

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DINÂMICA DA REMOÇÃO DE NUTRIENTES EM
ALAGADOS CONSTRUÍDOS COM *TYPHA sp***

ARISTON DA SILVA MELO JÚNIOR

CAMPINAS - SP
FEVEREIRO DE 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DINÂMICA DA REMOÇÃO DE NUTRIENTES EM
ALAGADOS CONSTRUÍDOS COM *TYPHA sp***

Dissertação submetida à banca examinadora
para obtenção do título de Mestre em Engenharia
Agrícola na área de concentração em Água e
Solos.

ARISTON DA SILVA MELO JÚNIOR
Orientador: Prof.^o Dr. José Teixeira Filho

CAMPINAS -SP
FEVEREIRO DE 2003

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

M491d Melo Júnior, Ariston da Silva
Dinâmica da remoção de nutrientes em alagados
construídos com *Typha sp* / Ariston da Silva Melo Júnior.-
-Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: José Teixeira Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Fisiologia vegetal. 2. Evapotranspiração. 3. Leitões
cultivados. 4. Amônia. 5. Plantas – Efeito do fósforo. I.
Teixeira Filho, José. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

**Para meus pais Ariston da Silva Melo e Janete Arruda de Oliveira. As
pessoas mais importantes para mim. Agradeço, por tudo que representam, em
minha vida.**

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. José Teixeira Filho, pelo apoio e suporte necessário para que pudesse desenvolver esse estudo.

Ao professor Dr. Denis Miguel Roston pelo auxílio indispensável nessa pesquisa.

À professora Dra. Helena G. Teixeira e a química Regina F. pelo auxílio no ensino da metodologia científica para as análises químicas e por ceder as instalações do laboratório de análises químicas da Faculdade de Engenharia de Alimentos.

À professora Dra. Raquel Gonçalves pelo auxílio na dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro por meio de concessão de bolsas de estudos.

Ao amigo Carlos Alberto Vertuan, companheiro inestimável no levantamento de dados de campo, sempre pronto para ajudar quando necessário.

Ao companheiro Sérgio pela disponibilidade na resolução de problemas rotineiros no trabalho de campo.

À faculdade e aos seus funcionários da graduação e pós-graduação, parceiros importantes na realização dessa dissertação de mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XIII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XVI
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 DESENVOLVIMENTO MICROBIOLÓGICO NO LEITO CULTIVADO	5
3.2 POPULAÇÃO MICROBIOLÓGICA NO LEITO CULTIVADO	5
3.3 VEGETAÇÃO AQUÁTICA (HIDRÓFITAS OU MACRÓFITAS)	6
3.4 SISTEMAS NATURAIS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS LÍQUIDOS	7
3.5 LEITOS CULTIVADOS	9
3.5.1 – <i>Tipos de leitos cultivados</i>	10
3.5.2 - <i>Sistemas adotados com macrófitas flutuantes</i>	11
3.5.3 - <i>Sistemas adotados com macrófitas submersas</i>	14
3.5.4 - <i>Sistemas adotados com macrófitas emergentes</i>	14
3.5.5 - <i>Sistemas de macrófitas aquáticas emergentes e de fluxo superficial</i>	15
3.5.6 - <i>Sistemas de macrófitas aquáticas emergentes e de fluxo subsuperficial horizontal</i>	15
3.5.7 - <i>Sistemas de macrófitas aquáticas emergentes e de fluxo subsuperficial vertical</i>	17
3.5.8 - <i>Sistemas de macrófitas aquáticas emergentes e de fluxo subsuperficial misto</i>	19
3.6 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	19
3.7 ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL	19
3.8 LEITOS DE ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL	20
3.8.1 – <i>RELAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA PROJETO</i>	20
3.9 FATORES ABIÓTICOS PRESENTES	22
3.10 A ASSIMILAÇÃO DE POLUENTES PELO LEITO CULTIVADO	24
3.11 RELAÇÃO DOS SÓLIDOS SUSPENSOS E DA TURBIDEZ	26
3.12 OS COMPOSTOS CARBONÁCEOS ORGÂNICOS PRESENTES	27
3.13 A PARTICIPAÇÃO DO NITROGÊNIO (N)	27
3.14 A RELAÇÃO DO FÓSFORO (P) NO LEITO CULTIVADO	30
3.15 COLIFORMES TOTAIS E FECAIS PRESENTES NO AFLUENTE	32
3.16 TRANSPIRAÇÃO VEGETAL	33
4. MATERIAL E MÉTODO	44
4.1 SELEÇÃO DO GÊNERO DE MACRÓFITA	44
4.2 LOCALIDADE DO EXPERIMENTO	45
4.3 PARÂMETROS MEDIDOS EM CAMPO	50
4.4 REALIZAÇÃO DAS MEDIDAS	50
4.5 DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO	53
4.6 ANÁLISE DE AMÔNIA E NITRATO	55
4.7 LEITURA DE PH	57

4.8 LEITURA DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	57
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1 ANÁLISE ECOFISIOLÓGICA DA TYPHA	58
5.2 COMPARAÇÃO DA TYPHA NOS LEITOS CULTIVADOS DE PERFIS GEOMÉTRICOS DISTINTOS	72
5.3 ANÁLISE DE FÓSFORO EM RELAÇÃO A TYPHA	76
5.4 NITROGÊNIO ABSORVIDO NO LEITO	83
5.5 pH DO MEIO	93
5.6 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA PRESENTE	93
5.7 ANALISE DENTRO DO PERÍODO DE OUTUBRO	97
5.8 CORTE DA TYPHA	100
5.9 MODELO DA TRANSPIRAÇÃO EM FUNÇÃO DA RETIRADA DE NUTRIENTES	106
6. CONCLUSÃO	108
7. BIBLIOGRAFIA	110
APÊNDICE	120
A1-DADOS ECOFISIOLÓGICOS DA TYPHA	121
A2-VAZÕES VOLUMÉTRICAS NOS LEITOS 1 E 2	152
A3-CONCENTRAÇÕES DE ENTRADA E SAÍDA DE FÓSFORO NOS LEITOS CULTIVADOS	168
A4-VAZÃO MASSA DE FÓSFORO NOS LEITOS CULTIVADOS	184
A5-CONCENTRAÇÕES DE ENTRADA E SAÍDA DE NITRATO NOS LEITOS CULTIVADOS	200
A6-VAZÃO MASSA DE NITRATO NOS LEITOS CULTIVADOS	216
A7-CONCENTRAÇÕES DE ENTRADA E SAÍDA DE AMÔNIA NOS LEITOS CULTIVADOS	232
A8-VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NOS LEITOS CULTIVADOS	248
A9-CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DE ENTRADA E SAÍDA DOS LEITOS CULTIVADOS	264
A10-ANALISE GRÁFICA DO pH DE ENTRADA E SAÍDA DOS LEITOS CULTIVADOS	280

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corte seccional com visualização unitária da distribuição de esgoto no sistema de leito cultivado e sua trajetória no tratamento residual do efluente limpo.	10
Figura 2 – Representação esquemática de um sistema de tratamento de águas residuárias baseado em macrófitas aquáticas livremente flutuantes.	12
Figura 3 – Representação esquemática de um sistema de tratamento de águas residuárias baseado em macrófitas aquáticas submersas.	14
Figura 4 – Aspecto típico de um leito de fluxo vertical descendente (Sistema Seidel)	17
Figura 5 – Representação esquemática de um sistema de tratamento de águas residuárias baseado em macrófitas aquáticas emergentes.	18
Figura 6 – Processos de remoção da matéria orgânica em função dos aceptores de elétron e do Potencial REDOX (mV).	25
Figura 7 – Esquema geral da planta piloto do local.	45
Figura 8 – Vista frontal da fossa com as mangueiras coletoras de água residuária.	46
Figura 9 – Vista da fossa onde é captado o esgoto da FEAGRI para tratamento.	46
Figura 10 – Em destaque o tanque séptico utilizado na distribuição da água residuária.	47
Figura 11 – Vista da caixa de distribuição (distribuidor) de resíduo pelos leitos cultivados.	47
Figura 12 – Dreno do leito e detalhe dos amostradores verticais juntamente com os coletores do resíduo nos leitos cultivados.	48
Figura 13 – Vista parcial dos leitos cultivados com macrófitas.	49
Figura 14 – Vista parcial dos leitos cultivados com tipos distintos de macrófitas.	49
Figura 15 – Fossa de armazenamento da água pré-tratada pelo sistema de leitos cultivados.	50
Figura 16 – Foto dos aparelhos utilizados para medidas de campo.	52
Figura 17 – Foto de uma das amostras de água residuária coleta e armazenada	53
Figura 18 – Vista geral do espectrofotômetro.	55
Figura 19 – Foto do aparelho ANALYSER PH/ION 450M de leitura (em mV) de amônia e nitrato.	56
Figura 20 – Aparelho MB-10 MARTE para leituras diretas de pH.	57

Figura 21 – Aparelho HD NC 06 ONDA de leitura direta da condutividade elétrica.	57
Figura 22 – Variação da radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$) ao longo do dia 18/07/2002.	62
Figura 23 – Variação da transpiração média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) para a typha, no dia 18/07/2002.	63
Figura 24 – Variação da condutância estomática (cms^{-1}) para typha, no dia 18/07/2002.	63
Figura 25 – Déficit de pressão de vapor saturado (kPa) na typha em 18/07/2002.	64
Figura 26 – Relação da transpiração foliar pela RFA no dia 18/07/2002.	64
Figura 27 – Variação da radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$) ao longo do dia 03/10/2002.	65
Figura 28 – Variação da transpiração média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) para a typha, no dia 03/10/2002.	65
Figura 29 – Variação da condutância estomática (cms^{-1}) para typha, no dia 03/10/2002.	66
Figura 30 – Déficit de pressão de vapor saturado (kPa) na typha em 03/10/2002.	66
Figura 31 – Relação da transpiração foliar pela RFA no dia 03/10/2002.	67
Figura 32 – Análise comparativa da dinâmica de transpiração média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) da typha no leito cultivado 2 relacionado com a quantidade de RFA ($\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$) no período: inverno e primavera	68
Figura 33 – Análise comparativa da dinâmica de transpiração média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) da typha no leito cultivado 2 relacionada com DPVS (kPa) no período: inverno e primavera.	69
Figura 34 – Relação da transpiração média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) de typha no leito cultivado 2 relacionada com a condutância estomática (cms^{-1}) no período: inverno e primavera.	70
Figura 35 – Análise comparativa da dinâmica de condutância estomática (cms^{-1}) de typha no leito cultivado 2 relacionada com RFA ($\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$) no período: inverno e primavera.	71
Figura 36 – Análise comparativa da dinâmica da condutância estomática (cms^{-1}) de typha no leito cultivado 2 relacionada com o DPVS (kPa) no período: inverno e primavera.	71
Figura 37 – Radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$) nos leitos para o dia 13/05/2002.	73
Figura 38 – Análise comparativa da transpiração média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) de typha entre leitos no dia 13/05/2002.	73

Figura 39 – Análise comparativa da condutância estomática (cms^{-1}) da typha entre leitoss no dia 13/05/2002.	74
Figura 40 – Radiação fotossinteticamente ativa entre leitoss no dia 16/05/2002.	75
Figura 41 – Análise do comportamento da vazão (L/h) no leito 2 para o dia 18/07/2002.	78
Figura 42 – Análise comparativa entre a concentração de fósforo (mgP/L) presentes na entrada e saída do leito para o dia 18/07/2002.	79
Figura 43 – Retirada efetiva de fósforo (mgP/L) no leito 2 para o dia 18/07/2002.	79
Figura 44 – Dinâmica da vazão massa de fósforo no leito 2 para o dia 18/07/2002.	80
Figura 45 – Variação da vazão massa de fósforo no leito 2 para o dia 18/07/2002.	80
Figura 46- Analise do comportamento da vazão (L/h) no leito 2 para o dia 03/10/2002.	81
Figura 47 – Analise comparativa entre a concentração de fósforo (mgP/L) presente na entrada e saída do leito para o dia 03/10/2002.	81
Figura 48 – Retirada efetiva de fósforo (mgP/L) no leito 2 para o dia 03/10/2002.	82
Figura 49 – Dinâmica da vazão massa de fósforo no leito 2 para o dia 03/10/2002.	82
Figura 50 – Variação da vazão massa de fósforo no leito 2 para o dia 03/10/2002.	83
Figura 51 – Concentração de nitrato (mgNO_3^-/L) na entrada e saída no leito 2 para o dia 18/07/2002.	84
Figura 52 – Concentração de nitrato (mgNO_3^-/L) retirada no leito 2 para o dia 18/07/2002.	85
Figura 53 – Dinâmica da vazão massa de nitrato no leito 2 para o dia 18/07/2002.	85
Figura 54 – Variação da vazão massa de nitrato no leito 2 para o dia 18/07/2002.	86
Figura 55 – Concentração de nitrato (mgNO_3^-/L) na entrada e saída no leito 2 para o dia 03/10/2002.	86
Figura 56 – Concentração de nitrato (mgNO_3^-/L) retirada no leito 2 para o dia 03/10/2002.	87
Figura 57 – Dinâmica da vazão massa de nitrato no leito 2 para o dia 03/10/2002.	87
Figura 58 – Variação da vazão massa de nitrato no leito 2 para o dia 03/10/2002.	88
Figura 59 – Concentração de amônia ($\text{mgNH}_3\text{-H/L}$) na entrada e saída no leito 2 para o dia 18/07/2002.	89

Figura 60 – Concentração de amônia ($\text{mgNH}_3\text{-H/L}$) retirada no leito 2 para o dia 18/07/2002.	89
Figura 61 – Dinâmica da vazão massa de amônia no leito 2 para o dia 18/07/2002.	90
Figura 62 – Variação da vazão massa de amônia no leito 2 para o dia 18/07/2002.	90
Figura 63 – Concentração de amônia ($\text{mgNH}_3\text{-H/L}$) na entrada e saída no leito 2 para o dia 03/10/2002.	91
Figura 64 – Concentração de amônia ($\text{mgNH}_3\text{-H/L}$) retirada no leito 2 para o dia 03/10/2002.	91
Figura 65 – Dinâmica da vazão massa de amônia no leito 2 para o dia 03/10/2002.	92
Figura 66 – Variação da vazão massa de amônia no leito 2 para o dia 03/10/2002.	92
Figura 67 - Variação no pH de entrada e saída no leito 2 para o dia 18/07/2002.	94
Figura 68 – Variação no pH de entrada e saída no leito 2 para o dia 03/10/2002.	94
Figura 69 – Variação na condutividade elétrica (μS) entrada e saída no leito 2 para o dia 18/07/2002.	95
Figura 70 – Variação na diferença de condutividade elétrica (μS) no leito 2 para o dia 18/07/2002.	95
Figura 71 – Variação na condutividade elétrica (μS) entrada e saída no leito 2 para o dia 03/10/2002.	96
Figura 72 – Variação na diferença de condutividade elétrica (μS) no leito 2 para o dia 03/10/2002.	96
Figura 73 – Avaliação da variação média da vazão (L/h) no leito 1 para o mês de outubro de 2002.	98
Figura 74 – Avaliação da variação média da vazão (L/h) no leito 2 para o mês de outubro de 2002.	98
Figura 75 – Avaliação da transpiração média nos leitos 1 e 2 dentro do mês de outubro de 2002.	99
Figura 76 – Avaliação da concentração média de fósforo (mgP/L) retirada nos leitos 1 e 2 dentro do mês de outubro de 2002.	99
Figura 77 – Avaliação da concentração média de nitrato (mgNO_3^-/L) nos leitos 1 e 2 para o mês de outubro de 2002.	100

Figura 78 – Avaliação da concentração média de amônia ($\text{mgNH}_3\text{-H/L}$) nos leitos 1 e 2 para o mês de outubro de 2002.	100
Figura 79 – Concentração de fósforo retirada (mgP/L) nos leitos cultivados 1 e 2 para um período de avaliação.	102
Figura 80 – Concentração de nitrato retirada (mgNO_3^-/L) nos leitos cultivados 1 e 2 para um período de avaliação.	102
Figura 81 – Concentração de amônia retirada ($\text{mgNH}_3\text{-H/L}$) nos leitos cultivados 1 e 2 para um período de avaliação.	103
Figura 82 – Vista antes do corte (14/10/2002) leito 1.	103
Figura 83 – Vista antes do corte leito 2.	103
Figura 84 – Após o corte (15/10/2002) vista geral do leito cultivado 1.	104
Figura 85 – Depois do corte no leito cultivado 2.	104
Figura 86 – Segunda semana após o corte (24/10/2002) leito 1 com um início de crescimento foliar.	104
Figura 87 – Vista interna do leito 2 na segunda semana após o corte (24/10/2002) com o surgimento dos brotos.	105
Figura 88 – Quarta semana após o corte (07/11/2002) leito 1.	105
Figura 89 – Vista do leito 2 na quarta semana após o corte (07/11/2002).	105
Figura 90 – Modelo da transpiração média em função da concentração de fósforo no período de estudo.	106
Figura 91 – Modelo da transpiração média em função da concentração de amônia no período de estudo.	107
Figura 92 – Modelo da transpiração média em função da concentração de nitrato no período de estudo.	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios do tratamento de águas residuárias em leitos cultivados para os Estados Unidos.	10
Tabela 2 – Critérios de dimensionamento	21
Tabela 3 – Aceptores de elétron típicos das reações de oxidação no tratamento de esgotos (listados em ordem decrescente de liberação de energia)	26
Tabela 4 – Valores médios das taxas de transpiração da typha no leito 2 para os meses correspondentes ao inverno e primavera.	61
Tabela 5 – Valores médios das taxas de transpiração diária da typha nos leitos cultivados 1 e 2 para o mês de maio.	74
Tabela 6 – Medida do índice de área foliar (IAF) médio para os leitos 1 e 2.	97

RESUMO

O estudo da utilização de leitos cultivados fornece a possibilidade de tratamentos de resíduos de uma forma natural e eficaz, promovendo um melhor aproveitamento dos recursos hídricos. O projeto que utilizou o sistema de leitos cultivados desenvolvido no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) teve como objetivo avaliar o grau de desenvolvimento foliar da macrofita do gênero *Typha sp.*, com o auxílio de parâmetros ecofisiológicos (transpiração foliar, condutância estomática), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e do levantamento de dados climáticos: temperatura do ar e umidade relativa; que fornecem o déficit de pressão de vapor saturado (DPVS). Os dados obtidos foram relacionados com a retirada de nutrientes: fósforo, nitrato e amônia; além de pH e condutividade elétrica presente na água residuária oriunda do esgoto da FEAGRI do campus da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, localizada no município de Campinas – SP (Brasil). Permitindo-se uma avaliação da relação dos dados ecofisiológicos da planta com a retirada de nutrientes, bem como o monitoramento do momento de máxima remoção dos compostos contidos no resíduo líquido e verificando a relação deles com a taxa de transpiração foliar. As medidas de campo referentes aos parâmetros ecofisiológicos foram coletadas nos meses de maio, julho e outubro de 2002, sendo posteriormente analisado no laboratório de análises químicas da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA). As concentrações de nutrientes de entrada e saída do efluente da água residuária foram retiradas ao final de cada medida de campo nos leitos cultivados de dimensões 2x2 (m) e 4x1(m) denominados para efeito de estudo de leitos 1 e 2. Durante o estudo, mediu-se também a vazão volumétrica dentro do sistema, com leituras na entrada e saída da estação. Tomou-se o cuidado de efetuar-se medidas horárias no intervalo das 8 às 20 horas com coleta de amostras de entrada e saída de dois leitos. As coletas totalizaram quatro amostras por hora, num total de 780 amostras para os quinze dias de medidas, divididos em três meses respectivos: maio, julho e outubro. A transpiração média da typha no dia 18/07/02 foi de $1,19 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e para o dia 03/10/02 de $4,02 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Os valores de remoção de fósforo foram de 1,98 mgP/L (18/07) e 0,98 mgP/L (03/10); a remoção de nitrato foi de 5,8 mgNO₃⁻/L e 5,4 mgNO₃⁻/L e a retirada de amônia ficou em 12,26 mgNH₃-H/L e 13,20 mgNH₃-H/L para os dias 18/07 e 03/10 respectivamente. Durante o período de estudo pode-

se verificar que existe uma demanda maior de remoção nas fases iniciais de crescimento da planta, isso se deve a maior necessidade de nutrientes por parte dela e ao fato que nas fases finais de desenvolvimento a planta tende a eliminar as plantas no centro das câmaras dos leitos cultivados, fazendo com que o funcionamento do leito decaia. Constatou-se também na pesquisa que a maior eficiência do leito quanto a remoção dos compostos do esgoto está compreendido no intervalo entre as 12 e 15 horas, visto que é o momento de maior radiação fotossinteticamente ativa (RFA) o que ocasionou numa faixa de maior taxa de transpiração foliar diária da macrofita.

ABSTRACT

The study of the use of wetlands it supplies the possibility of treatments of residues of a natural and efficient form, promoting one better exploitation of the environment resources. The project that used the system of wetlands developed in the experimental field of the College of Agriculture Engineering (FEAGRI) had as objective to evaluate the degree of foliar development of the plant of the specie *Typha sp.*, with the aid of ecofisiologics parameters (transpiration, conductance), active radiation (RFA) and of the climatic data-collecting: temperature of air and relative humidity; that they supply the deficit of saturated vapor pressure (DPVS). The gotten data had been related with the withdrawal of nutrients: match, nitrate and ammonia; beyond pH and present electric conductivity in the deriving residuary water of the sewer of the FEAGRI of the campus of the State University of Campinas - UNICAMP, located in the city of Campinas – SP (Brazil). Allowing an evaluation of the relation of the ecofisiologic data of the plant with the withdrawal of nutrients, as well as the study of the moment of maximum removal of composites contained in the liquid residue and verifying the relation of them with the foliar transpiration rate. The referring measures of field to the ecofisiologics parameters had been collected in the months of May, July and October of 2002, being later analyzed in the laboratory of analyze chemistries of the College of Engineering of Food (FEA). The concentrations of entrance nutrients and exit of the effluent one of the residuary water had been removed to the end of each measure of field in the wetland of called dimensions 2x2 (m) and 4x1(m) for effect of study of wetlands 1 and 2. During the study, the volumetric outflow inside of the system also measured, with readings in the entrance and exit of the station. The care was overcome to effect it self measured hours in the interval of the 8 to the 20 hours with collection of samples of entrance and exit of two wetlands. The collections had totalized four samples for the moment, in a total of 780 samples for the fifteen days of measures, divided in three respective months: May, July and October. The average transpiration of typha in day 18/07/02 was of $1,19 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and for day 03/10/02 of $4,02 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$. The values of removal of match had been of 1,98 mgP/L (18/07) and 0,98 mgP/L (03/10); the nitrate removal was of $5,4\text{mgNO}_3^-/\text{L}$ and $5,8 \text{ mgNO}_3^-/\text{L}$ and the ammonia withdrawal was in $12,26 \text{ mgNH}_3\text{-H/L}$ and $13,20 \text{ mgNH}_3\text{-H/L}$ for days 18/07 and 03/10 respectively. During the

period of study this can be verified that a bigger demand of removal in the initial phases of growth of the plant exists, if it must the biggest necessity of nutrients on the part of it and to the fact that in the final phases of development the plant tends to eliminate the plants in the center of the chambers of the wetlands, making with that the functioning of the wetland decays. It was also evidenced in the research that the biggest efficiency of the wetland how much the removal of composites of the sewer is understood in the interval between the 12 and 15 hours, since it is the moment of bigger active radiation (RFA) what it caused in a band of bigger daily transpiration rate of the plant.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento demográfico, o progresso da humanidade trouxe um problema a ser encarado pela sociedade, o destino dos resíduos orgânicos e inorgânicos produzidos por ela própria. No início, devido a uma falta de conscientização coletiva, e a idéia errônea de que os recursos hídricos são inesgotáveis teve-se, e ainda ocorre em muitos países do terceiro mundo, um despejo de forma irracional e criminoso de dejetos em rios e lagos, contaminando as reservas hídricas disponíveis, bem como o lençol freático através do uso de fertilizantes e pesticidas pela prática agrícola. Posteriormente, com o surgimento da educação ambiental, e a criação de carreiras como a engenharia sanitária, promoveu-se o desenvolvimento de técnicas sanitárias eficazes para destinação racional dos dejetos produzidos pela comunidade.

Dentre tantos sistemas desenvolvidos, como lagoas de decantação, filtros de areia e sistemas mais complexos como lodos ativados, situa-se o tratamento com leitos cultivados, sistema simples, que com o auxílio de macrófitas (também conhecida pelo termo hidrófitas) promovem a depuração da água, eliminando boa parte de resíduos orgânicos e inorgânicos, tais como: fósforo, nitrato e coliformes fecais, auxiliando na diminuição da carga orgânica lançada nos rios.

Designadas em língua inglesa por “*constructed wetlands*”, “*treatment wetlands*”, “*vegetated submerged beds*”, “*reed bed treatment systems*” ou simplesmente por “*wetlands*”, os leitos cultivados representam uma tecnologia emergente, de baixo custo energético, eficiente e estético, susceptível de se revelar como uma boa alternativa aos sistemas convencionais no tratamento de águas residuais.

Para projetar e operar um leito cultivado utiliza-se, de forma otimizada, a estrutura e a dinâmica funcional das *zonas úmidas naturais*, como exemplo: pântano, caniçal, palude, juncal, brejo e lodaçal.

A eficácia do tratamento deve-se a utilização de macrófitas (ou hidrófitas), como as do gênero *Typha sp.*, conhecidas popularmente por taboa, estas retiram boa parte dos nutrientes existentes no esgoto, sendo um sistema simples de fácil manuseio e em especial de baixo custo, quando comparado a outros sistemas de tratamento, tornando importante o estudo e aprimoramento deste sistema para emprego, sobretudo em comunidades rurais.

Uma vez que as comunidades agrícolas têm escassez de recursos para adoção de sistemas sofisticados e caros para tratamento de água residuária, além da pouca formação técnica para operar mecanismos mais complexos.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como interesse científico acompanhar o desenvolvimento foliar da macrófita da espécie *typha sp*, verificando o desempenho da macrófita na remoção de nutrientes presentes na água residuária oriunda do esgoto da Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP) que alimenta o sistema piloto de alagado construído.

Permitindo assim, avaliar do grau de interação dos dados ecofisiológicos da planta (transpiração foliar e condutância estomática) com a retirada dos nutrientes: nitrato, amônia e fósforo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Algumas das definições adotadas para “wetland” são: alagados naturais, alagados construídos ou ainda o termo leitos cultivados, sendo áreas inundadas ou saturadas por águas superficiais ou subterrâneas (pelo lençol freático), numa frequência e duração suficientes para a manutenção da saturação do sistema (U.S. EPA, 1988).

Contudo, a definição de alagados naturais ou leitos cultivados pode ser baseada nas características de solo e na tipicidade das espécies de plantas adaptadas ao sistema. A saturação significa a ocupação dos espaços intersticiais do solo pela água. A substituição dos gases atmosféricos contidos nos poros do solo implica no esgotamento rápido do oxigênio disponível (HAMMER, 1997).

Os alagados causam transformações específicas em substâncias químicas encontradas na maioria dos solos, usadas com indicadores da ocorrência de inundação.

Nos ambientes terrestres, os gases atmosféricos que ocupam os poros do solo são a fonte de oxigênio necessária à respiração do sistema radicular das plantas. Se estes espaços intersticiais do solo são ocupados por água livre com oxigênio dissolvido, a sobrevivência das raízes das plantas terrestres nestas áreas fica comprometida. Em contrapartida, as plantas existentes nos leitos cultivados possuem estruturas físicas especializadas para sua sobrevivência. Dentre elas, por exemplo, os aerênquimas, estruturas desenvolvidas pela macrófita para transportar gases atmosféricos através das folhas e caule a fim de promover a oxigenação necessária à respiração do sistema radicular (HAMMER, 1997). A mobilidade do oxigênio em direção ao sistema radicular da planta dá-se pelo sistema osmótico diferenciado do gradiente de concentração, criado pelo crescimento e divisão de minúsculas células na raiz. Estas células liberam oxigênio para a rizosfera, criando micro-regiões aeróbias em meio à predominância anaeróbica (TROTTER et al., 1994).

Os aerênquimas também transportam os subprodutos da respiração, o metano e outros gases gerados no solo no sentido inverso, através das raízes, caule e folhas das plantas de alagados, a fim de liberá-los na atmosfera, reduzindo acumulações potencialmente tóxicas nas regiões das raízes em crescimento (MITCHELL et al., 1995). Através destas estruturas altamente especializadas, as plantas de alagados são aptas a sobreviver e se desenvolver em ambientes inóspitos às plantas terrestres, sendo

freqüentemente o melhor indicador para a ocorrência de alagados (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Um experimento natural que pode ser observado quanto à adoção do sistema de leitos cultivados é o encontrado na região do Pantanal, de procedência predominantemente brasileira na parte ocidental do país e com porções adjacentes na Bolívia e Paraguai, trata-se de um alagado de 11.000.000 ha, que recebe águas poluídas em sua parte setentrional e oriental, e as transforma em águas limpas, que são drenadas pelo rio Paraguai, um dos maiores provedores de águas da parte meridional da América do Sul (HAMMER, 1997). Os alagados naturais agem como um filtro biológico de águas superficiais e subsuperficiais, em que mecanismos físico-químicos, reações de degradação biológica aeróbica e anaeróbica, evapotranspiração e infiltração, são responsáveis pela remoção de poluentes (WOOD, 1995).

3.1 Desenvolvimento microbiológico no leito cultivado

Tanto a parte estrutural quanto funcional dos leitos cultivados é dominada por uma grande variedade de microorganismos, tais como: fungos e bactérias, além da planta típica (macrófita) responsável por parte da redução de matéria orgânica.

A grande diversidade de nichos físico-químicos existentes nos alagados é diretamente responsável pela biodiversidade presente no sistema de leitos cultivados (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Os microorganismos através de sua diversidade genética e adaptabilidade funcional, são capazes de absorver os constituintes poluidores das águas hostis ao uso humano, para promover seu crescimento e reprodução. Com isto, acompanha-se a modificação da qualidade da água, por meio das modificações químicas, físicas e biológicas presentes.

3.2 População microbiológica no leito cultivado

Dentre as bactérias mais importantes na modificação da qualidade d'água em leitos cultivados sobressaem as fototrópicas, encapsuladas, de brotamento, quimiotróficas gram-negativas, gram-negativas aeróbias, gram-negativas anaeróbias, gram-negativas facultativas

anaeróbias, gram-positivas, produtoras de metano, formadoras de endósporos, actinomicetose e organismos correlatos. A maioria das bactérias é heterotrófica, isto é, obtém alimento e energia para seu desenvolvimento em compostos orgânicos; algumas bactérias são autotróficas, isto é, sintetizam moléculas orgânicas a partir de carbono. A maioria das bactérias está associada com as superfícies submersas das plantas, a matéria orgânica em decomposição e o meio suporte. Existe uma relação simbiótica entre as plantas aquáticas e as bactérias vivendo nas raízes e outras partes submersas (TROTTER et al., 1994).

Fungos representam os organismos do reino eucarionte (não possuem carioteca) e são abundantes nos ambientes alagados. Todos os fungos são heterotróficos e sua nutrição é predominantemente saprófita, ou seja, baseada no consumo e conseqüente degradação da matéria orgânica em decomposição. Eles são ecologicamente importantes nos alagados, pois intermediam uma significativa proporção da reciclagem de carbono e outros nutrientes (KADLEC e KNIGHT, 1996). Os fungos vivem de forma simbiótica com espécies de algas (liquens) e plantas mais evoluídas (micorrizas), aumentando a eficiência e rendimento do hospedeiro na absorção de nutrientes da água, ar e meio suporte. Nos alagados, os fungos são normalmente encontrados em associação com restos de plantas em estágio decompositivo.

3.3 Vegetação aquática (hidrófitas ou macrófitas)

O termo macrófita utilizado para representar as plantas aquáticas vasculares florescentes, os musgos e a maioria das algas marinhas (APHA, 1992), vem sendo substituído pelo termo hidrófita, por ser mais abrangente quanto a referência às plantas aquáticas presentes em alagados, embora o primeiro termo ainda seja o mais amplamente conhecido e divulgado nos meios científicos.

Devido à diversidade de habitat dos alagados, estima-se que mais de 5.000 espécies de plantas são adaptadas (HAMMER, 1997), pois, macrófitas de água doce incluem ainda as minúsculas *wolffia* spp., com um tamanho aproximado ao de uma cabeça de alfinete, além de plantas tais como as taboas (*Typha* spp.), que podem atingir quatro metros de altura, e árvores de cipreste (*Taxodium* spp.), que podem atingir 50 (cinquenta) metros de

altura (APHA, 1992). As espécies mais altas freqüentemente estão agrupadas em grande número, cobrindo extensas áreas de lagos rasos, reservatórios, várzeas e canais fluviais.

Dependendo do tipo de fixação das macrófitas no meio suporte do alagado, estas são classificadas como: flutuantes, submergentes e emergentes. Plantas flutuantes podem ser enraizadas ou não e sua folhagem principal (coroa), flutua livremente na superfície da água. Plantas submergentes podem ou não ter raízes e quase toda a sua folhagem cresce sob a superfície da água. Extremidades das plantas submergentes podem emergir para a floração. Plantas emergentes têm sua folhagem principal em contato com o ar, podendo estar na superfície da água ou acima dela e estão conectadas ao solo hidromórfico através das raízes. Plantas vasculares submergentes ou emergentes tipicamente são enraizadas ao fundo, mas podem ser encontradas destacadas deste e flutuantes (APHA, 1992).

As algas e as macrófitas flutuantes tendem a ser mais fotossinteticamente ativas que as macrófitas emergentes na geração de O_2 e indiretamente na remoção de CO_2 das águas (WOOD, 1995).

3.4 Sistemas naturais de tratamento de resíduos líquidos

Tanto os sistemas naturais quanto os convencionais biológicos requerem uma quantidade similar de energia para a degradação de cada quilograma de poluente no tratamento de águas residuárias; porém, a fonte de energia predominante em cada sistema é bem distinta.

Para os sistemas convencionais de tratamento de águas residuárias como gradeamento, sedimentação primária com ou sem coagulação, reatores de lodo ativado, filtração lenta, reatores biológicos de contato, valos de oxidação e alguns processos terciários, são dependentes em sua predominância de energia de origem de fontes não renováveis, entre elas: os combustíveis fósseis, e de energia proveniente de hidroelétricas. Esses sistemas se baseiam, em grande parte, nas transformações biológicas naturais dos poluentes, ocorridas tipicamente em ambientes fechados, isto é, reatores de concreto, aço ou plástico; estas transformações são potencializadas por aeração forçada, mistura mecânica e/ou por adição de uma variedade de produtos químicos (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Já com relação aos sistemas naturais, estes dependem em maior ou menor extensão de fontes renováveis de energia incluindo entre eles: a radiação solar; a energia cinética eólica; a energia química livre das precipitações das águas superficiais e subterrâneas, e a energia potencial armazenada na biomassa e nos solos (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Tanto os sistemas naturais quanto os convencionais, envolvem as mesmas transformações bioquímicas e físicas dos poluentes; porém, os primeiros, por serem em geral menos mecanizados, requerem menor tempo de manutenção e operação (U.S.E.P.A., 1988). Além disto, existem conseqüências ambientais comuns à maioria dos sistemas convencionais, a saber, a depreciação de recursos energéticos não renováveis, a alteração de ecossistemas naturais e a disposição dos subprodutos residuais.

Contudo, para os sistemas convencionais; eles se baseiam no uso intensivo de energia, sendo aplicável quando se necessita de um método compacto de controle de poluição e se dispõe do tipo e quantidade de energia requerida como ocorre em geral nas grandes cidades. Em contrapartida, os sistemas naturais se baseiam no uso extensivo de espaço físico, sendo uma alternativa atrativa em especial para pequenas comunidades e áreas rurais por apresentarem, além da simplicidade conceitual e operacional, grande capacidade de tamponamento, baixa produção de subproduto (como lodo) e baixo custo na manutenção e operação (HABERL et al.,1995).

As tecnologias de tratamento de águas residuárias incluídas na categoria de sistemas naturais englobam a infiltração rápida no solo, o escoamento superficial no solo, as lagoas de estabilização, as lagoas rasas contendo plantas flutuantes e os alagados (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Para os alagados construídos como os naturalmente existentes, estão incluídos na categoria de sistemas naturais de tratamento de águas residuárias. Porém, é de suma importância ressaltar que os alagados naturais são protegidos por regulamentação em muitos países, onde um alto nível de pré-tratamento é exigido anteriormente à disposição das águas residuárias nestes ambientes. Portanto, os custos, de tratamento (no mínimo em nível secundário) e monitoramento são muito elevados quando o tratamento do resíduo líquido é feito nos alagados naturais (KADLEC e KNIGHT, 1996). Por outro lado, os alagados construídos são em geral considerados similares aos sistemas convencionais no que concerne à legislação (HABERL et al., 1995). Eles ainda têm a vantagem de permitir o

controle sistemático e a otimização das habilidades dos alagados naturais, em remover e transformar os poluentes (WOOD, 1995), além de possuírem flexibilidade de localização.

3.5 Leitos cultivados

Os leitos cultivados podem ser considerados filtros biológicos em que microorganismos aeróbios e anaeróbios são fixados à superfície do meio suporte no qual as plantas estão estabelecidas ou fixadas com a rizosfera e outras partes submersas das plantas que são os principais responsáveis pelas reações de purificação da água (WOOD, 1995).

Segundo (KADLEC e KNIGHT, 1996; HABERL et al., 1995; MITCHELL et al, 1995; MANFRINATO et al., 1993) os leitos cultivados de maneira geral são usados no tratamento de:

- águas de abastecimento, captadas de rios e lagos poluídos;
- águas residuárias domésticas, em nível primário, secundário e/ ou terciário;
- águas de precipitação pluviométrica coletada em rodovias, áreas urbanas e rurais;
- drenagens ácidas provenientes de algumas atividades industriais e agrícolas;
- águas subterrâneas com alto teor de nitrato;
- lodo produzido nos tratamentos biológicos convencionais (redução de volume e estabilização).

No geral, os alagados construídos (ou leitos cultivados) são produzidos por um ou mais leitos dispostos em série ou paralelos, normalmente escavados no solo e recobertos com material impermeável tal como cloreto de polivinila (PVC), polietileno de alta densidade (HDPE), polipropileno ou argila (TROTTER et al., 1994).

Na figura 1, observa-se em detalhe o funcionamento prático de um alagado construído.

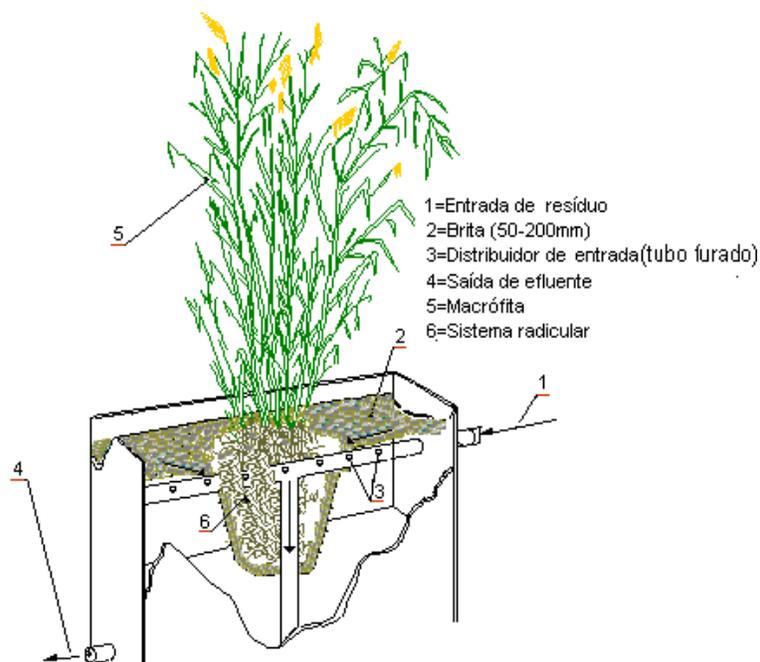


Figura 1 – Corte seccional com visualização unitária da distribuição de esgoto no sistema de leito cultivado e sua trajetória no tratamento residual do efluente limpo.

Estes leitos são comumente cultivados em monocultura, com uma espécie de macrófita emergente, porém, podem ser cultivados com uma seleção de espécies. A tabela 1 apresenta alguns valores de remoção de parâmetros químicos em resíduos líquidos.

Tabela 1 - Valores médios do tratamento de águas residuárias em leitos cultivados para os Estados Unidos. (Adaptado de Knight, 1992).

PARÂMETROS	EFLUENTE (mg/l)	REMOÇÃO (%)
DBO	10,5	73
SS	15,3	69
NH ₄ ⁺ N	4,2	44
NTK	5,0	64
Pt	1,9	55

3.5.1 – Tipos de leitos cultivados

Uma das classificações mais comuns de leitos cultivados, de acordo com o tipo de planta aquática dominante, foi proposta pelo dinamarquês Hans Brix da Universidade de

Aarhus (BRIX 1993). Também WETZEL (1983) apresenta uma classificação de macrófitas aquáticas.

Recorrendo aos dois sistemas referidos, pode-se adaptar uma classificação de leitos cultivados, que considera os três tipos fundamentais a seguir:

- a) Sistemas baseados em macrófitas aquáticas flutuantes (enraizadas ou livres);
- b) Sistemas baseados em macrófitas submersas;
- c) Sistemas baseados em macrófitas aquáticas emergentes.

Na concepção de um sistema de tratamento é possível optar por um destes tipos fundamentais, isoladamente, ou combiná-los, seja entre si, seja com órgãos de sistemas convencionais de depuração.

Analisam-se, em seguida, os três tipos fundamentais referidos.

3.5.2 - Sistemas adotados com macrófitas flutuantes

Inclui-se neste tipo, sistemas com macrófitas aquáticas flutuantes enraizadas e com macrófitas aquáticas livremente flutuantes. O primeiro grupo integra, por exemplo, os gêneros *Nymphaea*, *Nuphar*, *Potamogeton* e *Hydrocotyle*. Os gêneros *Lemna* e *Spirodela* constituem exemplos do segundo grupo. Neste grupo podem ainda referir-se o conhecido aguapé e a alface d'água (*Pistia stratiotes*).

A análise a seguir considerará, dentro deste tipo, 3 subtipos (BRIX & SCHIERUP 1989):

- Sistemas baseados no aguapé;
- Sistemas baseados em lemnáceas;
- Sistemas baseados noutras espécies de macrófitas aquáticas flutuantes.

O esquema de leito cultivado que usa plantas macrófitas aquáticas livremente flutuantes pode ser observado pela figura 2. Nota-se como o funcionamento do sistema de tratamento de águas residuárias é de simples aplicação.

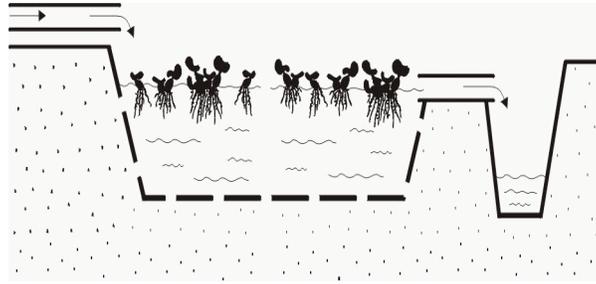


Figura 2 - Representação esquemática de um sistema de tratamento de águas residuárias baseado em macrófitas aquáticas livremente flutuantes. Ilustra-se a espécie *Eichhornia crassipes* (aguapé). Figura adaptada de Brix (1993).

3.5.2.1 - Sistemas baseados no aguapé

O aguapé é uma das plantas aquáticas mais estudadas nos meios científicos. Este interesse multifacetado resulta não apenas dos benefícios potenciais que se associam à espécie, mas, também, dos danos que podem resultar para os ecossistemas face à multiplicação galopante e dificilmente controlável do aguapé.

Esta espécie – uma das mais produtivas do planeta – tem uma taxa de crescimento extraordinária. Estima-se que uma dezena de plantas é capaz de originar, durante uma só estação vegetativa, mais de meio milhão de novos exemplares, susceptíveis de cobrir completamente cerca de meio hectare de uma superfície líquida (PENFOUND & EARLE 1948).

Os leitos cultivados com aguapé podem dimensionar-se para afluente doméstico bruto, para afluente primário ou secundário. Estes sistemas estão particularmente indicados para as zonas tropical e subtropical. Em Portugal existe alguma pesquisa em sistemas com aguapé (WEBB *et al.* 1992), mas não se conhecem instalações de carácter permanente a operar.

Os critérios de dimensionamento recomendados e normalmente utilizados em leitos com aguapé são os seguintes:

carga orgânica: de 50 a 300 Kg de DBO ha⁻¹ d⁻¹ (o que corresponde a uma faixa entre 5 a 30 g de DBO m⁻² d⁻¹), em função do tipo de água residuária a tratar e dos objetivos de tratamento;

tempo de residência: > 40 dias, para tratamento secundário (TS); 6 dias para tratamento secundário avançado (TSA); 6 dias para afinação terciária;

carga hidráulica: > 2 cm d⁻¹ para tratamento secundário (TS); 8 cm d⁻¹ para tratamento secundário (TS); e tratamento secundário avançado (TSA), em simultâneo;

Nestes casos é fundamental que se utilizem leitos múltiplos. Em muitos casos os sistemas com aguapé suscitam problemas com mosquitos que, entre outros métodos, se podem combater por controle biológico, usando a espécie de peixe predador Gambusia affinis.

3.5.2.2 - Sistemas baseados em lemnáceas

Designa-se aqui de lemnáceas as espécies que integram a Família Lemnácea. Referi-se a cerca de 35 espécies pertencentes a quatro Gêneros: Lemna, Spirodela, Wolffiella e Wolffia (LANDOLT, 1980).

Embora seja utilizada para sombreamento em lagoas de estabilização no intuito de evitar proliferação de algas na parte final do sistema de lagoas, pode em certos casos ser utilizada tal como o aguapé em sistemas de tratamento. As lemnáceas são dotadas de um desenvolvimento rápido e intenso. Estas plantas podem, em condições ótimas de crescimento, duplicar sua biomassa entre 2 a 3 dias. Algumas espécies possuem um crescimento noturno tão grande ou superior ao diurno (MESTAYER, 1980).

Os sistemas de tratamento de água residuária, que utilizam as lemnáceas, estão menos desenvolvidos, quer na teoria ou na prática, do que aqueles que utilizam o aguapé (BONOMO *et al.* 1996).

Os critérios de dimensionamento recomendados e normalmente utilizados em leitos cultivados com lemnáceas são os seguintes (HANCOCK & BUDDHAVARAPU 1993):

Tempo de residência: ± 40 dias, na estação estival; > 2 meses, no inverno;

Largura: 15:1;

profundidade dos leitos: até 3 m.

3.5.2.3 - Sistemas baseados com outras espécies de macrófitas aquáticas flutuantes

Embora existam na experiência mundial unidades de tratamento, a pleno funcionamento, que utilizam macrófitas aquáticas flutuantes diferentes do aguapé e das lemnáceas, é escassa a informação bibliográfica sobre o assunto.

As espécies mais utilizadas nestes sistemas são: Hydrocotyle umbellata e Pistia stratiotes (AGENDIA *et al.* 1996).

3.5.3 - Sistemas adotados com macrófitas submersas

As principais espécies que integram este tipo de leito cultivado são: *Elodea canadensis*, *Elodea nuttali*, *Egeria densa*, *Ceratophyllum demersum*, *Hydrilla verticillata*, *Cabomba caroliniana*, *Miriophyllum heterophyllum*, *Potamogeton* spp. (MCNAB 1976, REED *et al.* 1988). Trata-se de plantas com os seus tecidos fotossintéticos completamente imersos. A figura 3 esquematiza um sistema com *Elodea canadensis*.

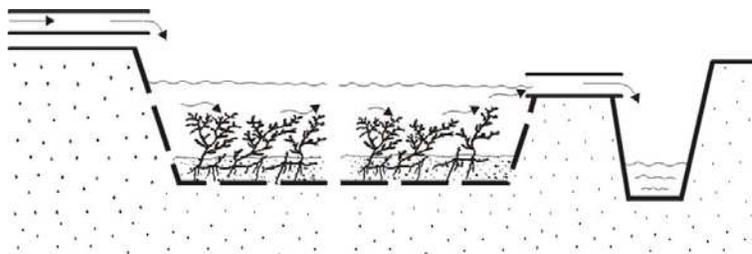


Figura 3 - Representação esquemática de um sistema de tratamento de águas residuárias baseado em macrófitas aquáticas submersas. Ilustra-se a espécie *Elodea canadensis*. Figura adaptada de Brix (1993).

A presença de macrófitas aquáticas submersas, em sistemas de tratamento, resulta numa visão útil de que estas plantas possuem taxas elevadas de absorção das formas inorgânicas de carbono dissolvidas na água, particularmente CO₂ e, igualmente, elevada capacidade de libertação de O₂ fotossintético. A conjugação destes dois fatores determina um crescimento dos valores de pH e, concomitantemente, a criação de condições ótimas para a volatilização da amônia e precipitação química do fósforo. As elevadas taxas de oxigênio favorecem também a mineralização da matéria orgânica presente na água.

O uso de sistemas com macrófitas aquáticas submersas encontra-se ainda num estágio essencialmente experimental.

3.5.4 - Sistemas adotados com macrófitas emergentes

Este é o tipo de sistema mais frequente. É possível considerar aqui os seguintes sub-tipos:

1. Sistemas de fluxo superficial;
2. Sistemas de fluxo subsuperficial:
 - a. Horizontal;
 - b. Vertical, que pode ser: b.(1) ascendente; b.(2) descendente;

3. Sistemas híbridos ou mistos – combinações entre 1 e 2 e entre 2a e 2b.

3.5.5 - Sistemas de macrófitas aquáticas emergentes e de fluxo superficial

Estes sistemas são mais freqüentes nos Estados Unidos do que na Europa, embora na Holanda exista este tipo de sistema desde os anos 70 (GREINER & de JONG 1984).

A configuração deste leito consiste em bacias ou canais dotados de um sistema impermeabilizante que evite infiltrações. São ainda dotadas de algum solo ou outro tipo de substrato que suporte a vegetação emergente e de um corpo de água normalmente pouco profundo.

Os critérios de dimensionamento recomendados e normalmente utilizados em leitos cultivados de macrófitas aquáticas emergentes e com fluxo superficial livre são comuns na bibliografia da especialidade e encontram-se bem desenvolvidos em REED *et al.* (1988), WATSON *et al.* (1989), WATSON & HOBSON (1989), KADLEK (1994 a, b), KADLEK & KNIGHT (1996), KNIGHT *et al.* (1993), KNIGHT & KADLEC (1996). Apresenta-se em seguida uma súmula dos principais critérios de dimensionamento.

Pré-tratamentos a montante do leito: tratamentos preliminares (gradagem, desarenação, etc) e, necessariamente, tratamento primário (sedimentação primária);

Carga orgânica: < 112 Kg de DBO ha⁻¹ d⁻¹;

Carga hidráulica: para tratamento secundário (TS): 1,2 – 4,7 cm d⁻¹; para tratamento terciário (TT): 1,9 – 9,4 d⁻¹;

Tempo de residência: 5 – 15 dias;

Comprimento: largura: >10:1.

Profundidade: 0,2 – 0,4m;

Declive do fundo: 0,5%;

Vegetação mais freqüente: especialmente *Scirpus* spp. e *Typha* spp. nos EUA; *Phragmites australis* na Europa;

3.5.6 - Sistemas de macrófitas aquáticas emergentes e de fluxo subsuperficial horizontal

Trata-se do sistema mais freqüente. Seu conceito foi desenvolvido na Alemanha, sendo colocado em funcionamento no ano de 1974, na cidade de Othfresen. É conhecido por "Método Rizosférico" ("Root-Zone Method", em alemão "Wurzelraumentsorgung") (KICKUTH 1977). A água residuária é distribuída na entrada do sistema e sujeita-se a

translação mais ou menos prolongada ao longo da zona rizosférica (em redor das raízes), onde coexistem áreas aeróbias, anóxicas e anaeróbias. Diversos processos de natureza física, química e biológica concorrem para a depuração.

Atualmente existem diversas pequenas modificações deste sistema (tipo de substrato, configuração e número de leitos, etc.).

Os critérios de dimensionamento recomendados e normalmente utilizados em leitos cultivados de macrófitas aquáticas emergentes e com fluxo subsuperficial horizontal são comuns na bibliografia da especialidade e encontra-se em REED *et al.* (1988), WATSON *et al.* (1989), WATSON & HOBSON (1989), KADLEK & KNIGHT 1996, COOPER *et al.* (1996). Têm-se em seguida uma súmula dos principais critérios de dimensionamento destes leitos cultivados.

Pré-tratamentos a montante do leito: tratamentos preliminares (gradagem, desarenação, etc) e, necessariamente, tratamento primário (sedimentação primária);

Carga orgânica: < 150 Kg de DBO ha⁻¹ d⁻¹ (normalmente < 80 Kg de DBO ha⁻¹ d⁻¹);

Carga hidráulica: para tratamento secundário (TS): < 5 cm d⁻¹; para tratamento terciário (TT): < 20 cm d⁻¹;

Área específica: para tratamento secundário (TS): 2,0 a 5,0 m² m⁻¹; para tratamento terciário (TT): 0,7 - 1m² m⁻¹;

Tempo de residência: ± 5 dias; Comprimento: largura: 2 ou 3:1 (é possível 1:1);

Solo / substrato: baseados em solo, em areões; Profundidade do substrato: Entre 0,6 a 0,8 m (em média);

Condutividade do substrato: Entre 1.10⁻³ a 3.10⁻³ ms⁻¹; Porosidade do substrato: Entre 0,3 a 0,45;

Declive do fundo: Entre 1 a 2%; Impermeabilização: Poliolefinas e Bentonite.

Vegetação mais freqüente: especialmente Scirpus spp. e Typha spp. nos EUA; Phragmites australis na Europa;

3.5.7 - Sistemas de macrófitas aquáticas emergentes e de fluxo subsuperficial vertical

Nesse sistema consideram-se dois sentidos de fluxo: vertical descendente (o caso mais vulgar) e vertical ascendente. As figuras 4 e 5 representam visualmente os sistemas de leitos cultivados apresentados até o momento.

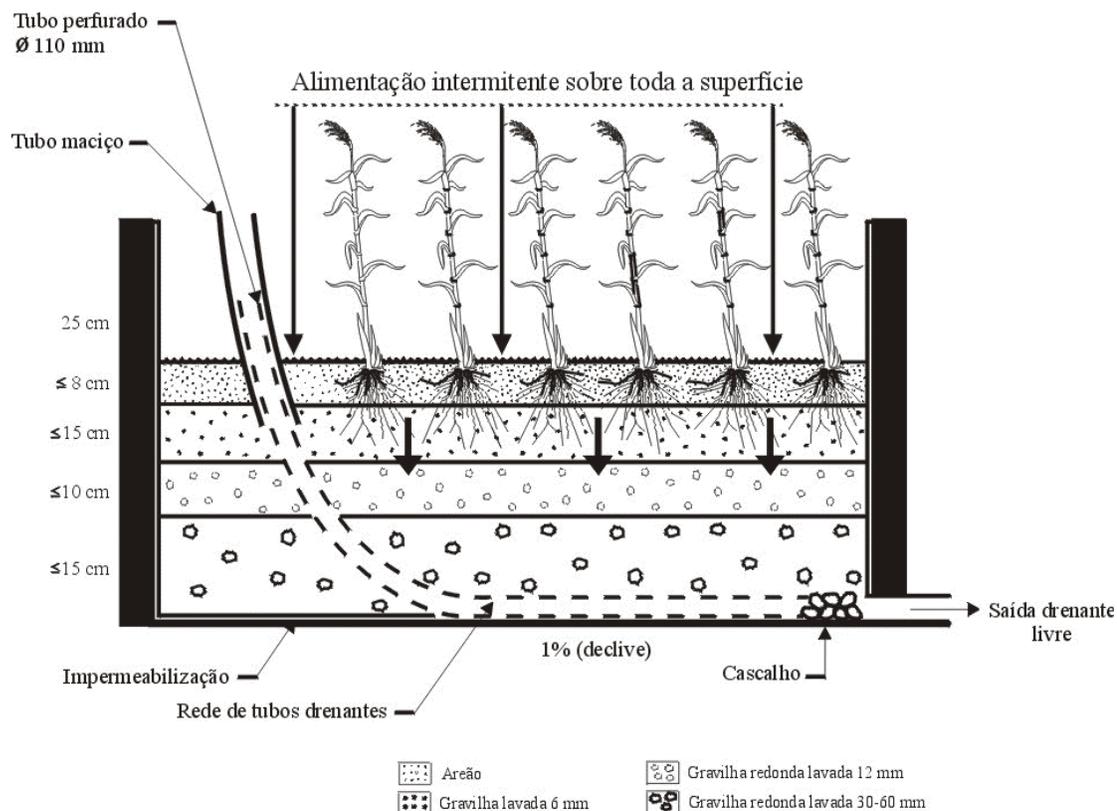


Figura 4 - Aspecto típico de um leito de fluxo vertical descendente (Sistema Seidel).
 Figura adaptada de Cooper *et al.* (1996).

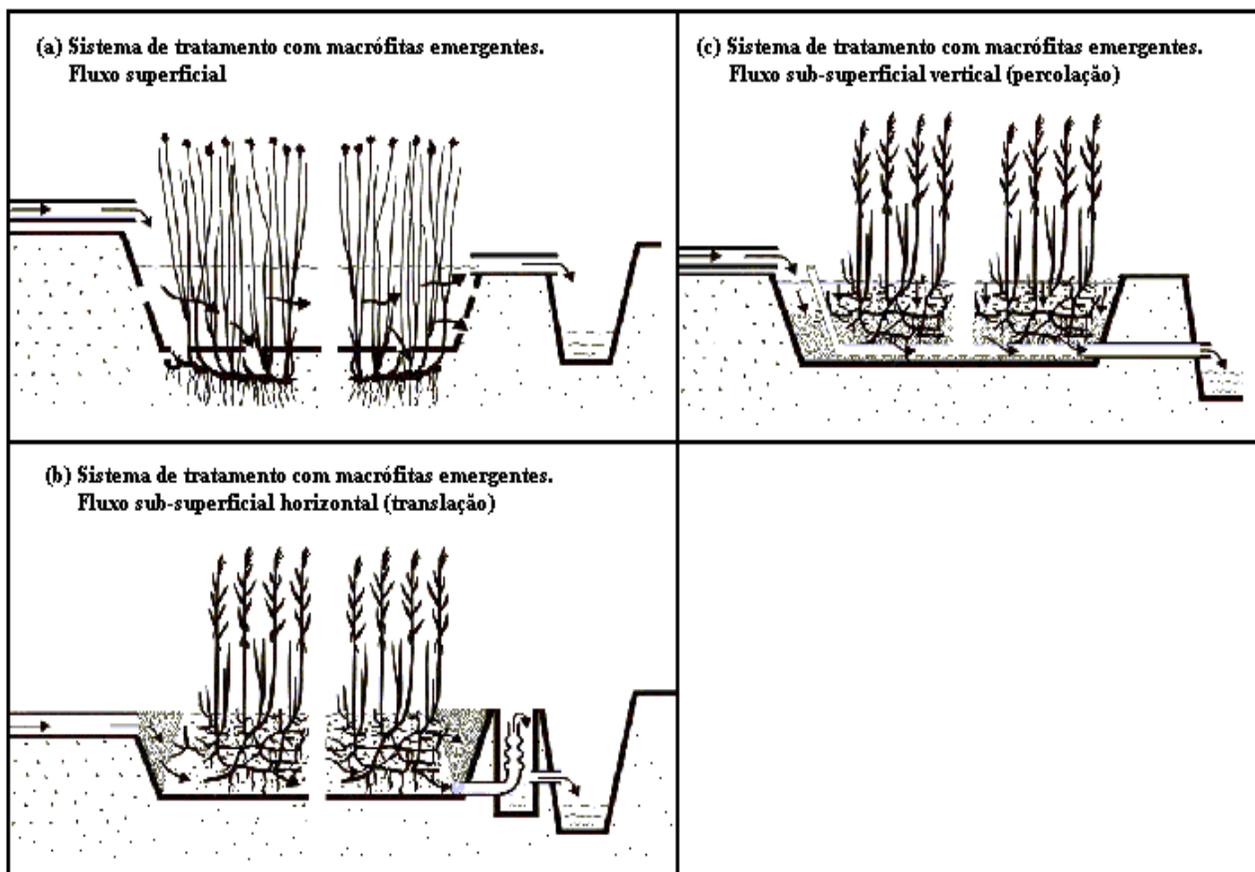


Figura 5 - Representação esquemática de um sistema de tratamento de águas residuárias baseado em macrófitas aquáticas emergentes: a) fluxo superficial, ilustra-se a espécie *Scirpus lacustris*; b) fluxo subsuperficial horizontal, ilustra-se a espécie *Phragmites australis*; c) fluxo subsuperficial vertical (percolação), ilustra-se a espécie *Phragmites australis*. Figura adaptada de Brix (1993).

Nos sistemas de fluxo vertical descendente, a distribuição do efluente é feita à superfície dos leitos e a deslocação do líquido é em percolação. Nos sistemas de fluxo vertical ascendente, o escoamento ocorre por contra-percolação e por capilaridade.

Considerando-se esta diferença estrutural e de fluxo, os mecanismos de remoção de contaminantes são, essencialmente, os mesmos que ocorrem nos sistemas de fluxo subsuperficial horizontal.

Os primeiros sistemas de tipo vertical provêm da Holanda ("campos de infiltração") (GREINER & de JONG 1984), e igualmente da Alemanha (Sistema Seidel, também chamado Sistema Krefeld ou Sistema Instituto Max Planck) (SEIDEL 1976).

O sistema Seidel integra vários estágios, incluindo inicialmente leitos de escoamento vertical (seguidos de escoamento horizontal). Existem em operação diversos

leitos cultivados deste tipo na Europa, há mais de 30 anos (BURKA & LAWRENCE 1990, LIENARD *et al.* 1990, BOUTIN 1987, HAIDER 1983, 1994).

3.5.8 - Sistemas de macrófitas aquáticas emergentes e de fluxo subsuperficial misto

Com a finalidade de otimizar as vantagens dos sistemas de fluxo subsuperficial horizontal e vertical, têm-se proposto sistemas mistos ou híbridos, que incluem simultaneamente os dois sentidos de escoamento (COOPER *et al.* 1996, VYMAZAL *et al.* 1998). Persiste alguma discussão na bibliografia (VYMAZAL *et al.* 1998) sobre o melhor tipo de escoamento (vertical ou horizontal), para colocar a amontante do sistema e iniciar a depuração.

3.6 Escoamento superficial

Estes leitos são tipicamente canais contendo um meio suporte subsuperficial (solo, brita ou palha de arroz), onde as macrófitas enraízam; a água flui através do sistema, em uma pequena coluna acima do meio suporte. Este tipo de sistema, também utilizado como tratamento terciário, requer uma maior área superficial, sendo apropriado a locais com acesso controlado, a fim de prevenir a exposição humana aos microorganismos patogênicos (TROTTER *et al.*, 1994).

São estimadas para estes sistemas de escoamento, que utilizam macrófitas cultivadas em leitos, áreas dez vezes maiores por volume de resíduo líquido que os sistemas subsuperficiais (KNIGHT, 1992).

3.7 Escoamento subsuperficial

São essencialmente leitos de filtros lentos horizontais contendo: brita; solo; palha de arroz; vermiculita ou uma combinação destes como meio suporte, além de extensas raízes das macrófitas. É postulado que os mecanismos de remoção são mais numerosos e efetivos em leitos com brita (KADLEC e KNIGHT, 1996). A condutividade hidráulica dos solos normalmente usados como meio suporte é igual ou menor que $1,0 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$, enquanto que

a condutividade hidráulica inicial de britas de diâmetro uniforme entre 30 a 60 mm ou 50 a 100 mm é igual ou maior que $1,0 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ (COOPER, 1993). Segundo BRIX (1987), o diâmetro médio das britas usadas como meio suporte nos leitos varia entre 50 a 200 mm.

O sistema de escoamento de água se encontra alguns centímetros abaixo da superfície do meio suporte, o que elimina odores e propagação de mosquitos, e protege pessoas e animais de exposição a microorganismos patogênicos (TROTTER et al., 1994). O resíduo líquido escoar por gravidade, horizontalmente ou verticalmente, através do meio suporte do leito, entrando em contato com os microorganismos facultativos que vivem em associação com o meio suporte e as raízes das macrófitas emergentes; o fundo do leito é inclinado em 1% de inclinação para evitar o escoamento do resíduo líquido acima do meio suporte (COOPER, 1993).

3.8 Leitos de escoamento subsuperficial horizontal

3.8.1 – Relação dos critérios para projeto

A tabela 2 mostra, os critérios de projeto recomendados por WOOD (1995), com base em revisão de publicações científicas.

Observam-se a seguir os critérios de projeto recomendados atualmente pela Comunidade Européia e citados por COOPER (1993):

- área superficial igual a 5 m^2 pessoa⁻¹, considerando águas residuárias domésticas, pré-tratadas por decantação ou em tanque séptico, com 150 a 300 mg DBO/L;
- área de secção transversal dependente da condutividade hidráulica do leito após estabelecimento da vegetação usa-se a aplicação de fórmula derivada da lei de Darcy;
- profundidade média do leito igual a 0,60m (a profundidades maiores as raízes e rizomas enfraquecem), e profundidade na entrada não menor que 0,30m.

Tabela 2 - Critérios de dimensionamento. * Considerando o valor da DQO de águas residuárias domésticas entre 2 a 2,5 vezes maior que o valor de sua DBO. Adotou-se valores de taxa de aplicação de resíduos em KgDQO há⁻¹.dia⁻¹, variando entre 1,5 a 3 vezes o valor da taxa de aplicação de resíduos recomendada por WOOD (1995) em KgDBO ha⁻¹.dia⁻¹.

Parâmetros	Critério de WOOD (1995)	Experimento descrito
Tempo de detenção (dias)	2 – 7	2,1 – 4,2
Profundidade coletada d'água ou meio suporte(m)	0,1 – 1,0	0,35 (coleta d'água) 0,40 (meio suporte)
Área específica de tratamento (ha.dm ⁻³)	0,001 – 0,007	0,001 – 0,002
(Razão no leito) comprimento: largura	0,25: 1 a 5:1	4:1
Taxa máxima aplicada em KgDBO ha ⁻¹ . d ⁻¹	75	112,5 a 225* KgDQO ha ⁻¹ . d ⁻¹
Carga hidráulica (mm ³ mm ⁻² . d ⁻¹)	2 – 30	41 – 82

Fatores relacionados diretamente às condições climáticas locais e relevantes ao processo são a temperatura ambiente e a perda de água por evaporação através da superfície dos leitos. Além disso, existe a perda de água por evapotranspiração, causada pelo metabolismo e crescimento das plantas aquáticas. Leitos operados em sistema de escoamento subsuperficial são sujeitos a perdas menores através da superfície, quando comparados àqueles operados em sistema de escoamento superficial (TROTTER et al., 1994).

Enquanto os sistemas de escoamento superficial são muito utilizados no tratamento terciário de efluentes na América do Norte, particularmente para grandes volumes de águas residuárias, os sistemas de escoamento subsuperficial são amplamente aceitos no tratamento secundário de efluentes na Europa, Austrália e África do Sul, particularmente em pequenas comunidades (COOPER, 1993; WOOD, 1995). A combinação dos dois sistemas pode também ser usada como processo de tratamento, a começar pelo escoamento subsuperficial, seguido pelo outro (WOOD, 1995).

COOPER (1993), recomenda o pré-tratamento das águas residuárias afluentes nestes leitos através de gradeamento e decantação. Ao tratamento residual de pequeno porte

(atendendo menos de 100 pessoas), um tanque séptico bem projetado é suficiente. Para sistemas maiores, um tanque de sedimentação primária convencional é recomendado, ou, na impossibilidade disto, deve-se usar peneira com perfurações menores ou iguais à 6mm.

3.9 Fatores abióticos presentes

A temperatura, a concentração de oxigênio dissolvido e o pH são fatores abióticos de relevância para os processos biológicos ocorridos nos leitos cultivados.

A temperatura do efluente dos leitos é aproximadamente igual à média diária de temperatura do ar, uma vez que há um balanço entre as formas de transferência dominantes: ganhos através da energia solar e perdas através de energia evaporativa. Para temperaturas baixas, estas aumentam a solubilidade do oxigênio na água, porém diminuem a atividade microbiana.

Dentro dos leitos, a concentração de oxigênio dissolvido na água é influenciada pela temperatura, sais dissolvidos presentes, atividades biológicas e meio suporte. O oxigênio residual dissolvido contido no fluxo de alimentação dos leitos é suplementado pelo oxigênio transferido a partir da atmosfera, pela superfície da água e por transporte convectivo a partir de folhas e caule das plantas (KADLEC e KNIGHT, 1996).

A transferência de oxigênio através da superfície da água ocorre por uma combinação de difusão molecular e mistura, causada por diversos agentes: precipitações, por exemplo, transportam o oxigênio dissolvido e promovem mistura. Não existem estudos específicos de transporte de oxigênio a partir do ar para água em movimento num leito de escoamento subsuperficial (KADLEC e KNIGHT, 1996).

O transporte convectivo de oxigênio a partir de folhas e caule das macrófitas é balanceado pela respiração das raízes submersas. O excesso de oxigênio das demandas respiratórias contribui para a ocorrência de processos oxidativos na rizosfera, micro-zonas oxigenadas conduzem reações de oxidação e o meio suporte anaeróbio circulante conduz reações de redução. Estas duas regiões estão a micrômetros de distância, sendo conectadas através de difusão (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Alguns autores, como SORREL e ARMSTRONG (1994), investigaram técnicas de medição do oxigênio liberado por raízes de macrófitas e concluíram que quantidades

consideráveis de oxigênio podem ser liberadas pelo sistema de raízes na rizosfera, e que as medidas mais reais, disto são obtidas em soluções com alta demanda de oxigênio. Outros autores, como KADLEC e KNIGHT (1996), acham provável que a maior parte da transferência de oxigênio a partir da atmosfera para a coluna d'água no leito ocorra por aeração através da interface, uma vez que o transporte de oxigênio para a rizosfera não parece exceder significativamente os requeridos na respiração da planta, sendo insuficiente para satisfazer as demandas dos microorganismos heterotróficos. Por fim, há autores como COOPER (1993) que afirmam que há liberação de oxigênio para a rizosfera através das raízes, porém a taxa deste suprimento é desconhecida.

Uma boa quantidade dos leitos cultivados recebe cargas de carbono e nitrogênio orgânico suficiente para consumir oxigênio dissolvido nas águas residuárias até cerca de 1 a 2mg/L. Porém, as bactérias heterotróficas, responsáveis pela oxidação do carbono, competem com as bactérias nitrificantes por locais de fixação nos leitos. Como consequência, há oxidação preferencial dos compostos carbonáceos, até que sua demanda por oxigênio se reduza ao mesmo nível daquela do íon amônio (METCALF e EDDY, 1991).

O consumo de oxigênio dissolvido por oxidação de compostos carbonáceos dissolvidos e de matéria orgânica em decomposição ocorre de acordo com a reação de respiração aeróbia simplificada:



Os compostos de carbono podem também ser convertidos por outras vias dentro dos leitos. A oxidação preferencial dos compostos carbonáceos é seguida pela nitrificação de amônia dissolvida na área e daquela gerada por mineralização de compostos orgânicos nitrogenados dissolvidos (METCALF e EDDY, 1991). O ataque das bactérias saprófitas à matéria orgânica gera no meio, condições de alcalinidade que são a base para a ocorrência da nitrificação. Entretanto, o oxigênio consumido na nitrificação pode ser reciclado, se ocorre a desnitrificação. Isto pode reduzir o consumo de oxigênio no processamento de nitrogênio nos leitos de 4,5 para 1,7mg O₂/L, em troca de consumo de carbono na desnitrificação (KADLEC e KNIGHT, 1996). Nos leitos, a redução de nitrato e sulfato ocorrem em ambientes anóxicos e em zonas moderadamente anaeróbias; a metanogênese ocorre em zonas extremamente anaeróbias.

A concentração de íons hidrogênio, ou pH, influencia muitas transformações bioquímicas, pois ela afeta o equilíbrio das formas de ácidos e bases ionizadas e não ionizadas, além de controlar a solubilidade de muitos gases e sólidos (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Muitas bactérias responsáveis pelo tratamento somente sobrevivem em ambientes com pH entre 4,0 e 9,5 (METCALF e EDDY, 1991); as bactérias desnitrificantes preferem os ambientes com pH entre 6,5 a 7,5; enquanto as nitrificantes preferem pH igual ou maior que 7,2.

Em adição ao controle de vários processos biológicos, o pH é também um determinante de várias reações químicas importantes, a saber:

- um pH teórico de 6,3 favorece a precipitação de fosfato de alumínio (AlPO_4);
- um pH teórico de 5,3 favorece a precipitação de fosfato de ferro [$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$];
- íon amônio se transforma em amônia livre a pH acima do neutro e altas temperaturas;
- protonação do fósforo muda com o pH;
- Os precipitados de hidróxido e oxihidróxido de alumínio e ferro são sensitivos ao pH.

Não há evidências de flutuações diurnas de pH em áreas de alagados contendo vegetação emergente densa. As substâncias orgânicas geradas dentro dos leitos através do ciclo de crescimento, morte e decomposição são a origem da sua acidificação natural.

Como consequência, o sistema água-meio suporte dentro do leito é tamponado especialmente em relação a substâncias básicas presentes no fluxo de entrada (KADLEC e KNIGHT, 1996).

3.10 A assimilação de poluentes pelo leito cultivado

Os mecanismos de assimilação de poluentes nos leitos dependem principalmente do suprimento de oxigênio para os microorganismos, da condutividade hidráulica e das condições químicas do meio suporte (HABERL et al., 1995). A maioria das transformações químicas ocorridas nos leitos é controlada pelos microorganismos presentes, através da produção de enzimas e catalisadores (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Os processos de degradação da matéria orgânica nas águas são governados por vários aceptores de elétrons disponíveis no meio, sendo que o sistema utiliza aquele que produz a mais alta quantidade de energia. Por essa razão, o oxigênio dissolvido é utilizado primeiramente, fazendo com que o sistema deixe de ser aeróbio. Caso haja nitratos disponíveis no meio líquido, os organismos aparelhados para utilizá-los na respiração passam a fazê-lo convertendo o nitrato a nitrogênio gasoso (desnitrificação), condição anóxica (ausência de O₂ dissolvido e presença de nitratos). Quando se extingue têm-se as condições anaeróbias estritas, sendo utilizados os sulfatos, que são reduzidos a sulfetos, e o CO₂ que é convertido a metano. Enquanto houver substâncias de maior liberação de energia as outras não serão utilizadas [ARCEIVALA (1981), citado por VON SPERLING, 1996]. A seqüência de transformações que ocorrem no tratamento de águas residuárias é função do acceptor de elétrons e do estado de oxidação do composto, medido pelo seu potencial de oxidação-redução (expresso em mV) como mostra a figura 6.

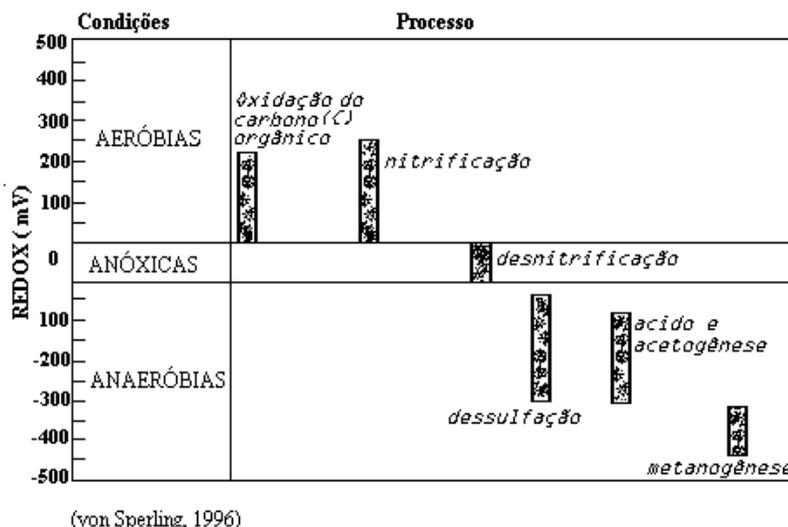


Figura 6 – Processos de remoção da matéria orgânica em função dos aceptores de elétron e do Potencial REDOX (mV).

A seguir apresenta-se na tabela 3 uma relação dos aceptores de elétrons típicos.

Tabela 3 - Aceptores de elétron típicos das reações de oxidação no tratamento de esgotos (listados em ordem decrescente de liberação de energia) (Von Sperling, 1996).

Condições	Aceptor de elétron	Forma do aceptor após reação	Processo
Aeróbias	Oxigênio (O ₂)	H ₂ O	Metabolismo aeróbio
Anóxicas	Nitrato (NO ₃ ⁻)	Nitrogênio gasoso (N ₂)	Redução de nitratos (desnitrificação)
Anaeróbias	Sulfato (SO ₄ ²⁻)	Sulfeto (H ₂ S)	Redução de sulfatos (dessulfuração)
	Dióxido de Carbono (CO ₂)	Metano (CH ₄)	Metanogênese

3.11 Relação dos sólidos suspensos e da turbidez

O alcance da turbidez de uma água é devido à presença de partículas em suspensão e coloidais, tais como: argila; silte; limo; matéria orgânica; plâncton; organismos microscópios; carbonato de cálcio, e outros (NOUR, 1996). Muitos poluentes das águas residuárias tais como metais e compostos orgânicos, são associados a estas partículas em suspensão e coloidais.

Os leitos de escoamento subsuperficial são consistentemente efetivos na redução de elevadas concentrações de sólidos suspensos (KADLEC e KNIGHT, 1996), através dos processos físicos encerrados em uma filtração em meio granular (METCALF e EDDY, 1991): sedimentação nos interstícios, retenção por constrição do fluxo (filtração) e colisão com adesão a grânulos do meio suporte (causada por forças entre partículas). As baixas velocidades do fluxo, somadas à presença de vegetação e da brita usada como meio suporte, promovem os processos descritos.

Nos leitos ocorre também geração de material particulado. As partes submersas das macrófitas: raízes e rizomas produzem fragmentos e detritos por decaimento e morte, o mesmo acontecendo com algas, fungos e bactérias. Estes microorganismos são irregularmente distribuídos dentro dos leitos, sendo concentrados na região de alimentação e próximos ao fundo dos leitos (KADLEC e KNIGHT, 1996).

3.12 Os compostos carbonáceos orgânicos presentes

O consumo de compostos de carbono nos leitos se dá tanto por processos aeróbios quanto anaeróbios. Compostos de carbono degradáveis são rapidamente utilizados nos processos de carbono nos leitos. Ao mesmo tempo, uma variedade de processos de decomposição produz carbono disponível. Em geral, as quantias de carbono cíclica nos leitos excedem em muito as quantias presentes nas águas residuárias (KADLEC e KNIGHT, 1996).

O desenvolvimento da vegetação nos leitos requer dióxido de carbono, CO_2 , para fotossíntese. Por outro lado, muitas rotas à produção microbiana de CO_2 , bem como de metano, CH_4 , nos leitos. Estes dois gases são dissolvidos na água a uma certa extensão, e, portanto há transferência ativa de carbono entre a água e a atmosfera (KADLEC E KNIGHT, 1996).

Nos leitos com escoamento subsuperficial a incorporação de carbono aos tecidos das plantas ocorre cinco vezes mais rápida que nos leitos com escoamento superficial (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Quando os leitos são sobrecarregados por constituintes que demandam oxigênio ou são operados com uma coluna de água muito profunda, as condições do meio suporte se tornam altamente redutoras, prevenindo a nitrificação (WOOD, 1995). Por outro lado, condições subsuperficiais oxidativas favorecem a nitrificação, tornando insignificante a concentração de ferro (Fe^{+2}), manganês (Mn^{+2}) e sulfeto (HS^-) nas águas residuárias.

3.13 A participação do nitrogênio (N)

As formas de nitrogênio inorgânico de maior importância para sistemas de alagados são amônia (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO_2 ou N_2O_4), gás nitrogênio (N_2), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-); os quatros primeiros apresentam-se no estado gasoso dissolvido. As formas orgânicas de maior importância incluem produtos naturais como aminoácidos, animais, uréia, purinas e pirimidinas (APHA, AWWA & WPCF, 1992; KADLEC e KNIGHT, 1996). Todas estas formas de nitrogênio são bioquimicamente interconvertíveis e são componentes do complexo ciclo de nitrogênio nos leitos cultivados.

O gás nitrogênio e óxido nitroso são quase que completamente inertes em se tratando de eutrofização e toxicidade das plantas; óxido nitroso é um produto intermediário da desnitrificação. Óxido nítrico reage com a água para formar o íon NO_3^+ (KADLEC e KNIGHT, 1996).

A amônia é a forma de nitrogênio mais reduzida, que pode estar ionizada (NH_4^+) ou não ionizada (NH_3), dependendo da temperatura e do pH da solução. O NH_4^+ é predominante nos leitos cultivados expostos a temperaturas médias de 25°C e pH próximo de 7; nos leitos cultivados, ele pode ser removido da solução através de troca de cátions com detritos, sedimentos inorgânicos e meio suporte.

A amônia é importante em leitos cultivados e outras águas superficiais por três razões (MANSOR, 1998):

- entre formas de nitrogênio nutriente, ela é a preferida da maioria das macrófitas e das bactérias autótrofas;
- quimicamente ela é reduzida e portanto pode ser prontamente oxidada em águas naturais, resultando em consumo de oxigênio;
- amônia não ionizada é tóxica a muitas formas de vida aquática em baixas concentrações ($>0,2$ mg/L).

Nitrato é a forma de nitrogênio de maior estado de oxidação presente nos sistemas de leitos. Ele é um nutriente essencial para muitos organismos autótrofos fotossintéticos, porém em excesso conduz as águas superficiais à eutrofização. Em águas residuárias domésticas, o nitrato ocorre em pequenas concentrações (TROTTER, E.A., THOMSON, B., COLEMAN, R., 1994). Ele é absorvido por argilas minerais, porém a competição com outros íons pode levar à sua desorção (HABERL et al, 1995).

Nitrito é uma forma de nitrogênio em estado de oxidação intermediário (+3) entre amônia (-3) e nitrato (+5). Por ser quimicamente instável, ele é encontrado em concentrações muito baixas na maioria dos leitos cultivados (AAPHA, AWWA & WPCF, 1992).

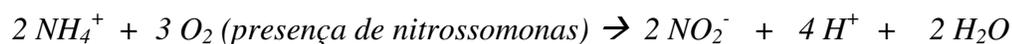
Segundo MANSOR (1998), nos sistemas de leitos cultivados, o nitrogênio é mobilizado pelos processos físicos de decantação e suspensão de particulados, deposição a partir da atmosfera, difusão de formas dissolvidas, assimilação e translocamento pelas plantas, volatilização da amônia, adsorção de nitrogênio solúvel pelo meio suporte, liberação

através de sementes, migração de organismos e acumulação resultante do decaimento das plantas. A volatilização da amônia pode ser limitada nos leitos de escoamento subsuperficial.

Os principais processos de transformação química do nitrogênio ocorridos nos sistemas de leitos são (MANSOR, 1998):

- amonificação – transformação biológica de nitrogênio orgânico a amônia, com liberação de energia. As bactérias heterotróficas responsáveis por esta decomposição são mais eficientes em condições aeróbias, porém também agem em ambiente anaeróbios; elas são encontradas associadas especialmente às raízes das macrófitas. Este complexo processo de mineralização ocorre mais rápido que a nitrificação; sua temperatura ótima está entre 40 e 60°C e seu pH entre 6,5 e 8,5.

- nitrificação – processo de oxidação microbiológica da amônia, sendo o principal mecanismo de transformação da amônia em leitos cultivados; ocorre mesmo em ambientes com baixas concentrações de oxigênio (0,3mgO₂L⁻¹). Consiste dos dois estágios:



Segundo MANSOR (1998), a nitrificação está limitada a aproximadamente 0,8 g Nm⁻²d⁻¹ nos leitos de escoamento subsuperficial, de acordo com a estimativa da quantidade de oxigênio liberado pelas raízes das macrófitas.

- Desnitrificação – redução do nitrato ou nitrito, com produção de gás nitrogênio, óxido nitroso ou óxido nítrico. É um processo essencial, complementar ao metabolismo heterotrófico, que ocorre na ausência de oxigênio dissolvido ou livre (ambientes anóxicos), sendo mais comumente realizado por bactérias heterotróficas dos grupos *bacillus*, *enterobacter*, *micrococcus*, *pseudomonas* e *spirillum*. O decaimento da biomassa nos leitos provê o carbono, fonte de energia necessária à desnitrificação, porém compete com a nitrificação pelo oxigênio.

- Fixação biológica – processo de redução de gás nitrogênio (difundido no meio aquático) a amônia, realizado por bactérias autotróficas ou heterotróficas, algas e plantas mais evoluídas, sob condições anaeróbias. Sua ocorrência nos leitos está especialmente associada com plantas, porém, as taxas de transformação de nitrogênio por fixações aí ocorridas são normalmente negligenciáveis.

- Assimilação – vários processos biológicos de conversão de nitrogênio inorgânico a compostos orgânicos (formadores de células e tecidos nas plantas superiores, algas e microorganismos). Na maioria das vezes, a absorção de nitrato pelas plantas de leitos é menos favorecida que a absorção de íons amônio, porém ela pode ser favorecida quando as águas residuárias são ricas em nitrato. As macrófitas utilizam enzimas para converter o nitrogênio oxidado a formas utilizáveis; a produção destas enzimas decresce quando íon amônio está presente.

A biota – macrófitas, microfauna e microflora – presente nos leitos de escoamento subsuperficial absorve nitrato e íon amônio das águas residuárias. As formas de nitrogênio liberadas na coluna d'água pela decomposição da biota são presumivelmente nitrogênio orgânico e íon amônio; a maior parte do nitrogênio orgânico liberado é prontamente hidrolisado por processos químicos ou microbiológicos, sendo transformado em amônia (MANSOR, 1998). A decomposição da biota na superfície do meio suporte dos leitos, em contato com a atmosfera, favorece a ocorrência de processos oxidativos como a nitrificação.

Em um leito cultivado, a quantidade de nitrogênio presente na coluna d'água é calculada somando-se o valor do NTK (amônia e nitrogênio orgânico) às concentrações de nitrato e nitrito. Nos detritos, meio suporte e tecidos biológicos, a quantidade total de nitrogênio encontrada é aproximadamente igual ao NTK, uma vez que a forma de nitrogênio aí predominante é dos compostos orgânicos solúveis e insolúveis. A quantidade de nitrogênio orgânico em uma amostra de água é funcionalmente estimada pela subtração da concentração de $\text{NH}_4\text{-N}$ do valor do nitrogênio total Kjeldahl.

O estudo do mesocosmo de vários leitos com escoamento subsuperficial, cultivados com espécies distintas de macrófitas e tendo brita como seu meio suporte, determinou cerca de 25% da remoção de nitrogênio ocorrida por imobilização e 75% por desnitrificação (ZHU e SIKORA, 1994).

3.14 A relação do Fósforo (P) no leito cultivado

A ocorrência de fósforo em águas naturais e em águas residuárias se dá quase que exclusivamente na forma de fosfato (PO_4)³⁻. Os fosfatos são classificados como ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, e outros polifosfatos), e fosfatos ligados a compostos

orgânicos (APHA; AWWA & WPCF, 1992). Eles são encontrados em solução, em partículas ou detritos, ou em tecidos de organismos aquáticos (bactérias, fungos, algas, micro-invertebrados, macrófitas); fosfatos também estão presentes em sedimentos no fundo de corpos de água e em lodos biológicos, tanto sob forma inorgânica precipitada como incorporados a compostos orgânicos, formando complexos organofosforados refratários (APHA et al., 1992). Todas estas formas de fósforo se interconvertem através de um complicado ciclo bioquímico que envolve muitas rotas (MITCHELL et al., 1995). De modo geral, a reciclagem do fósforo nos leitos cultivados é eficiente.

Fósforo reativo solúvel é assimilado pelas plantas e convertido a fósforo orgânico estrutural, podendo voltar à forma solúvel se a matriz orgânica é oxidada; o estoque e a translocação de fósforo nos tecidos das plantas varia sazonalmente (MITCHELL et al., 1995). As raízes das plantas contêm uma fração significativa de fósforo ativo; porém, a maioria do fósforo assimilado pelas plantas retorna à água por processos de decomposição (KADLEC e KNIGHT, 1996).

O fosfato pode também ser absorvido nos sedimentos, e neste caso as formas de fósforo precipitadas e insolúveis podem ser redissolvidas com a alteração das condições ambientais; a mineralização do fósforo é muito complexa, porém apresenta as seguintes tendências (MANSOR, 1998):

- em meio suporte ácido, fósforo pode ser fixado por alumínio ou ferro;
- em meio suporte alcalino, fósforo pode ser fixado por cálcio ou magnésio;
- condições redutivas conduzem à solubilização de minerais de ferro e liberam fósforo.

Nos leitos, a maioria do fósforo encontrado na coluna de solo é estrutural, fortemente ligado, na forma orgânica ou inorgânica, este fósforo não está disponível para uso nos ciclos bióticos normais. A quantia de fósforo encontrada em solução ou adsorvida é um reflexo do potencial redox, que varia dentro do leito (MANSOR, 1998).

As águas residuárias apresentam-se normalmente desbalanceadas em relação aos requerimentos de nutrientes dos ecossistemas aquáticos, que numa proporção molar em relação ao carbono são C:N:P = 106:16: 1, ou na proporção de massa são C:N:P = 41:7:1. Na maioria das vezes, o fósforo está presente em excesso, e por ser um elemento nutriente estimula o desenvolvimento da biomassa (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Analiticamente, a quantidade total de fósforo nos leitos de escoamento subsuperficial é igual à soma de fósforo dissolvido e suspenso nas águas residuárias. A sedimentação de fósforo particulado e adsorção de fósforo solúvel são os processos de remoção básicos que ocorrem nos leitos. O desempenho de remoção aí ocorrida é quase que independente da temperatura, porém é dependente do pH e tem um padrão sazonal evidente, por causa da translocação de nutrientes para os rizomas, realizado por algumas espécies de macrófitas (KADLEC e KNIGHT, 1996).

O fósforo entra nos leitos com o fluxo de alimentação e por deposição atmosférica; sai dos leitos com o fluxo de saída e por liberação gasosa de PH_3 (KADLEC e KNIGHT, 1996). Ele pode se tornar disponível no leito através de ligação química ou difusão da solução.

O acúmulo de biomassa residual e mineral nos mecanismos de estocagem contribui para a remoção de fósforo dos leitos. Além disso, certa quantidade de fósforo pode ser removida com o corte da vegetação dos leitos (MANSOR, 1998).

A composição do meio suporte presente no leito de escoamento subsuperficial é muito importante no que diz respeito à remoção de fósforo por processos de adsorção. Materiais ricos em ferro, alumínio, carbonato de cálcio e argilas especialmente preparadas podem ser empregadas numa melhora do mecanismo de remoção de fósforo (COOPER, 1993; KADLEC e KNIGHT, 1996).

3.15 Coliformes totais e fecais presentes no afluente

Os microorganismos patogênicos presentes nas águas residuárias são eliminados através de significativo decaimento natural e das condições ambientais desfavoráveis a que são expostos nos leitos cultivados (temperatura e substâncias químicas desfavoráveis), através de adsorção e filtração pelo meio suporte e sedimentação (REED, 1988; KADLEC e KNIGHT, 1996).

A eficiência na remoção de bactérias nos leitos é uma função da população afluente: ela é tipicamente alta quando a população afluente o é, mas declina para eficiências negativas quando a população afluente é mais baixa que as taxas de produção de bactérias *in situ* (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Em geral, as tecnologias naturais de tratamento reduzem de forma mais eficaz as comunidades de patogênicos quando operadas com tempos de residência maiores e de modo mais intensivo em termos de área. Os sistemas de leitos cultivados aparentam ser mais efetivo na eliminação de patogênicos que as lagoas facultativas e outros sistemas naturais de tratamento, por proporcionarem mais contato físico entre os patógenos e as superfícies sólidas (KADLEC e KNIGHT, 1996).

3.16 Transpiração Vegetal

A transpiração vegetal é de vital importância para se saber o grau de desenvolvimento foliar de qualquer planta. Estando ligada indiretamente a taxa de fotossíntese.

No estudo de leitos cultivados com o uso de macrófitas, infelizmente não se tem trabalhos relacionados com o sistema ecofisiológico da planta, o que leva a tentar-se comparar com estudos de outras culturas para se avaliar o grau de variação ecofisiológica da macrófita.

DAUZAT et al. (2001) descreveram as representações de plantas virtuais utilizadas como a base de um modelo de simulação da transpiração foliar e do fluxo de seiva para os pés de café arábico em Turrialba Valley na Costa Rica. As plantas virtuais forneceram uma descrição detalhada da geometria e da topologia das mesmas, capacitando uma reconstrução altamente realista de uma parte da cobertura vegetal da cultura em questão. O modelo permite a simulação da condutância estomática além do balanço hídrico em nível foliar a fim de calcular a sua transpiração, então a transpiração foliar é acumulada para se obter o fluxo de seiva por toda a planta.

Devido às condições estruturais do modelo, é possível registrar as suas reações como o efeito da temperatura em uma determinada folha e a interferência desta sobre a condutância estomática, transpiração e o potencial hídrico.

O modelo gera imagens computadorizadas por meio de posicionamento 3D analisando a área e o diâmetro dos órgãos de grupos de árvores adultas de café plantadas em linha. Para a validação e parametrização do modelo foram medidos a condutância estomática, fluxo de seiva, potencial hídrico e a condutividade hidráulica.

A variedade escolhida foi a caturra devido ao crescimento vertical limitado (menor que 2 m). O cafezal em questão foi plantado em 1983, depois das mudas estarem em viveiros por um ano. Como relatado anteriormente as árvores foram plantadas em linhas com distância entre elas de dois metros, arrumadas em grupos de até 3 plantas (média de 2,07) ao longo das linhas com um espaçamento de 0,85 m entre os grupos.

As arquiteturas de 11 árvores de café foram detalhadas em 3 anos de ciclos de podas distribuídos em 6 grupos consecutivos ao longo da fila de plantio. Os dados meteorológicos foram coletados por meio de uma estação climática instalada a 5 m de altura em uma parcela de aproximadamente 10 m a oeste do local de medidas. Para a realização dessas medidas utilizaram-se equipamentos como: LI-200 Li-Cor para medir a radiação global, o LI-190 Li-Cor, para medir a densidade de fluxo de fóton. Medidas de velocidade do vento, umidade relativa e da temperatura do ar foram também efetuadas. A obtenção dos dados locais só foi possível após os mesmos serem utilizados em uma série de simulações.

As medidas de fluxo de seiva foram realizadas por meio da utilização de duas sondas inseridas radialmente dentro dos troncos das árvores. A sonda superior foi inserida entre 10-15 cm por baixo da segunda sonda e aquecida previamente. O fluxo de seiva no tronco é calculado pela diferença de temperatura entre as duas sondas, sobrecarregado pela área seccional em forma de cruz da sub-camada do tronco. As medidas foram realizadas de abril até maio de 1993 nas árvores já mencionadas.

O potencial hídrico da folha foi medido por meio da pressão da câmara (SCHOLANDER et al., 1965). Uma série de 220 medidas de transpiração foram realizadas de maneira livre nas folhas das árvores citadas durante 7 dias no mês de dezembro de 1992 e agosto de 1993. Um dos mais convencionais modos de medidas do potencial hídrico em elementos do xilema no caule foi usado para medir o potencial hídrico de uma folha anexada a um ponto aonde o potencial possa ser mensurado com mais facilidade (TURNER, 1981). O método utilizado consiste em bloquear a transpiração das folhas selecionadas protegendo-as por meio de um recipiente plástico e por uma folha de alumínio, nessa ordem.

Os dados de condutância estomática foram obtidos utilizando-se de um porômetro de difusão, LI-1600 Li-Cor, sendo as medidas realizadas somente na face inferior das folhas escolhidas, tomando-se o cuidado para que essas medidas fossem realizadas sob

condições estáveis, particularmente às condições radiativas. Foram 5 o número de medidas realizadas, no período compreendido entre dezembro de 1992 a agosto de 1993, totalizando 16 dias, obtendo-se 721 medidas simultâneas de condutância, temperatura da folha e da iluminação artificial no espectro da radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Já as medidas de potencial hídrico se restringiram a 220 casos entre as 721 medidas descritas acima, distribuídos também em 5 ocasiões.

A condutividade hidráulica medida em amostras de caule em laboratório consistiu na aplicação de uma pressão em suas extremidades de 1 m de coluna de solução de ácido oxálico.

As medidas foram realizadas dentro de uma área uniforme de 12 hectares. O solo em questão apresenta um horizonte único muito profundo. A média anual de chuvas em Turrialba é de 2600 mm distribuídas ao longo de duas estações, a estação chuvosa se concentra de maio a novembro e a outra relativamente seca de dezembro a abril. A temperatura média anual é próxima de 22°C.

Os valores encontrados para os parâmetros da função da condutância estomática em relação à diferença de pressão de vapor de água entre a folha e o ar foram de 17 e 15. A condutância estomática máxima observada foi de $450 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. A temperatura foliar máxima para o fechamento dos estômatos foi de 41°C e a mínima de 15°C.

O modelo previu de maneira satisfatória a transpiração, temperatura foliar nas árvores de café e os gradientes de potencial de água no interior da plantas.

O modelo apresentou limitações no sistema solo-raíz e também no fato da transpiração ser simulada para somente um indivíduo de cada vez, em condições iguais o mesmo não é capaz de determinar o calor e o início do vapor de água na escala da cobertura vegetal.

ANANDACOOMARASWAMY et al., (2000) observaram em um procedimento experimental os fatores que influenciaram nas taxas de transpiração do chá maduro clonal (*Camellia sinensis L.*) estimando a sua eficiência. A técnica utilizada para a determinação dessas taxas de transpiração foi a de pulsos quentes em plantas de chá crescidas no campo, na região de Talawakelle, no estado de St Coomb's no instituto de pesquisa do chá no Sri Lanka durante o período de 01 de janeiro a 19 de fevereiro de 1997. O chá no Sri Lanka é cultivado em altas e em baixas altitudes, a região é caracterizada pela alta taxa de umidade

o que atende um dos pré-requisitos para o plantio dessa cultura, onde a exigência mínima é de 1200 mm de chuva ao ano, a taxa ótima está na faixa de 2500 a 3000 mm. No Sri Lanka essa taxa está acima dos 2000 mm ao ano.

Altas taxas de transpiração de extensas coberturas vegetais do chá na região causaram significativos déficits de água no solo no qual são responsáveis pelo decréscimo das taxas de expansão foliar. Mesmo quando o solo está na umidade ideal à excessiva taxa de transpiração resultante dos altos níveis de radiação solar e déficits de saturação próximos ao meio-dia podem causar déficits de água transitório no interior da planta (KRAMER, 1998; SMITH et al., 1994).

A produção de biomassa das plantas de chá é diretamente proporcional à transpiração (DE WIT, 1958). O déficit de vapor de pressão saturado do ar exerceu uma influência significativa na eficiência de transpiração de uma safra pelo controle do gradiente de pressão de vapor saturado da água entre uma câmara sub-estomática foliar e o ar do lado de fora (JONES, 1992).

A região de realização do experimento apresentou uma capacidade de campo de 44% e o ponto de murcha permanente de 26%. A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram definidos como o conteúdo de água no solo e os potenciais matriciais de -0.01 e -1,5 MPa, respectivamente. O conteúdo de água disponível no solo foi definido como a diferença entre conteúdo de água no solo e a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. O perfil do solo continha aproximadamente 200 mm de água disponível no primeiro metro de profundidade.

As plantas de chá maduras crescidas no campo do clone TRI 2025 foram usadas para as medidas. As plantas de chá cresceram sob a sombra de árvores da espécie *Grevillea robusta* com espaçamento de 12 x 12 m. Os lotes experimentais foram de 8 x 6 m e as plantas de chá estavam com espaçamento de 1,2 x 0,6 m. A disseminação da cobertura das árvores de *Grevillea* foi de aproximadamente 5-6 m de diâmetro enquanto que o diâmetro das plantas de chá foi de 1,0-1,2 m. No entanto as plantas de chá formaram uma contínua cobertura aplainada de 0,8-1,0 m de altura por meio do plantio dessas plantas em um espaçamento fechado. Em contraste a *Grevillea* foi plantada com um espaçamento mais dilatado formando uma descontínua cobertura com altura de aproximadamente 12-15 m.

A descrição do método de medidas de transpiração se baseia como relatado anteriormente nos pulsos quentes, onde ocorre à medição do tempo solicitado para um pulso quente aplicado em um ponto determinado do caule para ser transferido a um outro ponto com uma certa distância entre eles, com isso pode-se determinar a taxa de fluxo de seiva do xilema. A densidade de fluxo de seiva é então calculada usando o fluxo geométrico, a área de secção cruzada e a velocidade do fluxo (SWANSON, 1994).

As taxas de transpiração foram influenciadas por tratamentos impostas aos lotes experimentais em diferentes períodos de medidas. Esses lotes apresentavam uma dimensão de 8 m por 6 m na qual se aplicaram diferentes níveis de sombreamento (25, 60, 80 e 85%). Após uma semana de imposição dos tratamentos de sombreamento, a transpiração foi medida simultaneamente após um período de 3 dias.

Foi medida também a variação das taxas de transpiração em relação à água contida no solo a uma profundidade de até 15 cm partindo da superfície do solo, no período de 01 de janeiro a 14 de fevereiro de 1997. A água contida no solo decaiu da capacidade de campo de 44% no dia 1^o a 15% no dia 23 de janeiro. A taxa de transpiração também mostrou uma similaridade de comportamento à capacidade de campo, caindo de 1,591 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ por planta para 0,71 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ por dia.

Quando a água contida no solo se aproximou à capacidade de campo, as taxas de transpiração máxima foram de 0,53 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ a 0,931 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ por planta. A máxima correspondente quando a água contida no solo ficou próxima ao ponto de murcha permanente esteve na faixa de 0,27 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ a 0,531 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ por planta ao dia. Já a eficiência de transpiração nas plantas de chá foi de 9,637 $\text{Kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ de água transpirada apresentando uma relação linear entre a produção foliar e a transpiração vegetal.

Com respeito a água contida no solo foi identificado que a transpiração do chá não diminuiu significativamente até que essa água contida alcançasse um valor limite de 33% correspondendo a uma depleção de 65% da água disponível no topo da camada superficial (0 a 15 cm). Na verdade este valor de limitação da água disponível também depende da demanda de vapor de água na atmosfera (DENMEAD & SHAW, 1962) determinado pela radiação solar, déficit de pressão de vapor de saturação (DPVS) e resistência da camada limite (PENMAN, 1948).

