; 6227,6 l e 5357,9 l para o leito Typha 1; e 7728,3 l e 6709,5 l para o leito Typha 2.

Para a Figura 49d, o leito Typha 2 foi o leito que apresentou a maior superioridade do valor de V_{epm} em relação ao valor do V_{spm} . Esta superioridade foi de 9,6% do V_{epm} (4781,7 l) em relação ao V_{spm} (4364,1 l). O leito Typha 1 resultou num V_{epm} de 6092,1 l, valor este superior em 6,9% em relação ao V_{spm} , que foi de 5700,6 l. O leito Brita teve um V_{epm} de 4603,5 l, superior em 4,0% em relação ao V_{spm} (4424,4 l).

Por meio desta Figura 49 foi possível observar que os leitos que continham *Typha sp.* (leito Typha 1 e leito Typha 2), apresentaram maiores diferenças entre os valores de V_{epm} e V_{spm} do que a diferença entre os valores de V_{epm} e V_{spm} do leito Brita. Estas diferenças entre os valores de V_{epm} e V_{spm} são referentes às taxas de evaporação do leito Brita e evapotranspiração dos leitos Typha 1 e Typha 2.

Na Figura 50, tem-se o volume médio diário da evaporação/evapotranspiração ocorrida nos quatro períodos monitorados, para o três leitos cultivados. Para todos os períodos monitorados, o leito Typha 2 apresentou evapotranspiração superior em relação à evaporação/evapotranspiração dos outros leitos.

No período I, o leito Typha 2 teve uma evapotranspiração média de 49,1 mm d⁻¹, o leito Typha 1 de 48,6 mm d⁻¹ e o leito Brita uma evaporação de 34,9 mm d⁻¹. Os leitos com a macrófita *Typha sp.* apresentaram valores superiores 40,5% do leito Typha 2 e 39,2% do leito Typha1 em relação ao valor de evaporação do leito Brita.

No período II, a evapotranspiração média do leito Typha 2 e do leito Typha 1 foram respectivamente 75,1 mm d⁻¹ e 60,4 mm d⁻¹, valores estes superiores em 156,9% e 106,6% em relação ao valor da evaporação do leito Brita (29,2 mm d⁻¹).

O período III foi o período no qual se apresentou os maiores valores de evapotranspiração/evaporação. A evaporação média do leito Typha 2 e leito Typha 1 foram respectivamente 198,8 mm d⁻¹ e 169,8 mm d⁻¹, valores estes superiores 266,4% e 213,0% em relação ao valor da evaporação de 54,3 mm d⁻¹ do leito Brita.

No período IV, o leito Typha 2 teve uma evapotranspiração média de 128,0 mm d⁻¹ e o leito Typha 1 de 120,0 mm d⁻¹, valores estes superiores 133,2% e 118,6% respectivamente em relação ao valor da evaporação de 54,9 mm d⁻¹ do leito Brita.

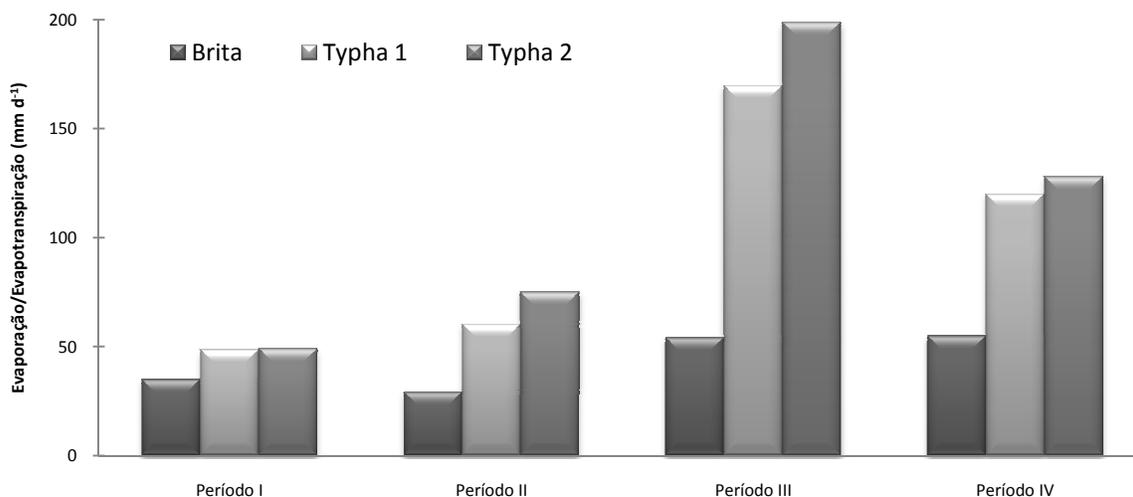


Figura 50. Volume médio diário da evaporação/evapotranspiração nos quatro períodos monitorados. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Na Figura 51, têm-se os resultados da mesma variável da figura anterior (Figura 50), porém trata-se de valores totais dos volumes evaporados/evapotranspirados dos períodos monitorados em cada leito.

Os períodos II e III apresentaram as maiores taxas de evaporação/evapotranspiração. No período III, o leito Typha 2 evapotranspirou 2252,9 mm, valor este superior 24,4% em relação ao volume total evapotranspirado do leito Typha 1 (11811,6 mm). Neste mesmo período III o volume evaporado no leito Brita foi 876,8 mm. No período IV o leito Typha 2 apresentou volume total de evapotranspiração de 2186,26 mm, valor este superior 17,0% em relação ao volume total evapotranspirado do leito Typha 1 (1867,9 mm) e o leito Brita teve um volume total evaporativo de 596,8 mm.

No período I estes valores foram: leito Brita com 523,8 mm, leito Typha 1 com 729,1 mm e leito Typha 2 com 735,8 mm. E no período IV, a evaporação do leito Brita foi 384,3 mm, a evapotranspiração dos leitos Typha 1 e Typha 2 foram respectivamente 840,1 mm e 896,1 mm.

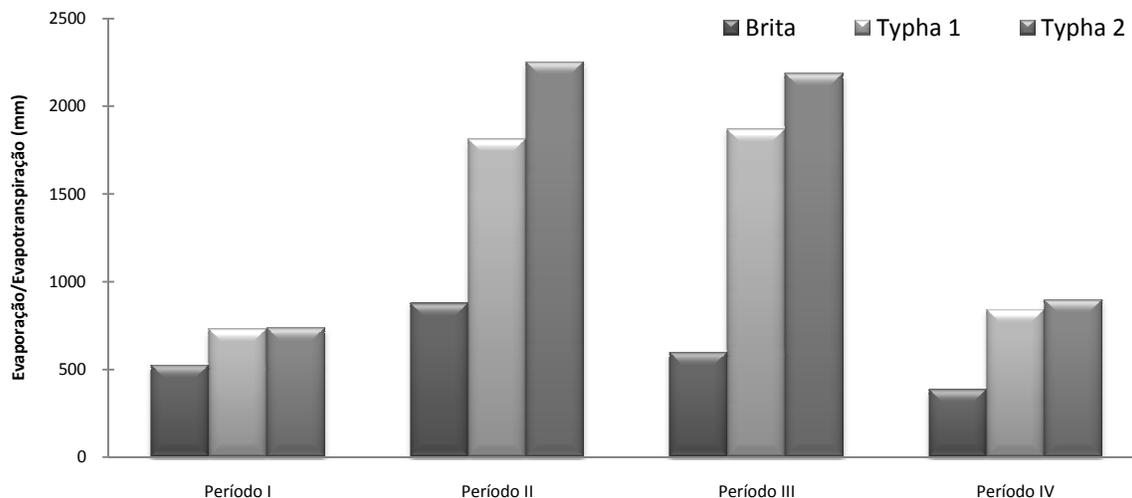


Figura 51. Volume total evaporado/evapotranspirado nos quatro períodos monitorados. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

Na próxima figura, Figura 52, é possível observar o valor médio do TDH dos leitos cultivados. No período I, o leito Brita teve TDH médio de 1,28 dias, o leito Typha 1 de 2,30 dias e o leito Typha 2 de 1,56 dias. No período II, esta mesma variável foi superior para os três leitos e resultou em TDH médio no leito Brita de 2,09 dias, leito Typha 1 de 2,48 dias e leito Typha 2 de 2,31 dias. No período III: leito Brita com 1,58 dias, leito Typha 1 com 1,76 dias e leito Typha 2 com 1,28 dias. E, finalmente, o período IV com TDH de 1,30 dias para o leito Brita, 1,12 dias para o leito Typha 1 e 1,18 dias para o leito Typha 2.

Salienta-se que, durante todos os períodos de monitoramento, houve uma grande dificuldade em relação à padronização das vazões de entrada. Pois, de acordo com a configuração do sistema utilizada, não havia nenhum dispositivo regulador da vazão afluyente nos leitos. Os únicos acessórios utilizados foram três registros inseridos nas tubulações que conduziam o efluente aos três leitos, sendo o controle da vazão de entrada realizado somente por observação visual.

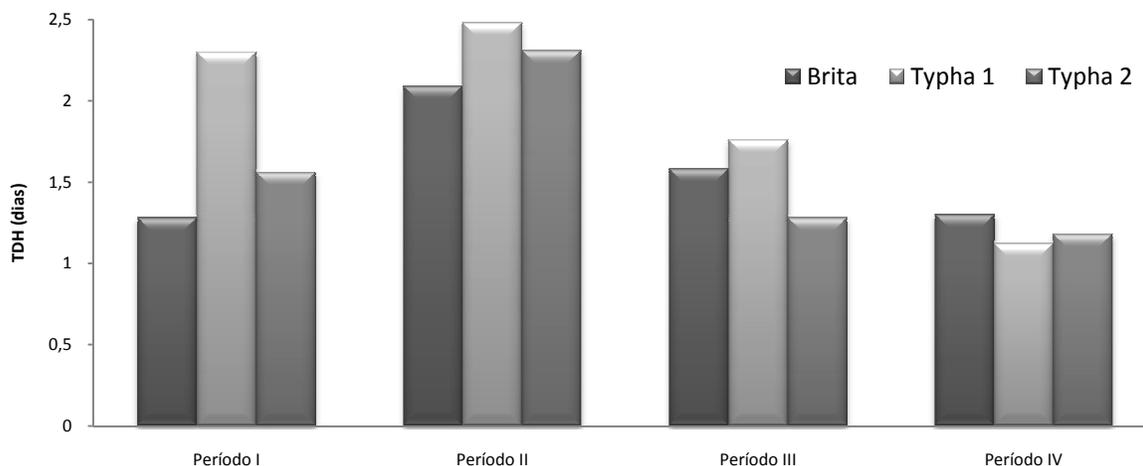


Figura 52. Valor médio do TDH nos quatro períodos monitorados. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). FEAGRI/UNICAMP, 2006 – 2007

6.3.2 Qualidade de água

Na Figura 53, têm-se os resultados dos valores médios diários da concentração de fósforo total de entrada (PT_{epm}) e de fósforo total de saída (PT_{spm}) para o leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2 nos quatro períodos monitorados. Salienta-se que, pela configuração do sistema de entrada dos leitos cultivados feita a partir de uma única tubulação dos reservatórios, todos os valores de PT_{epm} são iguais em cada período monitorado.

Pela Figura 53a, é possível verificar que a concentração média de PT_{epm} no período I foi de $3,26 \text{ mg l}^{-1}$ e que a concentração de PT_{spm} dos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2 foram respectivamente $2,16 \text{ mg l}^{-1}$, $2,58 \text{ mg l}^{-1}$ e $2,13 \text{ mg l}^{-1}$.

Na Figura 53b, o valor médio de PT_{epm} foi um pouco superior ao de PT_{epm} do período I (Figura 53a), sendo de $3,77 \text{ mg l}^{-1}$. Seus valores médios de PT_{spm} foram $3,19 \text{ mg l}^{-1}$, $3,01 \text{ mg l}^{-1}$ e $3,06 \text{ mg l}^{-1}$ para o leito Brita, Typha 1 e Typha 2, respectivamente.