O decréscimo das taxas de transpiração com o decaimento da disponibilidade da água no solo pode ser creditado a uma combinação de vários fenômenos tal qual o aumento da resistência da cobertura (MONTEITH et al., 1965), incremento da resistência hidráulica no interior do xilema e o aumento da resistência da interface solo-raíz. (PASSIOURA, 1988 a)

Outros fatores que influenciam na transpiração do chá são a radiação solar, no qual o principal fator de origem da transpiração é a energia utilizada para a evaporação da água na cobertura da planta. A sensibilidade da transpiração respondendo à radiação é dependente do grau de união da cobertura vegetal do chá com o ambiente (McNAUGHTON & JARVIS, 1986), a sensibilidade é aumentada com a diminuição da união.

O valor da eficiência de transpiração para as folhas de chá nesse experimento ($9637 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) é maior do que a abrangência da eficiência do uso da água de 1,5 a $5,2 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (STHEPHENS & CARR, 1991)

Foi concluído que as taxas de transpiração da cobertura vegetal do chá adulto sob condições hídricas favoráveis foram determinadas conjuntamente pelos níveis de radiação solar e pela disponibilidade de água contida no solo. Nas condições de solo e atmosfera as áreas de crescimento do chá em altitudes elevadas no Sri Lanka, próximo a 65% de disponibilidade de água no solo. A diminuição da taxa de transpiração com a diminuição da radiação a uma taxa de 0,031 litros por planta ao dia por porcentagem de redução na radiação solar. A estimativa da eficiência da transpiração do chá para o ambiente é de $9637 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ da água transpirada.

MEIRESONNE et al., (1999) estudaram o fluxo de seiva por meio da simulação da transpiração para o poplar híbrido (*Populus trichocarpa x P. deltoides*) plantado no leste dos Flandres na Bélgica mais precisamente em Balegem no ano de 1997, onde a altitude da região atinge 45 m sobre o nível do mar. O local do experimento é caracterizado por uma área arborizada de 1,5 ha, a área apresenta um relevo plano, o solo é moderadamente gleico-argiloso com degradação textural do horizonte B. Em 1984 foi plantado aproximadamente 1 ha de poplar clonados (*Populus trichocarpa x P. deltoides cv Beaupré*) com dois anos de idade enquanto que no restante da área plantou-se (*Populus trichocarpa x P. deltoides cv Boelare*), o espaçamento utilizado foi de 7 m por 7,5 m. As condições

climáticas da região foram obtidas por uma estação localizada a poucos metros da área em questão. A transpiração foi medida por técnicas de fluxo de seiva em árvores individuais utilizando-se também de simulações no modelo WAVE (Water and Agrochemicals in soil, crop and Vadose Environment) de balanço hídrico. Esse modelo especificamente descreve o transporte e a transformação da substância e energia no solo. O modelo consistiu de diferentes módulos baseados nas propriedades hidráulicas do solo, estes por sua vez incluíram a retenção da umidade do solo descrito pelo modelo de função de energia van Genuchten (GENUCHTEN, 1980; GENUCHTEN e NIELSEN, 1985).

A transpiração real é limitada pela transpiração potencial nunca tendo sido maior do que a última, desde que o programa WAVE foi originalmente desenvolvido para culturas agrícolas, apesar do modelo ser calibrado para condições florestais (HUBRECHTS et al., 1997). Por fim há que se relatar que o modelo gera valores diários e cumulativos de evaporação, transpiração e evapotranspiração e integrado aos fluxos de água e a mudança de armazenamento de água abaixo da camada superficial.

Para as medidas de fluxo de seiva em árvores selecionadas para tal utilizou-se do método da deformação a quente no campo com o aquecimento radial linear e um sensor combinado, que consistiu de um aquecedor (fio com resistência isolada) e dois ou três termopares, situados próximo ao aquecedor. Para as medidas de rotina do fluxo de seiva (fluxos diurnos dinâmicos), sensores padrões foram inseridos dentro de camadas da árvore com profundidades conhecidas. O taxa de fluxo de seiva foi medida para seis camadas de profundidade (tomando como parâmetro a camada superficial), as diferenças de temperatura foram medidas a cada minuto e registradas as médias depois de 15 minutos de intervalo (ocasionalmente durante estudos intensivos depois de 1 minuto de intervalo) por um datalog.

A transpiração da unidade de área local (tronco) para toda a plantação foi obtida por meio de dados do fluxo de seiva de árvores pré-escolhidas baseado na amostra local. O processo de obtenção desses dados foi descrito com maior riqueza de detalhes por CERMAK et al. (1997, 1998) e por CERMAK e KUCERA (1987, 1990), mais um resumo dos procedimentos seguidos. A média diária da taxa de fluxo de seiva em árvores escolhidas em uma população foi relatada para a área basal e alternadamente para a área principal das árvores da amostra escolhida.

Os fluxos de seiva entre os pontos medidos foi mínimo devido ao fato do caule das árvores ser praticamente simétrico. O fluxo máximo de seiva ocorreu próximo ao meio do tronco nas árvores pesquisadas. As médias das transpirações das árvores pesquisadas possibilitou que regressões lineares e curvilíneas fossem realizadas, mostrando uma combinação satisfatória, mas a aplicação da equação curvilínea foi encarada como mais confiável especialmente para as árvores maiores e menores no local de estudo.

Um importante fator na mensuração da transpiração é o déficit de pressão de vapor saturado (DPVS), que foi de médio para alto, com máximo de 12 kPa e próximo a zero durante a noite, especificamente, o fluxo de seiva alcançou altos valores de pico durante o dia e níveis médios de fluxo durante a noite (cerca de 10% dos valores diurnos).

Nos dias 09 e 10 agosto os valores de fluxo de seiva noturnos foram 15% maiores que os valores diurnos sendo estes altamente sensíveis a pressão de vapor saturado, nesses dias as transpirações medidas foram menores que as estabelecidas pelo modelo. As variações diurnas das taxas de fluxos de seiva foi coerente com o fechamento dos estômatos próximo ao meio dia, em resposta ao estresse hídrico, no entanto, o modelo não reproduz efeitos semelhantes. O modelo apresentou bons resultados para valores baixos de transpiração diária quando comparados a valores medidos unicamente isto é, subestimando a transpiração medida. Já nos dias com eventos de precipitação, o efeito da mesma nas taxas de transpiração do modelo foi dependente da quantidade e do momento da precipitação. Quando a precipitação foi maior que 1mm o modelo desviou da precipitação medida quando a chuva não caiu durante o período de ocorrência de transpiração com isso o modelo previu transpiração zero, embora as medidas de fluxo de seiva mostraram um nível de transpiração bastante alto. Nos dias com chuvas densas e concentradas em um curto período específico diurno com uma persistente demanda evaporativa a simulação da transpiração foi deficiente. Nos dias em particular com alta precipitação distribuída ao longo do período com ocorrência de baixa radiação solar e demanda evaporativa o modelo WAVE simulou de maneira satisfatória a transpiração do local. Tipicamente esses dias foram caracterizados com baixos valores de pressão de vapor saturado. Nos dias chuvosos as taxas de fluxos de seiva são baixas, permanecendo baixas por um tempo após o evento chuvoso.

GRANTZ e MEINZER (1991) avaliaram as reações dos estômatos à umidade utilizando a técnica de razão de Bowen para o ajuste da transpiração da cana-de-açúcar no campo, por meio do conhecimento da radiação líquida, da condutância da cobertura e da evapotranspiração do dossel da cultura em questão, interagindo com os fatores ambientais e ecofisiológicos na regulação da perda de água. A razão de Bowen na técnica de balanço de energia avalia as respostas dos estômatos à umidade na ausência do potencial instrumental associado com o porômetro e a dimensão da câmara foliar.

Esse experimento foi realizado em uma área de 140 ha plantada com cana-de-açúcar (*Saccharum spp. hybrid; cv. H65-7052*) localizado perto de Waipahu (Oahu) Hawaii, o plantio ocorreu no mês de maio de 1987 com segmentos de caule com 3 nódulos. À distância entre as linhas variava alternadamente de 0,9 e 2,1 m, não ocorrendo estresse hídrico, pois se lançou mão da irrigação por gotejamento entre linhas a cada 72 horas. O solo da área era um Molokai silte argiloso calcário (*Typic Torrox*). As medidas se concentraram nos meses de setembro, outubro e novembro do mesmo ano, com a idade da lavoura em 3,5; 4,5 e 5,5 meses. Os dados climáticos foram obtidos graças a uma estação climática alocada 7 metros acima da plantação. Parâmetros como a densidade de fluxo do fóton fotossinteticamente ativo foi medido com um sensor quantum (LiCor, Lincoln, NE).

As medidas agrometeorológicas demonstraram os cursos paralelos da radiação líquida e a evapotranspiração em uma área abrangente plantada com cana-de-açúcar. Essa relação fechada entre a energia disponível e a perda de água, tem sugerido para muitos observadores que a radiação líquida controla a transpiração, sobrando uma pequena função para as propriedades reguladoras estomatais. As reações estomatais na cana-de-açúcar são impulsionadas pela densidade de radiação fotossinteticamente ativa, relacionado intimamente com a radiação líquida.

O aumento da condutância do dossel com a radiação líquida foi similar para o aumento na condutância estomática com a radiação líquida observado previamente nas medidas porométricas diretas. Nesse experimento a condutância do dossel representa uma condutância funcional, relatado para os fluxos associados a gradientes provenientes do interior da folha. A mudança na condutância do dossel nesse experimento foi largamente refletido na condutância estomática (GRANTZ e MEINZER, 1990).

A radiação líquida teve uma importância fundamental também para a definição da temperatura foliar e, portanto a diferença de pressão de vapor entre folha-ar foi relativamente estável. A relação de fechamento entre a densidade de fluxo dos fótons fotossinteticamente ativos e a radiação líquida significou uma relação de fechamento entre a densidade de fluxo e a diferença de pressão de vapor folha-ar. Nesse estudo se comprovou que a densidade de fluxo dos fótons fotossinteticamente ativos é o principal estimulador da abertura dos estômatos, enquanto que a diferença de pressão de vapor folha-ar é o estímulo principal de fechamento dos mesmos na cana-de-açúcar (GRANTZ e MEINZER, 1987) e em outras espécies (KAUFFMANN, 1982).

A relação acentuada entre a condutância do dossel (g_c) pela densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (I) e a diferença de pressão de vapor folha-ar (V), sugeriram que a condutância do dossel pode ser mecanicamente relatada para compor os parâmetros I / V , que incorporou juntamente o efeito de abertura da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos e o profundo efeito de fechamento da diferença de pressão de vapor folha-ar, na condutância estomática.

Baixos níveis de diferença de pressão de vapor folha-ar no campo, foram associados com baixos níveis de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos no qual as reações dos estômatos a densidade é mais sensível, o mais distante da saturação e o mais provável equilíbrio das reações dos estômatos a diferença de pressão.

Na superfície foliar como referência as células guardas dos estômatos respondem à condições ambientais imediatas delas. A sensibilidade das reações dos estômatos à diferença de pressão de vapor folha-ar é determinada pela magnitude das reações e pela amplitude dos estímulos impostos à superfície foliar.

Quando a disponibilidade de informações é suficiente para determinar a demanda evaporativa na superfície foliar, não existe distinção entre o uso da diferença de pressão de vapor folha-ar ou a quantidade ligada ao déficit de saturação do ar.

A radiação líquida, transpiração e condutância estomática foram demonstradas de maneira conjunta em uma série de vezes, sob condições ideais de umidade. Isso reflete um sistema reformador no qual as reações dos estômatos à luz e à demanda evaporativa conduzida a níveis de condutância do dossel que mantém a transpiração proporcional à energia disponível sem induzir no aumento do aquecimento das folhas. As reações dos estômatos à

diferença de pressão de vapor folha-ar, são uma importante componente desse sistema de ambiente no campo.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1 Seleção do gênero de macrófita

Ainda não existe um critério geral para a escolha da macrófita apropriada para um tratamento específico, sendo que é aconselhável observar as espécies presentes nas proximidades da região de onde será instalada a estação de tratamento e montar um sistema piloto com algumas destas variedades de plantas, seja em monocultivo ou em policultivo. Com o monitoramento do desempenho de cada sistema piloto pode-se determinar o que melhor realiza o tratamento das águas residuárias.

Dentre os vários tipos de macrófitas indicadas para os leitos cultivados de fluxo subsuperficial, o gênero *Typha sp* foi o utilizado para o monitoramento e acompanhamento do desenvolvimento foliar e da capacidade de absorção de substâncias presentes na água residuária, por este ser bem adaptado e abundante na região de Campinas (SP).

Esta macrófita pertencente à ordem Pandanales, ordem das monocotiledôneas, família *Typhaceae*, apresenta folhas lineares, com bainha bem desenvolvida e não tem caule lenhoso. Além da *Typhaceae*, nesta ordem há outras 2 (duas) famílias: *Pandanaceae* e *Sparganiaceae* (JOLY, 1979).

A *Typhaceae* compreende plantas herbáceas perenes crescendo em brejos e alagadiços; caule com uma porção rizomatosa rastejante e outra ereta que transporta as folhas, sendo estas sésseis (fixadas diretamente à parte principal - o rizoma), lineares, e quase todas se unirem próximas da base e possuem nervação paralela. As flores são de sexos separados e reunidas em densas inflorescências cilíndricas muito características, sendo as masculinas acima e as femininas abaixo. Possui fruto minúsculo e seco, sementes com endosperma farináceo e altura variando de 2 a 3 metros. Esta família é monotípica, contendo o único gênero *typha* que é de distribuição cosmopolita, sendo encontrado em ambos os hemisférios nas regiões temperadas e tropicais. (JOLY, 1979; LORENZI, 1982).

A *typha* 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 mil 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).

4.2 Localidade do experimento

Para o estudo das macrófitas foi utilizado o sistema de leitos cultivados desenvolvido na UNICAMP, que encontra-se implantado na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Campinas, SP, latitude S22°53'20" e longitude W47°04'40". O clima local é tropical de altitude com inverno seco e verão úmido, de acordo com a classificação Köppen (LUCARELLI, 1997).

O sistema é composto por tanque séptico modificado e de leitos cultivados com macrófitas de fluxo subsuperficial, conforme figura 7.

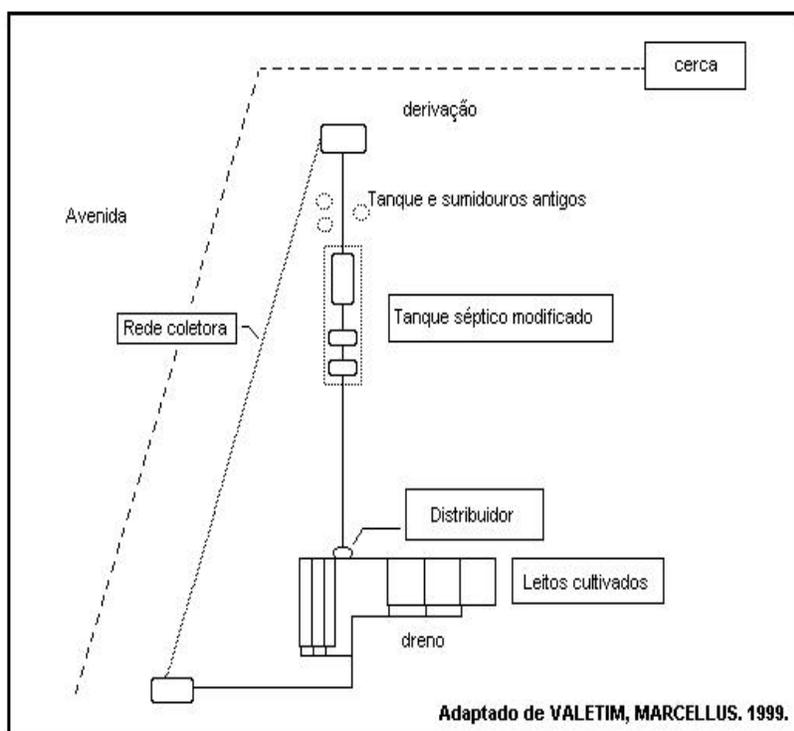


Figura 7 – Esquema geral da planta piloto do local.

O sistema de captação de esgoto da FEAGRI encontra-se a montante, figuras 8 e 9, assim facilitando o escoamento por gravidade. O tipo de fluxo adotado é o contínuo.

Existem cerca de 06 leitos cultivados (figura 7), onde há 03 de perfil retangular de dimensões 4x1m e 03 de perfil quadrado com dimensões 2x2m.

Os alagados estão distribuídos em leitos com macrófitas da espécie *Typha sp.* (01 perfil quadrado e 01 retangular) e *Eleocharis* (01 perfil quadrado e 01 retangular) e com os

dois leitos restantes (quadrado e retangular) apenas com material suporte (brita) para acompanhamento do grau de remoção de nutrientes com e sem a presença de macrófitas. Além da avaliação da eficiência quanto à espécie de planta adotada.



Figura 8 – Vista frontal da caixa de areia com as mangueiras coletoras de água residuária.

Importante salientar é o fato do sistema de esgoto da FEAGRI fornecer água residuária para um segundo sistema de leitos cultivados que utiliza o sistema de fluxo por batelada.



Figura 9 – Vista da caixa de areia onde é captado o esgoto da FEAGRI para tratamento. Ao fundo em destaque o tanque séptico modificado.

O tanque séptico é utilizado no tratamento primário (para estabilização do lodo) para posterior tratamento do resíduo nos leitos cultivados possui três câmaras em série, sendo utilizado o conceito de reator anaeróbio compartimentado com entrada do afluente

junto ao fundo dos três compartimentos, promovendo maior contato entre a biomassa a ser formada e o afluente, obtendo assim uma maior eficiência na remoção da carga poluidora com um menor tempo de detenção. O tanque em questão localiza-se acima do solo, composto por três caixas de cimento amianto, de 1000, 500 e 500 litros (figura 10) respectivamente, com entrada do efluente junto ao fundo das mesmas. As entradas foram feitas com tubos e conexões de PVC de 1”.



Figura 10 – Em destaque o tanque séptico utilizado na distribuição da água residuária.

O resíduo depois de passar pelo tanque séptico modificado, por gravidade chega até a caixa de distribuição (figura 11) que é responsável pela repartição da vazão através dos leitos cultivados. Trata-se de um sistema simples em que a água entra na caixa por gravidade e depois é dividida em dois ramos que fornecem água para cada conjunto de leitos.



Figura 11 – Vista da caixa de distribuição de vazão.

Os leitos cultivados possuem seis câmaras respectivamente, tendo três quadradas de dimensões 2x2m e três retangulares (reatores “plug flow”) de dimensões 4x1m acima da superfície do solo, em alvenaria de blocos de cimento (40x20cm), com base em concreto armado, além de revestimento interno com argamassa e impermeabilizante. Em cada leito existe um dreno com tubo de PVC de 2”, com furos de 10mm de diâmetro espaçados de 10cm em 10cm, localizados na parte superior e nas laterais do tubo, permitindo um acúmulo de líquido no interior dos leitos, impedindo assim uma drenagem total do afluente. O efluente dos leitos é captado ao final de cada leito dentro de uma calha de PVC (figura 12) que encarrega-se de enviar o esgoto para uma caixa de areia coletora. (VALENTIM, MARCELLUS. 1999)

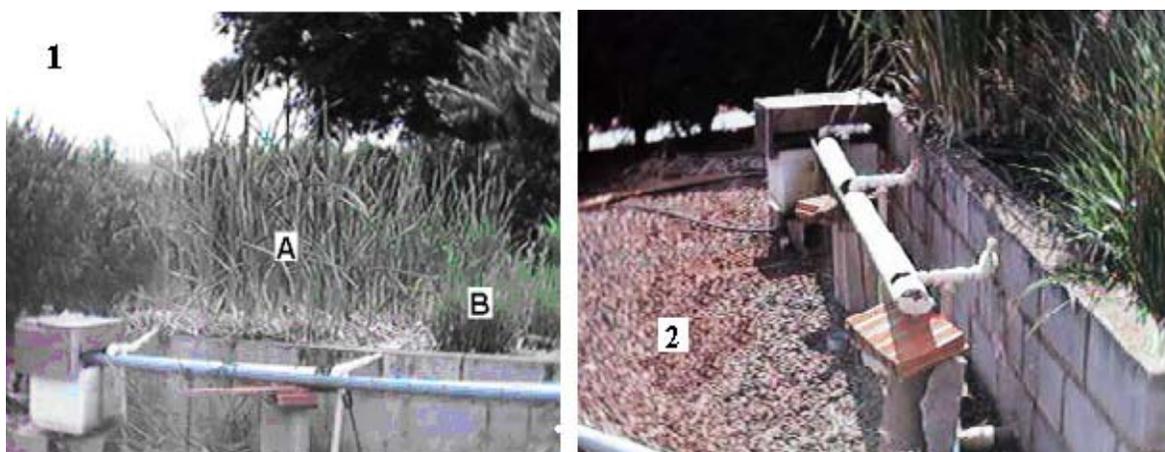


Figura 12 – Dreno do leito e detalhe da calha coletora (2) do efluente dos leitos cultivados. Em (1) observa-se um leito com *Typha sp.* (A) e um com *Eleocharis* (B).

Os leitos que foram âmbito de estudo foram os de dimensões 4x1m (figura 13) denominado para efeito de referência no estudo de leito 2 e o leito de dimensões 2x2m (figura 14) que analogamente será denominado de leito 1, cultivados com macrófita da espécie *typha sp.*, permanecendo os outros com tipos distintos de macrófitas. O material suporte utilizado no leito é brita n.º 2 (figura 13).



Figura 13 – Vista parcial dos leitos cultivados com macrófitas. Leito retangular (4x1m). Pode-se verificar a existência do material de suporte brita n.º 2 juntamente da linha em PVC que deposita afluente dentro do leito.



Figura 14 – Vista parcial dos leitos cultivados com tipos distintos de macrófitas. Em destaque do leito quadrado (2x2m) com typha.

A altura da lâmina d'água dentro de cada leito cultivado é regulada por um dispositivo com deslocamento angular de 180° em relação ao eixo y, de onde saem mangueiras de 1", que desviam o fluxo para o sistema de drenagem e deste para a rede coletora. (VALENTIM, MARCELLUS. 1999).

O destino final da água resultante do tratamento é encaminhado para um reservatório que permite a utilização dessa água pré-tratada em outros estudos científicos, como em um filtro de areia que se encontra 10 metros abaixo da estação de pré-tratamento de leitos cultivados (figura 15). Isso mostra a importância em se estudar meios de

tratamento de água residuária, revelando a preocupação que existe na FEAGRI no intuito de pesquisar formas que contribuam para a preservação deste importante recurso natural – a água.



Figura 15 – Caixa de areia de armazenamento da água pré-tratada pelo sistema de leitos cultivados, que é utilizada no filtro de areia destacado ao fundo.

4.3 Parâmetros medidos em campo

No campo, as medidas levantadas foram: transpiração foliar, condutância estomática, radiação fotossinteticamente ativa (RFA), déficit de pressão de vapor saturado (DPVS) e índice de área foliar (IAF). Essas medidas possibilitam avaliar entre outros fatores o desempenho ecofisiológico da planta ao longo do dia, fornecendo o potencial de fotossíntese (RFA), o potencial de evaporação do meio (DPVS), bem como a atividade metabólica da planta, monitorando o maior ou menor controle dos estômatos da planta que gerenciam o potencial de transpiração da planta.

Foi importante o monitoramento da transpiração foliar, uma vez que garantiu o estudo do momento de maior demanda de nutrientes pela planta, ou seja, aquele instante em que a maior transpiração esteve ligada à maior retirada de nutrientes.

Isto permitiu avaliar a verdadeira relação entre planta e sistema, verificando o grau de simbiose existente entre planta-esgoto.

4.4 Realização das medidas

As medidas da taxa de transpiração foliar, condutância estomática, RFA, bem como outros parâmetros medidos: umidade relativa na folha, temperatura de folha e resistência foliar. Foram efetuadas com o uso do porômetro dinâmico Li-16000 Licor (figura 16A). Importante destacar que a medida da resistência foliar foi o parâmetro que forneceu a condutância estomática da planta, esta determinada pelo inverso do valor da resistência foliar medida com o aparelho.

As medidas com o Li-16000 Licor foram feitas de forma a manter o visor de captação de energia solar (figura 16I) existente no braço do aparelho em inclinação perpendicular a incidência da radiação solar. As medidas das variáveis foram no nível foliar da folha escolhida. Foram escolhidas folhas de diferentes tamanhos em cada leito, tomando-se o cuidado de escolher-se folhas pequenas, médias e grandes que totalizaram em 09 amostras por leito.

Para as medidas do índice de área foliar (IAF) que fornece a cobertura vegetal local utilizou-se o aparelho Lai-2000Li-Cor (figura 16B) que permite avaliar a concentração de plantas existentes no local. Um parâmetro importante quando se quer comparar a quantidade de massa verde presente no leito e conseqüentemente qual distribuição espacial da planta é melhor (para um leito quadrado ou retangular) de forma a aumentar a quantidade de remoção de nutrientes.

Para o uso do Lai-2000Li-Cor tomou-se o cuidado de efetuar-se as medidas no por do sol de forma a não ocorrer problemas de sombreamento que afetassem as medidas. Inicialmente calibra-se o aparelho mantendo-se o visor do braço direcionado na direção do sol do entardecer. Após a calibração do aparelho, fixou-se 09 posições em torno de cada leito e em cada posição pegou-se 04 pontos em torno de cada posição (a cada leitura foi necessária uma nova calibragem).

As medidas foram efetuadas de hora em hora para três épocas do ano distintas, nos meses de maio, julho e outubro de 2002. Mais precisamente nos dias: 13/05; 14/05; 15/05; 16/05; 17/05; 15/07; 16/07; 17/07; 18/07; 19/07; 30/09; 01/10; 02/10; 03/10 e 04/10. Para cada mês, utilizou-se uma semana inteira de coleta de dados que se iniciaram às 8 horas e finalizou-se às 20 horas. Esta quantidade de dados catalogados foi necessária, uma vez que representa o comportamento ecofisiológico da planta, permitindo verificar, por exemplo, o

período de maior atividade da planta e sua relação com a retirada ou não dos compostos presentes no esgoto da FEAGRI.

Os dias utilizados para análise no capítulo resultados e discussão foram os dias 18/07 e 03/10, pelo fato de representarem épocas climáticas distintas. Assim, permitindo comparar o comportamento da planta na primavera e no inverno.

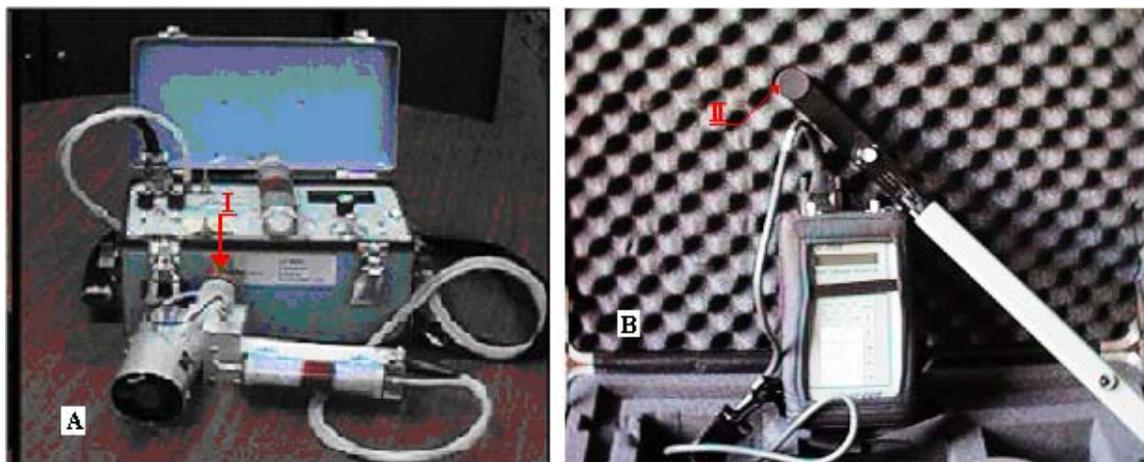


Figura 16 – Foto dos aparelhos utilizados para medidas de campo: **A** – porômetro dinâmico Li-1600Li-Cor usado para medir parâmetros: radiação fotossinteticamente ativa (RFA), transpiração foliar, temperatura de folha e resistência. Em **I** fica o visor de captação da energia solar. **B** – Lai-2000Li-Cor usado para medir o índice de área foliar (IAF). Em **II** encontra-se o ponto de leitura (no instante encoberto pela capa protetora).

O déficit de pressão de vapor saturado (DPVS) utilizado no acompanhamento experimental foi obtido através dos dados climáticos: umidade relativa, temperatura do ar e radiação global. Levantados pelo posto meteorológico da FEAGRI que fornece a leitura no intervalo de 10 em 10 minutos.

Logo após a efetuação das medidas a cada hora, foi medida a vazão volumétrica de entrada e saída em cada um dos leitos utilizados no estudo (leito 1 e 2) dentro do horário de medidas. Em seguida foram coletadas amostras de afluente e efluente em cada alagados, sendo retiradas 04 amostras por hora, o que totalizou em 52 amostras por dia de estudo, conseqüentemente num número total de 780 amostras para os respectivos 15 dias de estudo.

Ainda foi feito um estudo a parte, iniciado no dia 14/10/2002 com coleta de amostras apenas às 14 horas (entrada e saída dos leitos) durante 04 semanas. Totalizando-se mais 80 amostras para análise.

As 860 amostras armazenadas foram condicionadas em garrafas plásticas descartáveis (figura 17). Mantidas a temperatura de 0°C (para não perder suas características físico-químicas).

Foram analisados em laboratório o grau de concentração dos seguintes nutrientes: fósforo; amônia e nitrato, além da condutividade elétrica e do pH da água.

Isso permitiu avaliar os dados da água residuária com os dados ecofisiológicos da planta, possibilitando-se assim acompanhar a interação entre eles.

Verificando-se assim, quando ocorre a máxima eficiência do sistema de leitos cultivados, que é representada pelo grau de maior remoção de nutrientes pela planta da água residuária.



Figura 17 – Na foto, temos em destaque uma das amostras de água residuária coletada e armazenada em garrafa plástica descartável.

As garrafas para coleta tinham volume de 500 ml, sendo que a análise química foi feita no laboratório de análises químicas da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) da UNICAMP.

4.5 Determinação de fósforo

No laboratório da FEA, uma parte do volume retido nas garrafas foi preparada inicialmente para medir-se o grau de fósforo presente em cada garrafa.

O método utilizado para a determinação de fósforo foi o AOAC Official Method 973.55 – Phosphorus in water. Este método permite a identificação de todo fósforo presente independente da forma, medido por digestão de persulfato.

O processo consiste em adicionar 1 ml de solução hidrólise ácida que é produzida pela adição de 310 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) em 600 ml de água destilada (H_2O) a 50 ml da amostra de água residuária em um erlenmeyer de 125 ml. Em seguida, adiciona-se 0,4 gramas de persulfato de amônio e ferve-se gentilmente o produto em uma chapa aquecedora por 30 a 40 minutos, ou no máximo até ocorrer uma redução no volume para 10 ml (importante não deixar secar a solução).

Com o produto da amostra resfriado a temperatura ambiente, adiciona-se algumas gotas de solução fenolftaleína e ajusta-se o pH com a adição de solução hidróxido de sódio NaOH, agitando-se o frasco com a solução até obter uma coloração rosada. Posteriormente, tira-se a cor da solução com a adição de uma gota de hidrólise ácida.

O produto final é diluído quantitativamente a 50 ml e transferido para o erlenmeyer de 125 ml.

Feito todo o processo inicial de preparação da amostra para leitura é feita a preparação da solução de reagente combinado -que é produzida pela adição de 50 ml de H_2SO_4 5N a 5ml de solução de tartarato de antimônio e potássio, juntamente com 15 ml de solução de molibdato de amônia e 30 ml de solução ácido ascórbico (obtido dissolvendo-se 1,76 gramas de ácido ascórbico em 100 ml de água destilada).

Com o reagente combinado produzido tem-se que no volume de 50 ml da amostra preparada no erlenmeyer, adiciona-se 8,0 ml do reagente combinado e espera-se de 10 a 30 minutos até a amostra ficar com uma cor azulada. A cor azulada permitiu identificar o grau de concentração de fósforo contido nela.

Após ter-se feito todo o processo de preparação da amostra final para leitura no espectrofotômetro, tem-se que fazer uma curva padrão para medir-se a absorvância. Esta curva é calibrada utilizando-se soluções de trabalho que são feitas dissolvendo-se 0,2197 gramas de KH_2PO_4 em um litro de água destilada com reagente sem fósforo, obtendo-se soluções intermediárias 1, 3, 5, 10, 20, 30, 40 e 50ml.

As amostras intermediárias, bem como a amostra preparada, são medidas no espectrofotômetro (figura 18) com o uso do software PERKIN ELMER acoplado ao

computador que fornece a curva de calibração e as leituras de concentração de fósforo. Isto é possível tomando-se como referência uma amostra alocada em um dos vãos internos do espectrofotômetro, na figura 18 (2) - denominada de branco, que é uma amostra com água destilada. Depois plota-se a curva de absorbância versus quantidade de fósforo (mgP/L), em que os dados não podem diferir entre si 2%, caso contrário uma nova curva padrão deverá ser feita.

Com a curva padrão pronta medem-se as concentrações de fósforo presentes nas amostras preparadas, utilizando-se como referência uma amostra contendo água destilada com 8,0 ml do reagente combinada. O comprimento de onda utilizado no experimento é o de 880 nm ($880 \cdot 10^{-9} \text{m}$).

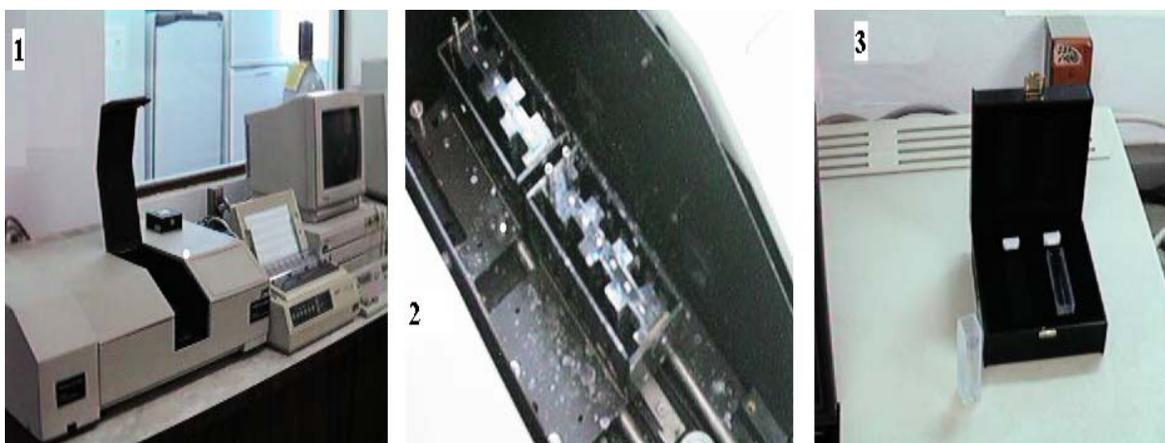


Figura 18 – Vista geral do espectrofotômetro, onde em: (1) vista do aparelho acoplado ao computador e impressora; (2) parte interna do espectrofotômetro em que se coloca (nos vãos) as cubetas com amostra para medição e (3) conjunto de cubetas, onde se deposita uma com a amostra preparada e outra com uma solução padrão para avaliar o grau de concentração de fósforo pela absorbância a um $\lambda = 880 \text{nm}$.

4.6 Análise de Amônia e Nitrato

O volume restante de amostra nas garrafas foi usado para se avaliar os outros parâmetros: amônia, nitrato, pH e condutividade elétrica.

As amostras de nitrato e amônia foram medidas com o aparelho ANALYSER PH/ION 450M (figura 19) que fornece os valores em mV.



Figura 19 – Foto do aparelho ANALYSER PH/ION 450M de leitura (em mV) de amônia e nitrato. Em destaque um dos eletrodos usados na leitura.

Para se efetuar as medidas no ANALYSER PH/ION 450M, necessita-se primeiro em preparar as amostras para leitura, onde o preparo delas consiste em encontrar a curva padrão. Isso garante que a leitura não saia da faixa padrão de variação.

Inicialmente para preparação da curva padrão do nitrato, preparam-se soluções de concentrações diluídas de sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, denominada de solução ISA, em água destilada. Para tanto, pegam-se 25 ml de H_2O destilada e acrescentam-se 25 ml de nitrato, obtido pela junção de 1,37 gramas de nitrato de sódio em 1000 ml de água destilada. Em seguida transfere-se 25 ml da solução padrão de nitrato de sódio para um balão volumétrico de 50 ml, acrescentando-se 25 ml de água destilada. Depois pipeta-se volumes distintos de 2,0 ml; 1,0 ml; 0,5 ml; 0,25 ml e 0,10 ml respectivamente da solução padrão de nitrato de sódio em balões volumétricos de 25 ml e acrescenta-se 0,50 ml da solução ISA.

A solução ISA é importante pelo fato dela promover o aumento da eficiência de leitura, uma vez que ela aumenta a força iônica das moléculas presentes na solução.

Feito a calibração, pipeta-se 25 ml da amostra de água residuária num Becker de 50 ml e acrescenta-se 0,50 ml de solução ISA. Em seguida efetua-se a medida no ANALYSER PH/ION 450M (figura 19) com o eletrodo de leitura de nitrato.

As análises de amônia obedecem ao mesmo procedimento das de nitrato, sendo a solução padrão utilizada neste caso $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 2M, onde diluí-se 5,0 ml da solução padrão em 25 ml de água destilada em concentrações 0,1 M; 0,05 M; 0,01 M; 0,005 M e 0,001 M. Com a curva padrão montada, pipeta-se 25 ml da amostra de água residuária em Becker de 50 ml e acrescenta-se 0,50 ml de solução ISA e inicia-se a leitura com o eletrodo de leitura para amônia.

4.7 Leitura de pH

A leitura de pH das amostras coletadas nos leitos é feita de forma direta (sem utilizar processos químicos de preparação), medindo-se as amostras na temperatura ambiente (25°C) com o uso do MB-10 MARTE (figura 20).

Para tanto, antes da leitura das amostras calibra-se o aparelho usando-se duas soluções denominadas de solução tampão, uma com pH 7 e outra de pH 4.



Figura 20 – Aparelho MB-10 MARTE para leituras diretas de pH.

4.8 Leitura de condutividade elétrica

A leitura de condutividade elétrica é feita de forma direta como a de pH, usa-se para tanto a sonda modelo HD NC 06 ONDA (figura 21) que efetua as medidas das amostras de água residuária em μS .



Figura 21 – Aparelho HD NC 06 ONDA de leitura direta da condutividade elétrica para as amostras de água residuária.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise ecofisiológica da typha

Os meses utilizados para discussão na pesquisa foram julho e outubro. Uma vez que a taxa de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) teve maior variação durante o dia, conseqüentemente influenciando na transpiração foliar da macrofita, visto que estes meses correspondem respectivamente às estações climáticas: inverno e primavera para o hemisfério sul.

Esta variação na quantidade de radiação solar influencia, juntamente com o déficit de pressão de vapor saturado (DPVS), de forma direta no comportamento da condutância estomática e na taxa de transpiração da planta, promovendo com isso seu desenvolvimento foliar. Pois, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) fornece o potencial de fotossíntese produzido pela planta durante o intervalo de incidência solar.

O DPVS representa o potencial de evaporação ao longo do dia, o que acaba por influenciar no controle estomático da planta, responsável pelo monitoramento da perda d'água por parte da planta.

A figura 22 mostra o comportamento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), onde se verifica que ao compará-la com a figura 27, tem-se uma menor RFA, isto devido ao fato desta corresponder à estação climática representada pelo inverno no hemisfério sul, caracterizado pela menor incidência de radiação solar, do fato de possuir dias mais curtos e DPVS de valores menores.

Com a variação da RFA, ocorre uma alteração direta no comportamento da taxa de transpiração foliar diária e da condutância estomática da planta representada nas figuras 23, 24, 28 e 29.

Os dias escolhidos foram 18/07/2002 e 03/10/2002, onde se tem uma máxima taxa de transpiração foliar diária, acompanhada de uma variação alta na taxa de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) dentro do período de estudo. Os valores da taxa de transpiração diária máxima foram respectivamente $2,30 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$, às 11 horas e $5,94 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ às 14 horas. Nestes pontos de máxima taxa de transpiração foliar diária a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi de $1383,33 \text{ } \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ para o dia 18/07/2002

e de $1630 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ para o dia 03/10/2002, sendo a taxa de condutância estomática para os horários discriminados de $13,16 \text{ cms}^{-1}$ e $8,53 \text{ cms}^{-1}$ respectivamente.

O valor de máxima taxa de RFA para os dois dias em questão foram na ordem de $1665,56 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ às 13 horas para o dia 18/07/2002 e de $1737,78 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ às 10 horas para o dia 03/10/2002. Neste intervalo as taxas de transpiração foliar foram respectivamente: $1,24 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ e $5,17 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$.

Segundo uma avaliação gráfica dos dados apresentados de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), percebe-se que existe uma variação brusca nos valores de RFA, isto se deve ao fato de que ao medir-se a radiação de forma direta com o uso do porômetro dinâmico Licor 1600, a passagem de nuvens que obstruam parte da radiação solar faz com que se produza pico que dependendo do tempo de cobertura diminua a taxa de transpiração diária como se observa nas figuras 22 e 27.

A condutância estomática nos períodos de maior incidência de RFA, que compreendem o intervalo entre 12 e 14 horas, tem uma diminuição de seus valores (figuras 24 e 29) devendo-se ao fato de que com um maior período de incidência de luz solar, acompanhada do fato da planta não sofrer estresse hídrico, uma vez que seu sistema radicular encontra-se inundado dentro do leito, faz com que seus estômatos responsáveis pelo controle da taxa de transpiração permaneçam abertos, promovendo uma maior aeração da planta ao longo do dia. Assim, permitindo uma atividade ecofisiológica maior (fato que será observado nas análises de retirada de nutrientes mais adiante).

Inicialmente pode-se verificar pelas figuras 22 e 27 que com o início do dia, o aumento da RFA é acompanhado com o “despertar” da planta (figuras 23 e 28) que rapidamente aumenta sua taxa de transpiração e conseqüentemente sua atividade ecofisiológica. O aumento da taxa de condutância estomática deve-se a atividade da macrófita em permanecer com seus estômatos abertos durante o dia. Isso fica claro ao se observar o horário compreendido entre às 7 e 8 horas para ambos os períodos medidos, em que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) varia de 0 a $186,56 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ para o dia 18/07 (inverno) e de 0 a $348,57 \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ para o dia 03/10 (primavera). Neste instante a taxa de transpiração foliar diária para o período variou de 0 a $1,14 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ no dia 18/07 e de 0 a $2,12 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ no dia 03/10.

A queda bruta da RFA que ocorreu por volta das 17 horas nos dias 18/07/2002 e 03/10/2002 acompanhou-se de uma diminuição da taxa de transpiração foliar diária em ambos os dias, tendo como valores de referência $0,66 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ e $2,76 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ respectivos. O que mostra que com o fim da RFA, a atividade ecofisiológica da planta diminui, não tendo mais atividade de fotossíntese. Isso fica mais claro, ao se observar no tópico referente à retirada de nutrientes que as taxas de retirada de amônia, fósforo e nitrato diminuem consideravelmente ao final do dia.

O déficit de pressão de vapor saturado (DPVS), obtido pela análise de dados meteorológicos: umidade relativa e temperatura do ar; para os dias estudados teve um comportamento de aumento da taxa de evaporação, sendo, contudo visualmente maiores as taxas para o dia 03/10/2002, o que mostra um maior potencial de evaporação na primavera.

O DPVS máximo atingindo no período inverno, conforme figura 25 foi de 1,26 kPa às 14:30 horas e para a primavera, segundo figura 30 de 2,83 kPa às 15:30 horas.

No momento de máxima taxa de transpiração diária, os valores assumidos para os dias 18/07 e 03/10 foram respectivamente: 0,64 kPa e 2,51 kPa.

O tempo de coleta de dados que se encerrou às 20 horas teve como medidas finais de DPVS os valores de 0,41 kPa e 1,26 kPa para os dias 18/07 e 03/10 respectivamente. Observando-se que em outubro a taxa de potencial de evaporação do dia foi muito superior ao de julho.

A relação de taxa de transpiração foliar diária pela radiação fotossinteticamente ativa (RFA), observado nas figuras 26 e 31, para os dias 18/07 e 03/10 foi de $0,0015 \mu\text{s}$ e $0,0042 \mu\text{s}$ respectivamente. Esses valores empíricos mostram de forma concreta que a RFA tem realmente influência direta na taxa de transpiração foliar ao longo do dia, uma vez que revela o quanto o denominador da relação transpiração por RFA (a RFA) tem maior valor (do que o numerador da função a transpiração).

Um parâmetro comumente utilizado em publicações científicas para avaliar-se a dinâmica fisiológica da planta é a taxa de transpiração média obtida pela integração dos dados registrados na curva de transpiração foliar diária. Ela representa a dinâmica ecofisiológica da planta, permitindo comparar culturas diversas e avaliar a demanda hídrica destas ao longo da atividade ecofisiológica diária, o que inclusive auxilia, por exemplo, na avaliação da possibilidade de estresse hídrico (que não é o caso da typha).

Avaliando-se este parâmetro neste estudo, a taxa de transpiração média da typha no dia 18/07/2002 ficou em 1,19 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e para o dia 03/10/2002 foi de 4,02 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Estes não são os valores máximos para os respectivos períodos de estudo, ficando os máximos em torno de 2,15 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e 4,11 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, apresentados na tabela 5.

Os valores máximos de transpiração média tiveram como pontos máximos de transpiração foliar diária os respectivos valores de 3,55 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ e de 5,94 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$.

Tabela 4 – Valores médios das taxas de transpiração da typha no leito 2 para os meses correspondentes ao inverno e primavera.

MEDIDAS EM JULHO 2002		MEDIDAS FINAL DE SET. /INICIO DE OUTUBRO 2002	
data	Transpiração Média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	data	Transpiração Média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
15	1,91	30/09	4,11
16	2,15	01	3,01
17	1,66	02	3,82
18	1,19	03	4,02
19	1,57	04	3,18

Os valores medidos têm uma diferença percentual, sendo de 29,64% para os dias 18/07 em relação ao dia 03/10 e de 52,26% para o dia 16/07 em relação ao dia 30/09, mostrando o grau de influência que a incidência solar tem em relação à transpiração média foliar. Estes valores são superiores aos relatos por MEINZER e GRANTZ (1990) para cana-de-açúcar da variedade 465-7052 (1,2 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$), e aos obtidos por MACHADO *et al.* (1999) para laranja Valência (2,6 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ para porta enxerto de cravo e 1,9 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ para porta enxerto de trifoliata). Também superaram os valores encontrados por NOGUEIRA *et al.* (2000a) para duas matrizes de acerola (UFRPE7: 1,77 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, UFRPE8: 2,5 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$), e por NOGUEIRA *et al.* (2000b) para dois genótipos de pitanga (IPA 2,2: 2,2 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, IPA 4,3: 3,0 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$). Os valores 3,7 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e 3,8 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ são inferiores aos encontrados por CAVALCANTE *et al.* (2001), para mudas de maracujazeiro inoculadas com três tipos de fungos micorrízicos arbusculares (*Gigaspora albida*: 5,8 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, *Gigaspora margarita*: 4,8 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$, *Glomus etunicatum*: 6,1

mmolm⁻²s⁻¹, valores medidos sem estresse hídrico), e por NOGUEIRA e SILVA JUNIOR (2001) para dois genótipos de gravioleiras (Morada e Comum) em dois períodos de medidas (Setembro: Morada - 8,0 mmolm⁻²s⁻¹, Comum - 6,0 mmolm⁻²s⁻¹; Dezembro: Morada - 7,9 mmolm⁻²s⁻¹). Já para o genótipo Comum no mês de dezembro, o valor médio da transpiração foi de 3,3 mmolm⁻²s⁻¹, valor esse próximo aos obtidos no presente trabalho, para o mês de outubro.

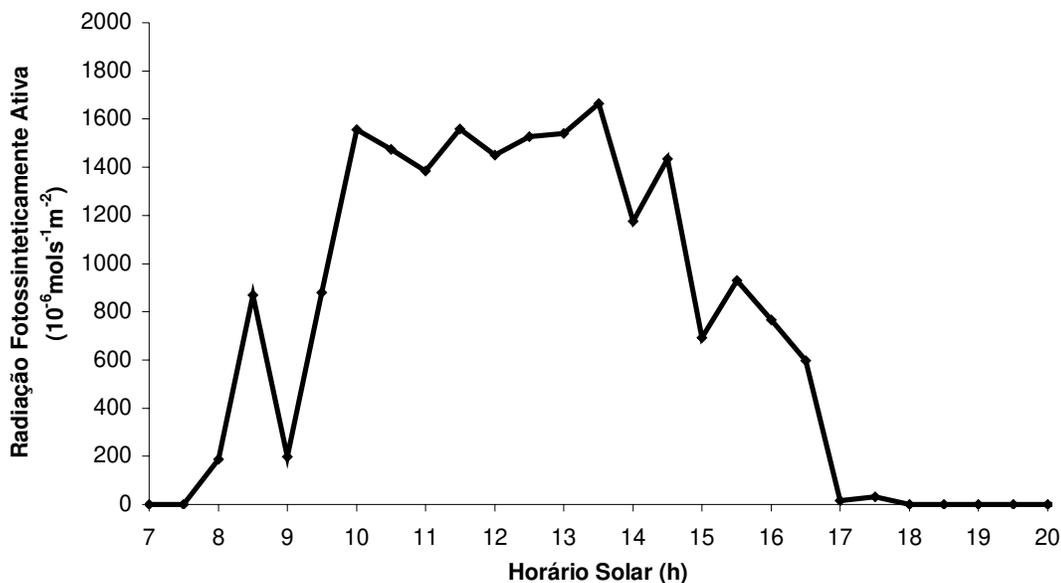


Figura 22 – Variação da radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$) ao longo do dia 18/07/2002.

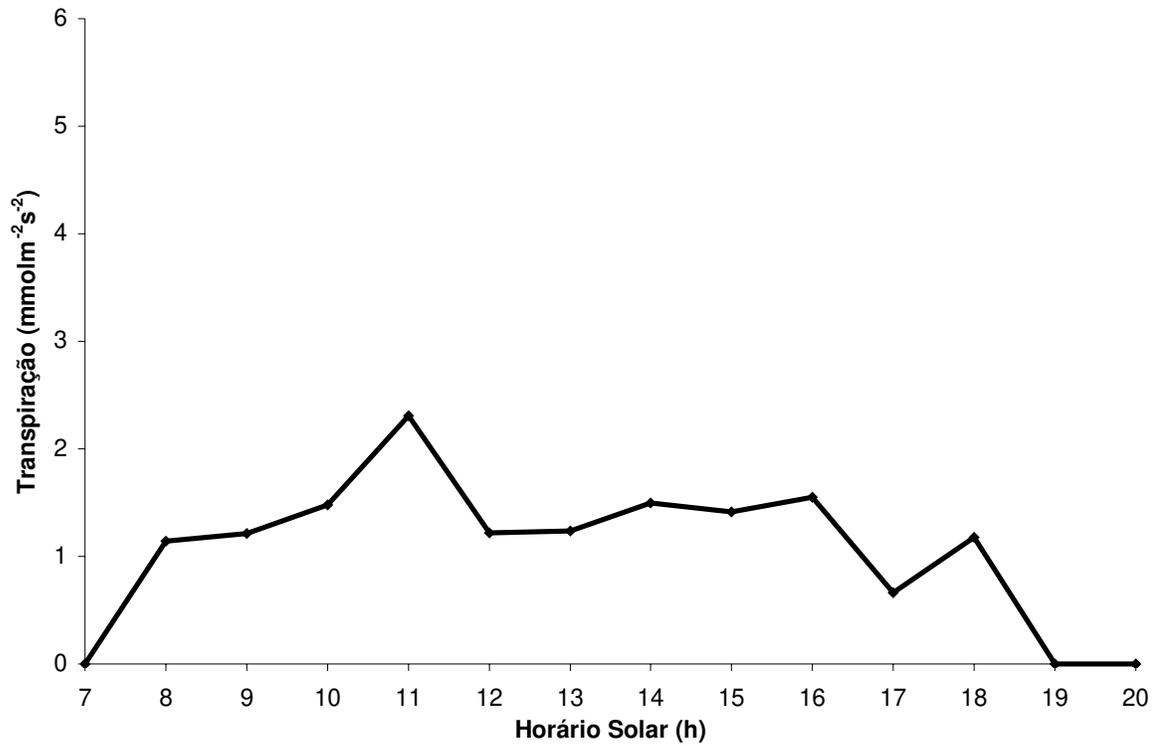


Figura 23 – Variação da transpiração média (mmol m⁻² s⁻¹) para a Typha, no dia 18/07/2002.

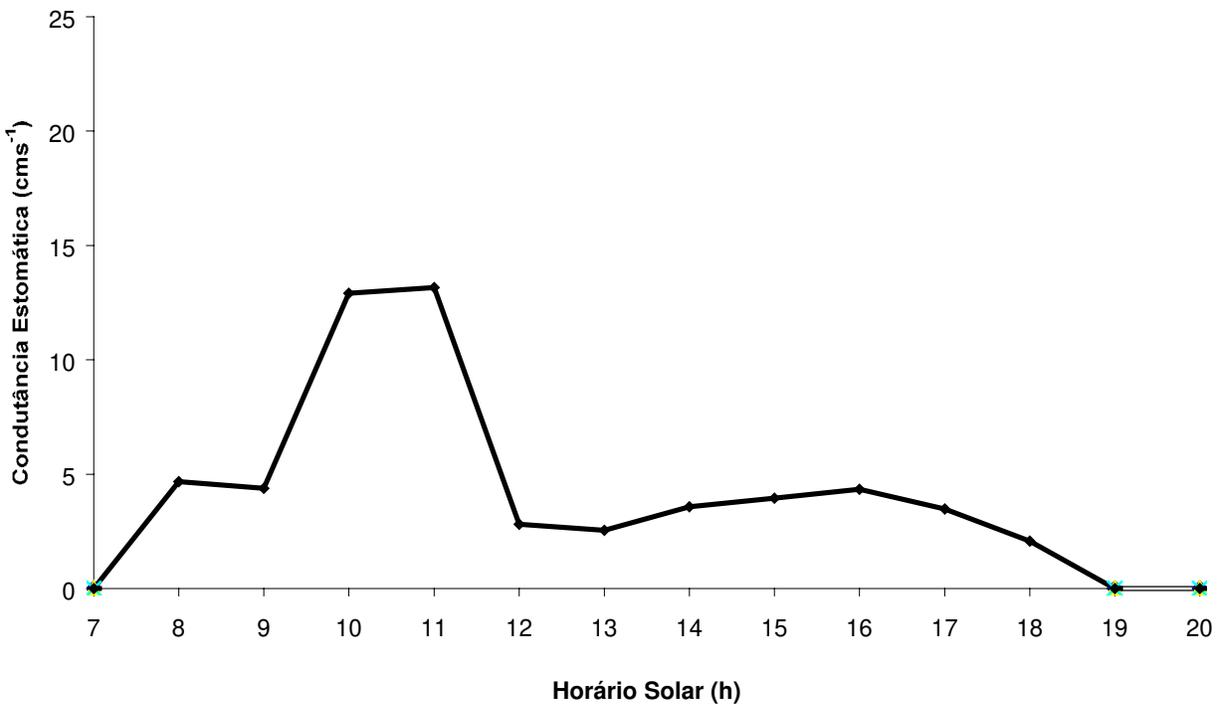


Figura 24 – Variação da condutância estomática (cm s⁻¹) para Typha, no dia 18/07/2002.

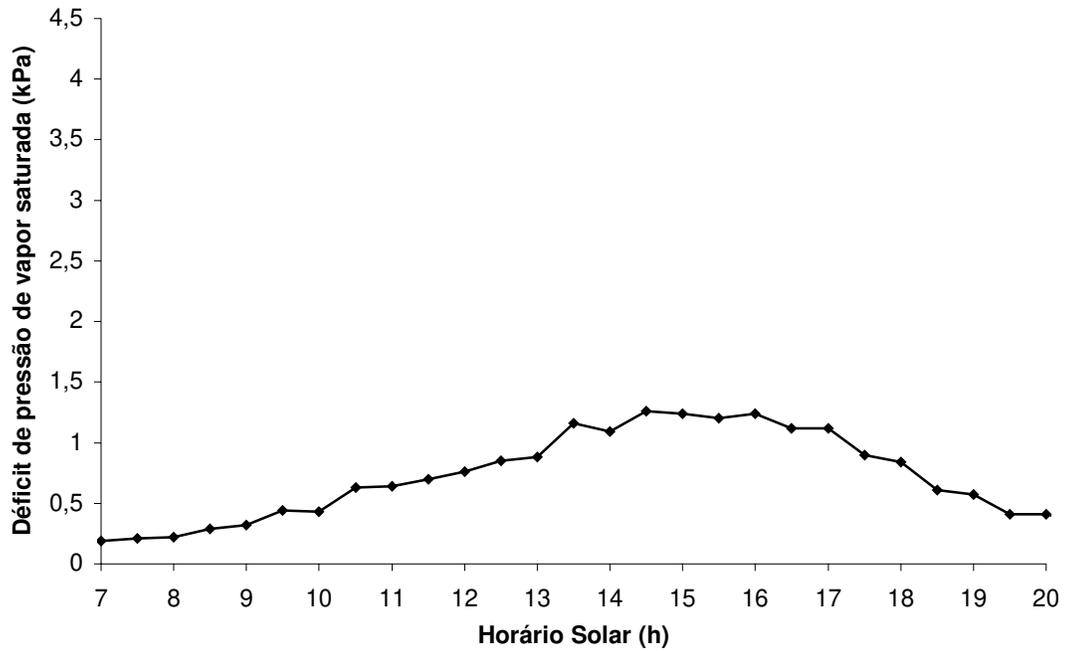


Figura 25 – Déficit de pressão de vapor saturada (kPa) na Typha em 18/07/2002.

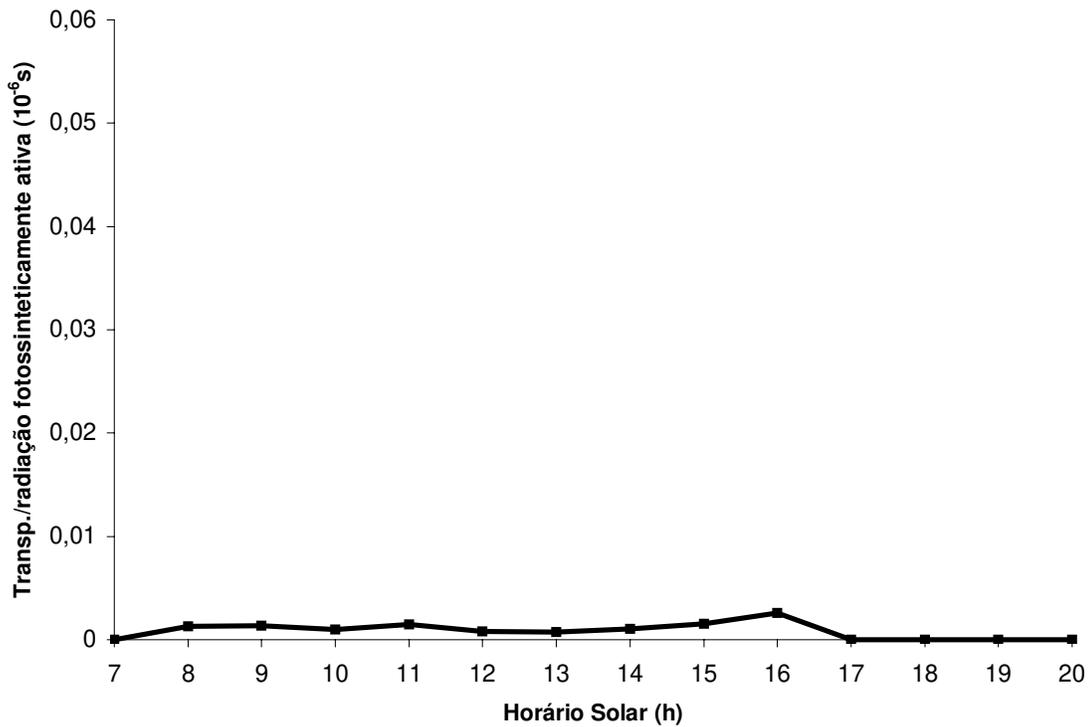


Figura 26 – Relação da transpiração foliar pela RFA no dia 18/07/2002.

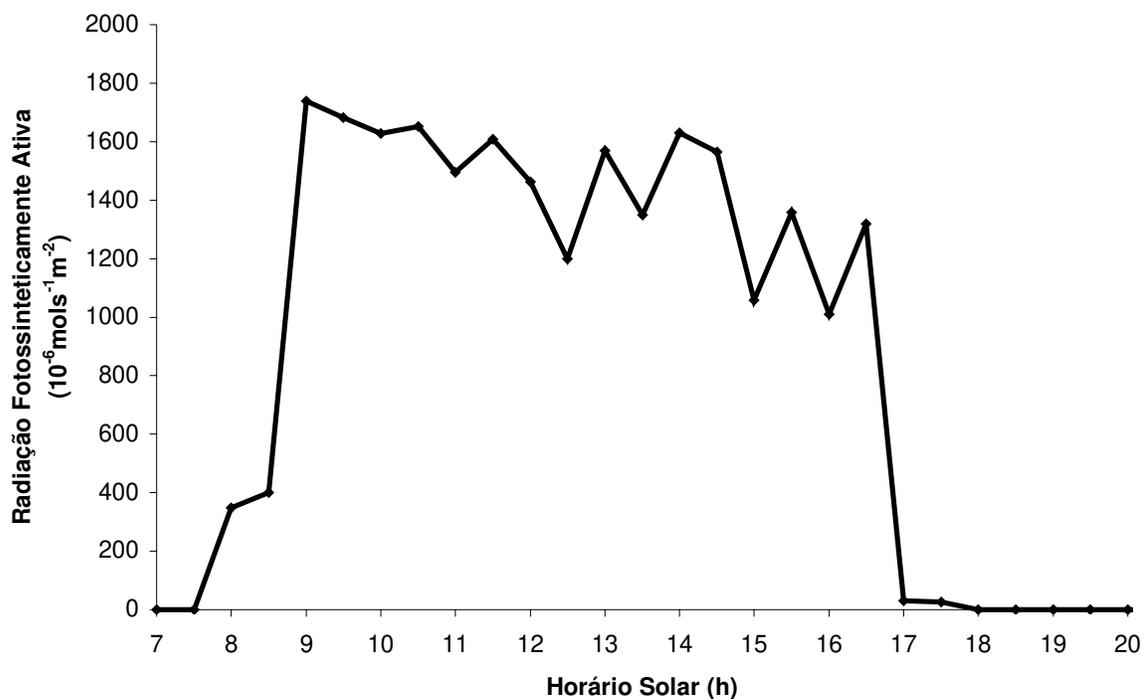


Figura 27 – Variação da radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) ao longo do dia 03/10/2002.

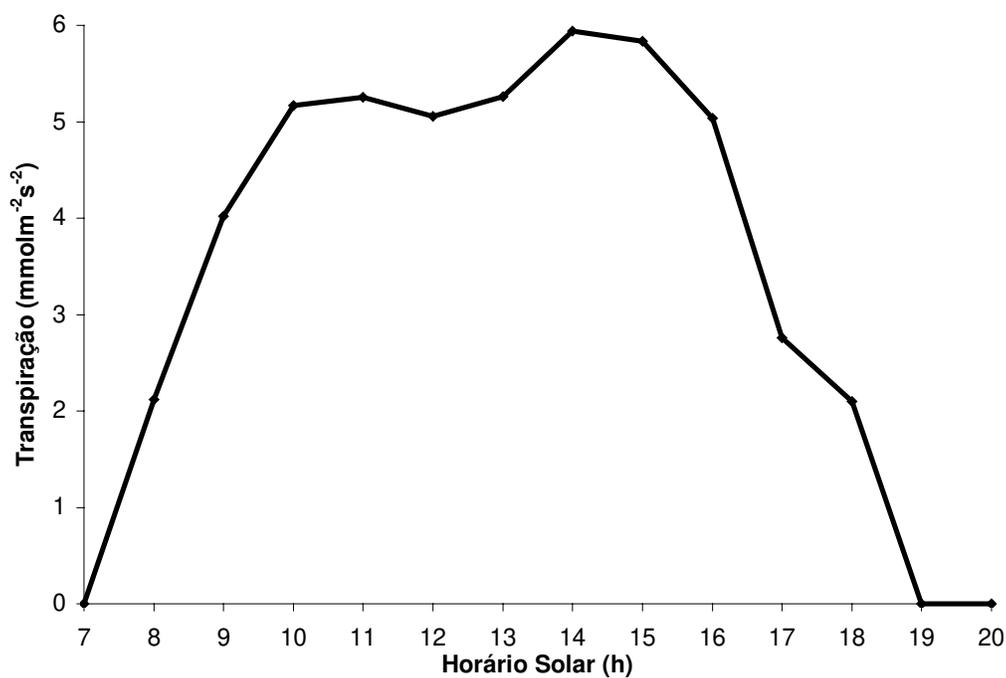


Figura 28 – Variação da transpiração média ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para a Typha, no dia 03/10/2002.

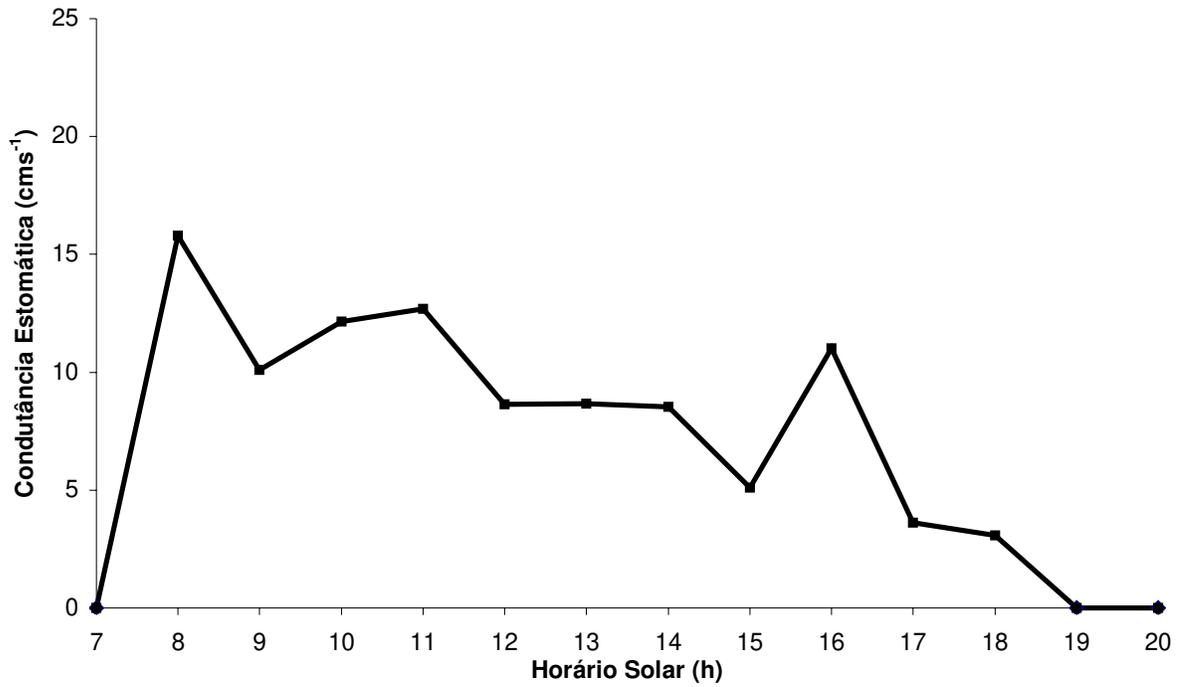


Figura 29 – Variação da condutância estomática (cms⁻¹) para Typha, no dia 03/10/ 2002.

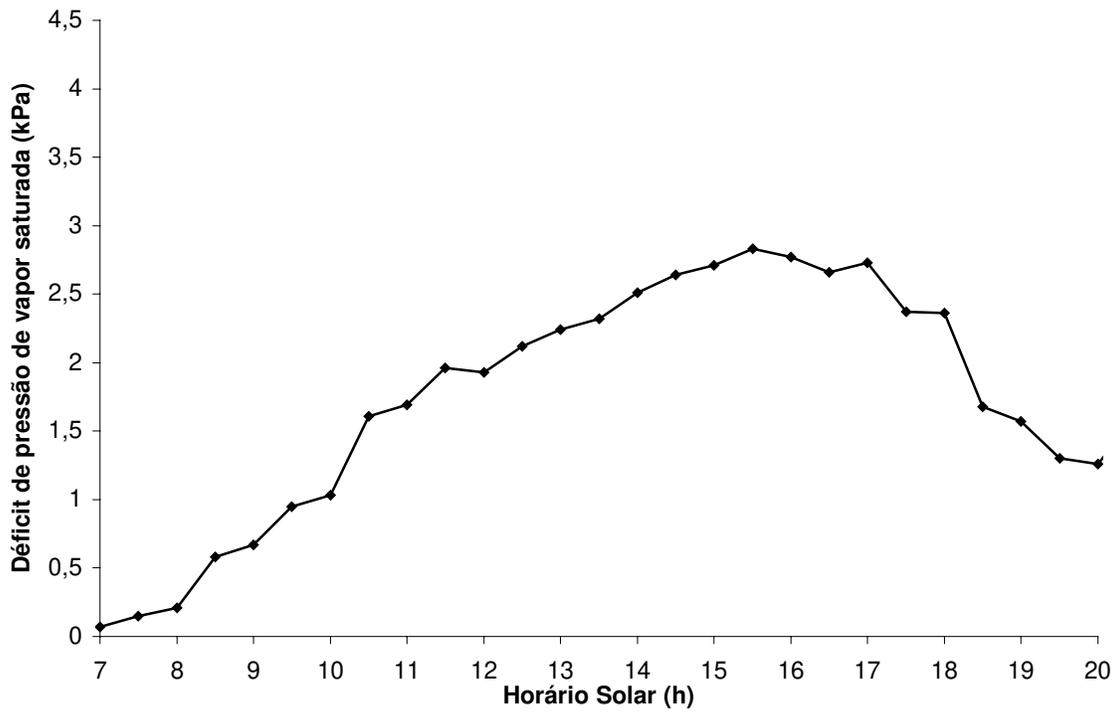


Figura 30 – Déficit de pressão de vapor saturada (kPa) na Typha em 03/10/2002.

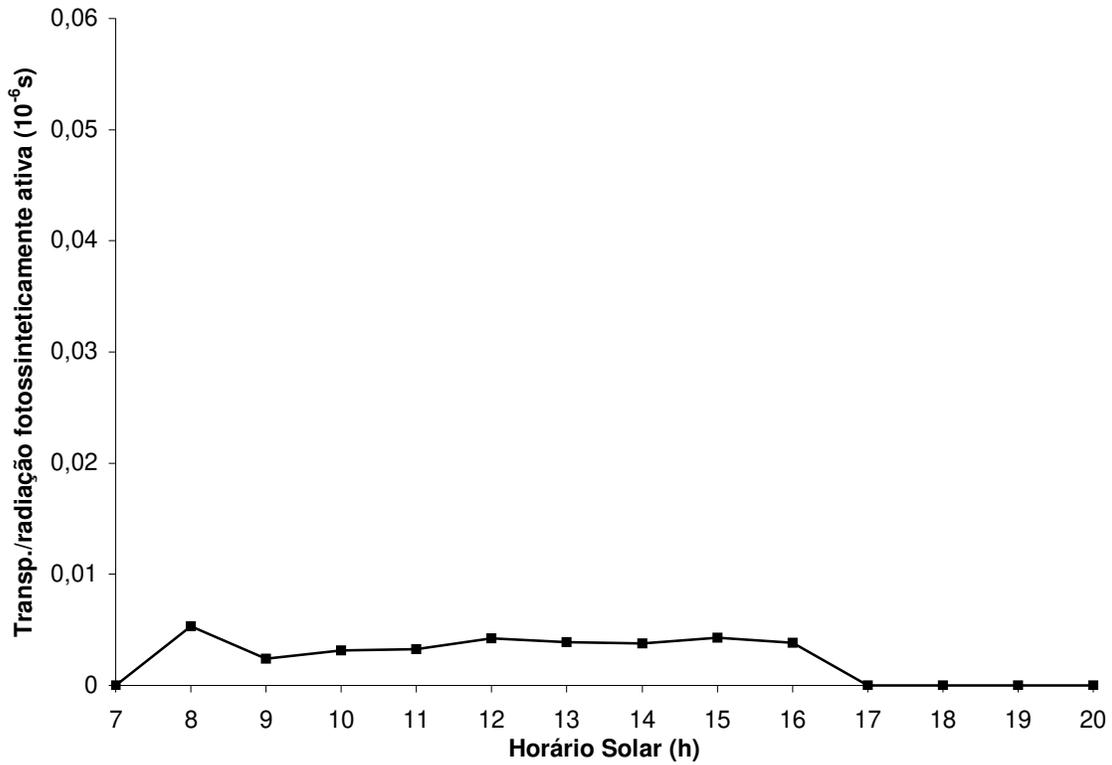


Figura 31 – Relação da transpiração foliar pela RFA no dia 03/10/2002.

Analisando a dinâmica da taxa de transpiração em cada um dos períodos de medida, verificou-se que a typha demonstrou um tempo de resposta rápido às oscilações da radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

A figura 32 apresenta os valores médios diários de transpiração e de radiação fotossinteticamente ativa para o período analisado, podendo-se notar a variação dependendo da época de estudo.

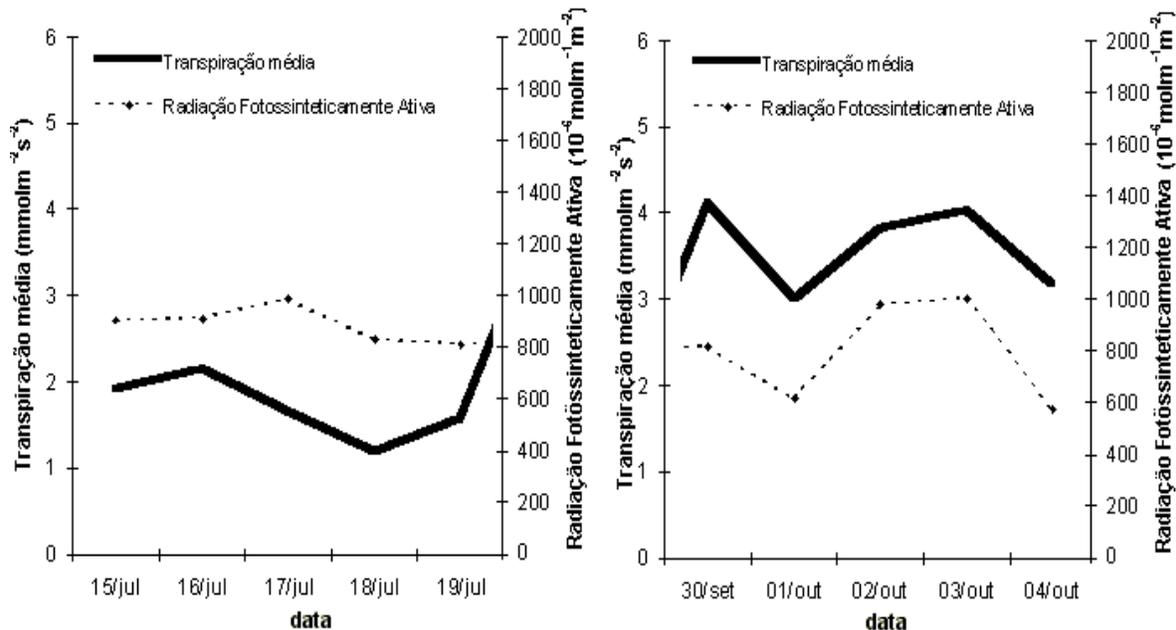


Figura 32 – Análise comparativa da dinâmica de transpiração média (mmolm⁻²s⁻¹) da typha no leito cultivado 2 relacionado com a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (μmolm⁻¹m⁻²) ao longo dos períodos: inverno e primavera.

Apesar da taxa de radiação fotossinteticamente ativa média ao longo do período não ter variado muito (figura 32) durante o tempo, o fato de uma maior disponibilidade de luz solar na primavera, de um aumento médio na temperatura do ar, que enquanto no inverno ficou por volta de 19,93°C para o período de máxima RFA, na primavera está ficou na faixa de 25,36°C no período de maior RFA. Além do fato de haver uma maior variação do déficit de pressão de vapor saturado, observada na figura 33, faz com que as taxas de transpiração média do período primavera sejam elevadas quando comparado com o período – inverno. Mostrando conforme figura 33, que o potencial de evaporação auxilia no aumento da capacidade de transpiração foliar da planta.

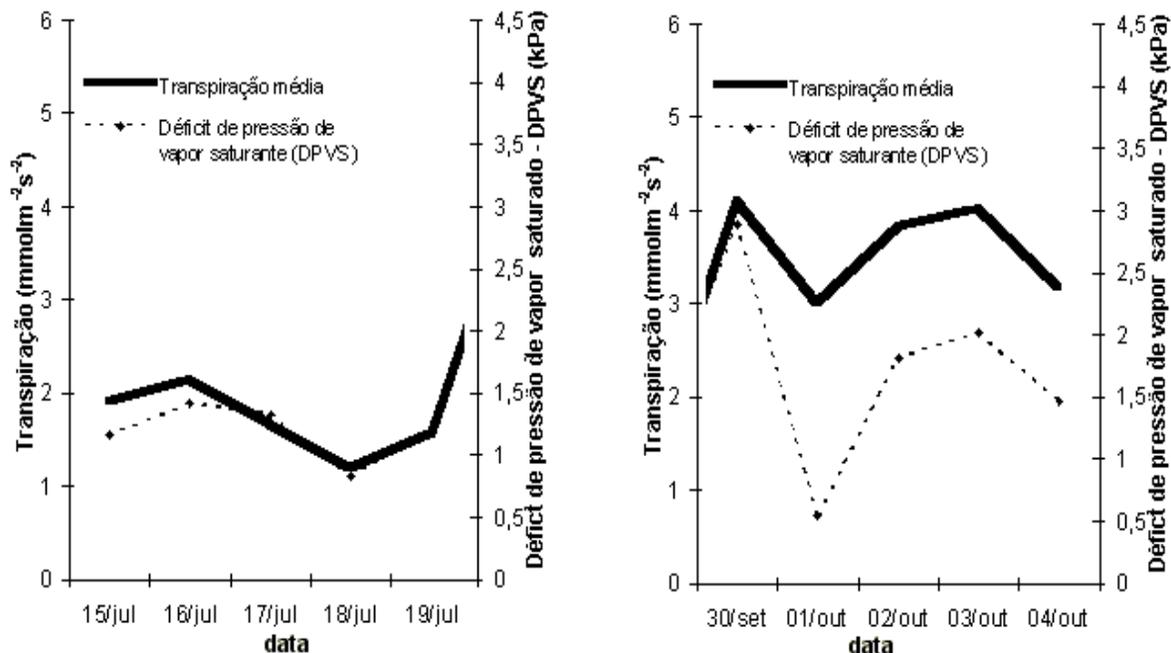


Figura 33 – Análise comparativa da dinâmica de transpiração média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) da typha no leito cultivado 2 relacionada com o déficit de pressão de vapor saturado (kPa) ao longo dos períodos: inverno e primavera.

A diferença entre a condutância estomática com a transpiração média da typha no período estudado, revela pela figura 34, que sendo elevado ambos os parâmetros ecofisiológicos da planta, o fato de uma menor disponibilidade de radiação solar no inverno acarreta que a transpiração seja menor quando comparada com a primavera. Mas isto se reflete no fato da mácrofito gastar menos energia no processo de fotossíntese devido a uma menor RFA e um menor potencial de evaporação do meio.

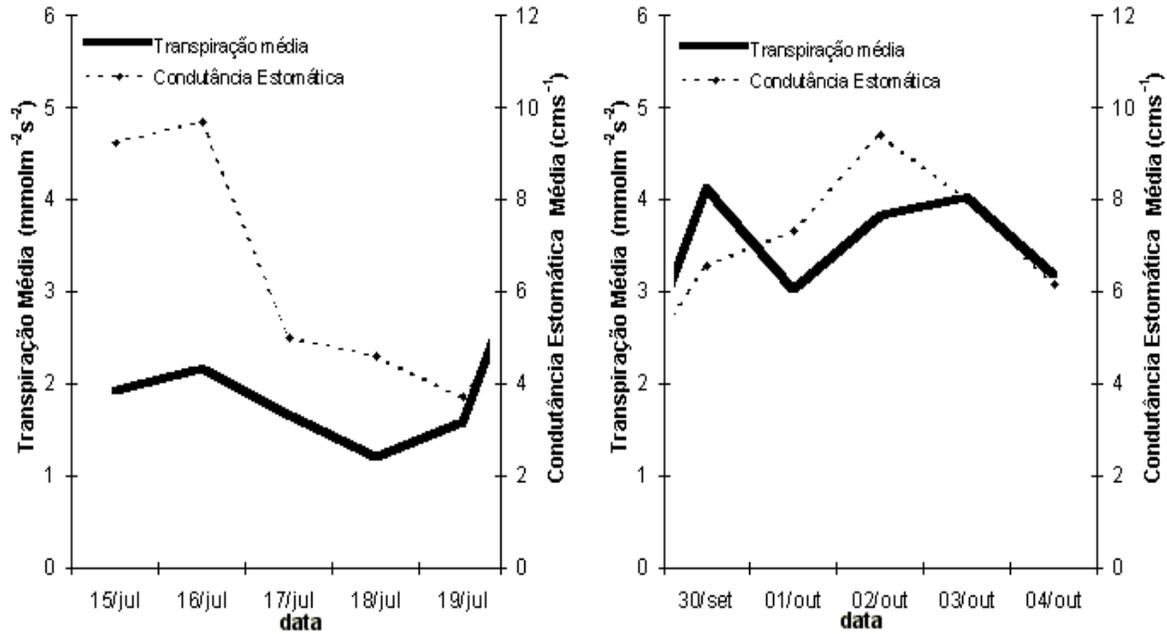


Figura 34 – Relação da transpiração média (mmolm⁻²s⁻¹) de typha no leito cultivado 2 com a condutância estomática média (cms⁻¹) no período: inverno e primavera.

O comportamento da condutância estomática da typha com relação à radiação fotossinteticamente ativa (figura 35) durante o período inverno-primavera, mostrou que no período inverno, a planta controla melhor a abertura de seus estômatos devido ao menor intervalo de radiação solar e a um menor DPVS, conforme figura 36. O que revela o que já foi dito que a transpiração se mantém menor no período inverno.

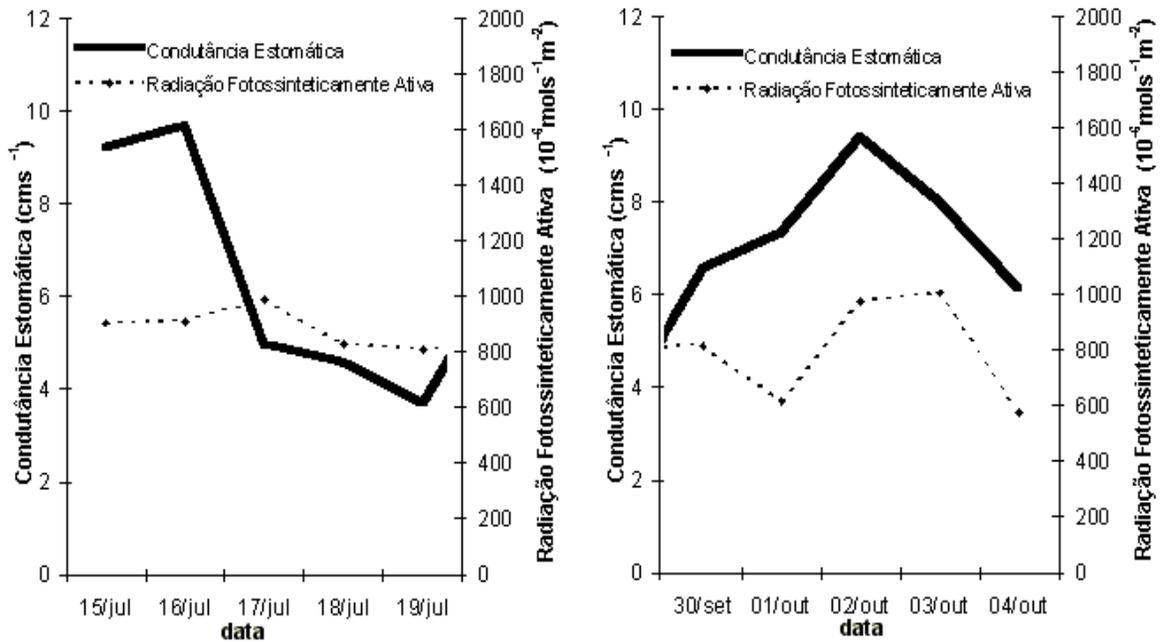


Figura 35 – Análise comparativa da dinâmica de condutância estomática (cms⁻¹) de typha no leito cultivado 2 relacionada com a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (μmols⁻¹m⁻²) ao longo período: inverno e primavera.

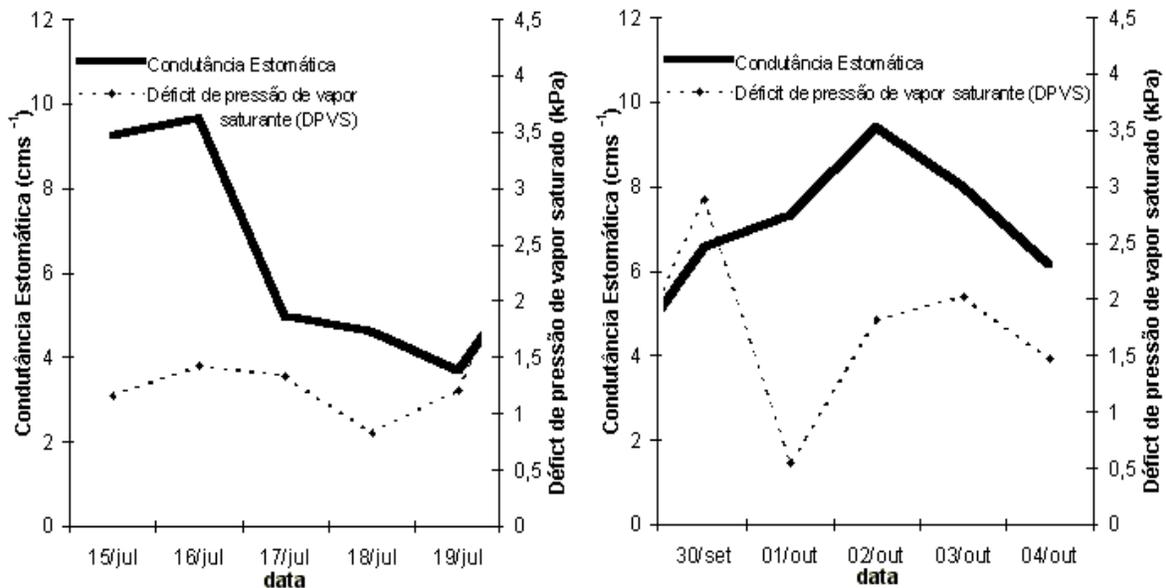


Figura 36 – Análise comparativa da dinâmica da condutância estomática (cms⁻¹) de typha no leito cultivado 2, relacionada com o DPVS (kPa) ao longo do período: inverno e primavera.

5.2 Comparação da typha nos leitos cultivados de perfis geométricos distintos

Os leitos cultivados que foram objetivos de estudo possuem perfis geométricos distintos, sendo um de perfil quadrado de dimensões 2x2m denominado de leito cultivado 1 e o segundo de perfil retangular de dimensões 4x1m denominado de leito cultivado 2.

Para avaliação dos leitos, utilizou-se o mês de maio, sendo o dia de referência para a pesquisa 13/05/2002.

As figuras 38 e 39 revelam que a variação dos dados ecofisiológicos na macrófita foi uniforme nos dois leitos cultivados. Tendo que na planta as transpirações médias ficaram em torno de $2,72 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ no leito 1 e de $2,70 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ no leito 2, conforme figura 38 .

A máxima taxa de transpiração diária ocorreu por volta das 11 horas com valores de $3,89 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ e $4,08 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ para os leitos 1 e 2 respectivamente.

A variação que ocorreu na taboa nos leitos 1 e 2 por volta das 14 horas (fig.38) deve-se ao fato da diminuição da incidência solar que ocasionou numa queda brusca na taxa de RFA (fig.37) que neste período ficou em $1650,30 \text{ } \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$. A máxima taxa de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), conforme figura 37, foi às 12 horas com valor de $1871,11 \text{ } \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$.

Para o período de RFA máxima as taxas de transpiração diária foram de $3,84 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ no leito 1 e de $3,98 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ no leito 2.

A condutância estomática (figura 39) manteve-se baixa no período de maior atividade biológica da planta, dentro do intervalo das 11 às 15 horas, uma vez que corresponde ao período de maior transpiração foliar diária, sendo que às 12 horas o valor da taxa de condutância estomática foi de $9,78 \text{ cms}^{-1}$ no leito 1 e de $8,28 \text{ cms}^{-1}$ no leito 2.

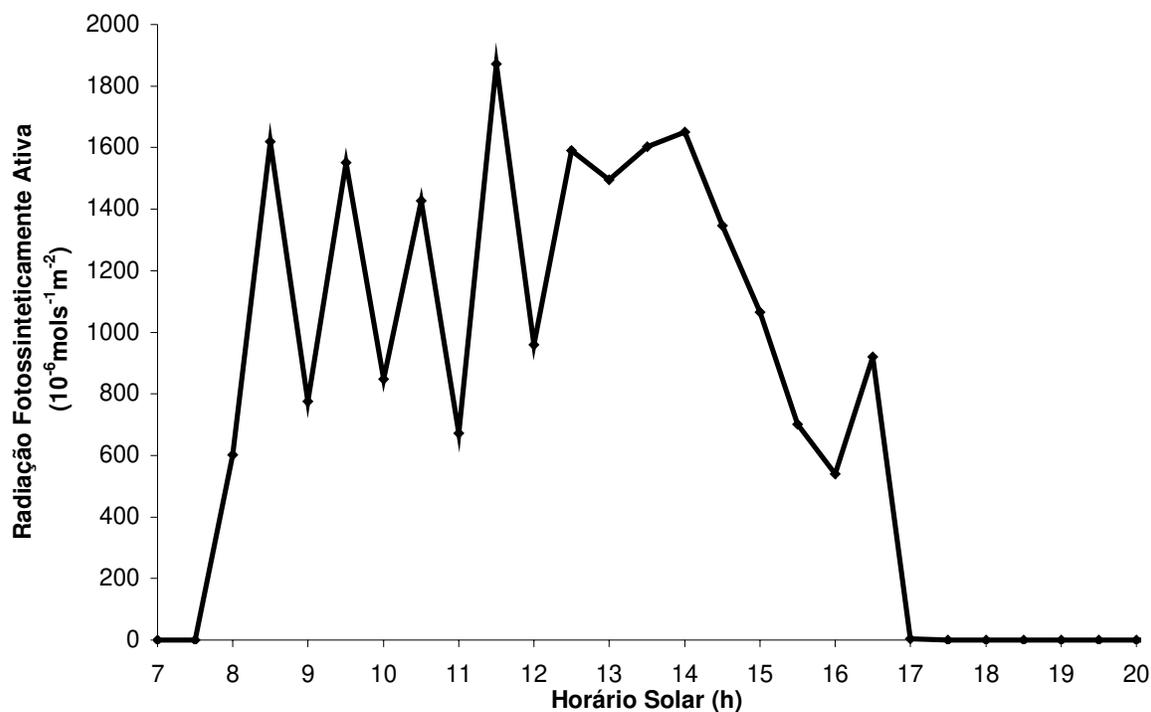


Figura 37 – Radiação fotossinteticamente ativa ($\mu, \text{mols}^{-1} \text{m}^{-2}$) nos leitos para o dia 13/05/2002.

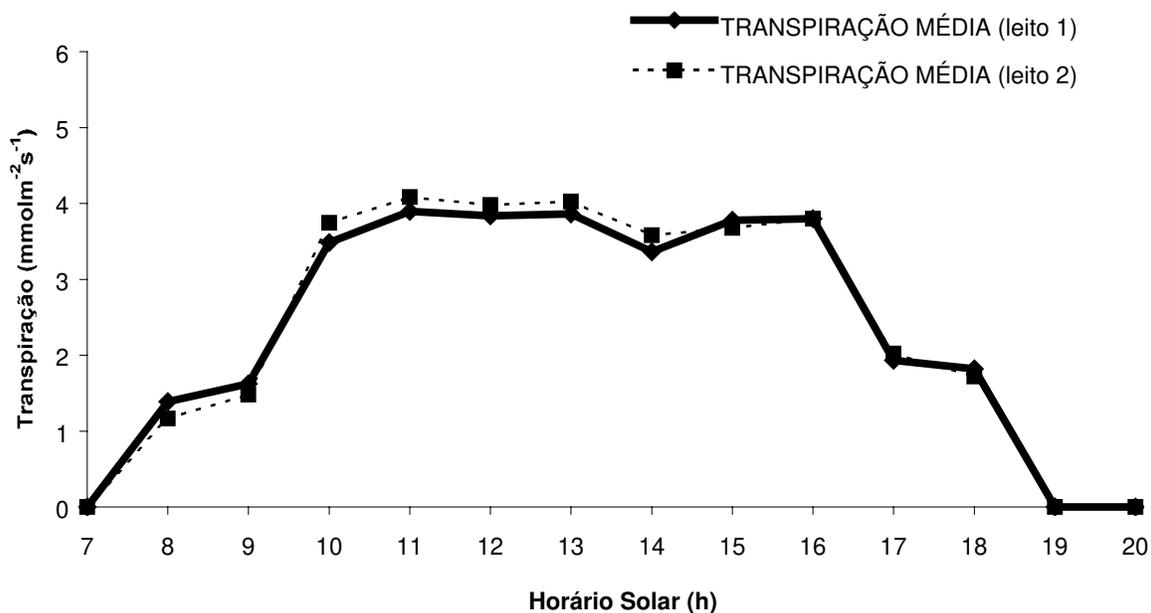


Figura 38 – Análise comparativa da transpiração média ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de typha entre leitos no dia 13/05/2002.

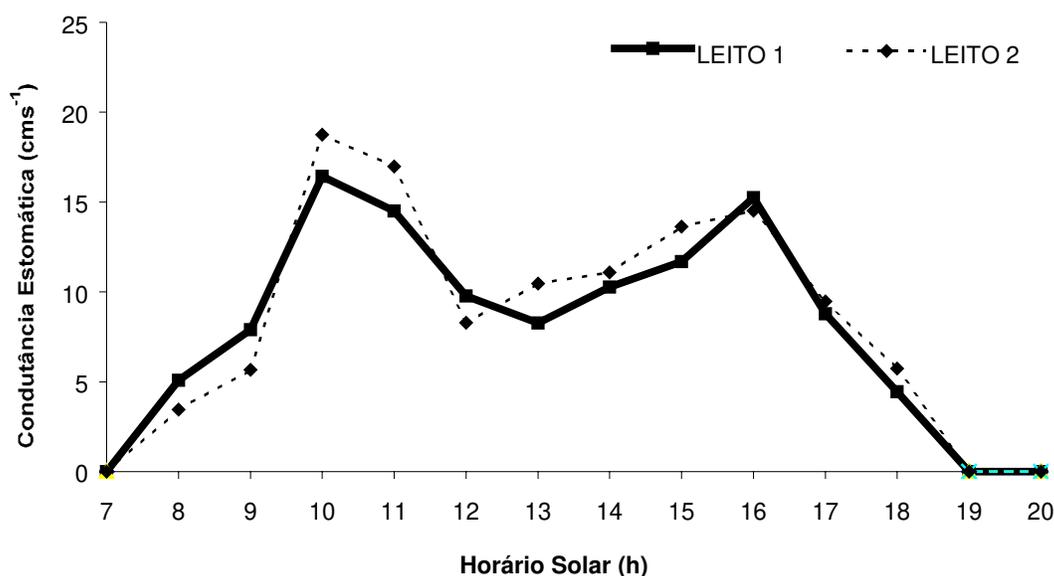


Figura 39 – Análise comparativa da condutância estomática (cms^{-1}) da typha entre leitos no dia 13/05/2002.

A tabela 6 apresenta os valores de transpiração média da typha para os dois leitos cultivados, podendo-se verificar um processo de transpiração homogêneo entre leitos, o que contribui para um crescimento foliar uniforme da macrófita nos leitos. Isso se verifica, no fato que se houvesse, por exemplo, alguma barreira física que provocasse sombreamento no local não se teria taxas de transpiração altas e uniformes e conseqüentemente não haveria um crescimento foliar uniforme nos leitos ou se tivesse seria um crescimento tímido, conseqüentemente ter-se-ia uma diminuição ou uma ineficácia do processo de depuração d'água.

Tabela 5 – Valores médios das taxas de transpiração diária da typha nos leitos cultivados 1 (2x2m) e 2 (4x1m) para o mês de maio.

LEITO CULTIVADO 1 MAIO		LEITO CULTIVADO 2
dias	Transpiração Média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Transpiração Média ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
13	2,72	2,70
14	2,27	2,11
15	3,15	3,16

16	3,52	3,84
17	3,76	3,88

A taxa de transpiração diária ao início do dia medida para o intervalo entre às 7 e 8 horas foi de $1,39 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ no leito 1 e $1,17 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ no leito 2 no dia 13/05/2002, tendo o período taxas de condutância estomática de $5,08 \text{ cms}^{-1}$ e $3,46 \text{ cms}^{-1}$ respectivamente. A taxa de RFA inicial neste período foi de $602 \text{ } \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ para o leito 1 e de $1618,89 \text{ } \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ para o leito 2.

A diferença de medida nas taxas de transpiração foliar diária deve-se ao tempo decorrido entre medidas, onde uma mudança nas condições climáticas acaba por interferir na coleta de dados entre um leito e outro no decorrer do tempo. Isso fica mais perceptível quando se analisa a diferença de transpiração média existente no dia 16/05/2002. Em que a diferença entre valores é devido a problemas climáticos, como por exemplo, um dia nublado. Isso é verificado através da figura 40, onde a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no dia para o período compreendido entre 12 e 14 horas, em destaque na figura 40, teve uma queda brusca devido ao tempo ter nublado, o que ocasiona diferença entre medidas de transpiração média nos dois leitos cultivados, uma vez que a planta produz menos fotossíntese e fecha seus estômatos, conseqüentemente neste tempo com a demora de leitura entre os leitos cultivados, aparece o valor diferente.

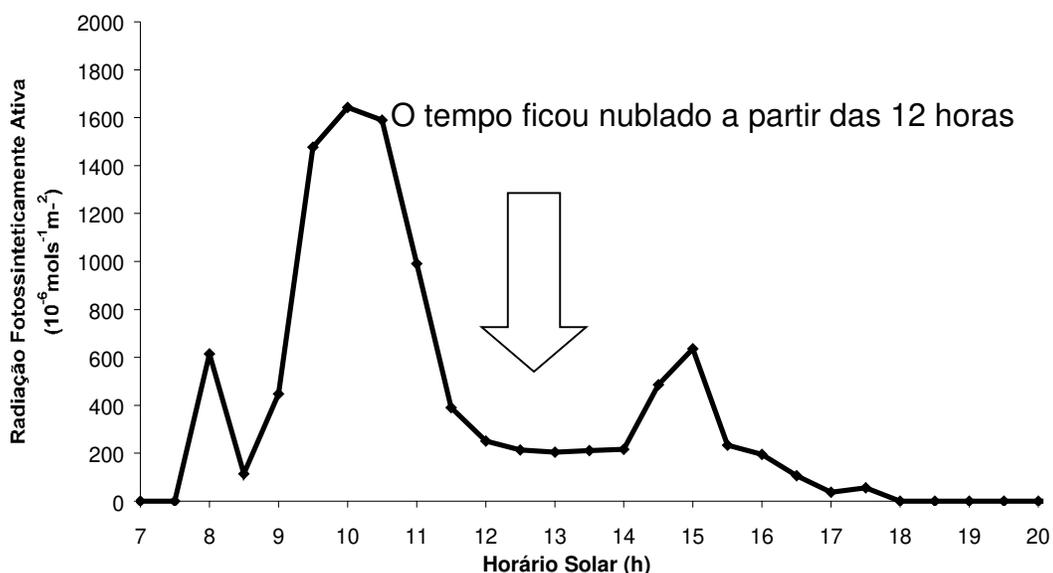


Figura 40 – Radiação fotossinteticamente ativa entre leitos no dia 16/05/2002.

5.3 Análise de Fósforo em relação a Typha

Segundo MANSOR (1998), a composição do meio suporte presente no leito é muito importante no que diz respeito à remoção de fósforo por processos de adsorção, uma vez que em meios suportes ácidos, íons fosfato podem ser fixados por alumínio ou ferro. Porém, é importante esclarecer que as comunidades de microorganismos se estabelecem preferencialmente na entrada e próximas ao fundo dos leitos, normalmente em microfilmes que envolvem o meio suporte, no caso do experimento a brita.

O desempenho de remoção de fósforo é dependente do pH, tendo um padrão sazonal devido a translocação de nutrientes para os rizomas de algumas espécies de macrófitas.

A quantidade total de fósforo nos leitos é igual à soma de fósforo reativo solúvel (PO_4^{3-}) e particulado suspenso em resíduo líquido. A sedimentação de fósforo suspenso e a adsorção de fosfato são assimiladas pelas macrófitas e convertido a fósforo orgânico estrutural nos leitos cultivados, podendo voltar à forma solúvel se a matriz orgânica é oxidada.

A transpiração foliar diária (figura 23) no dia 18/07/2002 para o leito 2 durante o período de maior incidência de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) esteve compreendida entre a faixa de $1,22 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ a $1,41 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ no horário entre as 12 e 15 horas. Durante este período a concentração de fósforo retirada variou de $1,98 \text{ mgP/L}$ a $0,86 \text{ mgP/L}$, sendo o período de maior retirada de fósforo ocorrida no leito 2 (figura 43) às 12 horas com o valor de $1,98 \text{ mgP/L}$.

A faixa de concentração retirada de fósforo revelou uma interação entre transpiração e radiação fotossinteticamente ativa, pois no período de maior taxa de radiação fotossinteticamente ativa –RFA (figura 22) que variou na faixa de $1451,10 \text{ } \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ a $691,04 \text{ } \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ no período das 12 às 15 horas, sendo o horário da 13 horas de maior RFA ($1665,56 \text{ } \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$). As concentrações de entrada e saída no leito tiveram uma variação maior entre si, principalmente às 12 horas (figura 42), pois, foi observada durante as medidas uma maior descarga de entrada de fósforo proveniente de uma espuma, originária de detergente de limpeza de algum setor da FEAGRI, visto que todo o esgoto

doméstico produzido na faculdade é depositado na fossa que alimenta o tanque séptico modificado e conseqüentemente os leitos cultivados.

A vazão de entrada e saída (figura 41) no dia 18/07 teve uma maior variação devido a problemas originários de entupimento, o que faz com que para liberar os orifícios das tubulações aumente-se a vazão de entrada através das válvulas de regulação do tanque séptico modificado.

No dia 03/10/2002 a faixa de maior transpiração foliar diária ficou compreendida no horário das 12 às 15 horas com valores de $5,05 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ a $5,83 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-2}$ sendo suas respectivas RFAs de $1463,33 \text{ } \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ a $1057,00 \text{ } \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ (apesar da maior RFA ter sido às 10 horas com valor de $1737,78 \text{ } \mu\text{mols}^{-1} \text{ m}^{-2}$).

No período de maior taxa de transpiração foliar diária a retirada de fósforo no dia 03/10 ficou na faixa de 0,84 mgP/L a 0,98 mgP/L (figura 48), sendo que as concentrações de entrada e saída (figura 47) tiveram variações mais moderadas, o que mostra que a quantidade de fósforo depositada no leito não teve uma descarga rápida de maior concentração como ocorreu no dia 18/07. As vazões de entrada e saída no dia 03/10 (figura 46) não tiveram grandes variações, ficando num patamar mais constante, isto se deve ao melhor controle no fluxo de entrada regulado pelo tanque séptico modificado que não ocasionou problemas de colmatação no sistema de leitos pela deposição de lodo.

Um ponto importante para salientar no momento e que será detalhado mais adiante no *tópico corte da typha* é que durante o crescimento da typha o fato de haver uma faixa mais extensa e homogênea de retirada de fósforo no dia 03/10 (figura 48) que se deve ao fato de ter-se obtido uma alta transpiração diária em conseqüência da maior incidência de RFA ao longo do dia, a maior quantidade horária de fósforo retirada foi no dia 18/07 (1,98 mgP/L). A princípio parece ilógico, pelo fato de corresponder ao período - inverno, que é caracterizado por uma menor taxa de RFA, mas que se torna importante de salientar pelo fato de que a typha no leito 2 apresentava um tamanho médio de 1,24 m e no leito 1 um tamanho de 1,38 m, enquanto no dia 03/10 a altura média delas era de 2,30m e 2,35m respectivamente. A planta no dia 03/10 apresentava sua massa vegetal praticamente no estágio de máximo desenvolvimento, pronta para o corte que ocorreu no dia 15/10, logo a demanda de retirada de fósforo torna-se menor quando comparada ao período de crescimento, em que a quantidade de nutrientes requerida tende a ser maior. Além do fato

que na fase final de desenvolvimento as plantas predominam na região perimetral, uma vez que as plantas situadas na região central do leito não suportaram o sombreamento causado pelas macrófitas em torno do leito e morreram. Logo, as plantas que realmente trabalham no sistema são as plantas situadas ao redor do leito (ver fotos do corte na parte final de resultados).

Analogamente se analisar a vazão massa de entrada e saída no leito 2 para o dia 18/07, pode-se verificar que às 12 horas a vazão massa de entrada é maior devido ao que já foi salientado anteriormente (devido a descarga de detergente), uma vez que a vazão massa de entrada e saída é dada pelo produto da vazão horária pela concentração de entrada e saída. Bem como a variação da vazão massa retirada é dada pela diferença algébrica da vazão massa de entrada e saída.

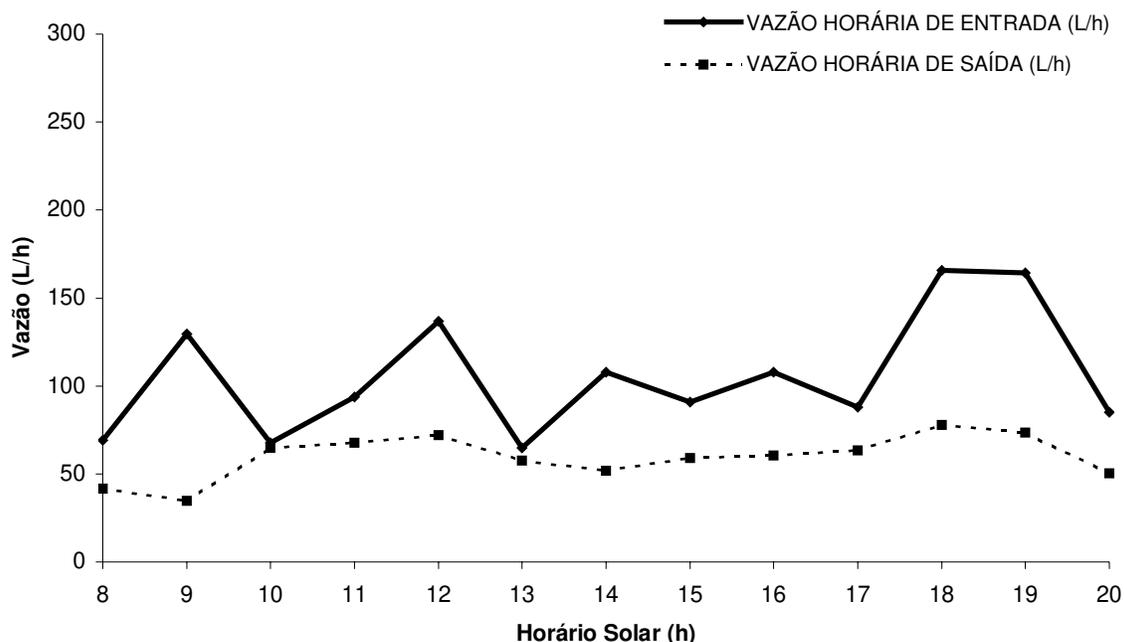


Figura 41 – Análise do comportamento da vazão (L/h) no leito 2 para o dia 18/07/2002.

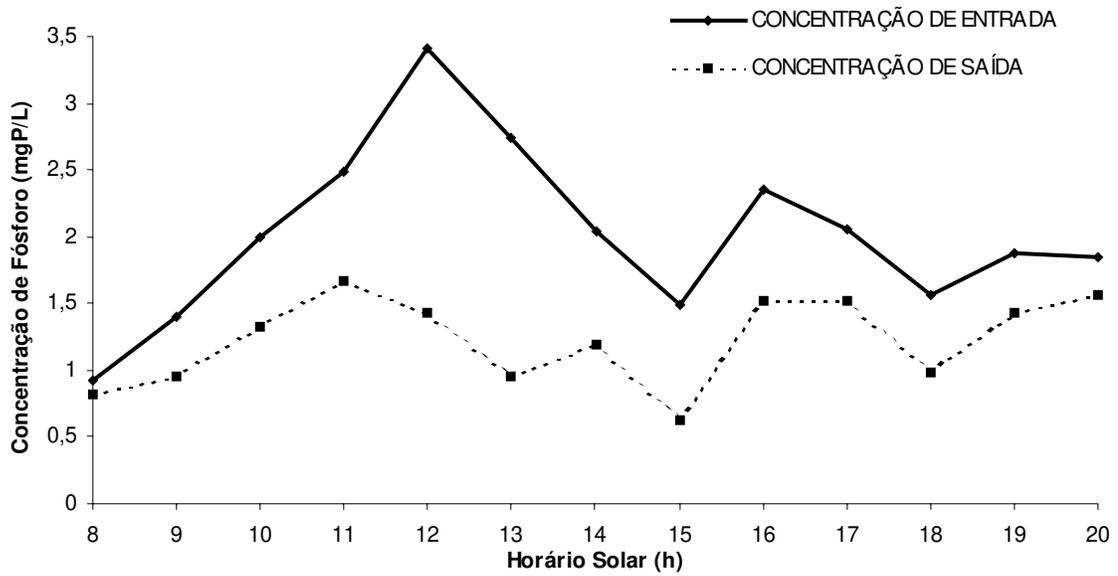


Figura 42 – Análise comparativa entre a concentração de fósforo (mgP/L) presente na entrada e saída do leito para o dia 18/07/2002.

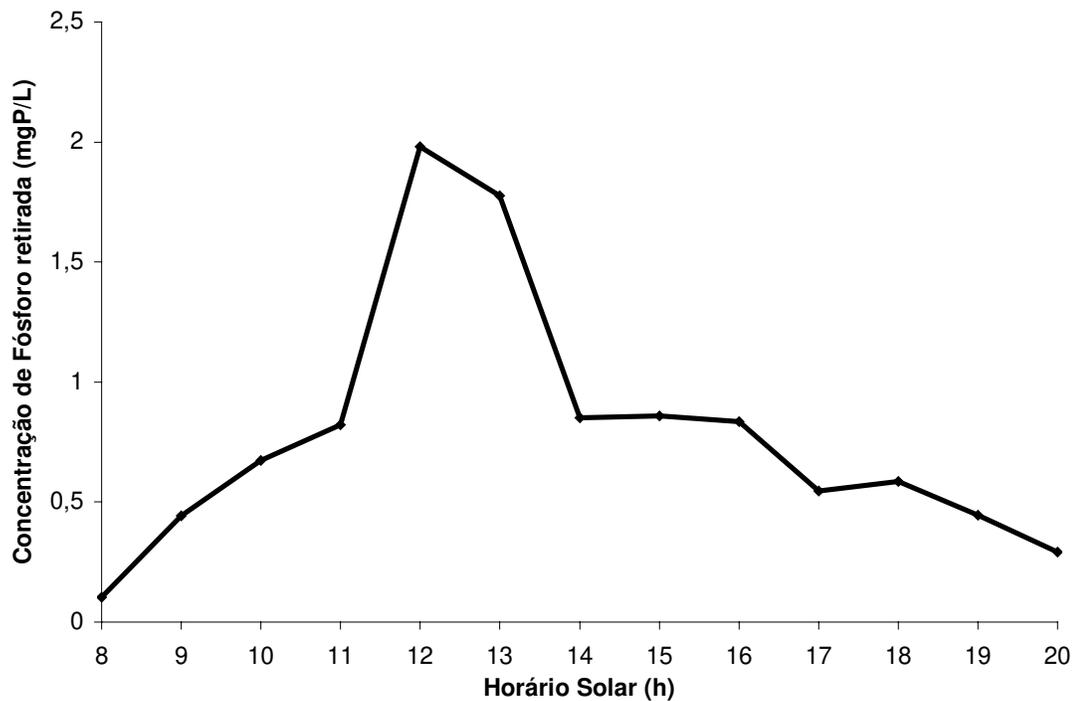


Figura 43 – Retirada efetiva de fósforo (mgP/L) no leito 2 para o dia 18/07/2002.

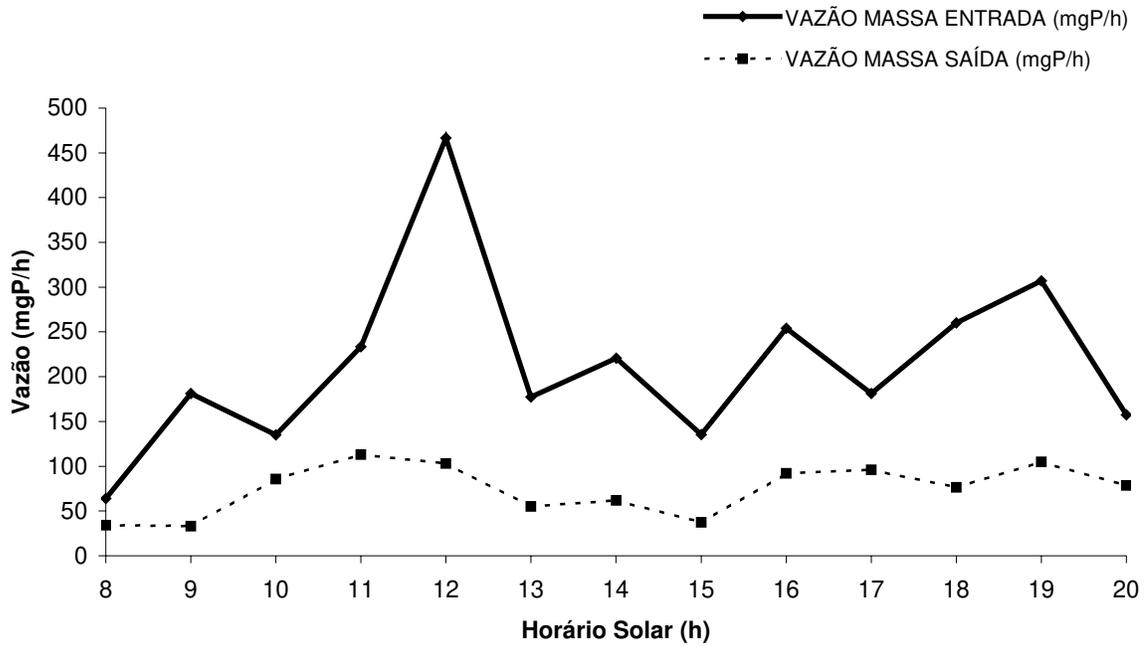


Figura 44 – Vazão massa de fósforo no leito 2 para o dia 18/07/2002.

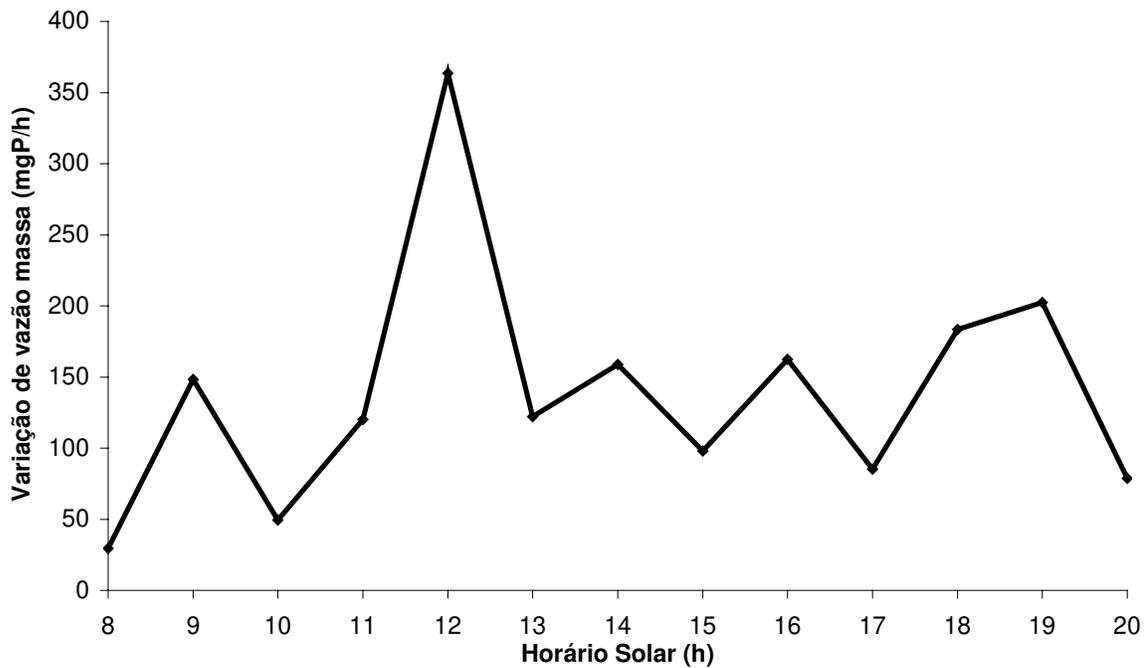


Figura 45 – Variação da vazão massa de fósforo no leito 2 para o dia 18/07/2002.

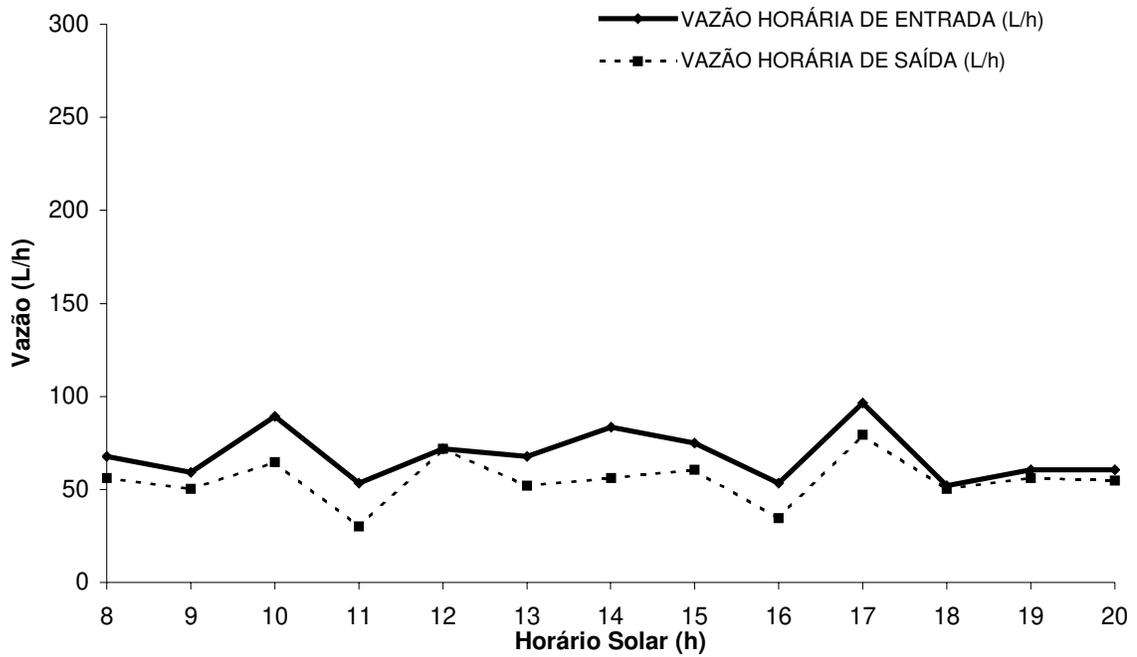


Figura 46 – Análise do comportamento da vazão (L/h) no leito 2 para o dia 03/10/2002.

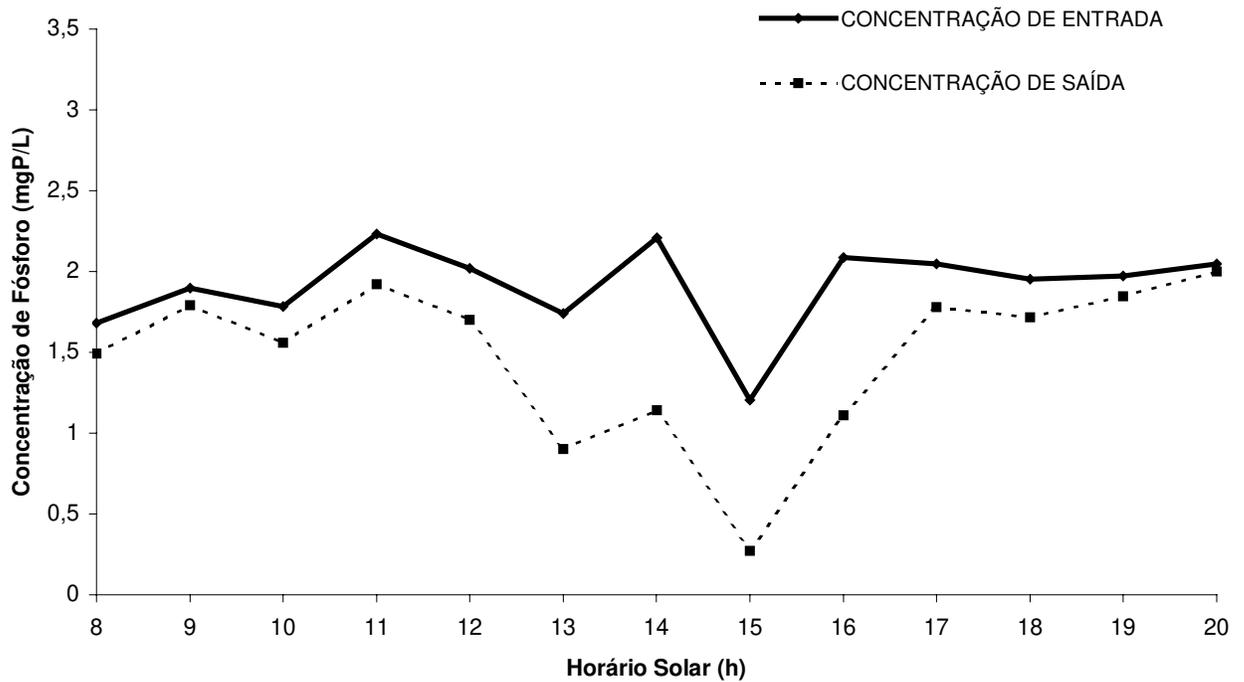


Figura 47 – Análise comparativa entre a concentração de fósforo (mgP/L) presente na entrada e saída do leito para o dia 03/10/2002.

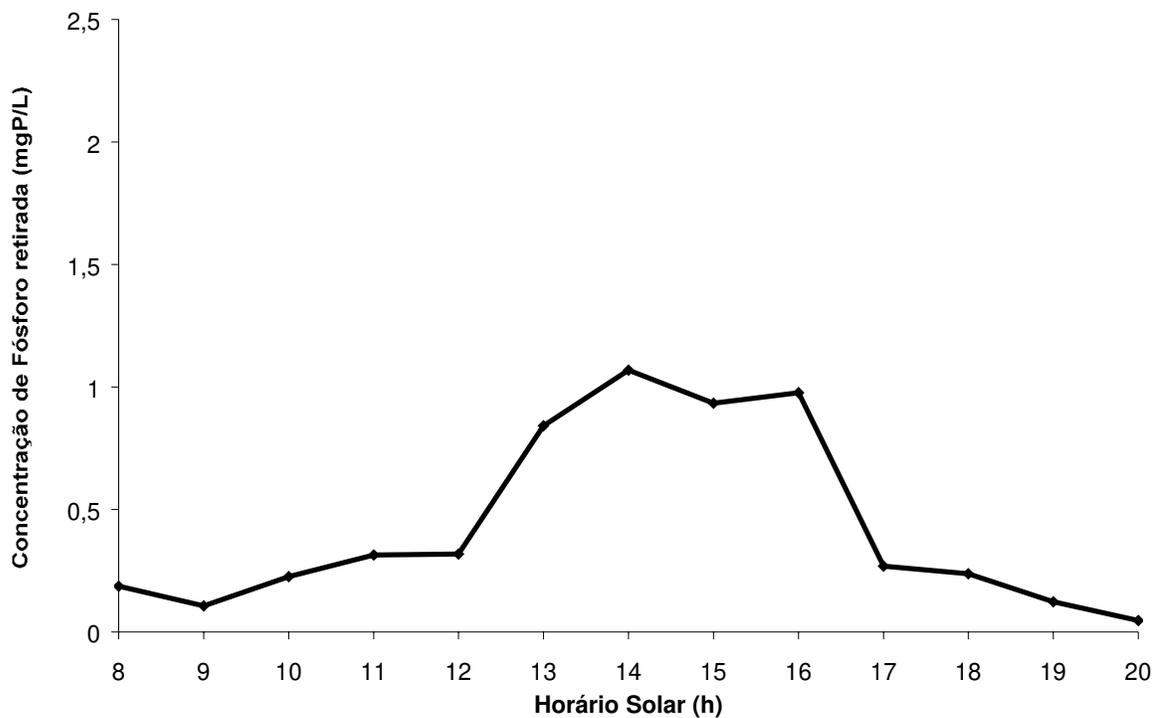


Figura 48 – Retirada efetiva de fósforo (mgP/L) no leito 2 para o dia 03/10/2002.

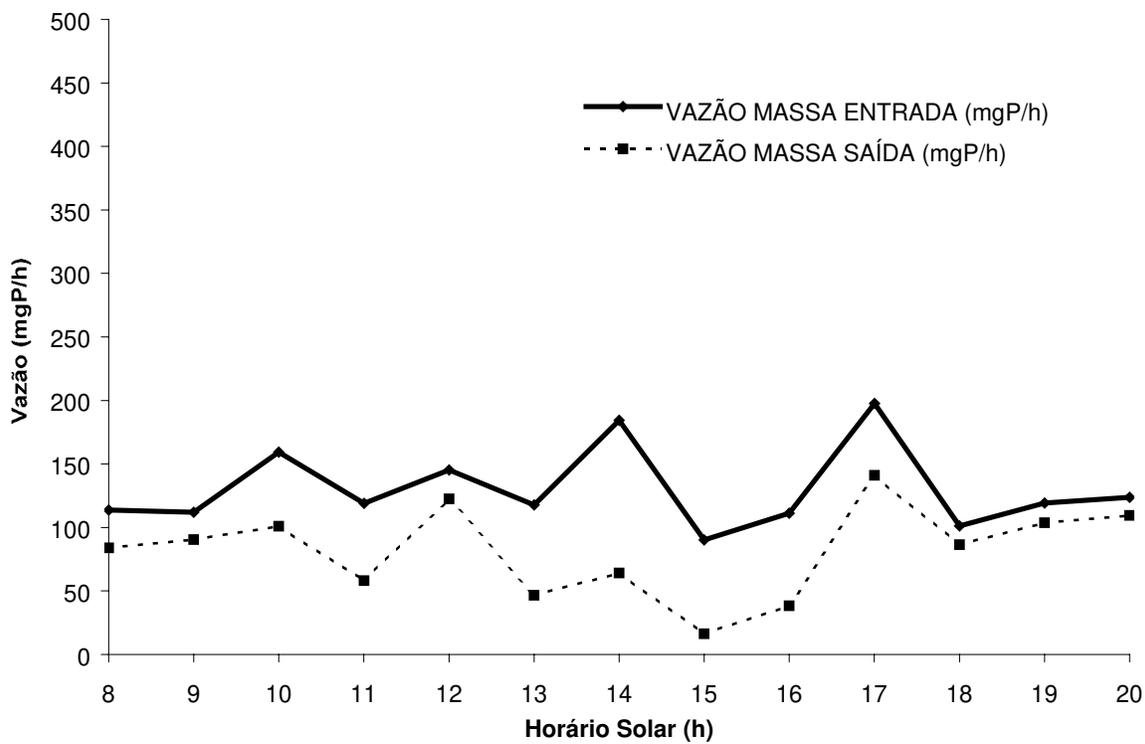


Figura 49 – Vazão massa de fósforo no leito 2 para o dia 03/10/2002.

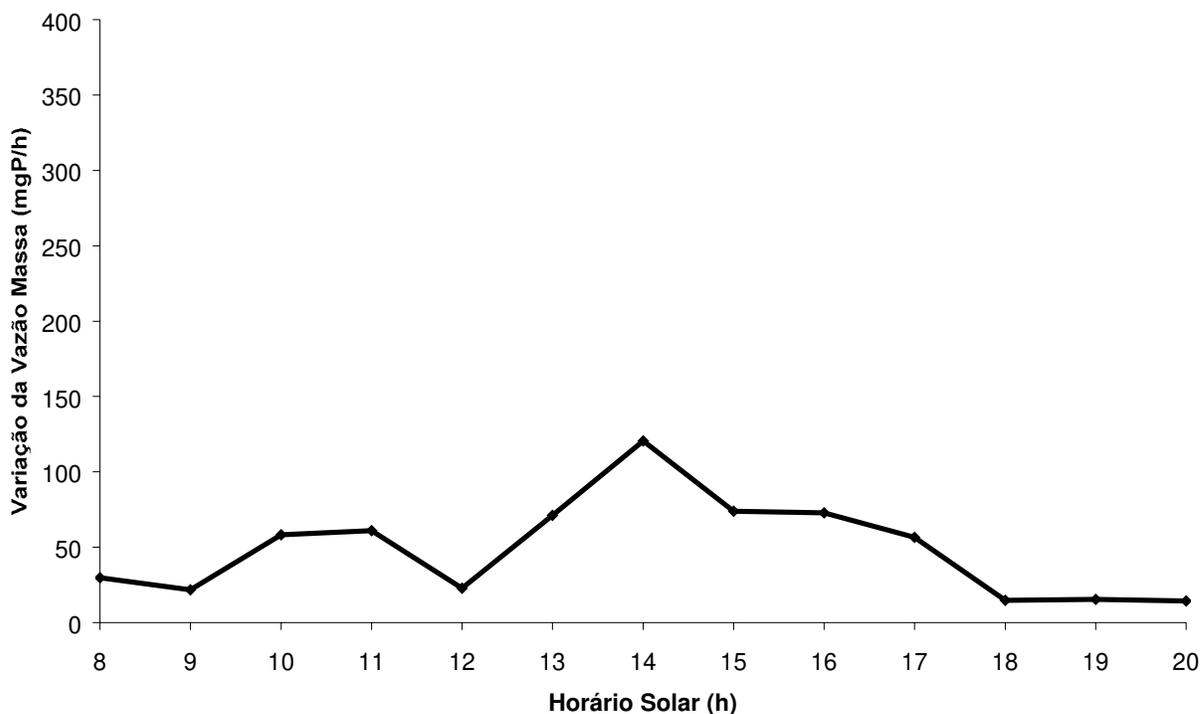


Figura 50 – Variação da vazão massa de fósforo no leito 2 para o dia 03/10/2002.

5.4 Nitrogênio absorvido no leito

Os principais processos de transformação química do nitrogênio ocorridas nos leitos são a amonificação (transformação biológica do nitrogênio orgânico a amônia), nitrificação (oxidação microbiológica da amônia a nitrato), desnitrificação (redução do nitrato ou nitrito), fixação biológica (redução de gás nitrogênio a amônia) e assimilação (conversão de íon amônio e nitrato a compostos orgânicos).

Em sistemas de leitos, a quantia total de nitrogênio presente na coluna d'água é calculada somando-se o valor de NTK (amônia e nitrogênio orgânico) às concentrações de nitrato e nitrito.

A análise da quantidade de nitrato retirada no leito no período de 18/07 ficou na faixa de 5,8 a 5,2 mgNO₃⁻/L no período das 11 às 15 horas (figura 52), enquanto que no dia 03/10 variou entre 9,4 a 5,4 mgNO₃⁻/L para o intervalo das 12 às 14 horas (figura 56).

Verificou-se numa maior parcela em intervalo de concentração retirada no período-inverno que na primavera, sabe-se que a typha utiliza o nitrogênio proveniente da desnitrificação do nitrato pela comunidade microbiológica existente no sistema radicular.

Contudo se verifica que como no fósforo a demanda se torna menor no dia 03/10, uma vez que a planta retira a quantidade necessária para manutenção de seu sistema metabólico.

Nota-se que a faixa de maior diferença entre concentrações de entrada e saída, que fornecem a concentração retirada do determinado nutriente, apresentada nos gráficos das figuras correspondentes para fósforo, nitrato e também de amônia é maior para o período das 12 às 15 horas. Isto corresponde às quantidades de maior transpiração foliar diária, ocasionada pela maior demanda de radiação fotossinteticamente ativa.

A observação levantada durante o período de estudo revela que para trabalhos científicos que necessitem apenas avaliar a retirada diária de nutrientes, pode-se fazer um trabalho de monitoramento diário do sistema com retirada de amostras num horário intermediário que corresponderia às 14 horas, sem haver perda de qualidade na coleta de dados, uma vez que irá corresponder ao intervalo de máximo funcionamento do leito, pois corresponde ao intervalo de maior transpiração foliar diária.

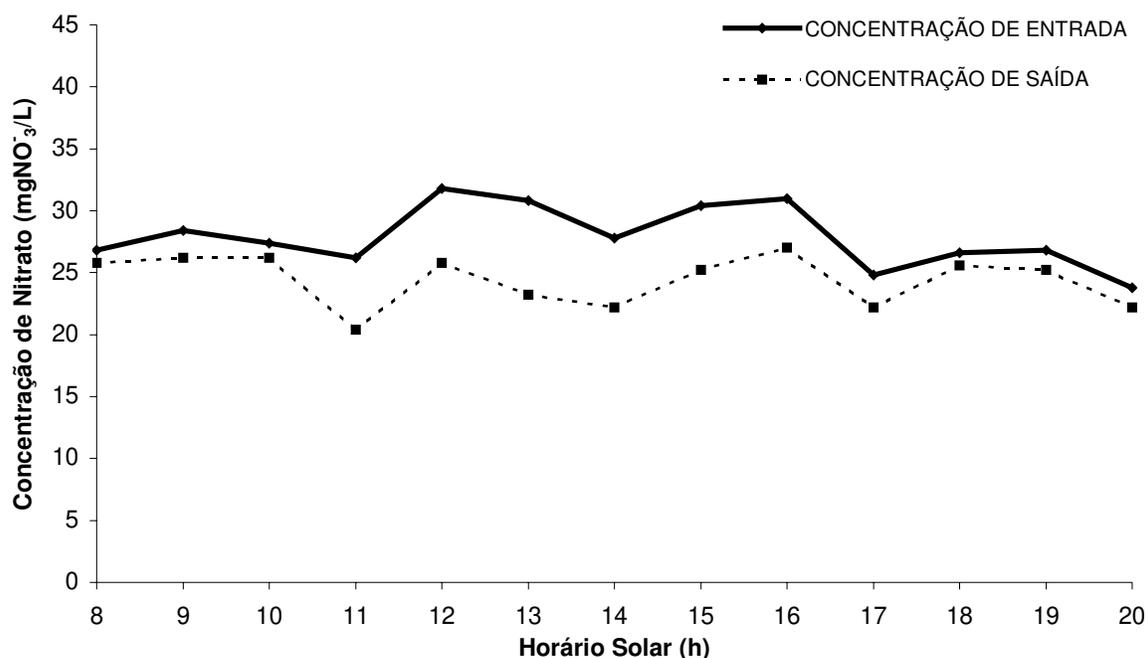


Figura 51 – Concentração de nitrato (mgNO₃⁻/L) na entrada e saída no leito 2 para o dia 18/07/2002.

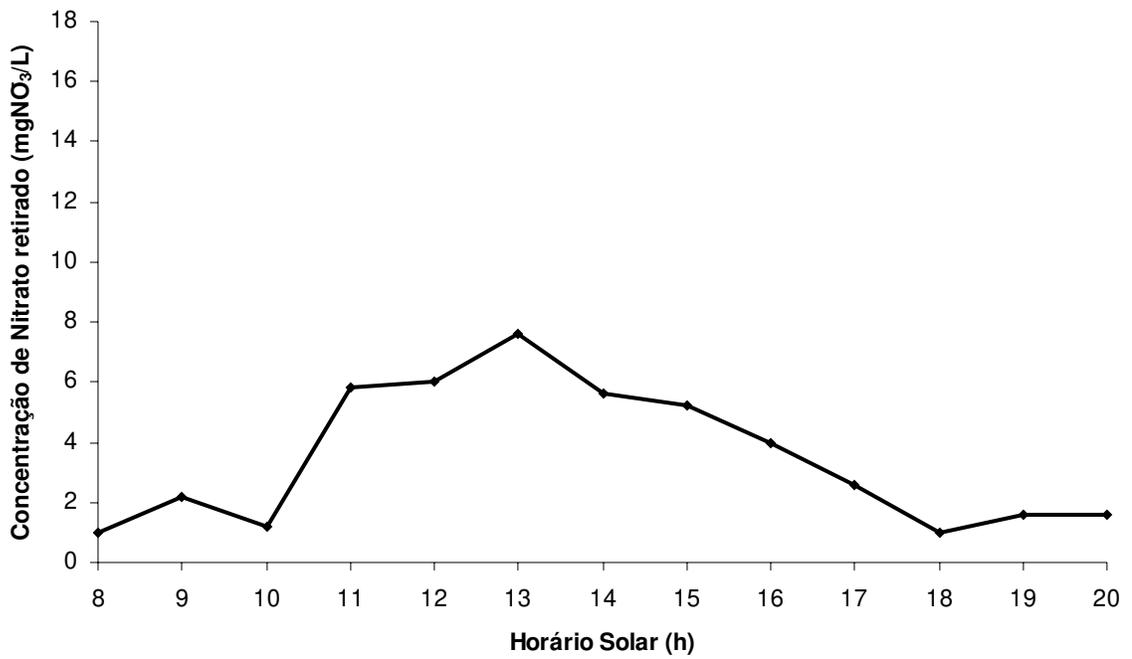


Figura 52 – Concentração de nitrato (mgNO₃⁻) retirada no leito 2 para o dia 18/07/2002.

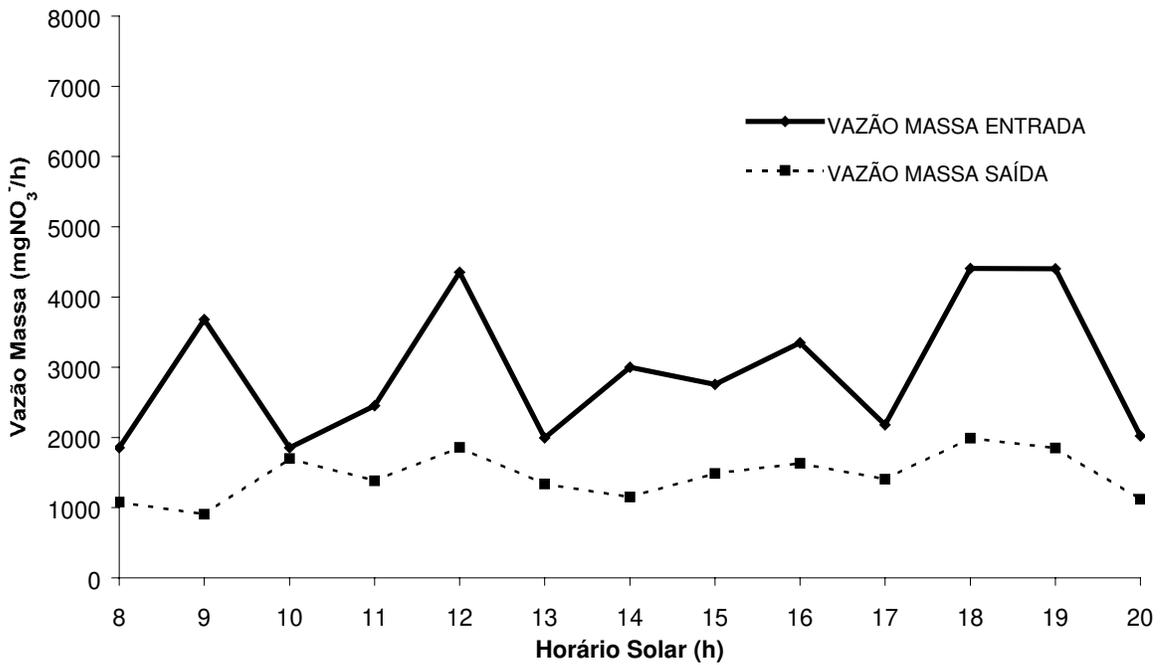


Figura 53 – Vazão massa de nitrato no leito 2 para o dia 18/07/2002.

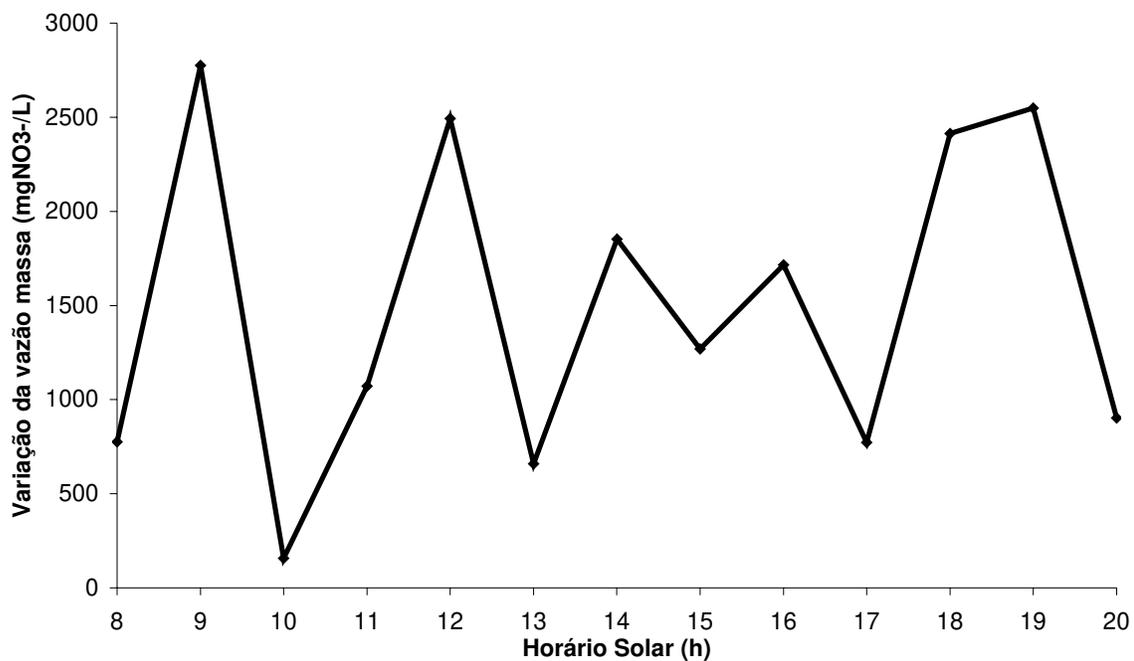


Figura 54– Variação da vazão massa de nitrato no leito 2 para o dia 18/07/2002.

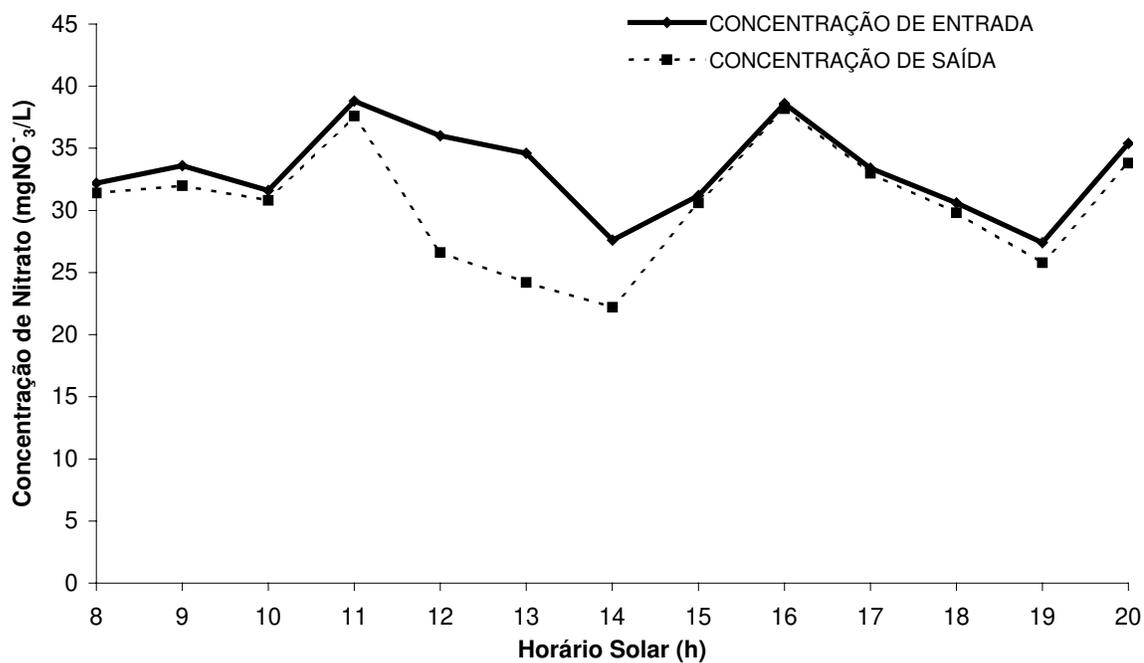


Figura 55 – Concentração de nitrato (mgNO₃⁻/L) na entrada e saída no leito 2 para o dia 03/10/2002.

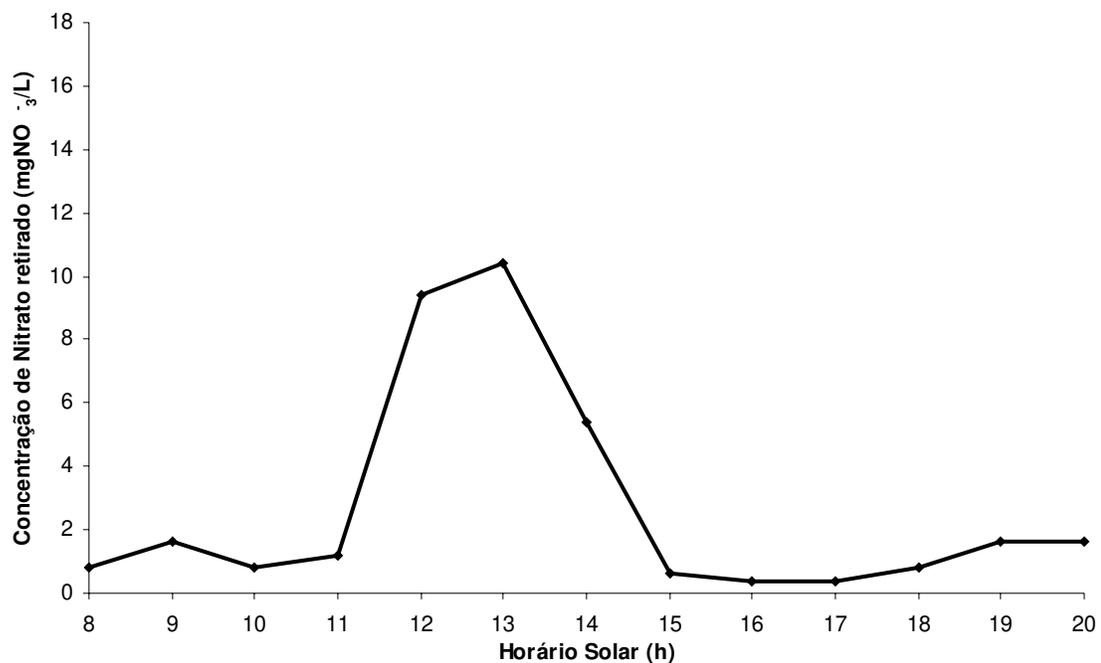


Figura 56 – Concentração de nitrato (mgNO₃⁻) retirada no leito 2 para o dia 03/10/2002.

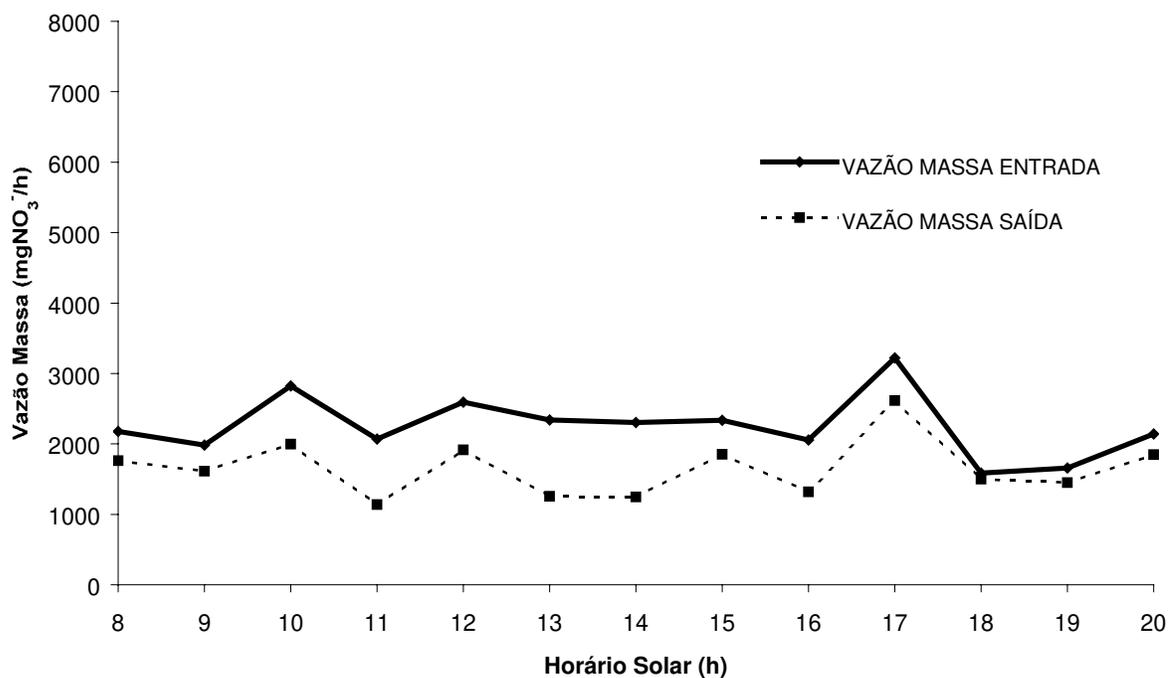


Figura 57 – Vazão massa de nitrato no leito 2 para o dia 03/10/2002.

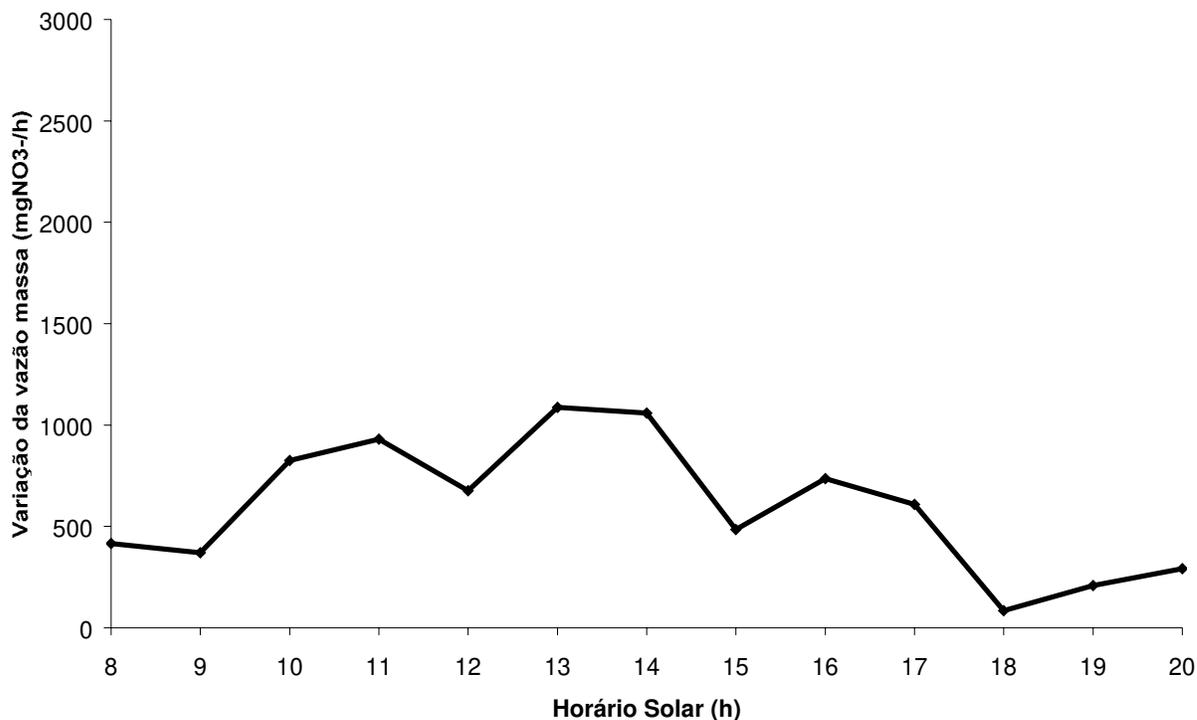


Figura 58– Variação da vazão massa de nitrato no leito 2 para o dia 03/10/2002.

A concentração de amônia retirada no leito 2 para o dia 18/07 foi de 12,26 mgNH₃-H/L às 12 horas e de 8,49 mgNH₃-H/L às 15 horas, com “pico” máximo às 13 horas (24,52 mgNH₃-H/L), (fig. 60), enquanto que no dia 03/10 ela variou de 13,20 mgNH₃-H/L a 5,66 mgNH₃-H/L (fig. 64) no intervalo entre 12 e 15 horas.

O processo de nitrificação forneceu alimento a planta, consumido em maior escala no período crítico de crescimento da massa verde, mostrado pela figura 60, no que no período primavera, figura 64. Embora o gráfico mostre que a quantidade diária retirada de nutriente seja fósforo, nitrato ou amônia, ocorra sempre no período de máximo metabolismo diário da planta, ou seja, de maior transpiração foliar diária.

Com essa análise tem-se o que já foi dito anteriormente, que a máxima eficiência no sistema ocorre sempre num intervalo fixo das 12 às 15 horas.

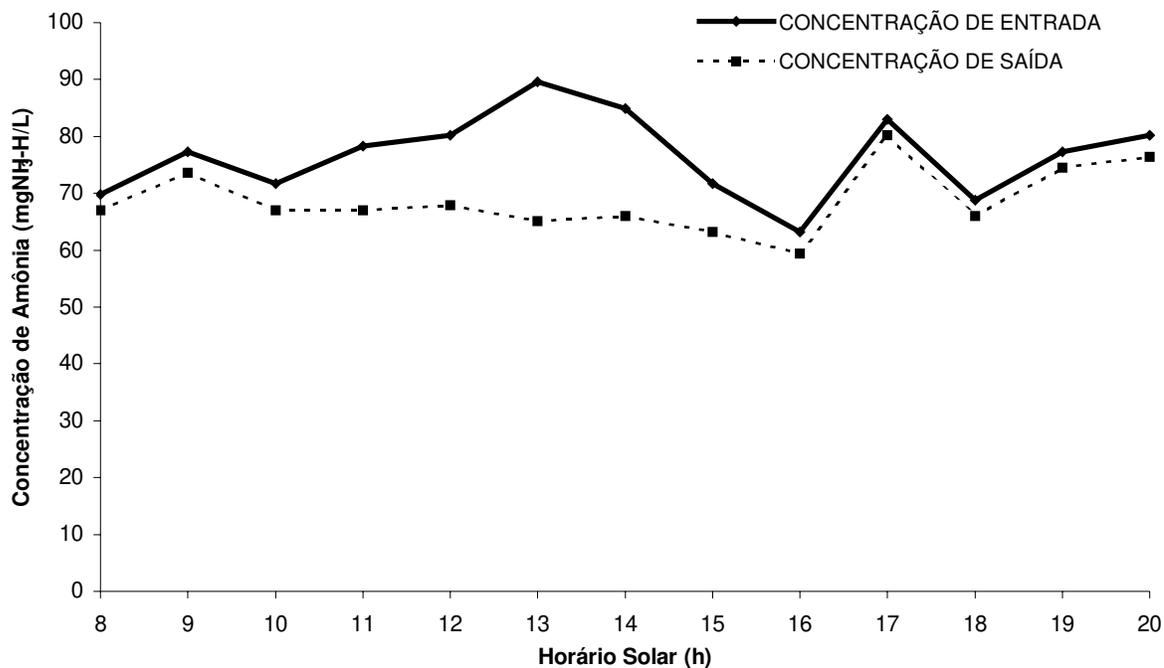


Figura 59 – Concentração de amônia (mgNH₃-H/L) na entrada e saída no leito 2 para o dia 18/07/2002.

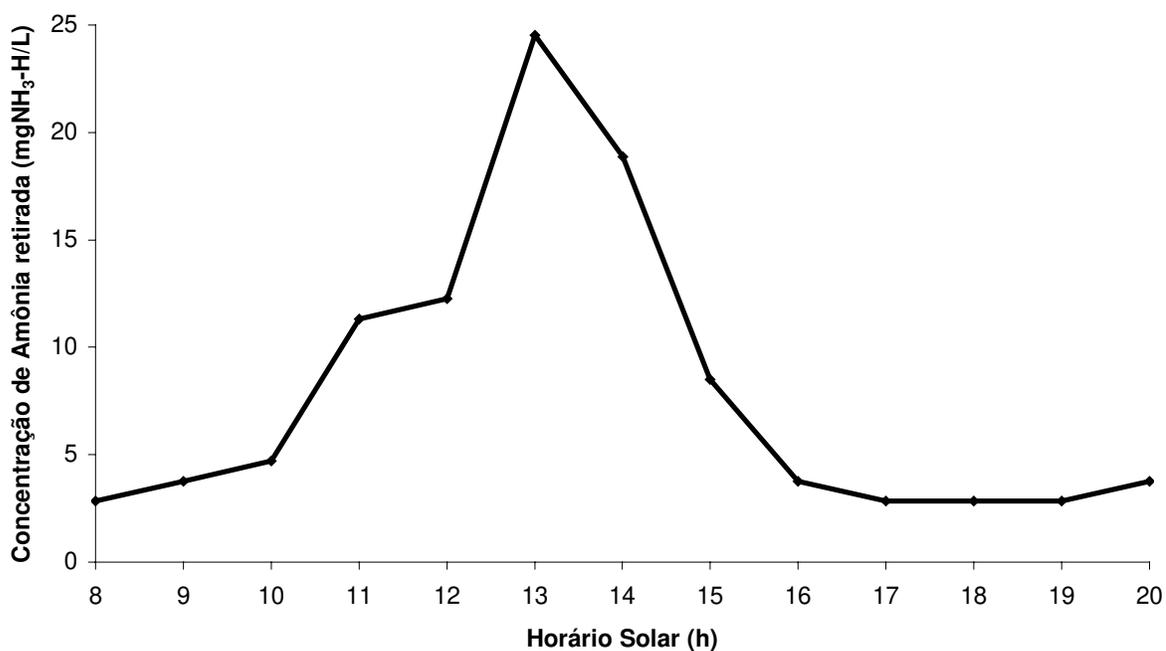


Figura 60 – Concentração de amônia (mgNH₃-H/L) retirada no leito 2 para o dia 18/07/2002.

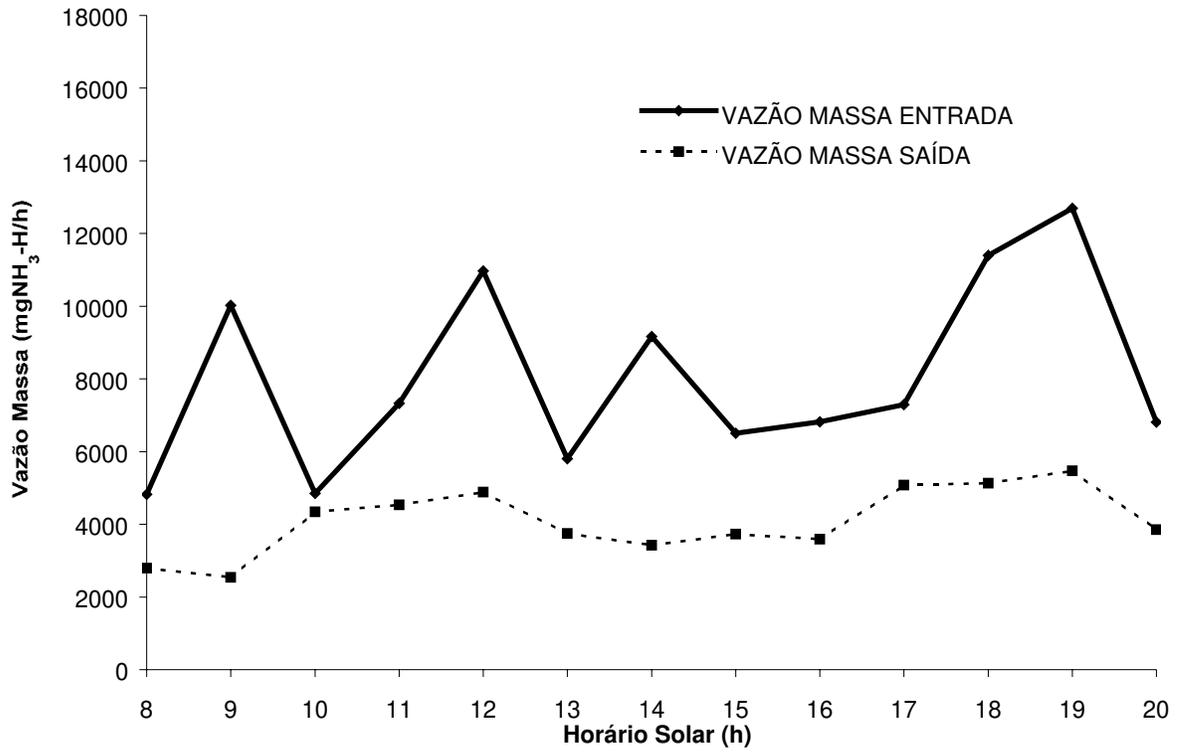


Figura 61 – Vazão massa de amônia no leito 2 para o dia 18/07/2002.

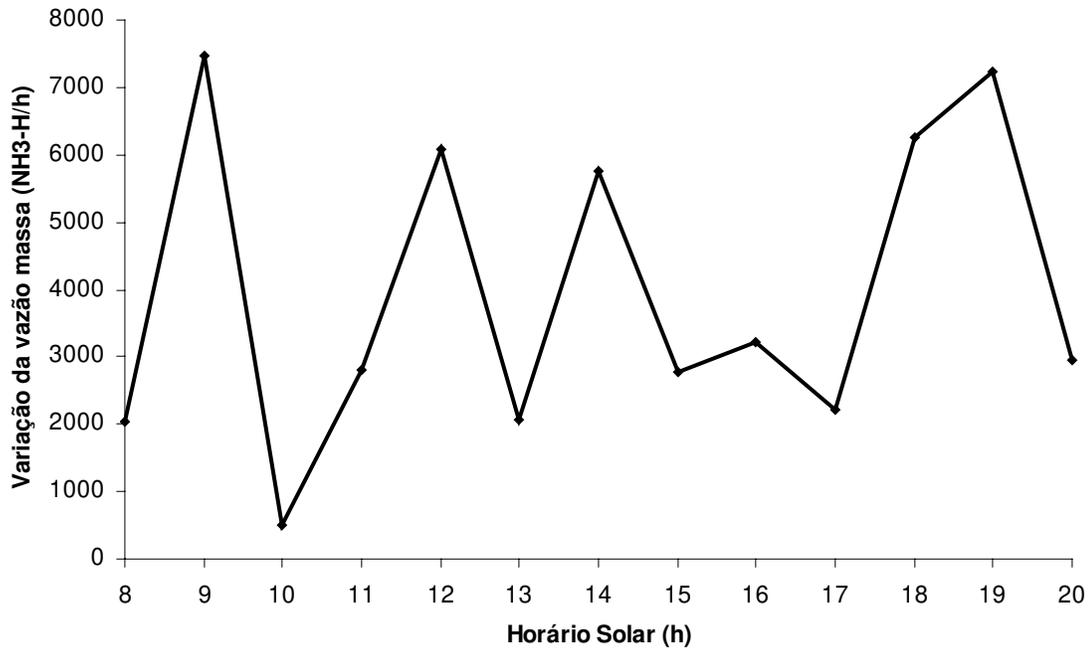


Figura 62– Variação da vazão massa de amônia no leito 2 para o dia 18/07/2002.

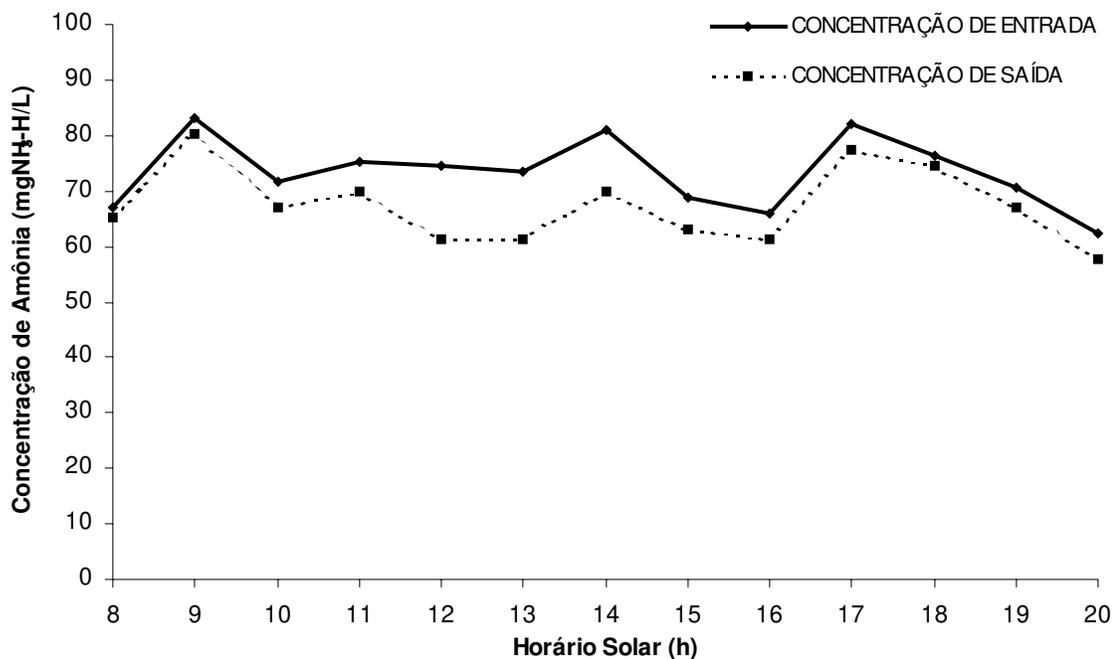


Figura 63 – Concentração de nitrato (mgNH₃-H/L) na entrada e saída no leito 2 para o dia 03/10/2002.

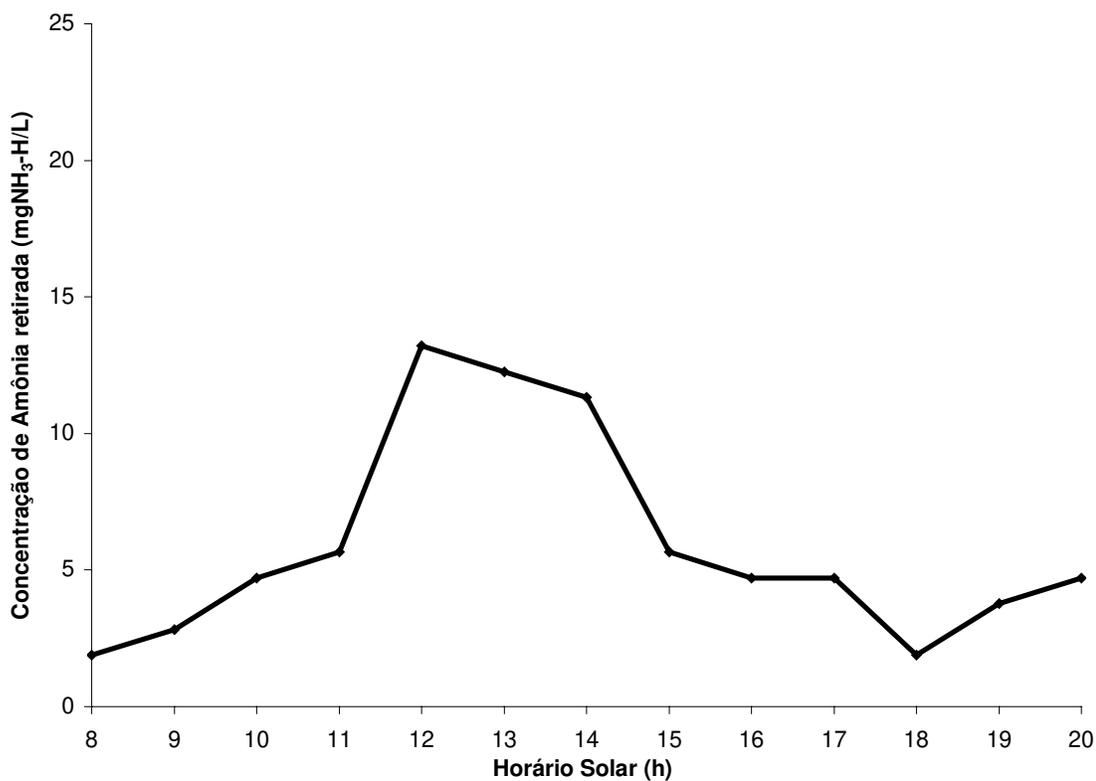


Figura 64 – Concentração de amônia (mgNH₃-H/L) retirada no leito 2 para o dia 03/10/2002.

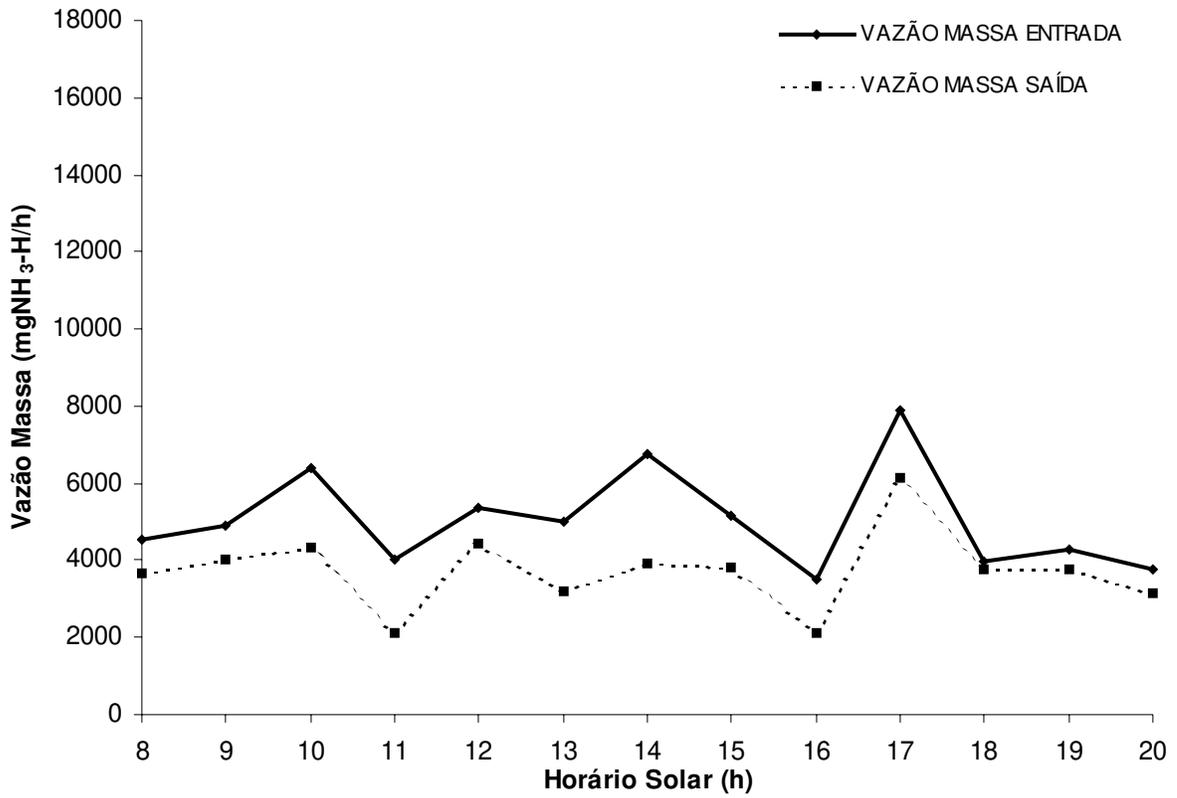


Figura 65 – Vazão massa de amônia no leito 2 para o dia 03/10/2002.

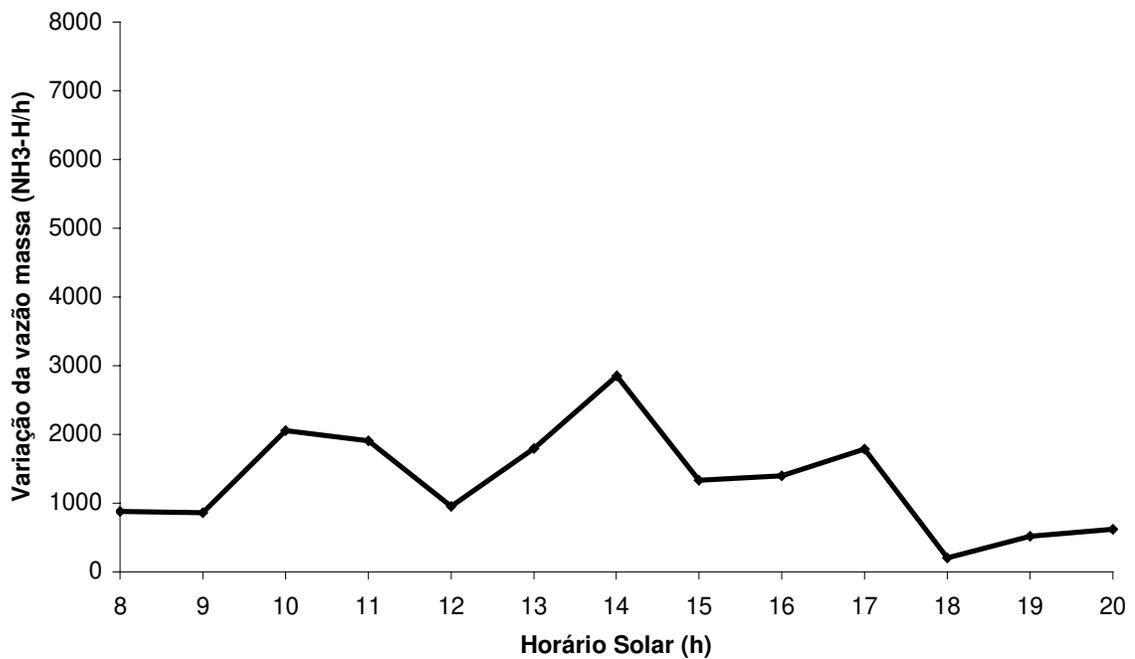


Figura 66– Variação da vazão massa de amônia no leito 2 para o dia 03/10/2002.

5.5 pH do meio

O pH é um fator abiótico de relevância aos processos biológicos ocorridos nos leitos cultivados. Segundo MANSOR (1998) a concentração de íons hidrogênio nos leitos influencia muitas transformações bioquímicas aí ocorridas, pois ela afeta o equilíbrio das formas de ácidos e bases ionizadas e não ionizadas, além de controlar a solubilidade de muitos gases e sólidos presentes em solução.

Em ambos os leitos as concentrações de pH de saída foram menores que as de entrada, em especial para os dias 18/07 e 30/10 (figuras 67 e 68). Dessa forma resultando num resíduo líquido a jusante de maior acidez, o que caracteriza um processo de acidogênese.

As variações de maior intensidade do pH para o leito 2 no dia 18/07 ocorreu no intervalo das 11 às 13 horas com valores na ordem de 8,65 na entrada e 8,11 na saída (às 11 horas) e de 8,62 na entrada e 7,94 na saída (às 13 horas).

Para o dia 03/10 o intervalo de maior significância foi entre às 12 e 14 horas, com valores de 7,57 (entrada) e 7,22 (saída); 7,54 (entrada) e 7,08 (saída) para o respectivo intervalo.

5.6 Condutividade elétrica presente

A condutividade elétrica fornece de forma indireta o grau de sais minerais presentes no resíduo líquido, avaliando esse parâmetro pode-se constatar que a quantidade de sais presentes na água residuária de saída diminui em consideração aos valores de entrada, sendo que a máxima condutividade elétrica retirada no leito 2 para o dia 18/07/2002 foi de 482 μS às 14 horas (figura 70), enquanto para o dia 03/10 o valor foi de 409 μS às 15 horas (figura 72).

A faixa de variação da condutividade elétrica para o dia 18/07 foi de 701 μS (entrada) à 360 μS (saída) às 13 horas e 678 μS (entrada) à 574 μS (saída) às 15 horas (fig. 69). Já para o dia 03/10 os valores foram: 579 μS (entrada) à 363 μS (saída) às 12 horas e 927 μS (saída) à 578 μS (saída) às 15 horas (figura 71).

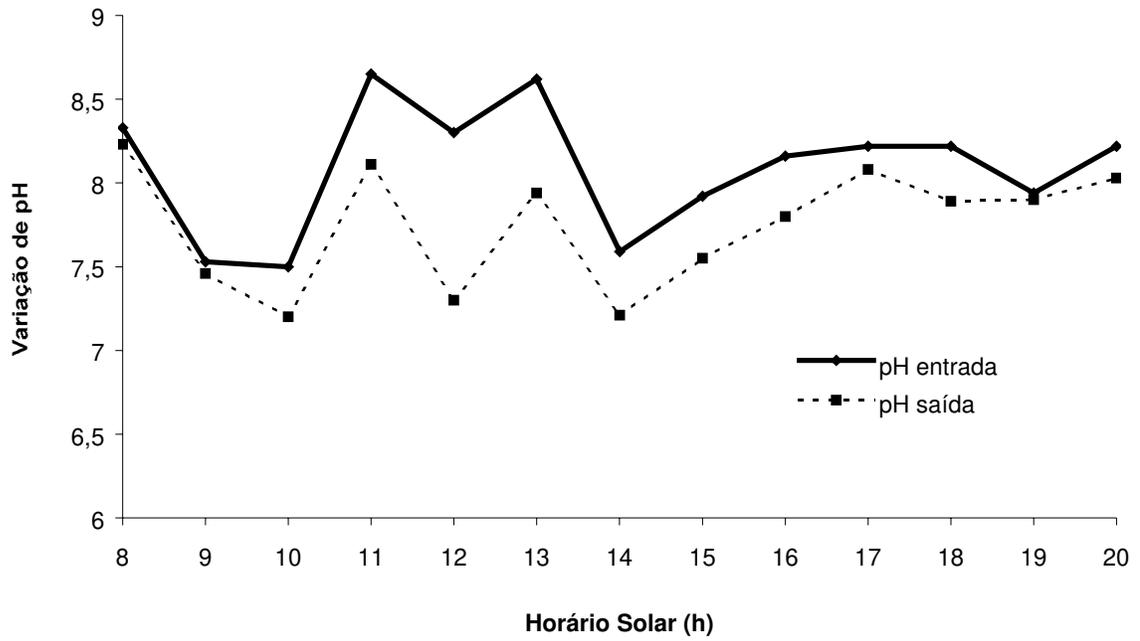


Figura 67 – Variação no pH de entrada e saída no leito 2 para o dia 18/07/2002.

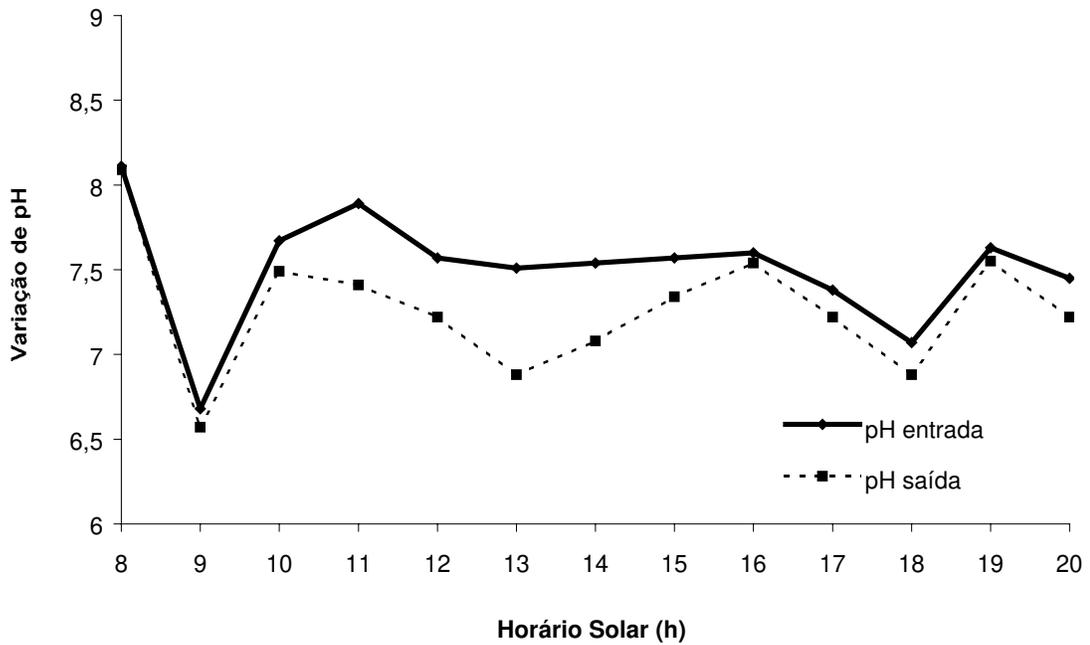


Figura 68 – Variação no pH de entrada e saída no leito 2 para o dia 03/10/2002.

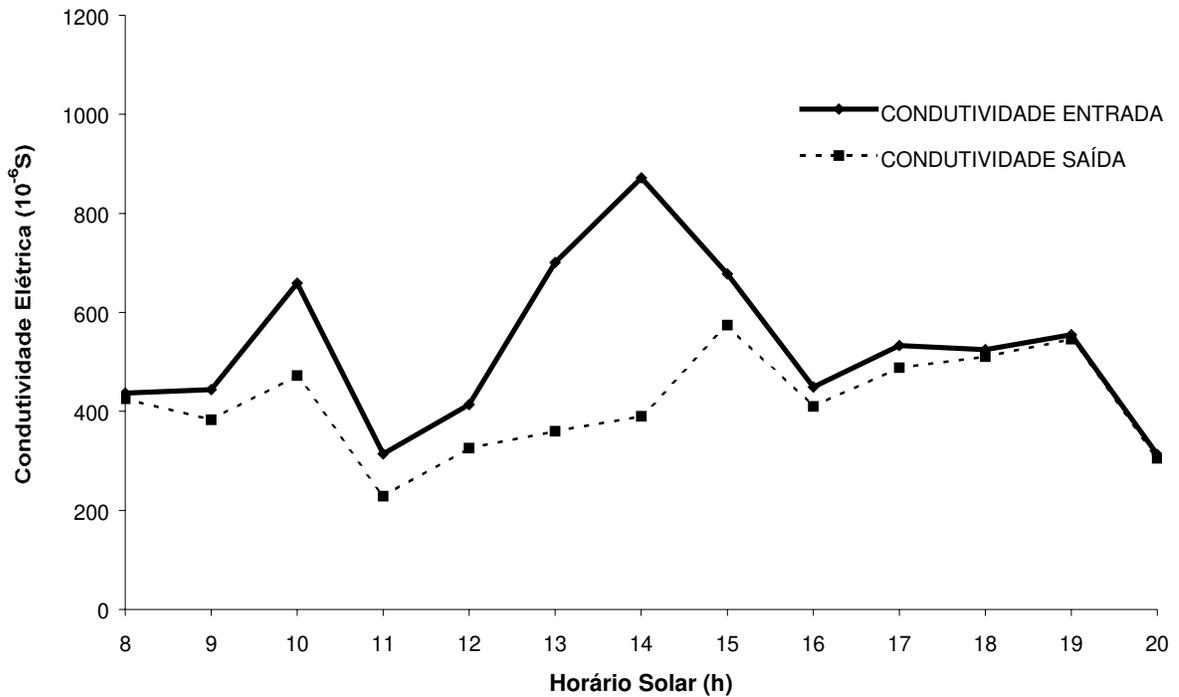


Figura 69 – Variação na condutividade elétrica (μS) entrada e saída no leito 2 para o dia 18/07/2002.

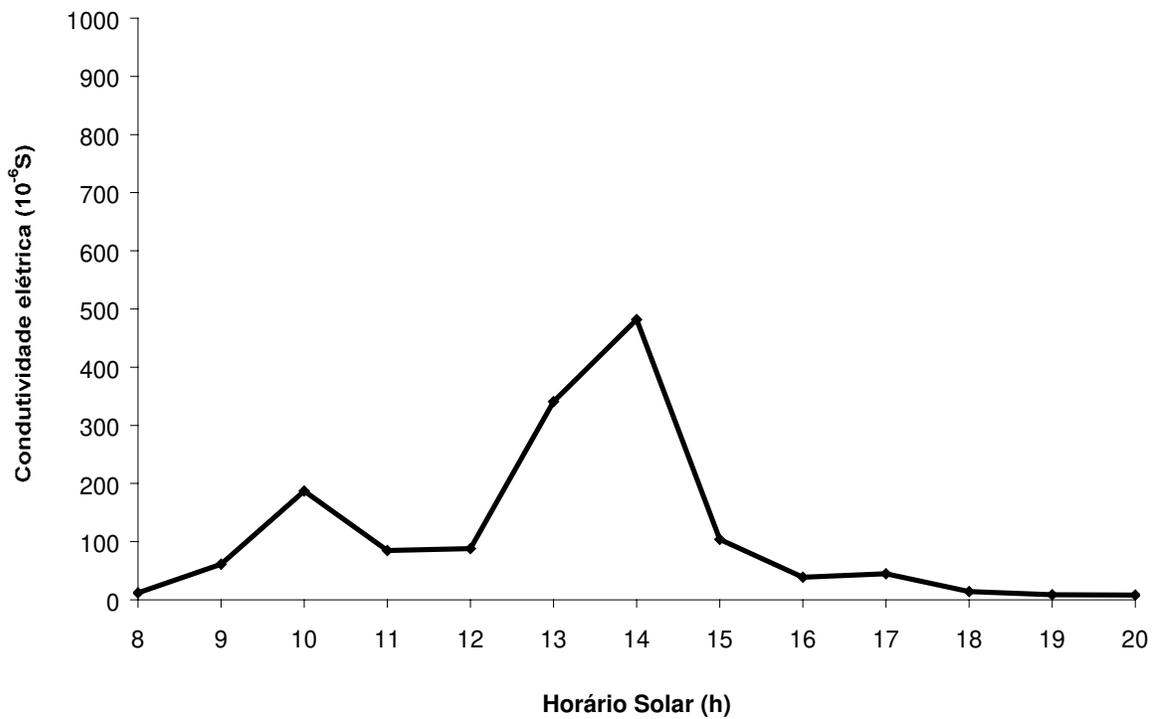


Figura 70 – Variação na diferença de condutividade (μS) elétrica no leito 2 para o dia 18/07/2002.

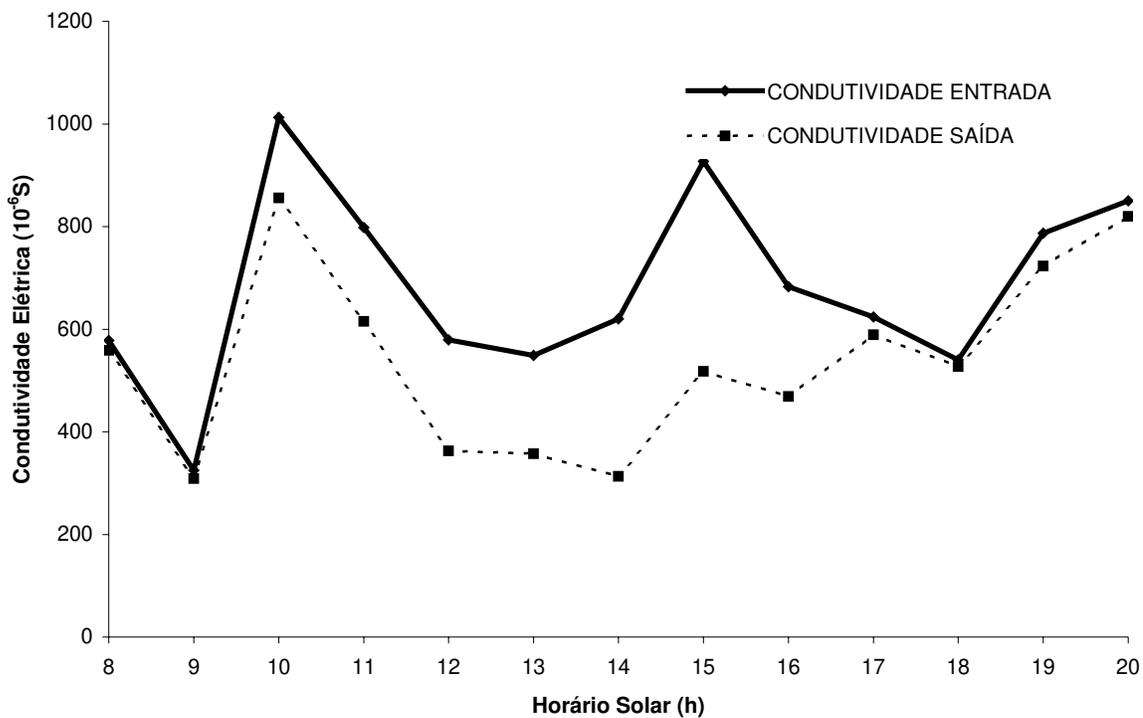


Figura 71 – Variação na condutividade elétrica (μS) entrada e saída no leito 2 para o dia 03/10/2002.

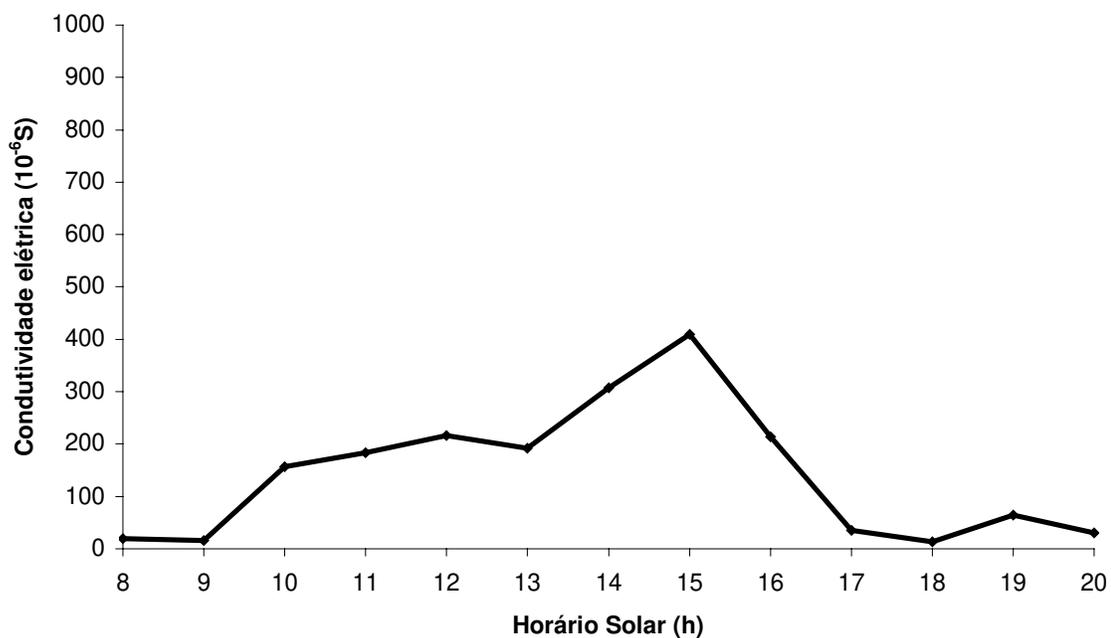


Figura 72 – Variação na diferença de condutividade (μS) elétrica no leito 2 para o dia 03/10/2002.

5.7 Análise dentro do período de outubro

A análise no período de outubro, mostrou a variação dos parâmetros: transpiração média, retirada de nutrientes em função do período para os leitos cultivados 1 e 2.

A vazão média durante a semana de outubro (figuras 73 e 74) foi uniforme nos três primeiros dias de medidas: 30/09, 01/10 e 02/10, sendo que houve um decréscimo da faixa no dia 03/10 para ambos os leitos, mantendo a curva uniforme.

A transpiração média durante o mês de outubro para os cinco dias de levantamento em ambos os leitos permaneceu homogênea, sendo que se notar pela figura 75 que não ocorreu problemas climáticos tais como sombreamento ou chuvas, o que contribuiu na qualidade dos dados coletados.

A figura 75 permite avaliar que a transpiração média dos dias 30/09, 02/10 e 03/10 foram maiores, uma vez que a RFA desses dias tendeu a ser maior que nos dias 01/10 a 04/10.

A avaliação da variação total de fósforo retirada para os leitos (fig. 76), mostrou que houve uma relação com a transpiração, onde com a diminuição da transpiração média, a quantidade média de fósforo retirada diminuiu em ambos os leitos, sendo que o leito 2, teve um acréscimo menor do que o leito 1 com o aumento da transpiração para o dia 03/10. Isso pode ser explicado pelo índice de área foliar (IAF) médio, uma variedade adimensional que fornece o valor da cobertura vegetal do local, conseqüentemente permite avaliar a concentração de plantas.

No caso do leito 1 a concentração de plantas tende a ser maior que no leito 2, conforme observa-se na tabela 7, devido a conformidade do perfil do leito (quadrado), o que acaba por melhorar a distribuição de macrófitas na câmara. Neste caso melhorando o desempenho do leito cultivado.

TABELA 6 – Medida do índice de área foliar (IAF) médio para os leitos 1 (2x2m) e 2 (4x1m).

MEDIDAS NO TEMPO	22 de julho	07 de outubro
LEITO CULTIVADO (2x2m)	4,9	6,41
LEITO CULTIVADO (4x1m)	4,6	6,12

Os valores para a concentração retirada de nitrato e amônia (figuras 77 e 78) mostram um mesmo desempenho, mostrando que a transpiração influencia de forma decisiva na maior remoção de nutrientes no resíduo líquido.

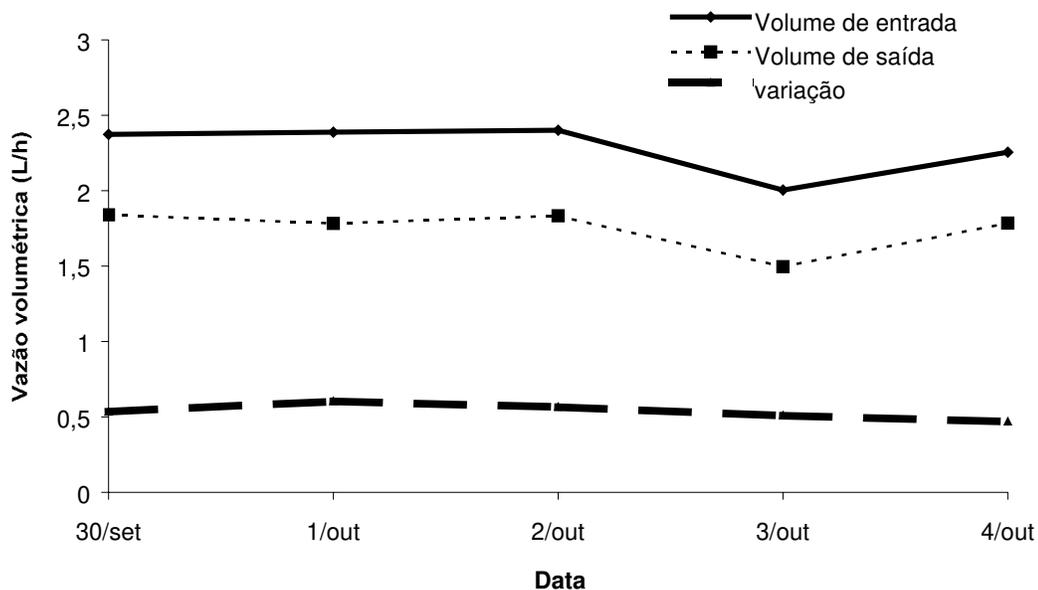


Figura 73 – Avaliação da variação média da vazão (L/h) no leito 1 para o mês de outubro de 2002.

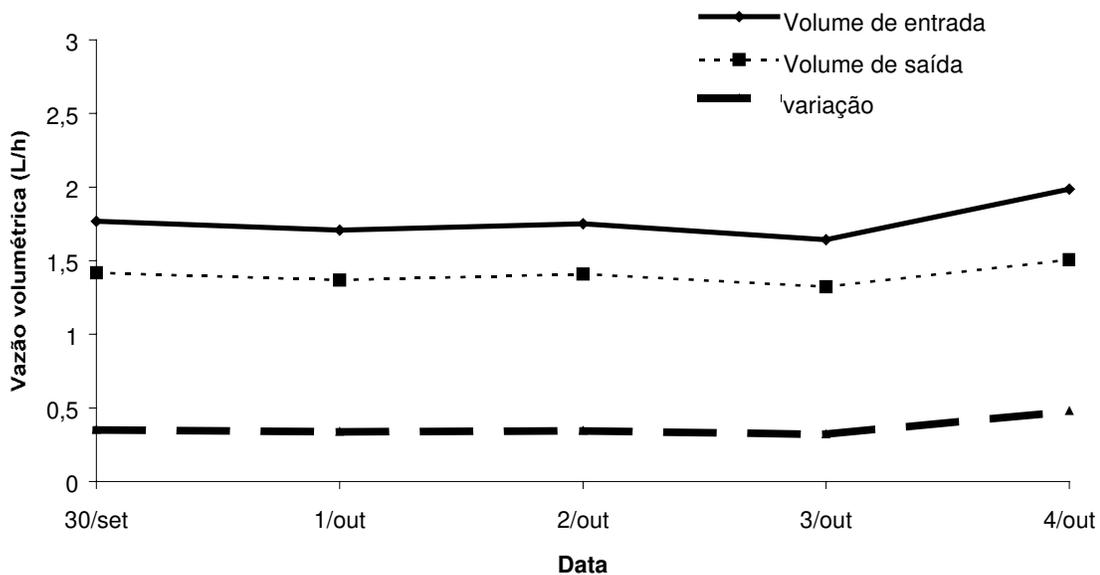


Figura 74 – Avaliação da variação média da vazão (L/h) no leito 2 para o mês de outubro de 2002.

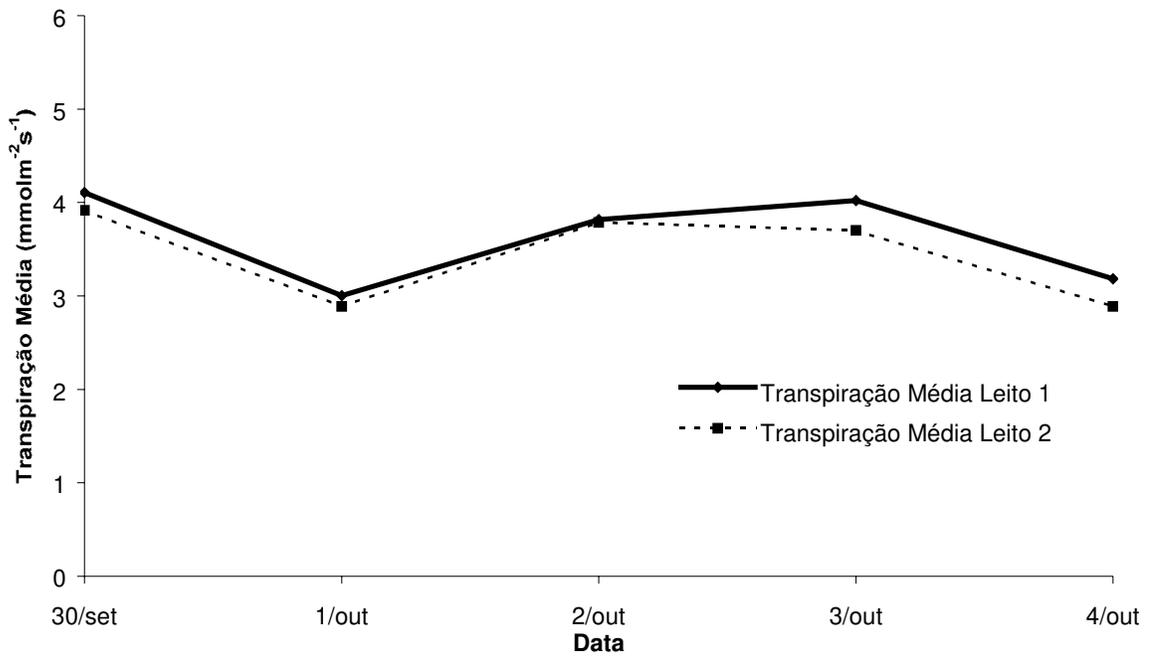


Figura 75 – Avaliação da transpiração média nos leitos 1 e 2 dentro do mês de outubro de 2002.

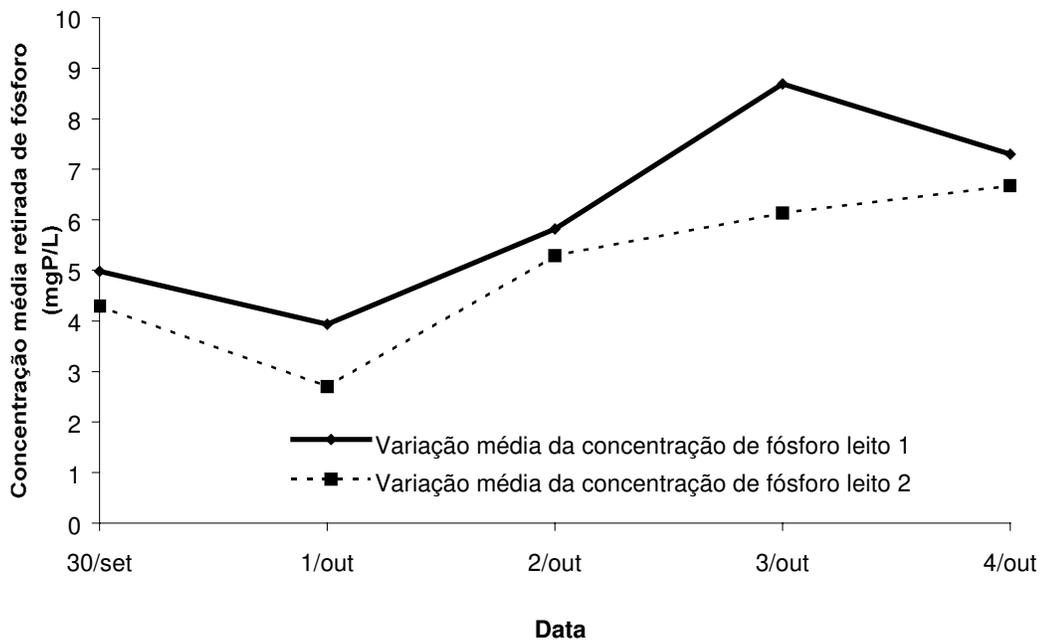


Figura 76 – Avaliação da concentração média de fósforo (mgP) retirada nos leitos 1 e 2 dentro do mês de outubro de 2002.

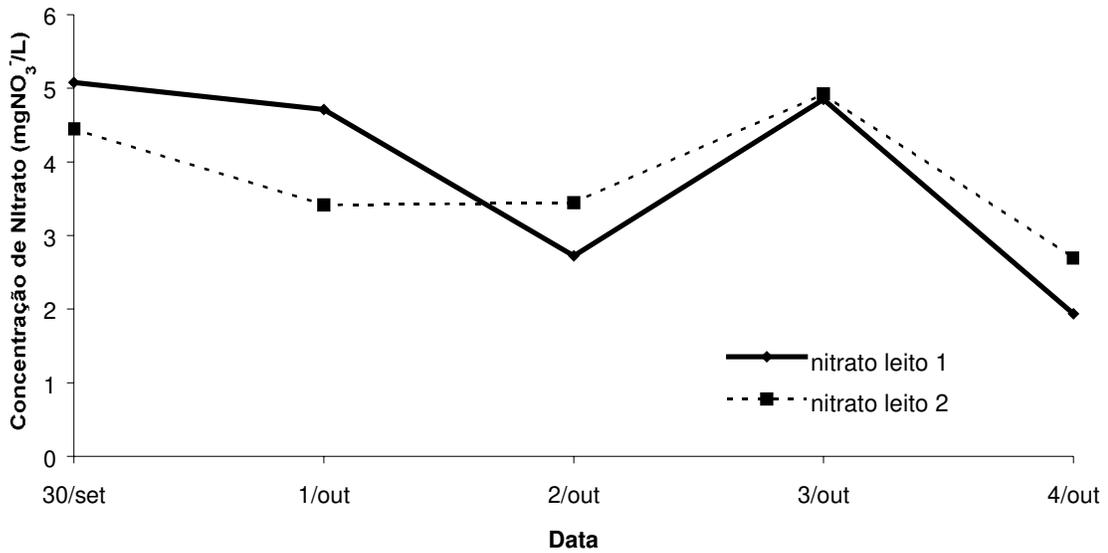


Figura 77 – Avaliação da concentração média de nitrato (mgNO₃⁻) nos leitos 1 e 2 para o mês de outubro de 2002.