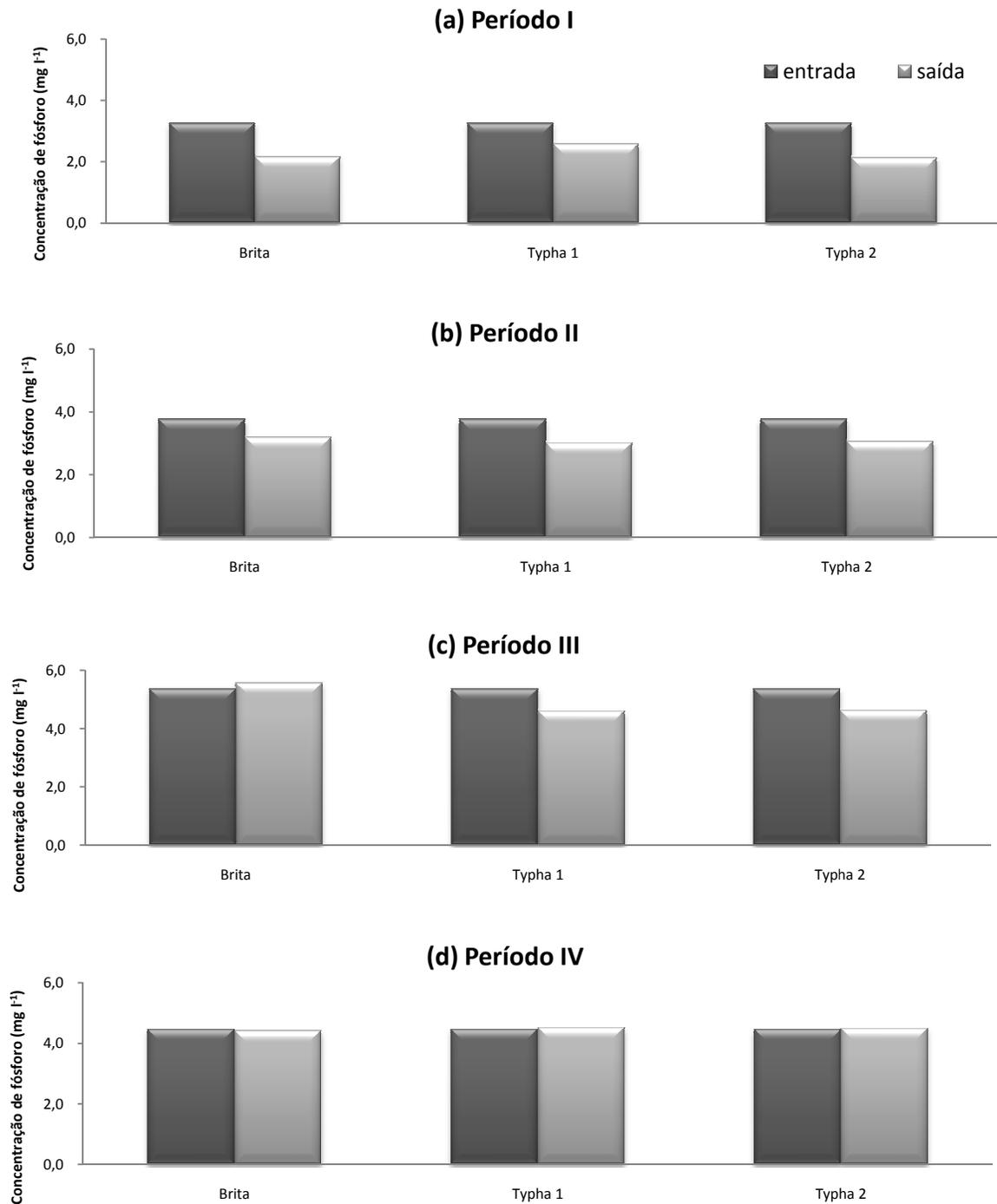


Figura 53. Valor médio diário de PT_{epm} e PT_{spm} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Na Figura 53c, encontram-se os valores médios de PT_{epm} e PT_{spm} do período III e observa-se que foi neste período em que ocorreram os maiores valores médios da concentração de fósforo tanto de entrada como de saída da Figura 53. O PT_{epm} foi de $5,37 \text{ mg l}^{-1}$ e o PT_{spm} dos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2 foram, respectivamente, $5,57 \text{ mg l}^{-1}$, $4,62 \text{ mg l}^{-1}$ e $4,63 \text{ mg l}^{-1}$.

Na Figura 53d, tem-se que a concentração de PT_{epm} do período IV foi de $4,46 \text{ mg l}^{-1}$ e da concentração de PT_{spm} foi de $4,41 \text{ mg l}^{-1}$ para o leito Brita, $4,52 \text{ mg l}^{-1}$ para o leito Typha 1 e $4,50$ para o leito Typha 2.

Os resultados descritos na Figura 53 tiveram como objetivo indicar as concentrações de PT_{epm} e PT_{spm} , porém para verificação do desempenho do sistema de leitos cultivados é recomendado a quantificação da carga de fósforo total (KT), conforme será apresentado nas próximas figuras (Figura 54 e Figura 55).

Na Figura 54, encontram-se os resultados médios diários da carga de fósforo de entrada (KT_{epm}) e carga de fósforo de saída (KT_{spm}) dos leitos Brita, Typha 1 e Typha 2 nos quatro períodos monitorados.

Verifica-se pela Figura 54a que no período I, o leito Brita resultou em uma KT_{epm} média de $2,02 \text{ g d}^{-1}$, valor este superior $45,3\%$ em relação ao KT_{spm} médio ($1,39 \text{ g d}^{-1}$). Esta mesma variável foi de $1,59 \text{ g d}^{-1}$ de KT_{epm} para o leito Typha 1, sendo este valor superior $20,5\%$ em relação ao KT_{spm} médio ($1,32 \text{ g d}^{-1}$). O KT_{epm} do leito Typha 2 foi de $2,15 \text{ g d}^{-1}$, superior $72,0\%$ em relação ao KT_{spm} que foi de $1,25 \text{ g d}^{-1}$.

Na Figura 54b, o leito Typha 1 foi o que apresentou a maior superioridade de KT_{epm} em relação a KT_{spm} . Esta diferença do valor médio de KT_{epm} ($1,66 \text{ g d}^{-1}$) foi superior $33,9\%$ em relação ao valor médio de KT_{spm} ($1,24 \text{ g d}^{-1}$). No leito Typha 2, o valor médio de KT_{epm} foi de $2,08 \text{ g d}^{-1}$, superior $29,2\%$ em relação a KT_{spm} ($1,61 \text{ g d}^{-1}$), e, no leito Brita, KT_{epm} foi de $1,85 \text{ g d}^{-1}$, superior $16,4\%$ em relação a KT_{spm} ($1,59 \text{ g d}^{-1}$).

Pela Figura 54c, o leito Typha 1 também foi o leito que apresentou a maior superioridade do valor médio de KT_{epm} em relação ao valor médio de KT_{spm} e foi de $38,7\%$, seguido do leito Typha 2, com $33,7\%$, e do leito Brita, com $1,9\%$. Os valores médios de KT_{epm} e KT_{spm} dos leitos foram respectivamente: $2,70 \text{ g d}^{-1}$ e $2,65 \text{ g d}^{-1}$ para o leito Brita, $3,15 \text{ g d}^{-1}$ e $2,25 \text{ g d}^{-1}$ para o leito Typha 1 e $3,73 \text{ g d}^{-1}$ e $2,79 \text{ g d}^{-1}$ para o leito Typha 2.

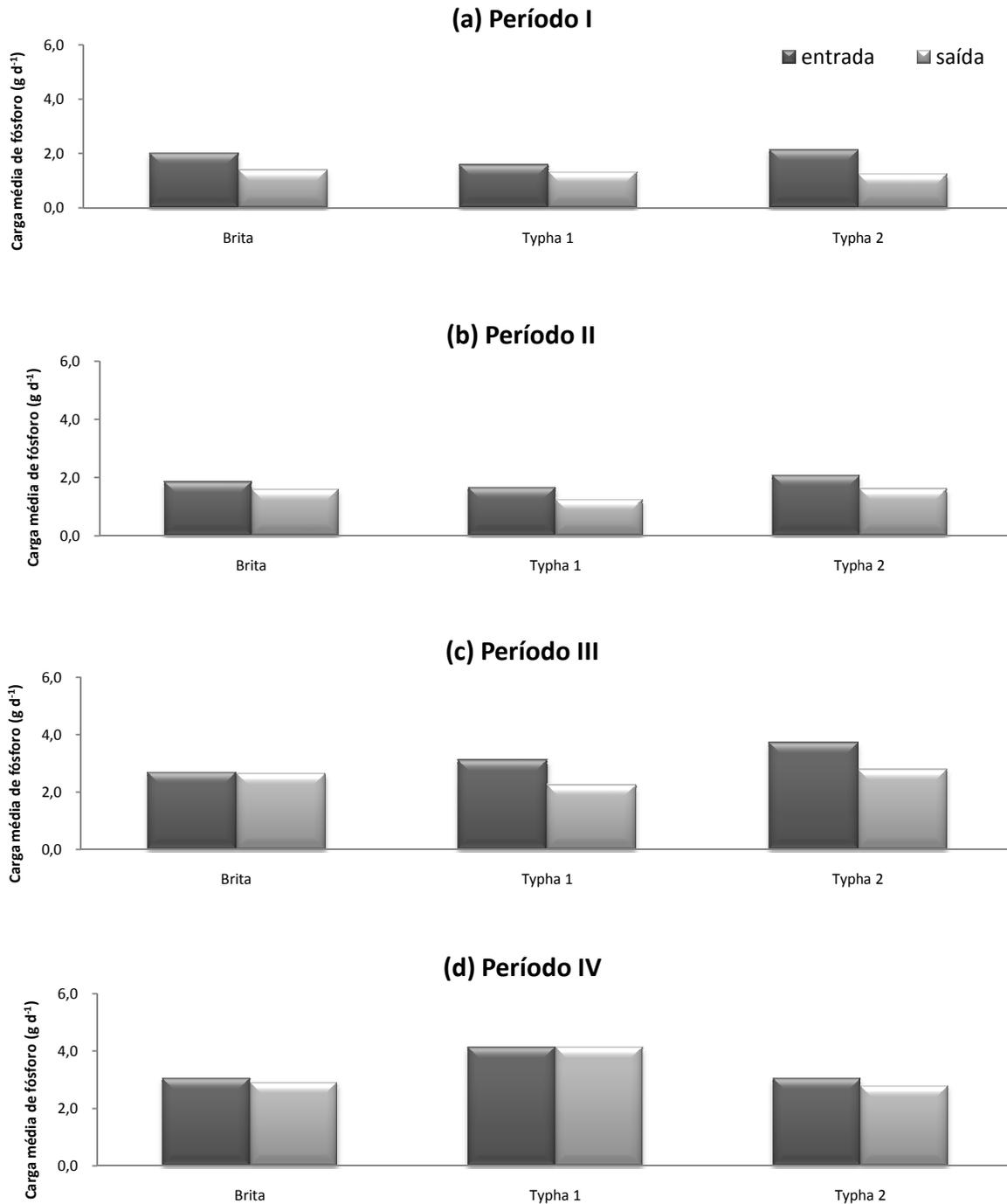


Figura 54. Valor médio diário de KT_{epm} e KT_{spm} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Para a Figura 54d, o leito Typha 2 foi o leito que apresentou a maior superioridade do valor médio de KT_{epm} em relação ao valor médio de KT_{spm} . Esta superioridade foi de 9,7% de KT_{epm} (3,05 g d⁻¹) em relação a KT_{spm} (2,78 g d⁻¹). O leito Typha 1 resultou em uma KT_{epm} média idêntica a KT_{spm} , que foi de 4,13 g d⁻¹. O leito Brita teve KT_{epm} média de 3,05 g d⁻¹, superior 5,5% em relação a KT_{spm} média (2,89 g d⁻¹).

Assim como ocorrido na Figura 49, nesta Figura 54 é possível observar que os leitos Typha 1 e Typha 2 apresentaram as maiores diferenças entre os valores médios de KT_{epm} e KT_{spm} em comparação à diferença entre os valores médios de KT_{epm} e KT_{spm} do leito Brita. Provavelmente estas diferenças entre os valores médios de KT_{epm} e KT_{spm} são referentes à potencialidade de retenção deste nutriente pelas plantas. Isto também será verificado na próxima figura (Figura 55).