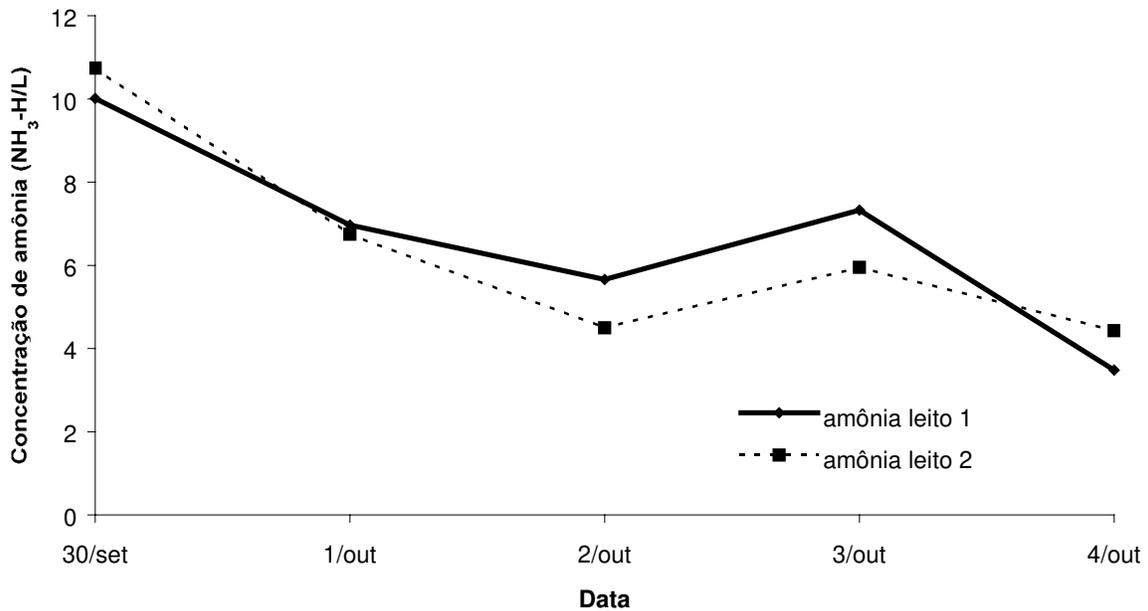


Figura 78 – Avaliação da concentração média de amônia (mgNH₃-H) nos leitos 1 e 2 para o mês de outubro de 2002.

5.8 Corte da TYPHA

Como foi citado anteriormente o estudo da typha mostrou um comportamento importante quanto às concentrações de nutrientes.

O acompanhamento das concentrações feito durante o período de 14 de outubro até 08 de novembro de 2002, avaliando apenas as concentrações de entrada e saída dos parâmetros: fósforo, amônia, nitrato, pH e condutividade elétrica, levantou um dado a ser notificado. Para tanto tomaram-se amostras apenas às 14 horas na entrada e saída dos dois leitos para uma avaliação quanto a retirada de amônia, nitrato e fósforo nos leitos.

As concentrações de retirada de fósforo (figura 79) medidas no dia 14/10 mostraram valores baixos na ordem de 0,13 mgP/L nos leitos 1 e 2, sendo que se efetuou um corte no dia 15/10 nos leitos cultivados, com a retirada de 56 kg e 84 kg de massa fresca dos leitos respectivamente.

A quantidade de nitrato retirada (figura 80), bem como as de amônia (figura 81) acompanharam o mesmo processo de gradientes baixos. Posteriormente, com o crescimento do vegetal durante as três semanas seguintes após o corte, revelou que a quantidade de nutrientes retirada aumenta consideravelmente devido a uma maior necessidade de crescimento.

Esse crescimento foliar pode-se observar no campo, onde no início da segunda semana após o corte nota-se o crescimento dos brotos e no final da quarta semana as plantas já tem um crescimento médio de 62,8cm e 65,9cm para os leitos 1 e 2 (figuras 88 e 89), enquanto no estágio antes do corte no dia 14/10 a altura média das plantas nos leitos foi de 2,94 m e 2,95 m.

Pode-se avaliar com isso que embora a maior quantidade retirada de nutrientes ocorra no período de maior RFA o fato da planta estar num estágio de desenvolvimento menor faz com que a dependência na remoção de nutrientes seja maior que no estágio final de desenvolvimento.

As figuras 86 e 87 mostram que na fase final de desenvolvimento, as plantas localizadas no centro do leito não resistem ao sombreamento provocado pelas folhas ao redor e em meio a esta concorrência acabam morrendo. Isto mostra outro fator que explica o porque das concentrações de outubro serem menores quando comparadas às concentrações de retirada de julho.

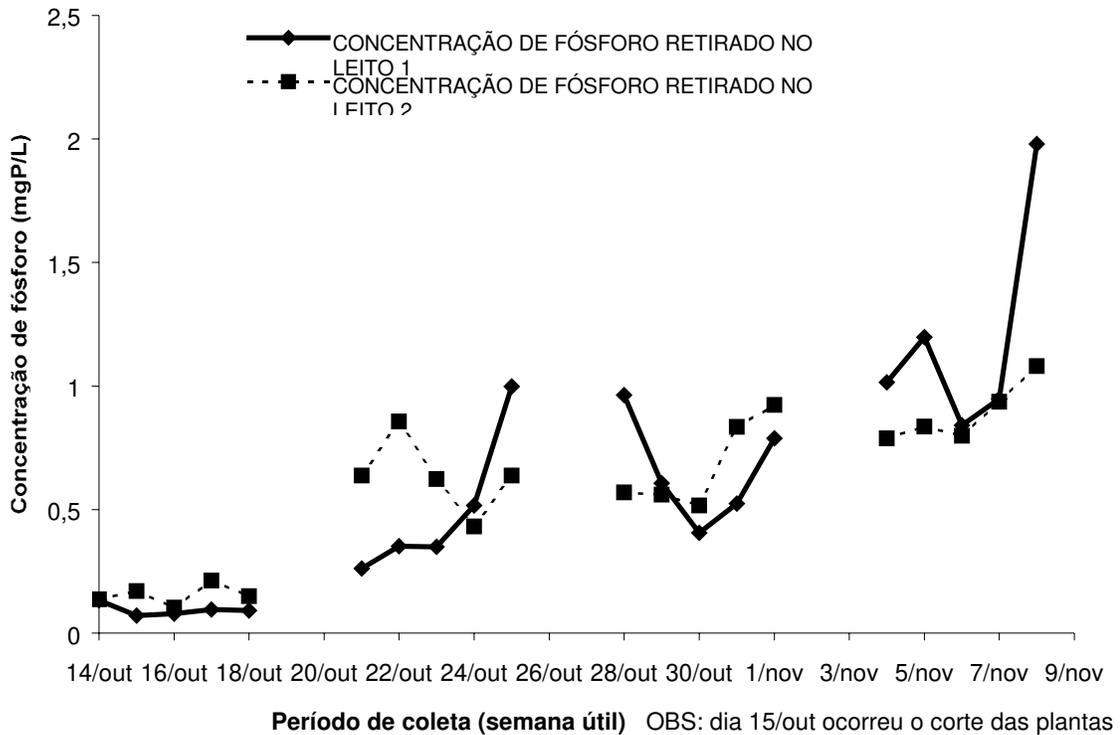


Figura 79 – Concentração de fósforo retirada (mgP/L) nos leitos cultivados 1 e 2 para um período de avaliação (antes e depois do corte das macrófitas).

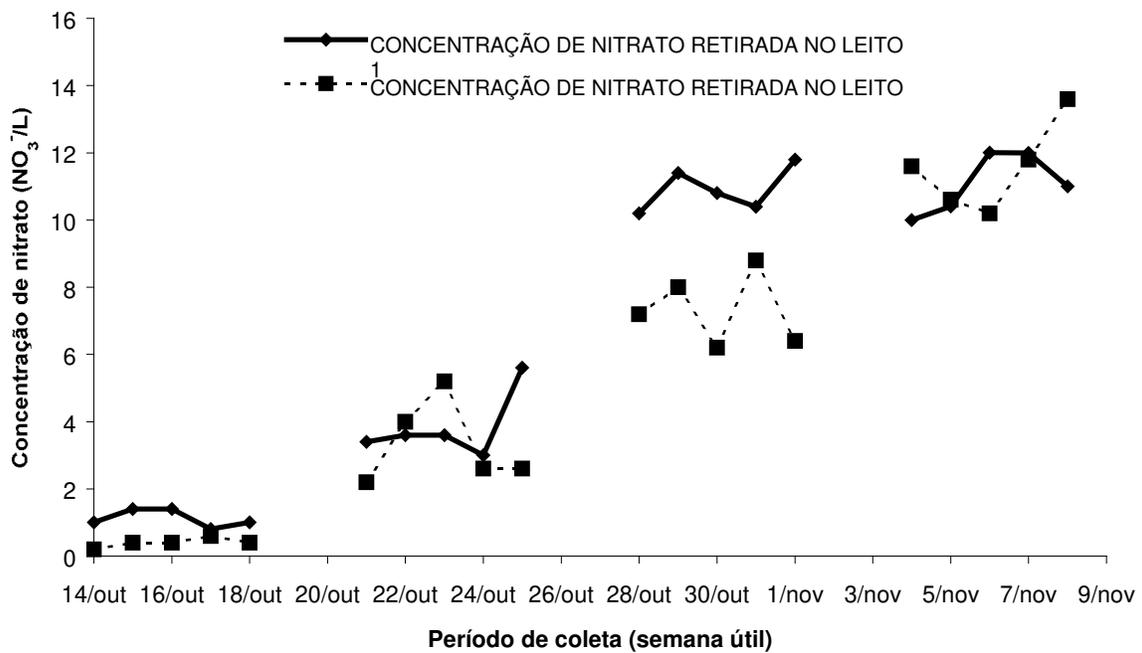


Figura 80 – Concentração de nitrato retirada (mgNO₃/L) nos leitos cultivados 1 e 2 para um período de avaliação (antes e depois do corte das macrófitas).

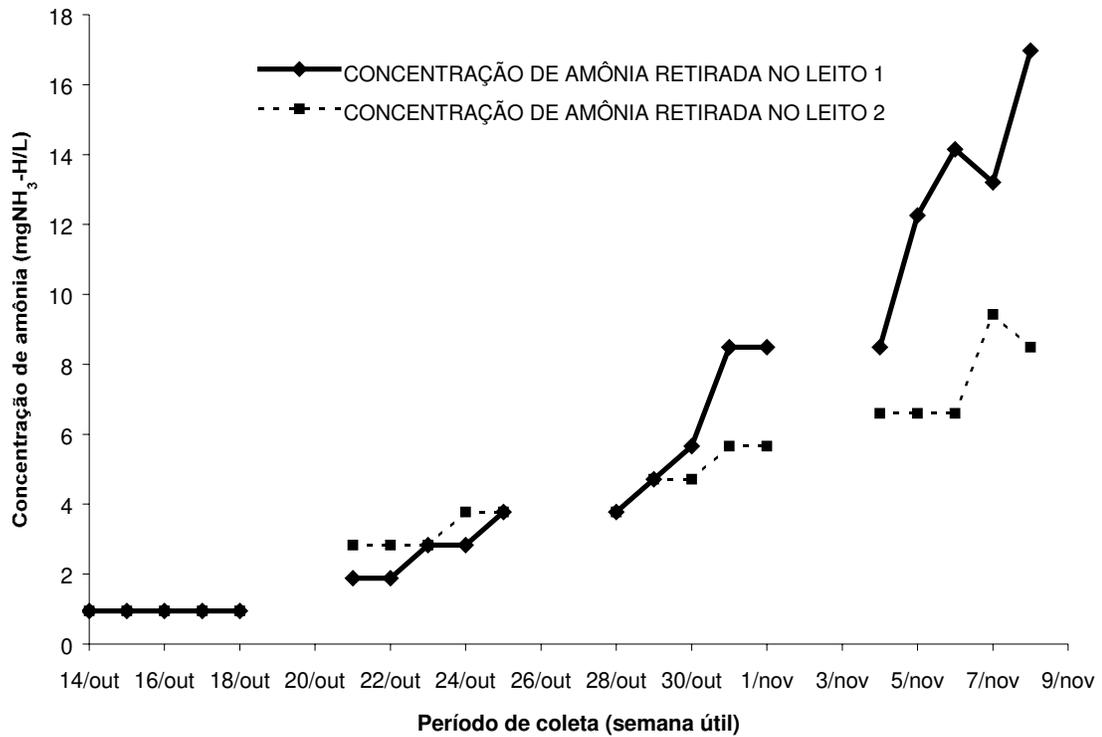


Figura 81 – Concentração de amônia retirada (mgNH₃-H/L) nos leitos cultivados 1 e 2 para um período de avaliação (antes e depois do corte das macrófitas).



Figura 82 – Vista antes do corte (14/10/2002). leito 1



Figura 83 – Vista antes do corte leito 2.



Figura 84 – Após o corte (15/10/2002) vista geral do leito cultivado 1 (2x2m).



Figura 85 – Depois do corte no leito cultivado 2 (4x1m).



Figura 86 – Segunda semana após o corte (24/10/2002) leito 1, com um início de crescimento foliar.



Figura 87 – Vista interna do leito 2 na segunda semana após o corte (24/10/2002) com o surgimento dos brotos.

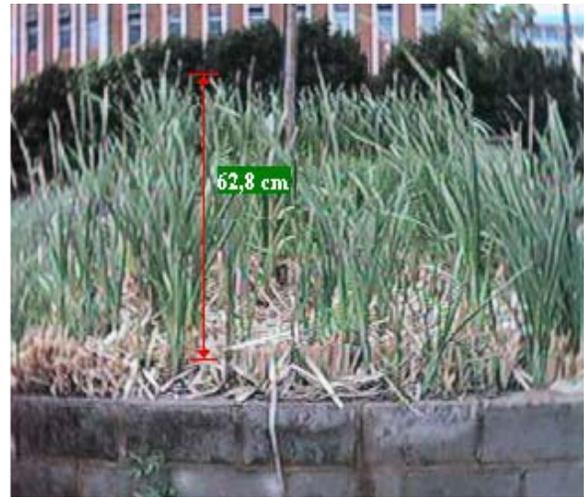


Figura 88 – Quarta semana após o corte (07/11/2002) leito 1.



Figura 89 – Vista do leito 2 na quarta semana após o corte (07/11/2002).

5.9 Modelo da transpiração em função da retirada de nutrientes

Com as medidas levantadas durante os três meses de medidas (maio, julho e outubro) pode-se elaborar um modelo rudimentar da transpiração em função individual de cada nutriente. O objetivo foi verificar como se dá à relação dos nutrientes em função da planta.

Pela figura 90 verifica-se que existe uma pequena retirada de fósforo que se dá sem a necessidade do uso da planta dentro do leito (0,48mgP/L), sendo que a planta auxilia num aumento do funcionamento, chegando ao final numa eficiência de 45,83% no sistema. A equação linear $y = 0,0052x + 0,4812$ mostra que com uma transpiração zero (sem existência da typha), ainda assim tem-se um pequeno funcionamento do processo de depuração.

A retirada de amônia (figura 91) tem um acréscimo pequeno com a participação da typha no sistema, tendo um aumento final de 40% no sistema, mostrando que a retirada de amônia é menor com a utilização da typha quando comparado com a retirada de fósforo.

A eficiência na remoção de nitrato (figura 92) tem um valor de 60,71%, a retirada de nitrato é bem elevada quando comparada com os outros parâmetros. O que mostra que o processo de desnitrificação é mais acelerado dentro dos leitos.

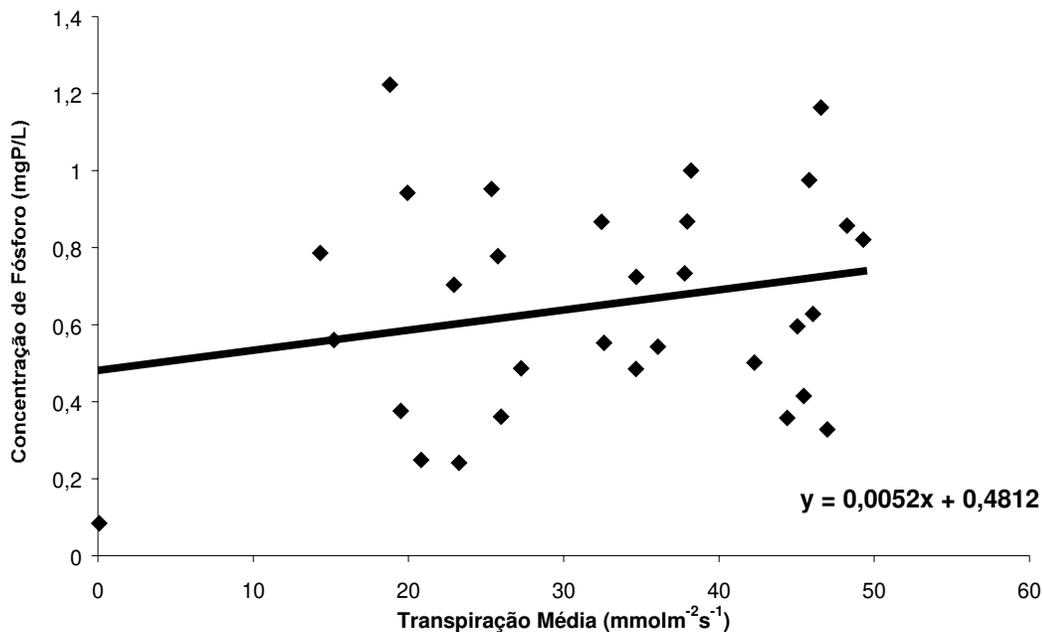


Figura 90 – Modelo da transpiração média em função da concentração de fósforo no período de estudo.

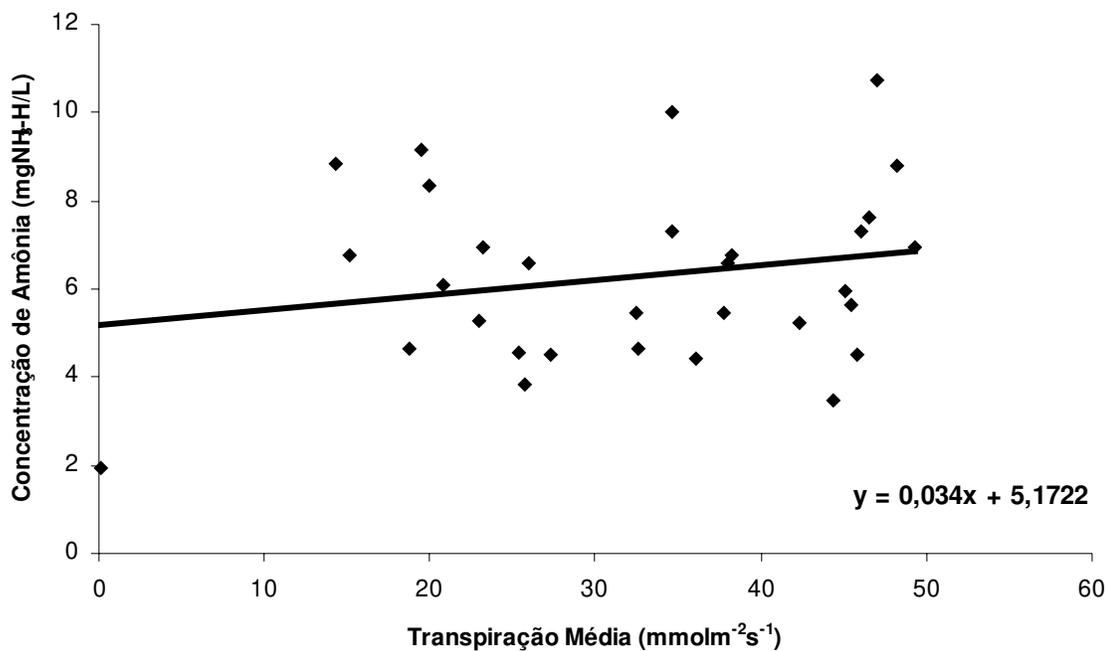


Figura 91 – Modelo da transpiração média em função da concentração de amônia no período de estudo.

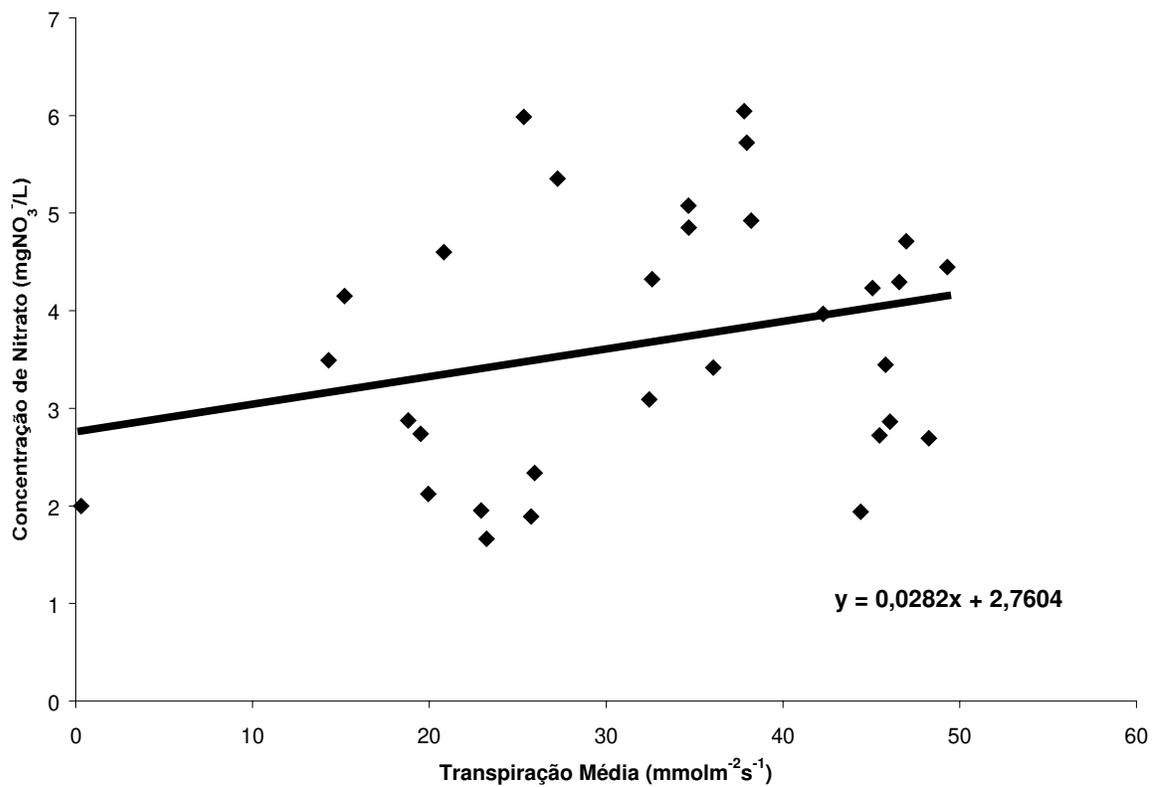


Figura 92 – Modelo da transpiração média em função da concentração de nitrato no período de estudo.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve um papel importante no estudo de leitos cultivados, uma vez que possibilitou avaliar o grau de interação existente entre planta-leito.

Os estudos sobre leitos existentes até então tiveram um papel importante no monitoramento dos dados de remoção de compostos em resíduo líquido. Há muitos trabalhos que avaliaram estes dados, bem como a construção de inúmeras plantas piloto de sistemas de leitos cultivados, como exemplo em pesquisas desenvolvidas por MANSOR (1998) e VALENTIM (1999).

Porém, não há indícios de trabalhos que relacionem a interação de planta-leitos. O que torna importante este trabalho, uma vez que se procurou avaliar o comportamento da typha com o sistema de leitos cultivados da estação montada na FEAGRI.

A participação de macrófitas como a typha possibilitou comparar os dados fisiológicos da planta com o sistema, permitindo inclusive sugerir um modelo rudimentar de transpiração em função da retirada de nutrientes. Verificando a participação da planta no sentido de maximizar o processo de remoção de compostos na água residuária. Assim, interagindo de forma decisiva na remoção de substâncias tais como: fósforo, amônia e nitrato, que foram âmbito da pesquisa.

O estudo permitiu avaliar que conforme se monitora o sistema, há um intervalo de maior rendimento na remoção de nutrientes nos leitos, sendo o período compreendido entre às 12 e 15 horas. Neste intervalo de tempo com foi verificado e comentado no trabalho, teve este melhor rendimento devido à planta. Isso foi provocado devido ao fato de ser a faixa de maior transpiração foliar diária da planta, provocado de forma direta pela maior concentração de RFA ao longo do dia.

Pode-se perceber durante o estudo que apesar da planta transpiração mais durante o período de maior incidência solar que foi a primavera, a maior remoção de nutrientes se deu no período inverno que correspondeu ao estágio mais prematuro de crescimento foliar, o que obrigou que a planta retirar mais alimento do sistema, enquanto nos estágios finais de crescimento a remoção se dá de forma mais para manutenção do metabolismo da typha.

Outro ponto importante para salientar foi que durante o período de estudo, quando se quer comparar perfis geométricos entre leitos, o fato de haver uma melhor distribuição

espacial das plantas dentro das câmaras faz com que a remoção seja maior. Os dados levantados de índice de área foliar (IAF) permitiram verificar que a cobertura vegetal tendeu a ser maior num leito (quadrado) do que em outro (retangular). O que permitiu verificar que a distribuição das plantas é importante, uma vez que permitiu-se ter um recrudescimento do grau de remoção.

Com os dados levantados durante a pesquisa sugerem que se prossiga estudos em leitos cultivados de forma a avaliar:

1. O grau de remoção de outros compostos com o uso de macrófita do gênero typha relacionado à atividade transpirante da planta;
2. A comparação dos níveis de transpiração de typha com outras macrófitas como eleocharis;
3. Avaliar os parâmetros ecofisiológicos de outras macrófitas com a remoção de nutrientes;
4. Verificar a quantidade de carbono produzida no sistema de leitos com as macrófitas;
5. Construírem-se modelos matemáticos que englobem os parâmetros ecofisiológicos da planta com a remoção de nutrientes, bem como a melhor distribuição espacial das plantas de forma a aumentar a eficiência do sistema.

7. BIBLIOGRÁFIA

AGENDIA, P.L., FONKOU, T., MEFENYA, R., SONWA, D.J. & KENGNE, I.N.. **The use of Pistia stratiotes for domestic sewage treatment in Cameroon: an integrated approach.** In Proc. 5th Internat. Conf. Wetland Systems for Water Pollution Control, Universität für Bodenkultur Wien, Austria. Chapter VIII/3. 1996.

ANANDACOOMARASWAMY, A.; De COSTA, W.A.J.M.; SHYAMALIE. H.W.; CAMPBELL. G.S. Factors controlling transpiration of mature field-grown tea and its relationship with yield. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, p.375-386, 2000

ALPHA; AWWA & WPCF **Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Washington D.C.: American Public Health Association, 18^a edição, 1992.

BASTIAN, R.K. & REEDS S.C. (Eds.). **Proceedings of the Seminar on Aquaculture Systems for Wastewater Treatment.** U.S. EPA Publication No. MCD-67, 1979.

BAVOR, H.J. & MITCHELL D.S. (Eds). **Wetland Systems in Water Pollution Control.** Water Science and Technology, Vol. 29, No. 4: 1-336. 1994.

BASSOI, L.H. e ASSIS, J. S. Considerações sobre a utilização dos métodos do perfil auxiliado pelo processamento de imagens digitais e do monólito na análise da distribuição de raízes no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1, 1996, São Paulo, SP. **Anais.** 1997. p.109-114.

BONOMO, L., PASTORELLI, G. & ZAMBON, N.. **Advantages and limitations of duckweed-based wastewater treatment systems.** In: Proc. 5th Internat. Conf. Wetland Systems for Water Pollution Control, editado por Universität für Bodenkultur Wien, Austria. Chapter VIII/2, 1996.

BOUTIN,C. **Domestic wastewater treatment in tanks planted with rooted macrophytes: case study, description of the system, design criteria, and efficiency.** Wat. Sci. Tech., 19, pp. 29-40, 1987.

BURKA,U. & LAWRENCE,P. **A new community approach to wastewater treatment with higher water plants.** In *Constructed Wetlands in Water Pollution Control.*, editado por Cooper, P.F. & Findlater, B.C., Pergamon Press, Oxford, U.K., pp. 359-371, 1990.

BAKER, J.M.; Van BAVEL, C.H.M. Measurement of mass flow of water in the stems of herbaceous plants. **Plant Cell Environmental.** v.10 p.777-782, 1987.

BRIX, H. Treatment of wastewater in the rizhosphere of wetlands plants – the root zone method. **Water Science and Technology**, Great Britain, IAWQ, v. 19 (1/2), p. 107-118, 1987.

BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes and treatment performance. In: MOSHIRI, G.A. (Ed.) **Constructed wetlands for water quality improvement.** Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1993. p.2-22.

BLACKBURN, F. **Sugarcane.** Longman, New York. p414, 1984.

CARVALHO, S.G. et. al Aspectos geológicos e litoquímicos dos sills Borda da Mata e Limeira Cosmópolis (SP): resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1998, Belém – PA. **Anais.** Belém, 1998. v.3, p.1281-1292.

CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA,; L. C., NOGUEIRA,; R. J. M. C., SANTOS, V. F. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* SIMS. F. *flavicarpa* DEG.) inoculadas com fungos micorrizicos arbusculares e submetidas a estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v.15, n.3, p.379-390, 2001.

COOPER,P.F. & FINDLATER, B.C. (Eds.). **Constructed Wetlands in Water Pollution Control.** Pergamon Press, Oxford, U.K., 1990.

CHAN, E., BURSZTYNSKY T.A., HANTZSCHE N., & LITWIN Y.J. **The Use of Wetlands for Water Pollution Control**. U.S. EPA-600/2-82-086, 1982.

CERMAK, J.; RIGUZZI, F.; CEULEMANS, R. Scaling up from the individual tree to the stand level in Scots pine I. Needle distribution, overall crown and root geometry. **An.Sci. For.** v.55, p.63-88, 1998.

CLOSS, R. L. The heat pulse method for measuring rate of sap flow in a plant stem. **New Zealand Journal of Science**, v.1, n.2, p. 281-288, 1958.

COHEN, Y.; FUCHS, M.; GREEN, G.C. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in tree. **Plant, Cell and Environment**, v.4, p.391-397, 1981.

COHEN, Y.; FUCHS, M. Problems in calibration the heat pulse method for measuring sap flow in the stem of tree and herbaceous plants. **Agronomie**, v.9, p.321-325, 1989.

DAUZAT, J.; RAPIDEL, B.; BERGER, A. Simulation of leaf transpiration and sap flow in virtual plants: model description and application to a coffee plantation in Costa Rica. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.109, p.143-160, 2001.

DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. **Agronomic Journal**, v.45, p.385-390, 1962.

ENVIRONMENTAL LABORATORY. **Corps of Engineers Wetlands Delineation Manual**. Tech. Raport Y-87-1, US Army Engineer Wterways Experimental Station, Vicksburg, Mississippi., 1987.

FAULKNER, S.P. & RICHARDSON, C.J. **Physical and Chemical Characteristics of Freshwater Wetland Soils**. In *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*:

Municipal, Industrial, and Agricultural, editado por Hammer D.A., Chelsea, MI: Lewis Publishers, Chapter 4, pp.41–72, 1989.

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

GRANTZ, D.; MEINZER, F.C. Stomatal response to humidity in a sugarcane field: Simultaneous porometric and micrometeorological measurements . **Plant. Cell Environmental**. v.13, p.27-37, 1990.

GRANTZ, D., MEIZER, F. C. Regulation of transpiration in field-grown sugarcane: evaluation of the stomatal response to humidity with the bowen ratio technique. **Agricultural and Forest Meteorology**, n.53, p.169-183, 1991.

GRANIER, A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. **Tree Physiol**. v.3. p.309-320. 1987.

GAMBRELL, R.P & PATRICK W.H., JR. **Chemical and Microbiological Properties of Anaerobic Soils and Sediments**. In Plant Life in Anaerobic Environments, editado por Hook, D.D. & Crawford R.M.M., Ann Arbor Science Publishers, Michigan, Chapter 1, pp. 375–423, 1978.

GUNTENSPERGEN, G.R. et al. Wetlands vegetation, Chattanooga-Tennessee-USA, **First International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**, vol.I, n.º 5, pp. 73-88, junho/1988.

GOSSELINK, J.G.. **The Ecology of Delta Marshes of Coastal Louisiana: A Community Profile**. U.S. Fish and Wildlife Service, Biol. Services FWS IOBS-84/09, 1984.

GREINER, R.W. & DE JONG, J. **The use of marsh plants for the treatment of wastewater in areas designated for recreation and tourism.** RIJP Report No. 225, Lelystad, The Netherlands, 1984.

HABERL et al. Constructed wetlands in Europe. **Water Science and Technology**, Great Britain, IAWQ, v.32, n.3, p.305-315, 1995.

HAMMER, D.A., (Ed.) **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural** Chelsea, MI: Lewis Publishers, 1989.

HANCOCK, S.J. & BUDDHAVARAPU, L. **Control of algae using duckweed (Lemna) systems.** In *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, editado por Moshiri, G.A., CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 399-406, 1993.

HOEHNE, F.C. **Plantas aquáticas.** São Paulo: Instituto de Botânica, Secretária da agricultura, 1995. p.3-8, p.41, p.78

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

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Ann. Rev. Plant Physiol**, n.24, p.519-570, 1973.

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

HUMPHRIES, W.; GIFFORD, G. F. **A preliminary quantification of the impacts of Aspen to conifer succession on water yield I.** Heat pulse methodology for model calibration, *Water Resources Bulletin*, v.20, n.2, p.173-179, 1984.

IDEXX Laboratories, Inc. **Manual de instruções para análises de coliformes total e fecal utilizando Colilert.** F.E. Division, Brasil.

JARVIS, P. G. **The interpretation of the variation in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field.** Philosophical Transaction Royal Society of London - Physical Sciences and Engineering n.273: p.593-610, 1976.

JARVIS, P. G.; McNAUGHTON, K. G. **Stomatal control of transpiration: Scaling up from leaf to region,** Advance in Ecological Research, 15: p.1-49, 1986.

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.

JONES, H.G. Plants and microclimate – a quantitative approach to environmental plant physiology. **Cambridge University Press,** Cambridge. 1992.

JOLY, A.B. **Botânica: Introdução à taxonomia vegetal.** São Paulo: Ed. Nacional, 1979. p.715-720.

JIANG, CHUNCAI, (Ed.) **Proceedings of the Fourth International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control.** Guangzhou, China: Center for International Development and Research, South China Institute for Environmental Sciences, 1994.

KADLEC, R. H. & BRIX H., (Eds). **Wetland Systems in Water Pollution Control.** Water Science and Technology, Vol. 32, No. 3: pp. 1-376. 1995.

KADLEC, R.H. & KNIGHT, R.L. **Treatment Wetlands.** CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA, 1996.

KADLEC, R.H. **Wetlands for water polishing: free water surface wetlands.** In Global Wetlands: Old World and New, editado por Mitsch, W.J., Elsevier Science, pp. 335-349, 1994 b.

KICKUTH, R. **Degradation and incorporation of nutrients from rural wastewaters by plant rhizosphere under limnic conditions.** In Utilization of Manure by Land Spreading, editado por Comm. Europ. Commun., EUR 5672e, London, pp. 335-343, 1977.

KNIGHT, R.L. & KADLEC, R.H. **Free Water Surface Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment.** CH2M Hill, Gainesville, Florida, 1996.

KNIGHT, R.L., RUBLE, R.W., KADLEC, R.H. & REED, S. **Wetlands for wastewater treatment: performance database.** In Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, editado por Moshiri, G.A. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 35-58, 1993.

KUENEN, J.G. & ROBERTSON, L.A. **Ecology of Nitrification and Denitrification.** In The Nitrogen and Sulphur Cycles, editado por Cole, J.A. & Ferguson, S.J., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 162–218. 1987.

KAUFFMANN, M. R. Leaf conductance as a function of photosynthetic photon flux density and absolute humidity difference from leaf to air. **Plant Physiology.** v.69, p.1018-1022, 1982

LANDOLT, E. **Key to the determination of taxa within the family Lemnaceae.** In Biosystematic Investigations in the Family of Duckweeds (Lemnaceae), editado por Landolt, E., Veroff. Geobotanisches Institut ETH, Zürich, Switzerland, pp. 13-21. 1980.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil – terrestre, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais.** Nova Odessa: Edição do Autor, 1982. p.154-155, p.388.

MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; GOMES, M. M. A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranja "Valencia". **Bragantia**, Campinas, v.58 n.2, p.217-226, 1999.

MANSOR, M.T.C. et al Análise das condições básicas de saneamento rural através de censo. In: CONGRESSO ARGENTINO E INTERNACIONAL DE ENGENHARIA RURAL, 4, 2, 1996, Neuquen, Argentina. **Anais**. v.II, 1996. p. 848-899.

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

McNABB, C.D. **The potential of submerged vascular plants for reclamation of wastewater**. In Biological Control of Water Pollution, editado por Tourbier, J. & Pearson, R.W.,. The University of Pennsylvania Press, Philadelphia, Pennsylvania, pp. 123-132, 1976.

METCALF e EDDY, **Wasterwater engineering – treatment, disposal and reuse**. New York: McGraw Hill Inc, 3ª edição, 1991.

MESTAYER, C. **A study on the solar energy conversion efficiency and growth aspects of duckweed**, Spirodela oligorrhiza. M.S. Thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, 1980.

MOSHIRI, G.A., (Ed.) **Constructed Wetlands for Water Quality Improvement**. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1993.

PEIXOTO, A.M., MORAES, C.L. Contribuição ao estudo da composição química e digestibilidade da taboa, *Typha dominguensis* KUNTH. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, USP, v.38, n.1, p.119-127, Março 1963.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. R. Soc.** v. 193, p. 120-145.

REDDY, K.R. & PATRICK W.H. **Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments.** CRC Crit. Rev. Environ. Control, 13:273–309. 1984.

REDDY, K.R. & SMITH, W.H. **Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery.** Magnolia Publishing, Orlando, Florida, 1987.

REED, S.C., MIDDLEBROOKS, E.J. & CRITES, R.W. **Natural Systems for Waste Management and Treatment.** Mc-Graw-Hill Book Company, New York, 1988.

ROSTON, D.M. Uso de várzeas artificiais para tratamento de efluente de tanque séptico. In; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas, SP. **Anais.** Campinas, 1994. n.94-7-210.

SWANSON, R.H. Significant historical developments in thermal methods for measuring sap flow in trees. **Agricultural Forest Meteorology.** v.72, p.113-132.

TURNER, F.T. & PATRICK, WH., Jr. **Chemical Changes in Waterlogged Soils as a Result of Oxygen Depletion.** In IX. Internat. Congress Soil Science, (Adelaide, Australia) Trans., 4, pp.53–56. 1968.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A.L. Tendências no tratamento simplificado de águas residuárias. Tópicos de relevância. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL TENDÊNCIAS NO TRATAMENTO SIMPLIFICADO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS E INDUSTRIAIS, 1996, Belo Horizonte, M.G. **Anais.** 1996. p.1-11.

Van GENUCHTEN, M.T.; NIELSEN, D.R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **An. Geophysicae.** v.3, p.615-628, 1985.

VALENTIM, MARCELLUS A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado.** 119p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

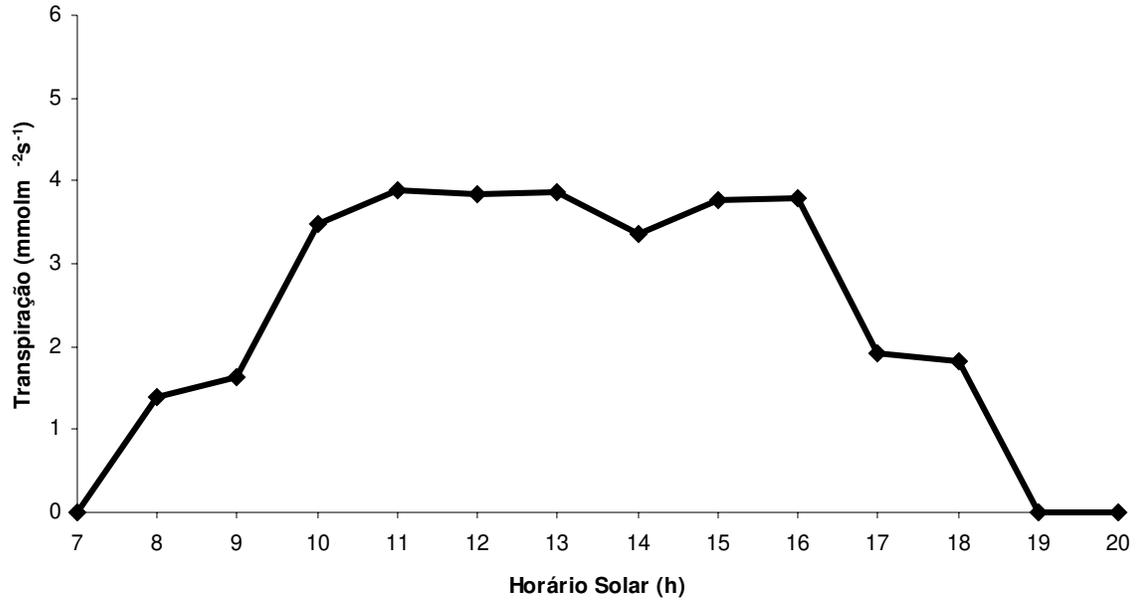
WATSON, J.T. & HOBSON, J.A. **Hydraulic design considerations and control structures for constructed wetlands for wastewater treatment.** In *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Municipal, Industrial and Agricultural*, editado por Hammer, D.A., Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, pp. 379-391, 1989.

WOOD, A. *Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding.* **Water Science and Technology**, Great Britain, IAWQ, v.32, n.3. p.21-29, 1995.

APÊNDICE

A1-DADOS ECOFISIOLÓGICOS DA TYPHA

TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 13/05/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 13/05/2002

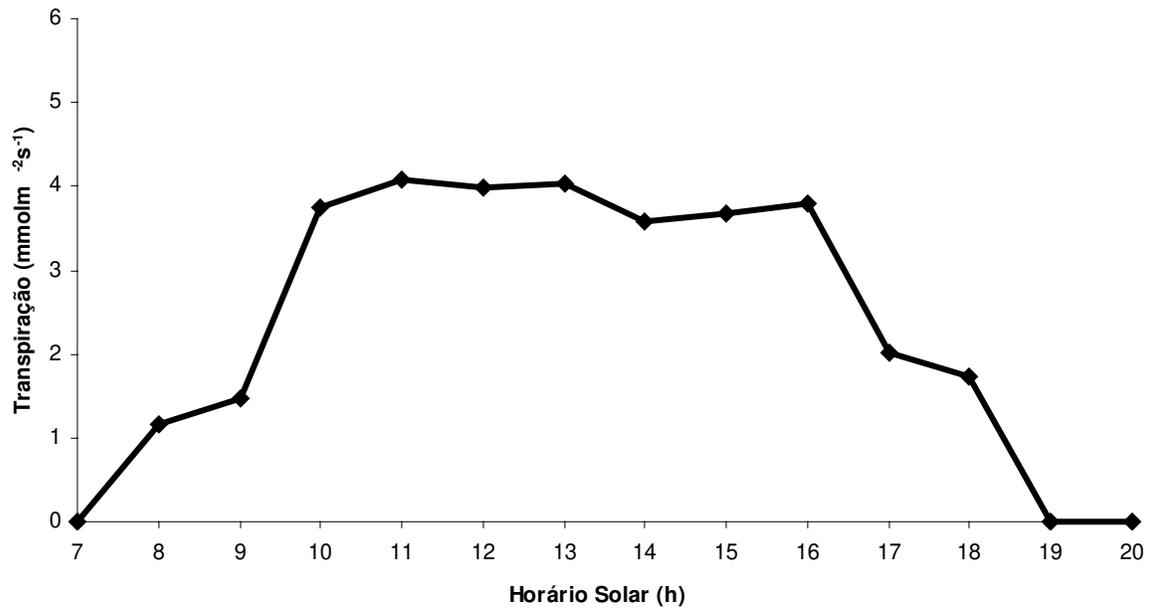
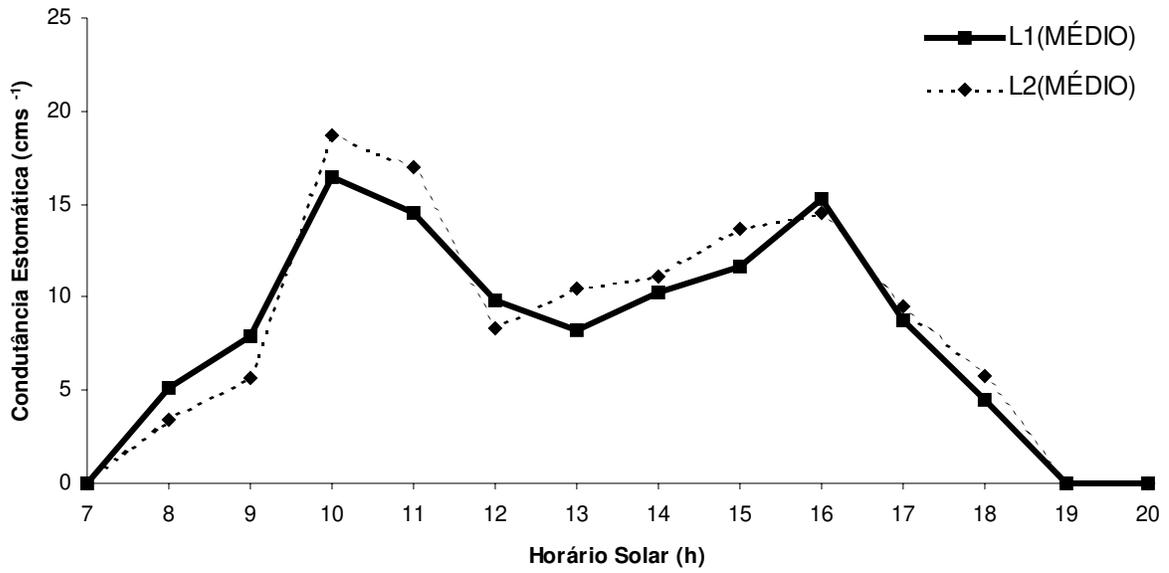
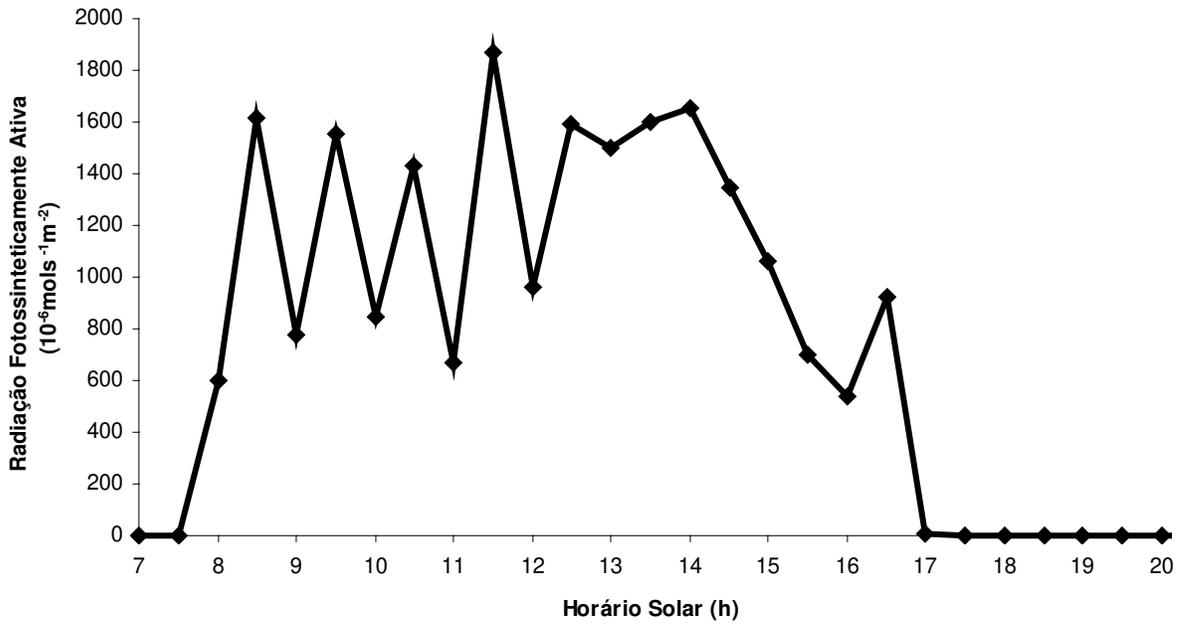


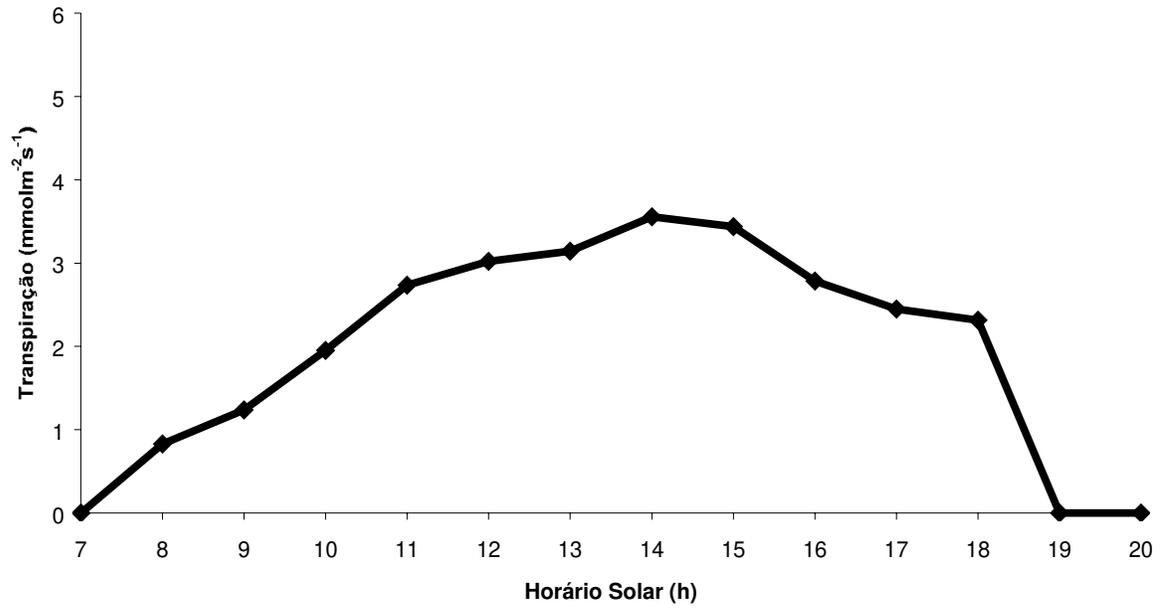
GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS NO DIA
13/05/2002



RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA 13/05/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 14/05/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 14/05/2002

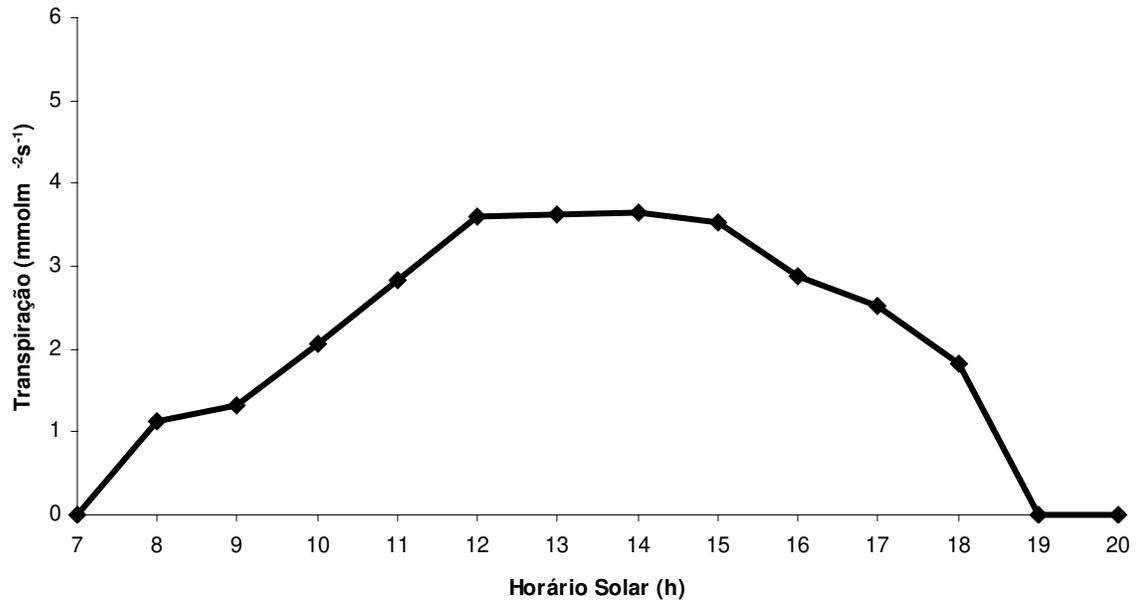
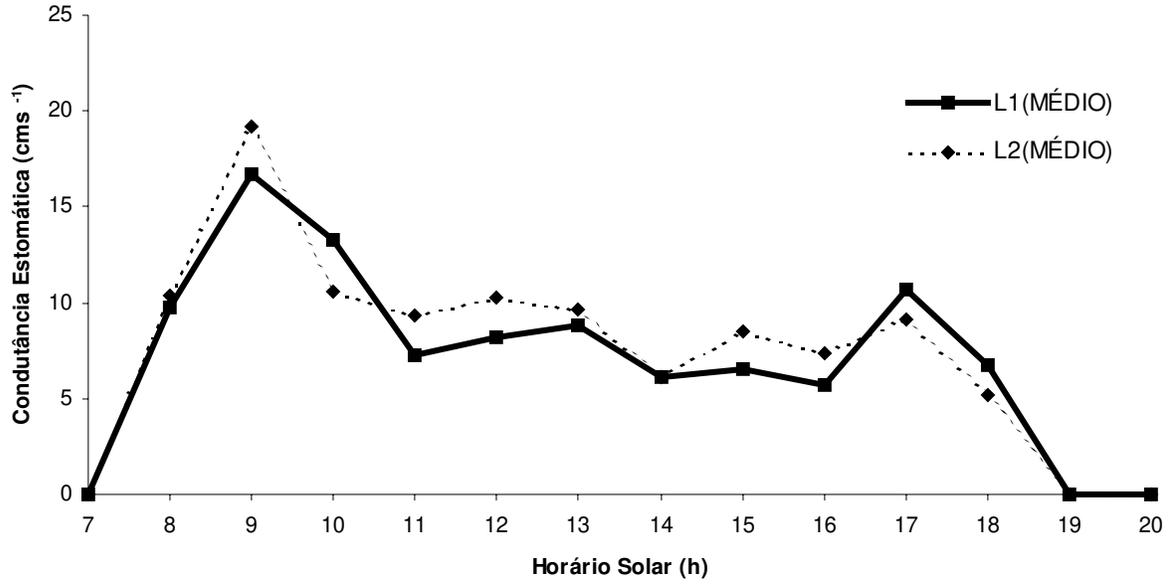
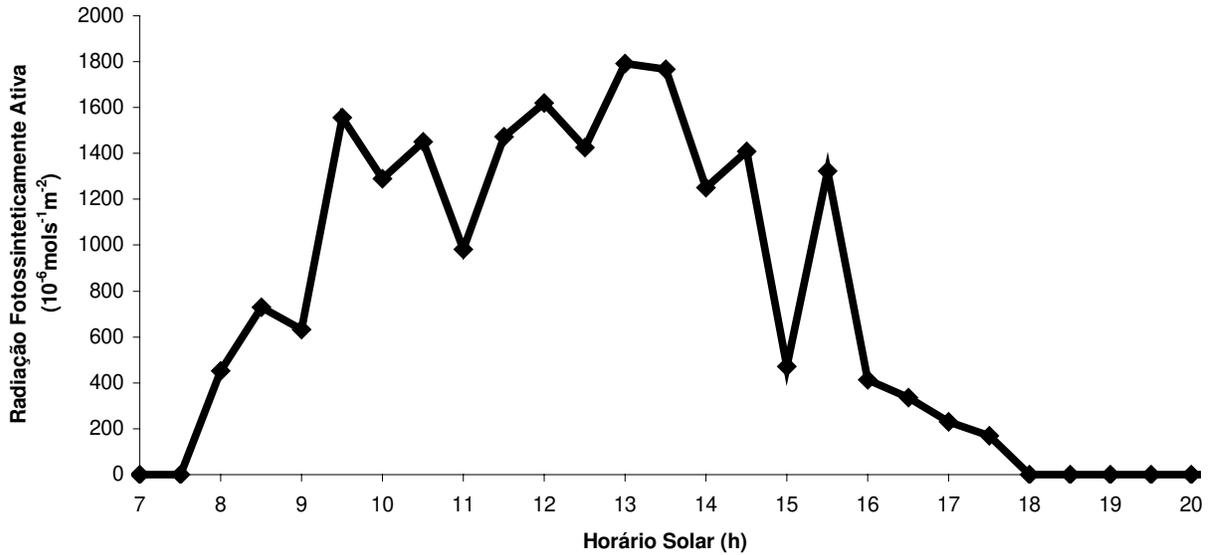


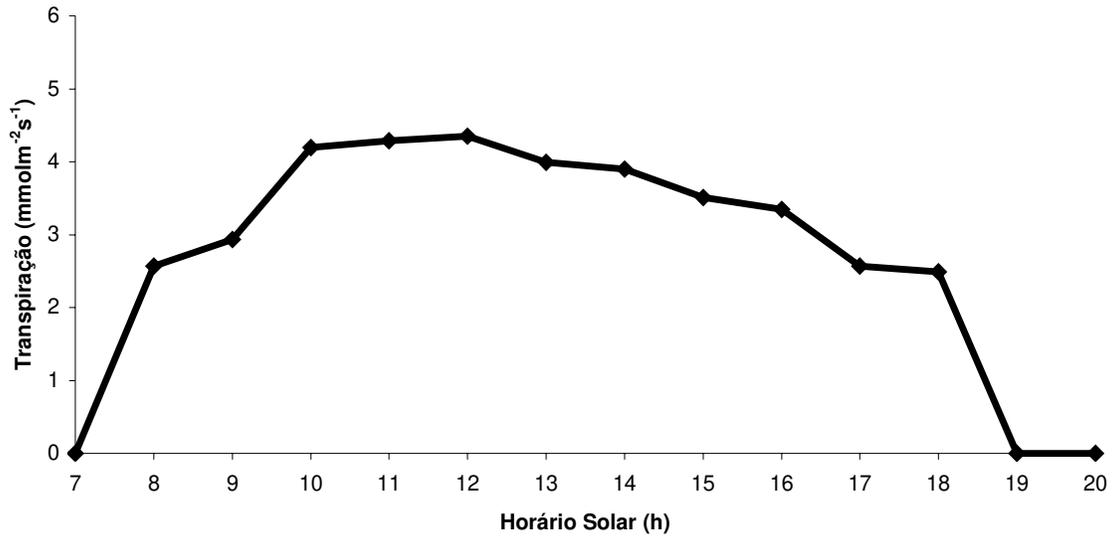
GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LETOS NO DIA
14/05/2002



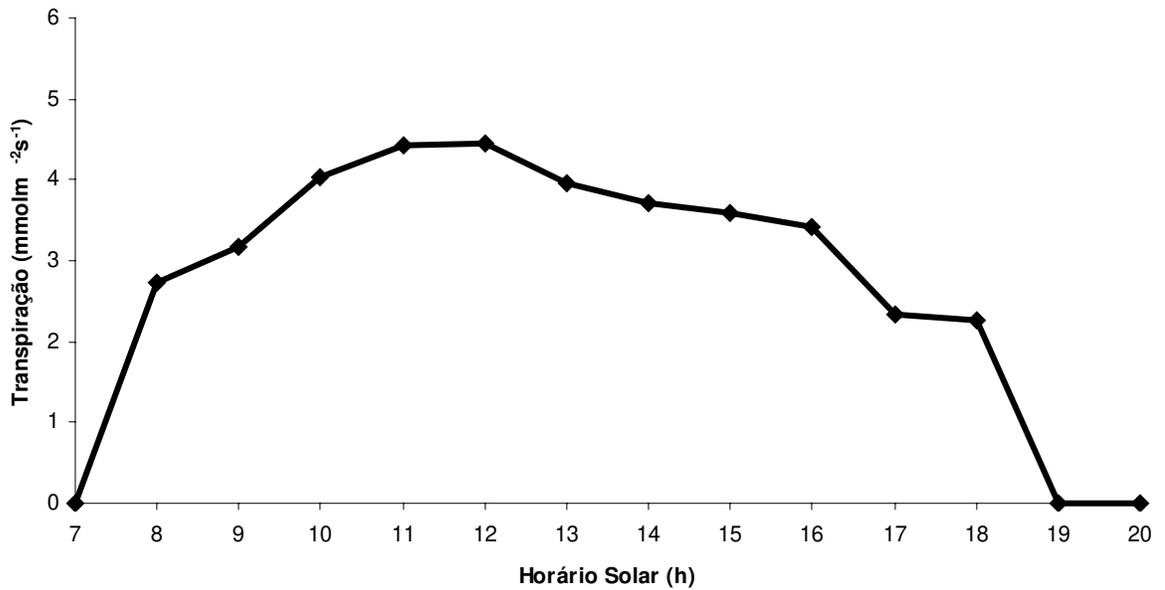
RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LETOS 1 E 2 NO DIA
14/05/2002



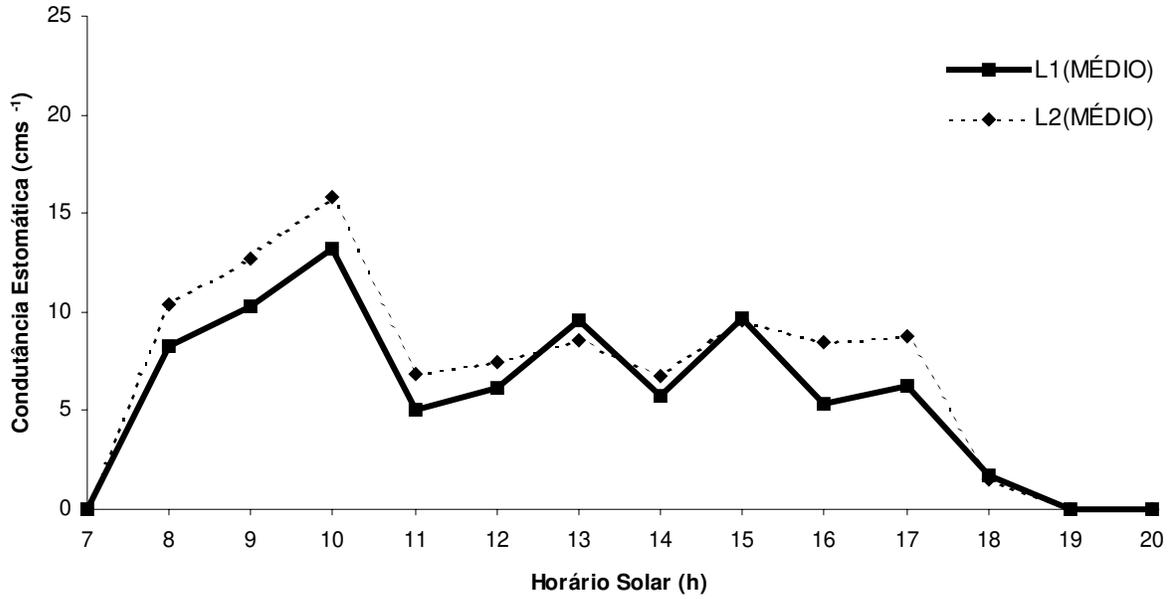
TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 15/05/2002



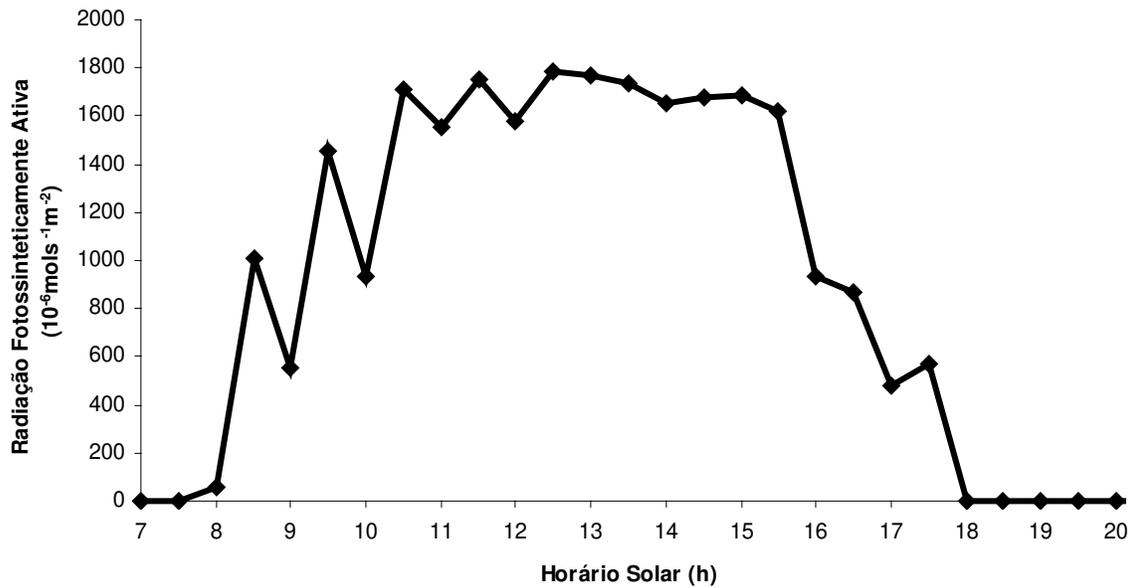
TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 15/05/2002



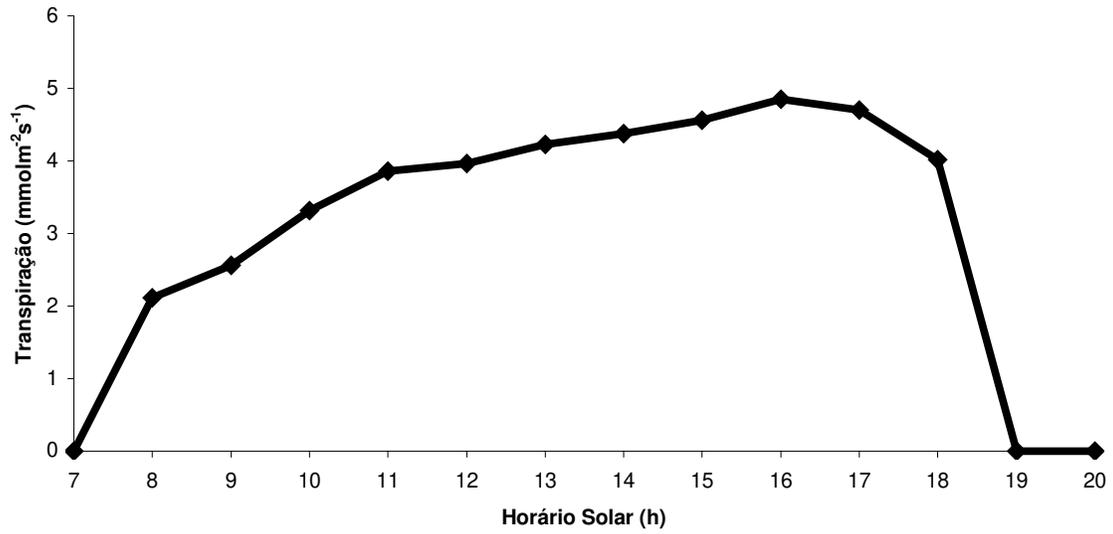
**GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS NO DIA
15/05/2002**



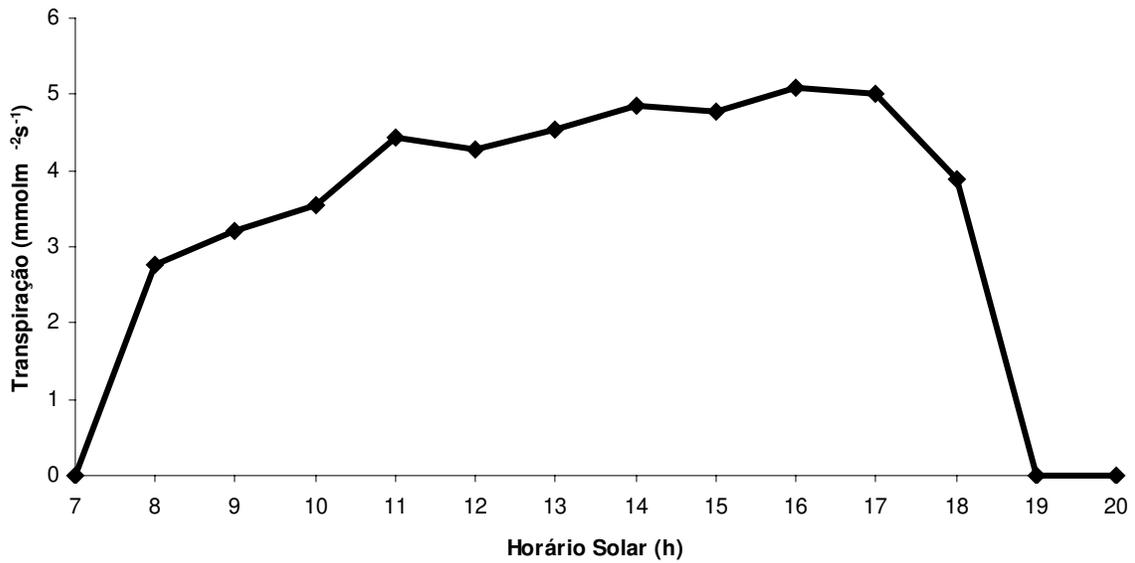
RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA 15/05/2002



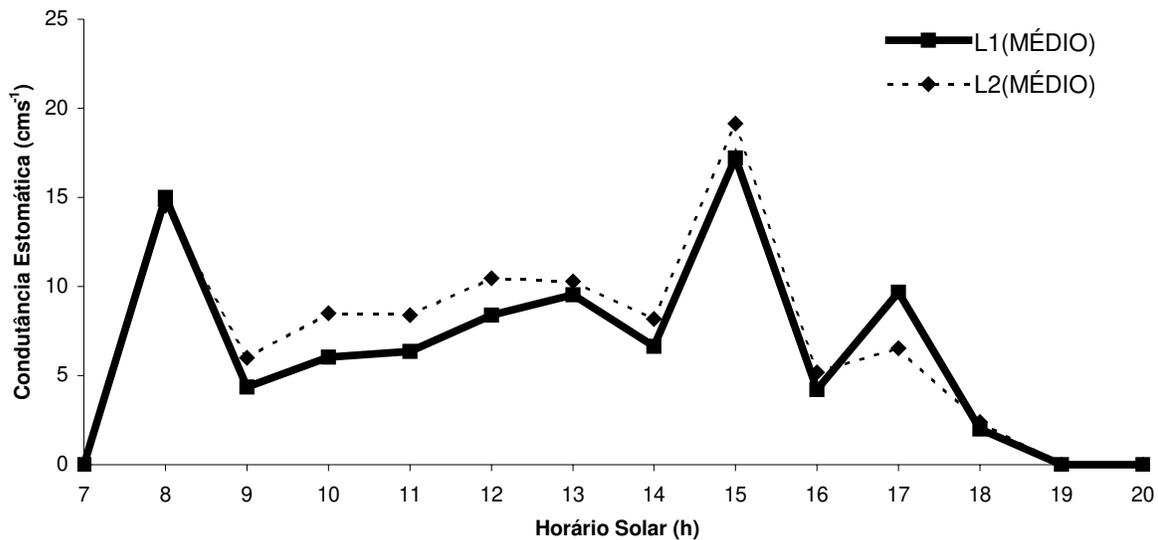
TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 16/05/2002



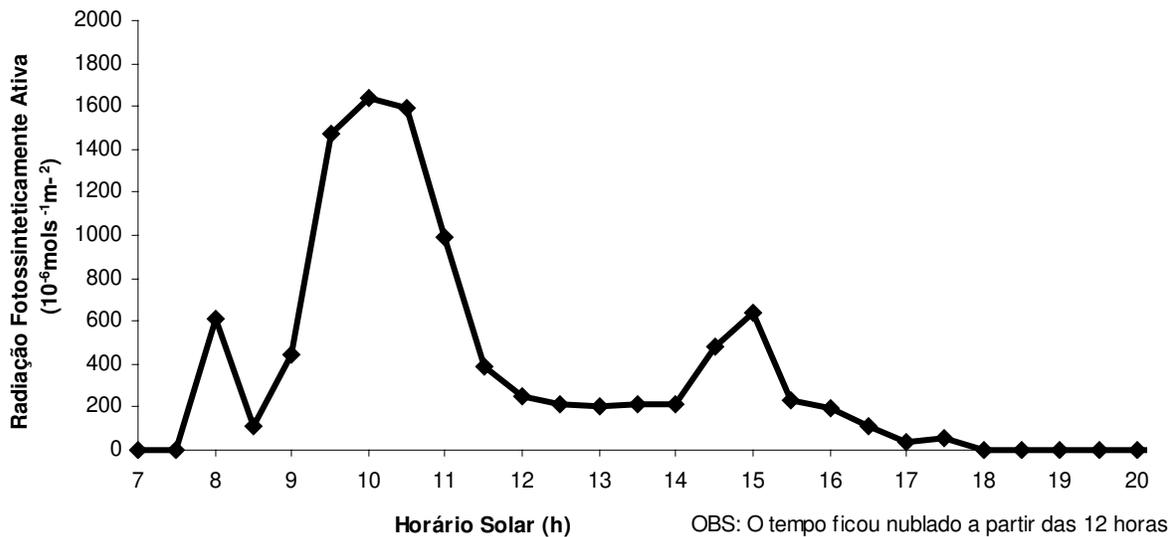
TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 16/05/2002



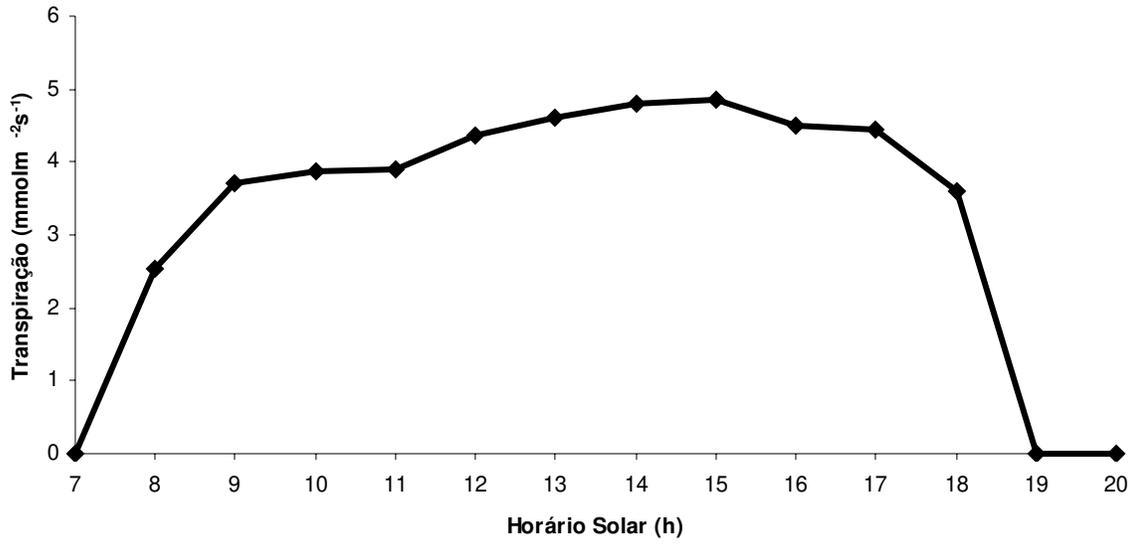
**GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS
NO DIA 16/05/2002**



**RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA
16/05/2002**



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 17/05/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 17/05/2002

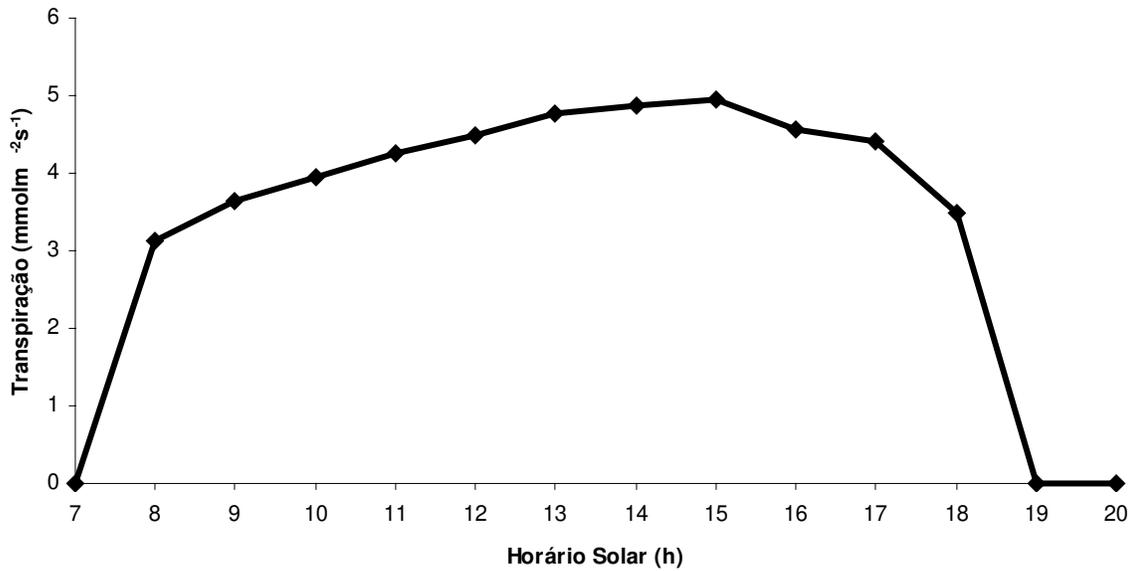
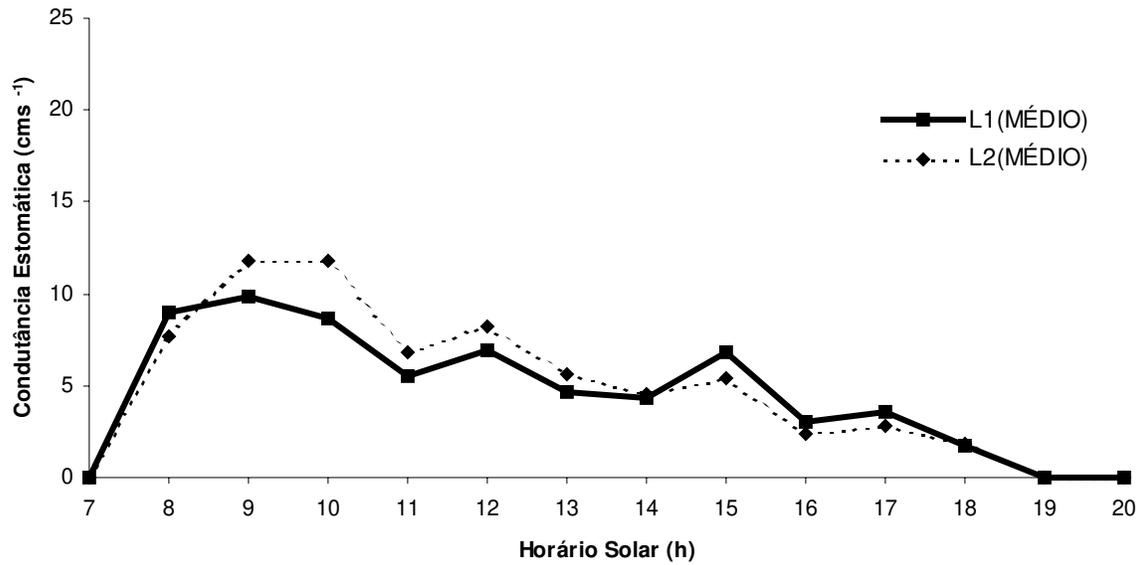
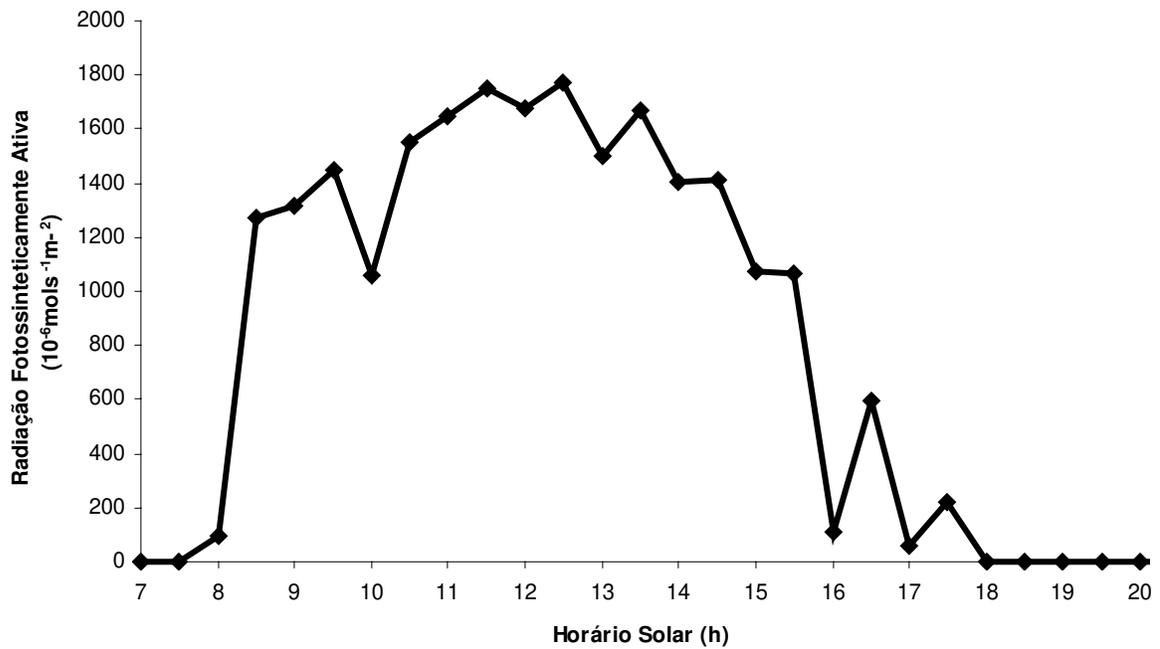


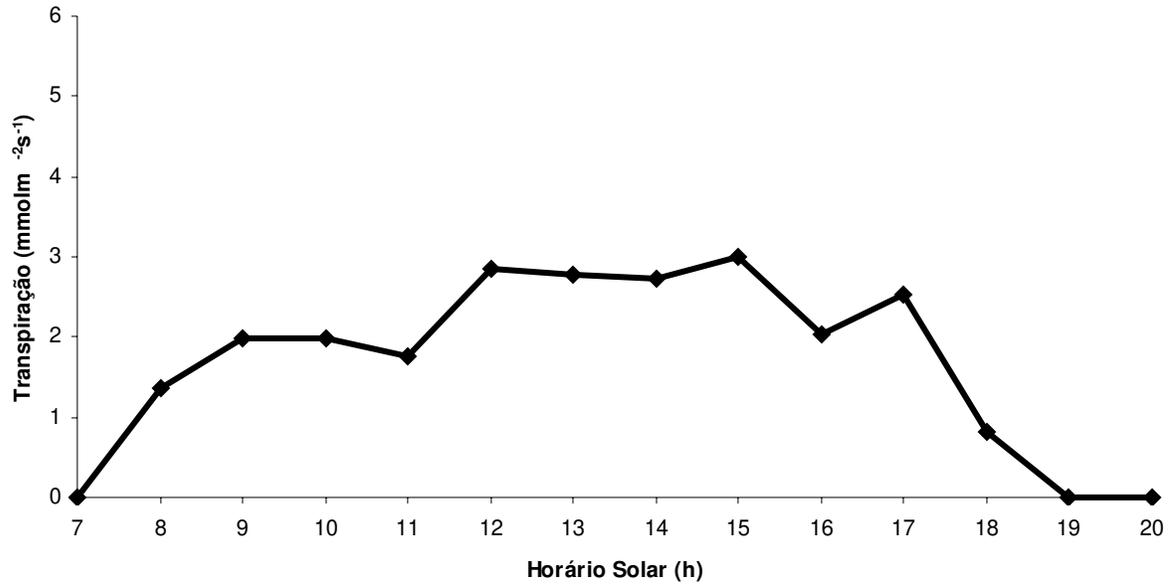
GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS NO DIA 17/05/2002



RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA 17/05/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 15/07/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 15/07/2002

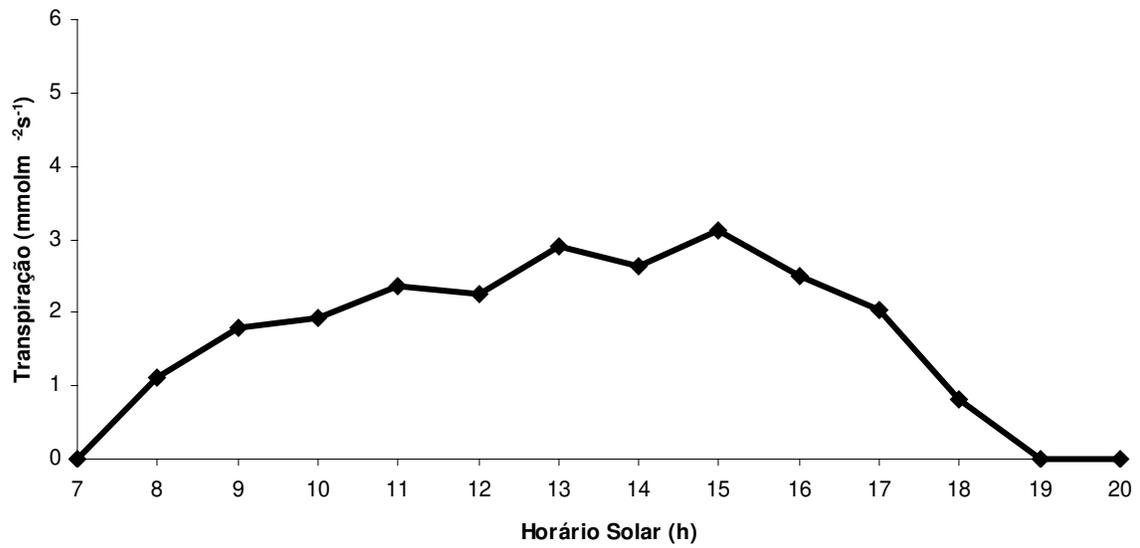
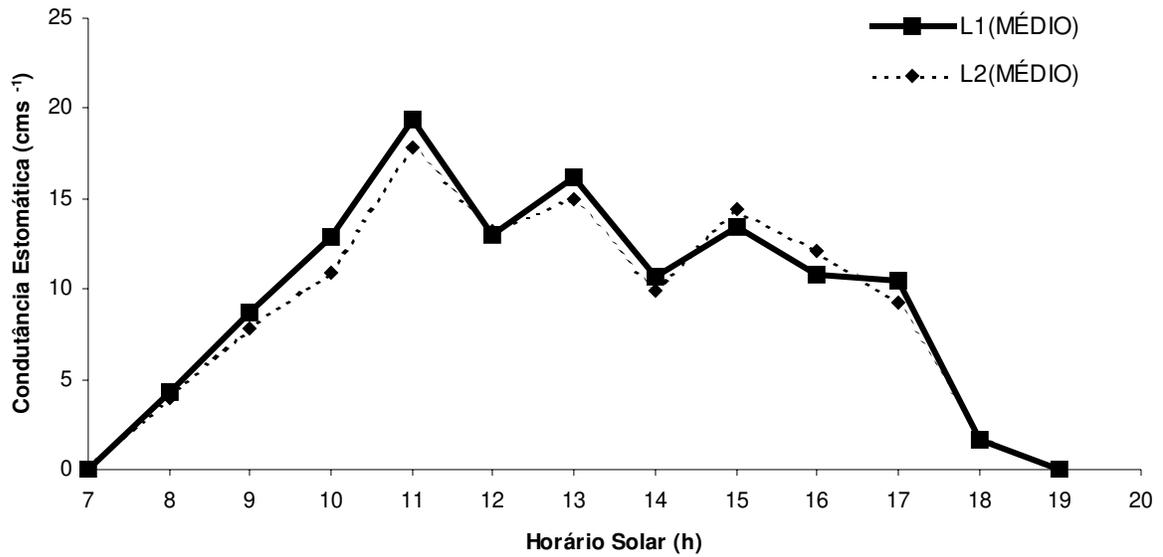
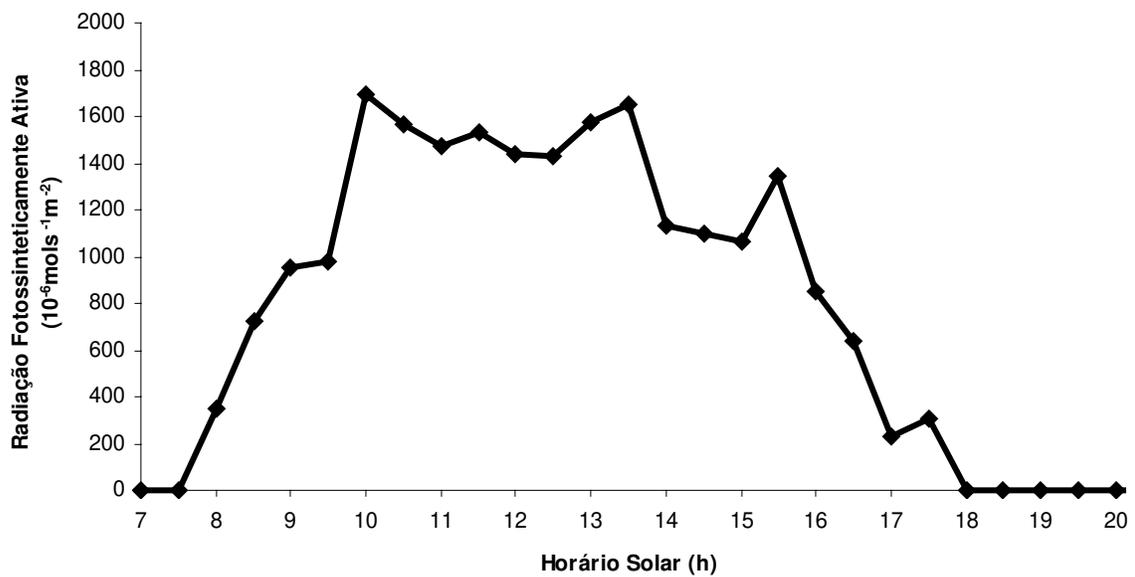


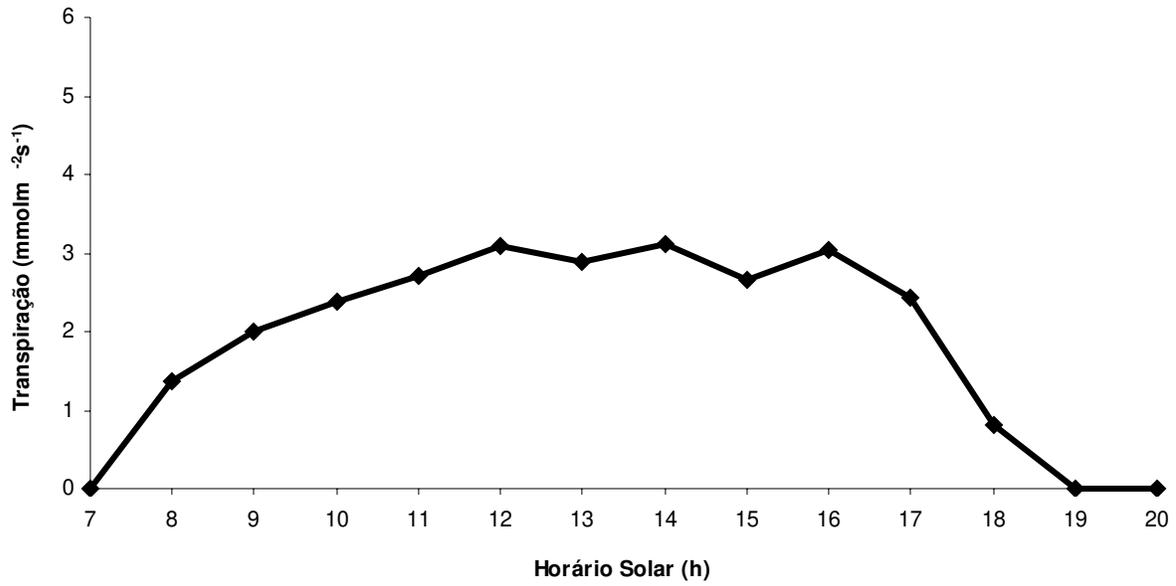
GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS NO DIA 15/07/2002



RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA 15/07/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 16/07/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 16/07/2002

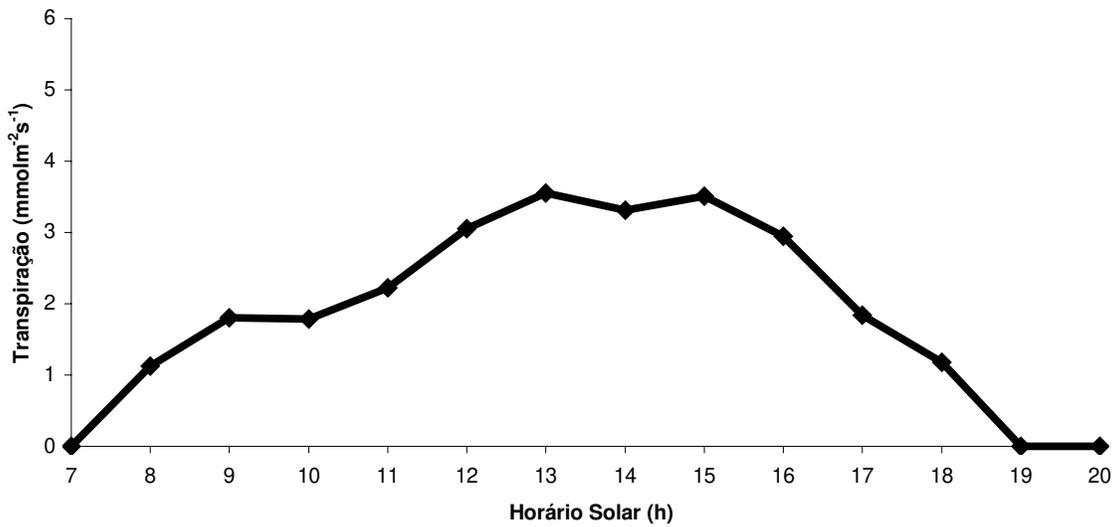
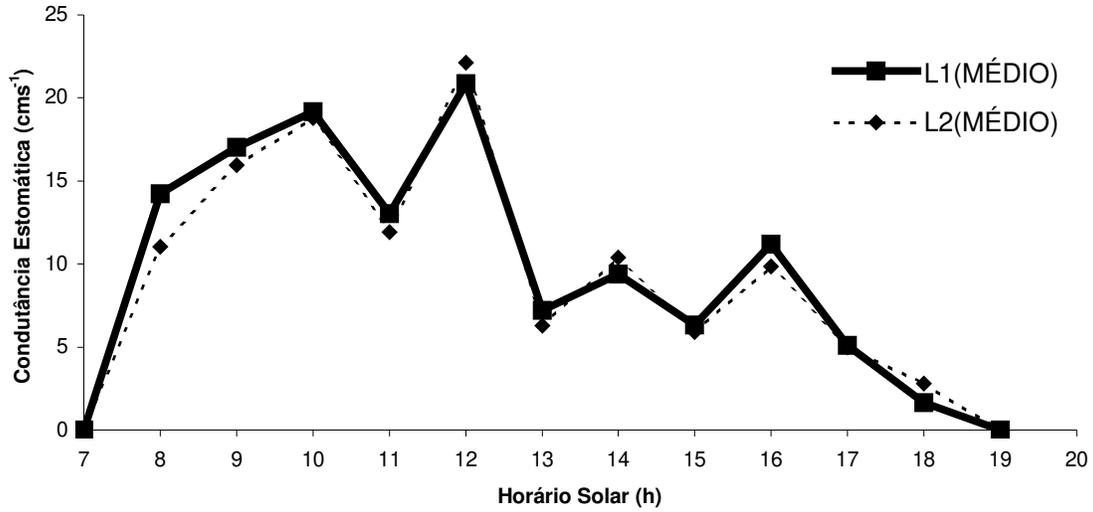
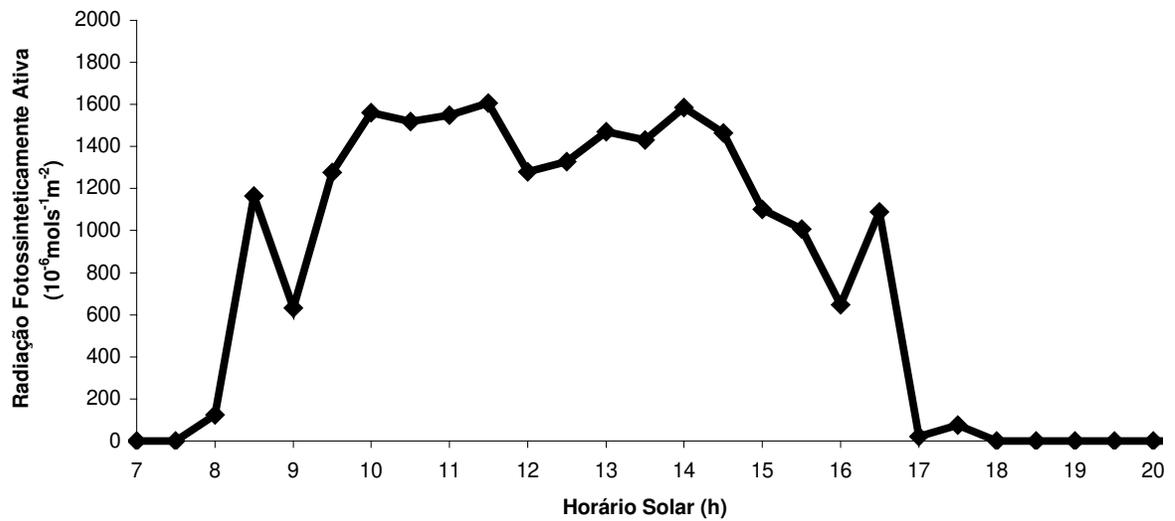


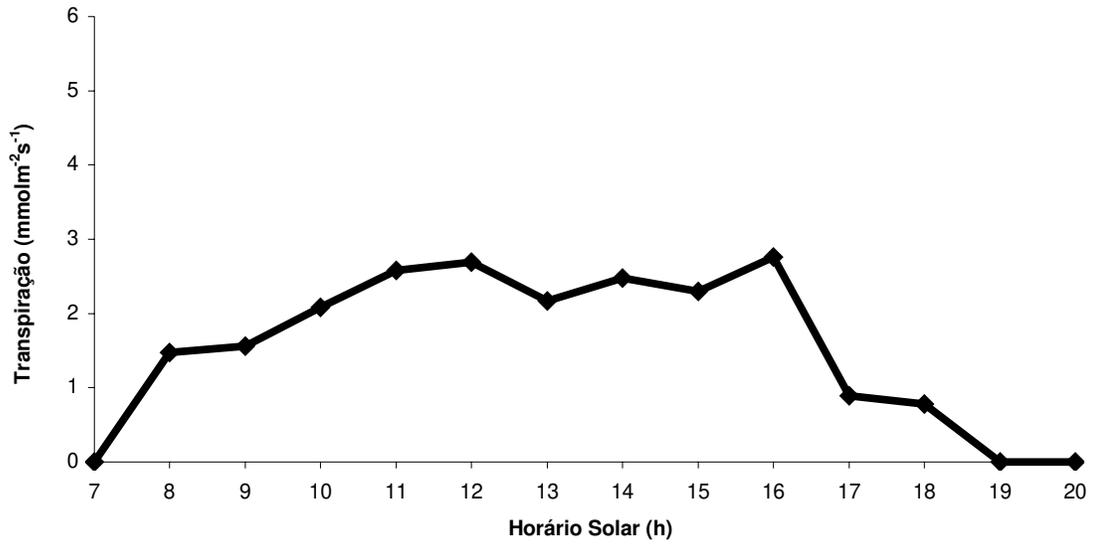
GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS NO DIA 16/07/2002



RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA 16/07/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 17/07/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 17/07/2002