Na próxima figura apresentada (Figura 55), estão os resultados das cargas de fósforo (KT), porém são referentes aos valores totais quantificados para carga de fósforo. Pela Figura 55a, é possível verificar que a carga total de entrada (KT_{epm}) no período I do leito Brita foi de 30,25 g e que a carga total de saída (KT_{spm}) foi de 20,91 g. Para o leito Typha 1 estas variáveis foram respectivamente 23,78 g para KT_{epm} e 19,83 g para KT_{spm} ; e para o leito Typha 2 foram 32,18 g da KT_{epm} e 18,69g da KT_{spm} .

No período II (Figura 55b), o leito Brita resultou em uma KT_{epm} de 55,52 g e em uma KT_{spm} de 47,63 g. Para o leito Typha 1, estas variáveis foram respectivamente 49,69 g para KT_{epm} e 37,34 g para KT_{spm} ; e para o leito Typha 2 foram 62,44 g da KT_{epm} e 48,35 g da KT_{spm} .

Pela Figura 55c, tem-se que no período III o leito Brita resultou em uma KT_{epm} de 29,66 g e em uma KT_{spm} de 29,10 g. Para o leito Typha 1 estas variáveis foram respectivamente 34,34 g para KT_{epm} e 24,72 g para KT_{spm} ; e para o leito Typha 2 foram 41,04 g da KT_{epm} e 30,71 g da KT_{spm} .

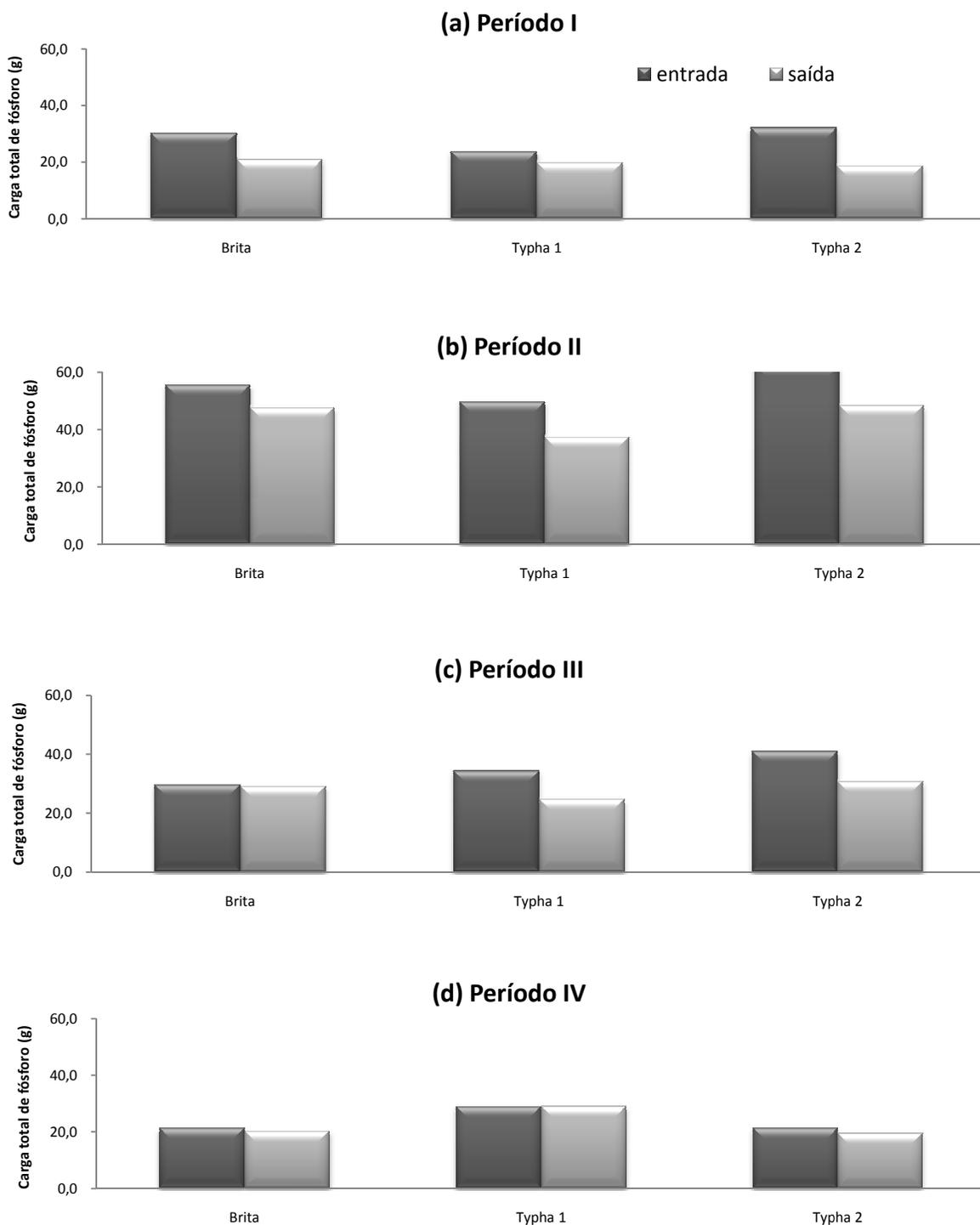


Figura 55. Valor total de KT_{epm} e KT_{spm} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Na Figura 55d, KT_{epm} no leito Brita resultou em 21,34 g e KT_{spm} em 20,24 g. Para o leito Typha 1, estas mesmas variáveis resultaram respectivamente em 28,91 g para KT_{epm} e 28,94 g para KT_{spm} ; e para o leito Typha 2 foram 21,35 g de KT_{epm} e 19,46 g de KT_{spm} .

Na próxima figura apresentada, Figura 56, está o resultado da eficiência de retenção de fósforo dos leitos cultivados nos períodos monitorados. Observa-se que, durante todos os períodos monitorados, os resultados demonstraram eficiências de retenção superiores dos leitos que continham *Typha sp.* quando comparados ao leito Brita.

No período I, o leito Typha 2 foi o que apresentou maior eficiência de retenção de fósforo (41,9%), seguido pelo leito Brita com 30,9% e do leito Typha 1 com 16,6%.

No período II, os leitos que apresentaram maiores eficiências foram o leito Typha 1 e leito Typha 2, com eficiências de retenção de 24,9% e 22,6%, respectivamente, e o leito Brita resultou numa eficiência de 14,2%.

No período III, o leito Typha 1 também resultou em eficiências de retenção superiores em relação aos demais leitos, com 28,0%, seguido do leito Typha 2, com 25,2%, e do leito Brita, com 1,9%.

O período IV foi o período em que menores eficiências de retenção foram obtidas. Sendo o leito Typha 2 o que apresentou maior eficiência de retenção (8,9%), seguido do leito Brita com 5,2% e do leito Typha 1 com -0,1%. Uma possível explicação para esta ocorrência foi descrita na Figura 47d.

Pela descrição desta última figura (Figura 56), é importante destacar a influência positiva da macrófita *Typha sp.* no desempenho da retenção da fósforo em relação ao leito Brita, cujos valores médios descritos, excetuando-se o valor médio observado nos períodos I e IV, foram sempre superiores ao leito Brita.

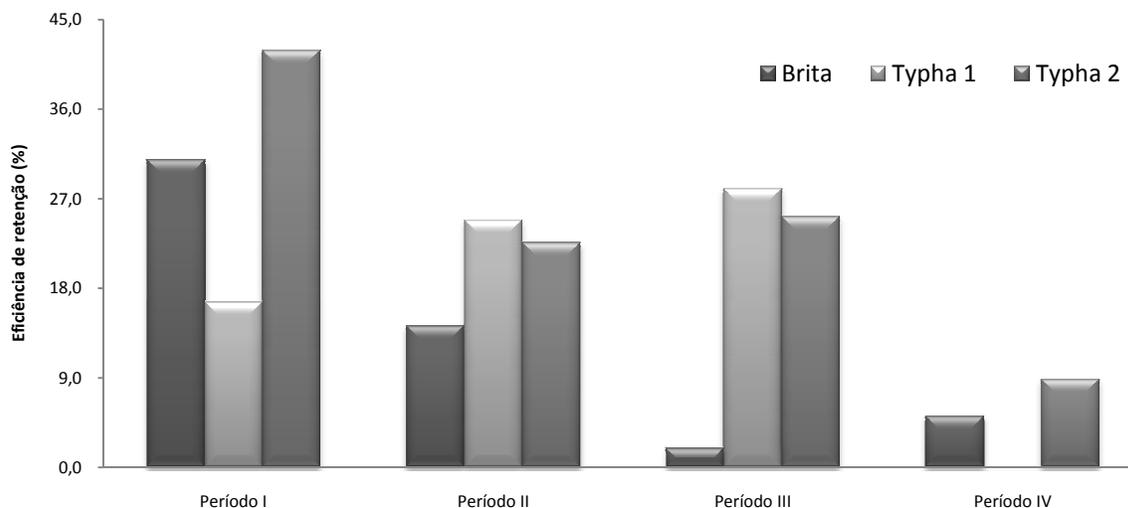


Figura 56. Eficiência de retenção de fósforo dos leitos cultivados nos períodos monitorados. Período I (01 a 22/02/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (24/09 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

6.4 Balanço do período estendido

Os próximos resultados a serem apresentados do monitoramento do sistema de leitos cultivados se referem ao balanço do período estendido e que, para melhor compreensão, também estão divididos em dois grandes grupos: (i) Quantidade de Água e (ii) Qualidade de Água.

Nos resultados de Quantidade de Água, abordou-se os volumes totais de entrada (V_{epe}) e volumes totais de saída (V_{spe}) em cada leito (Figura 57) e do volume total evaporado/evapotranspirado em cada leito (Figura 58).

Nos resultados de Qualidade de Água, abordou-se os valores totais das cargas de fósforo total de entrada (KT_{epe}) e das cargas de fósforo total de saída (KT_{spe}) nos três leitos (Figura 59) e da eficiência de remoção de fósforo nos leitos cultivados com *Typha sp.* (Figura 60).

6.4.1 Quantidade de água

Na próxima figura (Figura 57) estão apresentados os gráficos referentes ao volume de entrada (V_{epe}) e volume de saída (V_{spe}) do efluente e tratam-se dos valores totais para o período estendido.

Na Figura 57a, o leito Brita apresentou V_{epe} de 25.922,4 l, valor este superior 2,6% em relação ao V_{spe} (25.271,5 l); no leito Typha 1, V_{epe} (23.169,6 l) foi superior 4,1% em relação ao V_{spe} (22.263,6 l); e o leito Typha 2 apresentou valor superior 3,8% do V_{epe} (50.330,4 l) em relação ao V_{spe} (48.501,6 l).

A Figura 57b, o leito Typha 1 foi o que apresentou a maior superioridade de V_{epe} em relação ao V_{spe} . Esta diferença do valor de V_{epe} (28.988,3 l) foi superior 7,2% em relação ao valor de V_{spe} (27.046,6 l). No leito Typha 2, o V_{epe} foi de 37.276,6 l, superior 6,9% em relação ao V_{spe} (34.861,9 l) e no leito Brita, o V_{epe} foi de 32.929,6 l, superior 2,9% em relação ao V_{spe} (31.989,8 l).

Pela Figura 57c, o leito Typha 1 também foi o leito que apresentou a maior superioridade do valor de V_{epe} em relação ao valor de V_{spe} e foi de 16,2%, seguido do leito Typha 2, com 15,2%, e do leito Brita, com 5,3%. Os valores de V_{epe} e V_{spe} dos leitos foram respectivamente: 36.872,2 l e 35.001,3 l para o leito Brita; 41.894,4 l e 36.038,5 l para o leito Typha 1 e; 51.990,4 l e 45.136,6 l para o leito Typha 2.

Pela Figura 57d, o leito Typha 2 foi o leito que apresentou a maior superioridade do valor de V_{epe} em relação ao valor de V_{spe} . Esta superioridade foi de 9,6% de V_{epe} (20.493,0 l) em relação ao V_{spe} (18.703,3 l). O leito Typha 1 resultou em um V_{epe} de 26.109,0 l, valor este superior 6,9% em relação ao V_{spe} , que foi de 24.431,1 l. O leito Brita teve V_{epe} de 19.729,2 l, superior 4,0% em relação ao V_{spe} (18.961,7 l).

A próxima figura, Figura 58, trata dos resultados dos valores totais dos volumes evaporados/evapotranspirados nos períodos estendidos em cada leito. O período III se destacou em relação aos outros períodos e apresentou os maiores valores de evaporação/evapotranspiração. Neste período, o leito Typha 2 evapotranspirou 14.707,6 mm, valor este superior 17,0% em relação ao volume total evapotranspirado do leito Typha 1 (12.566,4 mm). Neste mesmo período III o volume evaporado no leito Brita foi 4.014,7 mm.

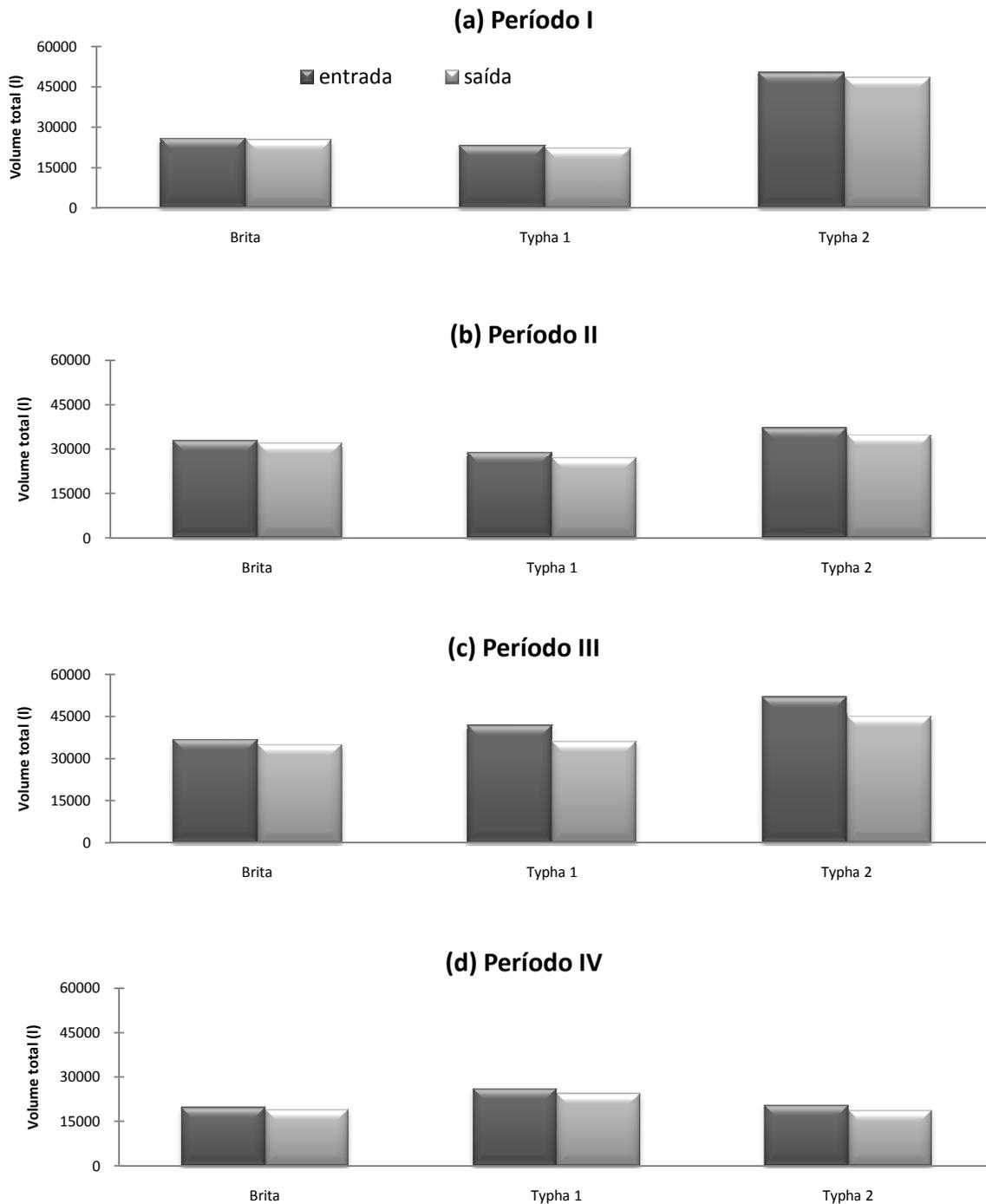


Figura 57. Valor total do período estendido de V_{epe} e V_{spe} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01/02 a 02/06/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (03/07 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

No período I estes valores do volume evaporado/evapotranspirado foram: leito Brita com 1.396,9 mm; leito Typha 1 com 1.944,2 mm; e leito Typha 2 com 3.924,5 mm. E no período II, a evaporação do leito Brita foi 2.016,7 mm, a evapotranspiração dos leitos Typha 1 e Typha 2 foram respectivamente 4.166,7 mm e 5.181,7 mm.

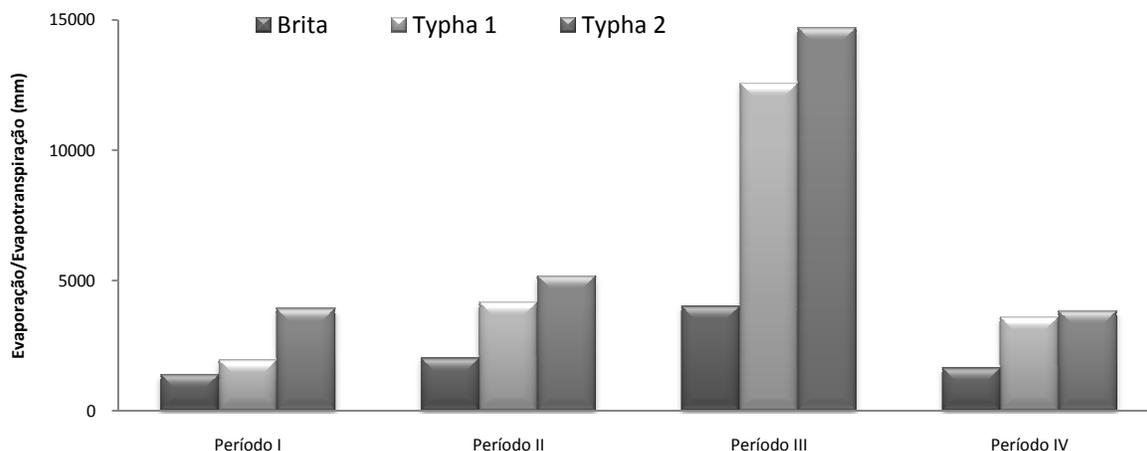


Figura 58. Volume total evaporado/evapotranspirado no período estendido. Período I (01/02 a 02/06/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (03/07 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007.

No período IV o leito Typha 2 apresentou volume total de evapotranspiração de 3.840,6 mm, valor este superior 6,7% em relação ao volume total evapotranspirado do leito Typha 1 (3.600,6 mm) e o leito Brita teve um volume total evaporativo de 1.647,2 mm.

6.4.2 Qualidade de água

Na próxima figura apresentada (Figura 59), estão os resultados das cargas de fósforo (KT_{pe}) referentes aos valores quantificados para carga de fósforo do período estendido.

Pela Figura 59a, é possível verificar que a carga total de entrada (KT_{epe}) no período I do leito Brita foi de 80,68 g e que a carga total de saída (KT_{spe}) foi de 55,75 g. Para o leito Typha 1 estas variáveis foram respectivamente 63,41 g para KT_{epe} e 52,89 g para KT_{spe} ; e para o leito Typha 2 foram 171,62 g da KT_{epe} e 99,69 g da KT_{spe} .

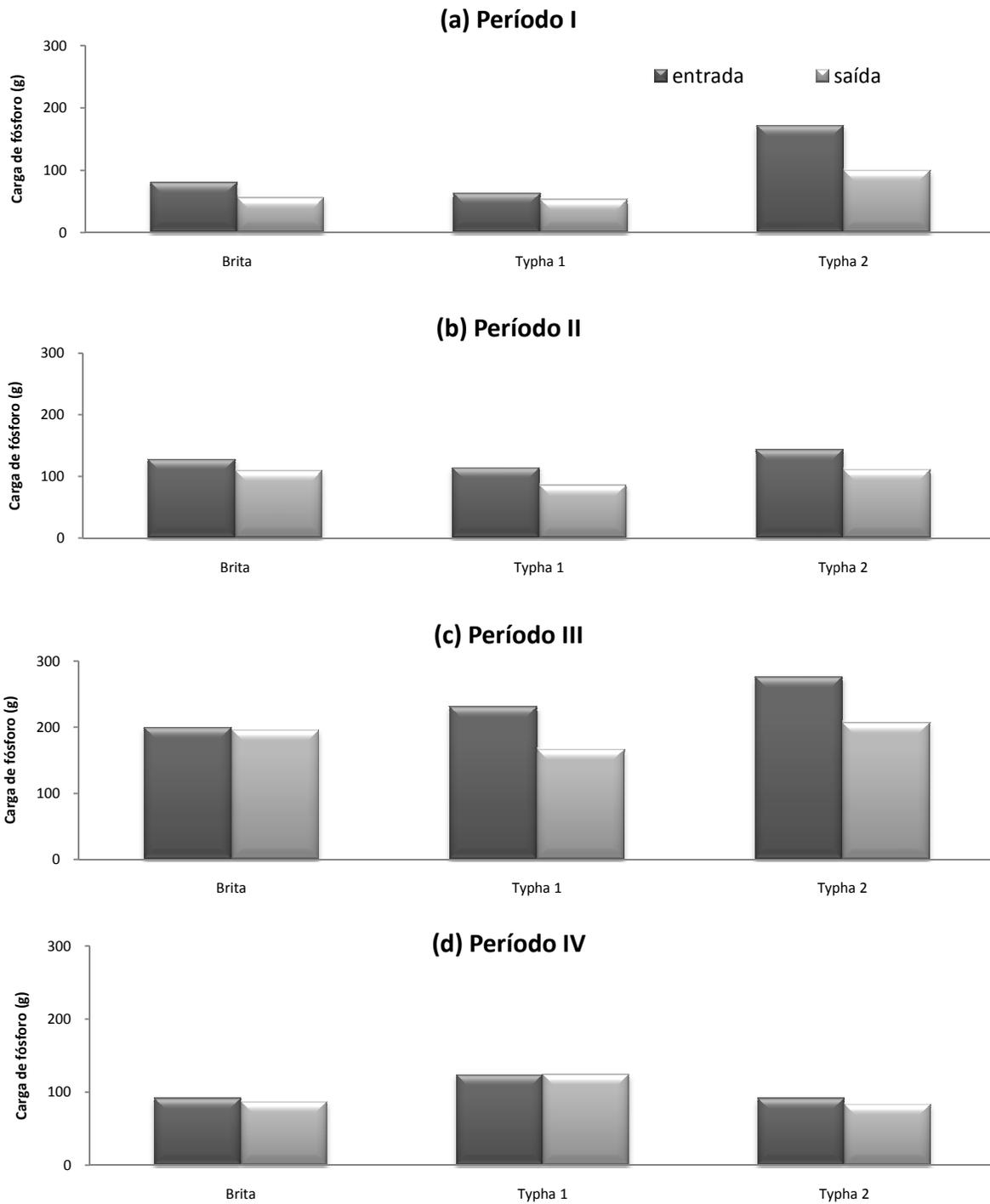


Figura 59. Valor total do período estendido de KT_{epe} e KT_{spe} dos leitos cultivados (leito Brita, leito Typha 1 e leito Typha 2). Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01/02 a 02/06/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (03/07 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Na Figura 59b, o leito Brita resultou em uma KT_{epe} de 127,71 g e em uma KT_{spe} de 109,55 g. Para o leito Typha 1 estas variáveis foram respectivamente 114,28 g para KT_{epe} e 85,88 g para KT_{spe} ; e para o leito Typha 2 foram 143,61 g da KT_{epe} e 11,21 g da KT_{spe} .