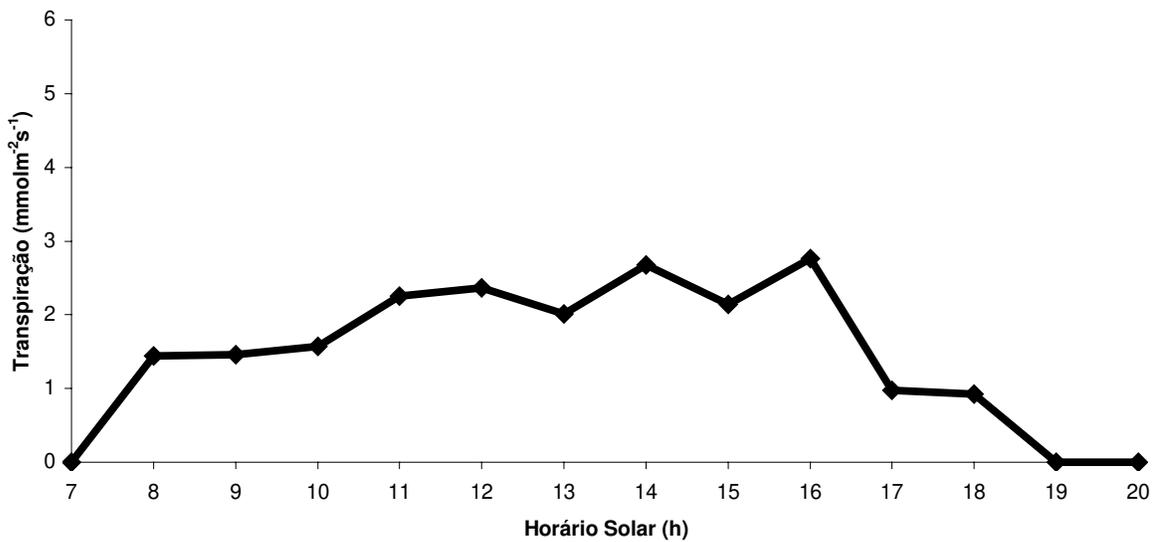
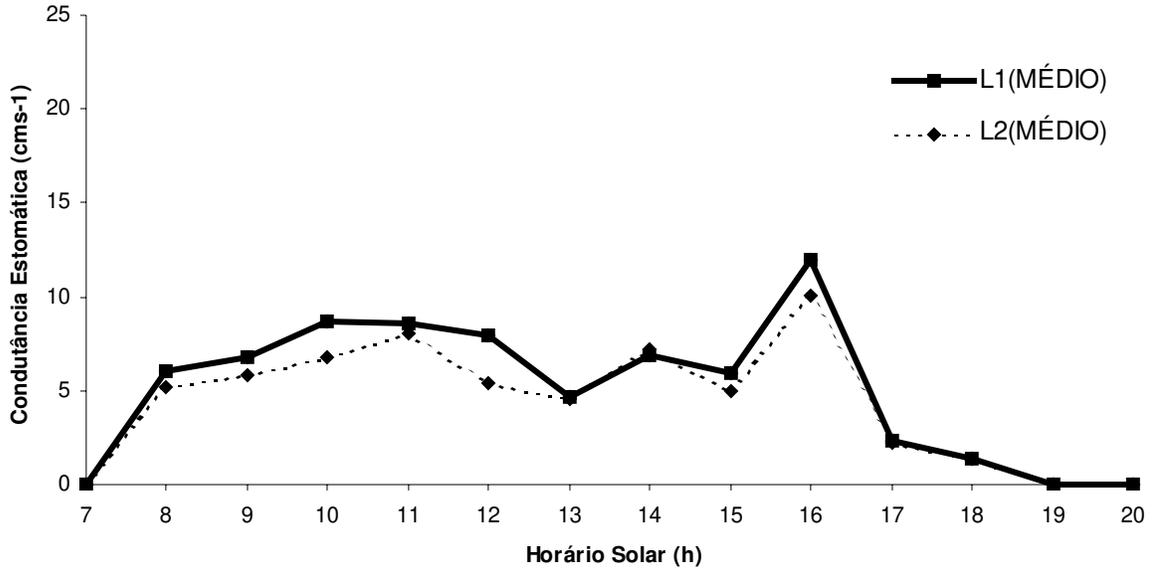
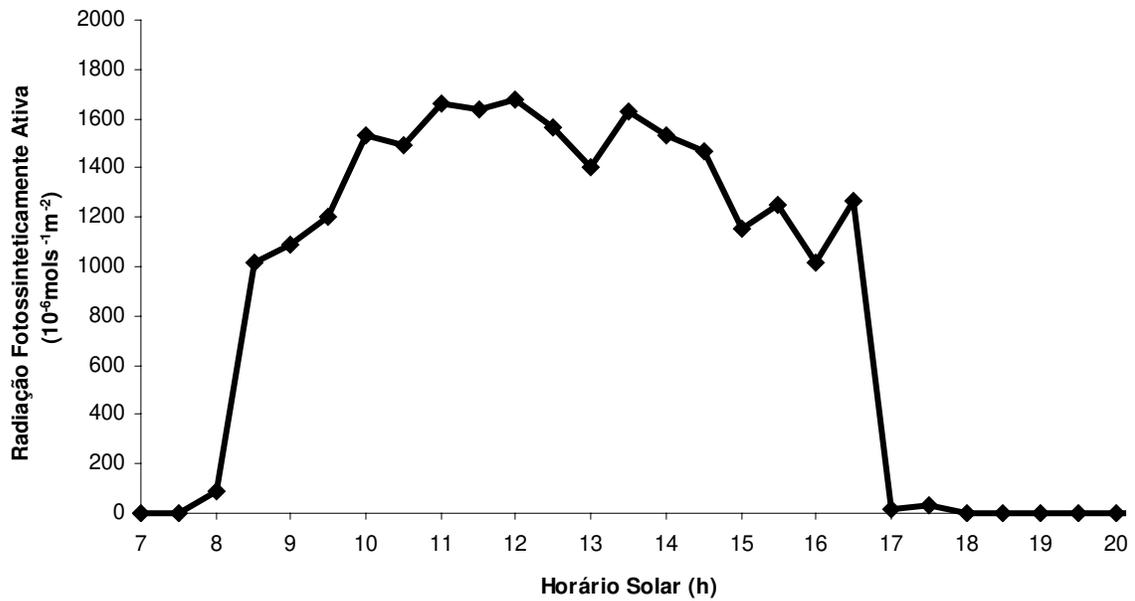


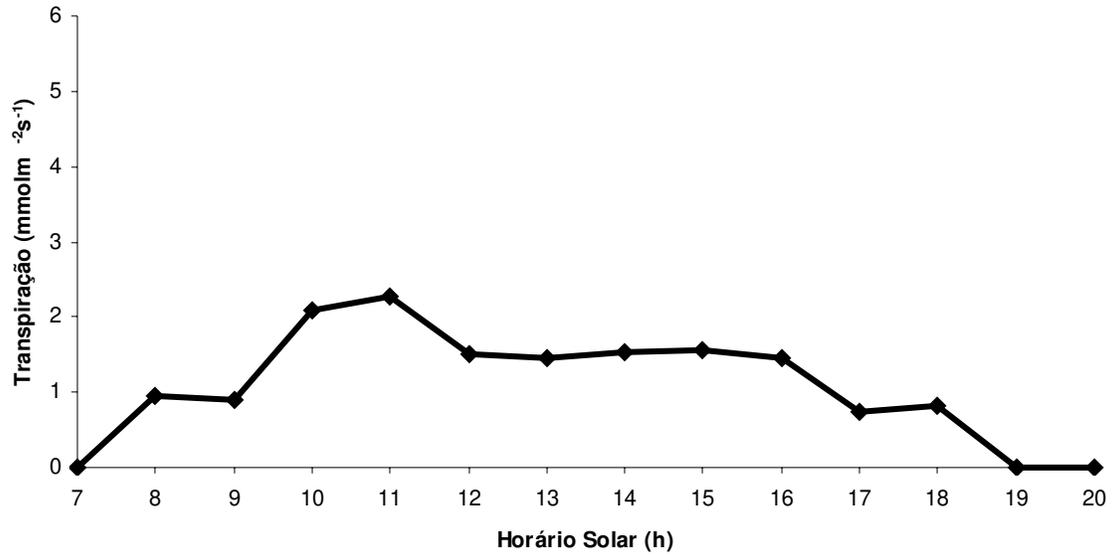
GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS NO DIA
17/07/2002



RADIÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA 17/07/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 18/07/2002

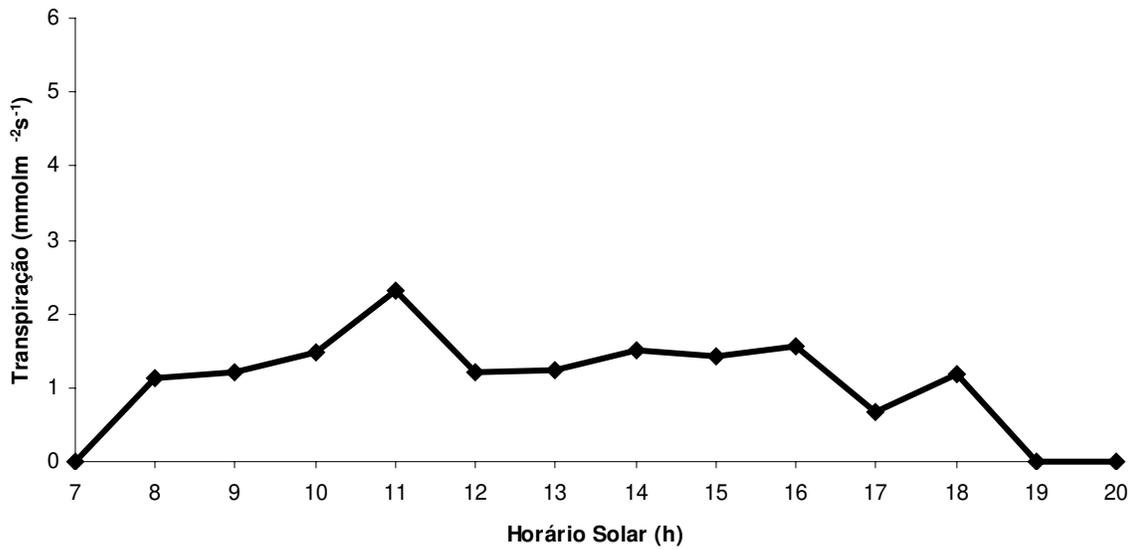
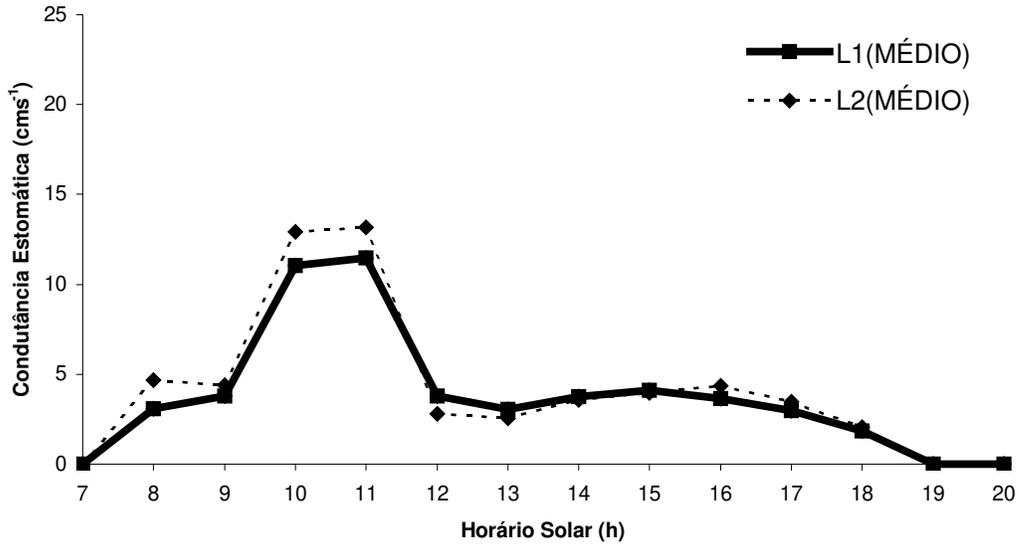
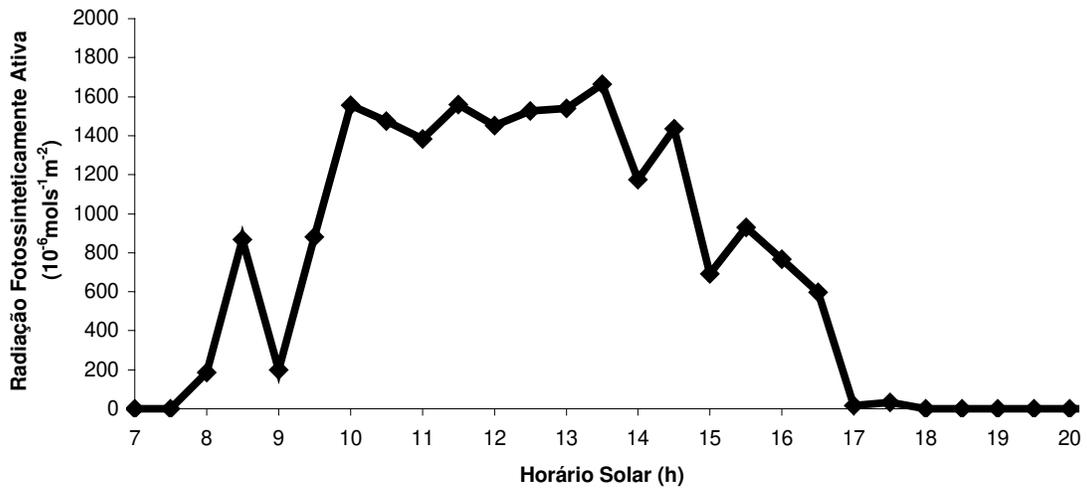


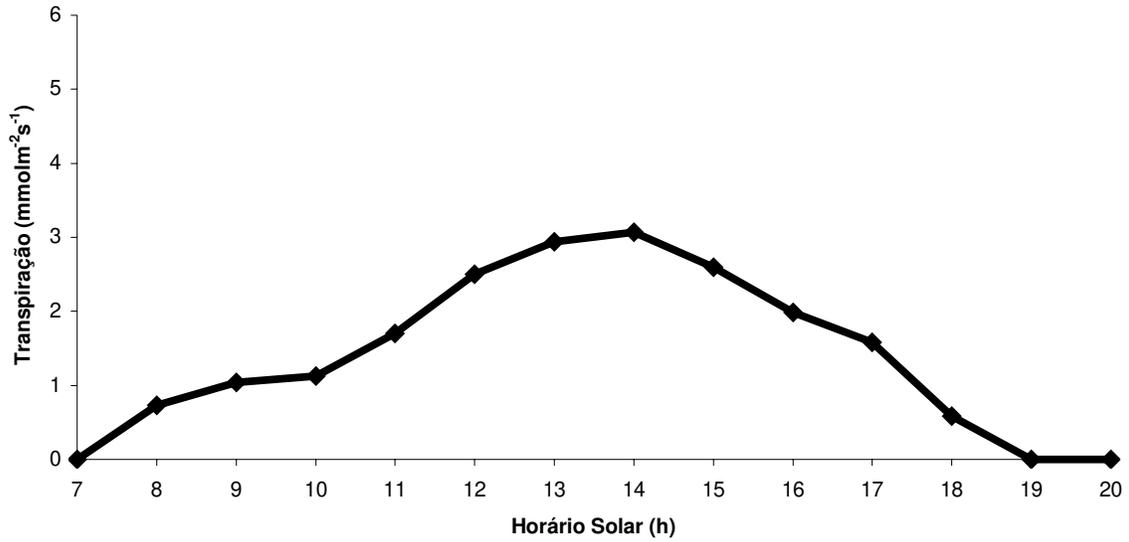
GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS NO DIA
18/07/2002



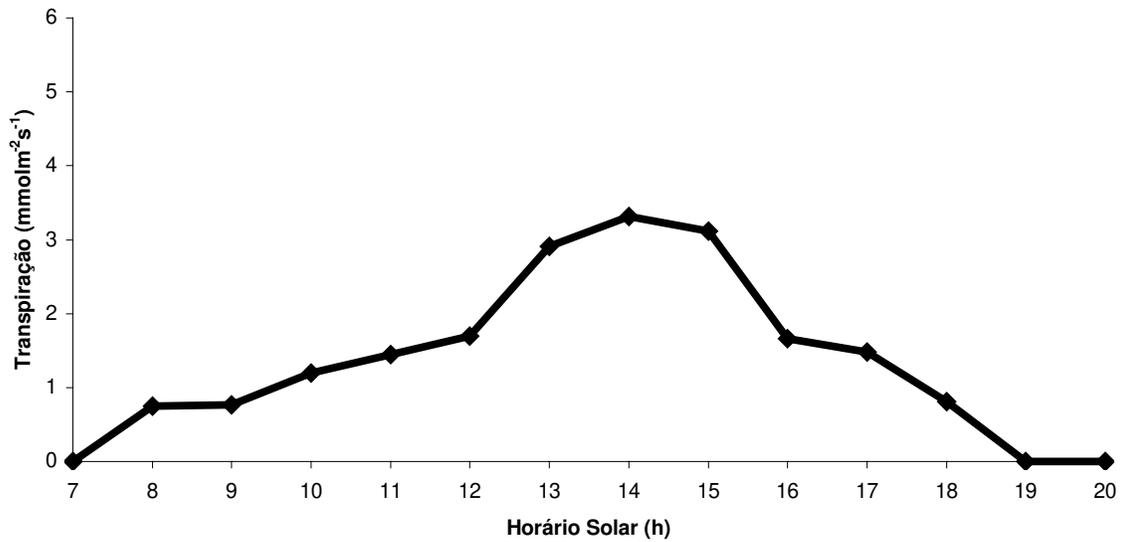
RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA
18/07/2002



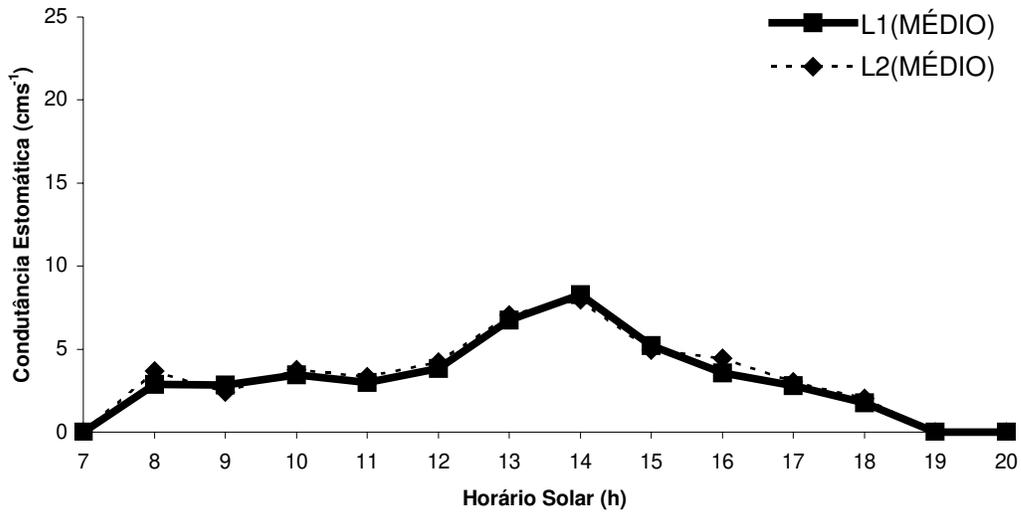
TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 19/07/2002



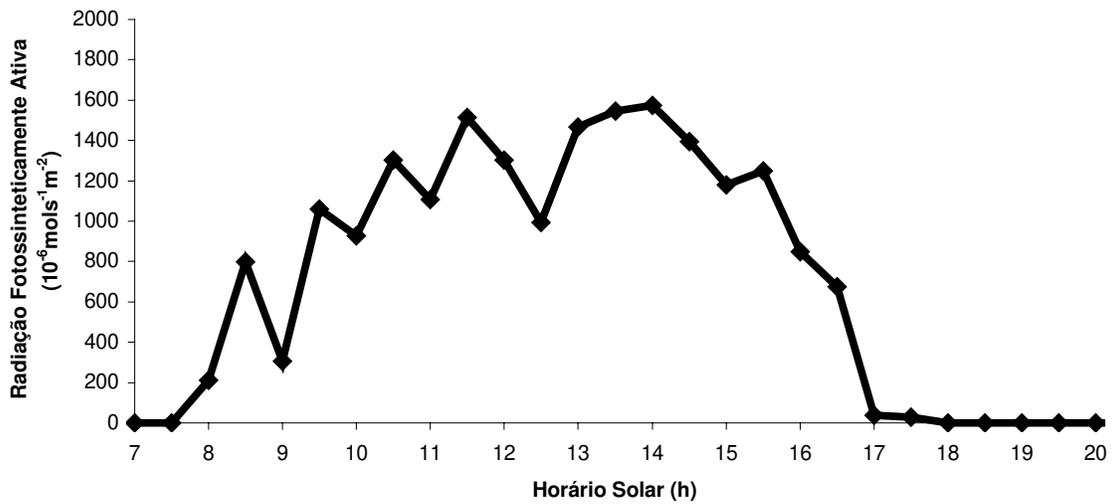
TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 19/07/2002



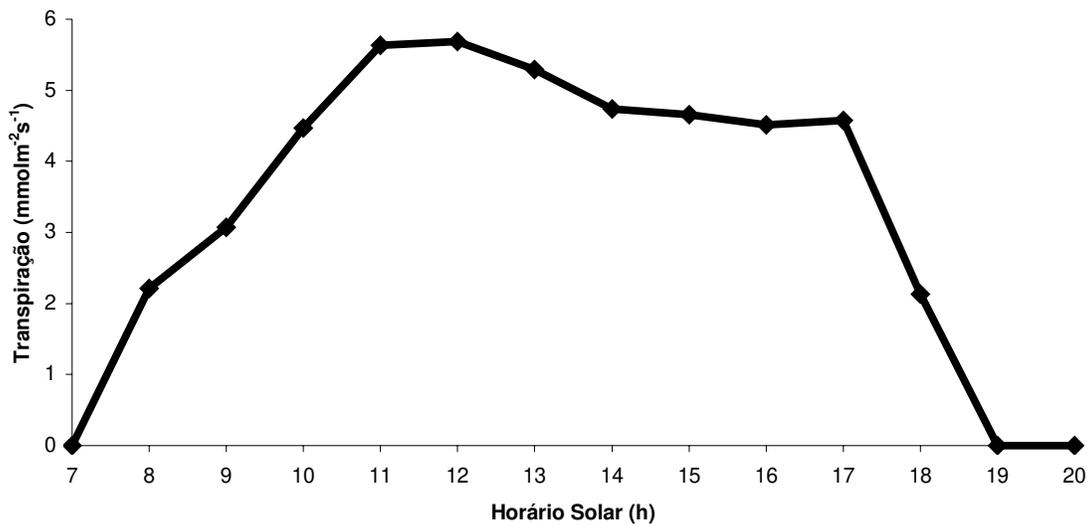
**GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS
NO DIA 19/07/2002**



**RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA
19/07/2002**



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 30/09/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 30/09/2002

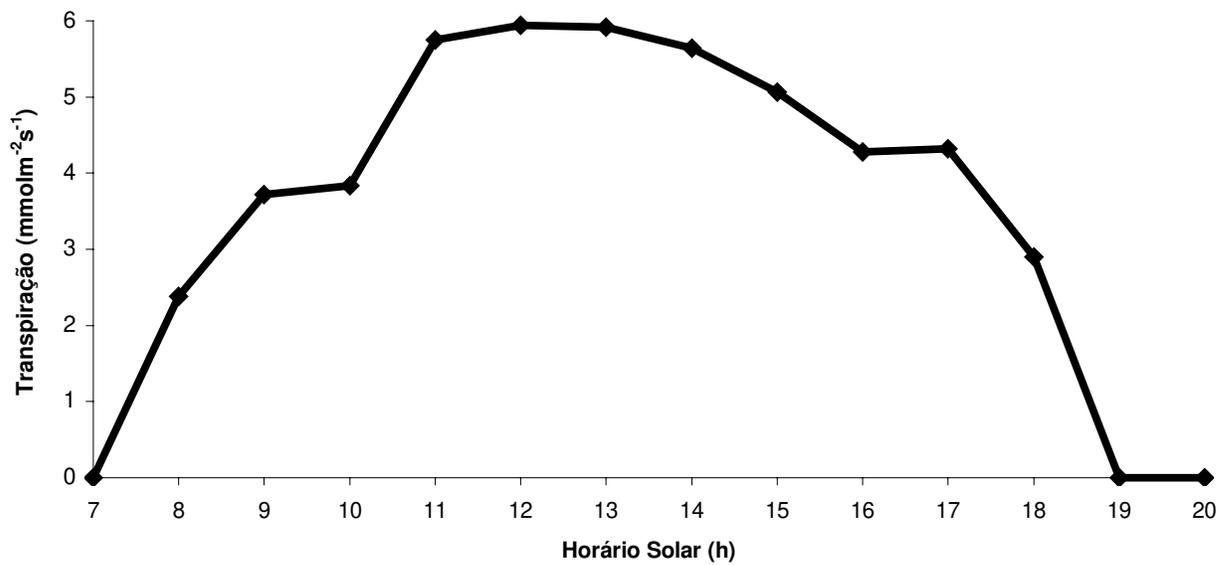
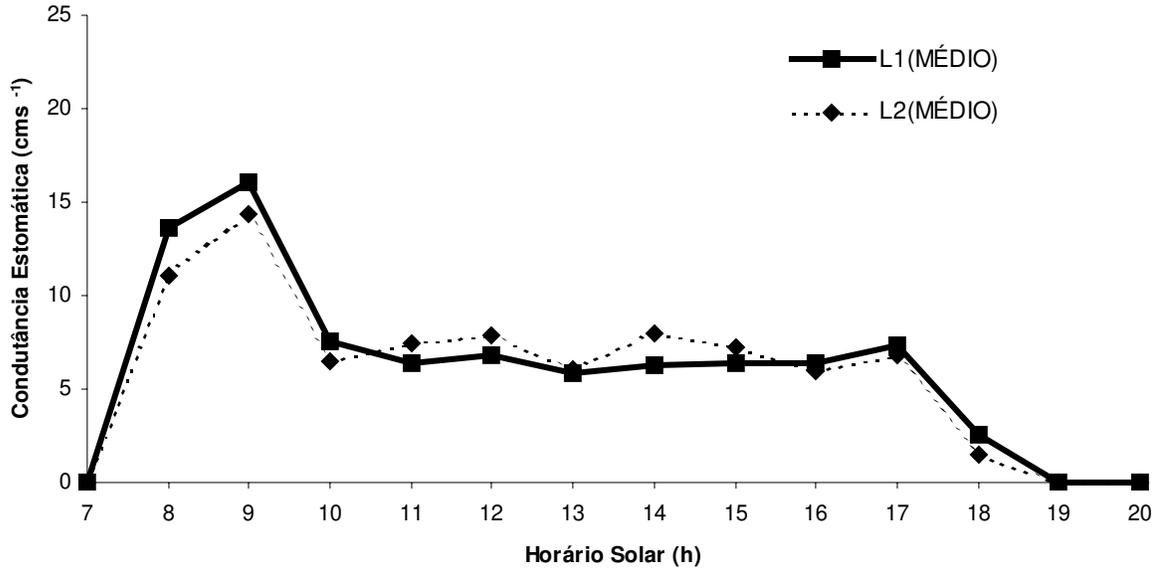


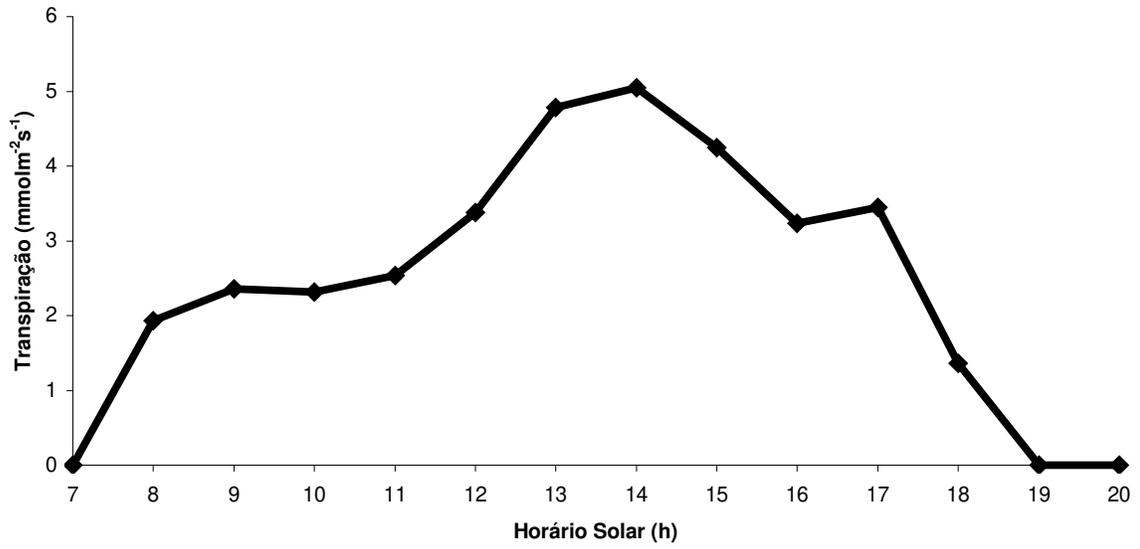
GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOEA PARA OS DOIS LEITOS NO DIA 30/09/2002



RADIÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA 30/09/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 01/10/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 01/10/2002

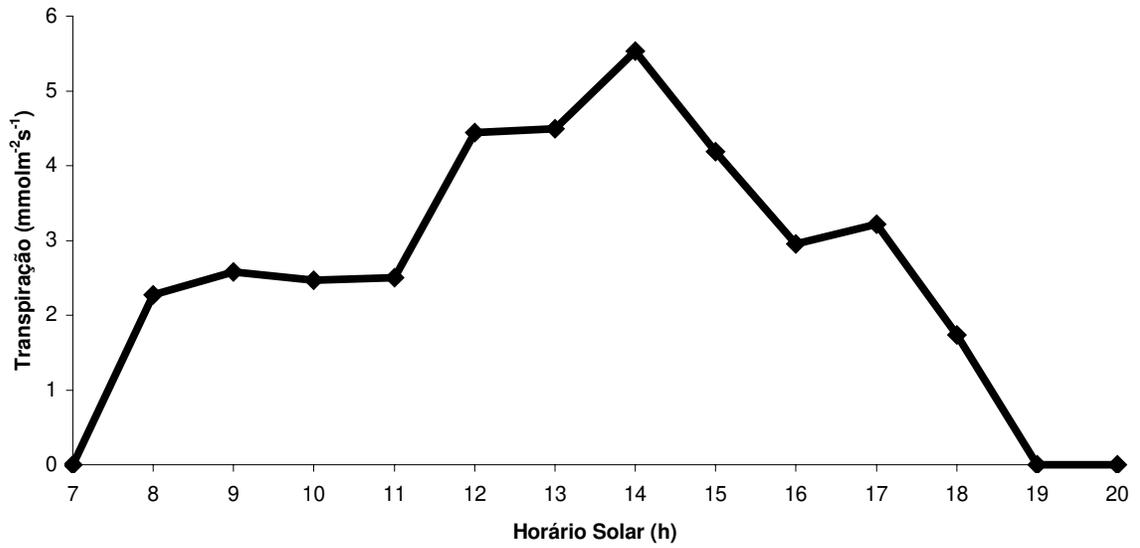
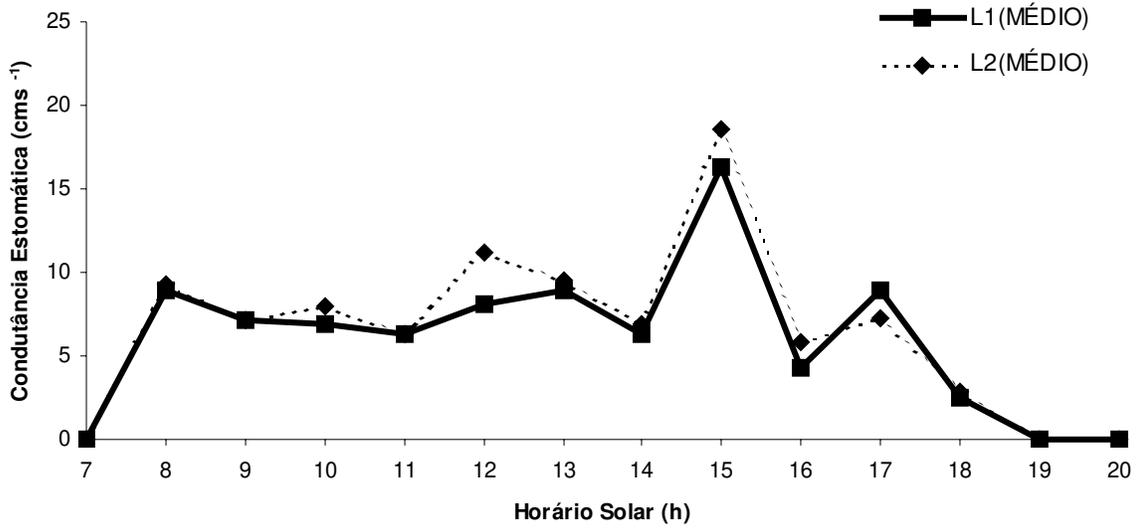
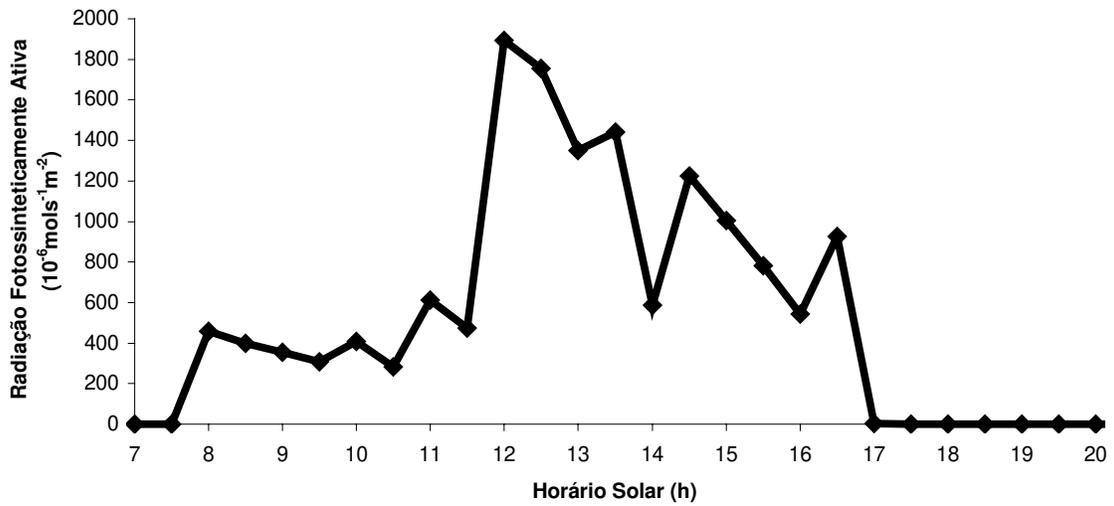


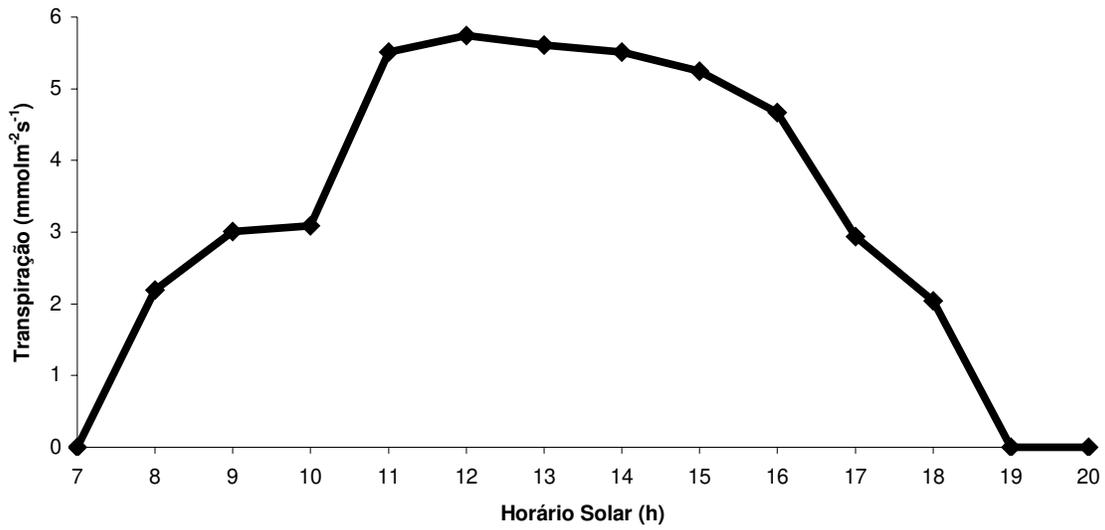
GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS NO DIA 01/10/2002



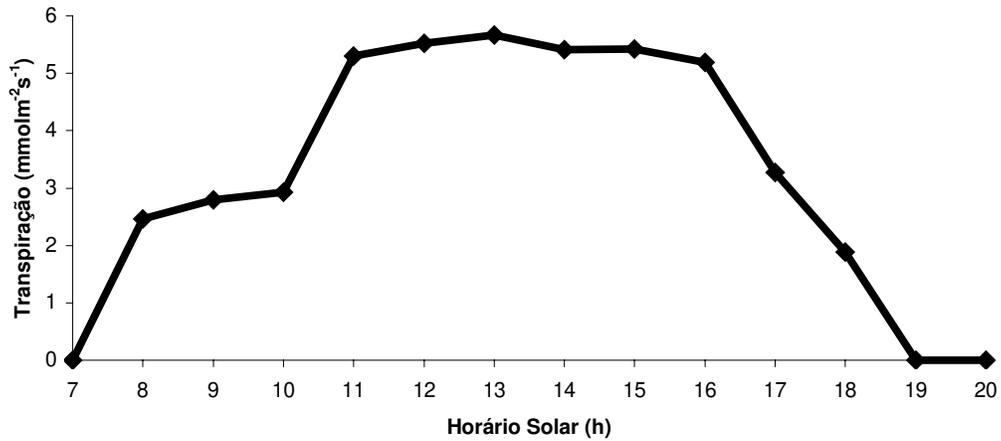
RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA 01/10/2002



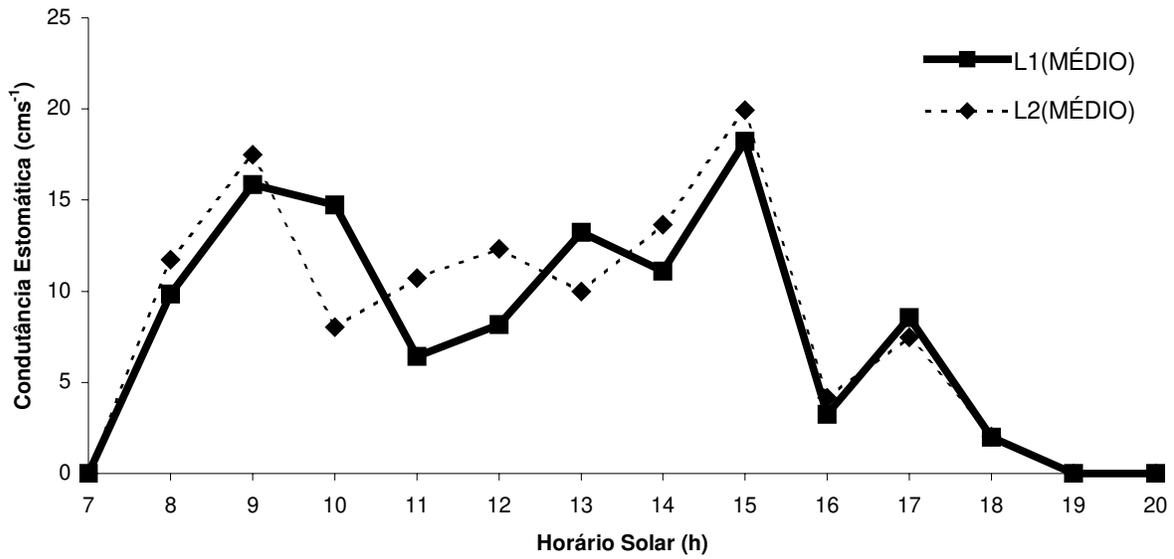
TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 02/10/2002



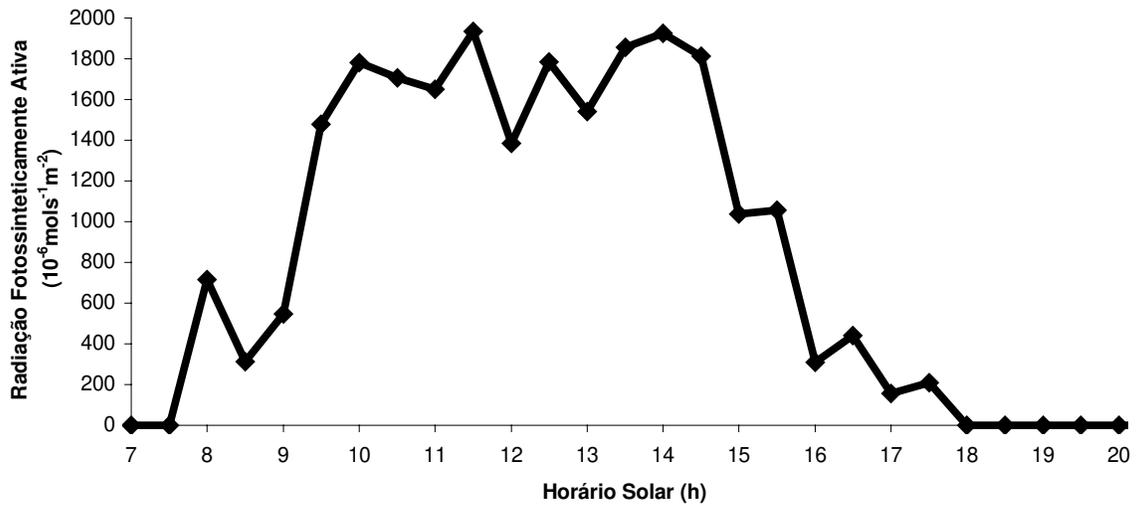
TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 02/10/2002



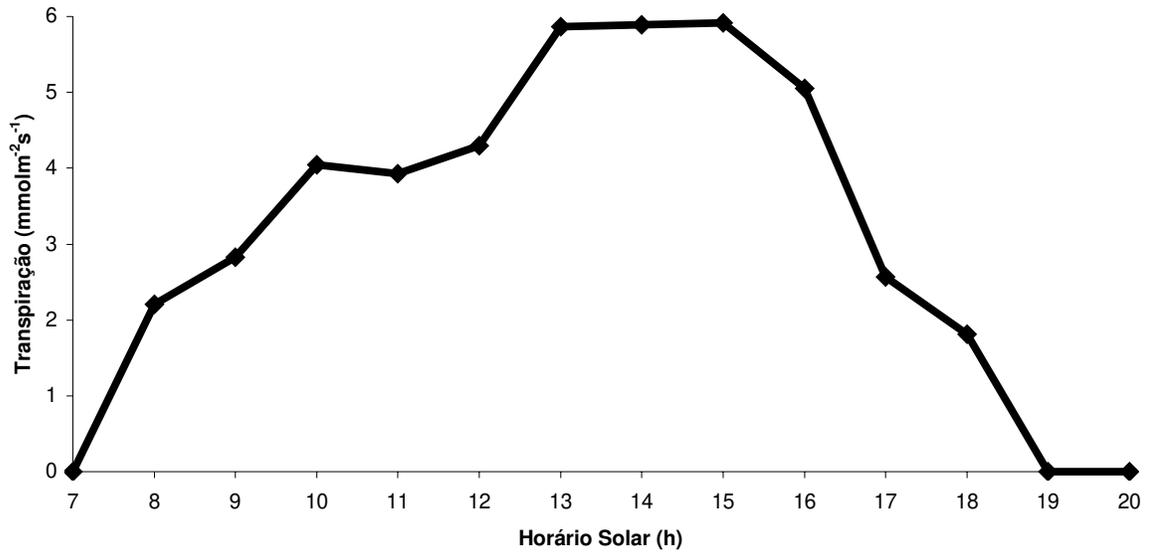
**GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS
NO DIA 02/10/2002**



**RADIÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA
02/10/2002**



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 1 PARA O DIA 03/10/2002



TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LEITO 2 PARA O DIA 03/10/2002

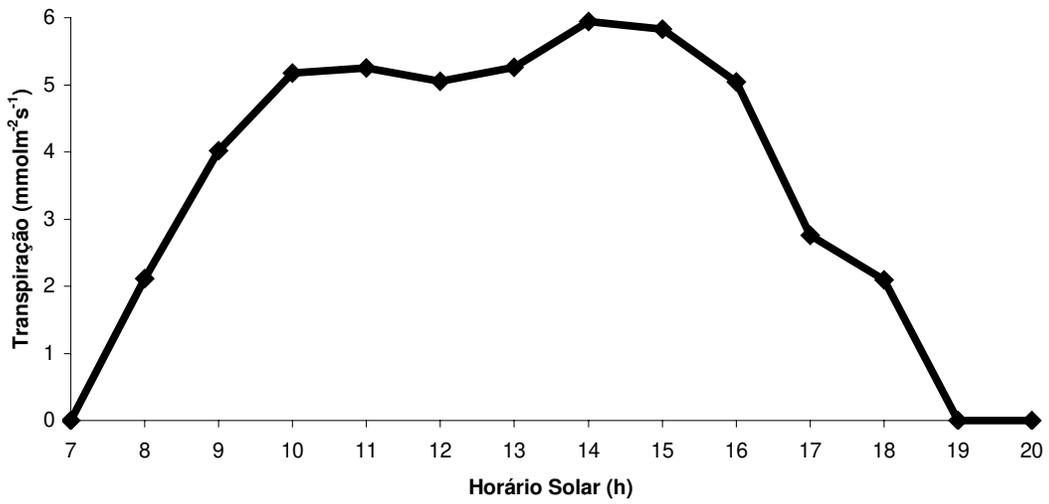
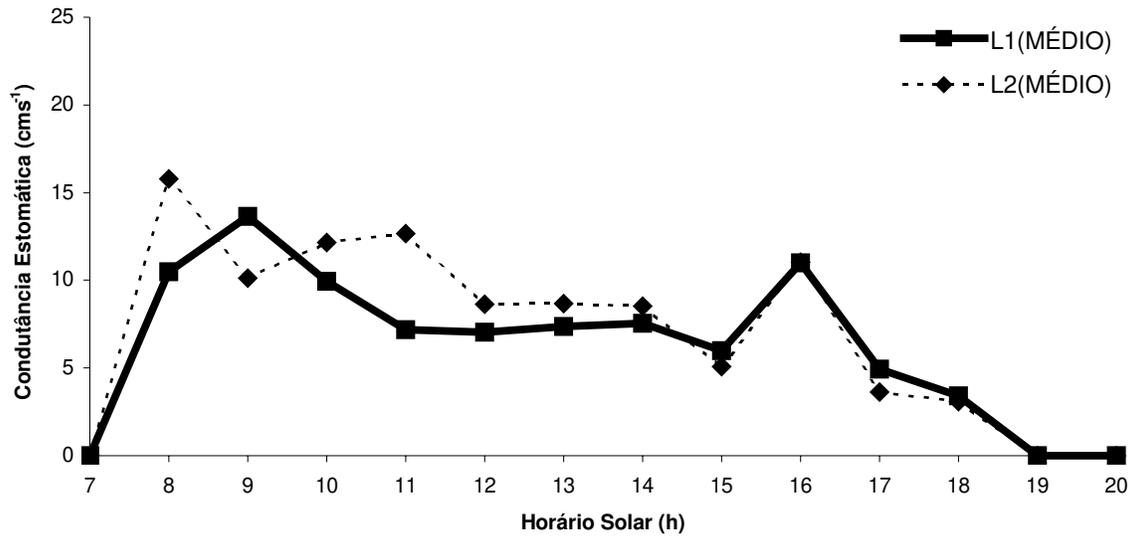
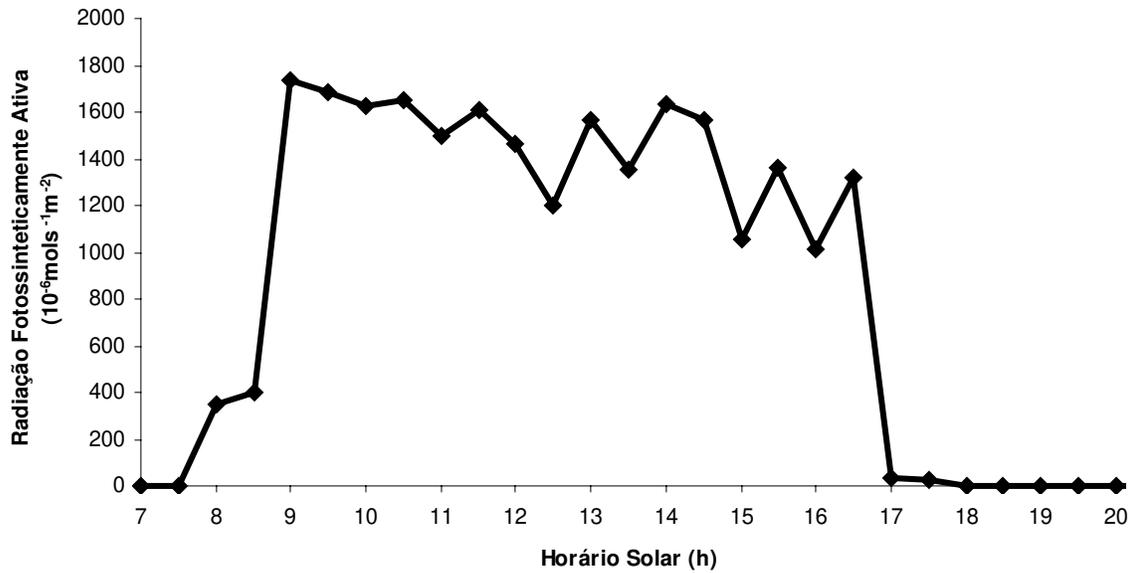


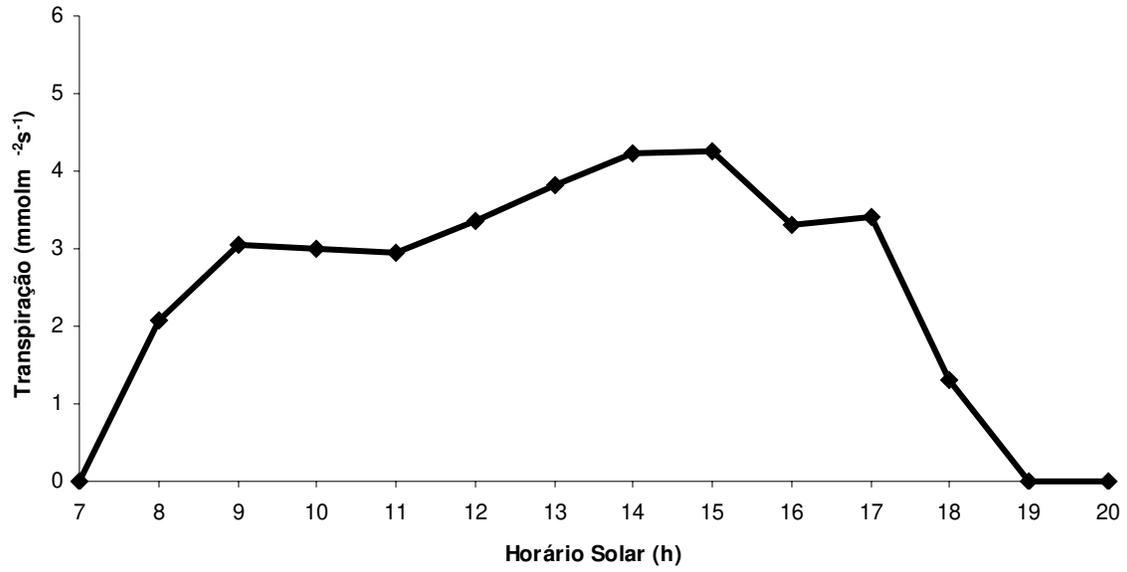
GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS NO DIA 03/10/2002



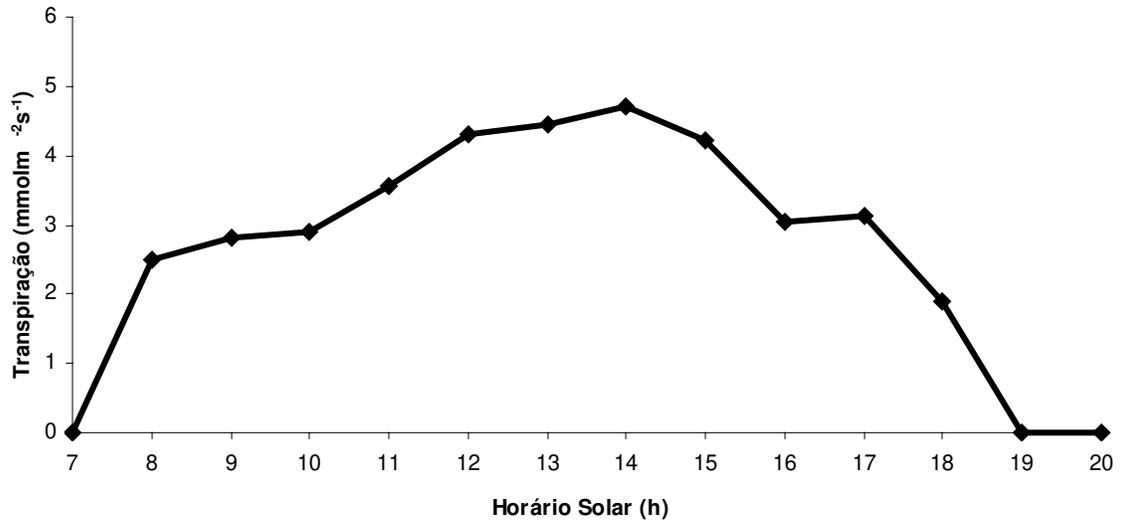
RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA 03/10/2002



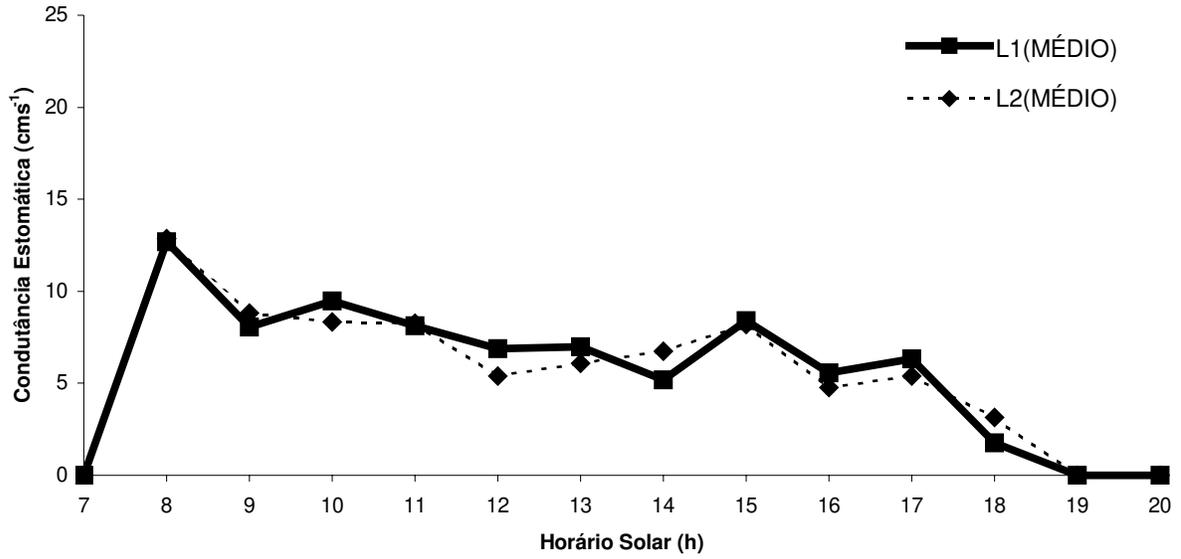
TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LETO 1 PARA O DIA 04/10/2002



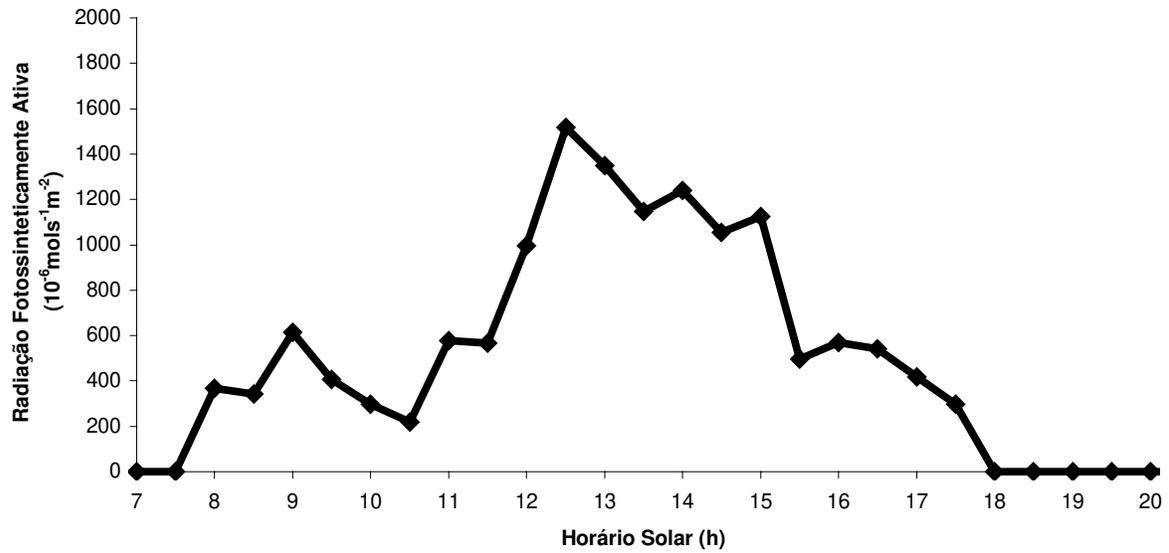
TRANSPIRAÇÃO MÉDIA DA TABOA NO LETO 2 PARA O DIA 04/10/2002



**GRÁFICO DA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DA TABOA PARA OS DOIS LEITOS
NO DIA 04/10/2002**



**RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA PARA OS LEITOS 1 E 2 NO DIA
04/10/2002**



A2-VAZÕES VOLUMÉTRICAS NOS LEITOS 1 E 2

GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 13/05/2002

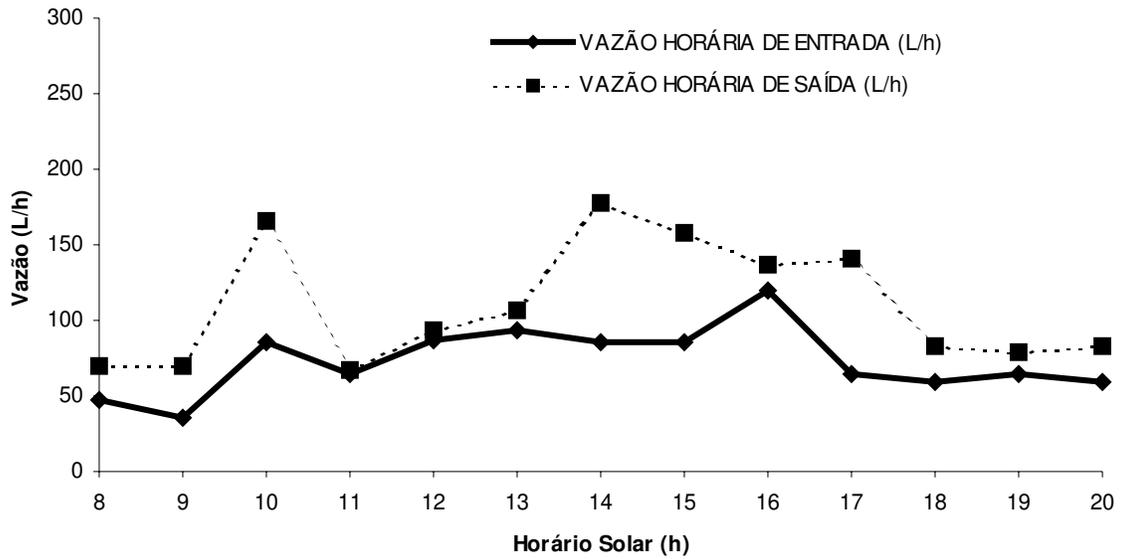


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 13/05/2002

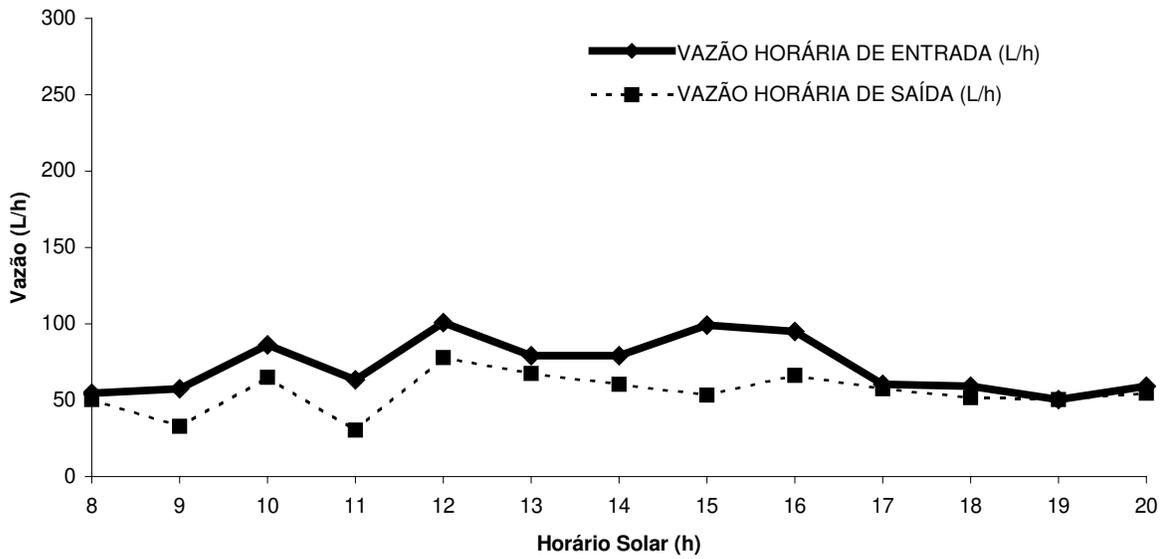


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 14/05/2002

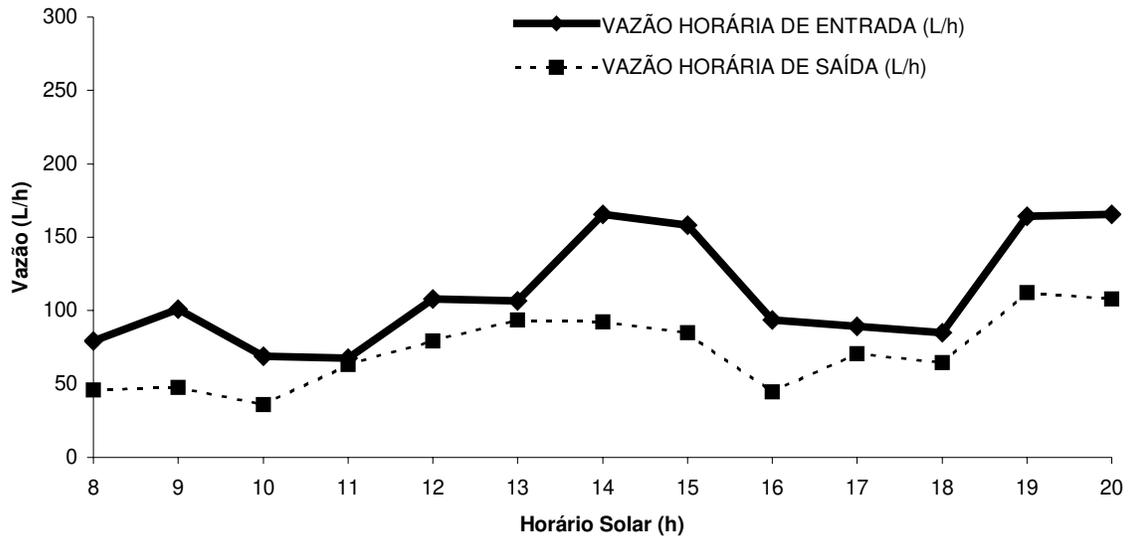


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 14/05/2002

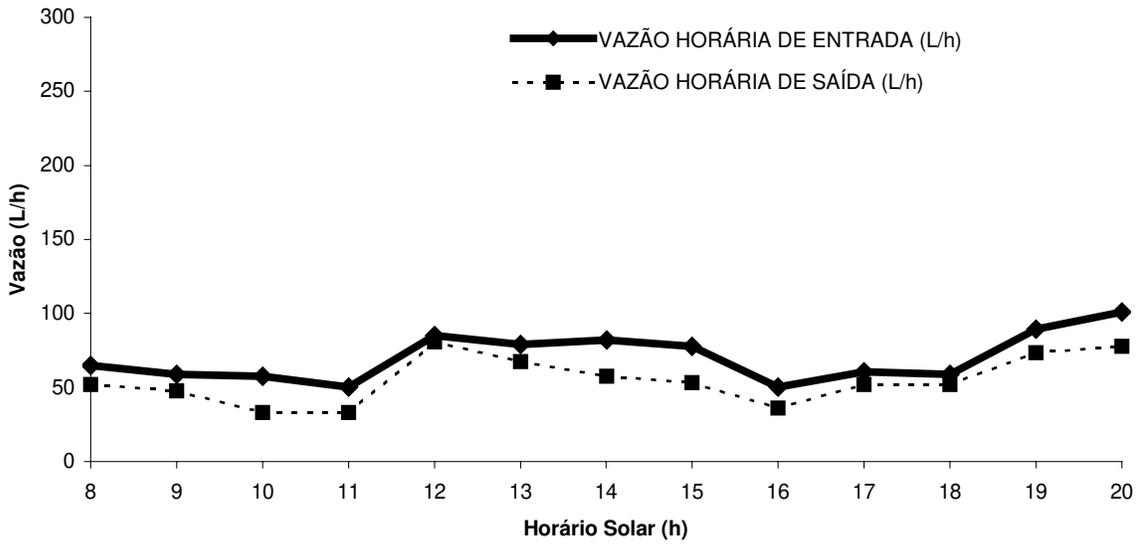


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 15/05/2002

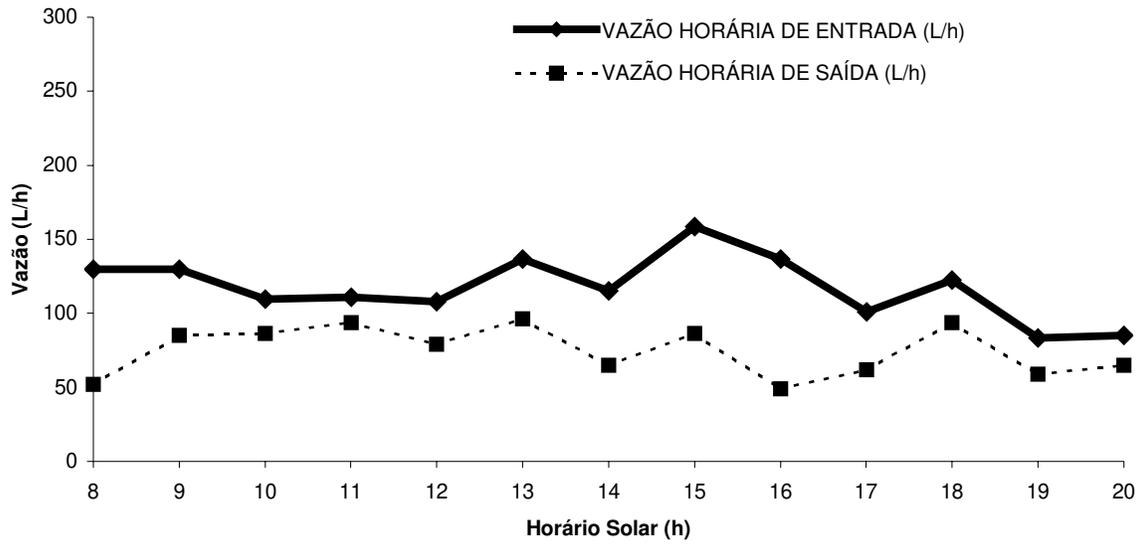


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 15/05/2002

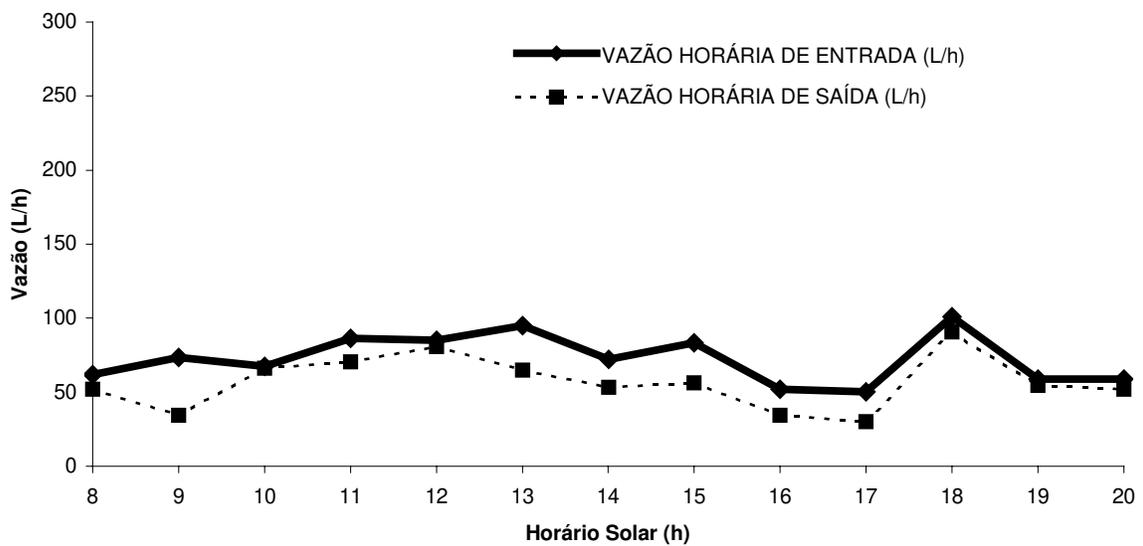


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 16/05/2002

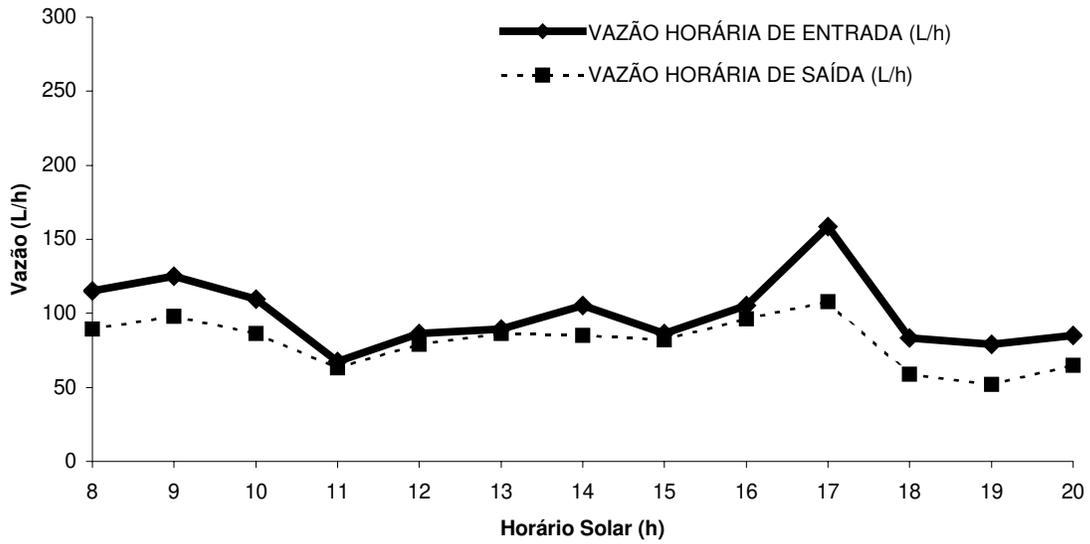


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 16/05/2002

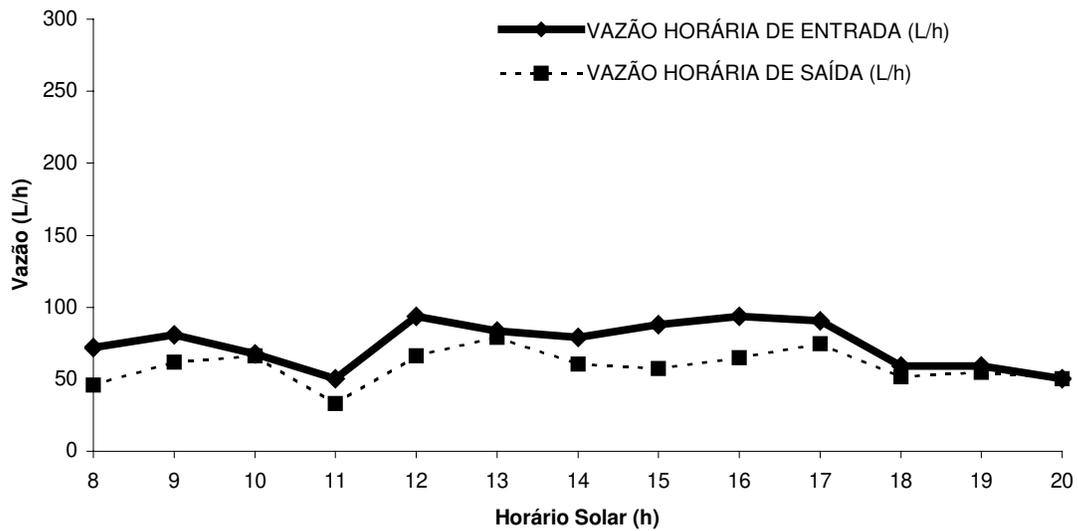


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 17/05/2002

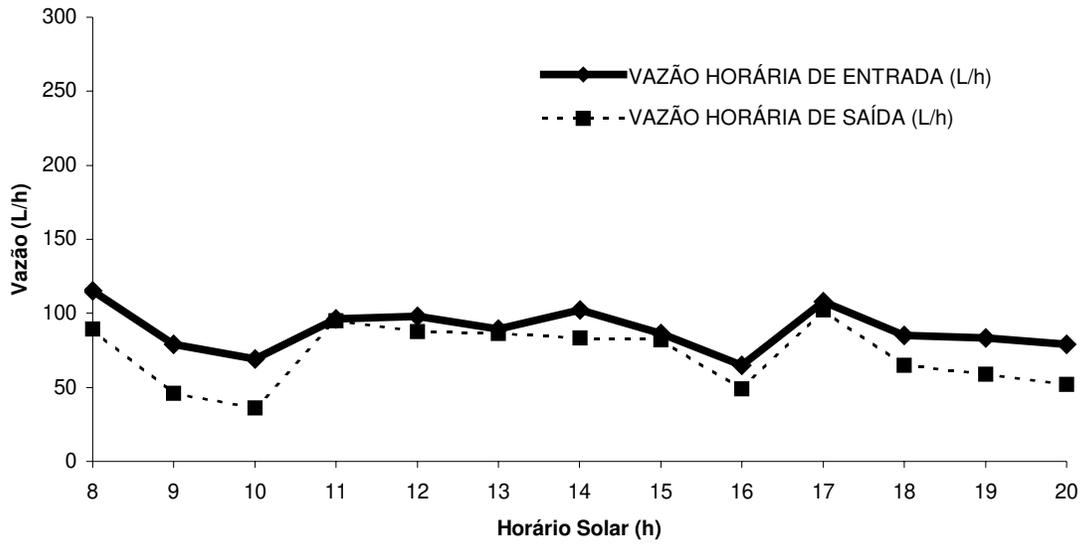


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 17/05/2002

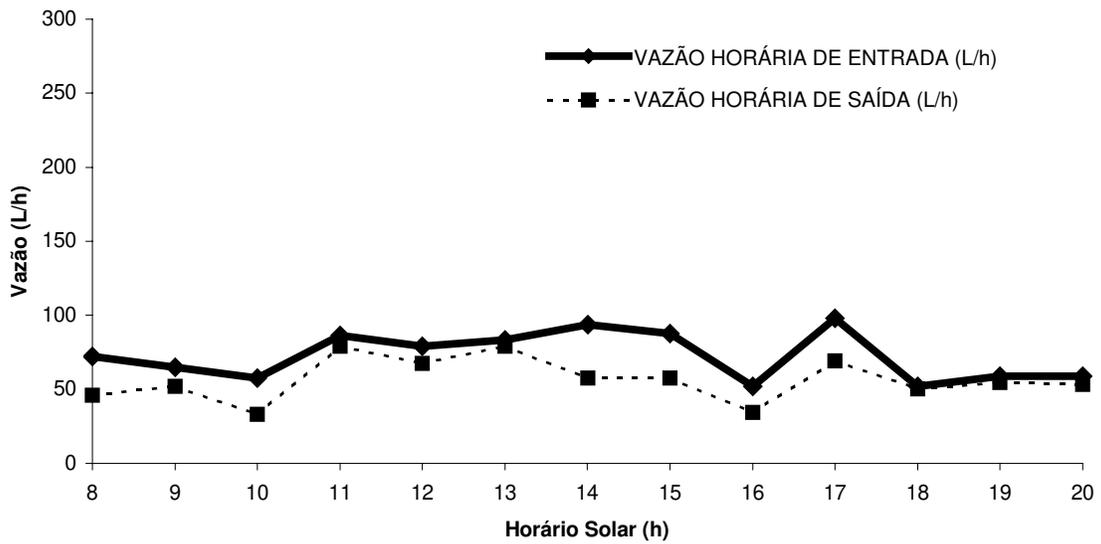


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 15/07/2002

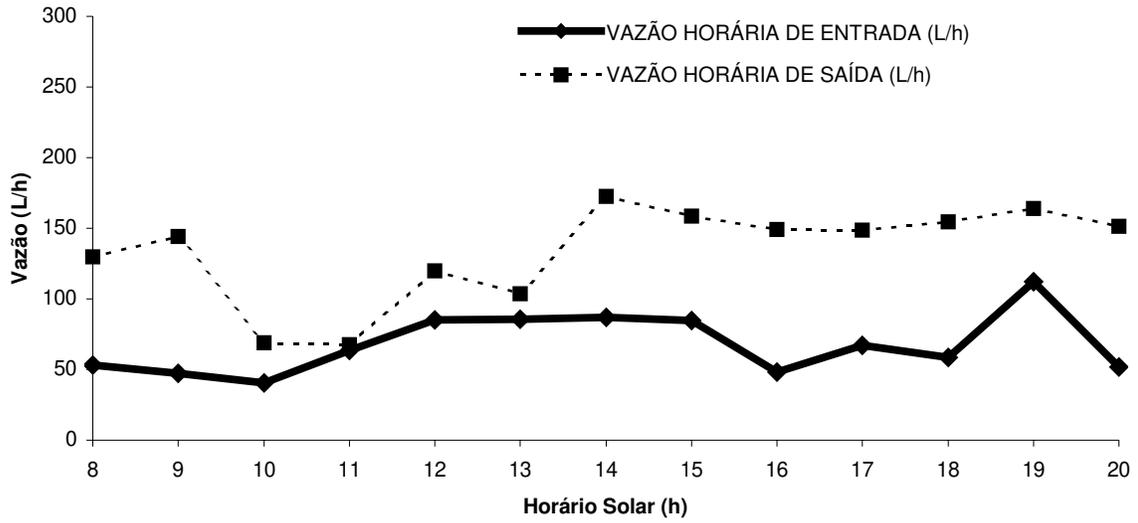


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 15/07/2002

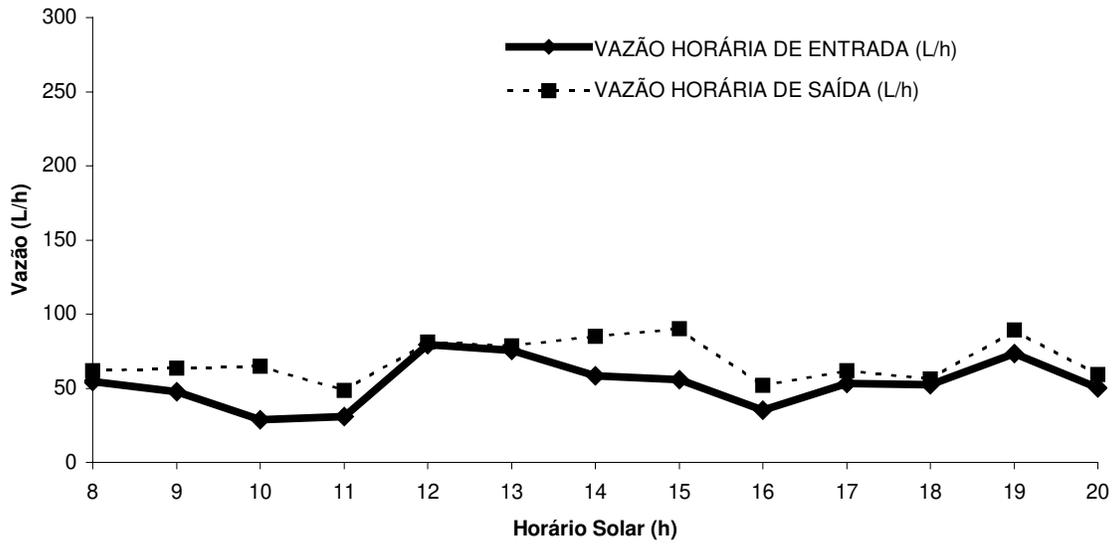


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 16/07/2002

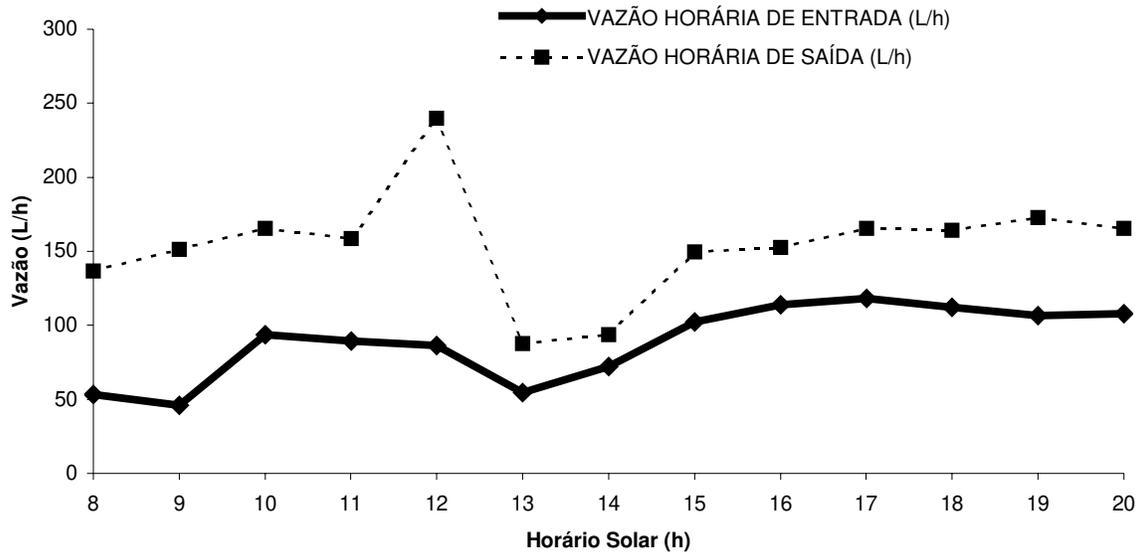


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 16/07/2002

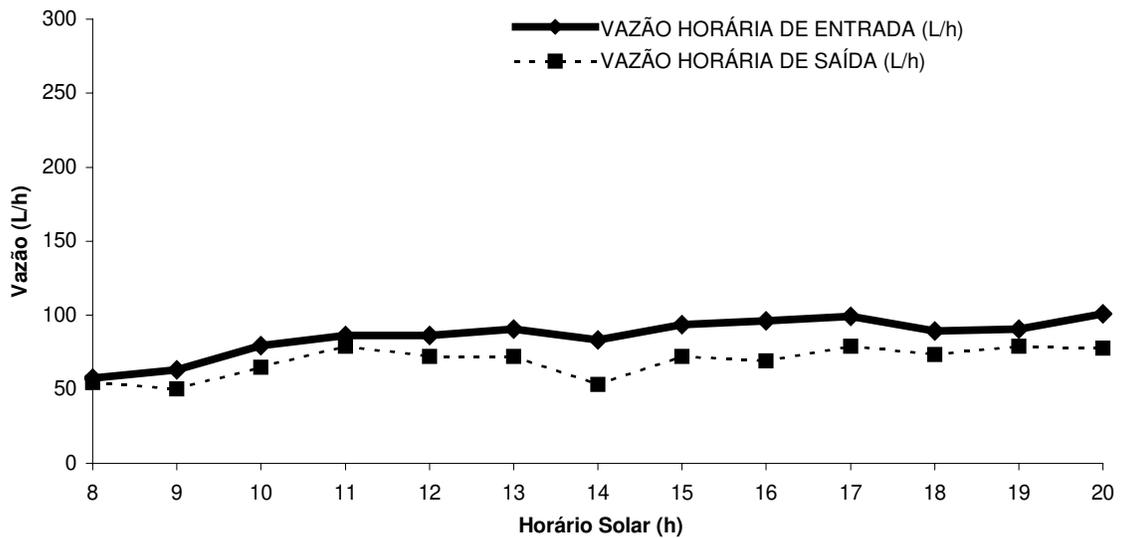


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 17/07/2002

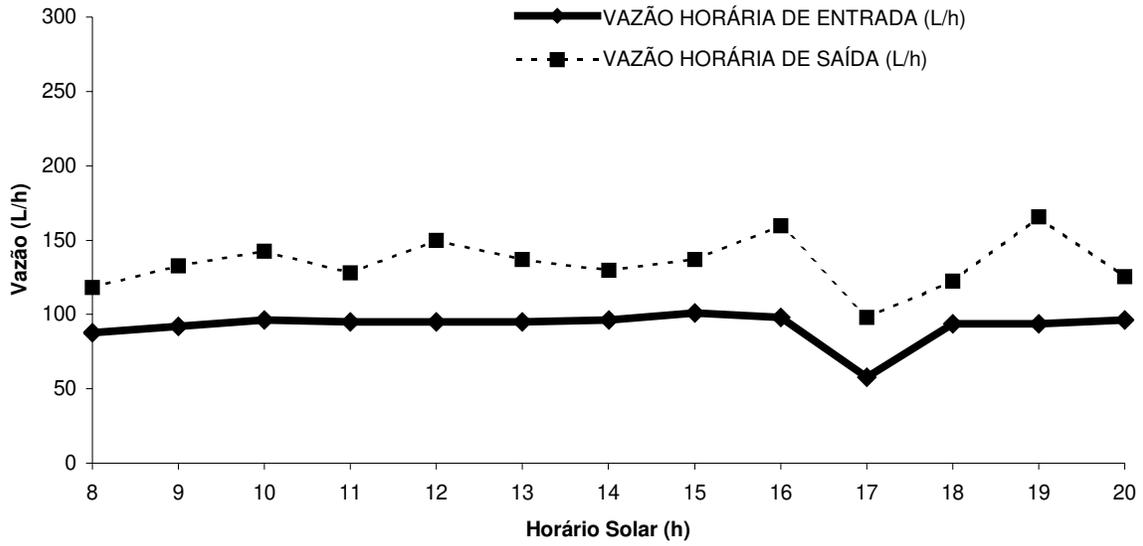


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 17/07/2002

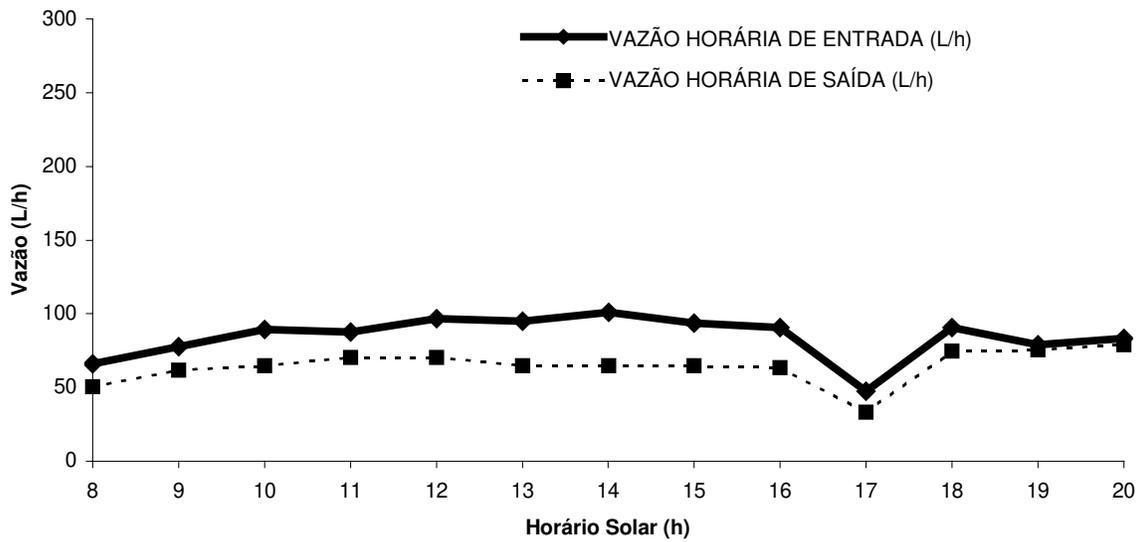


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002

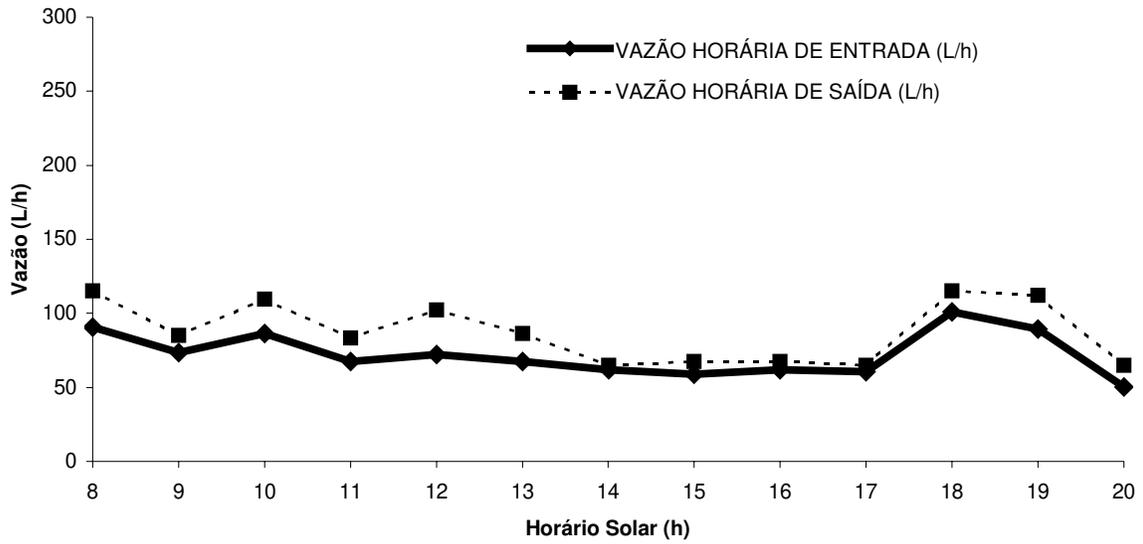


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 18/07/2002

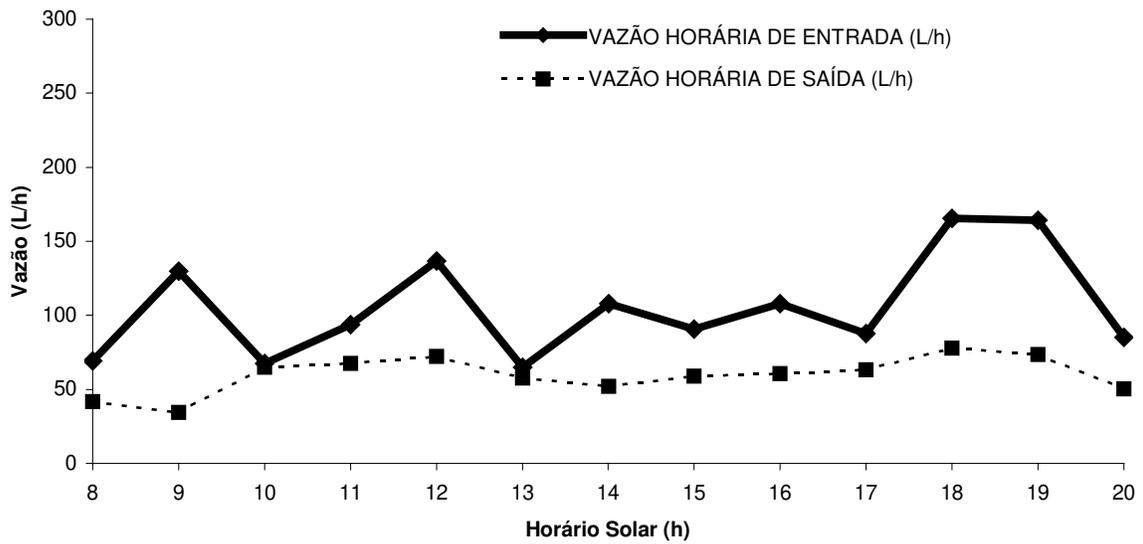


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 19/07/2002

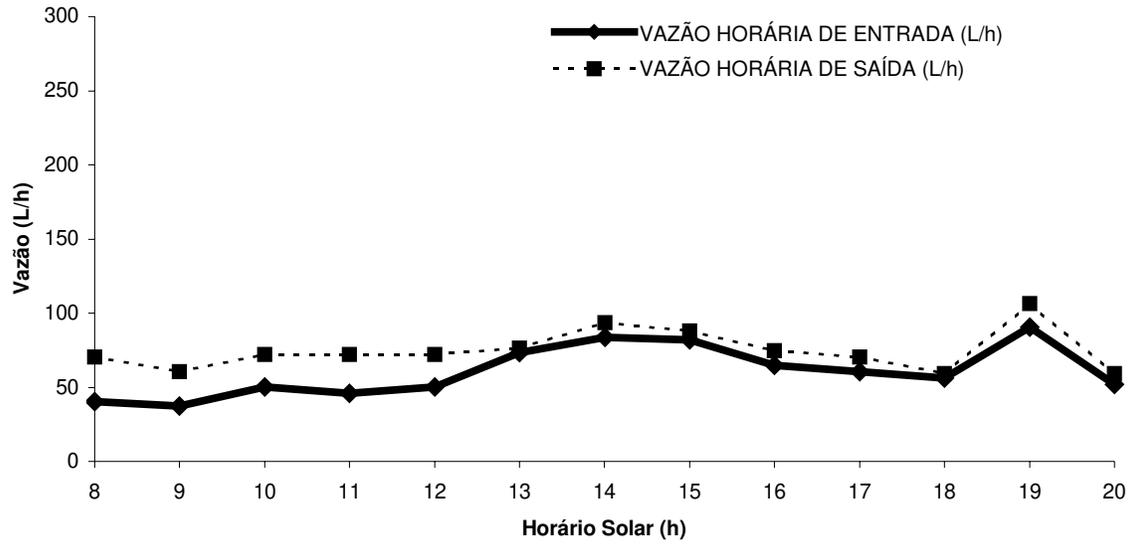


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 19/07/2002

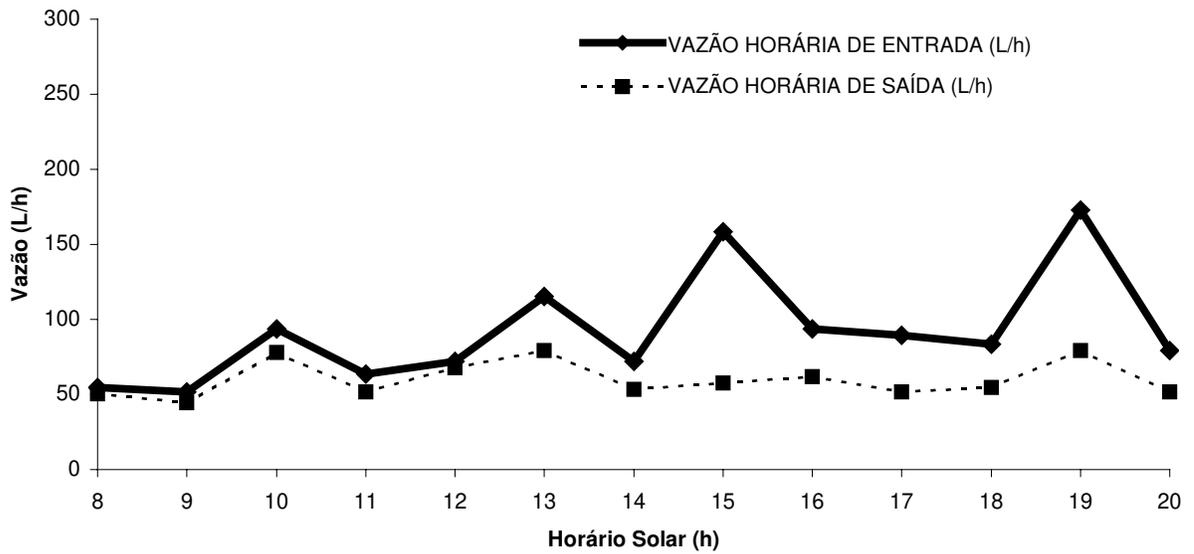


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 30/09/2002

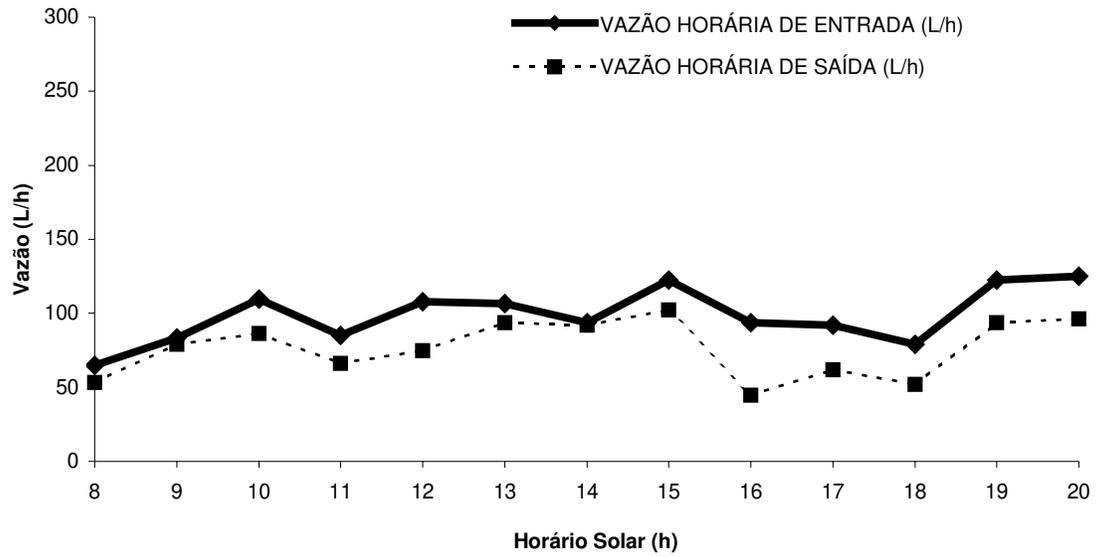


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 30/09/2002

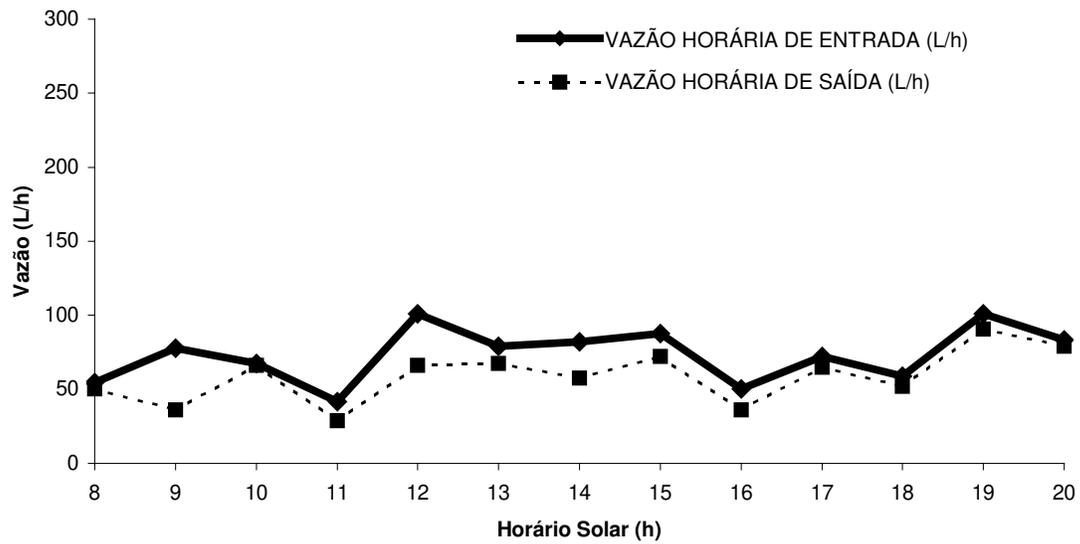


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 01/10/2002

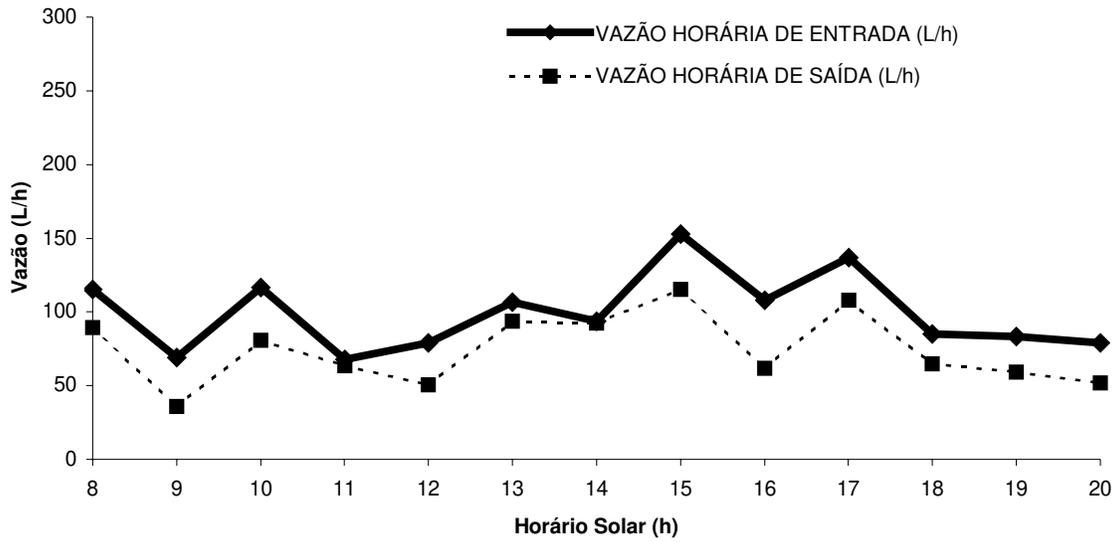


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 01/10/2002

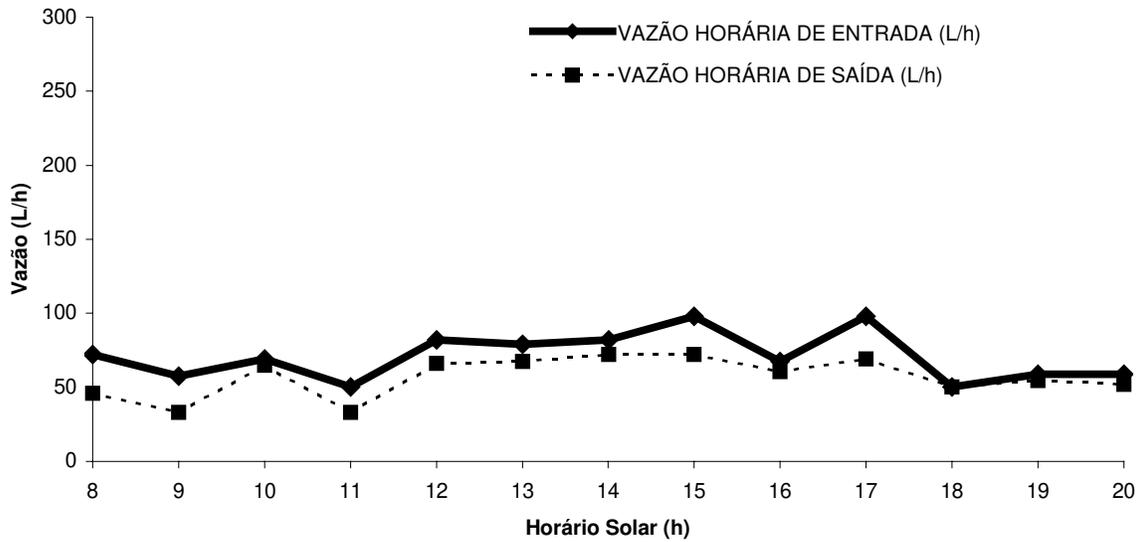


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 02/10/2002

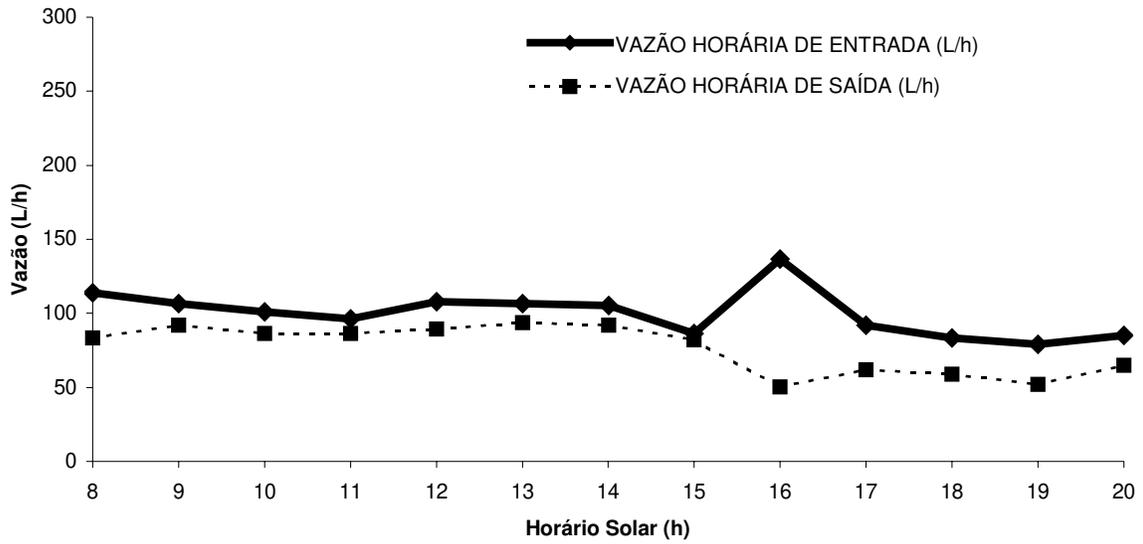


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 02/10/2002

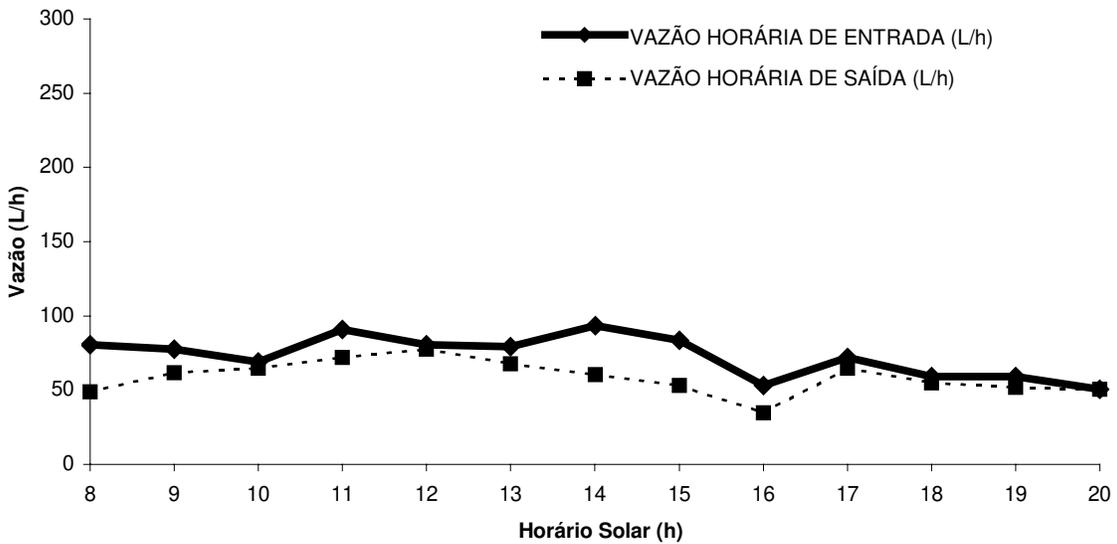


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 03/10/2002

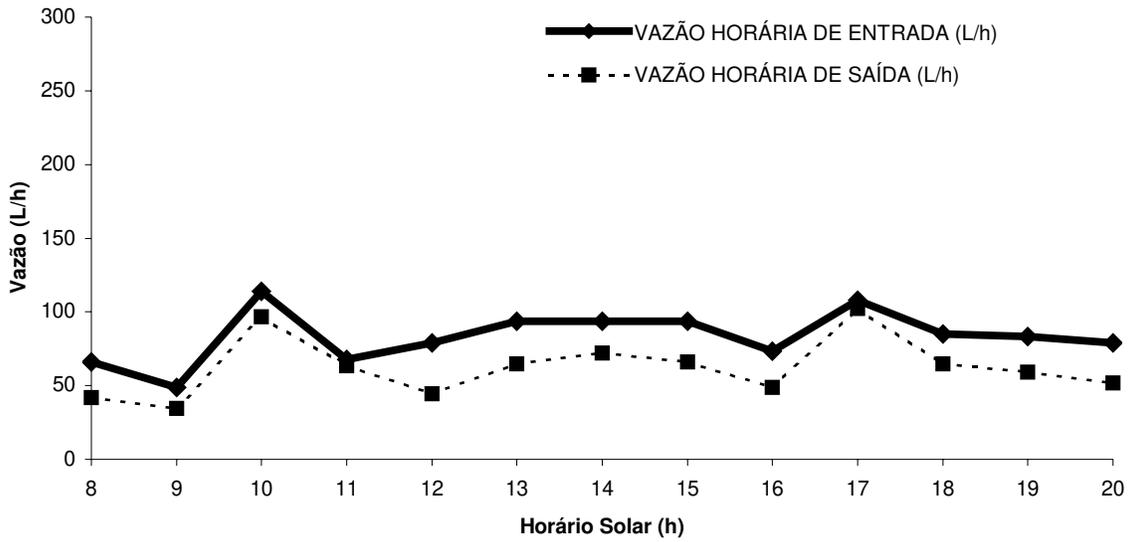


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 03/10/2002

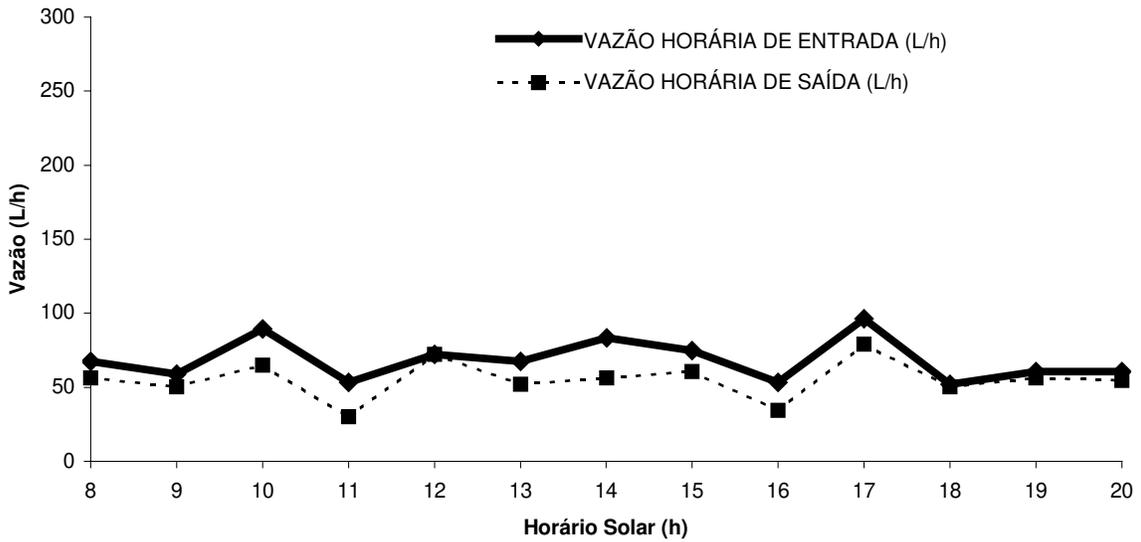


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 1 PARA O DIA 04/10/2002

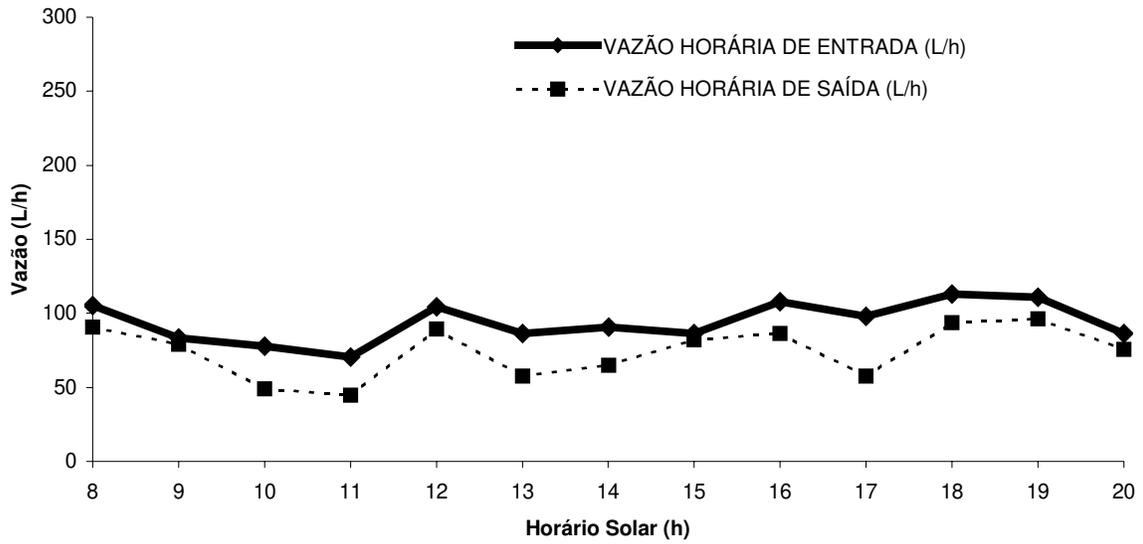
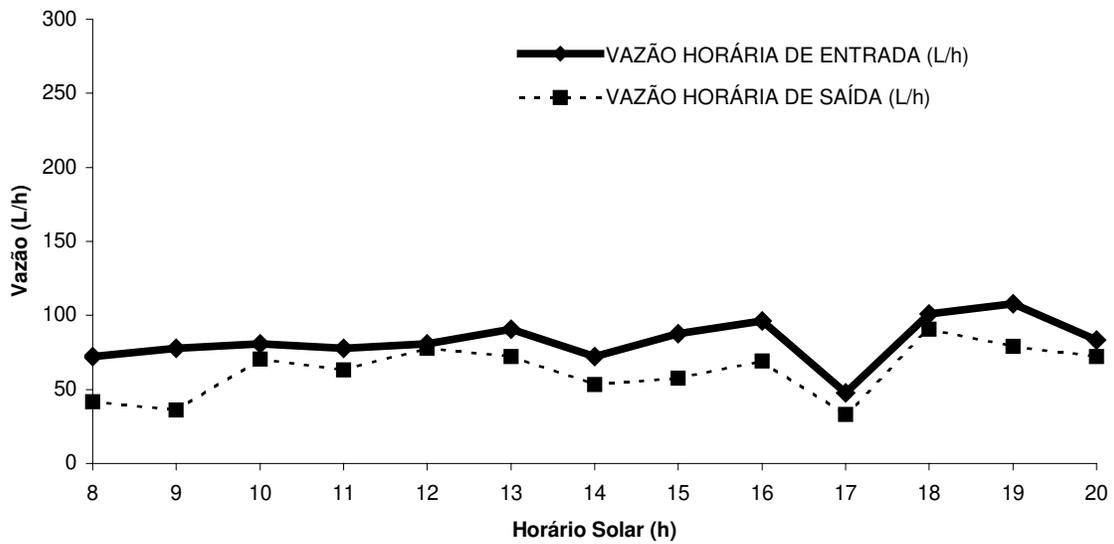
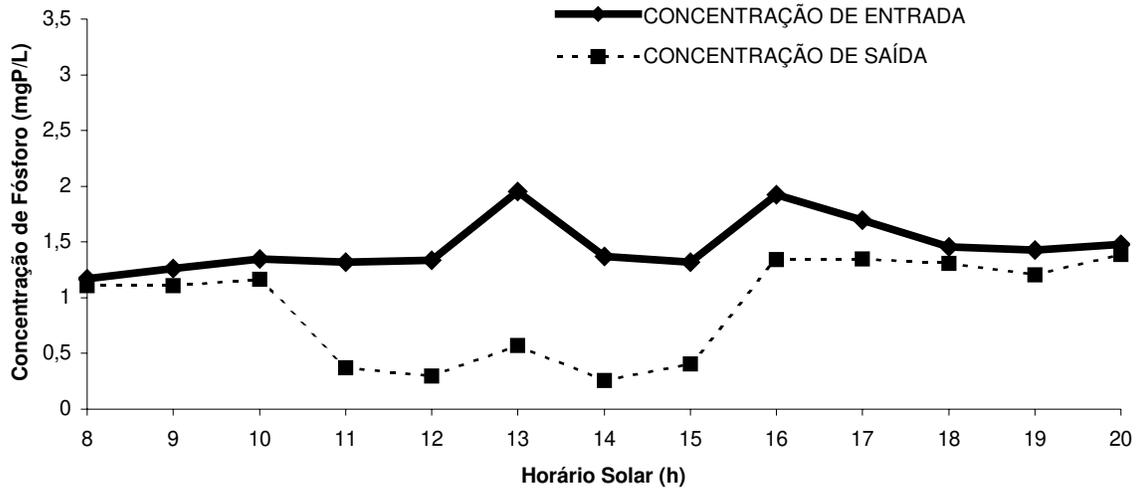


GRÁFICO DA VAZÃO (L/h) NO LEITO 2 PARA O DIA 04/10/2002

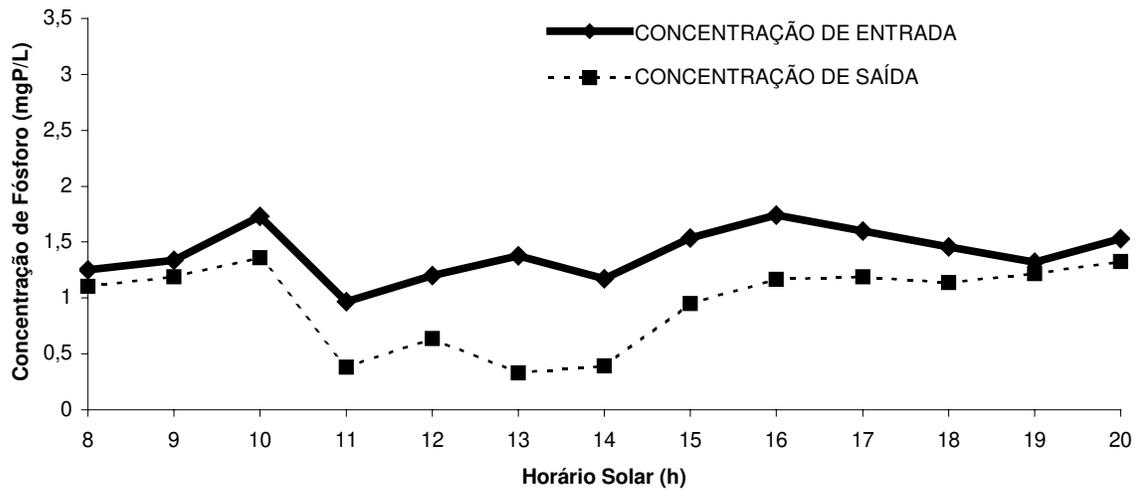


**A3-CONCENTRAÇÕES DE ENTRADA E SAÍDA DE FÓSFORO NOS LEITOS
CULTIVADOS**

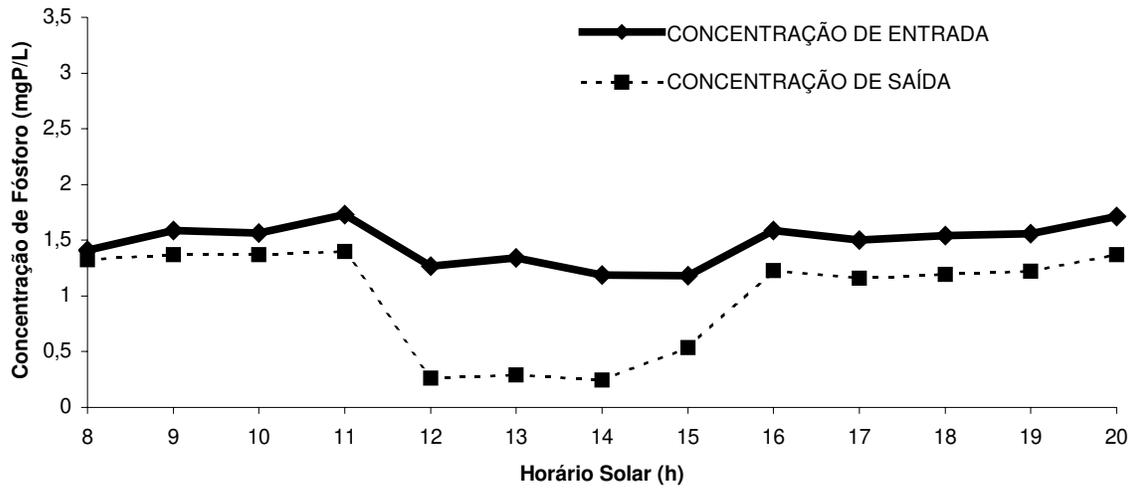
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 13/05/2002



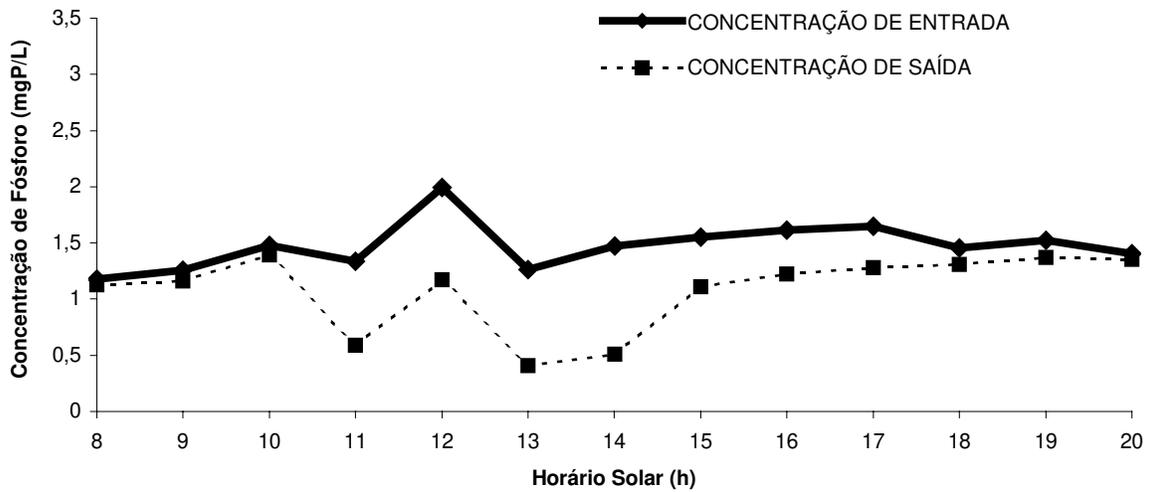
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 13/05/2002



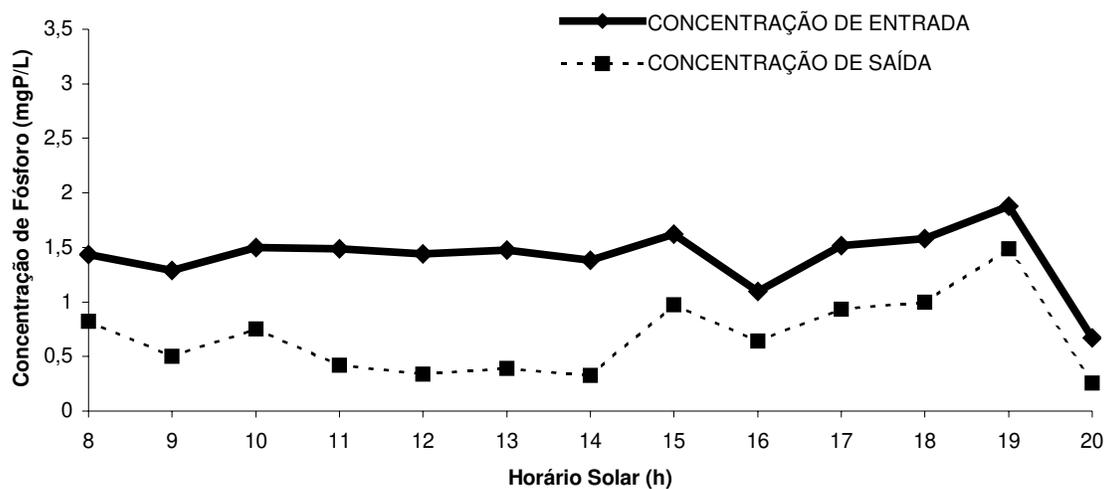
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 14/05/2002



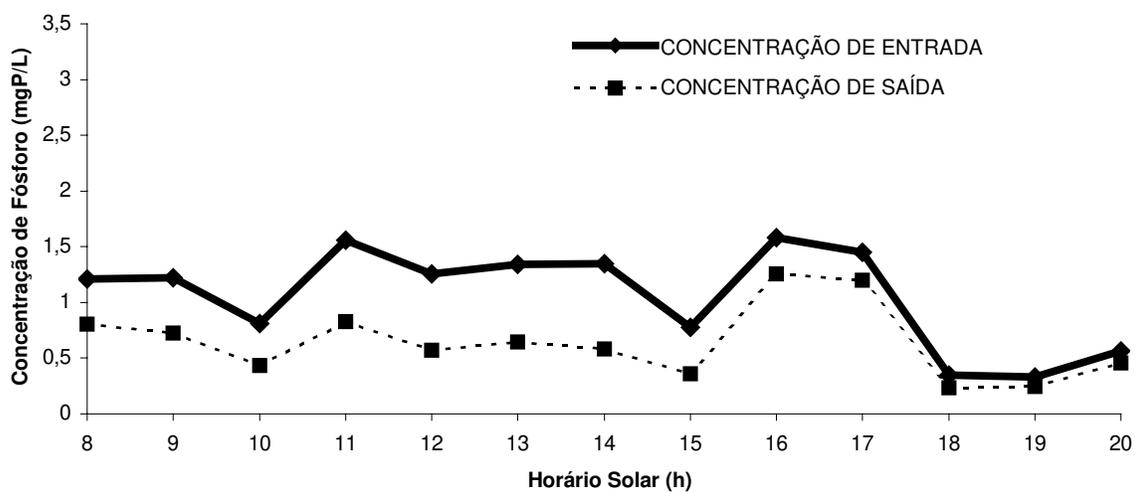
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 14/05/2002



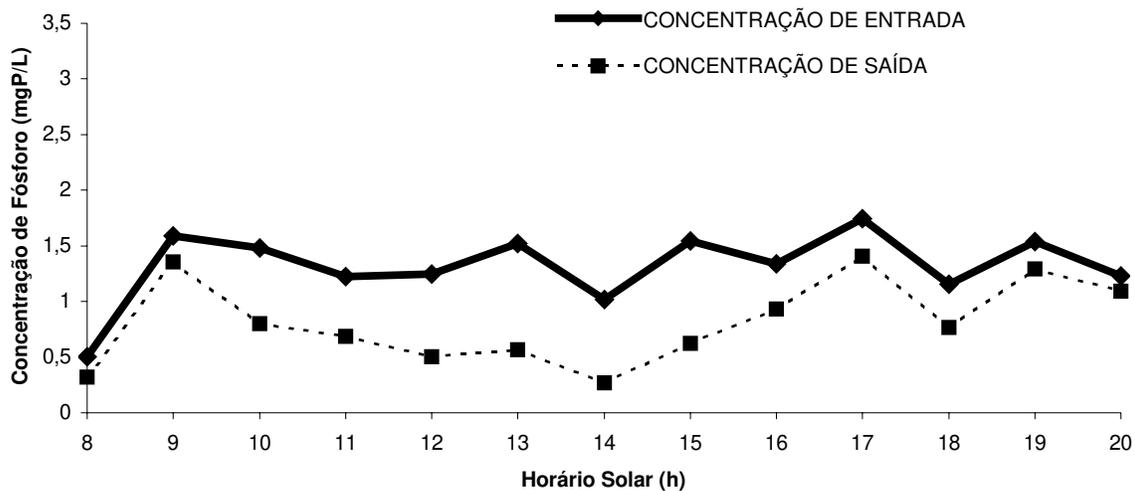
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 15/05/2002



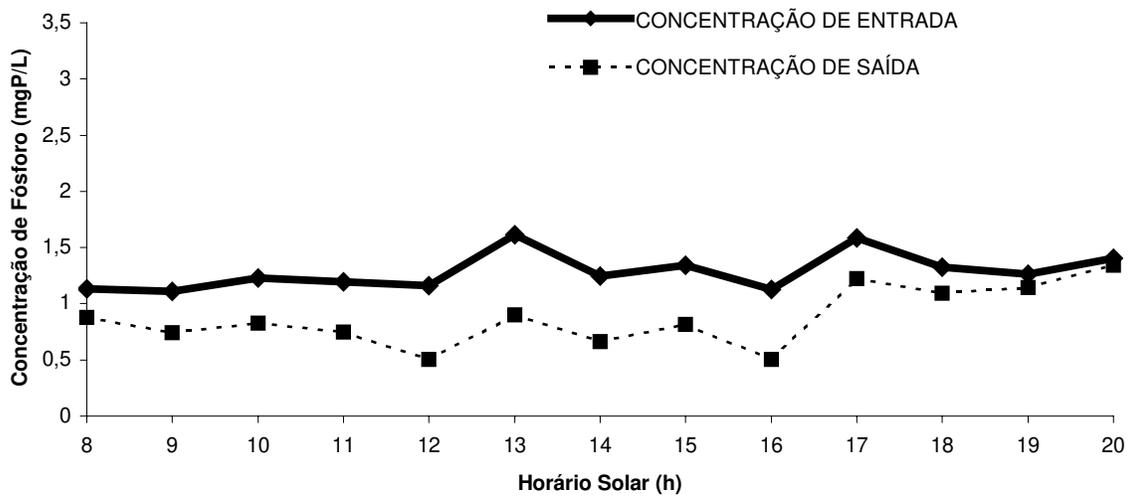
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 15/05/2002



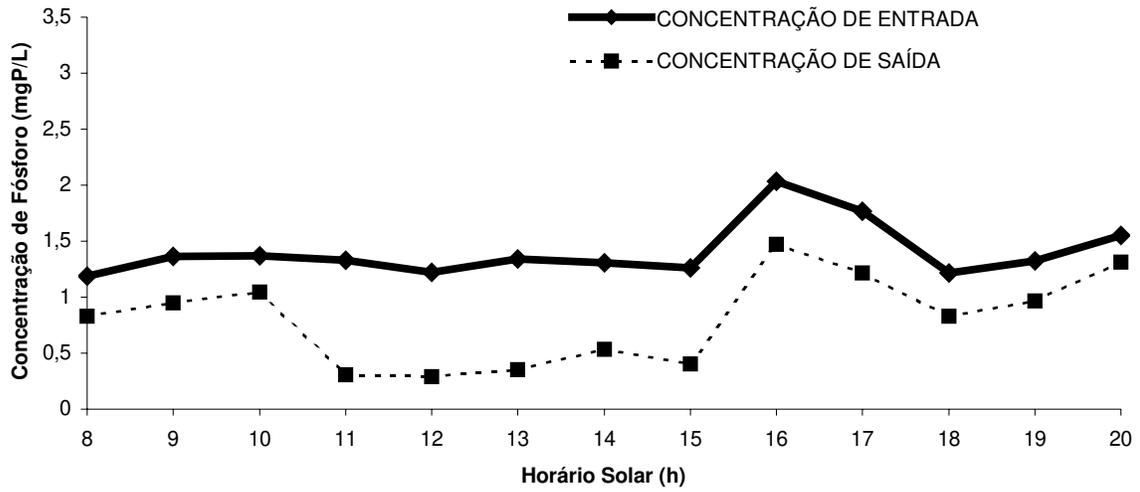
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 16/05/2002



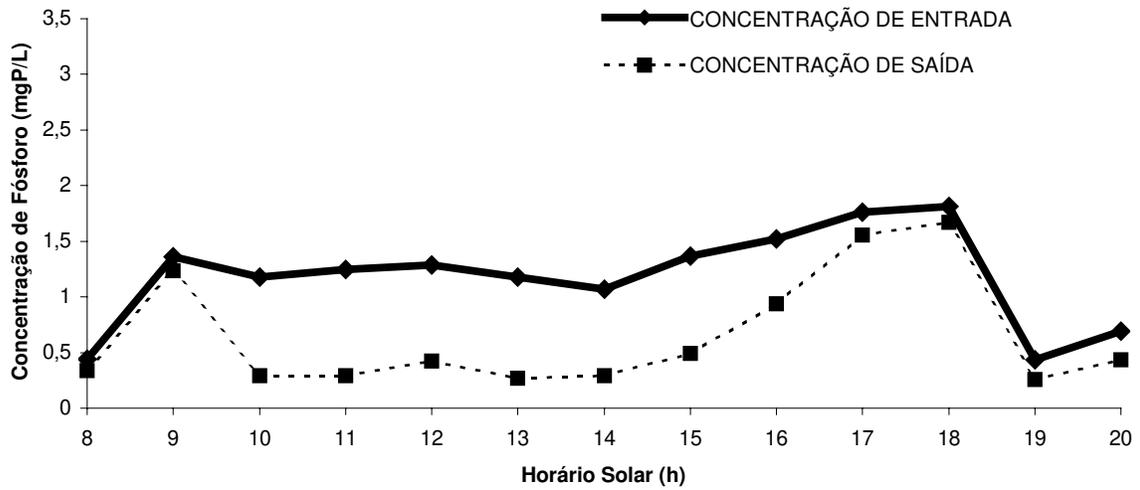
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 16/05/2002



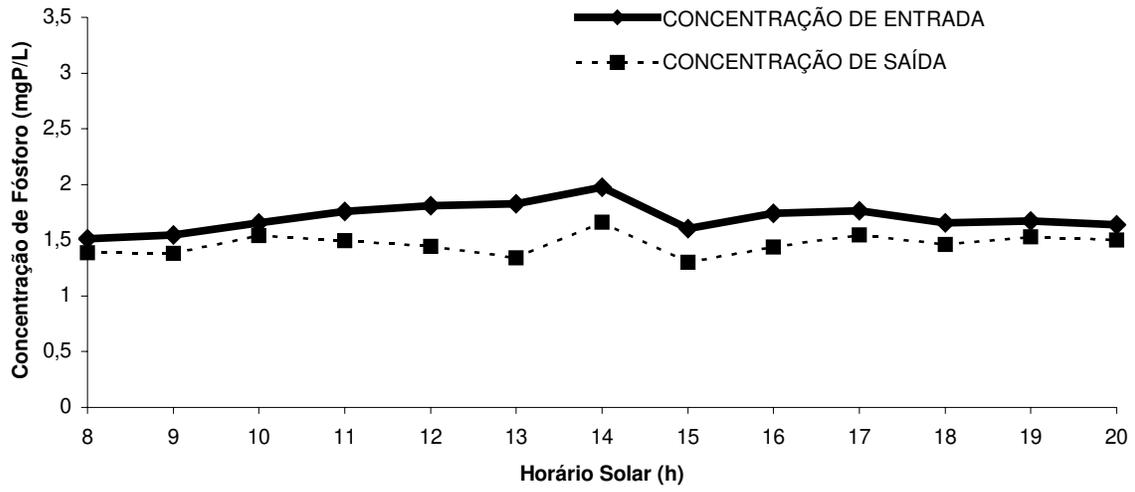
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 17/05/2002



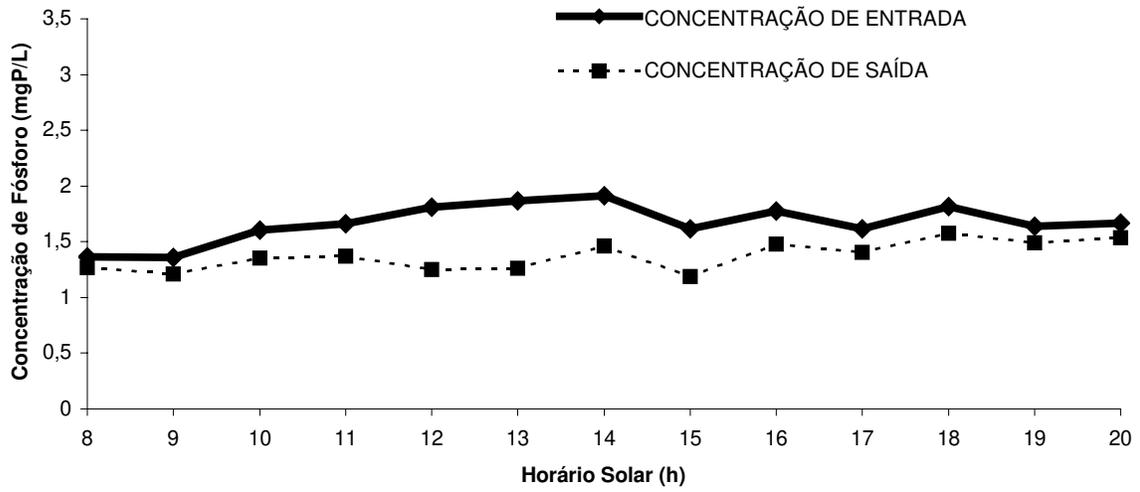
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 17/05/2002



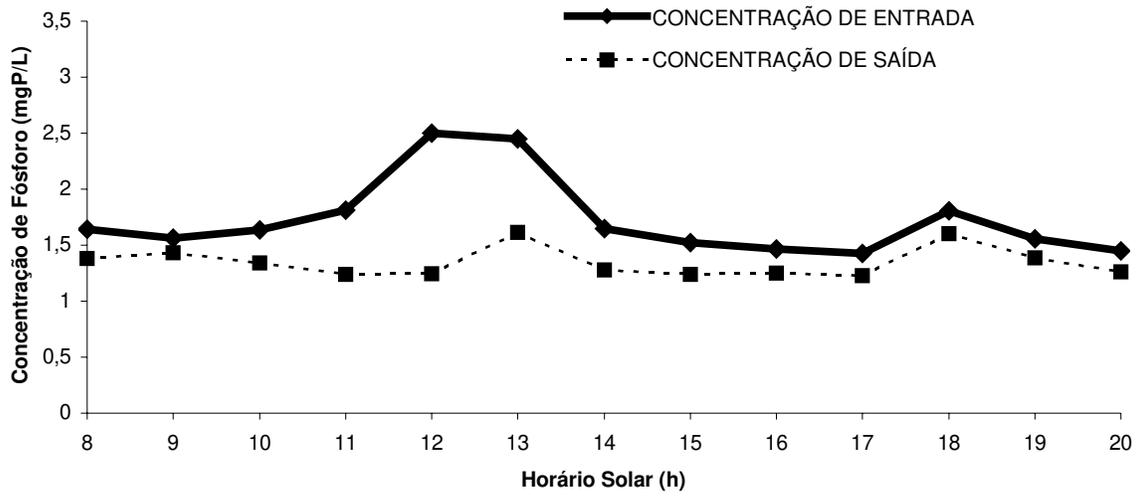
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 15/07/2002



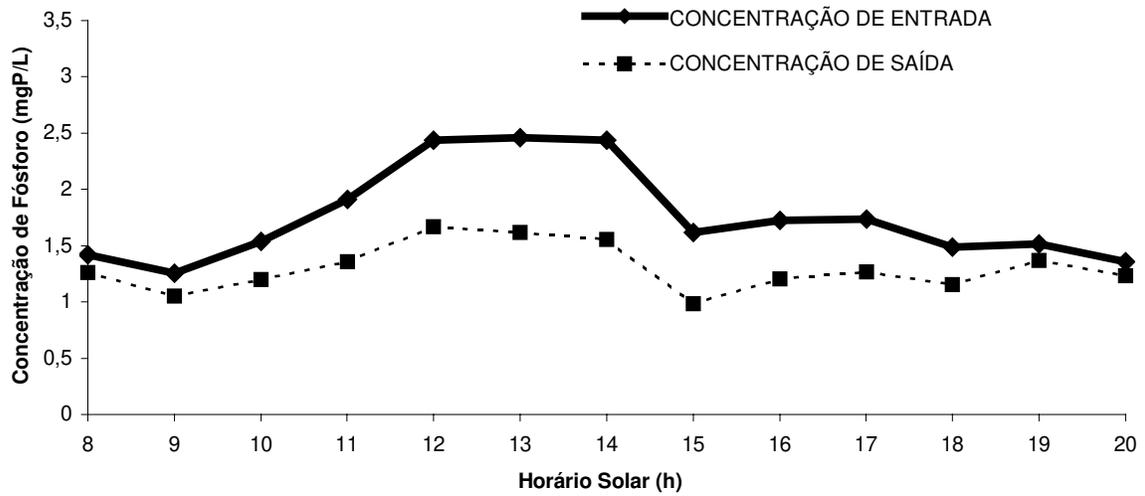
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 15/07/2002



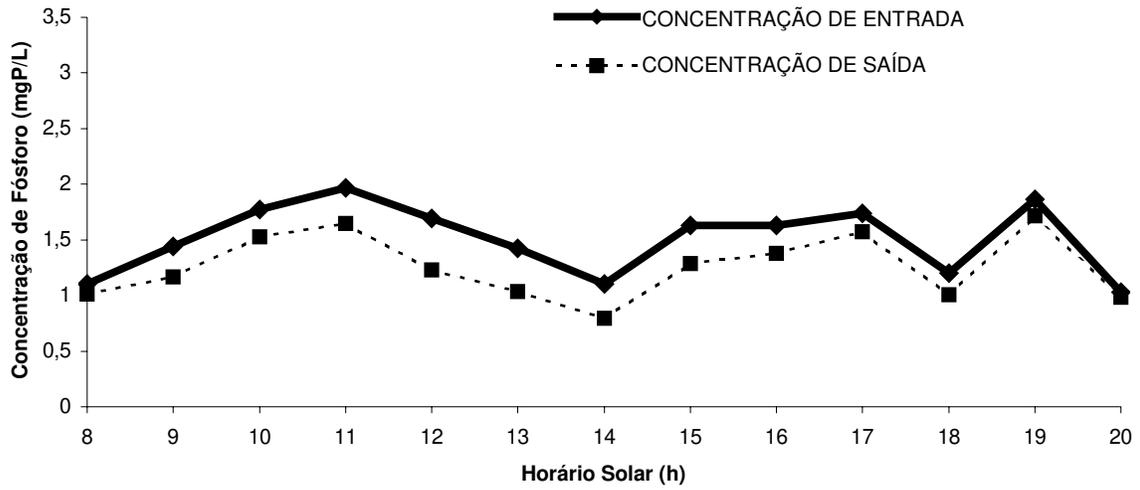
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 16/07/2002



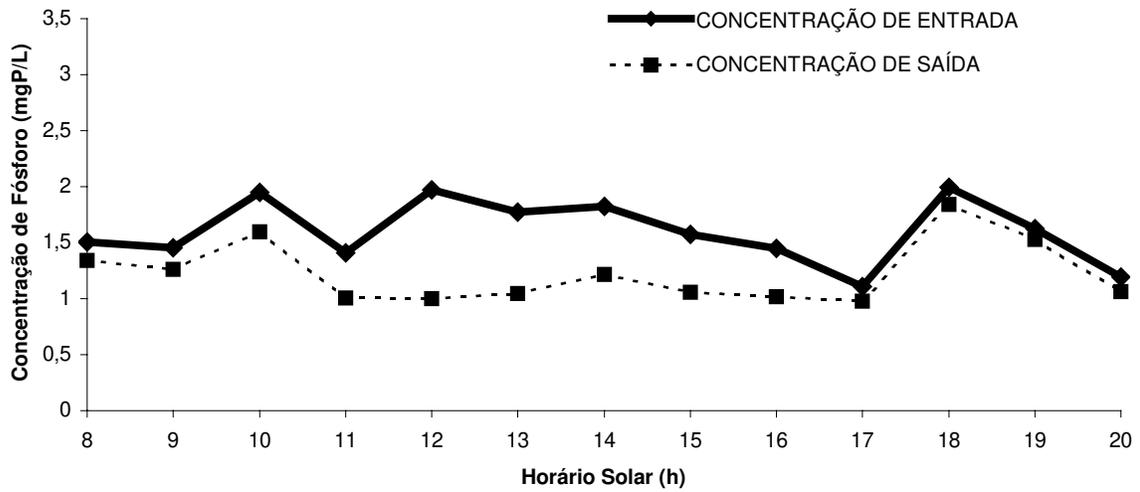
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 16/07/2002



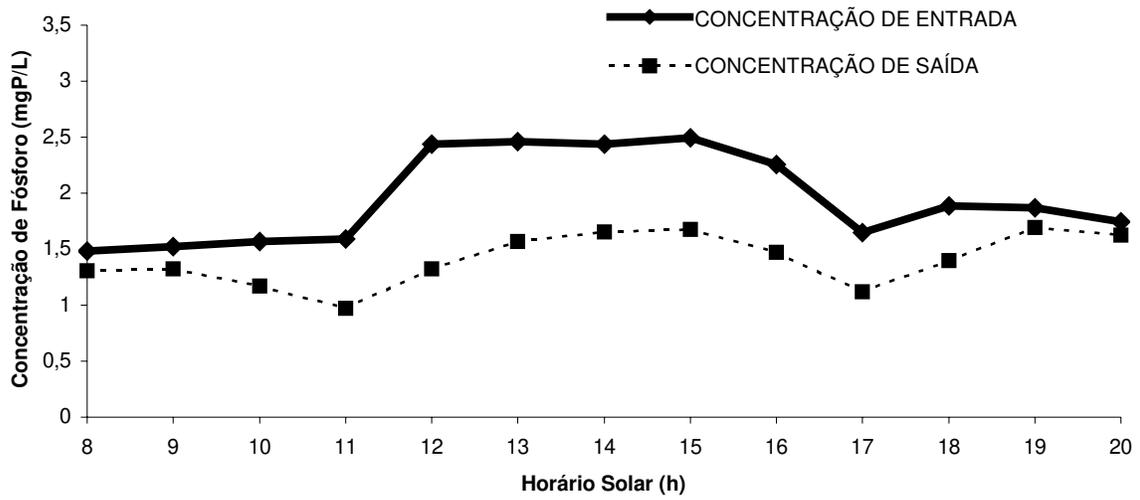
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 17/07/2002



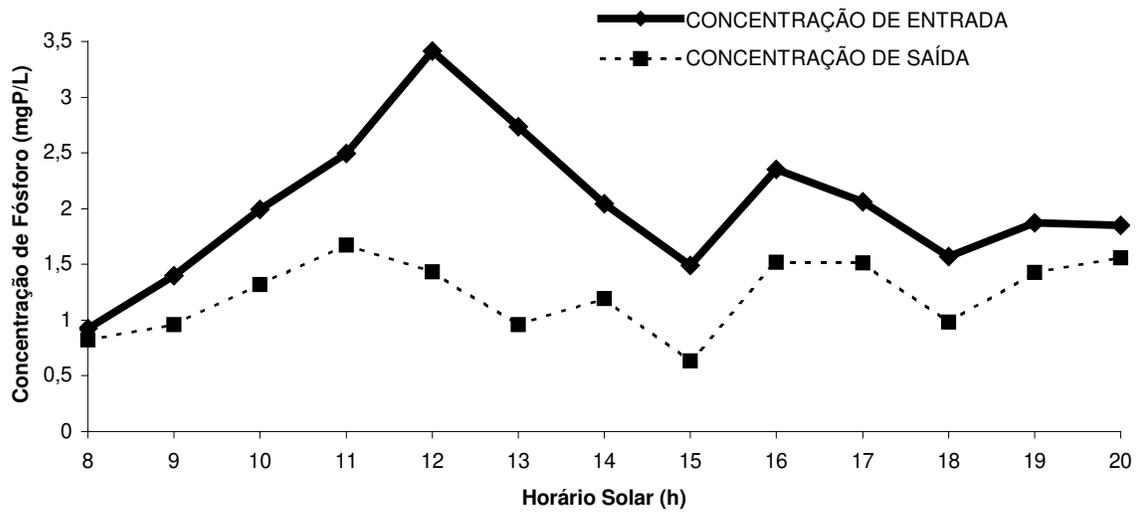
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 17/07/2002



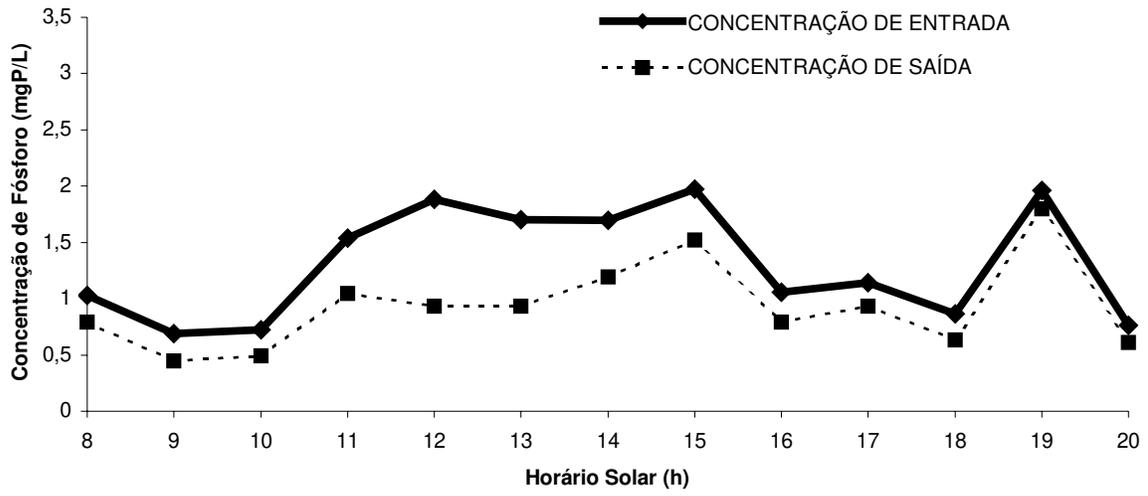
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002



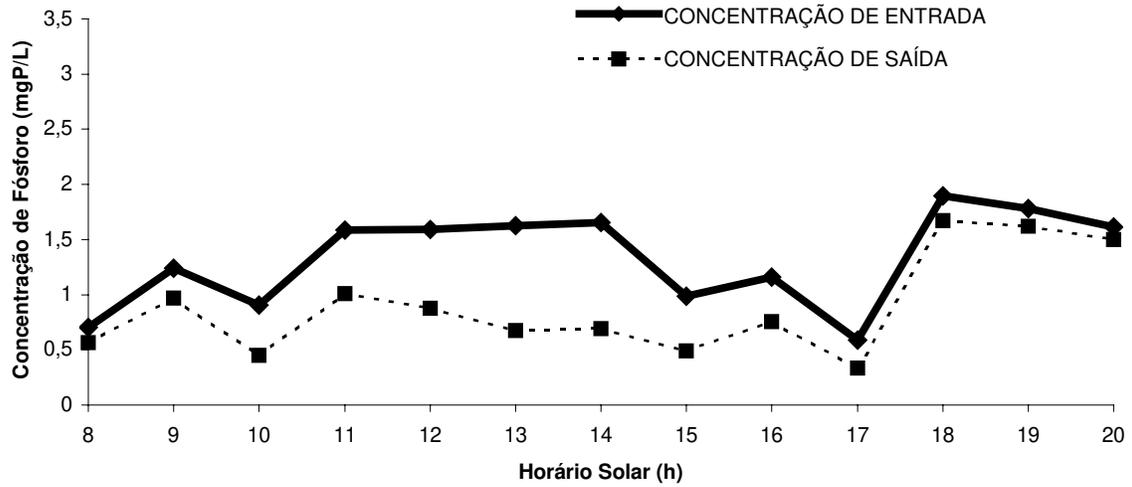
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 18/07/2002



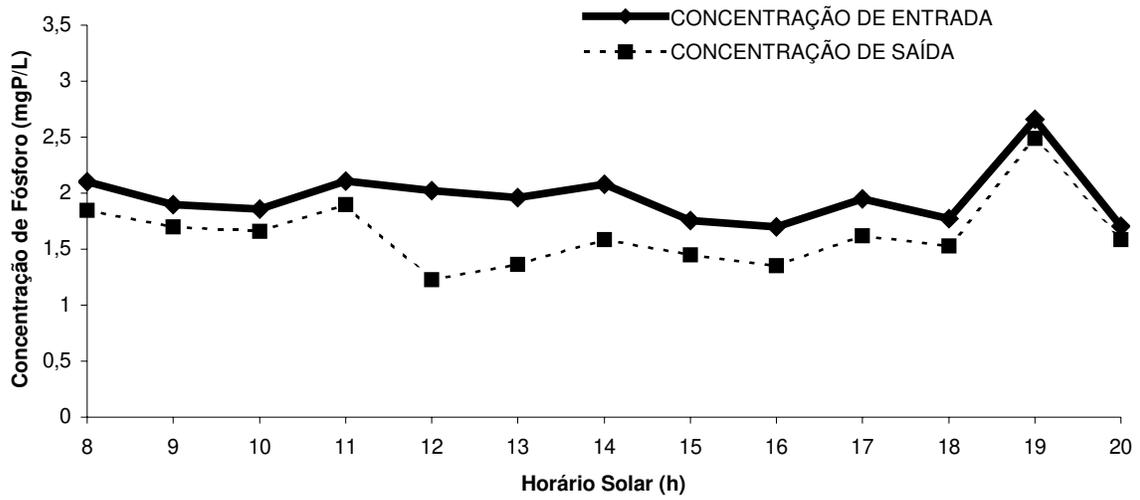
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 19/07/2002



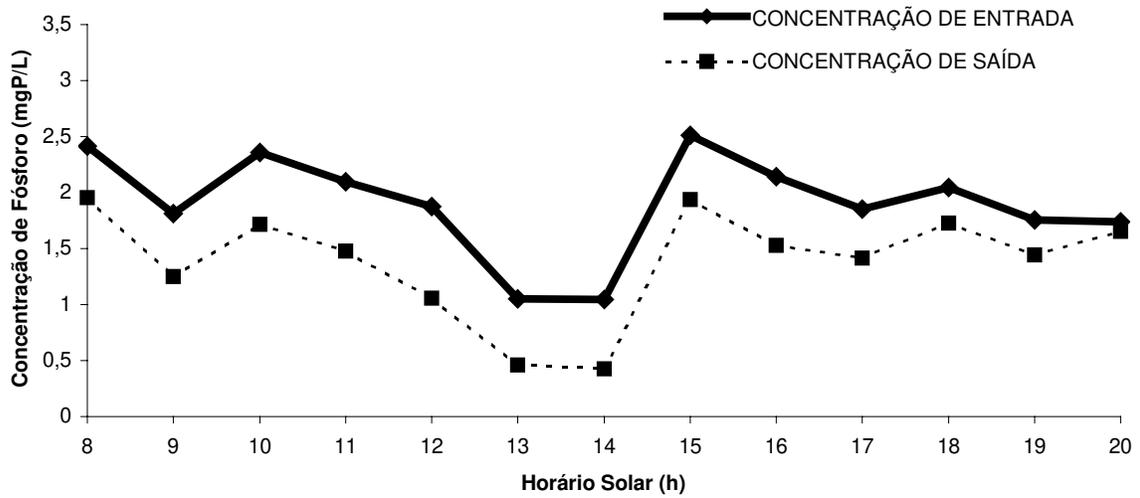
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 19/07/2002



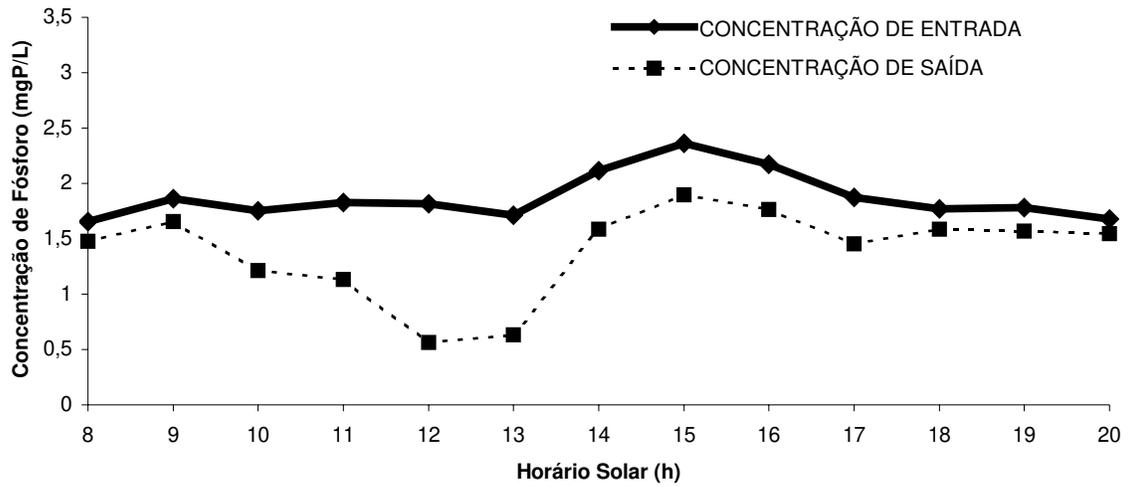
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 30/09/2002



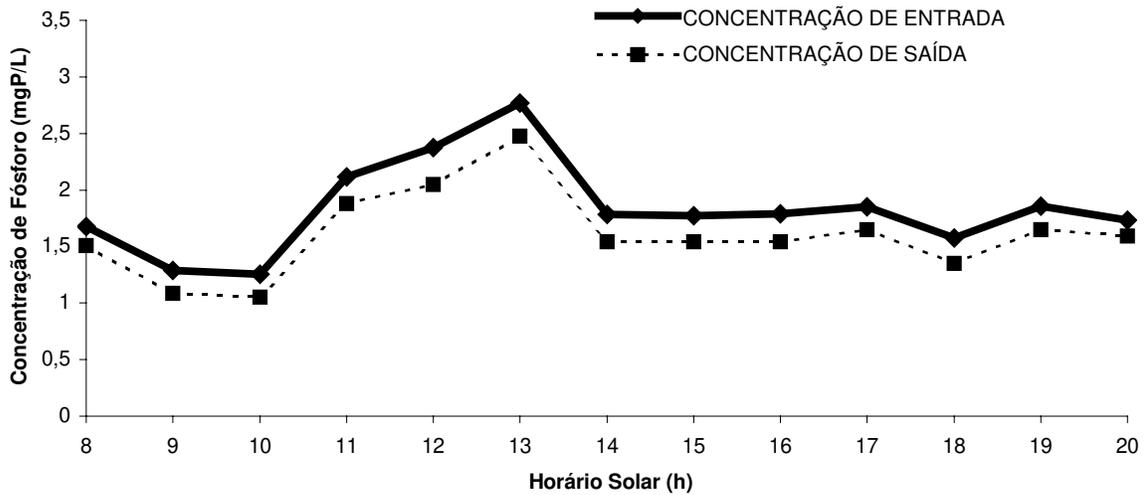
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 30/09/2002



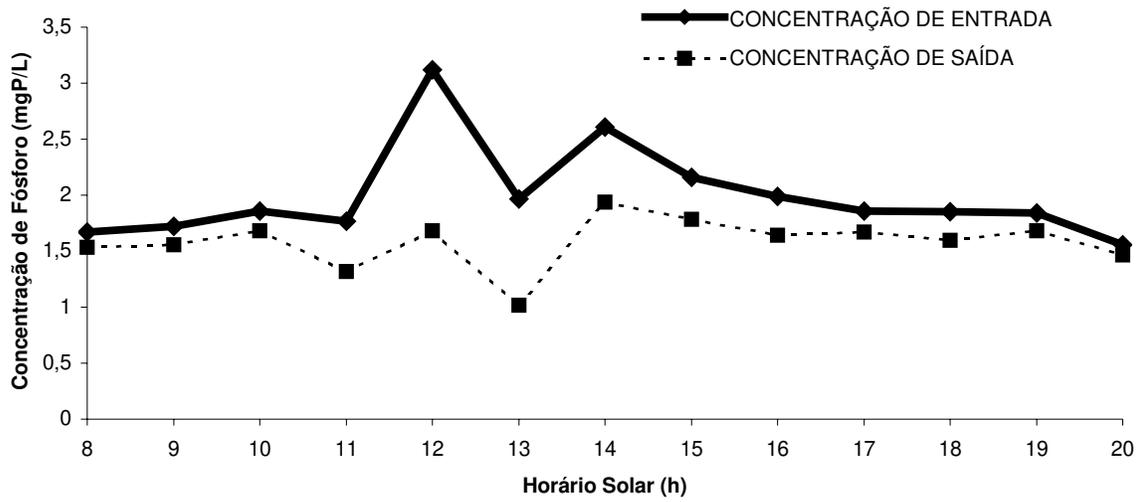
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 01/10/2002



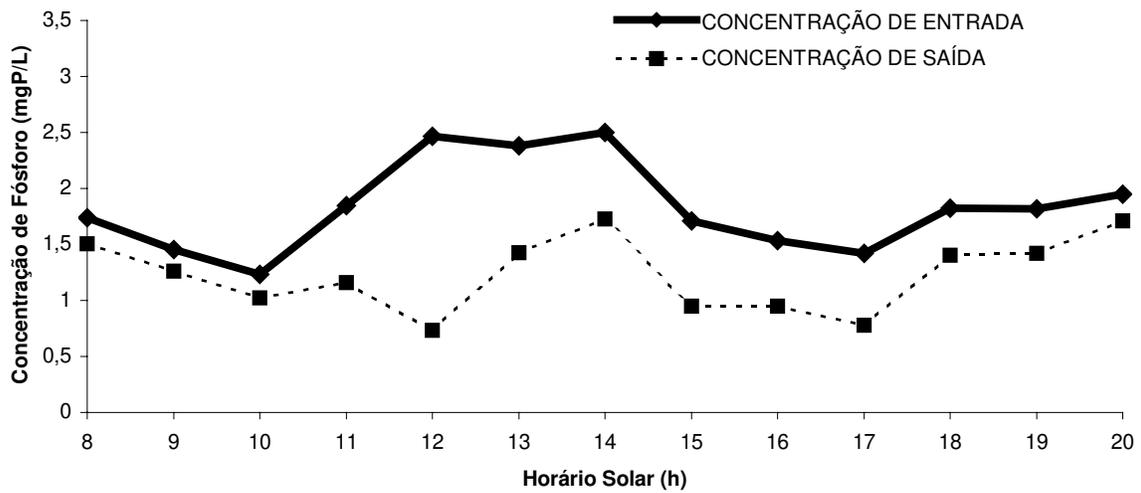
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 01/10/2002



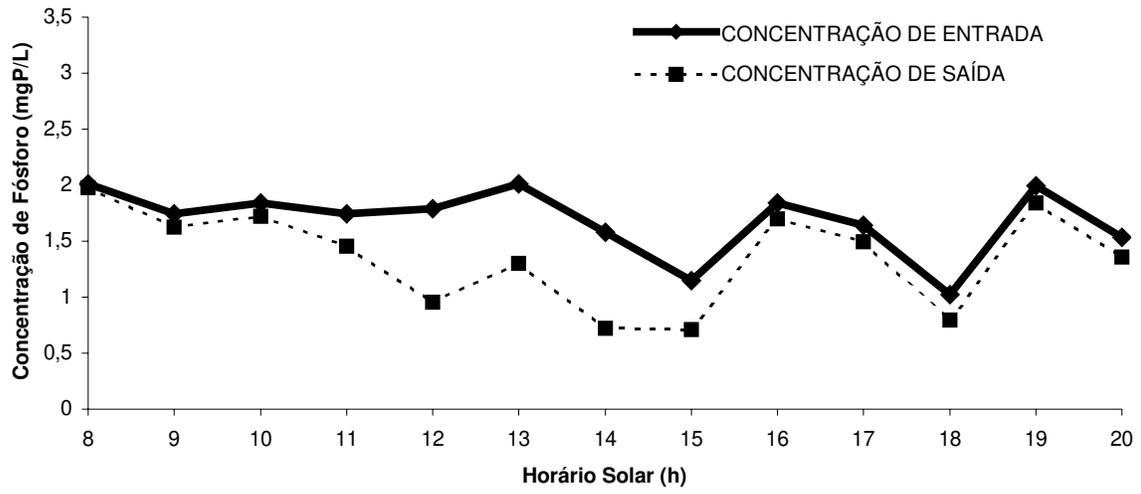
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 02/10/2002



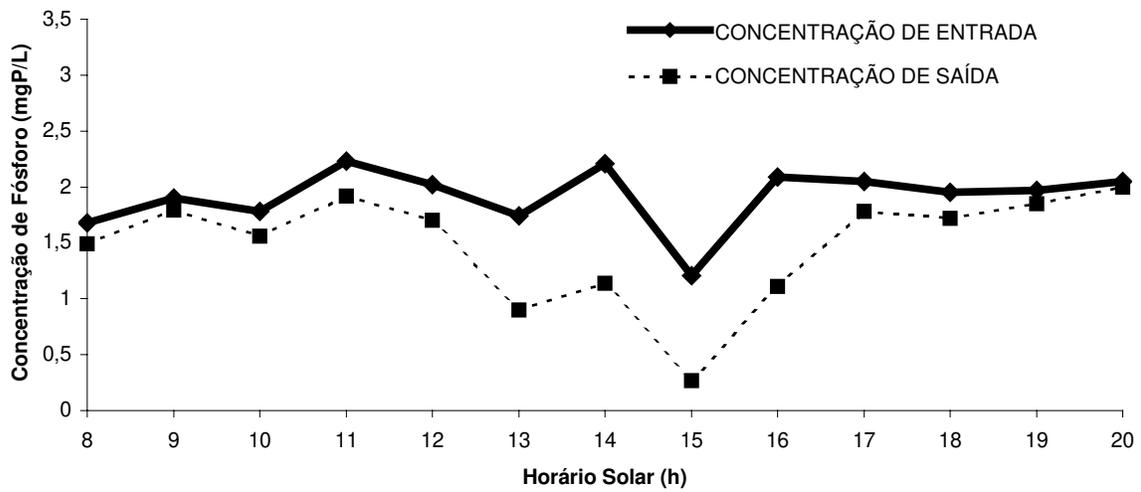
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 02/10/2002



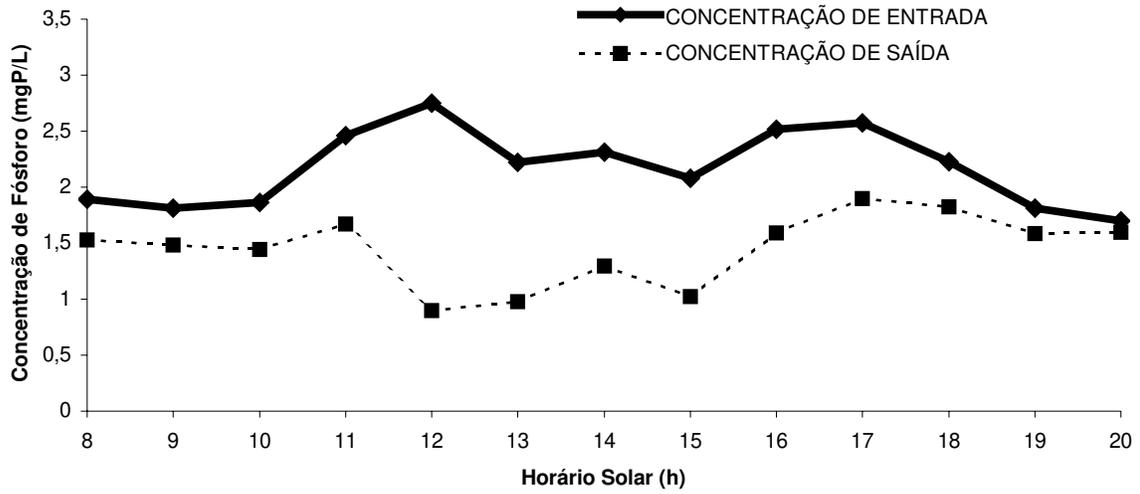
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 03/10/2002



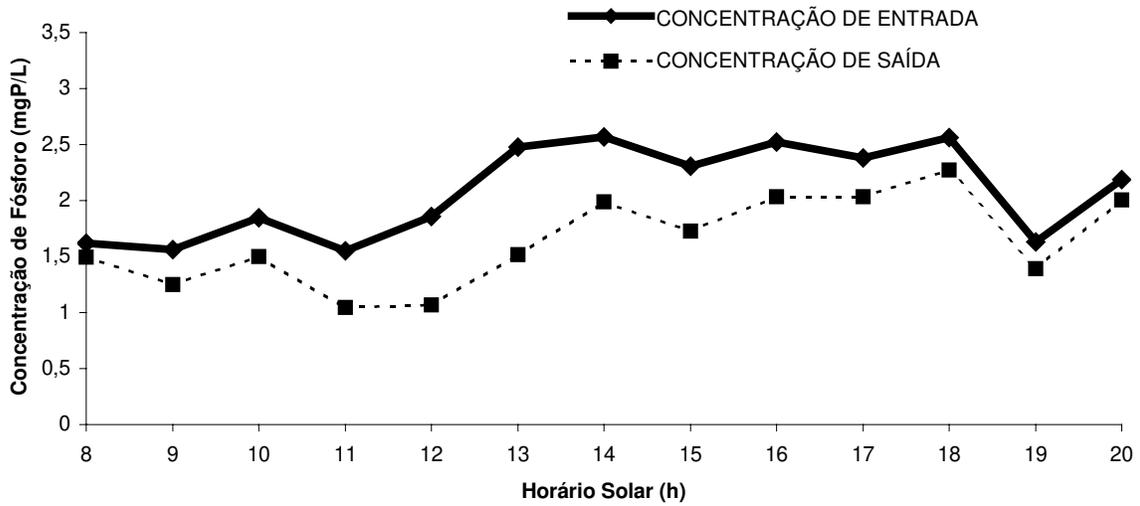
CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 03/10/2002



CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 1 PARA O DIA 04/10/2002

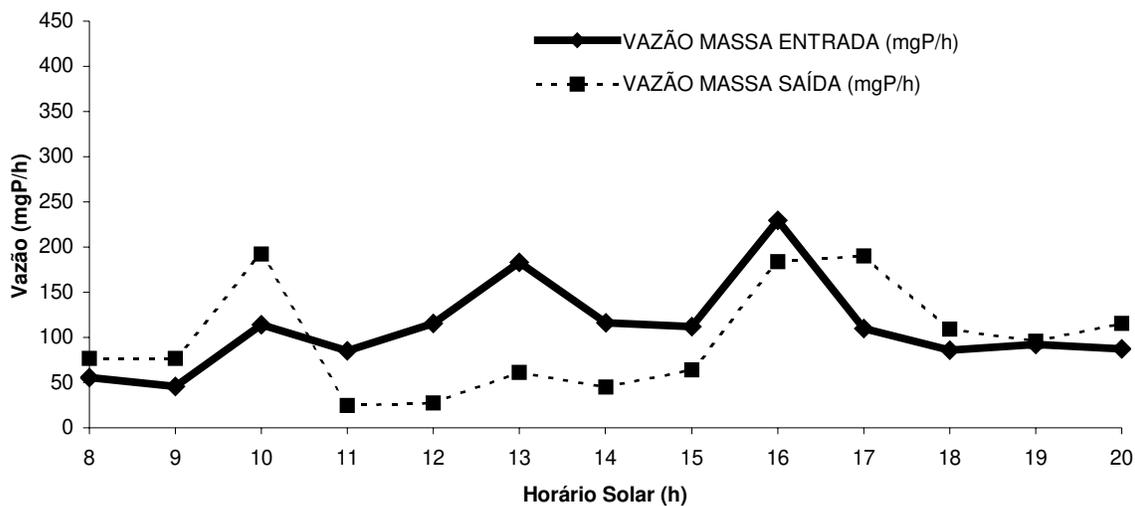


CONCENTRAÇÕES DE FOSFORO NO LEITO 2 PARA O DIA 04/10/2002

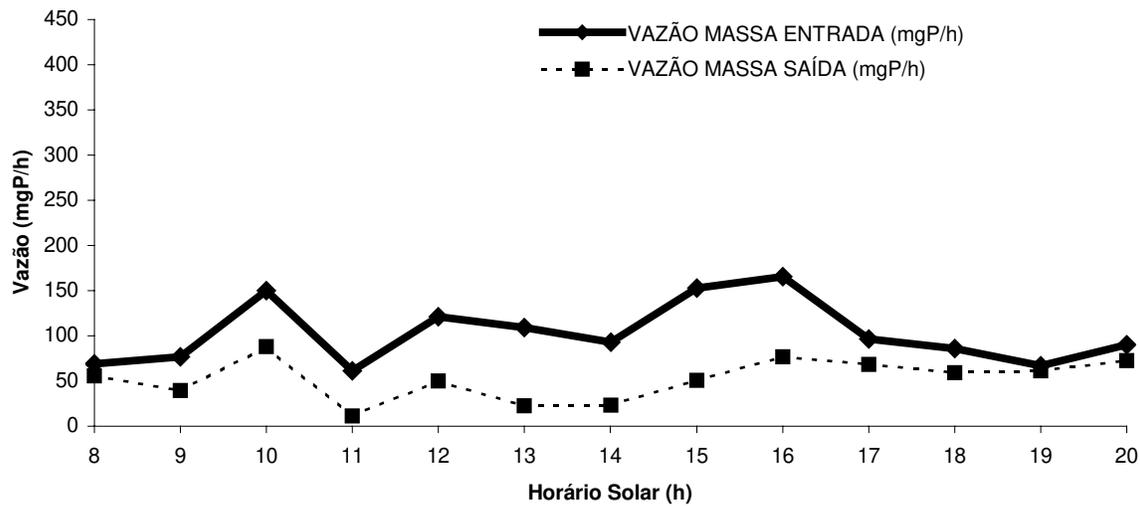


A4-VAZÃO MASSA DE FÓSFORO NOS LEITOS CULTIVADOS

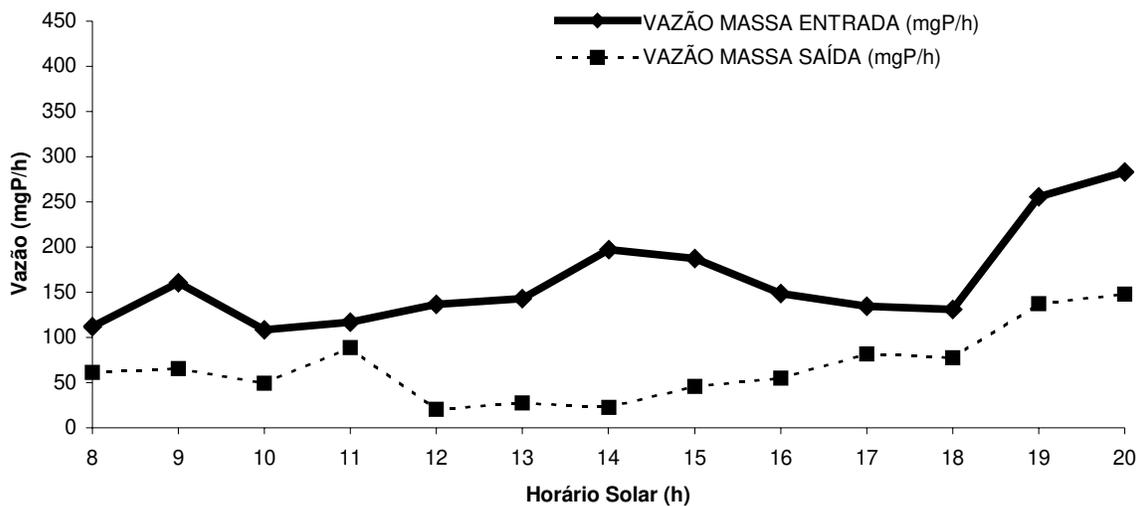
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 13/05/2002



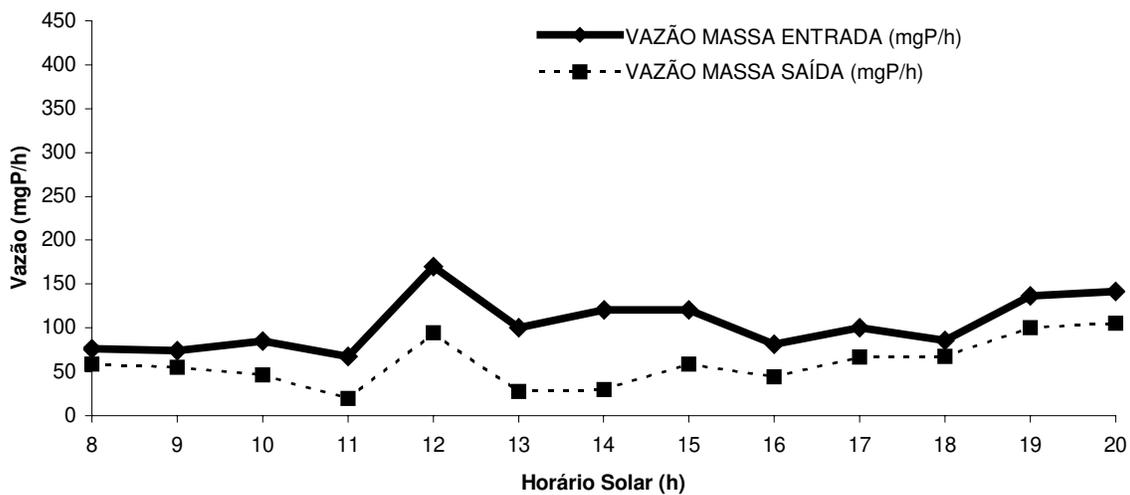
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 13/05/2002



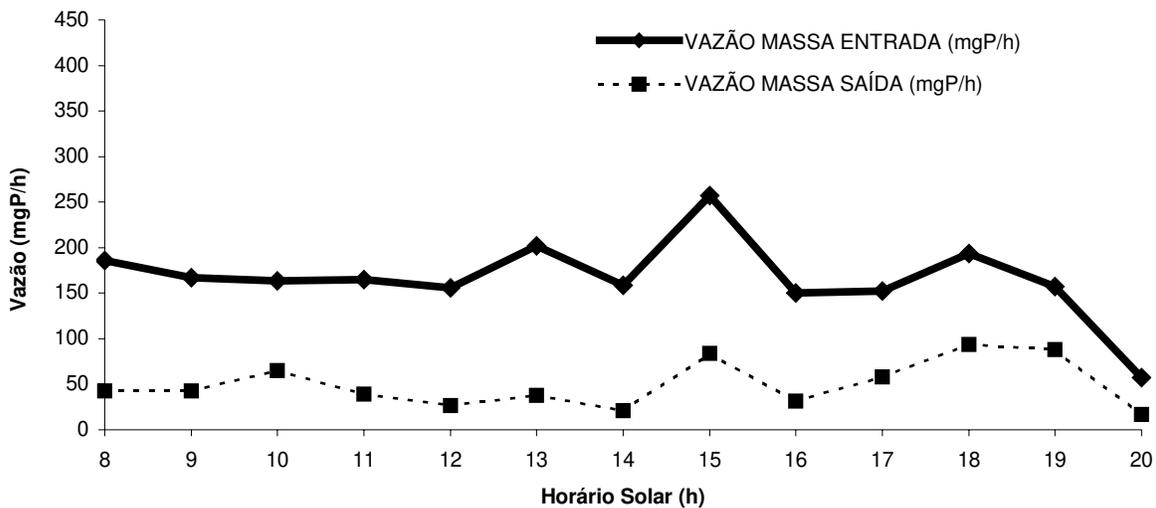
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 14/05/2002



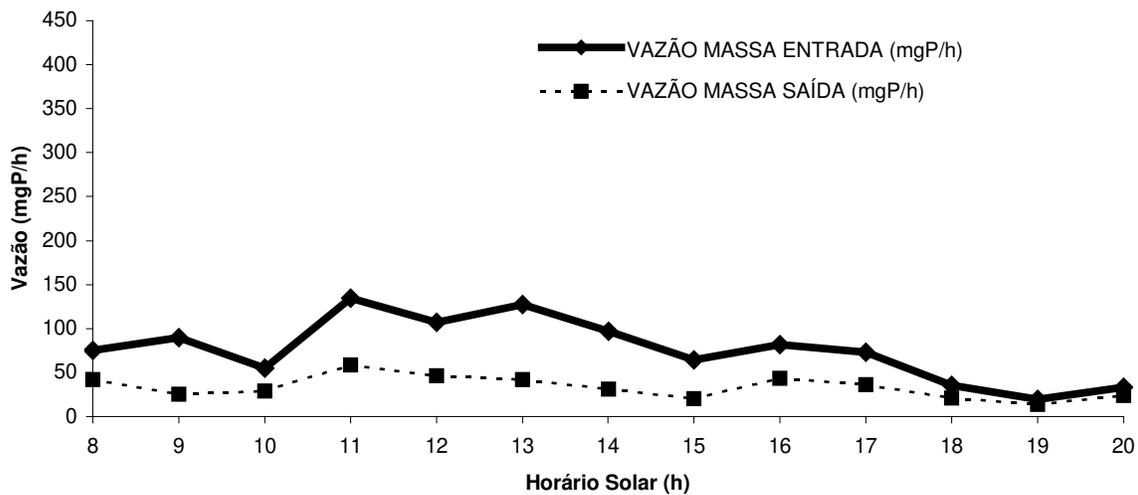
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 14/05/2002



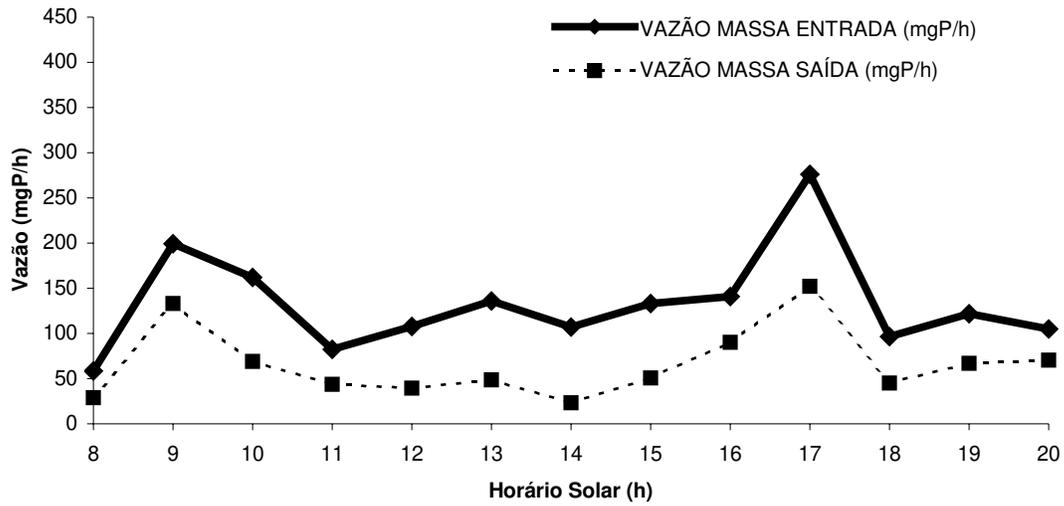
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 15/05/2002



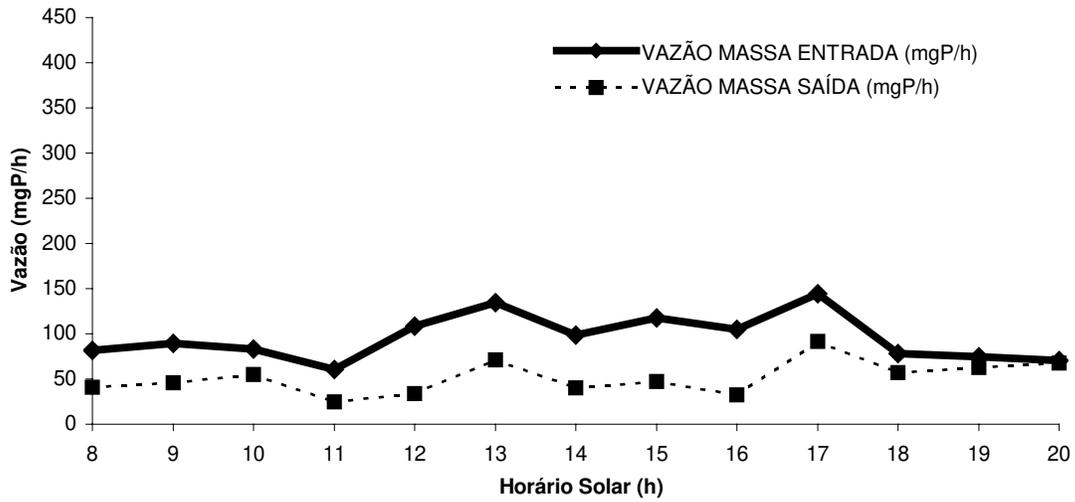
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 15/05/2002



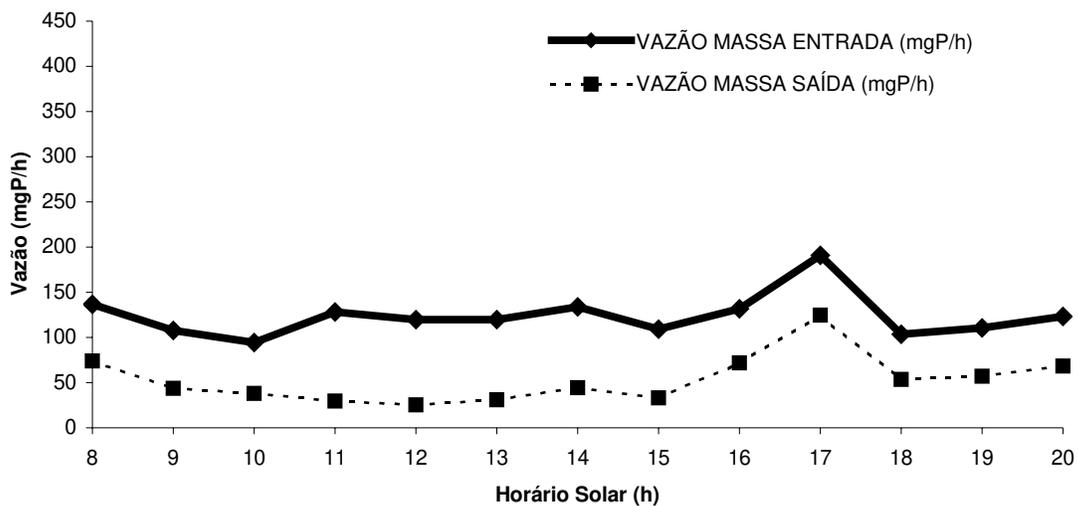
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 16/05/2002



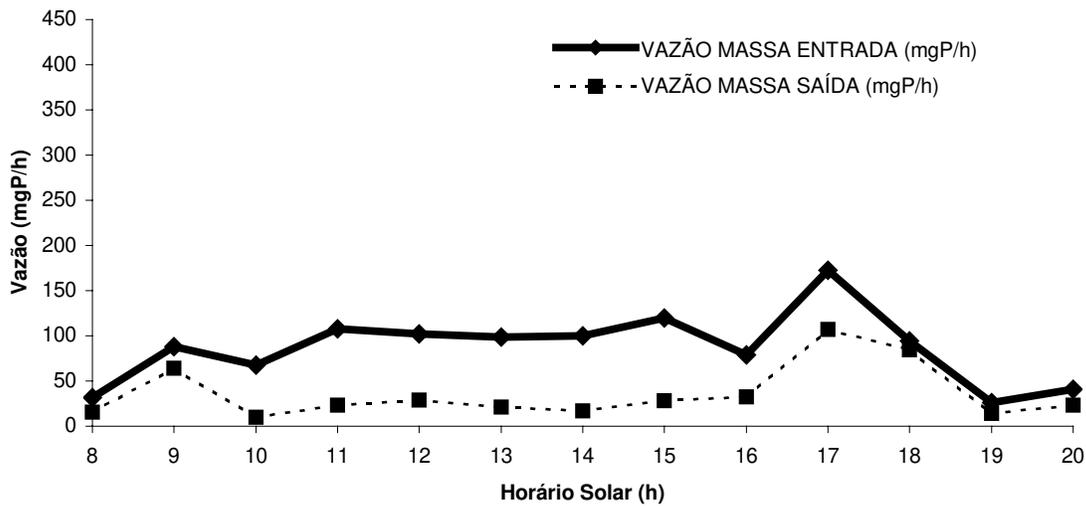
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 16/05/2002



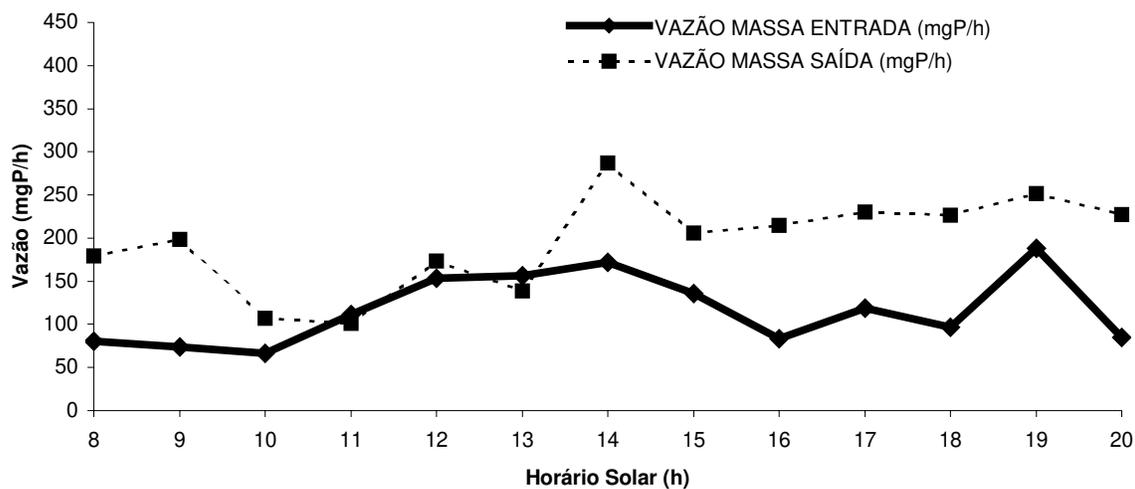
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 17/05/2002



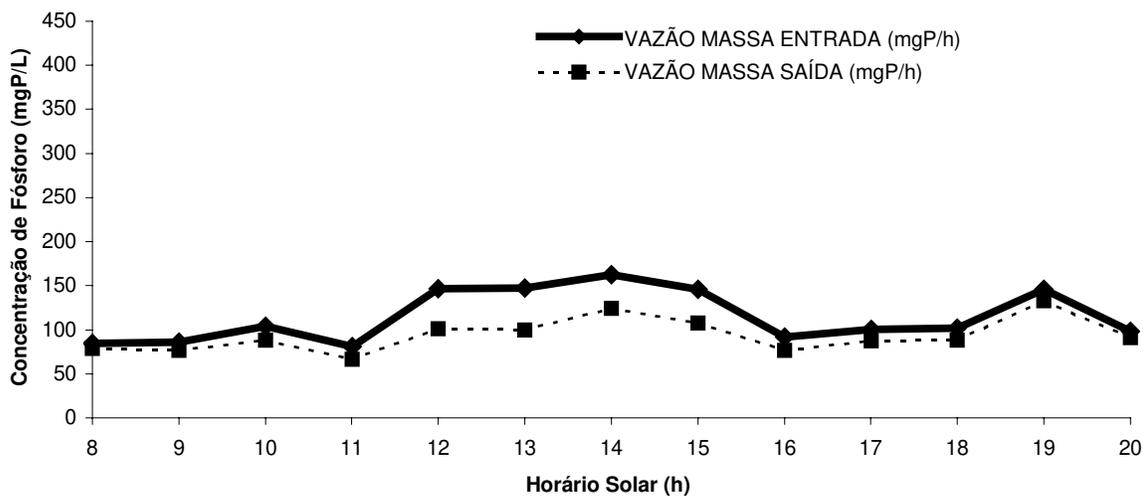
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 17/05/2002



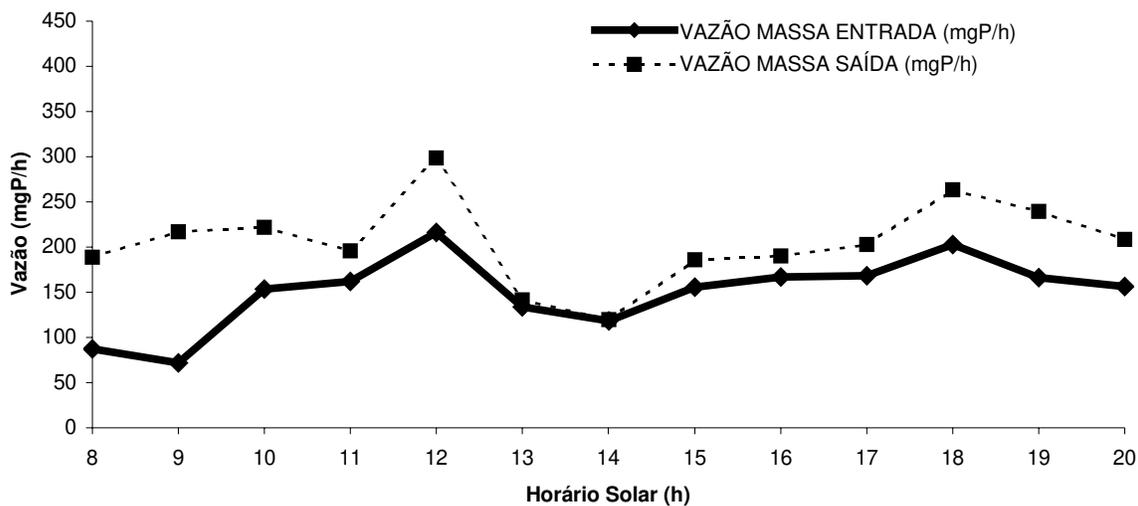
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 15/07/2002



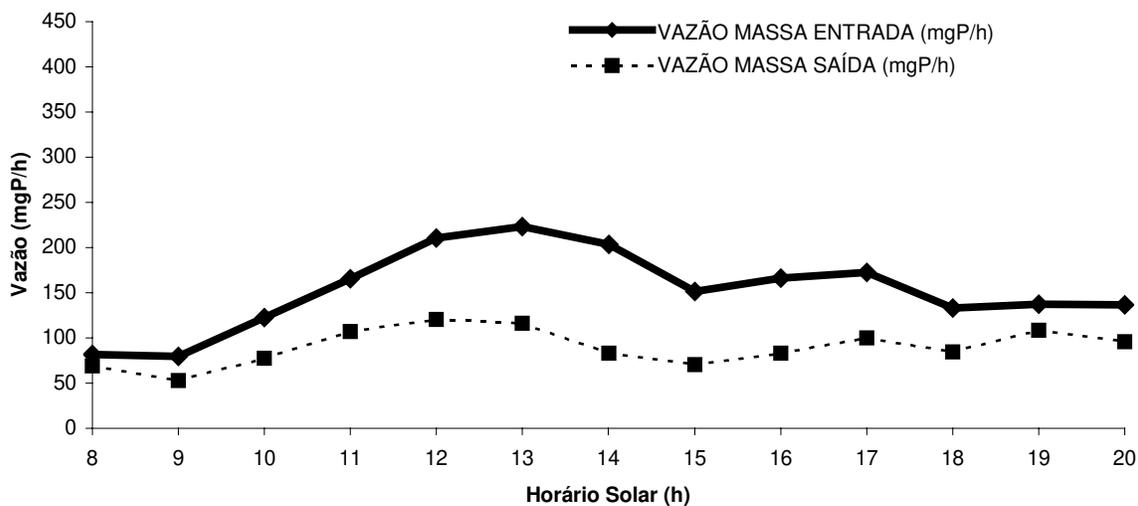
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 15/07/2002



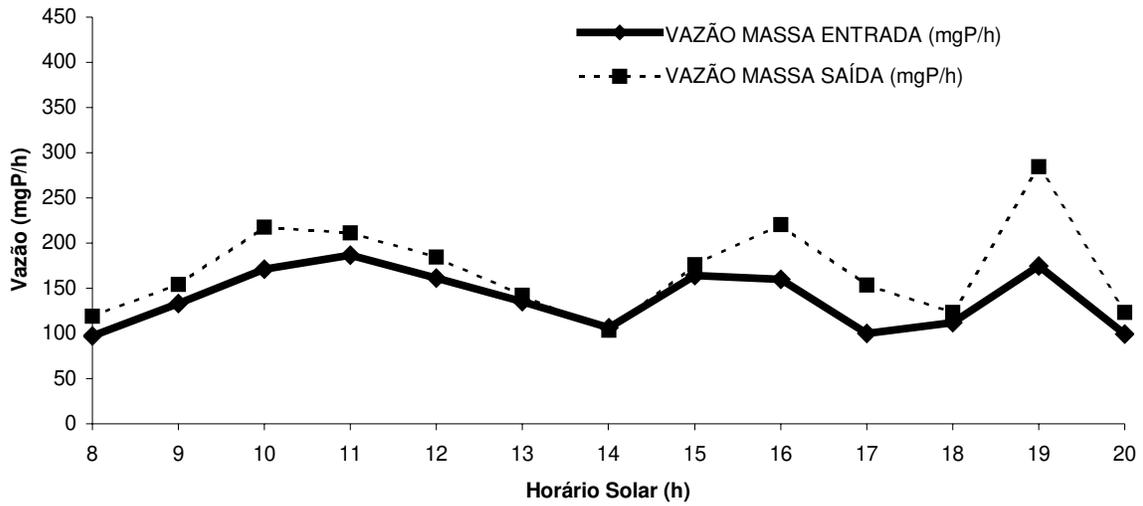
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 16/07/2002



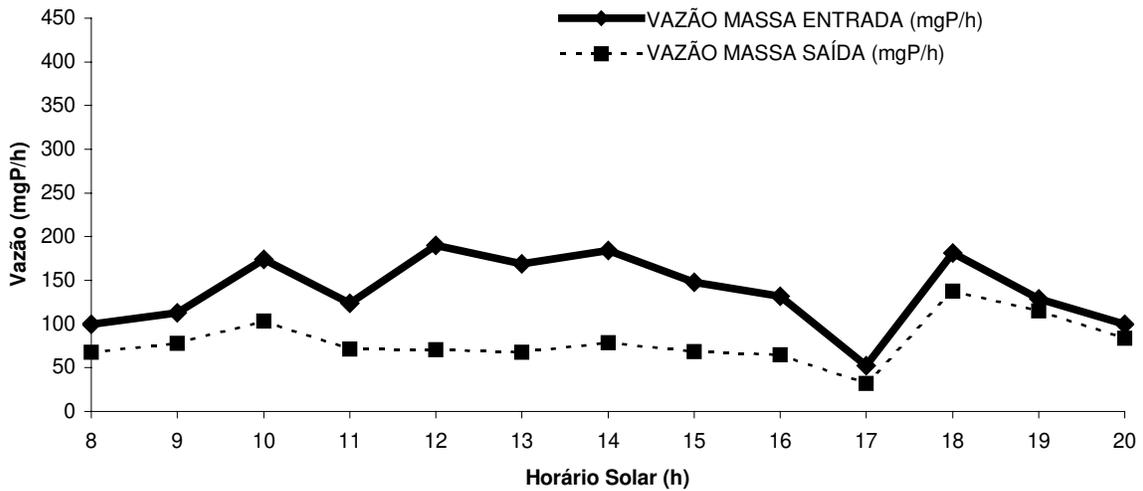
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 16/07/2002



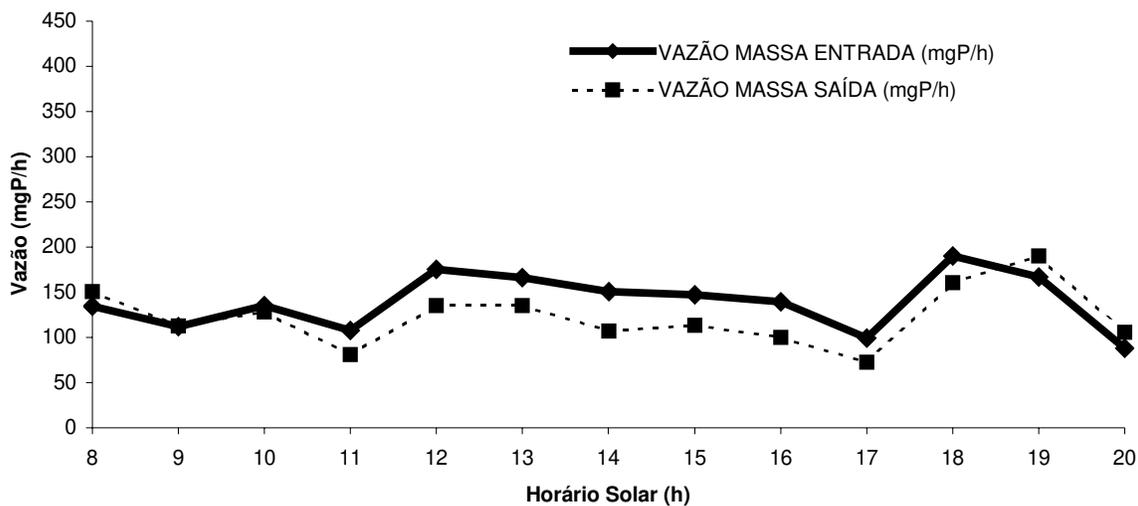
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 17/07/2002



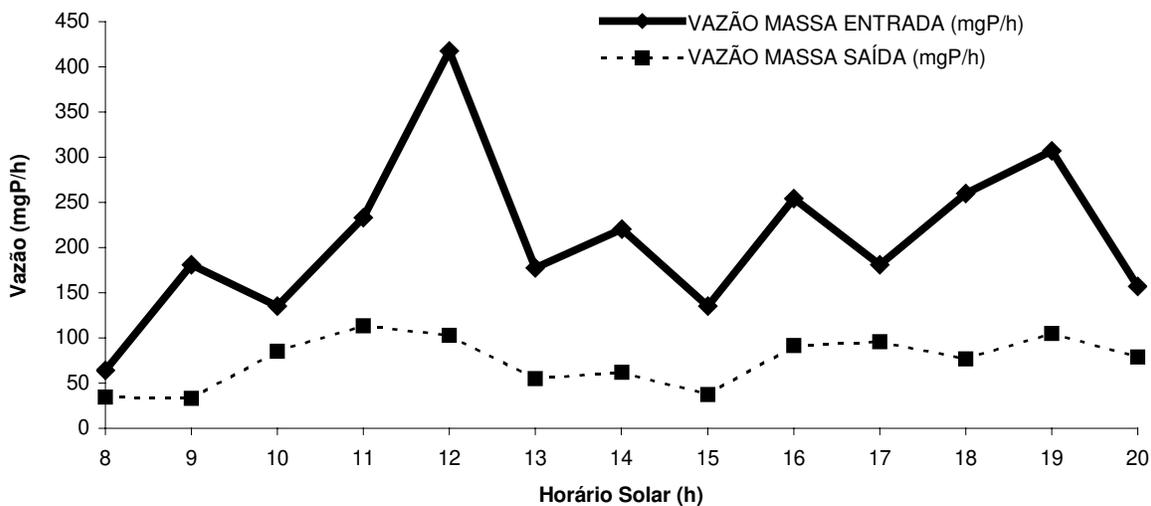
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 17/07/2002



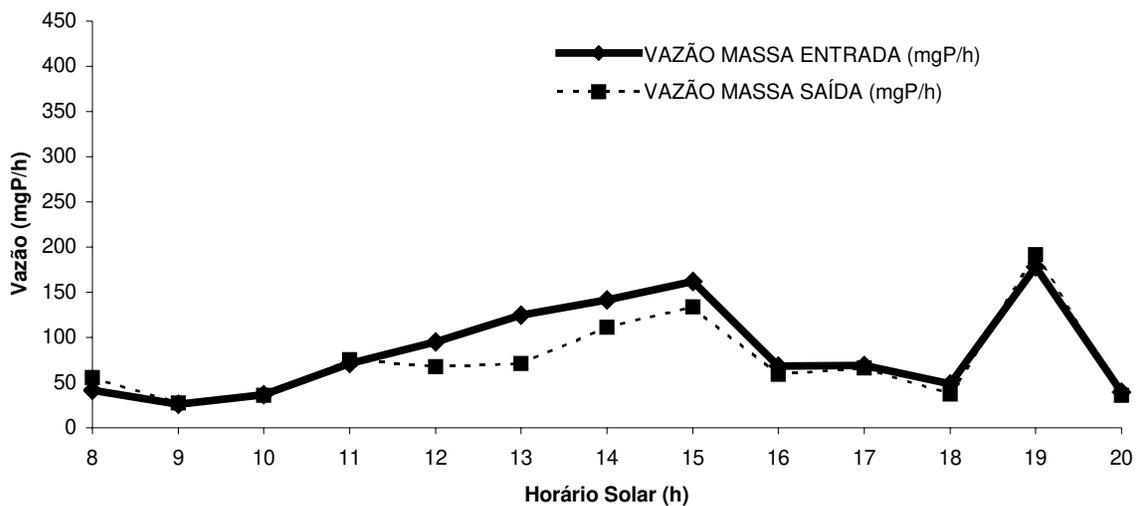
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002