Pela Figura 59c, tem-se que no período III, o leito Brita resultou em uma KT_{epe} de 199,56 g e em uma KT_{spe} de 195,75 g. Para o leito Typha 1 estas variáveis foram respectivamente 231,01 g para KT_{epe} e 166,32 g para KT_{spe} ; e para o leito Typha 2 foram 276,09 g da KT_{epe} e 206,57 g da KT_{spe} .

Na Figura 59d, KT_{epe} no leito Brita resultou em 91,45 g e KT_{spe} em 86,74 g. Para o leito Typha 1 estas mesma variáveis resultaram respectivamente em 123,91 g para KT_{epe} e 124,03 g para KT_{spe} ; e para o leito Typha 2 foram 91,52 g da KT_{epe} e 83,42 g da KT_{spe} .

Na Figura 60, está o resultado da eficiência de remoção de fósforo pelas plantas nos leitos cultivados, durante o período estendido. Observa-se que em todos os períodos monitorados apresentados nesta figura as eficiências de remoção de fósforo resultaram em valores inferiores aos observados para a eficiência de retenção de fósforo da Figura 57 (período I: leito Typha 1 com eficiência de retenção de fósforo de 16,6% e leito Typha 2 com 41,9%; período II: leito Typha 1 com eficiência de retenção de 24,9% e leito Typha 2 com 22,6%; e período III: leito Typha 1 com eficiência de retenção de 28,0% e leito Typha 2 com 25,2%).

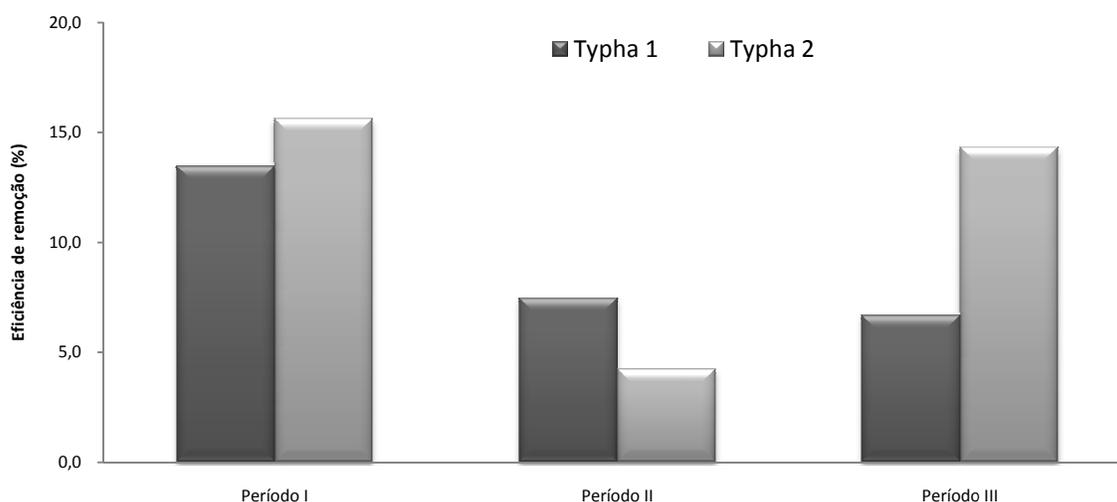


Figura 60. Eficiência de remoção de fósforo dos leitos cultivados com *Typha sp.* no período estendido. Período I (a), Período II (b), Período III (c) e Período IV (d). FEAGRI/UNICAMP, 2006 - 2007. Período I (01/02 a 02/06/2006), Período II (04/09 a 20/12/2006), Período III (03/07 a 16/10/2007) e Período IV (17/10 a 04/12/2007).

Pela Figura 60 se verifica que os valores de eficiência de remoção de fósforo do período I foi de 13,5% e 15,6% respectivamente para o leito Typha 1 e para o leito Typha 2. Já no período II, resultaram em reduções de eficiências de remoção, sendo 7,5% para o leito Typha 1 e 4,2% para o leito Typha 2. No período III, resultou em 6,7% e 14,3% respectivamente para o leito Typha 1 e leito Typha 2. No período IV não foi feita a poda drástica nas plantas, por isso os resultados não foram apresentados nesta figura.

7. DISCUSSÃO

7.1 Metodologias similares

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi baseada em um monitoramento nos leitos cultivados em escala horária. A escolha pelo monitoramento horário permitiu que os valores médios calculados, para as variáveis envolvidas neste experimento, expressassem com mais fidelidade a dinâmica da retenção do fósforo total no sistema. Oliveira (2006), Melo Júnior (2003), Pereira et al. (2006) e Martins et al. (2006) utilizaram metodologias semelhantes a esta pesquisa em relação às avaliações horárias. Conforme Oliveira (2006), seu estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica da retenção de fósforo, em sistemas leitos cultivados de fluxo subsuperficial horizontal, que funcionaram como tratamento secundário de esgoto. O autor monitorou em escalas horárias das 9h às 17h os leitos cultivados com taboa e arroz, entre os meses de maio de 2003 e junho de 2004. Melo Júnior (2003), estudou o desenvolvimento foliar da macrófita *Typha sp.* em leitos cultivados de fluxo subsuperficial, a fim de verificar o desempenho da planta na retenção de nutrientes como nitrato, amônia e fósforo presente no efluente por meio de avaliações horárias entre as 8h e 20h, nos meses de maio, junho e outubro de 2002. Pereira et al. (2006), estudaram o desempenho de *Eichornia crassipes* em leitos cultivados de fluxo superficial, cultivados com meio suporte de brita. A autora monitorou os leitos cultivados entre os meses de setembro e outubro de 2005 e realizou avaliações horárias entre as 8h e 18h. Martins et al. (2006) utilizaram a macrófita *Vallisneria gigantea* e seu monitoramento foi por meio de avaliações horárias durante os meses de janeiro e fevereiro de 2006.

Porém, a grande maioria das pesquisas relacionadas com a remoção/retenção de nutrientes que utilizam o sistema de leitos cultivados não realiza avaliações horárias para a determinação do desempenho em seus sistemas. Katsenovichi et al. (2007) estudaram o desempenho de leitos cultivados em regiões de clima tropical; Souza et al. (2004) relataram o desempenho, durante três anos de monitoramento, de três sistemas de leitos cultivados que operam como pós-tratamento de reator UASB; Mannarino et al. (2006) demonstraram as experiências no aterro sanitário de Pirai e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ); Brasil et

al. (2007) avaliaram aspectos hidráulicos e hidrológicos em leitos cultivados com *Typha sp.* no pós-tratamento de esgoto doméstico de tanque séptico.

7.2 Quantidade de água

Para caracterizar o comportamento hidráulico dos leitos cultivados com *Typha sp.*, considerando todos os dados levantados em campo, utilizou-se como indicadores as vazões médias de entrada/saída, os volumes de entrada/saída, o TDH e a evapotranspiração. Os valores das vazões médias horárias de entrada/saída e seus respectivos desvios padrões foram de $55,4 \pm 31,1 \text{ l h}^{-1}$ e de $51,2 \pm 30,6 \text{ l h}^{-1}$, respectivamente. Toniato et al. (2005) trabalharam vazões de entrada superiores ($87,5 \text{ l h}^{-1}$) e com valores de vazão de saída inferiores ($17,3 \text{ l h}^{-1}$), indicando um potencial de perda de evaporação superior. Matos et al. (2009) colocaram vazão de entrada de $0,8 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, o que proporcionou um TDH de 4,8 dias em leitos cultivados para tratamento de águas residuárias da atividade agropecuária com suínos. Avelar (2008) trabalhou com vazão de entrada nos leitos cultivados superiores ($180,0 \text{ l h}^{-1}$ e $270,0 \text{ l h}^{-1}$) e TDH inferiores (0,79 e 0,52 dias).

Quanto aos volumes de entrada e TDH, observou-se em pesquisa realizada Matos et al. (2010), a água residuária de laticínio aplicada com volume de 60 l e TDH de 4,8 dias em leitos cultivados com forrageiras, não apresentou boa eficiência de retenção para o nutriente fósforo. Ghosh et al. (2010) testaram quatro volumes de entrada diferentes (300,150,100 75 l), que corresponde a 1,2,3 e 4 dias de TDH nos leitos cultivados com *Typha angustifolia* e obtiveram resultados mais eficientes de retenção de nutrientes para um TDH de 4 dias.

Os leitos cultivados desta pesquisa tiveram um TDH médio de 1,99 dias. Brasil et al. (2005) operaram os leitos cultivados com dois diferentes TDH, sendo 1,9 e 3,8 dias. Para Huett et al. (2005), os TDH foram de 3,5 e 7,0 dias e para Toniato et al. (2005) foi de 6,15 dias. Calijuri et al. (2009) trabalharam com TDH de 1,3 a 5,3 dias e Souza et al. (2000) monitoram quatro leitos cultivados com TDH variando de 5 a 10 dias. Matos et al. (2010), destacam que o TDH de 1,9 dias, nos leitos cultivados com forrageiras, foi suficiente para produzir um efluente cujas características físicas, químicas e bioquímicas atendessem aos padrões de lançamento em corpos hídricos receptores.

Os volumes de entrada/saída e seus desvios padrão foram de $569,6 \pm 312,4 \text{ l d}^{-1}$ e $527,7 \pm 305,1 \text{ l d}^{-1}$ respectivamente. Os valores de TDH influenciam diretamente a redução dos nutrientes de saída dos leitos, o que poderia aumentar a eficiência do sistema. Tal afirmação é corroborada por Borges (2008), na qual sugere que as variáveis hidráulicas têm importância fundamental no projeto e na operação satisfatória dos leitos cultivados. Hodgson et al. (2004) destaca que todos os parâmetros usados no monitoramento da eficiência de leitos cultivados são em função do TDH no sistema.

Os resultados calculados da evapotranspiração e desvio padrão para os leitos cultivados foram em média $89,8 \pm 74,2 \text{ mm d}^{-1}$. Esses valores foram inferiores aos observados por Cadelli et al. (2004) no Marrocos com leitos cultivados com *Arundo donax* (Cana-comum) e na Malásia em leitos cultivados com *Typha angustifolia*, $38,0 \text{ mm d}^{-1}$ e de $32,9 \text{ mm d}^{-1}$ respectivamente. No sistema de leitos cultivados com *Typha sp.*, Brasil (2008) calculou a evapotranspiração de $9,3 \text{ mm d}^{-1}$.

A observação dos valores de evapotranspiração em leitos cultivados traduz a influência do clima e da fisiologia das plantas (Sanchez-Carrilho et al., 2001). Elementos meteorológicos como radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento são influenciadores da evaporação e da transpiração. Já os aspectos fisiológicos definem a velocidade de desenvolvimento da vegetação, influenciando a retenção de nutrientes.

O desempenho do sistema de leitos cultivados é influenciado, também, pelo balanço hídrico dos leitos (Davis ,1995). As precipitações e perdas por evapotranspiração são importantes e devem ser consideradas no dimensionamento. As precipitações podem aumentar temporariamente o nível da água e conseqüentemente causarem aumento das vazões de saída e diluição dos nutrientes, podendo produzir aumento na eficiência do tratamento. Já a evapotranspiração reduz, por sua vez, o nível da água no leito e, por conseqüência, proporciona aumento da concentração dos nutrientes presentes no efluente, podendo reduzir a eficiência de retenção pelos leitos, além de poder causar efeitos tóxicos para a vegetação.

7.3 Qualidade de água

A caracterização da qualidade de água nos leitos cultivados com *Typha sp.* foi calculado com base em todos os dados levantados em campo e utilizou-se como indicadores as

concentrações médias de fósforo de entrada/saída e as cargas médias de fósforo de entrada/saída, pois esse modo é possível relacionar as cargas de fósforo com a eficiência de retenção.