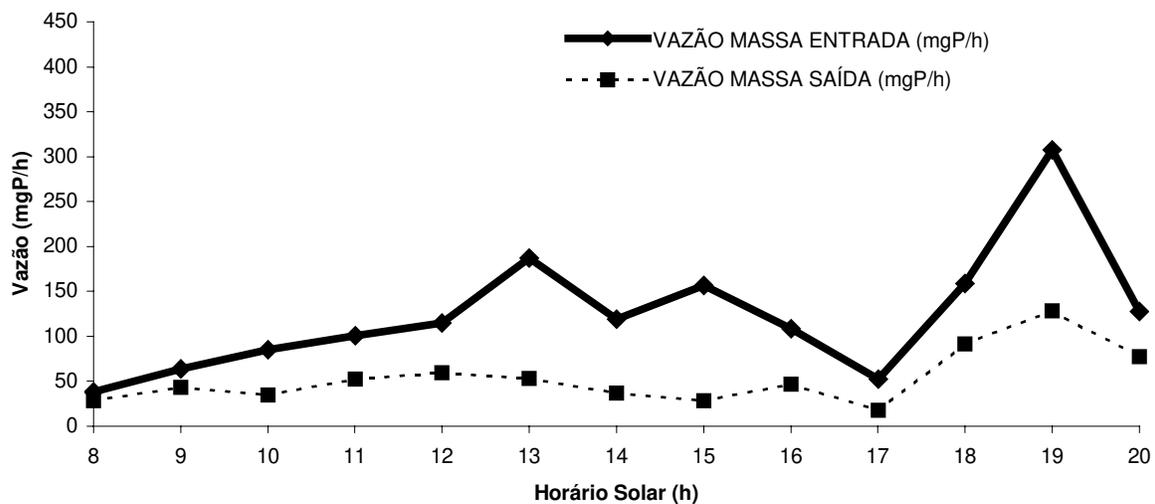
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 18/07/2002



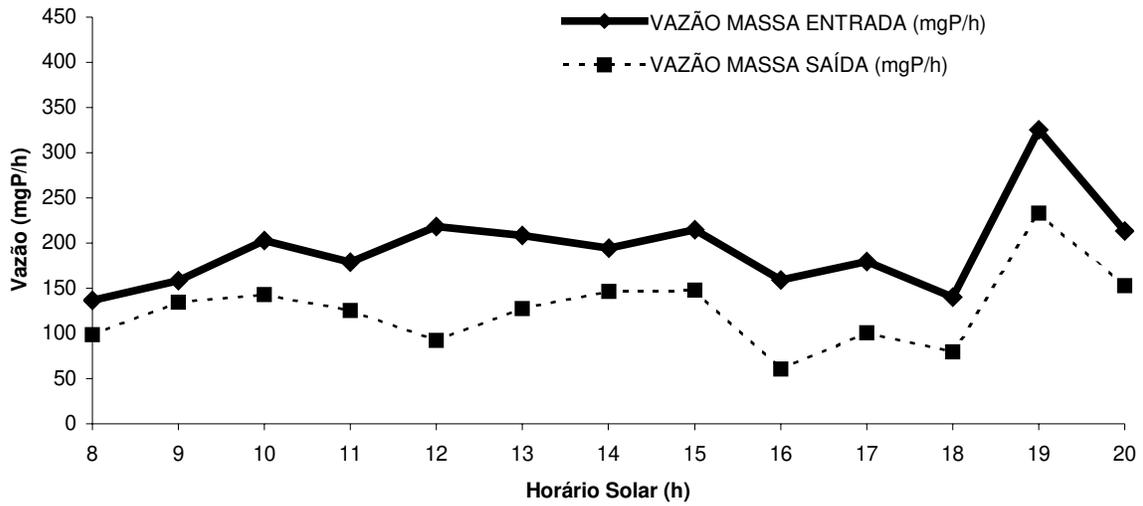
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 19/07/2002



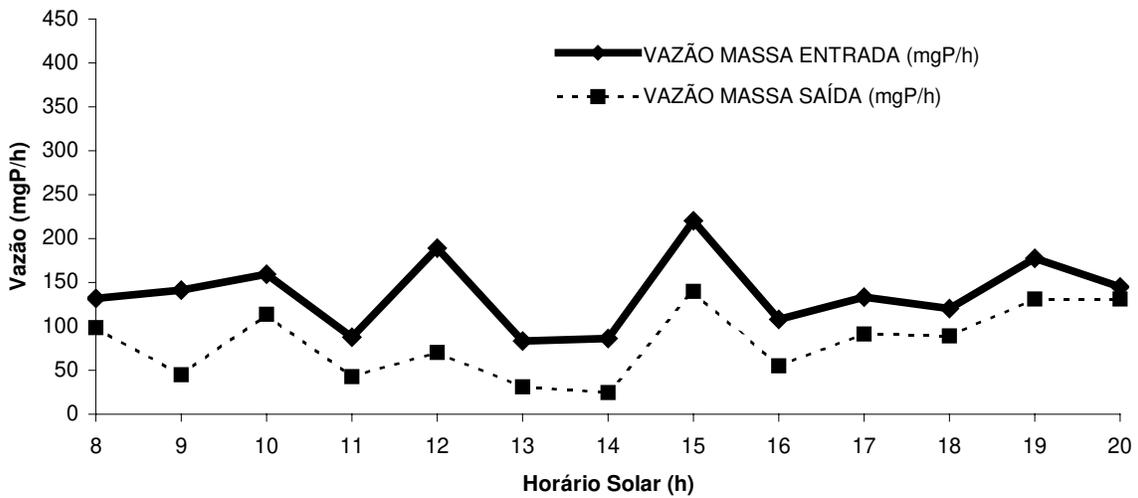
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 19/07/2002



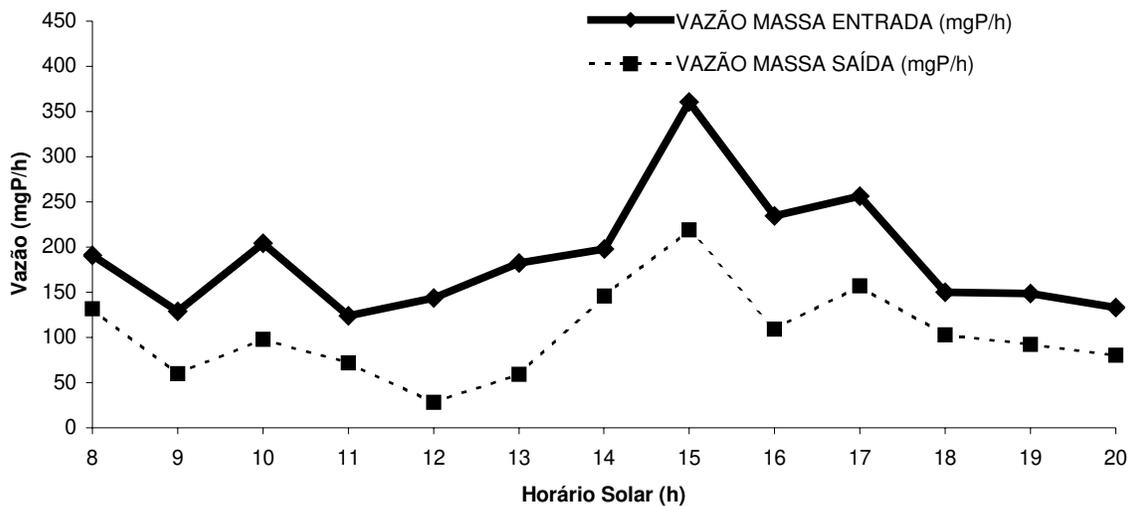
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 30/09/2002



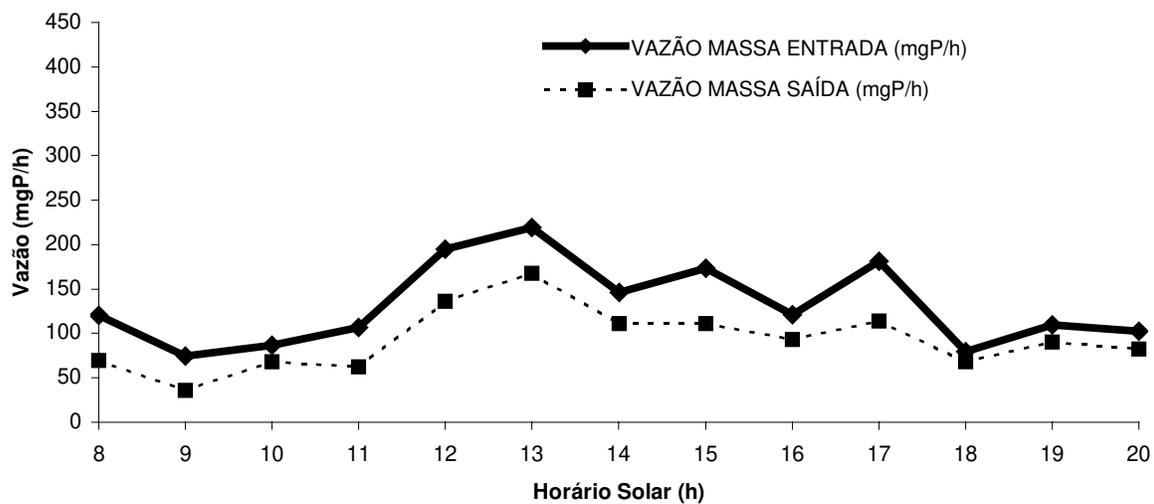
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 30/09/2002



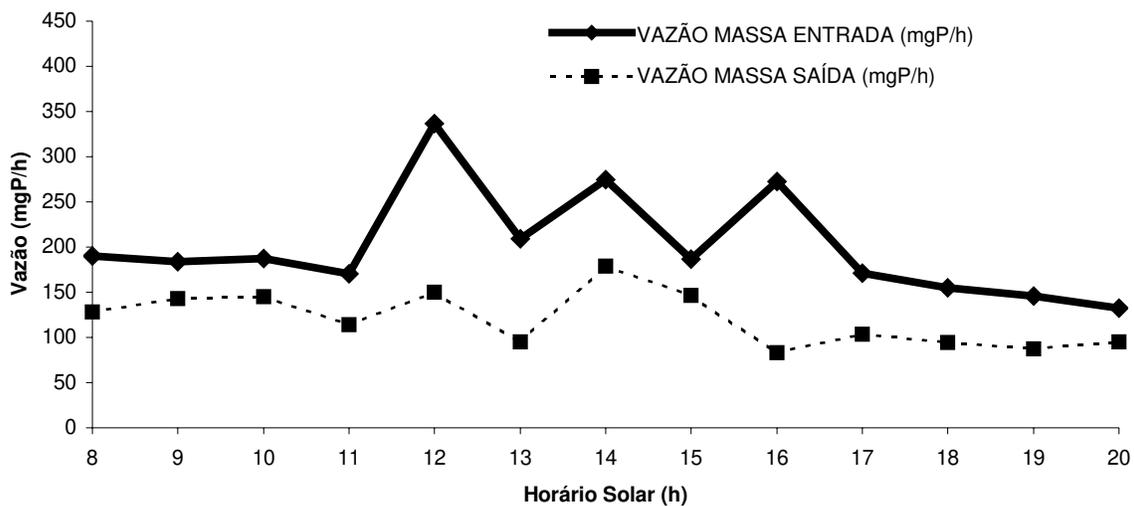
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 01/10/2002



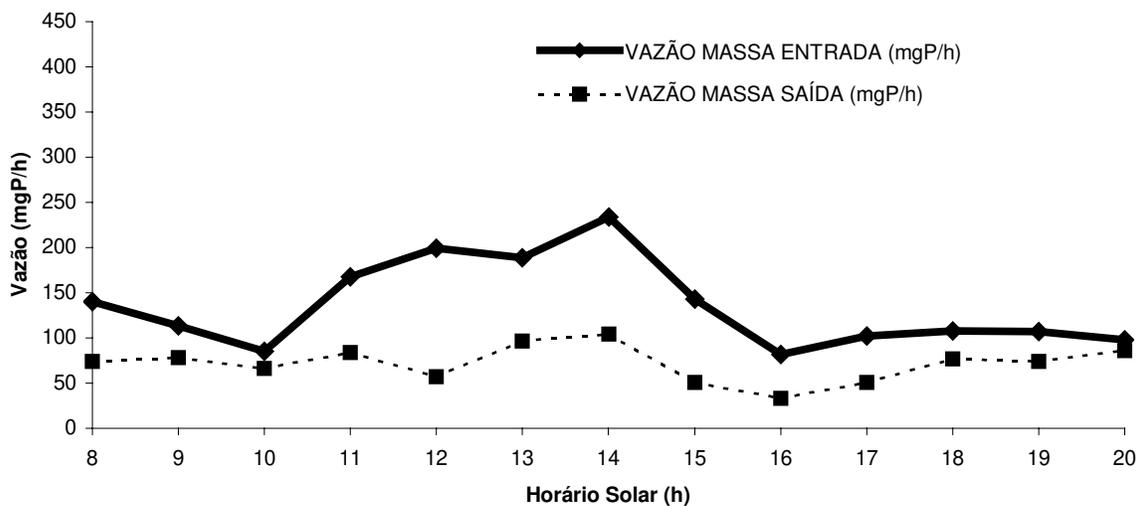
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 01/10/2002



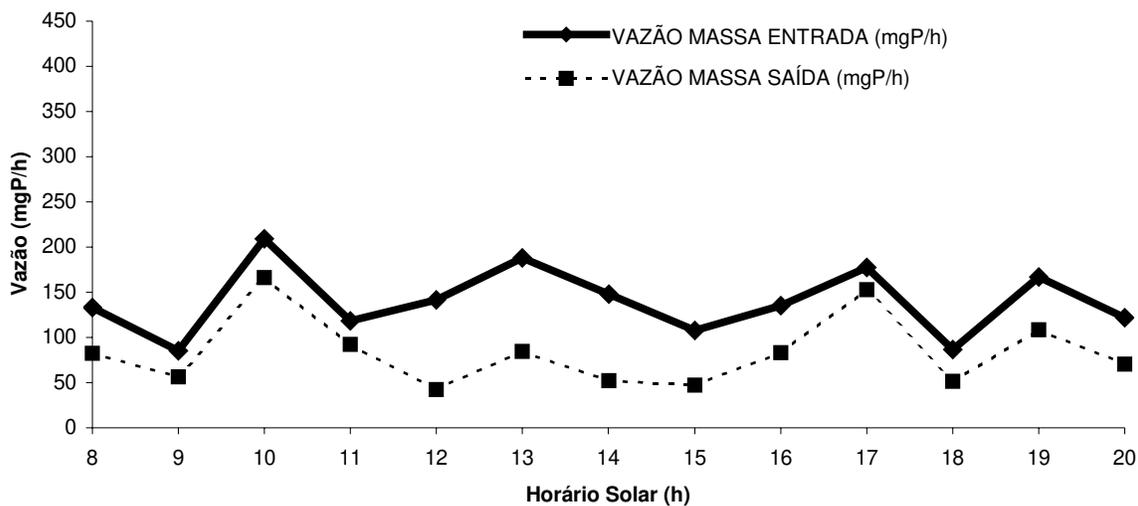
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 02/10/2002



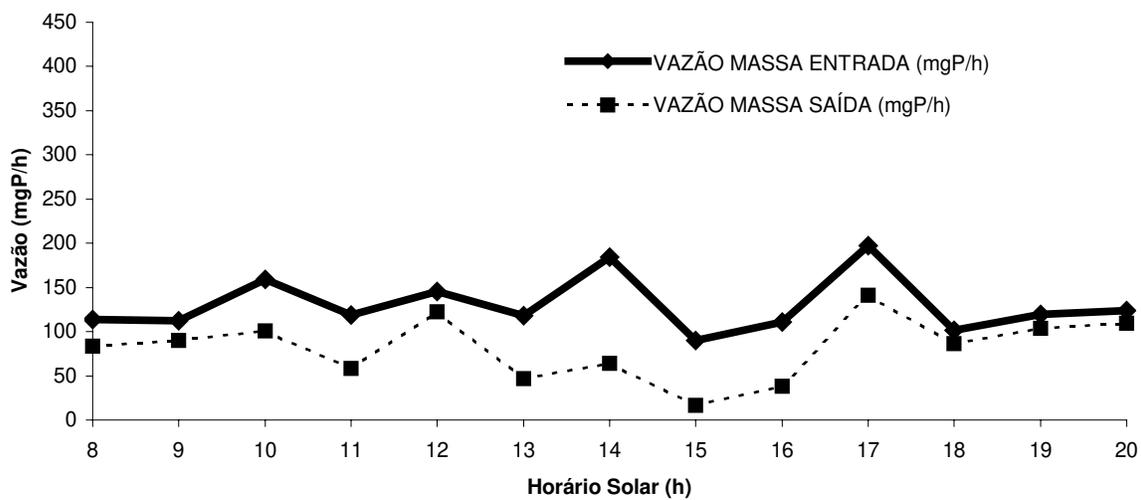
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 02/10/2002



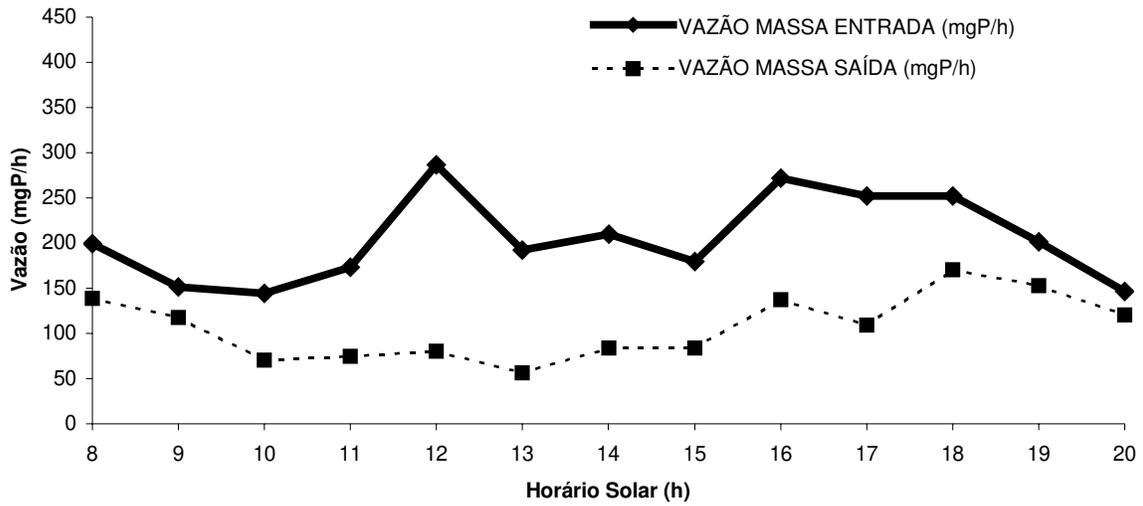
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 03/10/2002



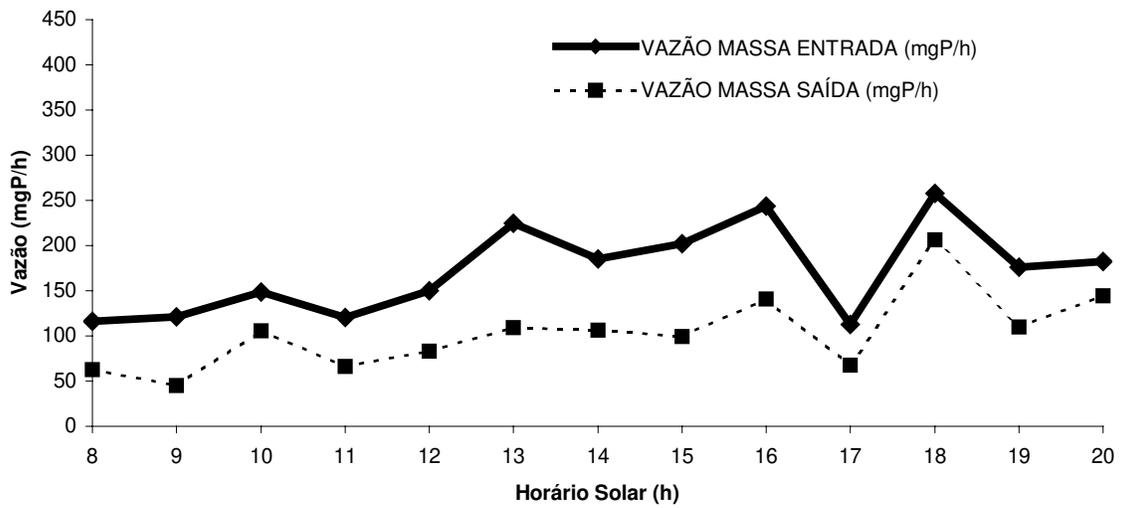
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 03/10/2002



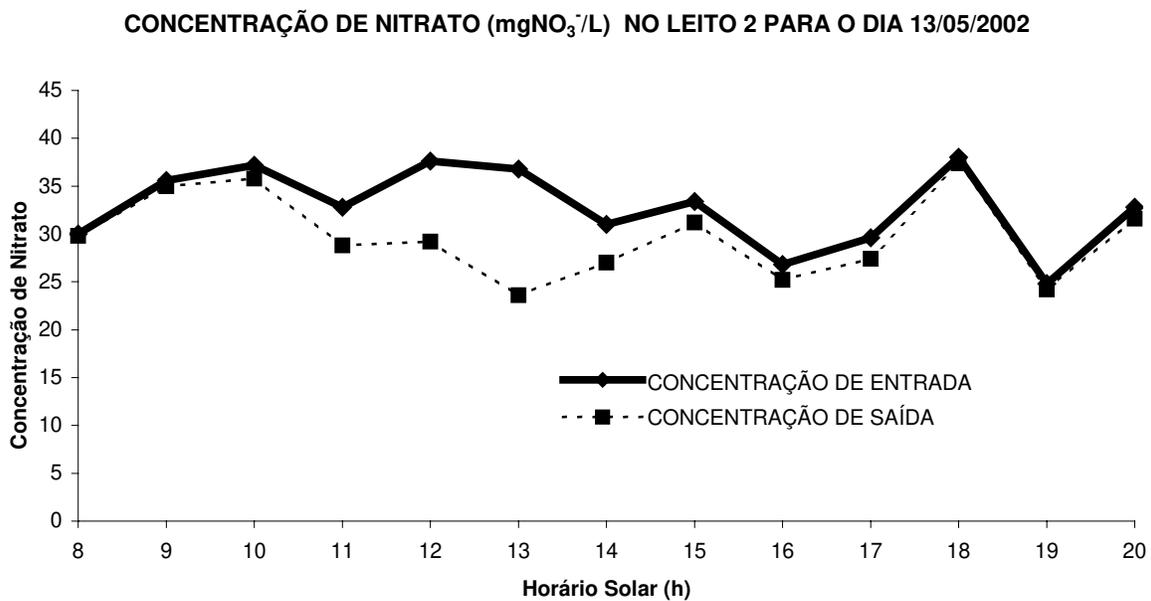
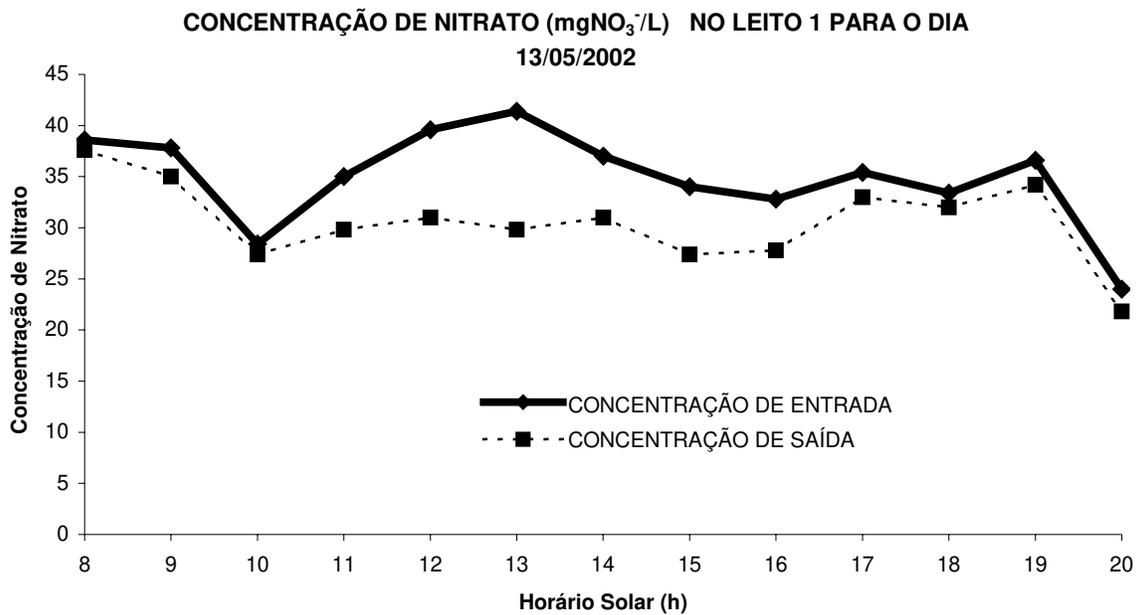
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 1 PARA O DIA 04/10/2002



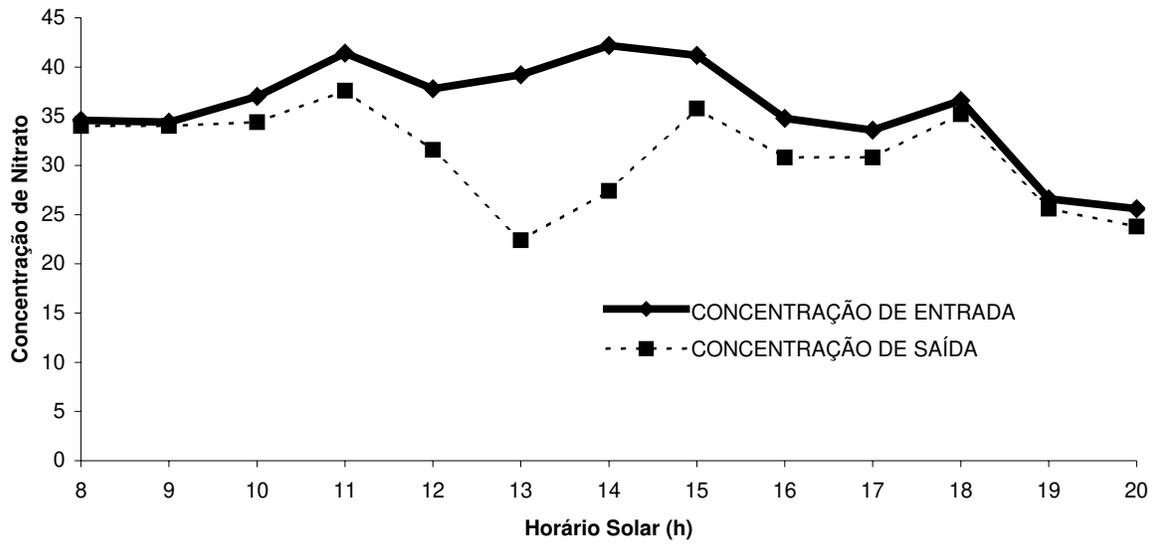
VARIAÇÃO DA VAZÃO MASSA NO LEITO 2 PARA O DIA 04/10/2002



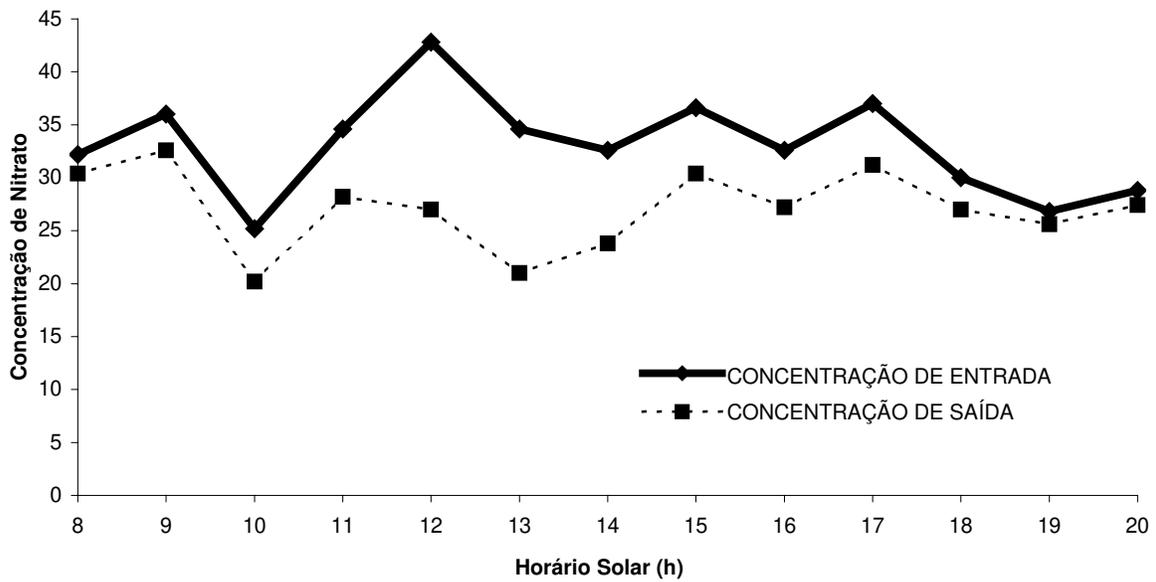
**A5-CONCENTRAÇÕES DE ENTRADA E SAÍDA DE NITRATO NOS LEITOS
CULTIVADOS**



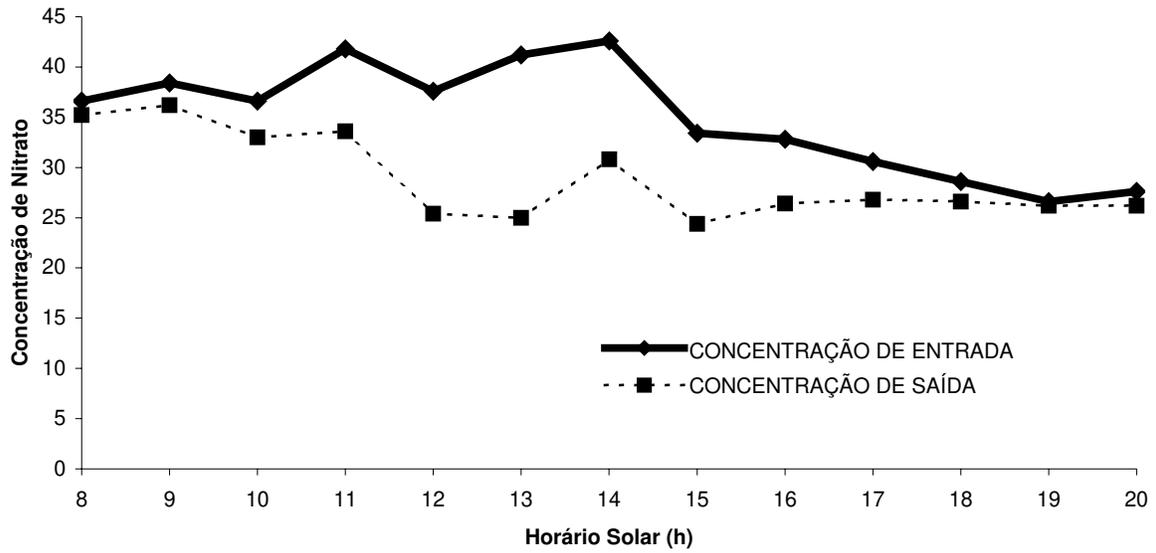
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 14/05/2002



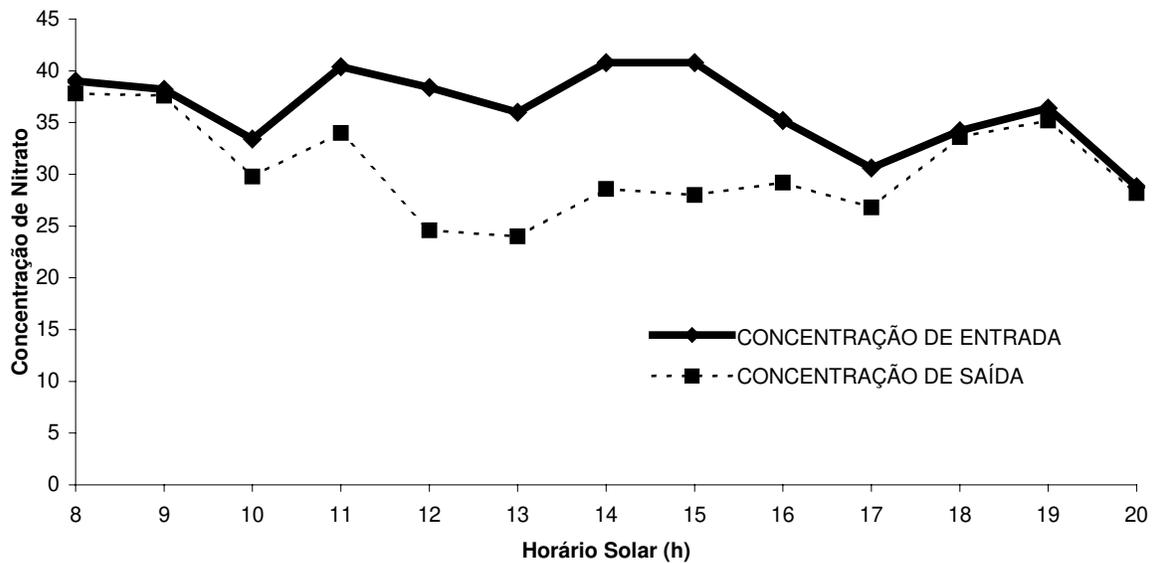
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 14/05/2002



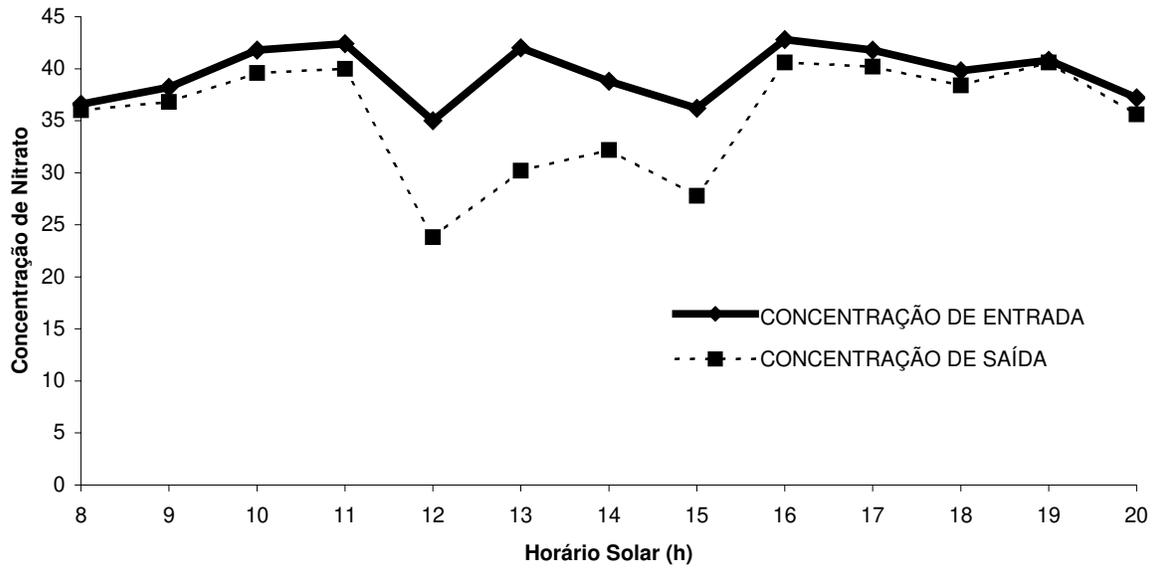
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 15/05/2002



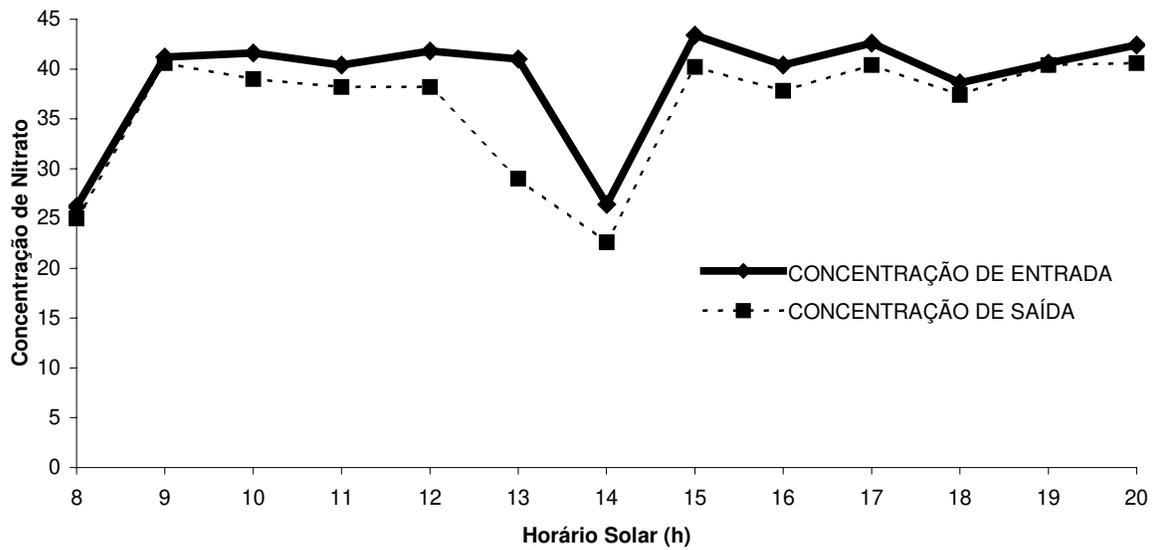
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 15/05/2002



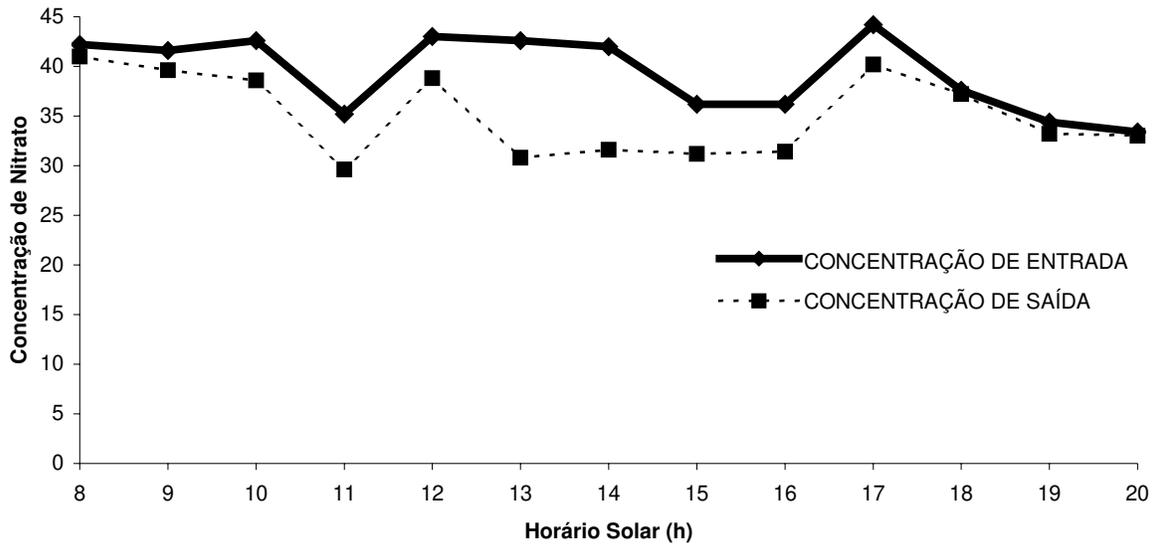
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 16/05/2002



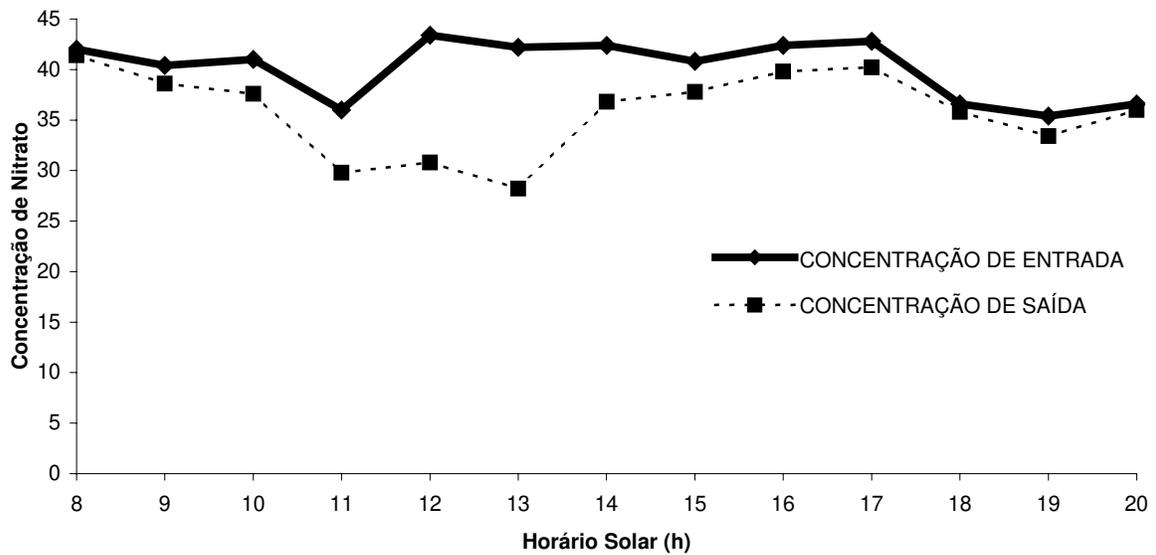
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 16/05/2002



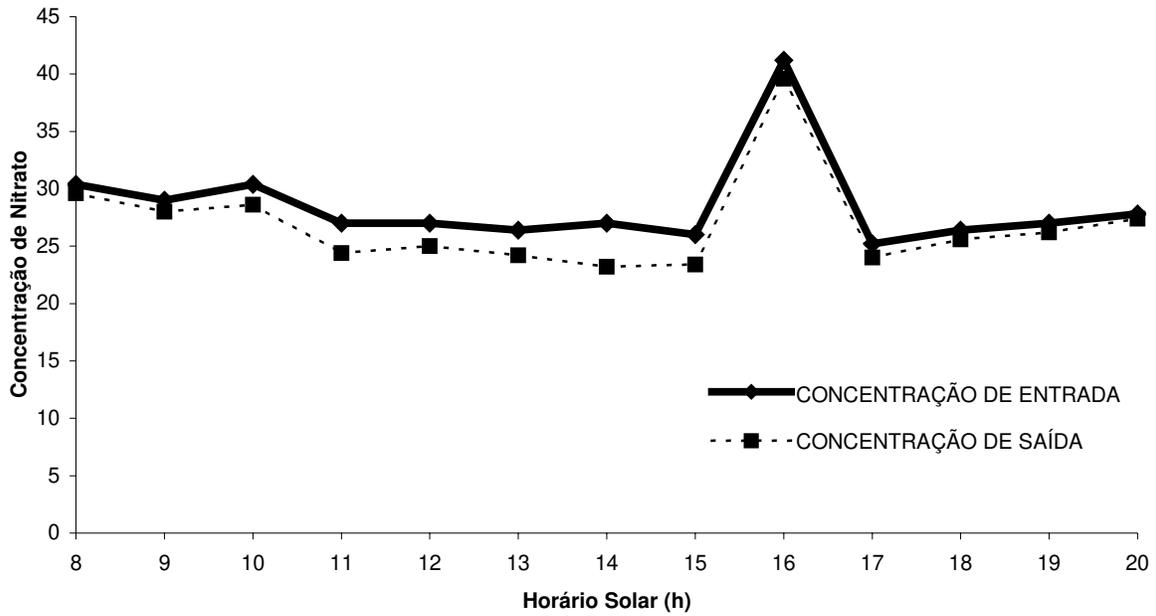
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 17/05/2002



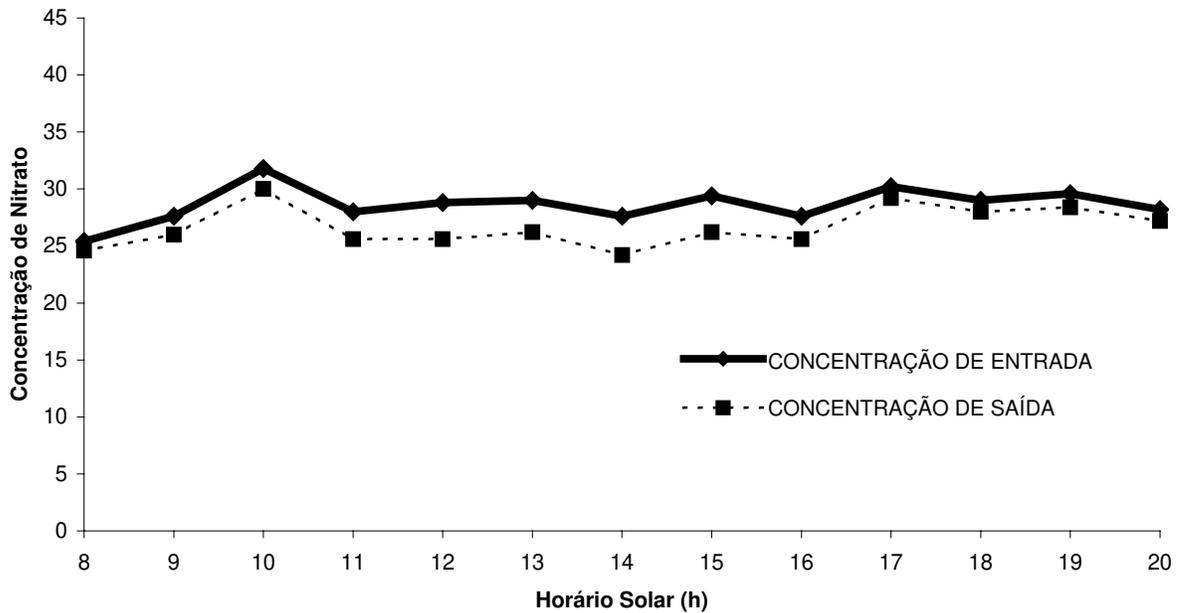
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 17/05/2002



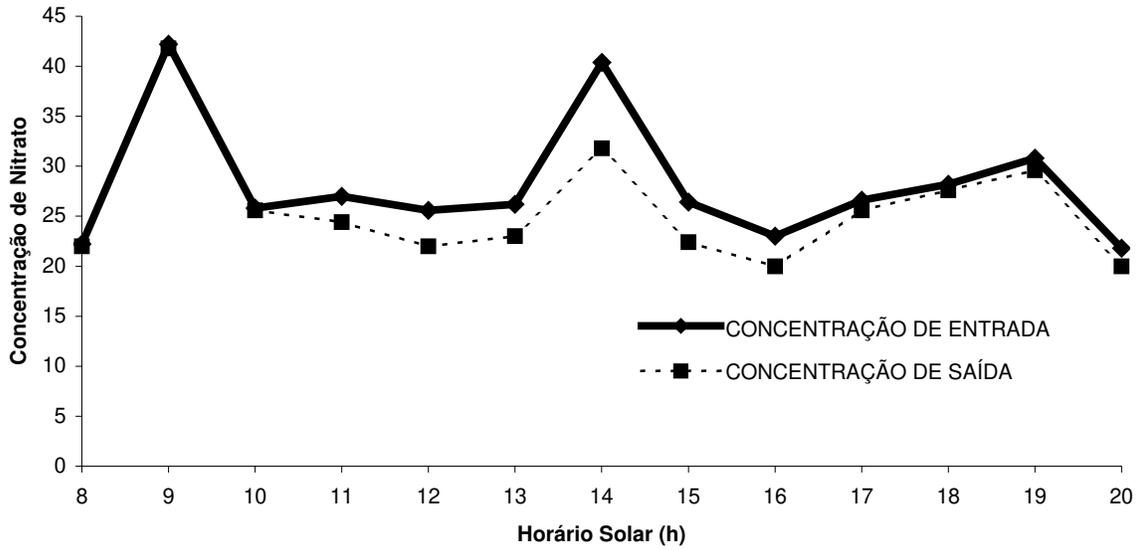
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 15/07/2002



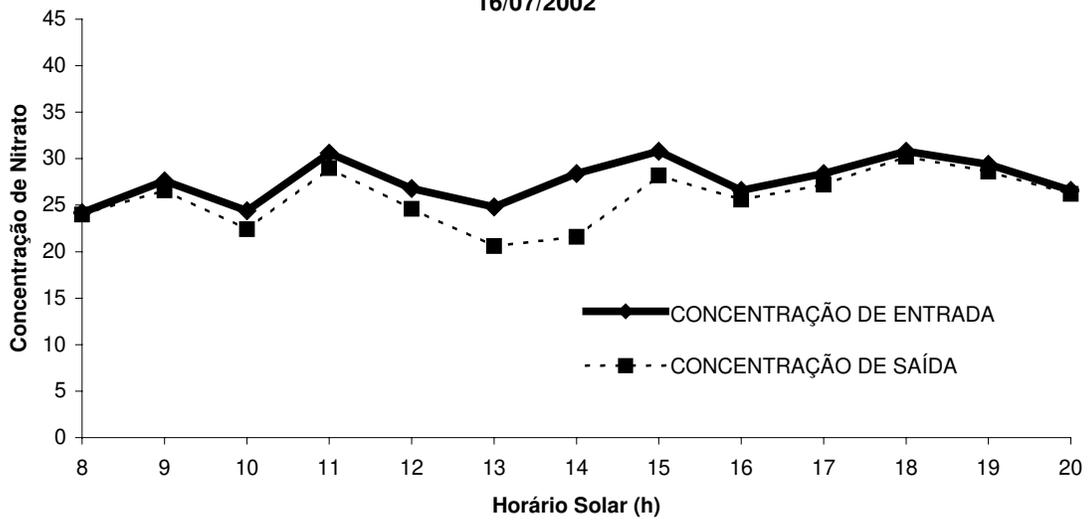
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 15/07/2002



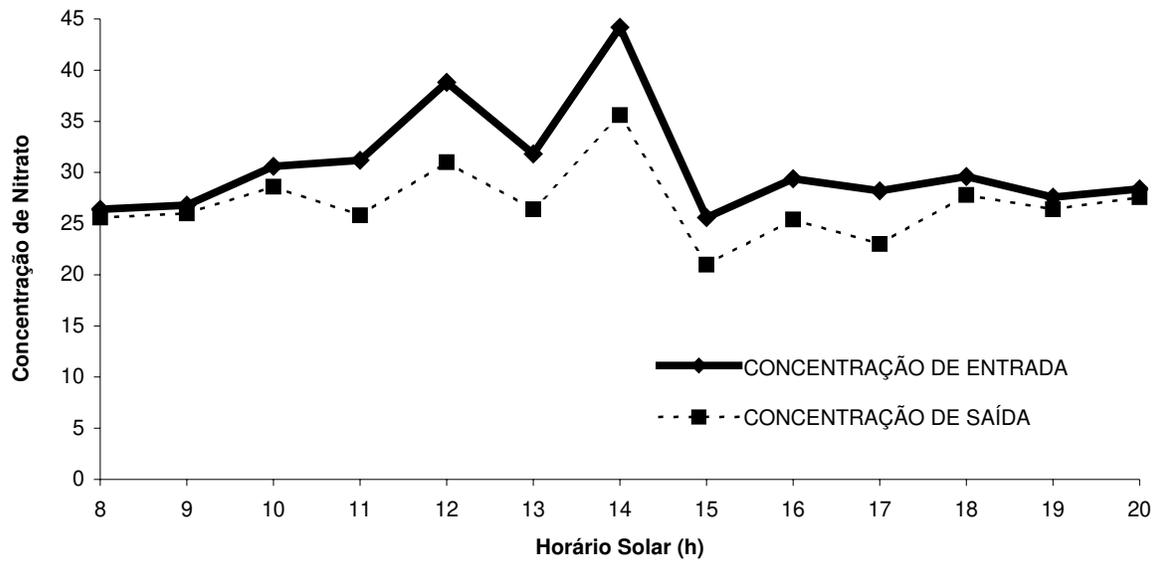
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 16/07/2002



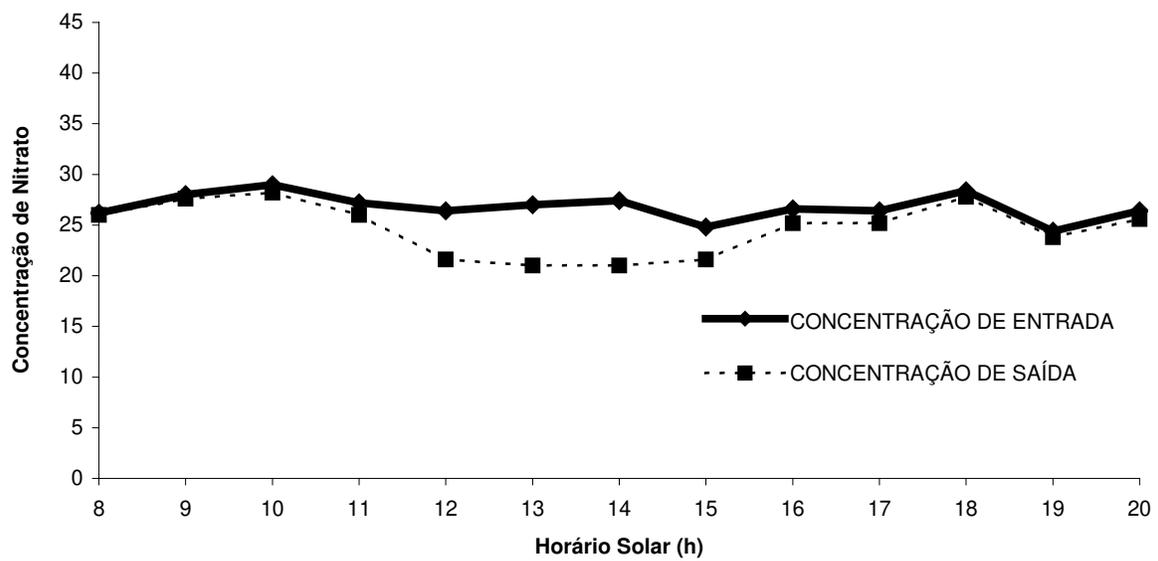
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 16/07/2002



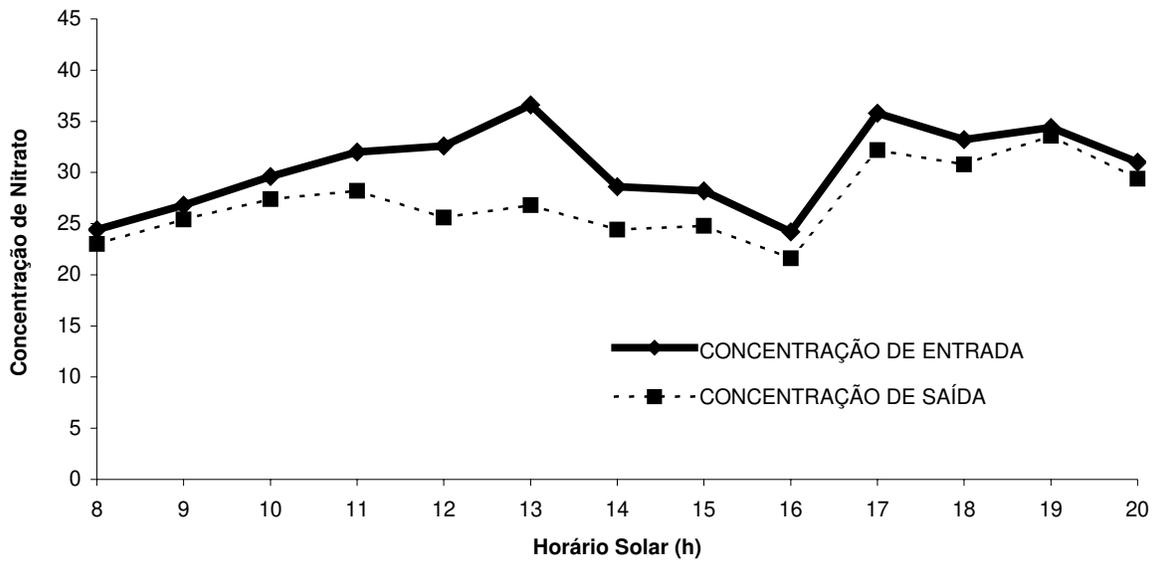
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 17/07/2002



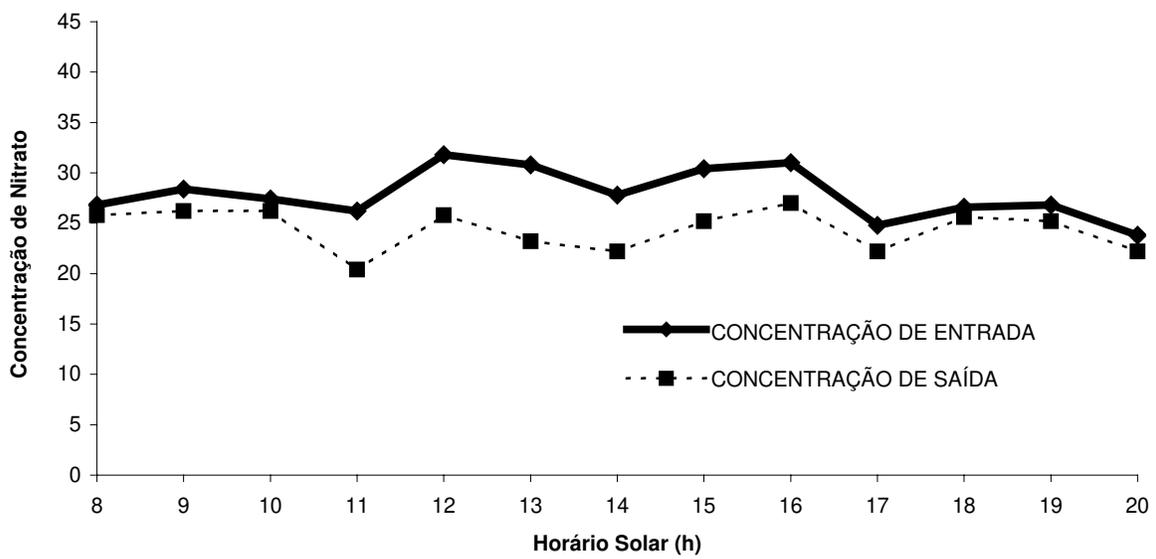
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 17/07/2002



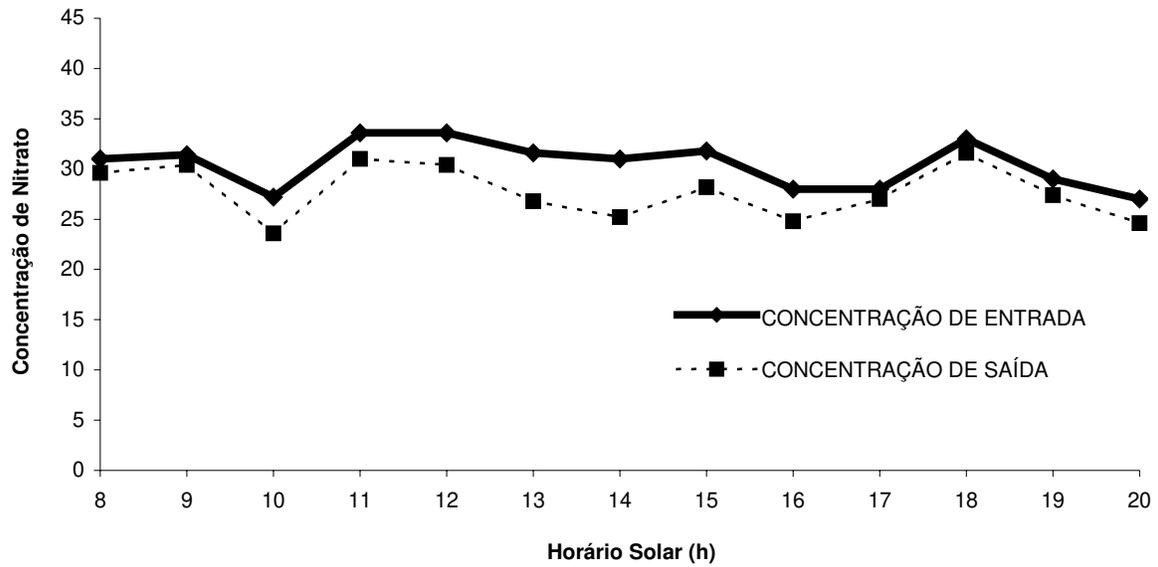
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002



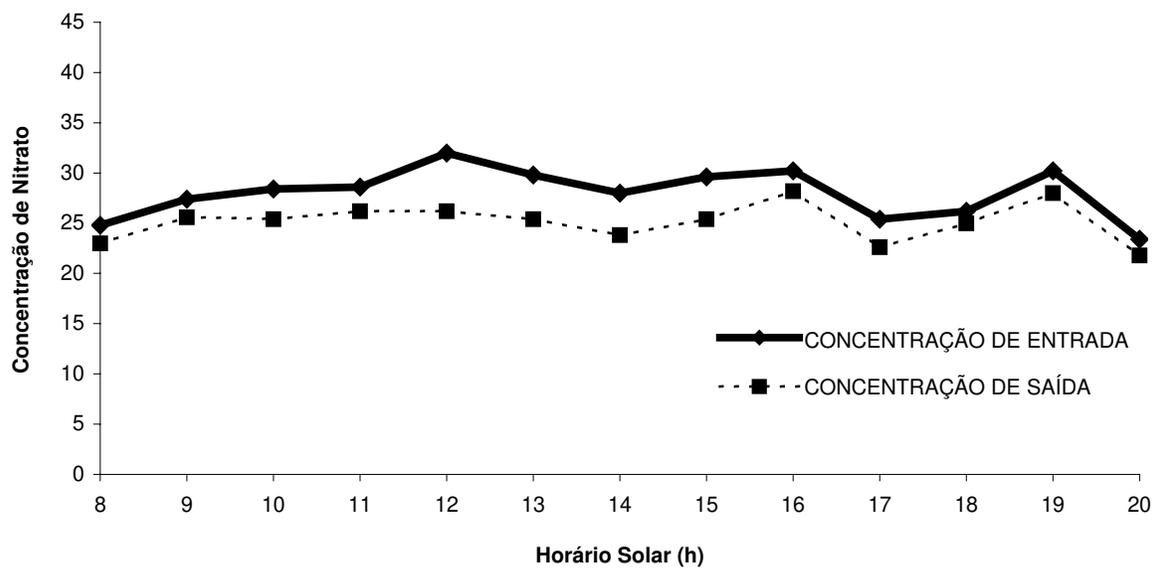
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 18/07/2002



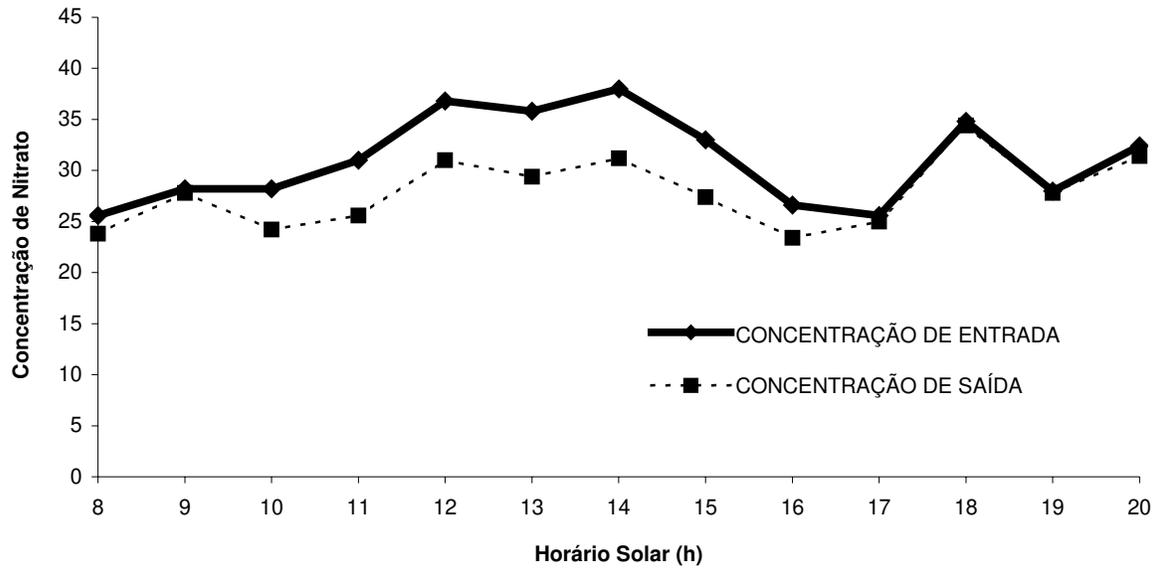
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 19/07/2002



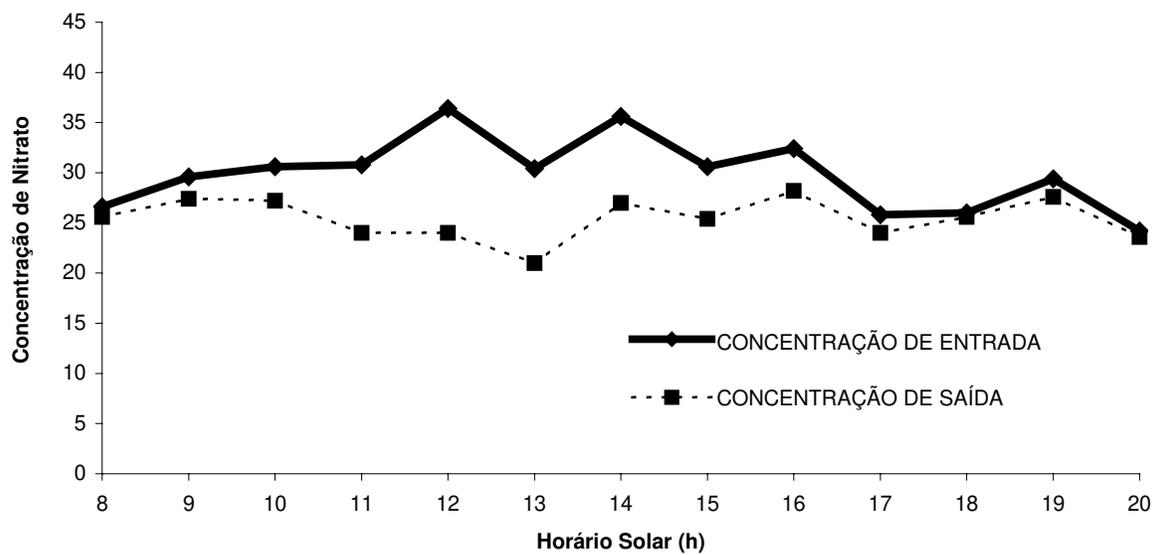
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 19/07/2002



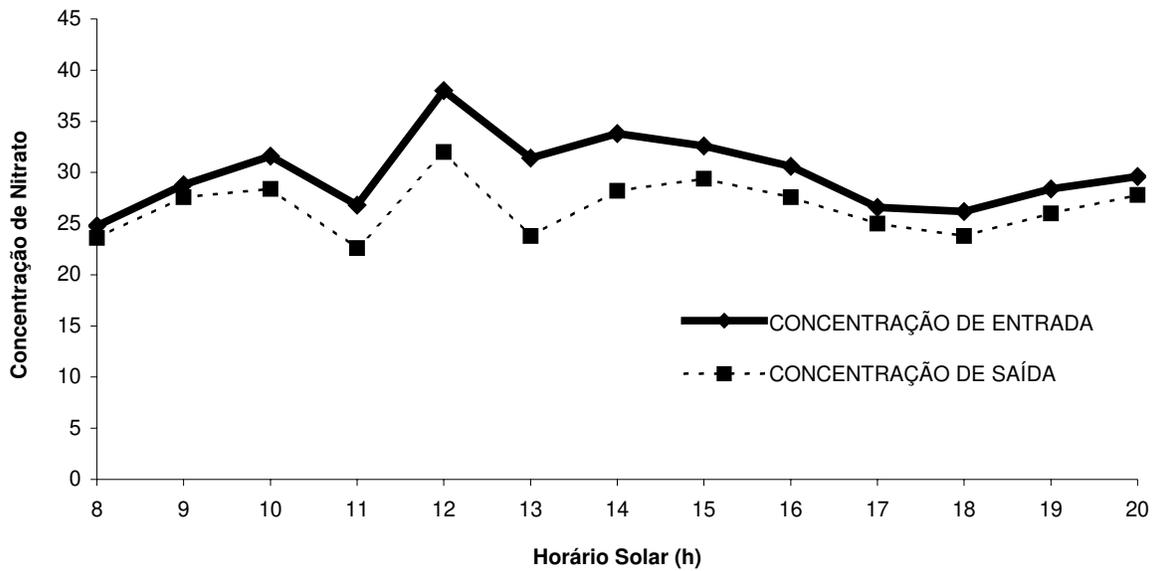
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 30/09/2002



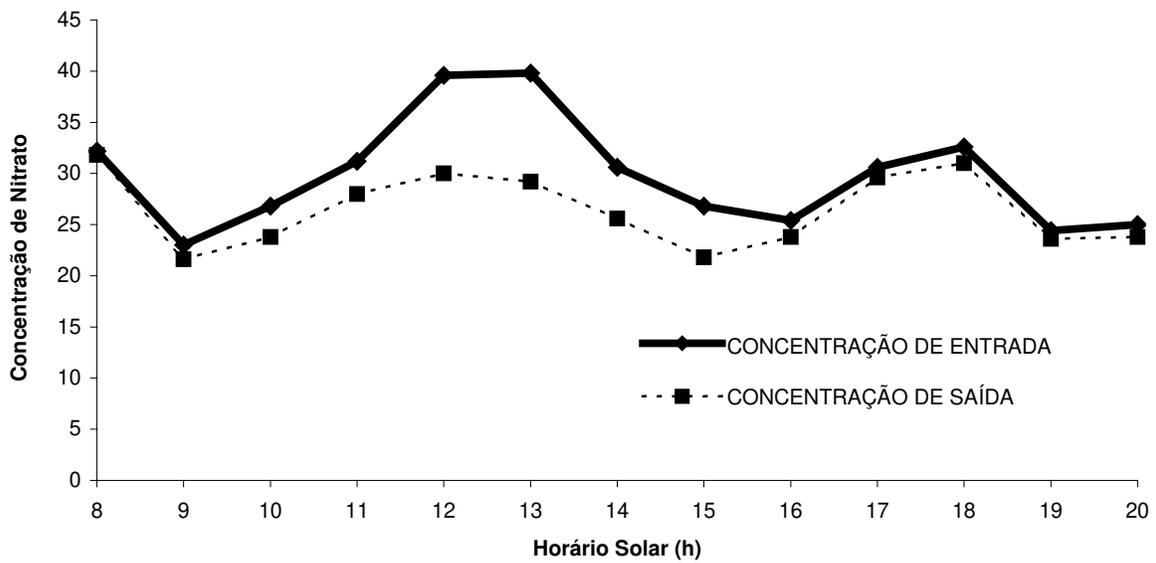
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 30/09/2002



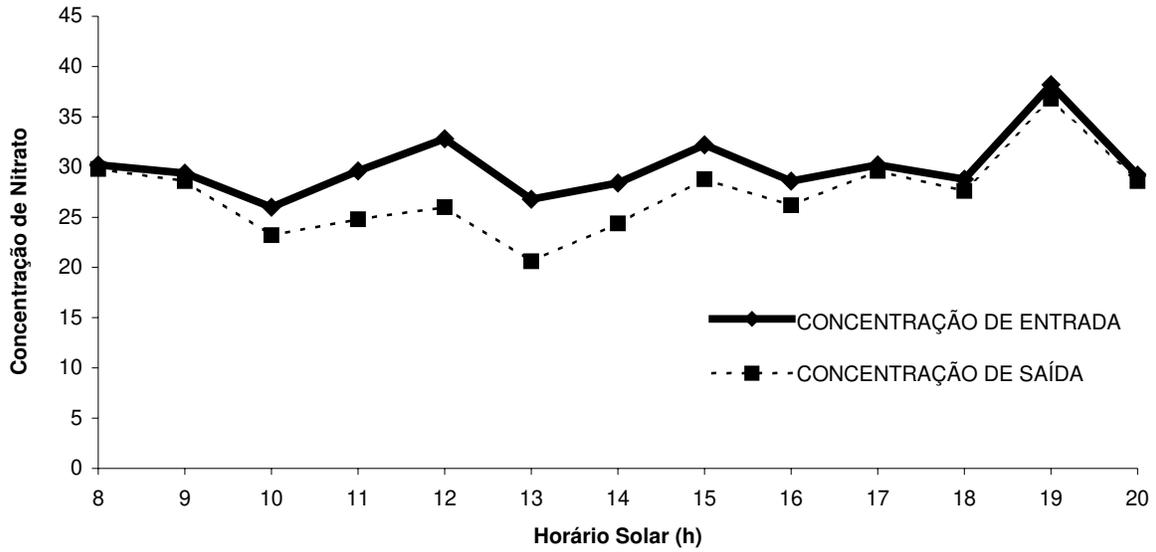
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 01/10/2002



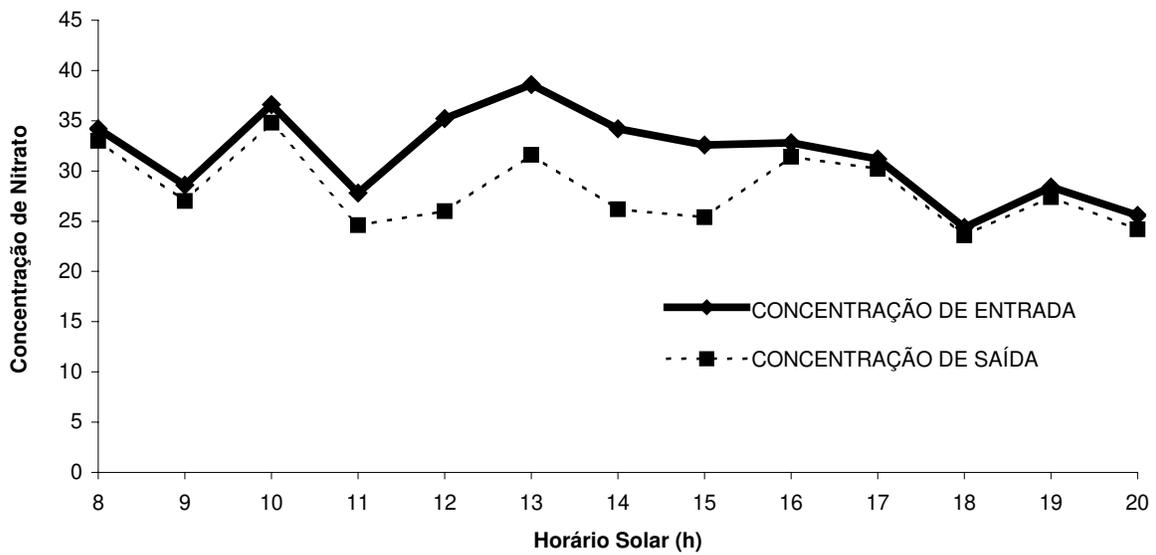
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 01/10/2002



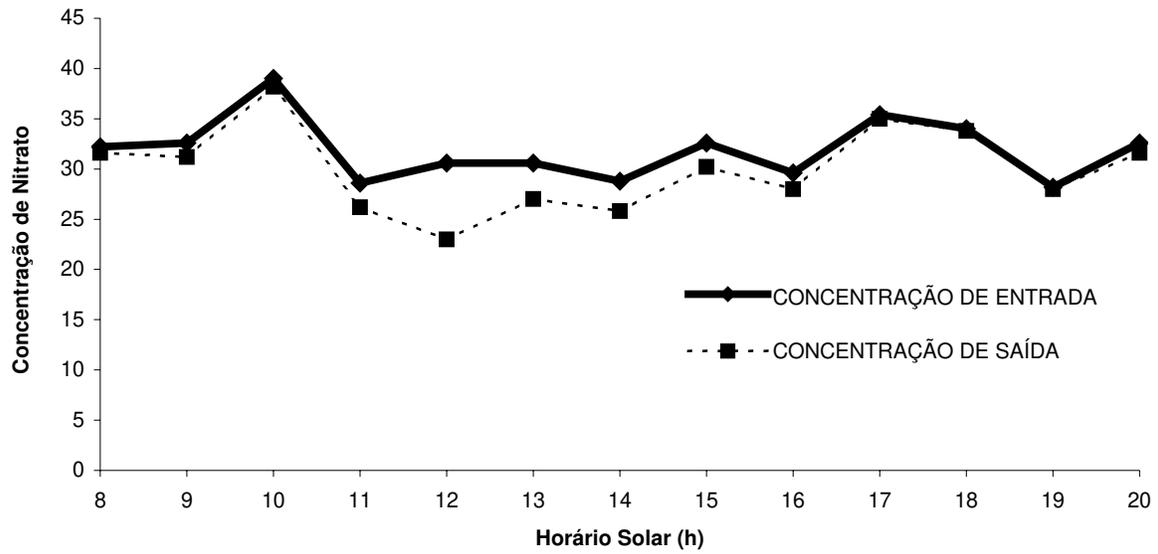
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 02/10/2002



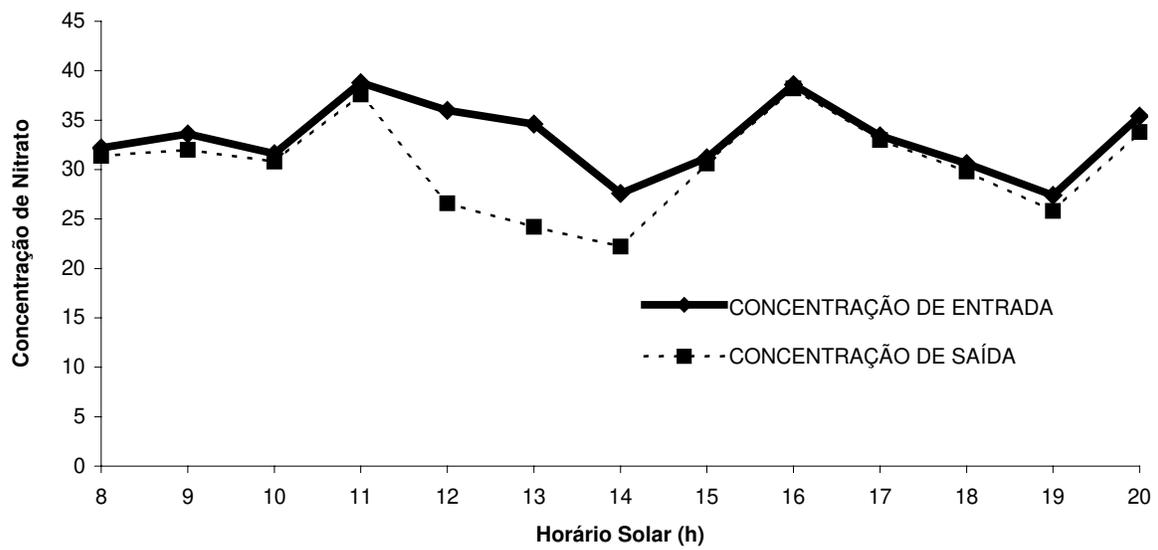
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 02/10/2002



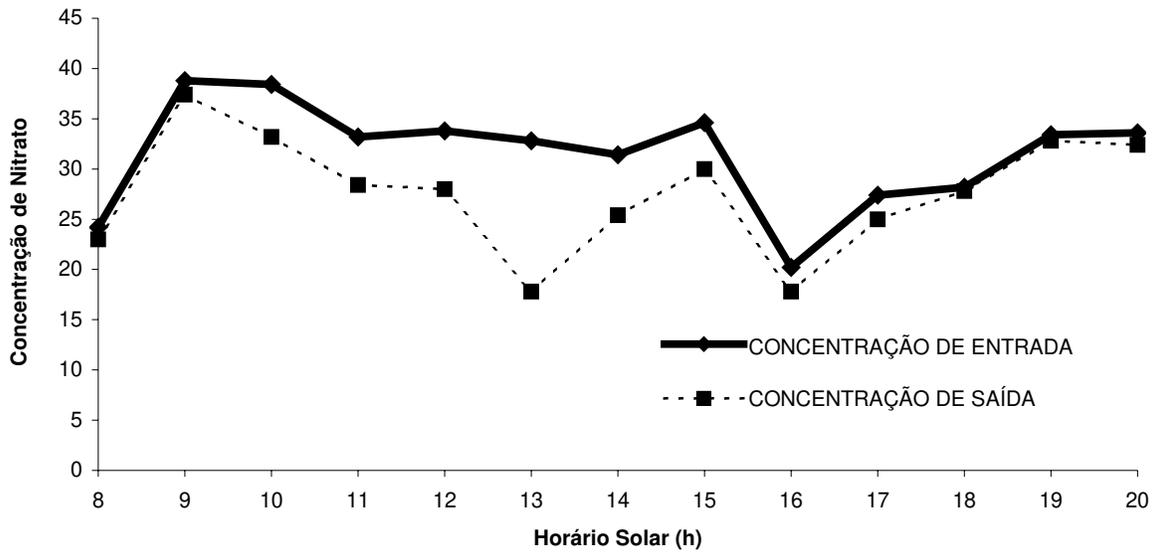
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 03/10/2002



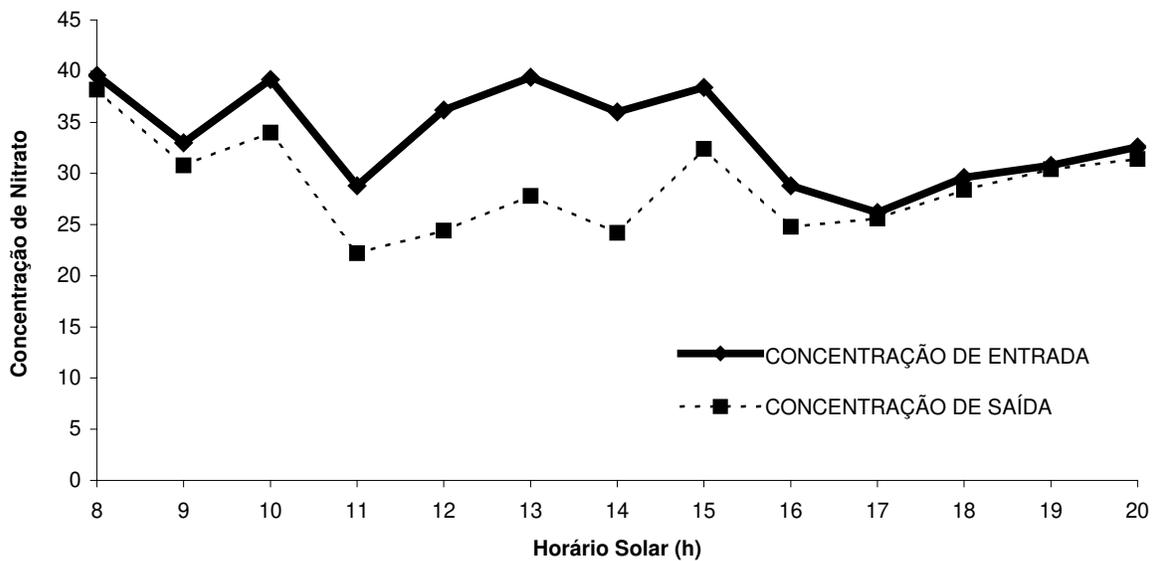
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 03/10/2002



CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 04/10/2002

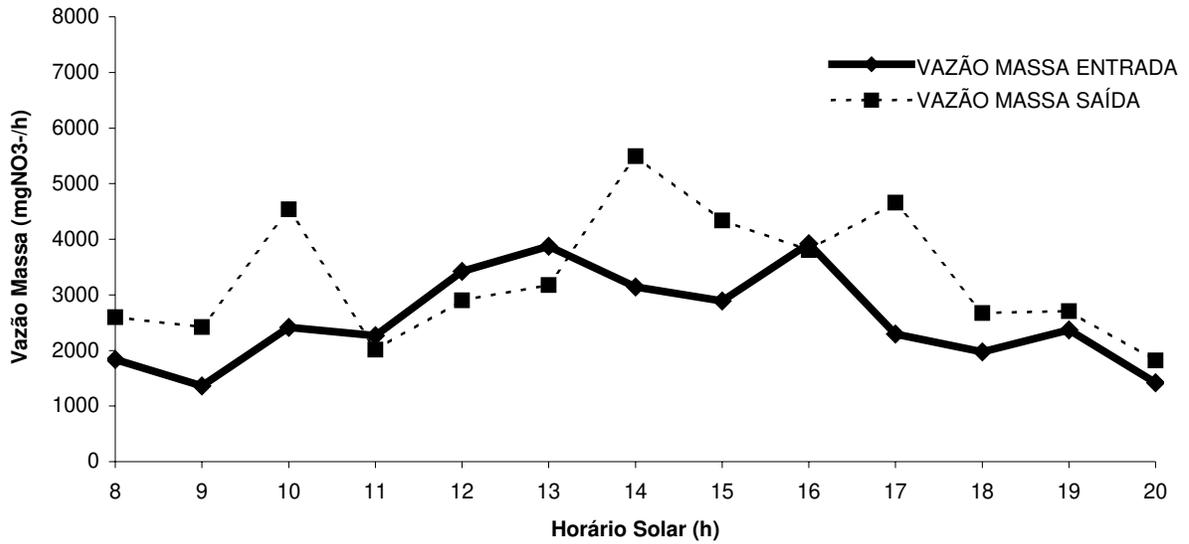


CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (mgNO_3^-/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 04/10/2002

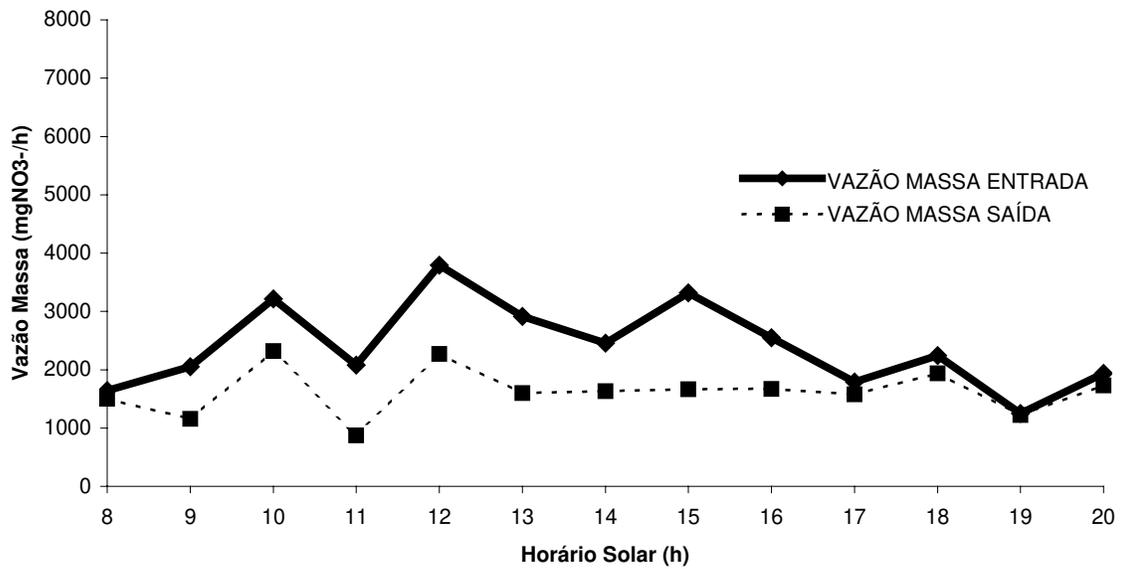


A6-VAZÃO MASSA DE NITRATO NOS LEITOS CULTIVADOS

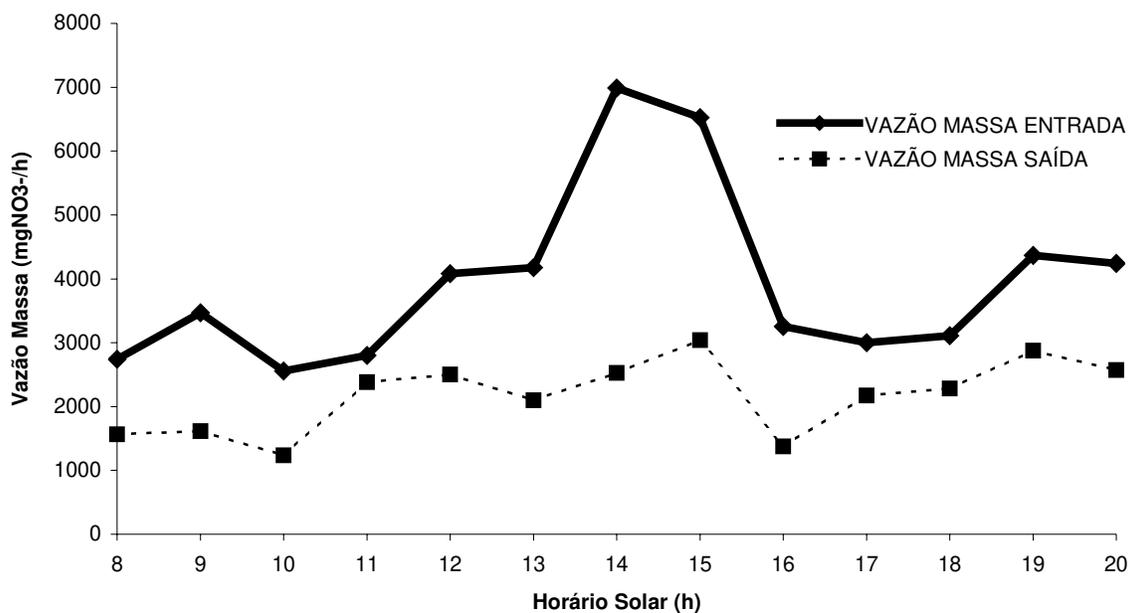
VAZÃO MASSA DE NITRATO PARA O LEITO 1 NO DIA 13/05/2002



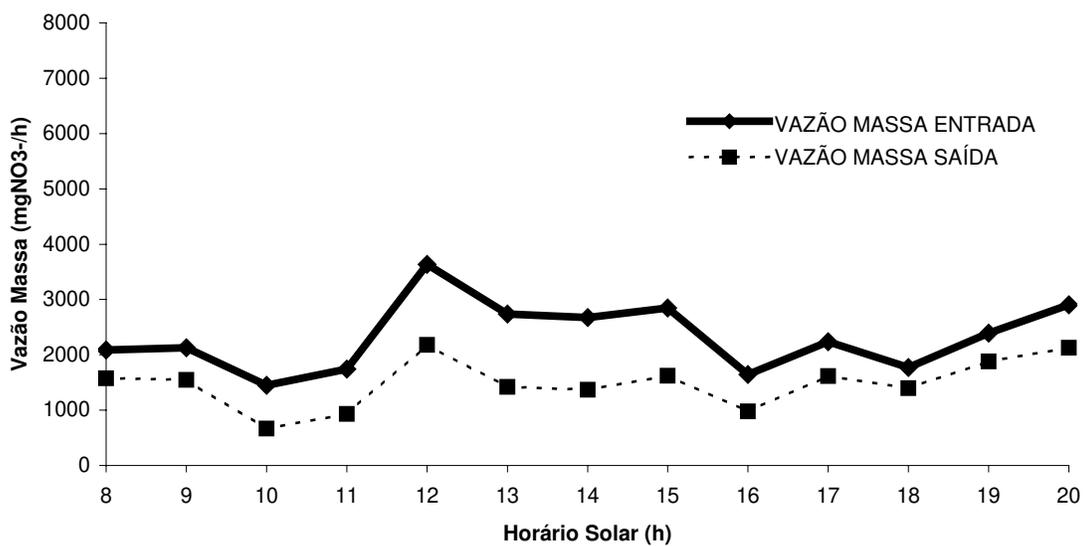
VAZÃO MASSA DE NITRATO PARA O LEITO 2 NO DIA 13/05/2002



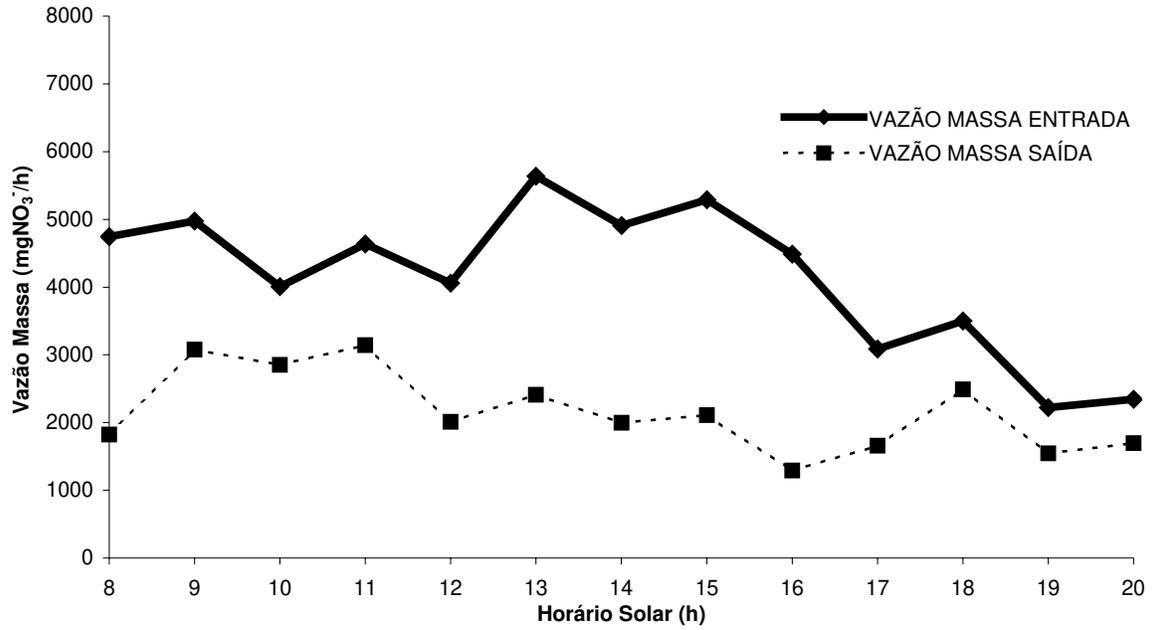
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 14/05/2002



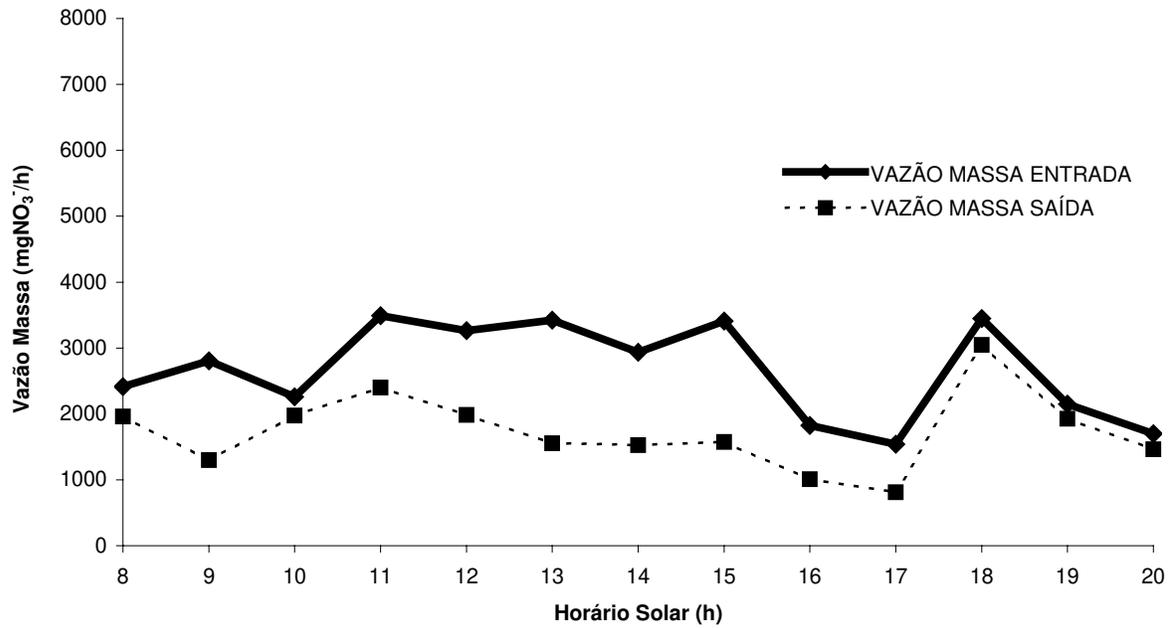
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 14/05/2002



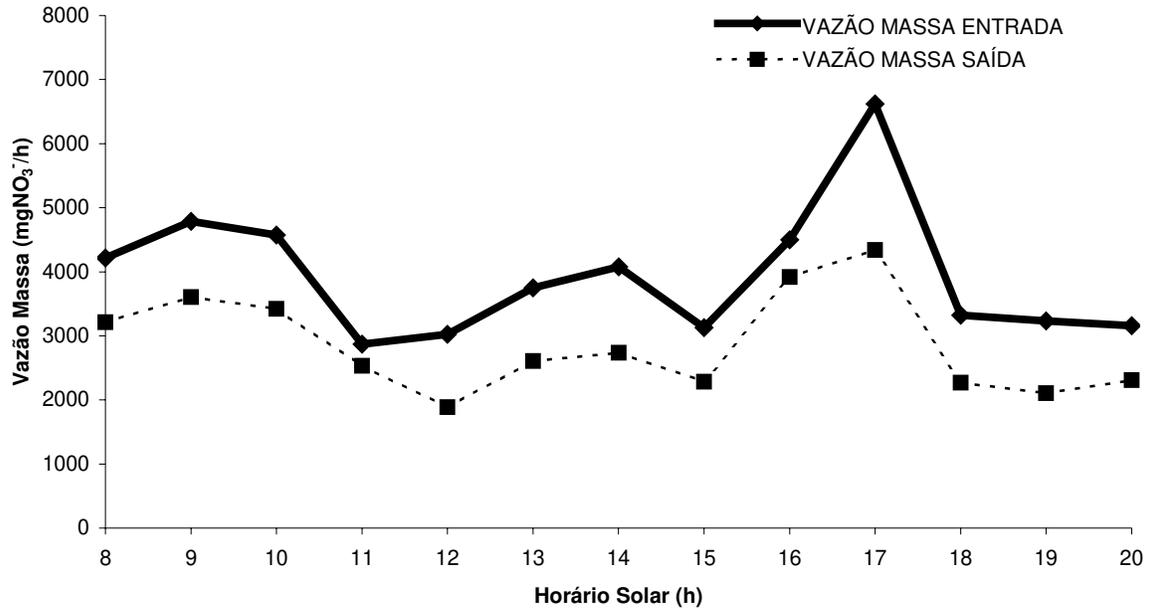
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 15/05/2002



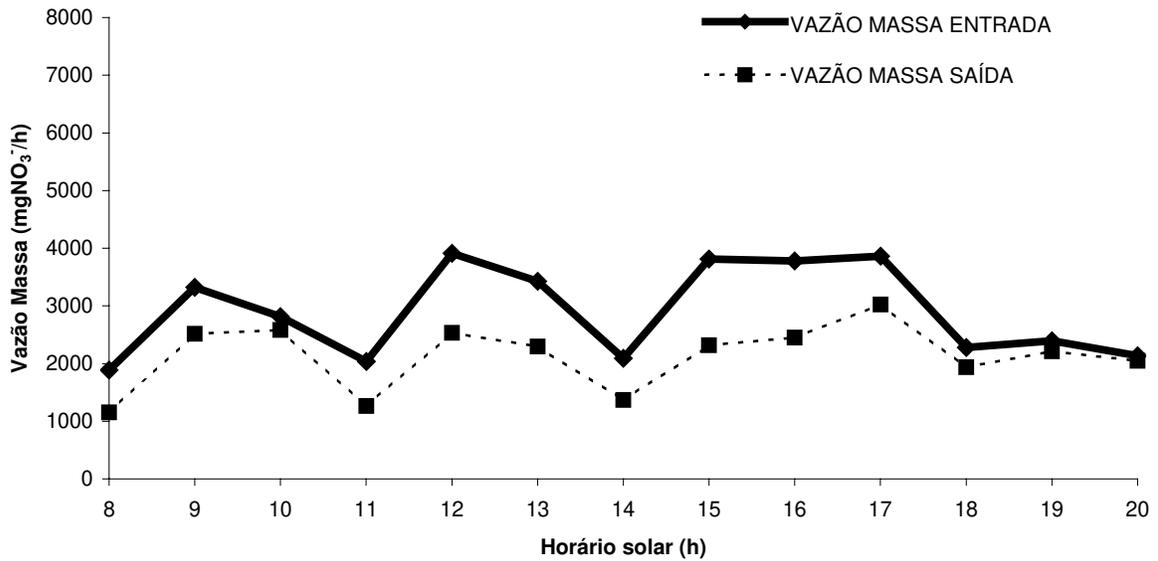
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 15/05/2002



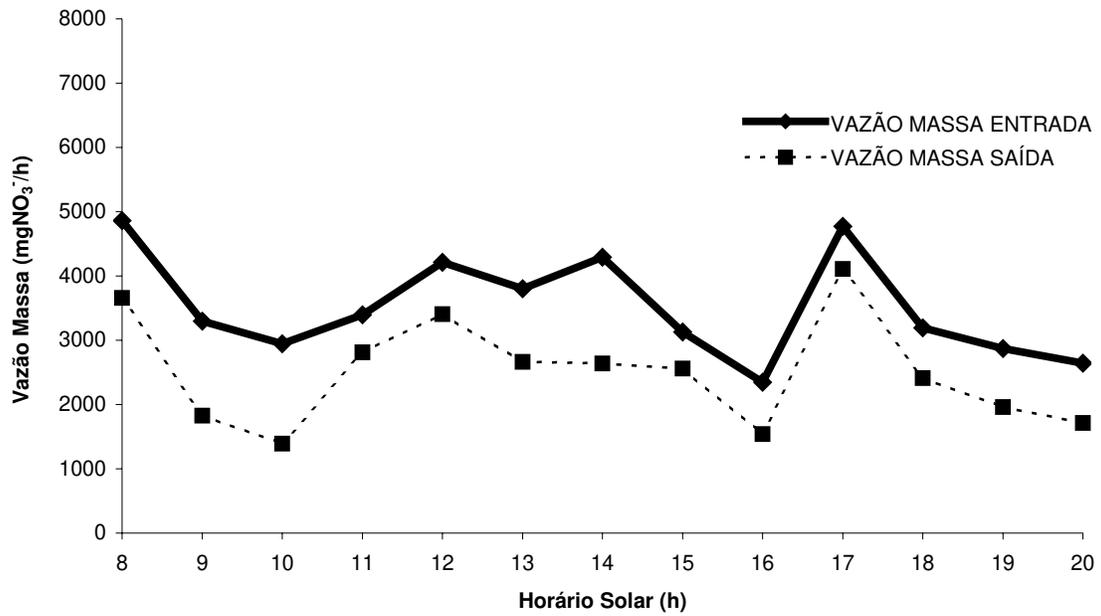
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 16/05/2002