Os valores das concentrações médias e desvio padrão de entrada/saída, para o nutriente fósforo, foram de $4,0 \pm 1,6 \text{ mg l}^{-1}$ e de $3,3 \pm 1,5 \text{ mg l}^{-1}$, respectivamente. Brasil et al. (2005), observou valores de concentração de fósforo após o tratamento por leitos cultivados com *Typha sp.* superiores ($4,0 \pm 3,0 \text{ mg l}^{-1}$). Toniato et al. (2005) encontrou valores de concentração de fósforo de entrada/saída de $2,6 \text{ mg l}^{-1}$ e de $2,3 \text{ mg l}^{-1}$ respectivamente. Souza et al. (2000), obteve concentrações de entrada de $5,3 \pm 1,6 \text{ mg l}^{-1}$ e $7,2 \pm 1,6 \text{ mg l}^{-1}$, com concentrações de saída que variavam entre 0 e $1,2 \text{ mg l}^{-1}$. Souza et al. (2005), pesquisando o uso de leito cultivado e lagoa de polimento no pós -tratamento de reator UASB (concentração de fósforo de entrada de $7,0 \text{ mg l}^{-1}$), encontrou concentrações de fósforo de saída menores ($3,0 \text{ mg l}^{-1}$) em leitos cultivados do que na lagoa de polimento ($4,7 \text{ mg l}^{-1}$). Avelar (2008) encontrou concentração de fósforo de entrada que variaram de 2,0 a $11,0 \text{ mg l}^{-1}$ e concentrações de saída variando de 0,1 a $4,5 \text{ mg l}^{-1}$. Neder et al. (2000) encontrou concentração média de entrada de fósforo de $11,2 \text{ mg l}^{-1}$.

Segundo Calijuri et al. (2009), as informações de literatura sobre a eficiência de retenção de fósforo alcançadas em leitos cultivados são as mais variadas. A autora observou retenções de fósforo superiores, que variaram entre 25 a 79% e verificou que em meses mais quentes os valores de retenção são mais elevados. Brasil (2005) registrou retenções médias de 35 e 48%. Já os resultados observados por Souza et al. (2000) superaram todas as eficiências de retenção observadas em sistemas similares, com 78 a 100%. A eficiência de retenção de fósforo dos leitos cultivados com *Typha sp.* desta pesquisa foram em média 22,4%.

Porém, a real eficiência do desempenho da retenção de fósforo é mais indicada em relação à carga de fósforo do que a concentração total. Por isso, utilizou-se como indicadores do desempenho dos leitos com o cultivo de *Typha sp.* variáveis da carga de fósforo de entrada/saída. Os valores médios calculados de carga de fósforo e o desvio padrão de entrada/saída foram $2,3 \pm 1,6 \text{ g d}^{-1}$ e $1,8 \pm 1,4 \text{ g d}^{-1}$ respectivamente. Oliveira (2006) obteve carga máxima de fósforo de entrada de $0,62 \text{ g d}^{-1}$ e de carga máxima de fósforo de saída de $0,05 \text{ g d}^{-1}$.

O desempenho da remoção de fósforo, para os leitos com *Typha sp.*, foi de 10,6%. Este valor foi resultante do cálculo na qual se relacionam a carga de fósforo presente na parte aérea da macrófita estudada e a carga de fósforo de entrada no efluente dos leitos cultivados. Sob a perspectiva desta definição, encontraram-se dificuldades na busca de outros artigos que mencionassem, por meio da remoção da biomassa aérea, contribuição para a remoção de nutrientes em sistemas de leitos cultivados. Matos et al. (2009) também afirma existir pouca informação sobre o desempenho de espécies vegetais na remoção de nutrientes em sistemas de leitos cultivados, porém estes autores utilizaram o termo *extração de nutrientes* pelos vegetais em sistemas de leitos cultivados. Brasil et al. (2007) observou eficiência inferior (1,6%). Matos et al. (2009) também obteve eficiências de remoções inferiores para fósforo nas plantas cultivadas com efluente de suinocultura, sendo 2,3% de remoção de fósforo no leito cultivado com *Typha latifolia* L. (taboa); 3,9% no leito cultivado com *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. (erva daninha alligator); 3,2% no leito cultivado com *Cynodon dactylon* Pers. (capim tifton-85) e; 3,9% no leito cultivado com a mistura destas espécies descritas anteriormente. Matos et al. (2009) destaca ainda que o fósforo é um elemento de difícil remoção em sistemas convencionais de tratamento de águas residuárias. Diante de tal afirmação, a eficiência de remoção obtida de 10,6%, pode ser considerada muito expressiva. Esta eficiência de remoção de fósforo foi muito superior à obtida por Lee et al. (2004) em leitos cultivados com *Eichhornia crassipes* (aguapé), que foram apenas de 0,1 e 1,2%

Desse modo, a hipótese de que a eficiência da remoção de fósforo em sistemas de leitos cultivados é inferior a eficiência de retenção foi confirmada. Porém, quando a remoção de nutriente for muito pequena, como em pesquisa realizada por Brasil et al. (2007) e Lee et al. (2004), a U.S. EPA (2000), recomenda que o tempo e o trabalho requeridos para colher e reusar ou fazer disposição dessas plantas pode não compensar. Entretanto, estudos com plantas, que apresentam maior potencial de produção de biomassa e manejos adequados no futuro, poderão viabilizar em conjunto com novas tecnologias à produção de bioenergia. Essa produção de energia poderá, no futuro próximo, viabilizar economicamente e financeiramente os tratamentos de esgotos utilizados com leitos cultivados.

Pompeu (2008) destaca a necessidade de se dar destino à biomassa produzida. Desta forma, é essencial que ao se planejar um sistema de tratamento de leitos cultivados, também seja levada em consideração unidades de beneficiamento e de armazenamento de biomassa.

Rodrigues (1985) sugere *Unidades Hidro-Agrícolas*, isto é, um sistema leitos cultivados através da utilização de macrófitas, promovendo a melhoria da qualidade da água, que posteriormente seria utilizada para atividades aquícolas como a criação de peixes, rãs etc. e para agricultura intensiva. Devido à elevada produção de biomassa, atividades relativas às várias formas de utilização das macrófitas também são sugeridas. Segundo o autor, além das características de retenção/remoção de nutrientes e geradoras de rendimento, estas Unidades poderiam propiciar a fixação do homem no campo.

Esta pesquisa também mostrou que o manejo nos sistemas de leitos cultivados influencia na eficiência de retenção e remoção de fósforo, confirmando dessa maneira a segunda hipótese do trabalho. Sob essa perspectiva, pela Figura 61 é possível observar certa tendência de aumento tanto da eficiência de retenção como a eficiência de remoção de fósforo em relação ao aumento da massa de matéria fresca do sistema.

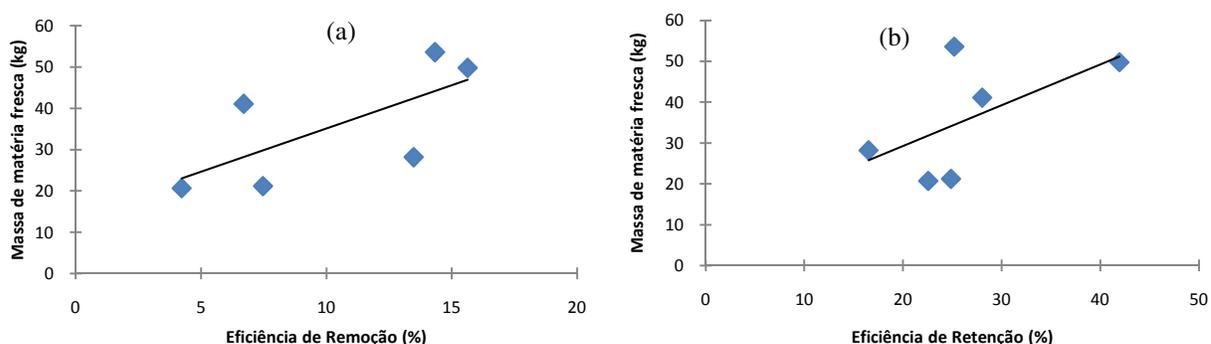


Figura 61. Relação da massa de matéria fresca com (a) eficiência de remoção e (b) retenção de fósforo. FEAGRI/UNICAMP (01/02/2006 a 04/12/2007).

Por isso, quando se aplica um manejo adequado no sistema de leitos cultivados, obtêm-se maiores quantidades de massa de matéria fresca das plantas, conseqüentemente maiores eficiências de remoção/retenção de fósforo do efluente. As plantas utilizam nutrientes dos leitos cultivados para seu crescimento, atuando, desse modo como extratoras de grande parte dos elementos nutricionais do efluente em tratamento (Matos et al., 2009).

Entretanto, entende-se sobre manejo adequado a aplicação de podas quando a *Typha sp.* iniciar o processo de senescência, ou seja, após o seu florescimento é recomendado o corte da biomassa aérea. Caso não se realize podas das macrófitas nos leitos, a decomposição da massa vegetal rapidamente liberará grande quantidade dos nutrientes retidos na biomassa viva,

tal como fósforo (Pompêo & Henry 1998) que também retornará ao leito cultivado, reduzindo o efeito do controle, anteriormente atingido, dos nutrientes retido na biomassa das macrófitas aquáticas. Informações semelhantes também foram descritas por Matos et al. 2009; Matos & Lo Monaco, 2003 e Brix, 1997, que recomendam que sejam efetuadas colheitas periódicas da macrófita, a fim de evitar o acúmulo da massa vegetal e a conseqüente salinização do meio. Pompêo (2008) corrobora com os autores anteriormente citados, afirmando não ser pertinente deixar a macrófita crescendo sem controle, pois há necessidade de planejamento e manejo adequados para um eficiente sistema de tratamento. Segundo Lautenschlager (2001), a remoção de nutrientes pelas plantas é um dos principais fatores responsáveis pela reciclagem de sais minerais.

Como o fósforo é um nutriente, a adição deste elemento em leitos cultivados estimula o crescimento das plantas causando acréscimo e crescimento da biomassa (Richardson & Marshall, 1986) sendo, portanto essencial ao desenvolvimento fisiológico da vegetação. Souza et al. (2005) descrevem que o fósforo é constituinte fundamental que armazena e transfere energia à planta, e que sem a sua presença, não ocorre nenhum processo metabólico.

No período de crescimento da biomassa, as plantas podem absorver macronutrientes, como nitrogênio e fósforo, entretanto na senescência, a maior parte dos nutrientes é translocada para as raízes e rizomas (Matos et al. 2009). A estimativa anual de absorção de fósforo, por macrófitas emergentes, varia de 1,8 a 18 g m⁻² ano⁻¹ (Reddy & DeBusk, 1985). A remoção de fósforo, com as colheitas da biomassa aérea, varia de 0,4 a 10,5 g m⁻² ano⁻¹ em *Phalaris arundinacea*; de 0,6 a 9,8 g m⁻² ano⁻¹ em *Phragmites australis*; e de 0,2 a 6,5 g m⁻² ano⁻¹ em *Typha sp.* (Vymazal, 2004).

Souza et al. (2005), em pesquisa sobre a potencialidade de reuso agrícola do efluente tratado em leitos cultivados afirmou, que se deve evitar a fixação do fósforo na formação de complexos que a planta não consegue absorver. Segundo Primavesi (2002) três fatores contribuem para manter a disponibilidade do fósforo para a planta: (i) manutenção do pH perto da neutralidade; (ii) solo adequadamente arejado e (iii) a permanente incorporação da matéria orgânica que permite a humificação, aumentando o tamponamento e possibilitando a ligação do fósforo em compostos de húmus que mantêm formas de fósforo disponíveis para a maioria das plantas. Desta forma, a fertirrigação com efluentes tratados torna-se viável devido à constante dose de macronutrientes e matéria orgânica durante todo o ciclo da planta.

8. CONCLUSÕES

Pelos resultados apresentados conclui-se que:

- O sistema leitos cultivados com *Typha sp.* utilizado no pós-tratamento de efluente de Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) em clima tropical, mostrou eficiência para a retenção e remoção de fósforo de 22,4% e 10,6% respectivamente;

- O monitoramento baseado em avaliações horárias mostrou-se adequado, pois permitiu que os valores calculados para as outras escalas temporais distintas como as avaliações diárias, do balanço do período monitorado, bem como do período estendido, expressassem com maior fidelidade a eficiência na retenção/remoção de fósforo em sistema de leitos cultivados, permitindo assim um maior entendimento da dinâmica do fósforo em sistema de leitos cultivados;

- As mudanças de escala em estudos, que apresentam alta variabilidade das variáveis monitoradas, devem necessariamente definir protocolo experimental compatível com os objetos estudados;

- O desempenho da eficiência de remoção de fósforo esta relacionada com o desenvolvimento da vegetação e esta é afetado por elementos meteorológicos, principalmente pelo déficit de pressão de vapor saturado;

- A carga média diária de fósforo retida no sistema de leitos cultivados foi: leito Brita com $0,44 \pm 0,83$ g; leito Typha 1 com $0,41 \pm 0,66$ g e leito Typha 2 com $0,63 \pm 1,06$ g. E, as eficiências de retenção, com base na carga de fósforo, foram 19,7%, 18,9% e 23,5% respectivamente para os leitos Brita, Typha 1 e Typha 2.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20ed. Washington, DC: APHA, 1998.

AVELAR, J. C. **Avaliação da escória de aciaria (ld) como leito cultivado e leito filtrante no pós-tratamento de efluente de reator UASB compartimentado**. 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental / Energia na Agricultura) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

BENINCASA, M.; ORLOTLANI, A.F.; LUCAS JR, J. **Biodigestores convencionais**. Jaboticabal: FCAV, 1986. 25p. (Boletim Técnico, 8).

BERLATO, M.A.; MOLION, N.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. (Boletim Técnico, 7).

BERNARD, J.M. 1998. Population biology of wetland plants. In: MAJUMDAR, S.K.; MILLER, E.W.; BRENNER, F.J. (eds.) **Ecology of wetlands and associated systems**. **The Pennsylvania Academy of Science**, Easton, p.228-239, 1998.

BERTHET, B. Coefficient de degradation de la charge bacterienne en Presqu'ile Guerandaise. In: Seminaire l'épuration par lagunage, 1982, Montpellier. **Resumes...** Montpellier: Ed. Cerete, p.4., 1982.

BLAKE, G. Utilización des plantes vasculaires aquatiques en lagunage. In: Seminaire l'épuration par lagunage, 1982, Montpellier. **Resumes...** Montpellier: Ed. Cerete, p.5., 1982.

BORGES, A. C.; MATOS, A. T. ; CALIJURI, M. C. ; OLIVEIRA, G. H. H. ; ROLDÃO, J. S. F. Uso de traçadores para avaliação da hidrodinâmica de sistemas alagados construídos operando sob clima tropical. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 31. **Anais...**, Santiago: ABES 2008.

BRAILE, P.M. Disposição de efluentes sobre o terreno. In: BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamentos de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB/Hamburg, 1979. p.565-601.

BRASIL, M. da S.; MATOS, A. T. de. Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p.323-328, jul/set. 2008.

BRASIL, M. da S.; MATOS, A. T. de; SOARES, A. A.. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Thypha sp.*) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p.266-272, jul. 2007. Bimestral.

BRASIL, M. da S.; MATOS, A. T. de; SOARES, A. A.; FERREIRA, P.A. Qualidade do efluente de sistemas de alagados construídos utilizados no tratamento de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9 (suplemento), p.133-137, 2005.

BRASIL, M. da S.; MATOS, A.T. de; FIA, R. Eficiência e impactos ambientais do tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro em áreas alagadas naturais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.11, p. 1-4, Jan./Dez., 2003.

BREDA, C.C. **Utilização de lodo de efluente doméstico: Efeitos na produtividade agrícola e em alguns aspectos ambientais**. 143p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

BRIX, H. **Do macrophytes play a role constructed treatment wetlands?** **Water Science Technology**, v. 35, n.5, p. 11-17, 1997.

CADELLI, D. et al. Influence of evapotranspiration on the design of extensive wastewater treatment systems under Mediterranean conditions at the MHEA @ Experimental Centre of M'Diq (Tetouan Morocco). **Proceedings...**International Conference on Waste Stabilisation Ponds, 6 and International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 9. Avignon, France: IWA/Astee, p.93-103 October/2004.

CALJURI, M. L.; BASTOS, R. K X.; MAGALHÃES, T. de B.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H.O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB - wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 421-430, jul/set 2009.

CAMPOS, J. C.; FERREIRA, J. A.; MANNARINO, C. F, SILVA, H. R., BORBA, S. M. P. Tratamento do chorume do aterro sanitário de Pirai (RJ) utilizando wetland. Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 6, **Anais...** Vitória: ABES, set. 2002,

CEBALHOS, B.S.O.; MEIRA, C.M.B.S.; SOUZA, J.T. de; OLIVEIRA, H.; GUIMARÃES, A.O.; KONIG, A. Desempenho de um leito cultivado na melhoria da qualidade de um córrego poluído destinado a irrigação. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, **Anais...** Porto Alegre, dez. 2000.

CHAMIE, J.P.M. **The effects of simulated sewage effluent upon decomposition, nutrient status and litter fall in a Central Michigan Peatland**. Dissertação (Mestrado) – University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA, 1976.

CONTE, M.L. et al. Tratamento de águas servidas no meio rural através de processo fitopedológico: resultados preliminares. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 21, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBEA, p.1018-1029. 1992.

COSTA, A.R. da. **As relações hídricas das plantas vasculares**. 2004. Disponível em: <http://www.angelfire.com/ar3/alexcosta0/RelHid/Rhw7.htm>. Acesso em: 08 fev.2007.

COSTA, L. de L. et al. Eficiência de Wetlands construídos com dez dias de retenção hidráulica na remoção de colídeos e bacteriófagos. **Revista De Biologia E Ciências Da Terra**, Paraíba, v. 3, n. 1, p.1-23, 2003.

DAVIS, L. A. **Handbook of Constructed Wetlands. A Guide to Creating Wetlands for: Agricultural Wastewater, Domestic Wastewater, Coal Mine Drainage, Stormwater in the Mid-Atlantic Region**. Volume 1: (USEPA Region III with USDA, NRCS, ISBN 0-16-052999-9), 1995.

DAVIS, S.M. **Growth, decomposition and nutrient retention of sawgrass and cattail in the everglades**. South Florida Management District, West Palm Beach: FL Technical Publication, 1990, p.90-03.

DENMEAD, O.T.; MILLAR, B.D. Field studies of the conductance of wheat leaves and transpiration. **Agronomy Journal**, n.68, p.307-311, 1976.

DÉVAI, I. et al. Detection of phosphine new aspects of the phosphorus cycle in the hydrosphere. **Nature**, v.333, p. 343-45, 1988.

FARQUHAR G.D.; COWAN, I.R. **Stomatal function**. California: Stanford University Press, 1987. 452 p.

FARQUHAR, G. D.; WONG, S. C. An empirical model of stomatal conductance. **Aust. J. Plant Physiol.**, v.11, p.191-210, 1978.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice – Hall, 1979.

GASI, T.M.T. **Opções para tratamento de esgoto de pequenas comunidades**. São Paulo: CETESB, 1988. 36p. (Série Manuais, 3).

GASSMAN, G.; GLINDEMANN, D. In: **Chemical engineering news**. p.31, May 17, 1993.

GHOSH, D.; GOPAL, B. Effect of hydraulic retention time on the treatment of secondary effluent in a subsurface flow constructed wetland. **Ecological Engineering**, v.36, p. 1044-1051, 2010.

GRANTZ, D.; MEIZER, F.C. A stomatal control of transpiration from a developing sugarcane canopy. **Plant, Cell and Environment**, n.12, p.635-642, 1989.

GUNTENSPERGEN, G. R., STEARNS, F. & KADLEC, J. A. Wetland vegetation. In: International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, 1, 1988, Chattanooga – Tennessee. **Proceedings...** Chattanooga – Tennessee v.1, n.5, p. 73-88, 1988.

HANSEN, G.K. Resistance to water transport in soil and young wheat plants. **Acta Agriculture Scandinavia**, n.24, p.37-48, 1974.

HODGSON, C.J.; PERKINS, J.; LABADZ, J.C. The use of microbial tracers to monitor seasonal variations in effluent retention in a constructed wetland. **Water Research**, Oxford, v.38, n.18, p.3833-3844, 2004.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.519-570, 1973.

HUMBERT, R.P. **The growing of sugarcane**. Amsterdam: Elsevier, 1968. 779p.

HUSSAR, G. J. **Avaliação do desempenho de leitos cultivados no tratamento de águas residuárias de suinocultura**. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

JARVIS, P.G.; MORISON, J.I.L. Stomatal control of transpiration and photosynthesis. In: JARVIS, P.G.; MANSFIELD, T.A. **Stomatal physiology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. (Seminar Series, 8).

JOHNSON, R.R.; FREY, N.M.; MOSS, D.N. Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. **Crop. Sci.** v.14, p.728-731, 1974.

JOLY, A. B. **Botânica**: introdução à taxonomia vegetal. 5ed. São Paulo: Nacional, 1979. 465 p.

JONES, H.G. **Plants and microclimate**. 2ed. Cambridge: University Press, 1992. 428p.

KADLEC, R.H.; HAMMER, D.E. Simplifield computation of wetland vegetation cycles. In: PRICE, H.H.; D'ITRI, F.M. **Coastal wetlands**. Michigan: Lewis Publishing, 1985. p. 141-157.

KADLEC, R.H.; KNIGHT, R.L. **Treatment wetlands**. Boca Raton Lewis Publishes, 1996.

KATSENOVICH, Y.P.; HUMMEL-BATISTA, A.; RAVINET, A.; MILLER, J. Performance evaluation of constructed wetlands in tropical region. **Ecological Engineering**. V.35, p. 1529-1537, 2007.

KAWAI, H. et al. **Avaliação de desempenho de lagoas de estabilização**. São Paulo: CETESB, 1990. 15p. (Séries Manuais, 7).

- KIMWAGA, R. J., MASHAURI, D. A., MBWETTE, T. S. A., KATIMA, J. H. Y., JORGENSEN, S. E. Use of coupled dynamic roughing filters and subsurface horizontal flow constructed wetland System as appropriate technology for upgrading waste stabilization ponds effluents in Tanzania. **Physics and chemistry of the earth**, v.29, p. 1243-1251. 2004.
- KINSLEY, C.B.; CROLLA, A.M.; HIGGINS, J. Ammonia reduction in aerated subsurface flow constructed wetlands. In: International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 8, 2002, Tanzania. **Proceedings...** Tanzania: Comprint International Limited University of Dar Es Salaam, p. 961-971, 2002.
- LAUTENSCHLAGER, S.R. **Modelagem do desempenho de wetlands construídos**. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- LEE, C.Y.; LEE, C.C.; LEE, F.Y.; TSENG, S.K.; LIAO, C.J. Performance of subsurface flow constructed wetland taking pretreated swine effluent under heavy loads. **Bioresource Technology**, n. 92, p. 173-179, 2004.
- LEOPOLDO, P.R.; GUIMARÃES, A.B.; BRENDA, C.C. Tratamento de efluentes domésticos em zona rural através do uso de sistema com plantas aquáticas. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 28, **Anais...** Pelotas: SBEA, 1996.
- LIMA, W.P.; FREIRE, O. Evapotranspiração em povoamentos de eucaliptos e de pinheiros, e em parcela contendo vegetação herbácea natural. **IPEF**, Piracicaba, v.12, p. 103-17, 1976.
- LIMA, W.P.; REICHARDT, K. **Regime da água do solo sob floresta homogêneas de eucaliptos e de pinheiros**. Piracicaba: CENA, 1977. 31p. (Boletim Científico, 43).
- LOHMUELLER, F.A. **The Botanical System of the Plants (2007)**. Acesso em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Typha> Disponível em: 11 dez. 2006.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais. Nova Odessa: Edição do autor, 1982. 425 p.
- LOURES, A. P. S.; SOARES, A.A.; MATOS, A.T. de; CECON, P.R.; PEREIRA, O.G. Remoção de fósforo em sistema de tratamento e esgoto doméstico, por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.706-714, 2006.
- MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES, M.M.A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranjeira Valência. **Bragantia**, Campinas, v.58, p.217-226, 1999.

MANNARINO, C.F.; FERREIRA, J.A.; CAMPOS, J.C.; RITTER, E. Wetlands para tratamento de lixiviados sanitário de aterros sanitários - experiências no aterro de Pirai e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ) **Engenharia Sanitária e Ambiental**. V.11, n.2, p. 108-112, 2006.

MANSOR, M. T. C. **Uso de leitos de macrófitas no tratamento de águas residuárias**. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

MARTINS, A. F. et al. fluxos de fósforo em sistema de leitos cultivados utilizando a espécie *Vallisneria gigantea*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 35, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006.

MATOS, A. T. de; ABRAHAO, S. S.; BORGES, A. C ; MATOS, M. P. de. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2010, v.15, n.1, pp. 83-92.

MATOS, A.T.; FREITAS, W.S.; LO MONACO, P.A.V. Capacidade extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Ambi-Agua**, Taubaté, v.4, n.2, p.31-45, 2009.

MATOS, A.T.; LO MONACO, P.A.V. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro**. Viçosa: UFV, 2003. 68p.

MATSUMOTO, T. **Comparação entre filtração ascendente e descendente de água decantada utilizando areia como meio filtrante**. Não paginado. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

MAZZOLA, M. **Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbico compartimentado**. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MAZZOLA, M.; ROSTON, D.M.; VALENTIM, M.A.A. Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbico compartimentado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p.276-283, 2005.

MELO JÚNIOR, A. S. **Dinâmica da remoção de nutrientes em alagados construídos com *Typha sp.*** 312p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: treatment and reuse**. 4ed. New York: McGraw-Hill International, 2002. 1848 p.

MITSCH, W.J.; GOSSELINK, J.G. **Wetlands**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.

MORISON, J.I.L. Intercellular CO₂ concentration and stomatal response to CO₂. In: Zeiger E., Farquhar G. D., Cowan I. R. (editores) **Stomatal Function**. Califórnia: Stanford University Press, 1987.

MOTA, S.B.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES 2009.

NEDER, D. K.; QUEIROZ, T. R.; SOUZA, M. A. A. Remoção de sólidos suspensos de efluentes de lagoas de estabilização por meio de processos naturais. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27. Porto Alegre: ABES, 2000.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; SILVA JR., J.F. Resistência estomática, tensão de água no xilema e teor de clorofila em genótipos de gravioleira. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.491-495, jul./set., 2001.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; SILVA JÚNIOR, J.F. da; BEZERRA, J.E.F.; LEDERMAN, I.E.; BURITY, H.A.; SANTOS, V.F. dos. Comportamiento estomático y tensión de agua en el xilema de dos genotipos de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) cultivados bajo estrés hídrico. **Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.**, v. 15, p.3, 2000.

NOGUEIRA, R.M.C.; MORAES, J.A.P.V. de; BURITY, H.A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, n.1, p.75-87, 2001.

NOGUEIRA, Sandra Furlan. **Balço de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto**. 2003. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia Nuclear Na Agricultura, Departamento de Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

OLIVEIRA, C. L. B. de **Dinâmica da retenção de fósforo de água residuárias em sistemas de alagados construídos**. 178p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006.

PAGANANI, W.S. **Disposição de esgotos no solo**. 2ed. São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 232p.

PATERNIANI, J.E.S. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

PECKOLT, W. A taboa (Typha) e suas utilidades. **Chácaras e Quintais**, São Paulo, v.66, p. 338-340, 1942.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, S. E. ; TEIXEIRA FILHO, J. ; PIEDADE, A. R. ; GODOY, H. T. ; GARCIA, L. E. V. de Avaliação da retenção de fósforo em leitos cultivados com aguapé. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 35, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006.

PHILIPPI, L. S., COSTA, R. H. R. & SEZERINO, P. H. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. In: International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 6, 1998, Águas de São Pedro. **Proceedings...** Águas de São Pedro: CEA/UNESP e IAWQ, v.1, p. 670-679, 1998.

PIEPADE, A. R.; TEIXEIRA FILHO, J. . Dinâmica da Remoção de Fósforo em Wetlands Construídos. In: Workshop de Pós-Graduação, 6: Formação Científica e Tecnológica com Compromisso Ambiental, Ético e Social, 2007, Campinas - SP. **Anais...** Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2007

POMPÊO, M.L.M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. *Oecologia Australis*, v. 12, n.3, p. 406-424, 2008.

POMPÊO, M.L.M.; HENRY, R. Decomposition of *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitchcock, macrophyte in Jurumirim Reservoir (São Paulo - Brazil). *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, v. 26, p. 1871-1875, 1998.

PRIMAVESI, A. M. **Agricultura em regiões tropicais: manejo ecológico do solo**. São Paulo: Nobel. 2002. 549p.

REDDY, K.R. et al. Water conservation area 2 of the Everglades. **Report to the south Florida Water Management District**, West Palm Beach FL, 1991.

REED, K.R.; D'ANGELO, E.M. Soil processes regulating water quality. In: MITSCH, W.J. **Global wetlands old word and new**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 309-24.

REED, S. C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J. **Natural systems for waster management and treatment**. 2ed. McGraw-Hill, 1995. 434 p.

REEDY, K.R.; DeBUSK, W.F. Nutrient removal potential of selected aquatic macrophytes. **J. Environmental Quality**, v. 19, p. 261, 1985.

REUTER, J.E.; DJOHAN, T.; GOLDMAN, C.R. The use of wetlands for nutrient removal from surface runoff in a cold climate region of California – results from a newly constructed wetland at Lake Tahoe. **Journal Environ Manage**, v.35, p.35-53, 1992.

RICHARDSON, C.J.; MARSHAL, P.E. Processes controlling movement, storage, and export of phosphorus in fen peatland. **Ecology Monographic**. v.56, n.4, p.279-302, 1986.

ROBERTS, J. Forest transpiration: a conservative hydrological process. **Journal of hydrology**, Amsterdam, v.66, p. 133-41, 1983.

ROBERTS, J.; PITMAN, R.M.; WALLACE, J.S. A comparison of evaporation from stands of scots and corsican pine in Thetford Chase, East Anglia. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.19, p. 859-72, 1982.

RODRIGUES, N.S. Aguapé uma alternativa no tratamento de esgotos. **Pau-Brasil**, v.5, p. 9-16, 1985.

ROSTON, D.M. Considerações sobre o uso de leitos de macrófitas no tratamento de resíduos de pequenas comunidades rurais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 22, 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA, p.3062, 1993.

SANCHEZ - CARRILLO, S.; ÁLVAREZ - COBELAS, M. BENITEZ, M. A simple method for estimating water loss by transpiration in wetlands. **Hydrological Sciences Journal dês Hydrologiques**. V.46, n.4, p. 537-552. August/2001.

SCHULZE, E.D. The regulation of plant transpiration: interations of feed forward, feedback, and futile cycles. In: SHULZE, E.D. **Flux control in biological systems: from enzymes to populations and ecosystems**. Academic Press, 1994. p. 203-235.

SCHULZE, E.D.; ROBICHAUX, R.H.; GRACE. J.; RUNDEL, P.W.; EHLERUNGER, J.R. Plant water balance. **BioScience**, v.37, p. 30-37, 1987.

SEIDEL, K. Macrophytes and water purification. In Tourbier, J.; Pierson, R.W. **Biological Control of Water Pollution**. Philadelphia University of Pennsylvania Press, 1976. p. 109-21.

SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; ALFONSI, R.R.; CARAMORI, P.H.; SWART, S. **BHBRASIL: Balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras**. Disponível em: <http://www.lce.esalq.usp.br/BHBRASIL/BHBRASIL.DOC>. Acesso em: 05 fev. 2007.

SEZERINO, P. H.; REGINATTO, V.; SOARES, H. M., PHILIPPI, L. S. Leitos cultivados como polimento de efluentes de lagoas de estabilização de dejetos de suínos – início de operação. Simpósio Ítalo - Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 6, **Anais...**Vitória: ABES set. 2002.

- SHARKEY, T.D.; OGAWA, T. Stomatal responses to light. In: ZEIGER, E., FARQUHAR, G.D., COWAN, I.R. (editores) **Stomatal Function**. California: Stanford University Press, 1987. p. 195-208.
- SHIMADA, P.; BIDONE, F.R.; ALMEIDA FILHO, M. Estudos de lagoas de estabilização para o tratamento de esgoto doméstico na região centro-oeste. Cuiabá, Revista DAE, v.47, n.150, p.268-276, 1987.
- SMITH, M.K.; WATSON, K.K.; PILGRIM, D.H. **A comparative study of the hydrology of radiata pine and eucalypt forests at Lidsdale**, New South Wales. Institution of Engineers, Australia, C. E. Transactions, CE – 16: 82-86, 1974.
- SOUSA, J. T.; HAANDEL, A. C.; LIMA, E. P.; GUIMARÃES, A. V. Desempenho de *wetlands* construído tratando esgotos digeridos anaerobiamente. Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 10 **Anais...** Braga: APESB, set. 2002.
- SOUSA, J.T. de; VAN HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P. F. F.; FIGUEIREDO, A.M. F. de. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2005, vol.10, n.3, pp. 260-265.
- SOUSA, J.T. de; VAN HAANDEL, A. C.; LIMA, E.P. da C.; HENRIQUE, I.N. Utilização de *wetlands* construídos no pós-tratamento de esgoto doméstico pré-tratados em reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2004, v.9, n.4, p. 285-290.
- SOUZA, J. T.; HAANDEL, A. C.; CABRAL, R. P. B. Desempenho de sistemas leitos cultivados no pós-tratamento de esgotos sanitários pré-tratados em reatores UASB. Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 9. **Anais...** Porto Seguro: ABES abr. 2000.
- STEINMAN, A.D.; REDISKE, R.; REDDY, K.R. The reduction of internal phosphorus loading using alum in Spring Lake, Michigan. **J. Environ. Qual.** V.33, p.2040–2048, 2004.
- STEWART, J.B. Evaporation from forests. In: Iufro World Congress, 17, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto, Div. I. p.129-38, 1981.
- TOLEDO, A.A.G.F. de **Tratamento de águas residuárias de pocilgas utilizando biodigestores USAB, sob quatro tempos de retenção hidráulica**. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.
- TONIATO, J.V.; ROQUE, O.C. da C.; KACZALA, A.F.; NASCIMENTO, V.B. do; ROQUE, D.C. Avaliação de um *wetland* construído no tratamento de efluentes sépticos. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, **Anais...** Campo Grande: ABES set. 2005.

TOTH, L.A. Effects of hydrologic regimes on lifetime production and nutrient dynamics of cattail, **Technical publication**. South Florida Water Management District, West Palm Beach, FL., v.88, p.6, 1990.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Manual constructed wetlands for municipal wastewater treatment**. Office of research and development. EPA 625/R-99/010, US EPA ORD: Cincinnati: Ohio, 2000.

URBANC-BERCIC, O.; BULC, T. Integrated constructed wetland for small communities. **Water Science and Technology**, v.32, n.3, p. 41-47, 1995.

VALENTIM, M.A.A. **Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto**: contribuições para concepção e operação. 210p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

VALETIM, M.A. **O Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado**. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

VIEIRA, S.M.M. Tratamento de esgotos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente. **Revista DAE**, São Paulo, v.44, n.139, p.322-328, 1984.

VYMAZAL, J. Removal of phosphorus via harvesting of emergent vegetation in constructed wetlands for wastewater treatment. In: International Conference on Waste Stabilization Ponds, 6. and International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, 9. Avignon, 2004. **Proceedings...**Avignon: IWA/Astee, 2004.

WALKER, D.R. et al. **Response of the everglades marsh to increased nitrogen and phosphorus loading. Part II: Macrophyte community structure and chemical composition. Report to the superintendent, everglades national ark**, Homestead, FL, 1988.

WHITEHEAD, D.; OKALI, D.U.U.; FASEHUN, F.E. Stomatal response to environmental variables in two tropical forest species during the dry season in Nigeria. **Journal of Applied Ecology**, v.18, p. 571-87, 1981.

ZABADAL, T.J. A water-potential threshold for the increase of abscisic in leaves. **Plant Physiology**, v.53, p. 125-127, 1974.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-Constuídos utilizando brita e bambu como suporte**. 189p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

ZIMMERMANN, M.H. Xylem structure and the ascent of sap. **Springer series in Wood Science**, Springer-Verlag, 1983. 143p.

ZIRSCHKY, J. **Basic design rational for artificial wetlands**. California: Environmental Protection Association, 1986. (Contract report 68-01-7108).