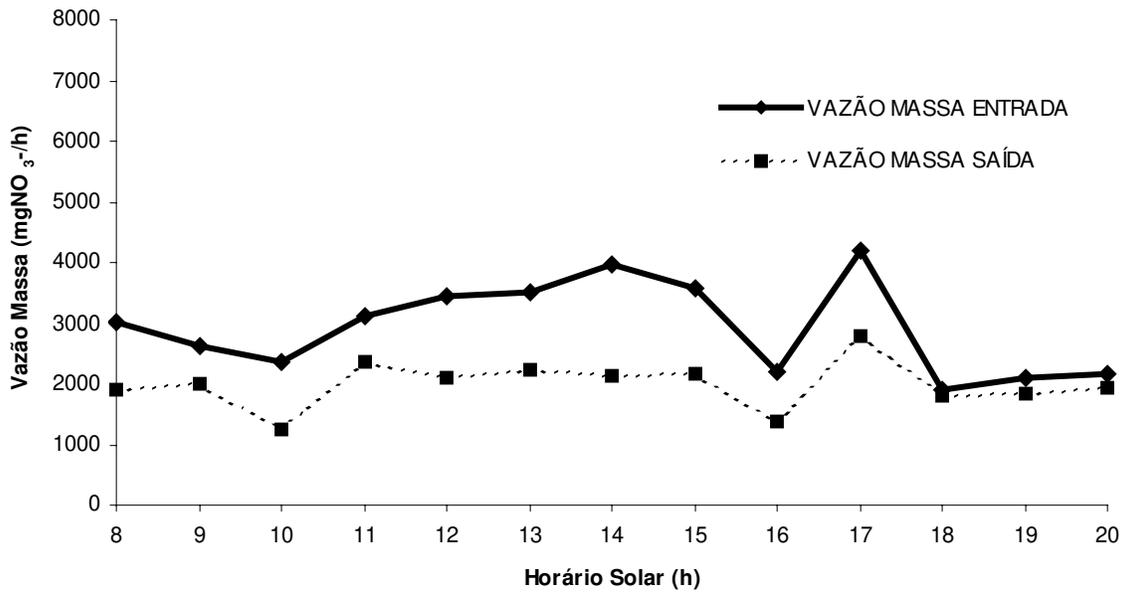
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 16/05/2002



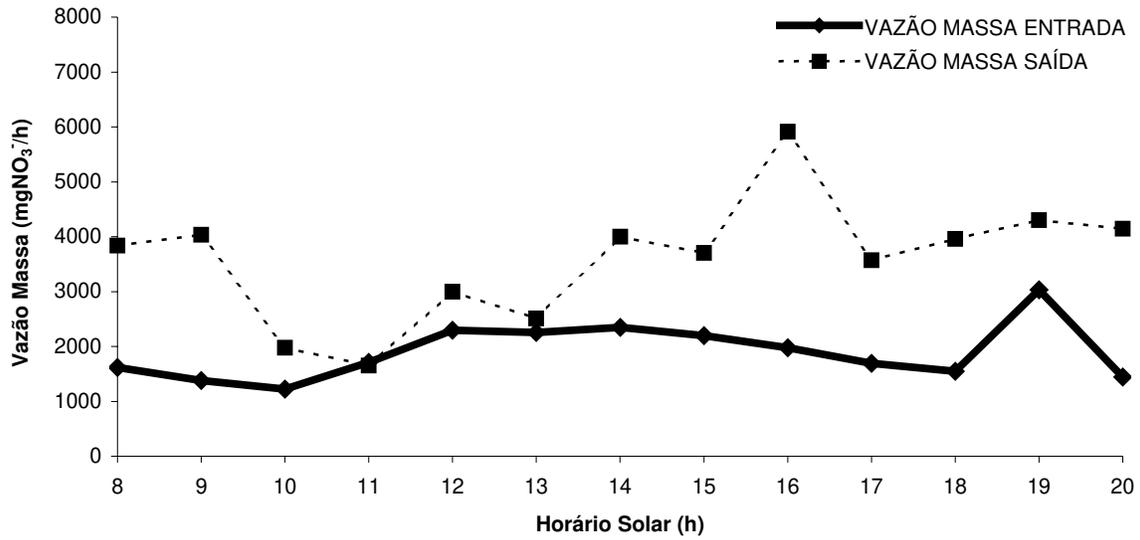
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 17/05/2002



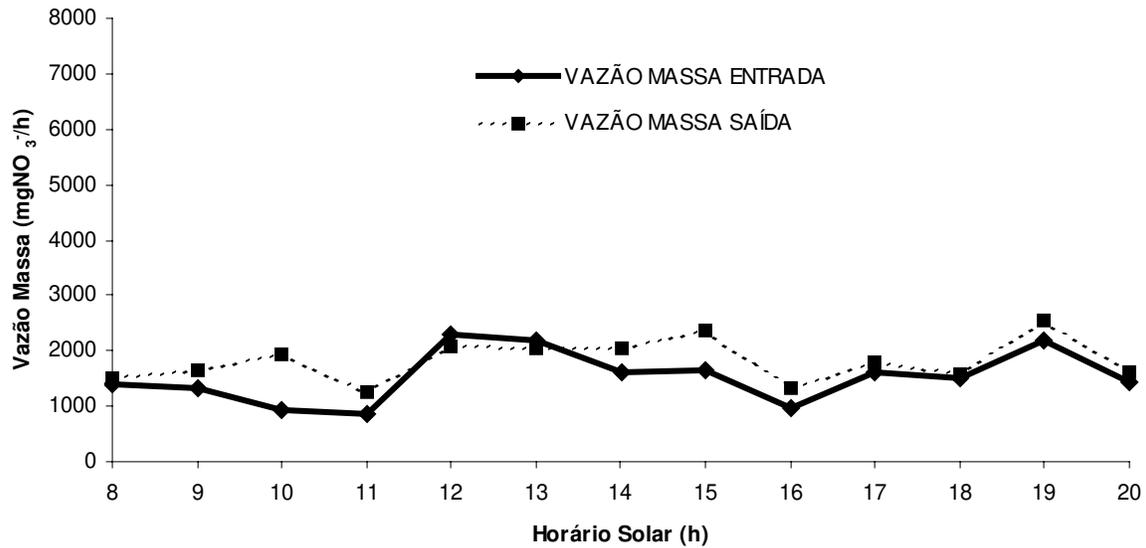
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 17/05/2002



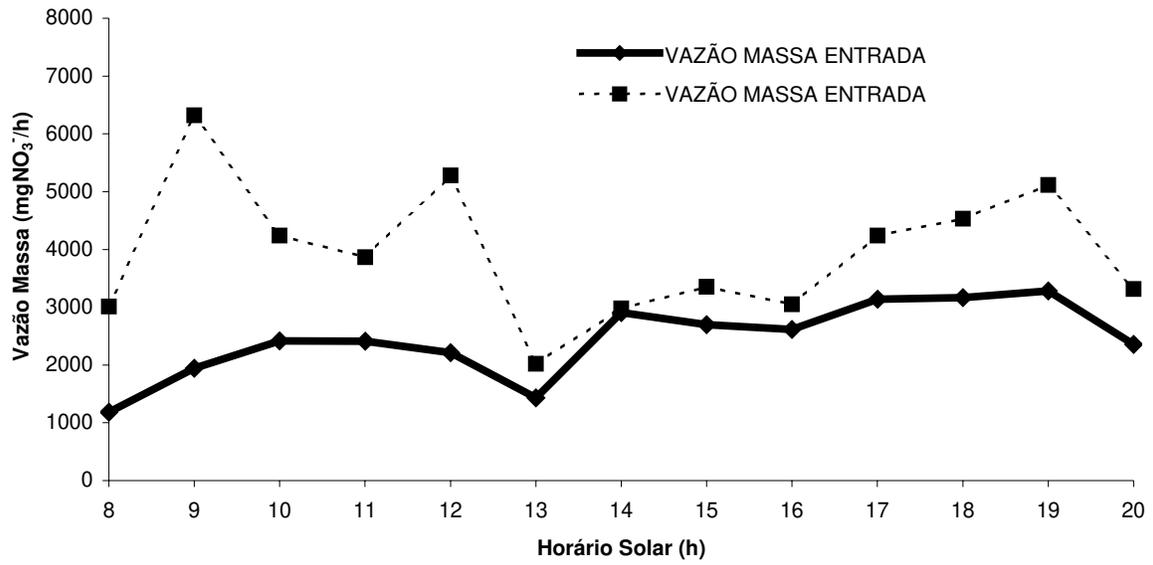
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 15/07/2002



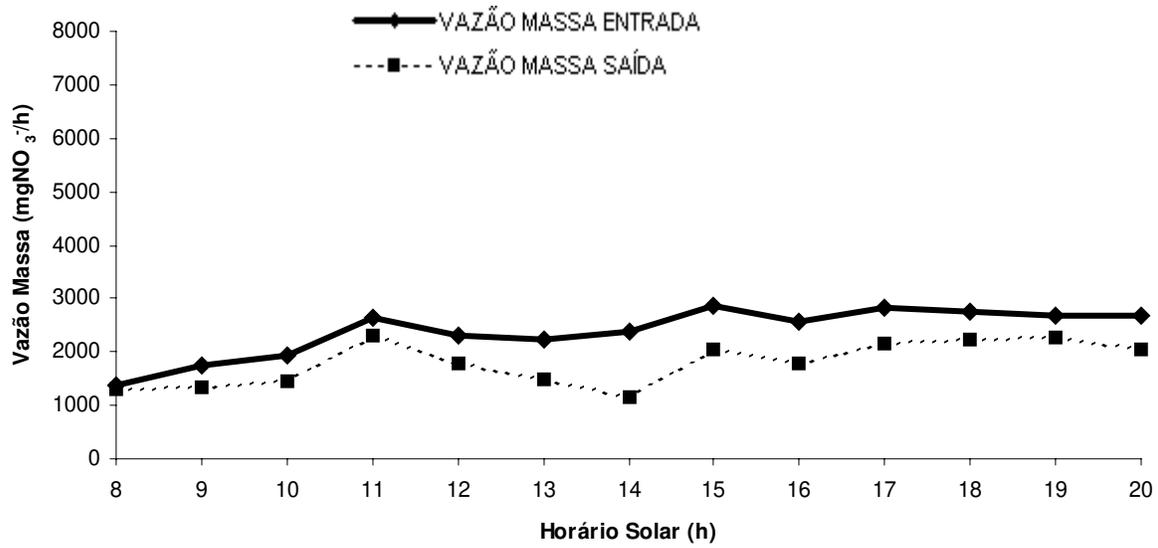
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 15/07/2002



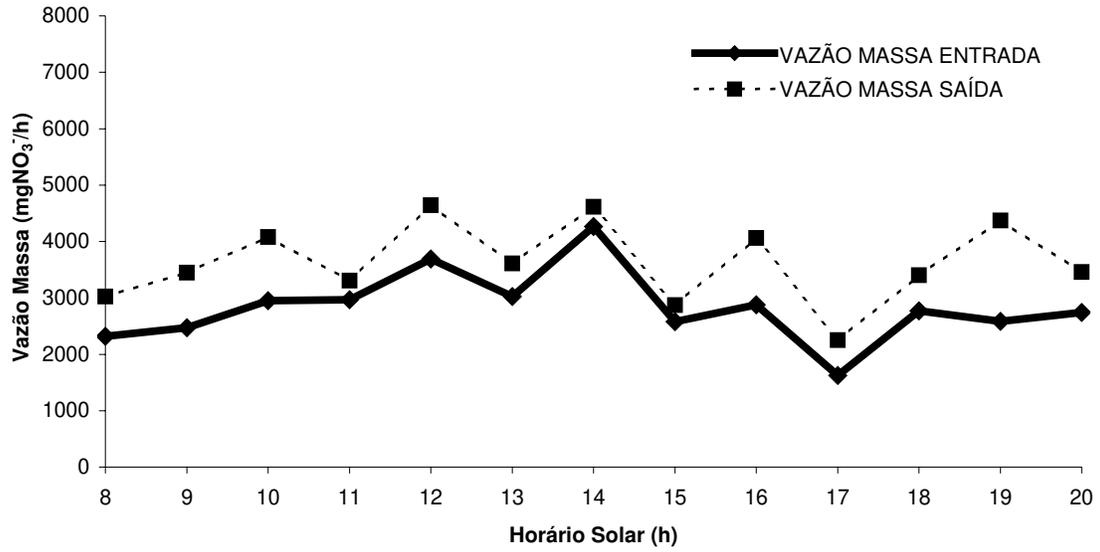
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 16/07/2002



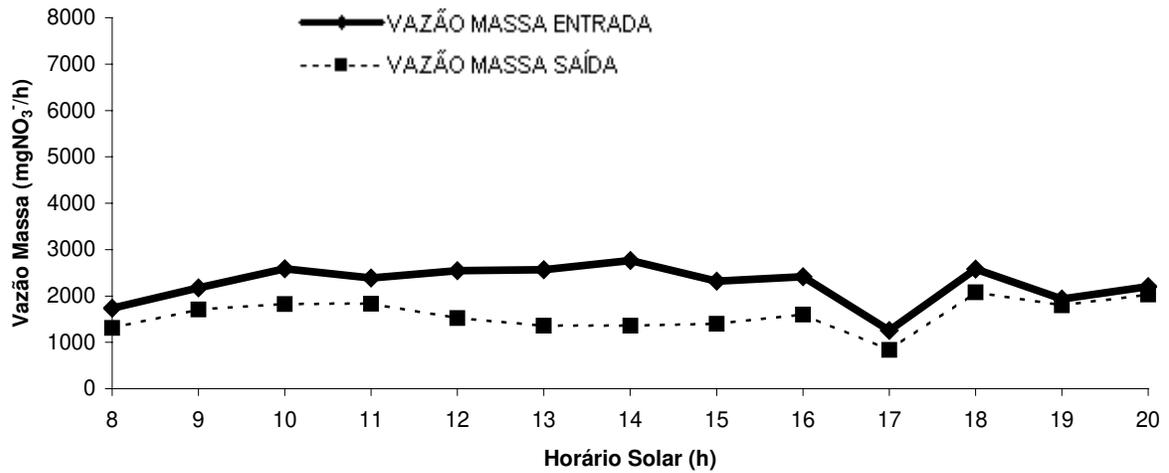
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 16/07/2002



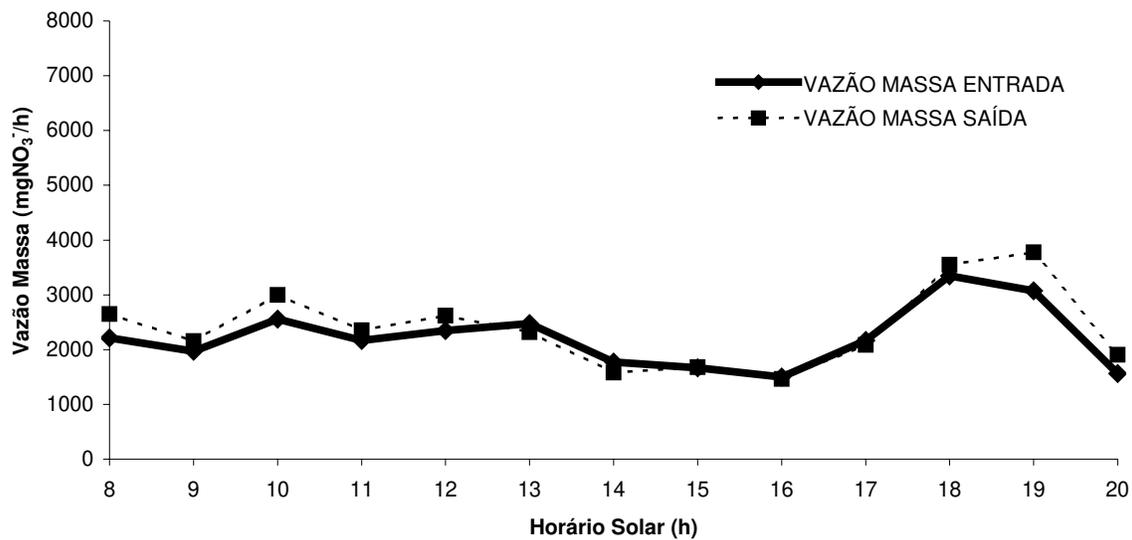
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 17/07/2002



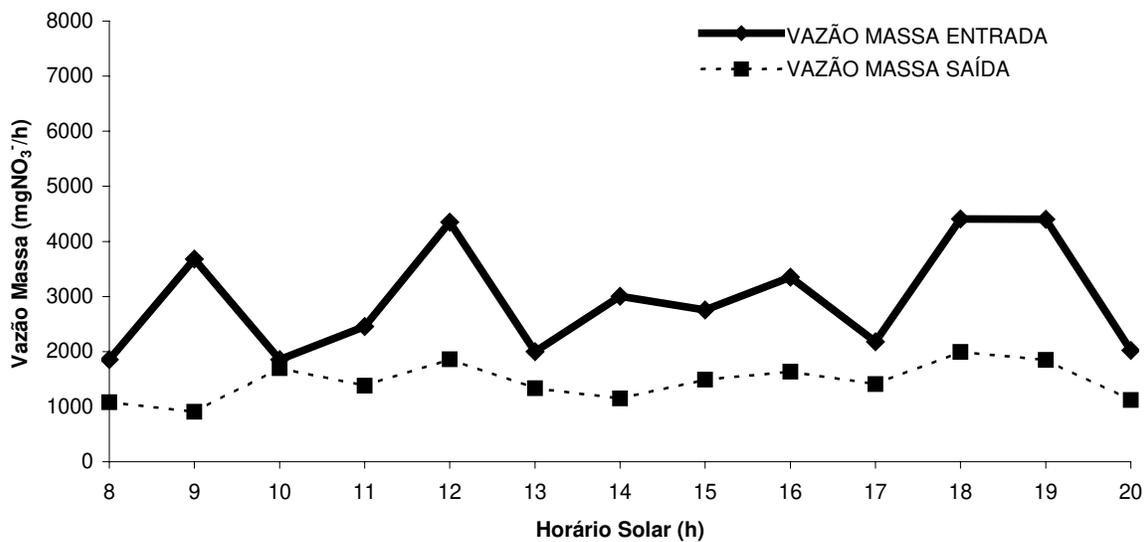
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 17/07/2002



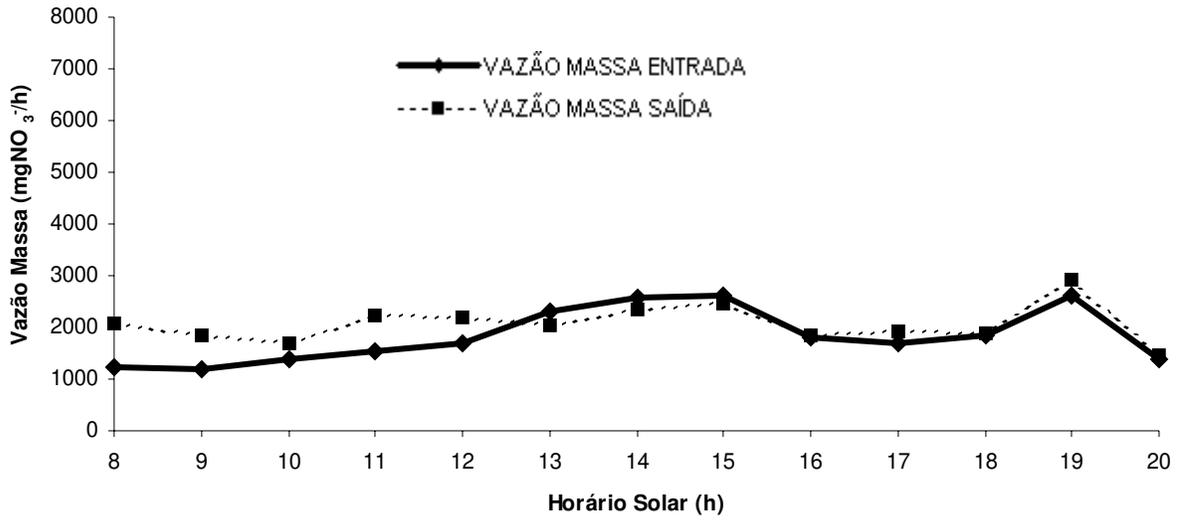
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002



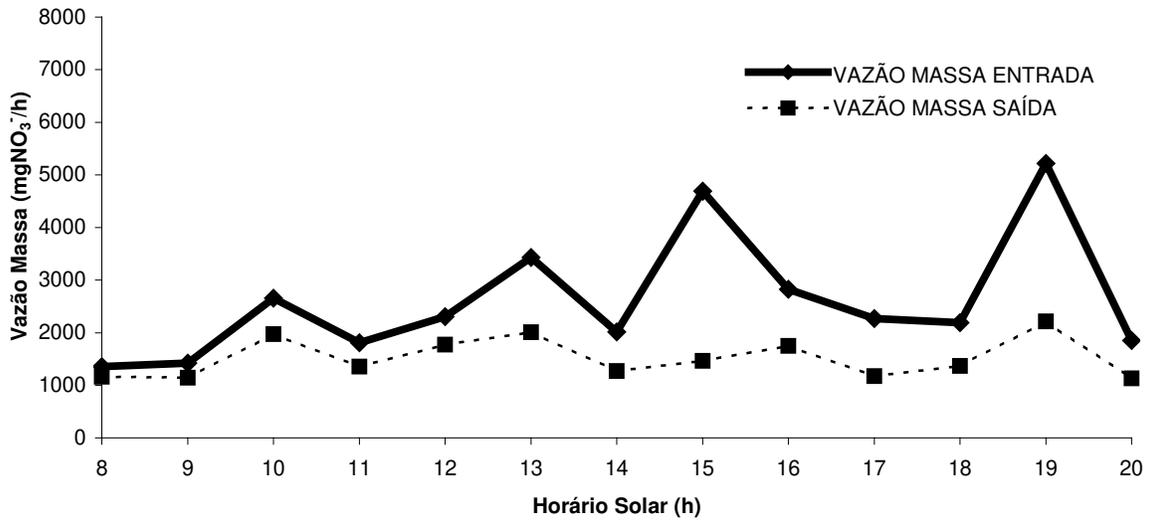
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 18/07/2002



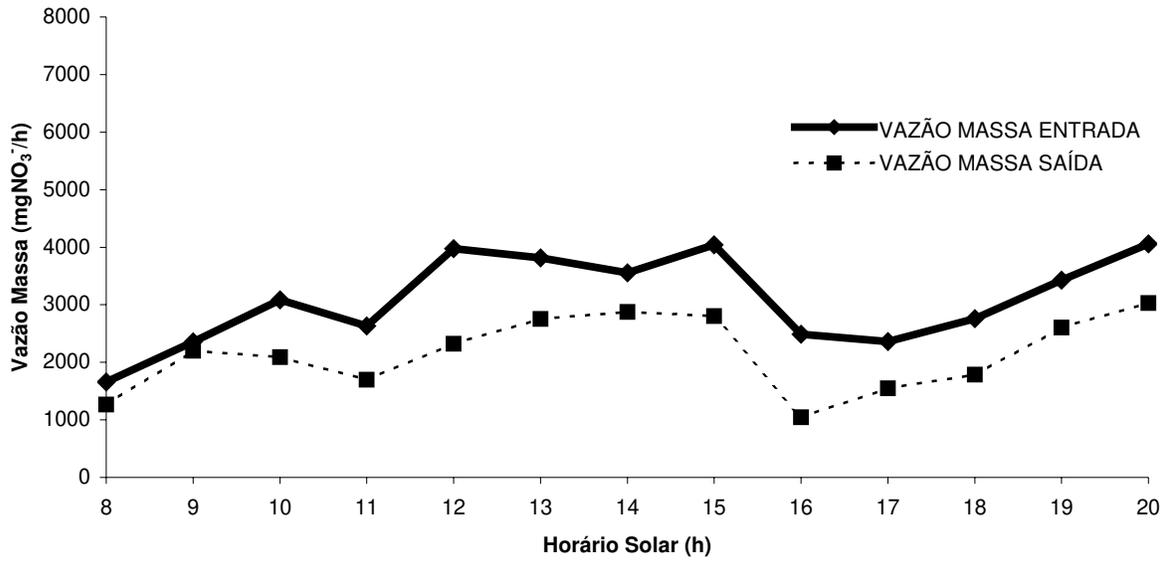
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 19/07/2002



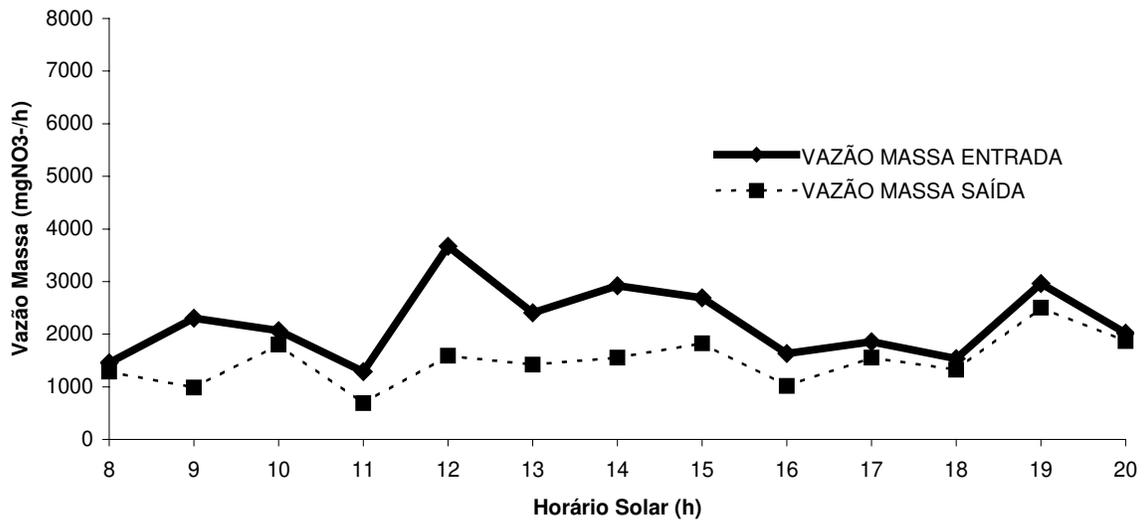
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 19/07/2002



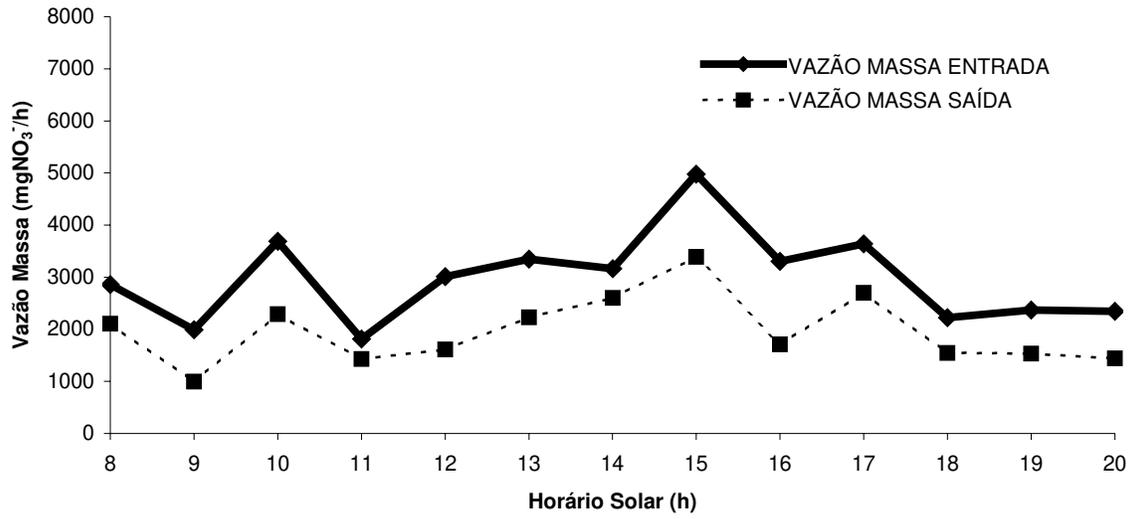
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 30/09/2002



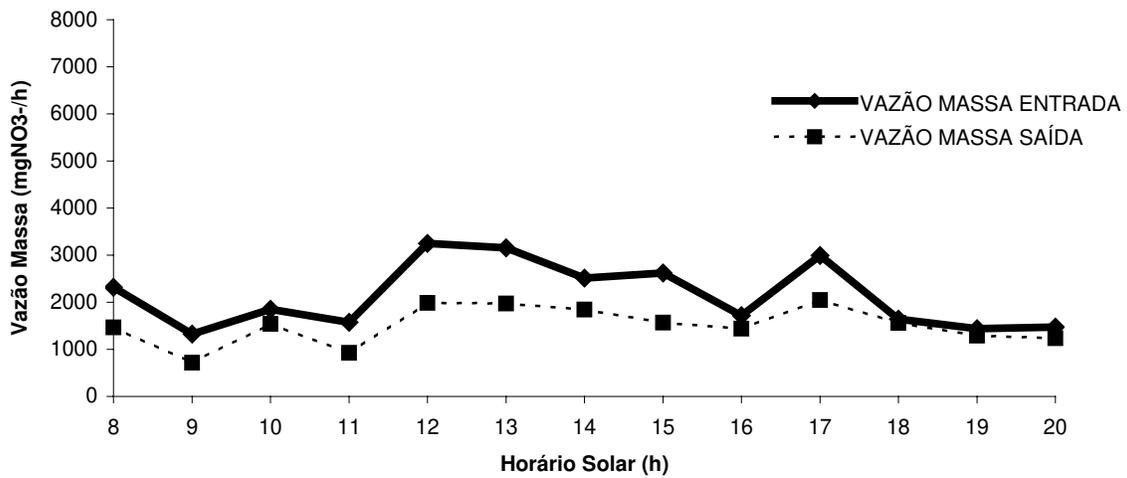
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 30/09/2002



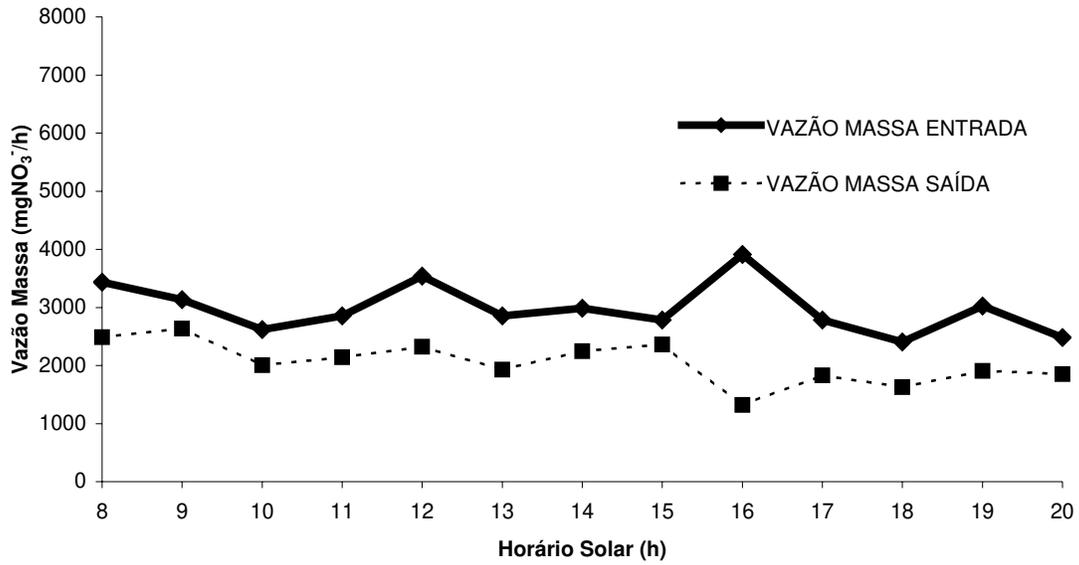
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 01/10/2002



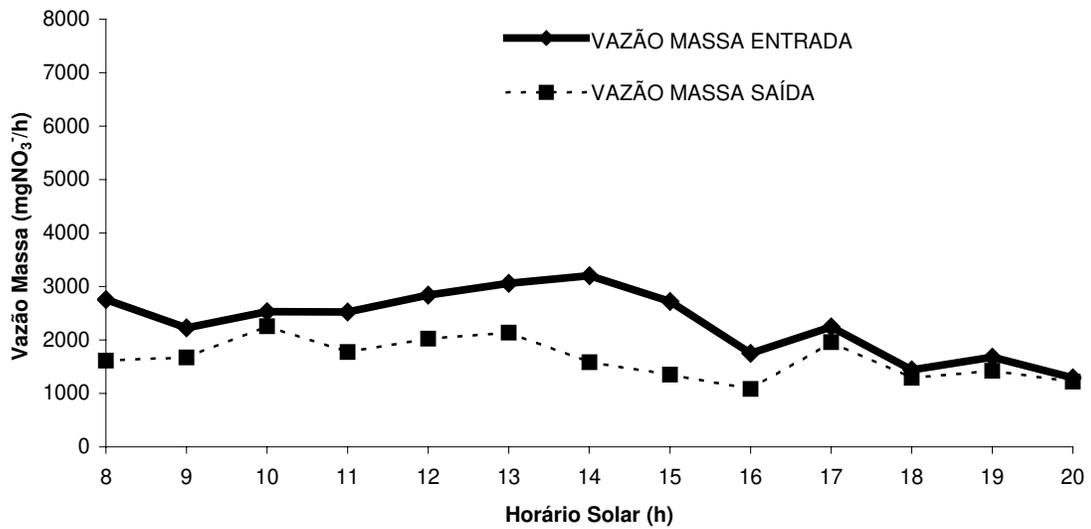
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 01/10/2002



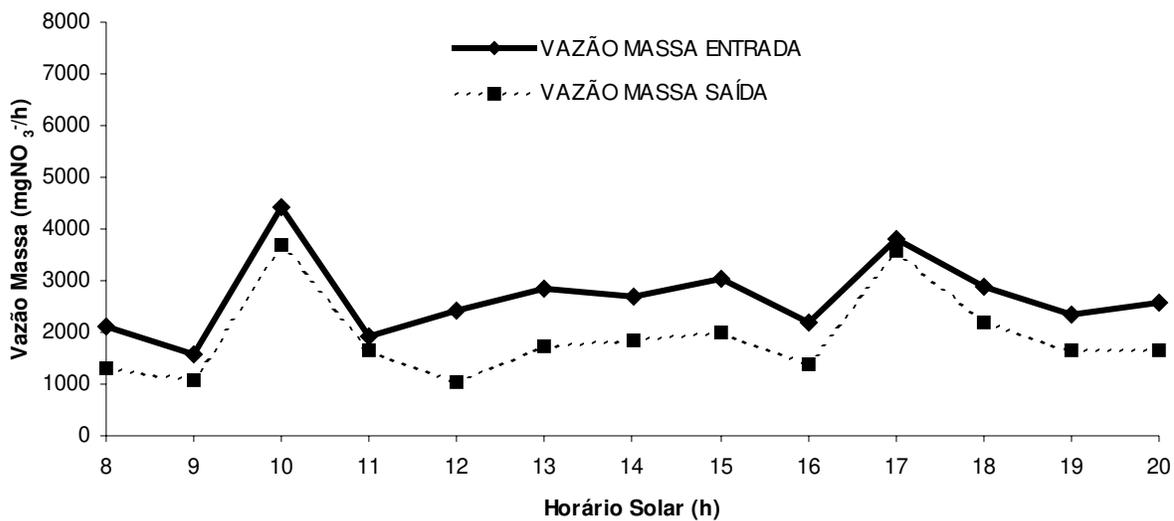
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 02/10/2002



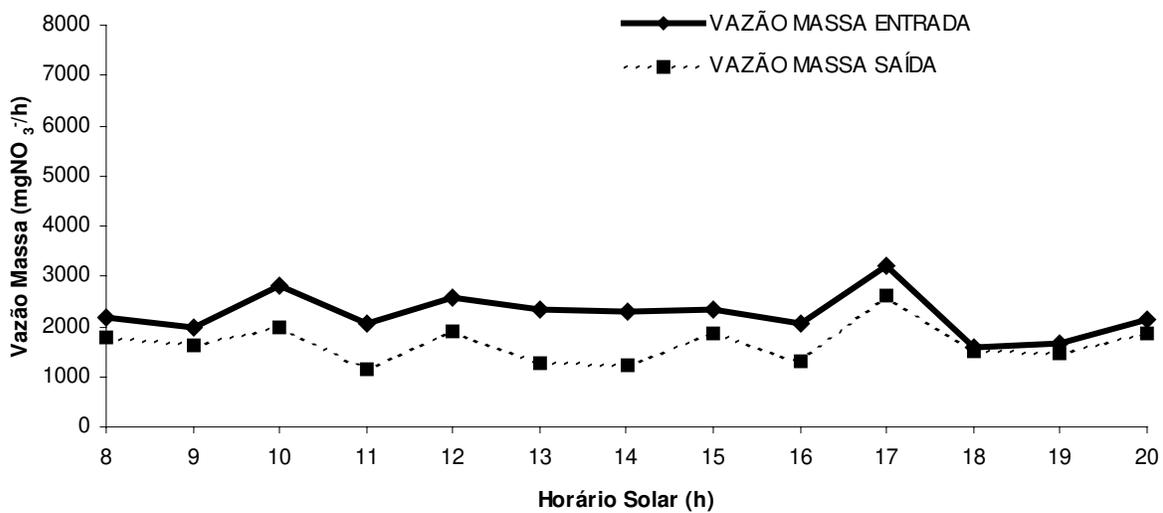
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 02/10/2002



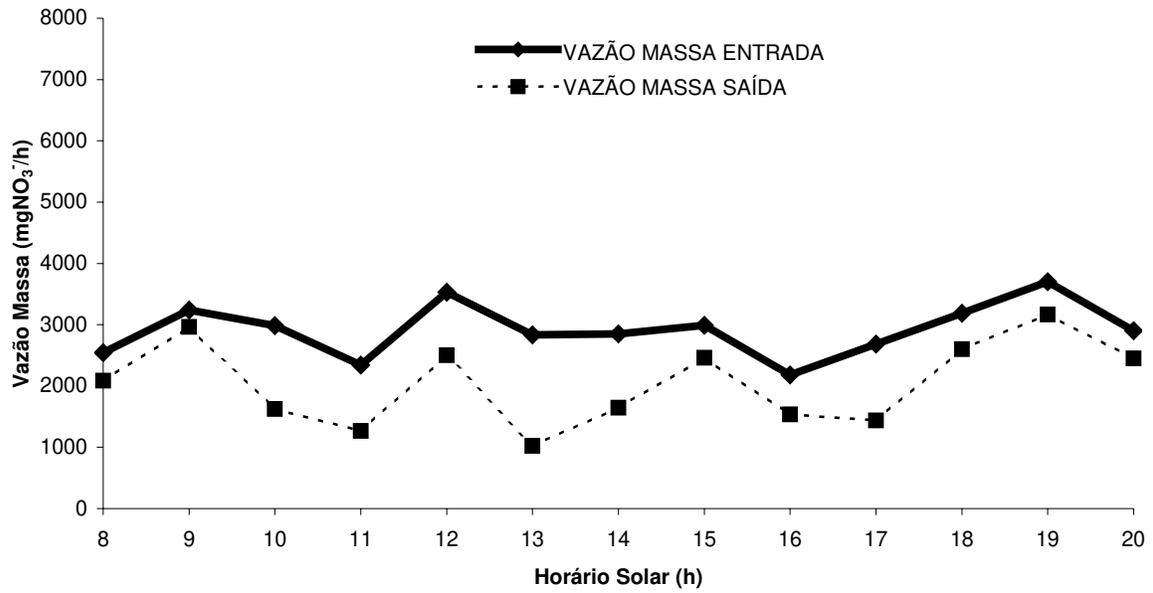
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 03/10/2002



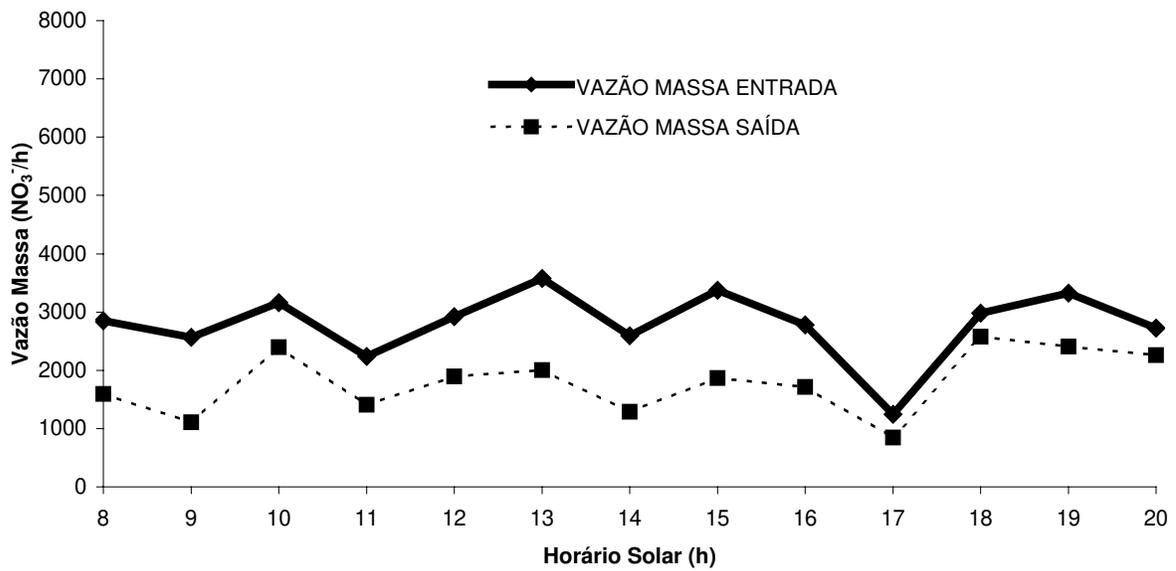
VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 03/10/2002



VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 1 PARA O DIA 04/10/2002

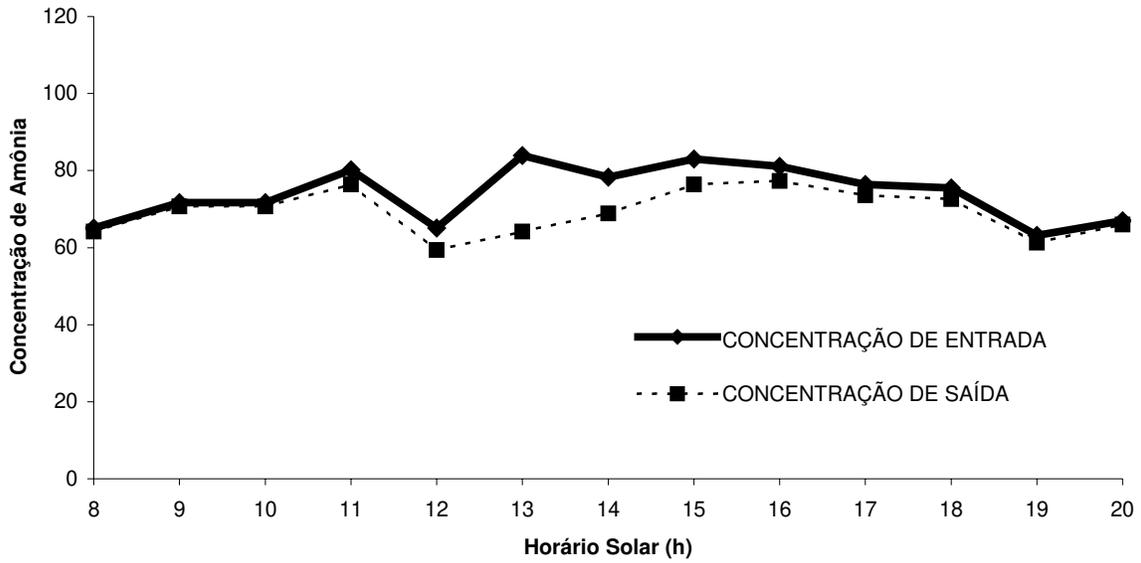


VAZÃO MASSA DE NITRATO NO LEITO 2 PARA O DIA 04/10/2002

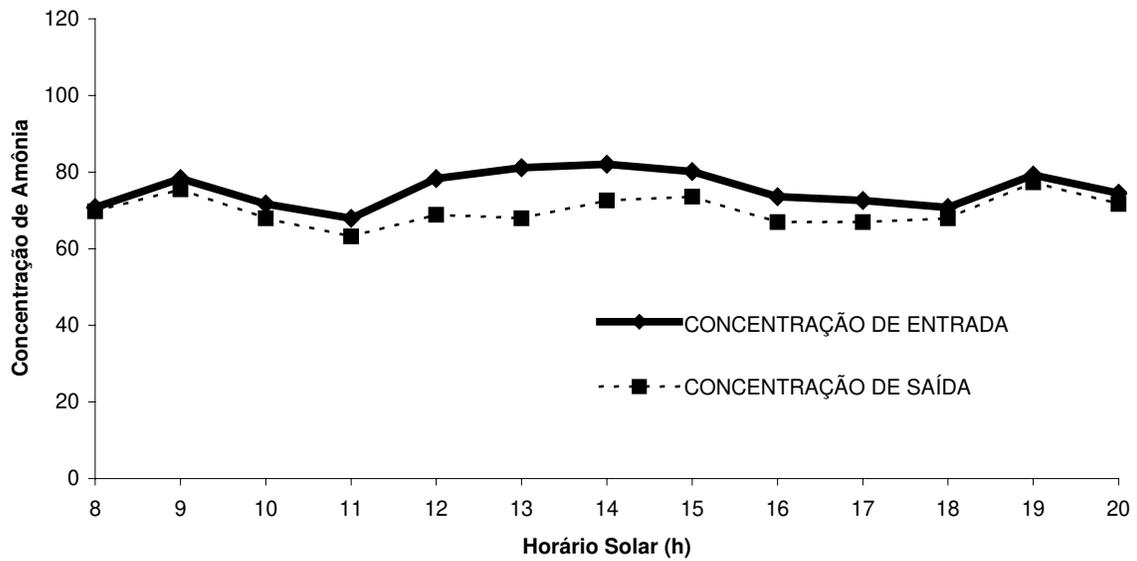


**A7-CONCENTRAÇÕES DE ENTRADA E SAÍDA DE AMÔNIA NOS LEITOS
CULTIVADOS**

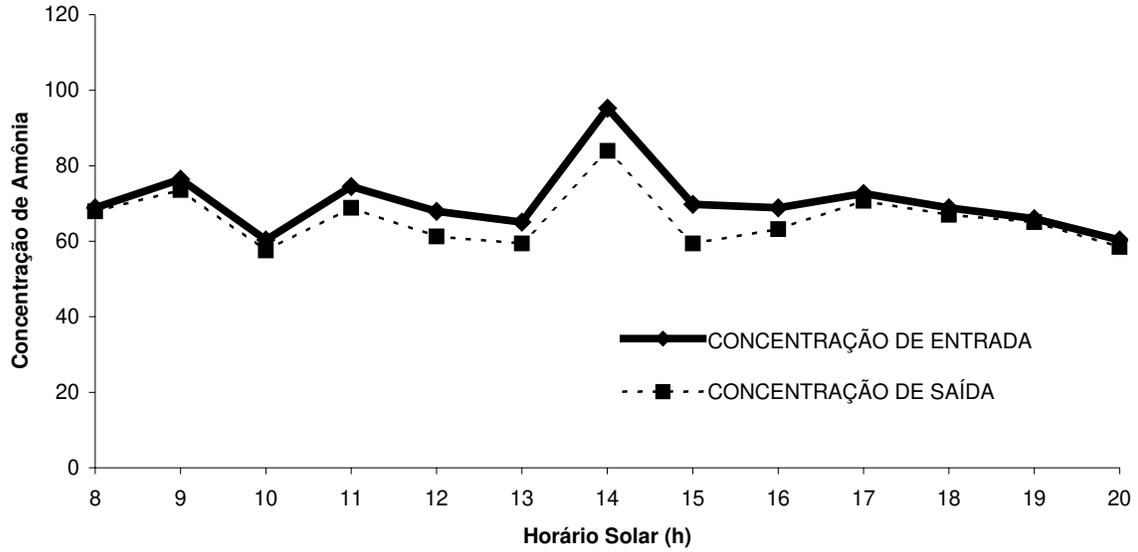
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 13/05/2002



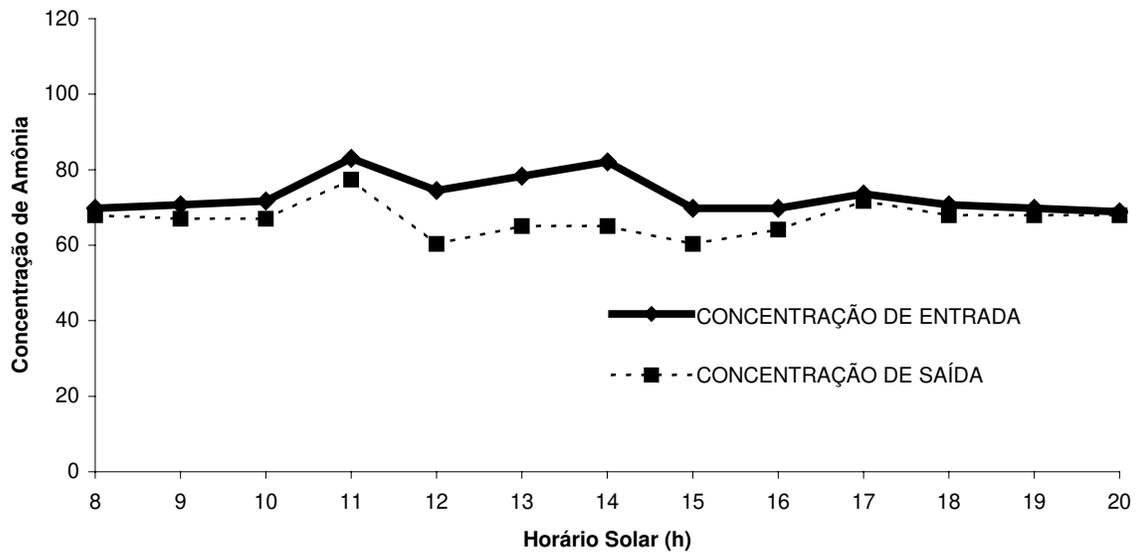
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 13/05/2002



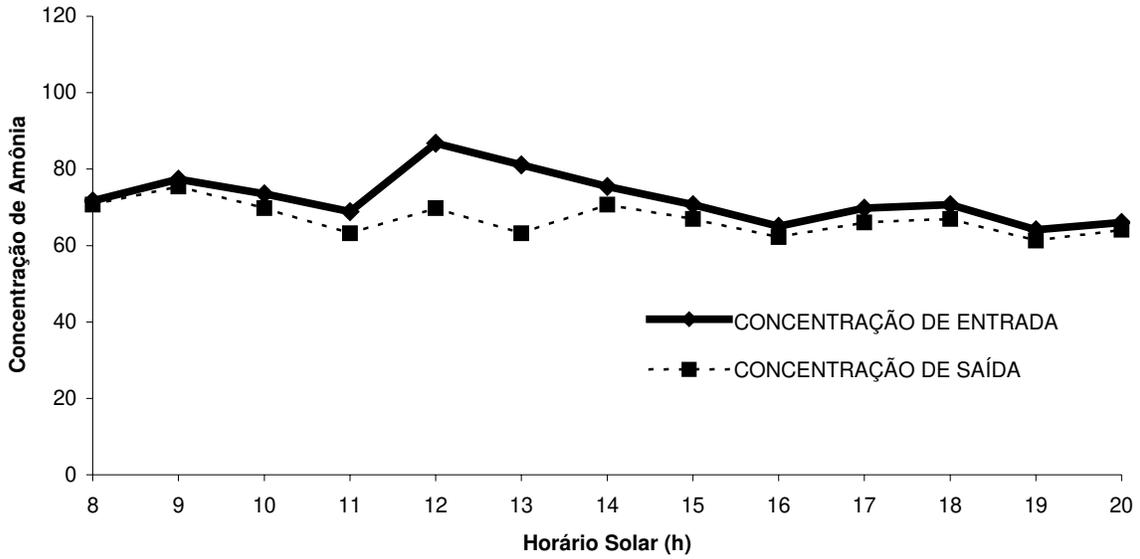
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA
14/05/2002



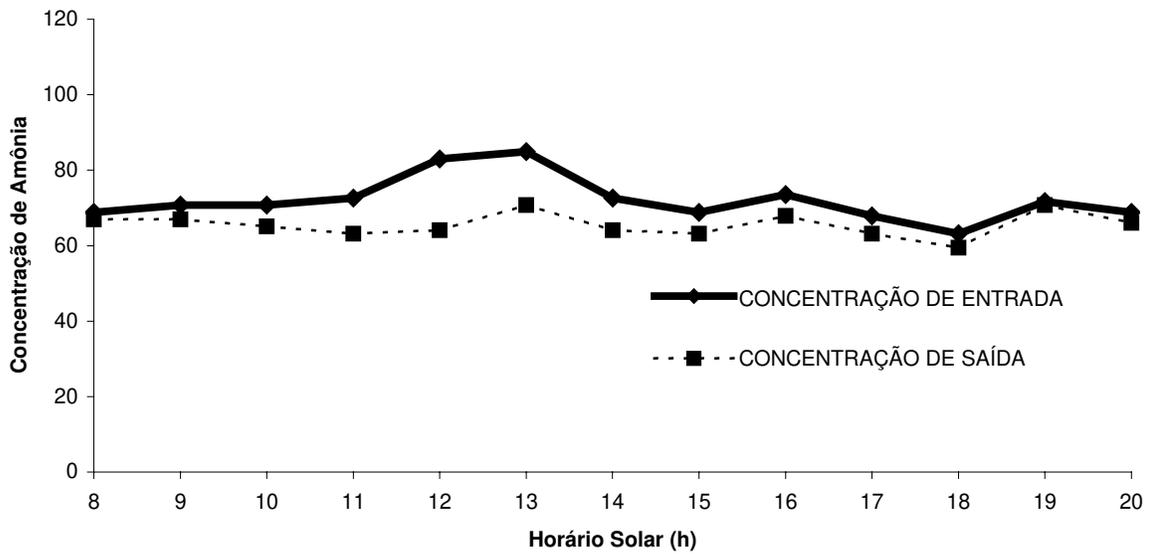
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA
14/05/2002



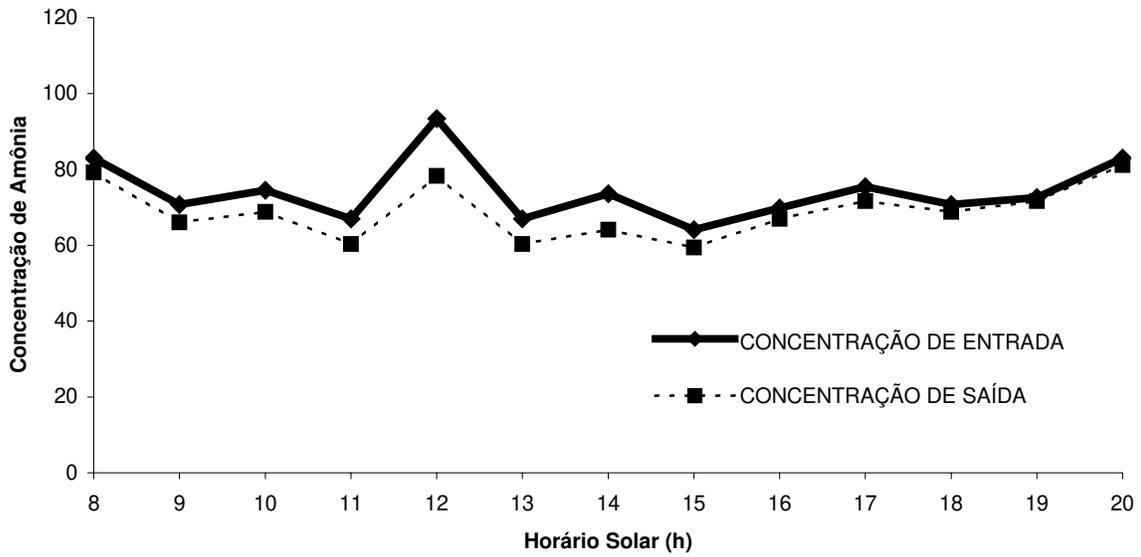
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 15/05/2002



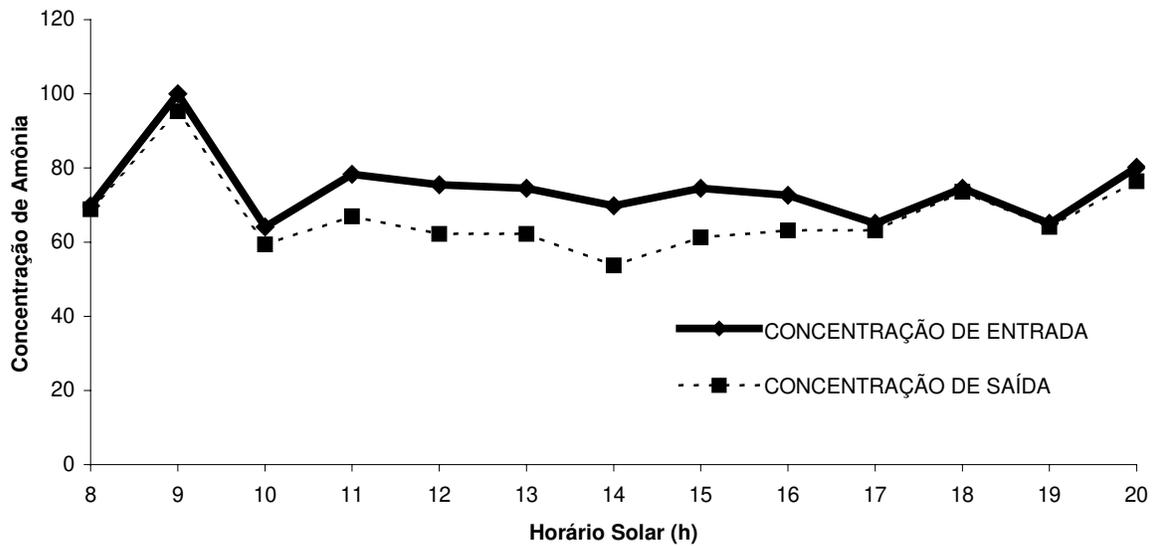
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 15/05/2002



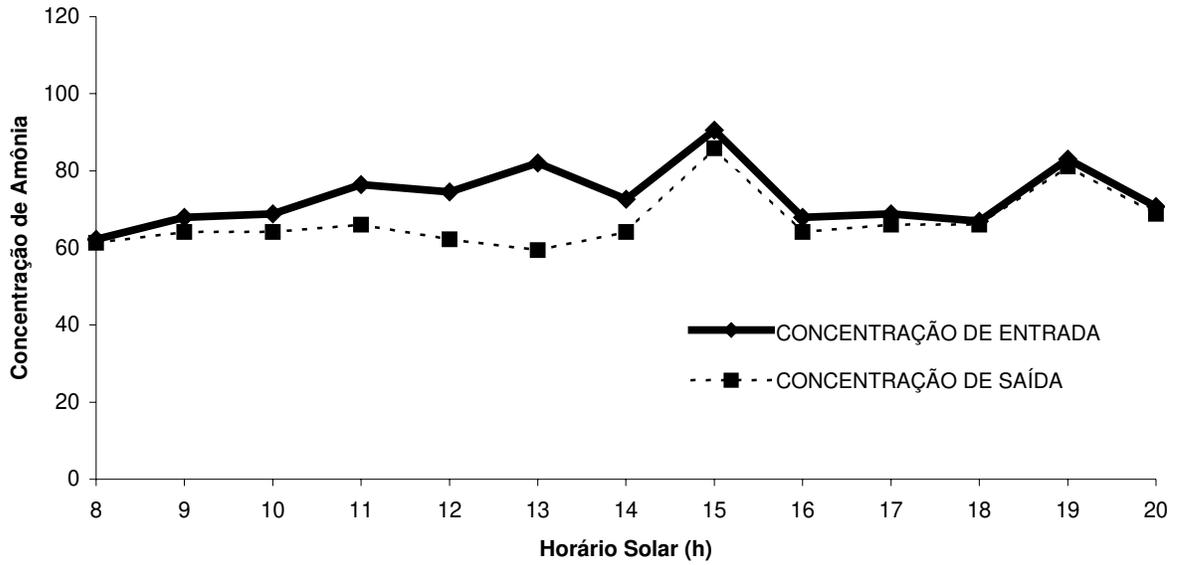
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 16/05/2002



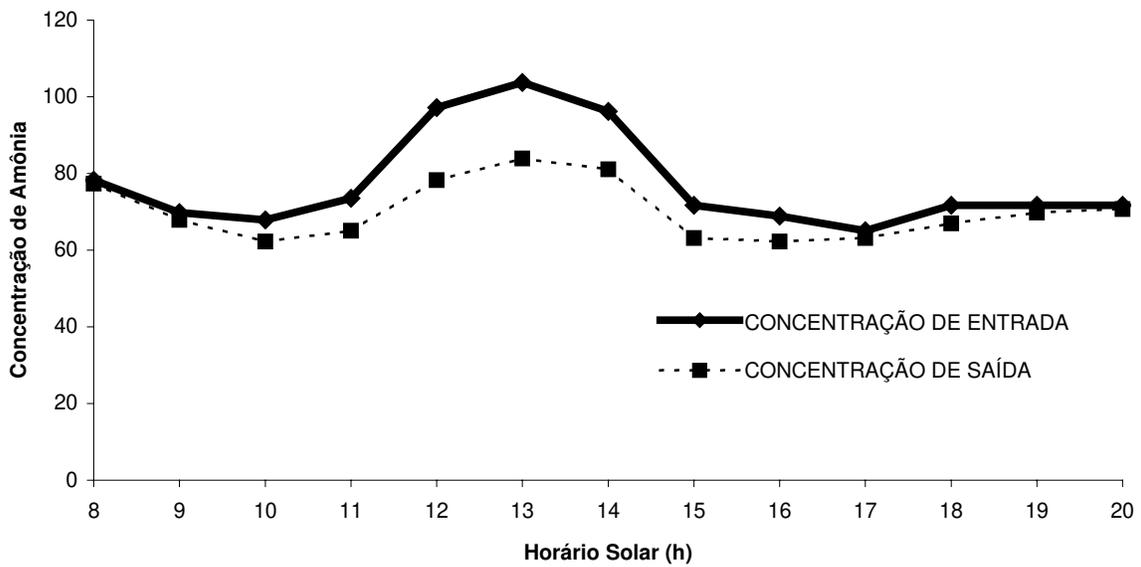
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 16/05/2002



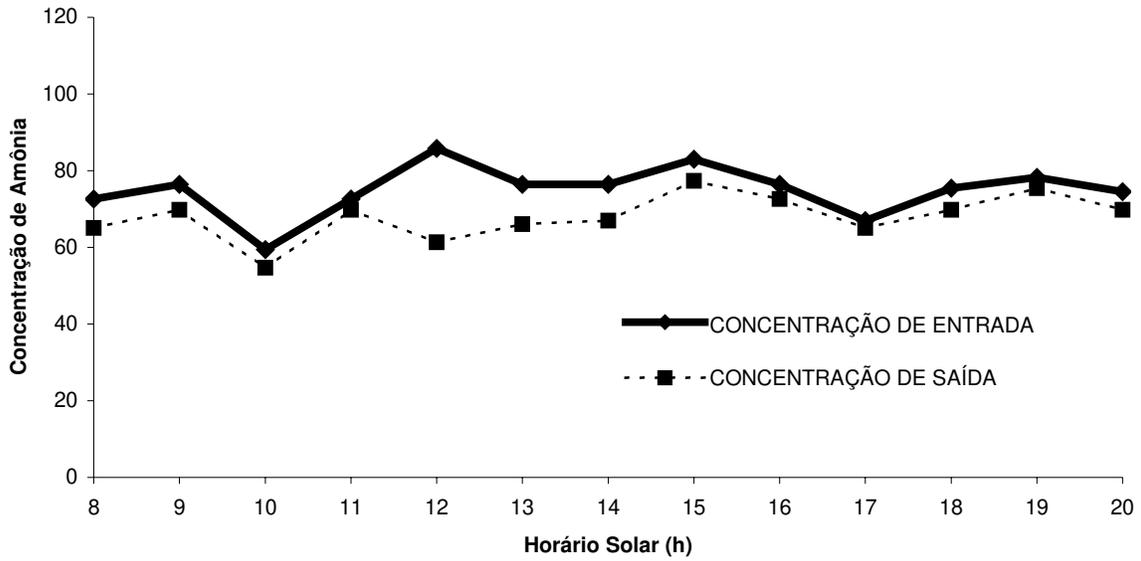
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 17/05/2002



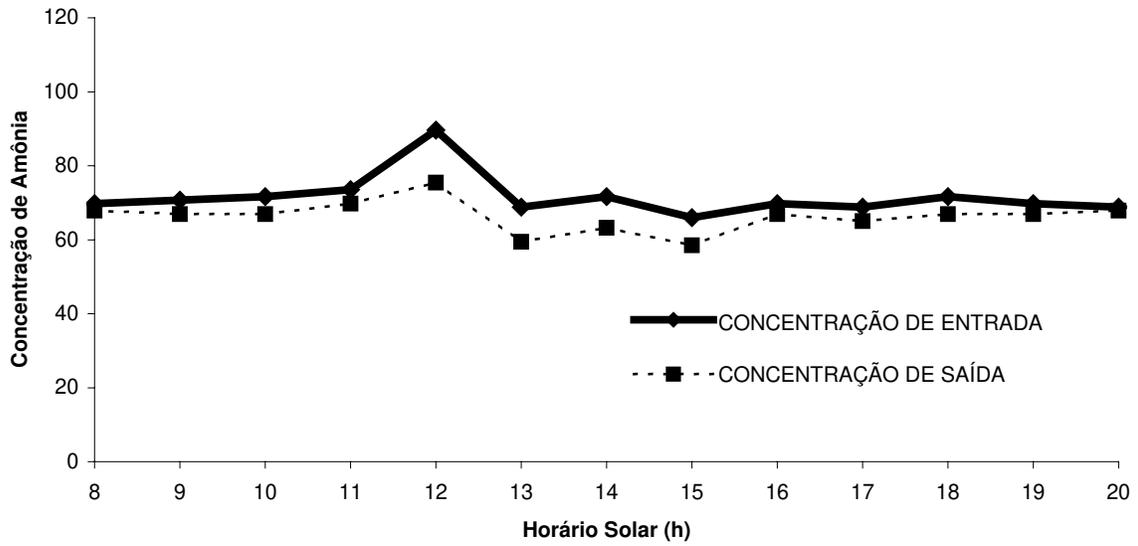
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 17/05/2002



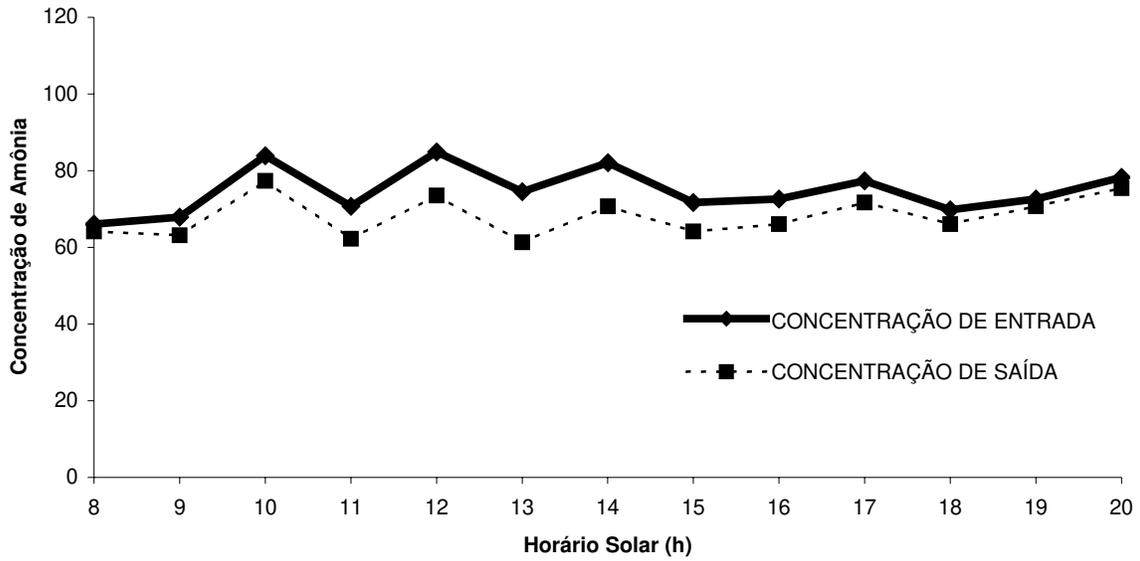
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 15/07/2002



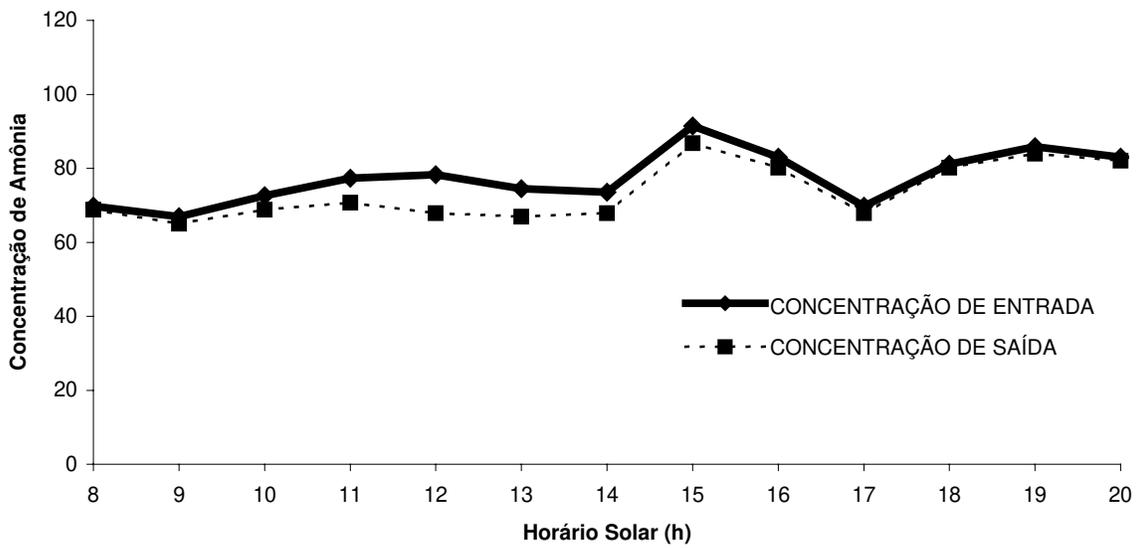
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 15/07/2002



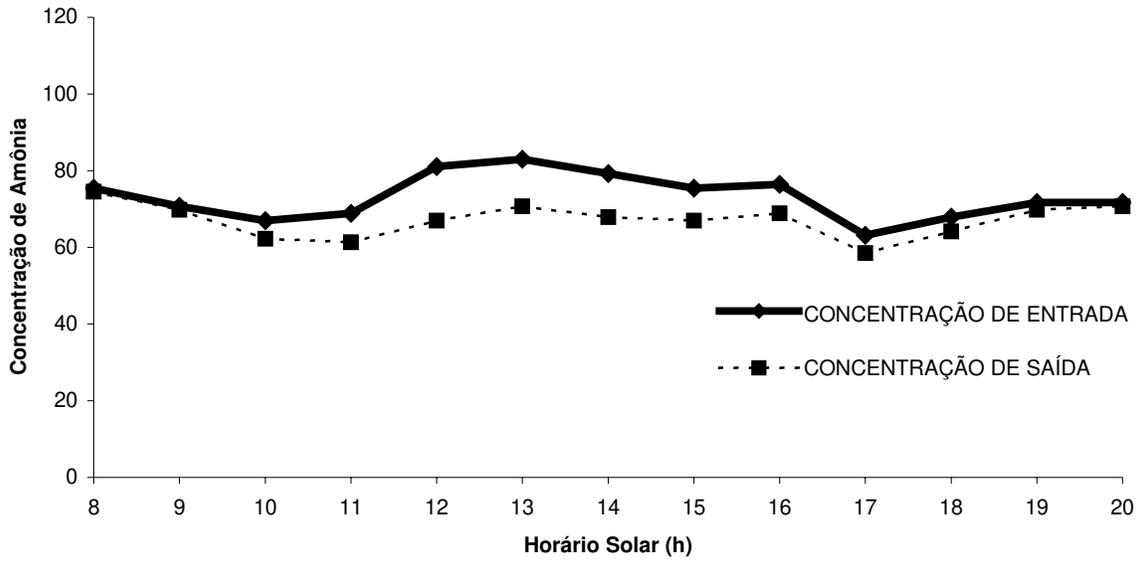
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 16/07/2002



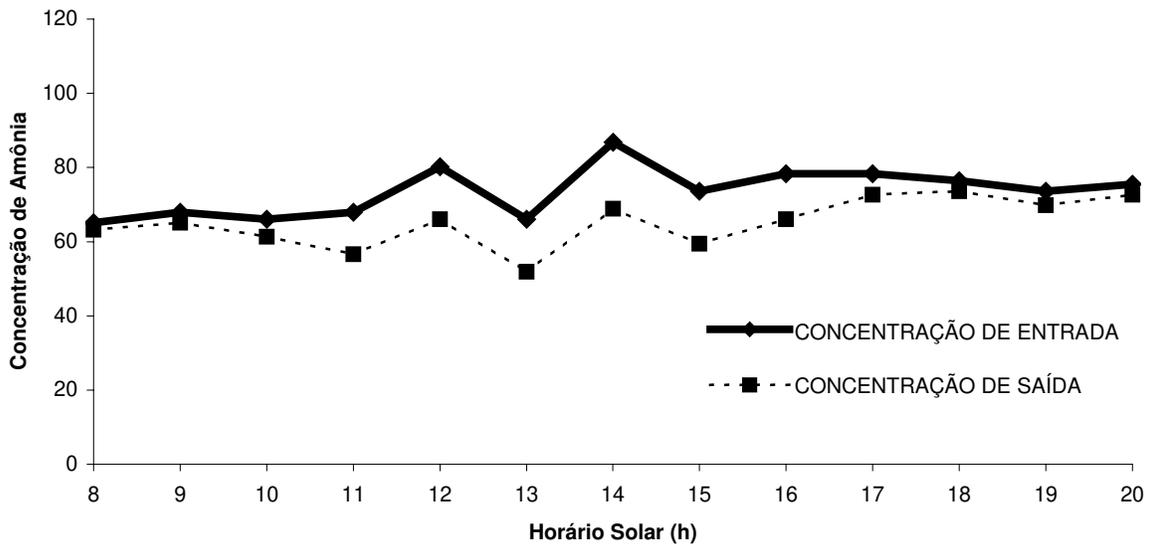
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 16/07/2002



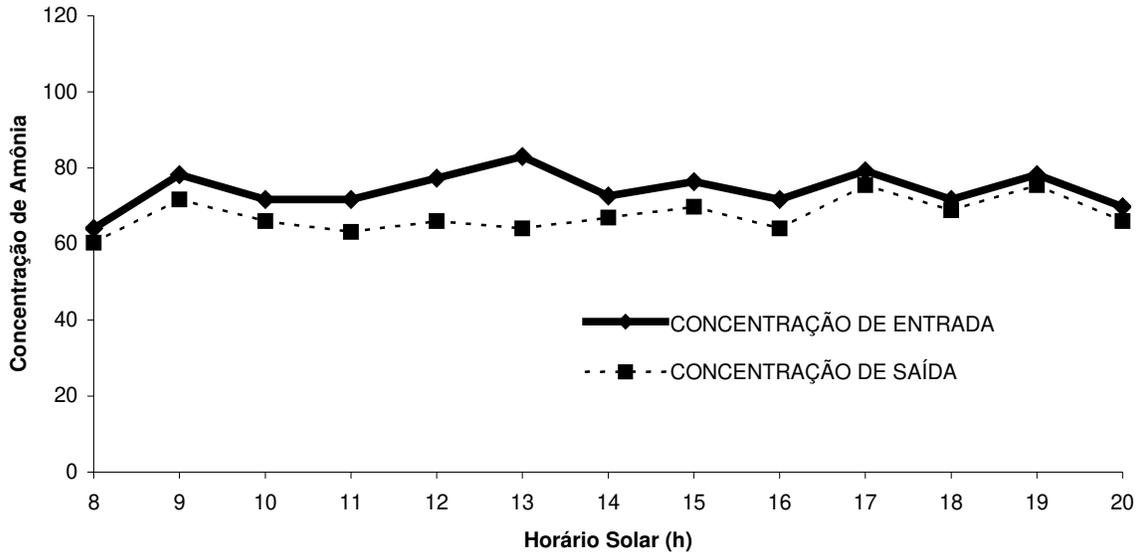
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 17/07/2002



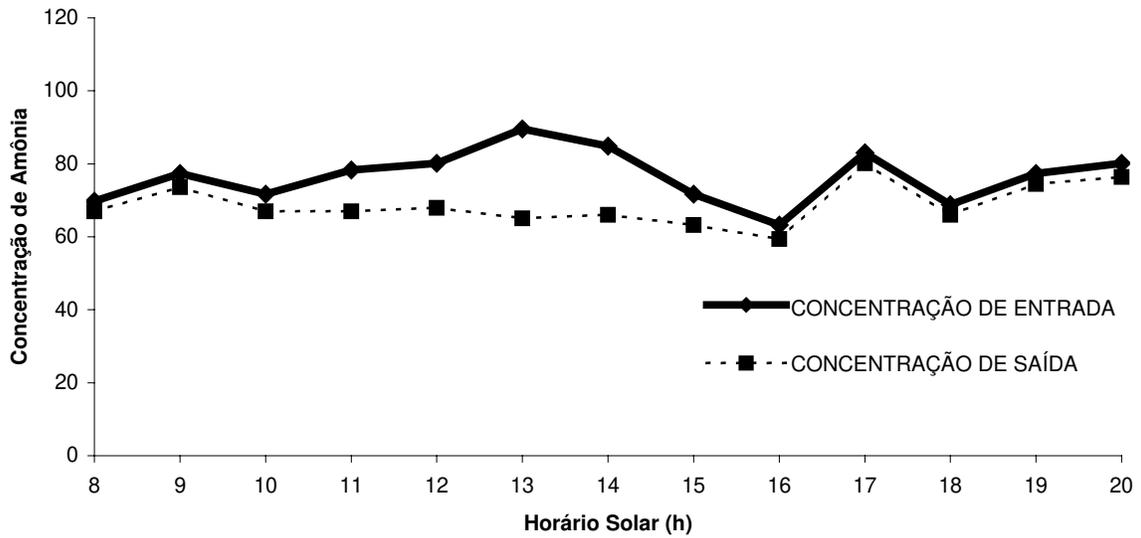
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 17/07/2002



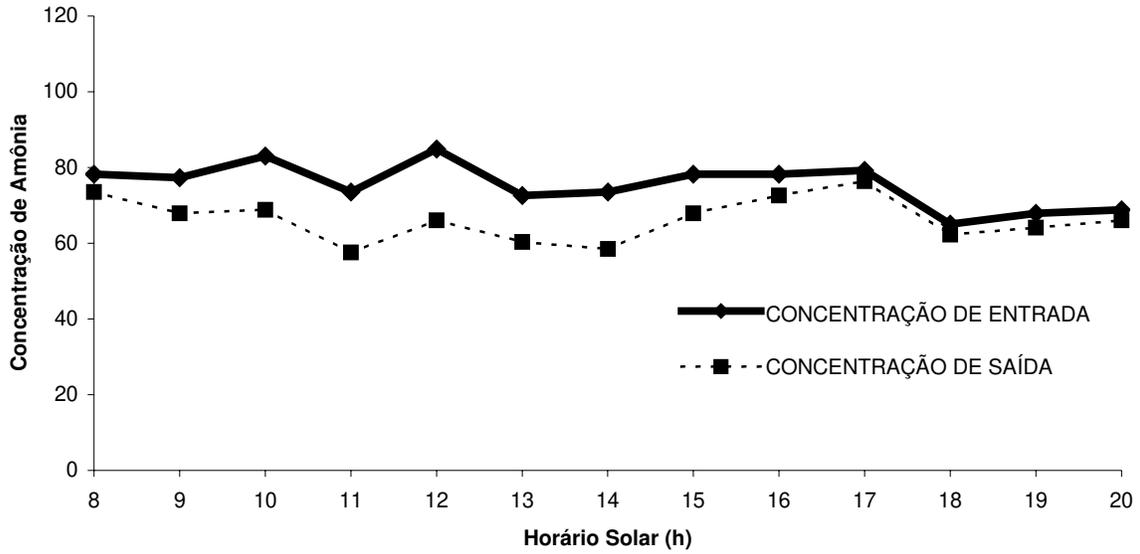
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002



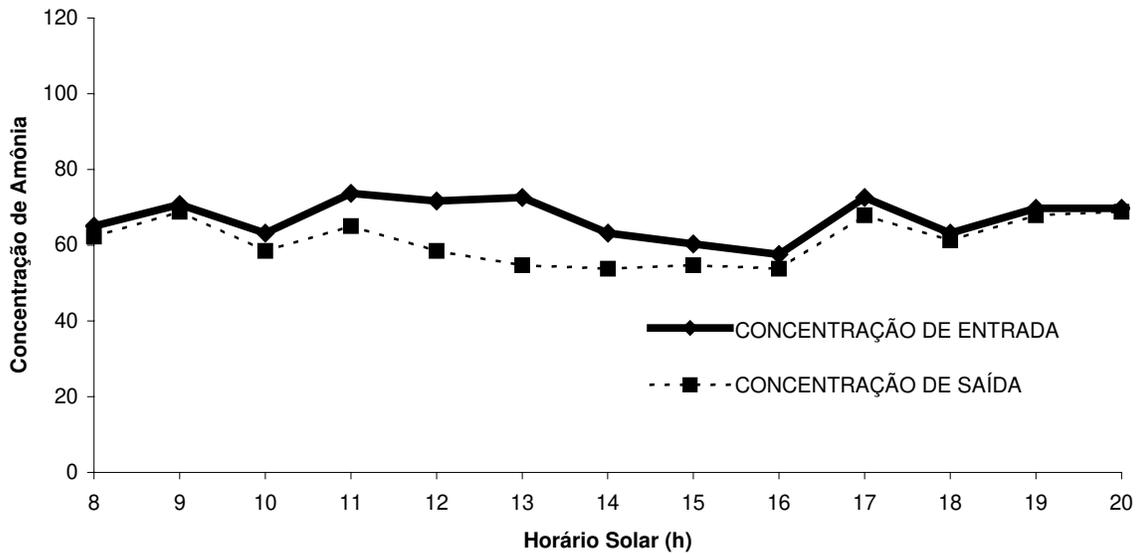
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 18/07/2002



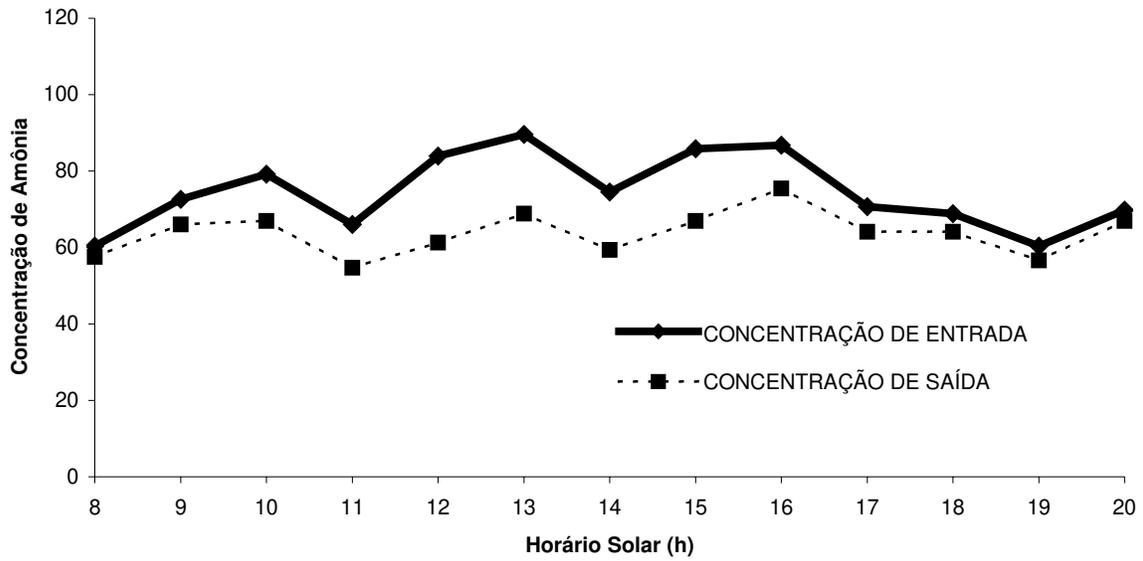
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 19/07/2002



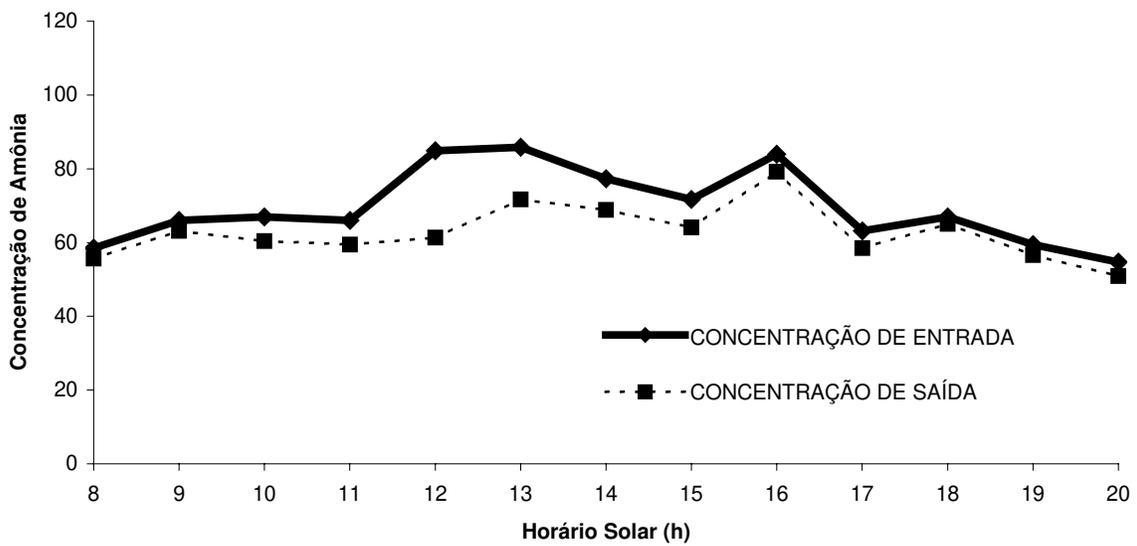
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 19/07/2002



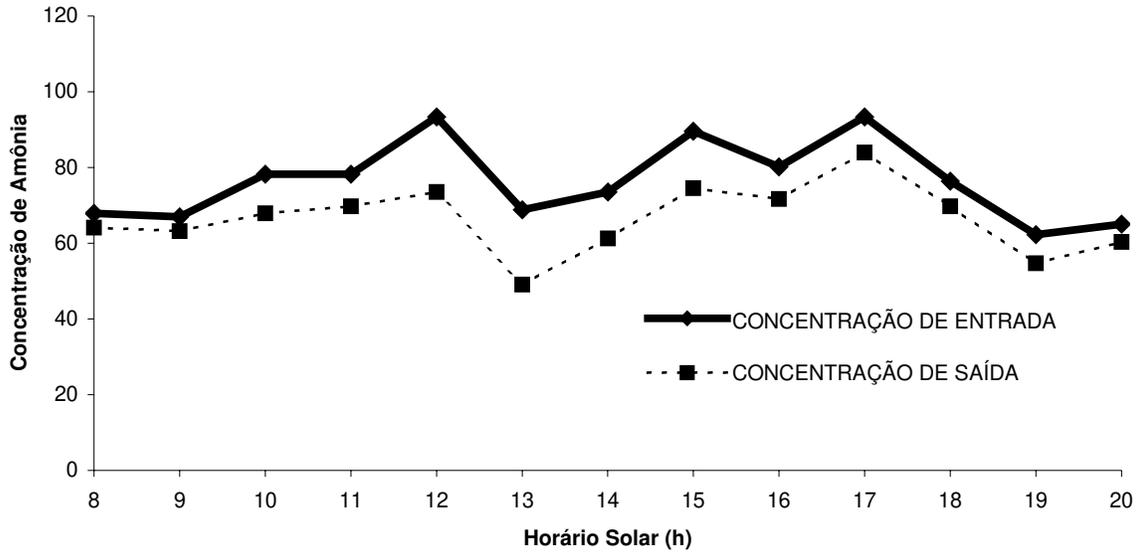
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 30/09/2002



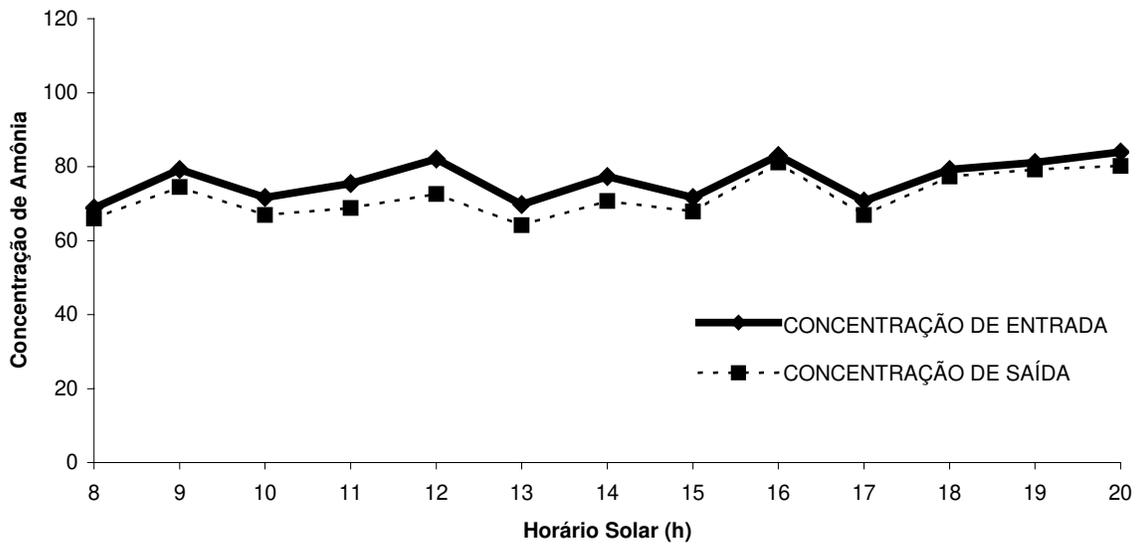
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 30/09/2002



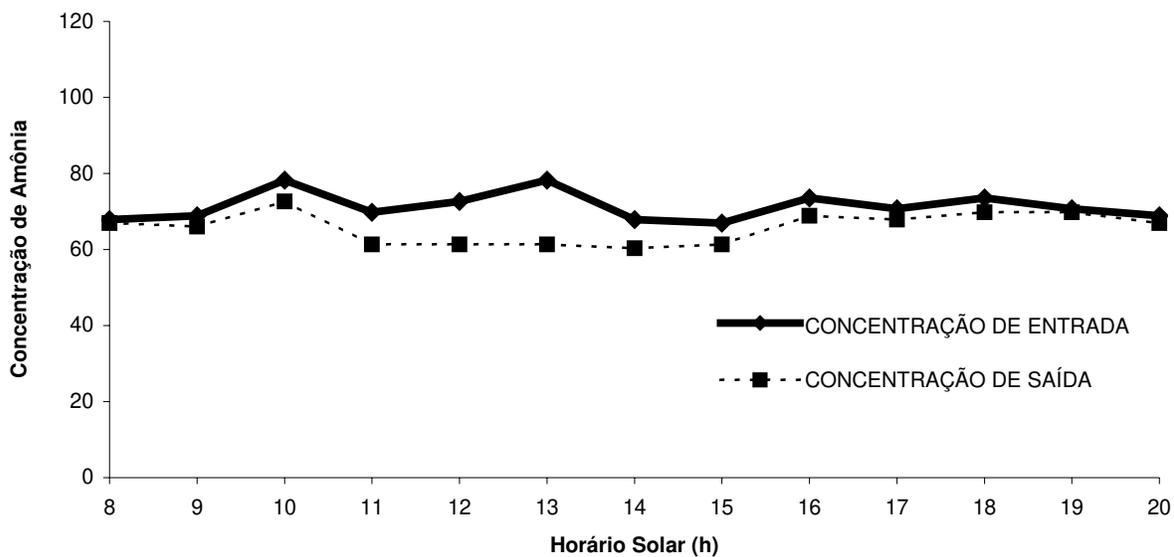
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 01/10/2002



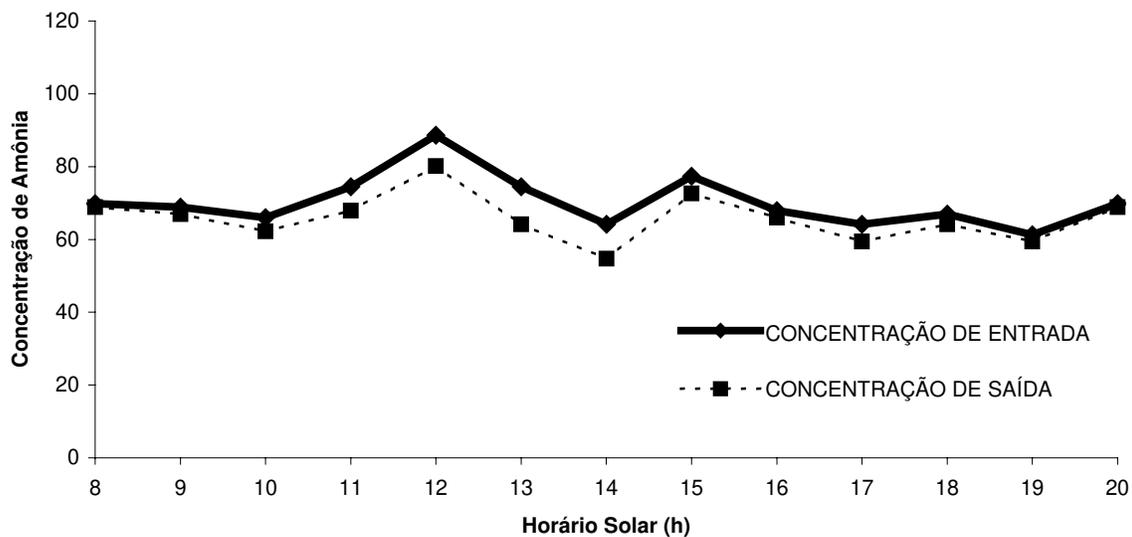
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 01/10/2002



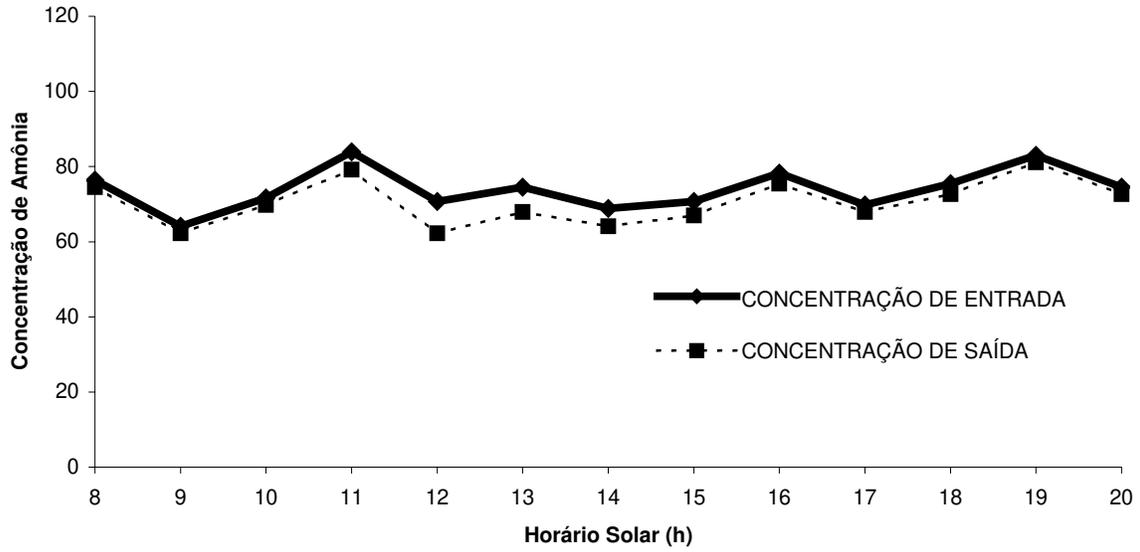
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 02/10/2002



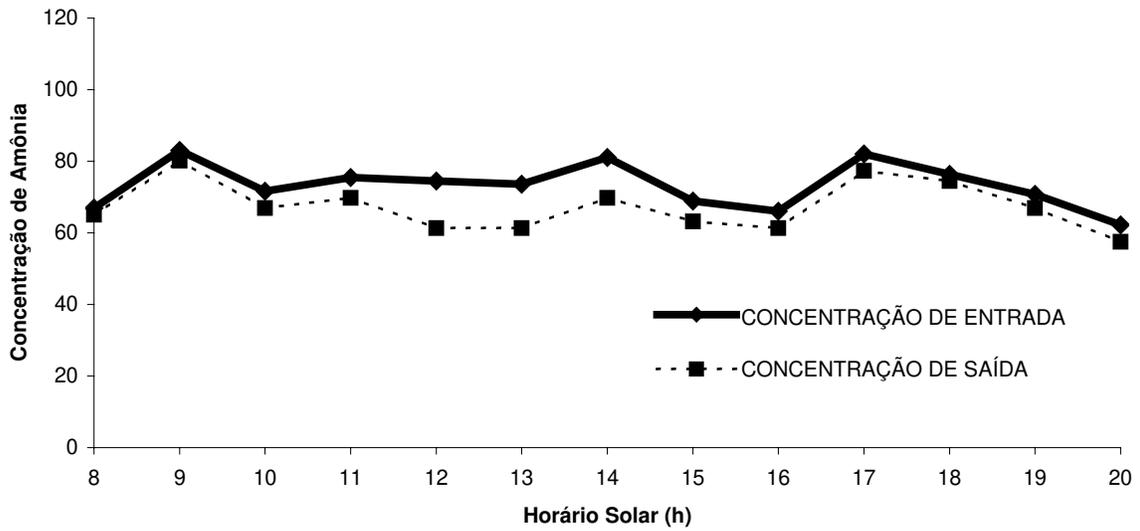
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 02/10/2002



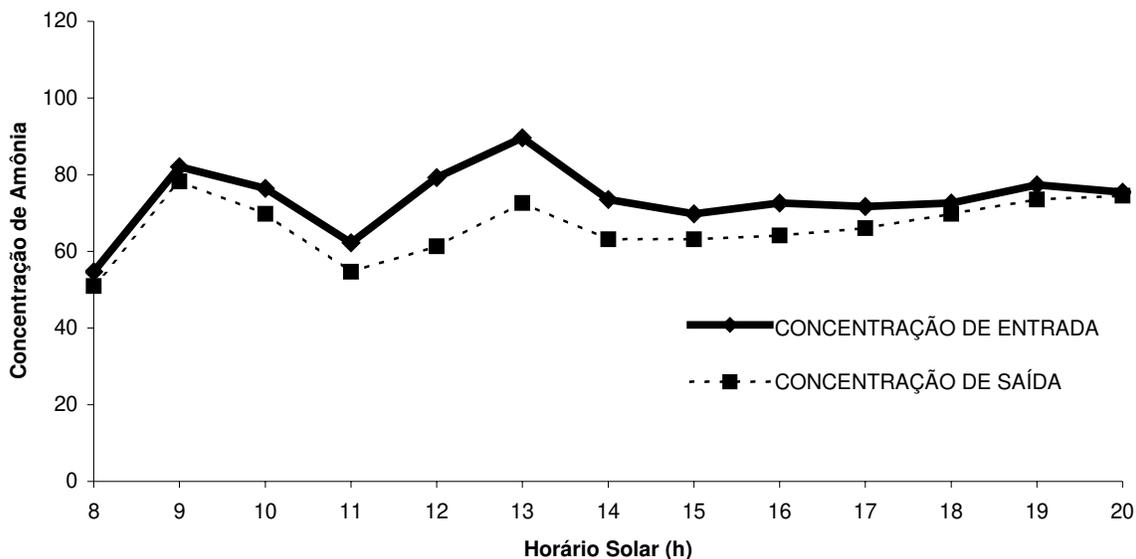
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 03/10/2002



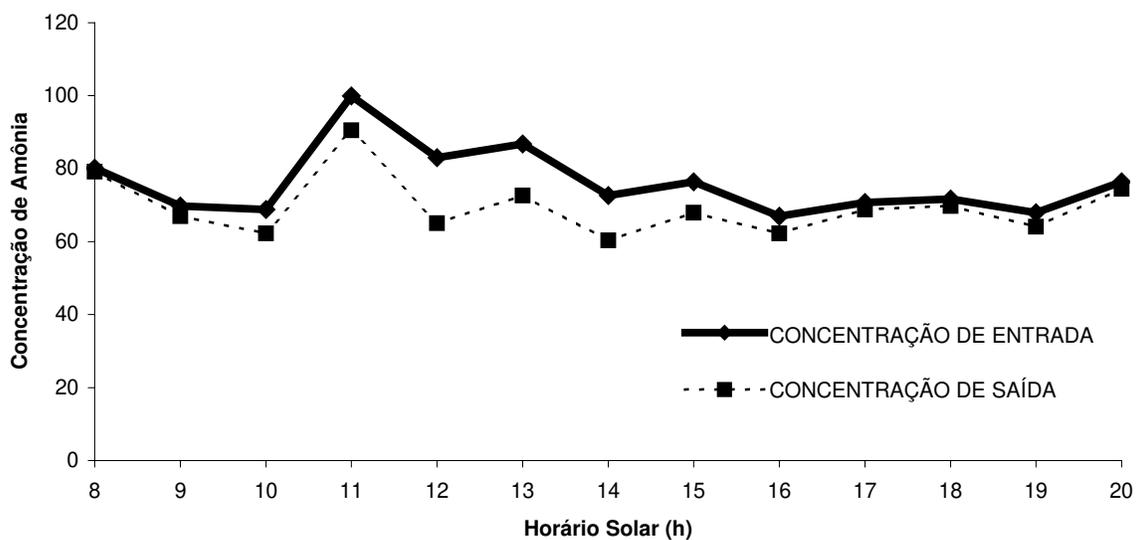
CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 03/10/2002



CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 1 PARA O DIA 04/10/2002

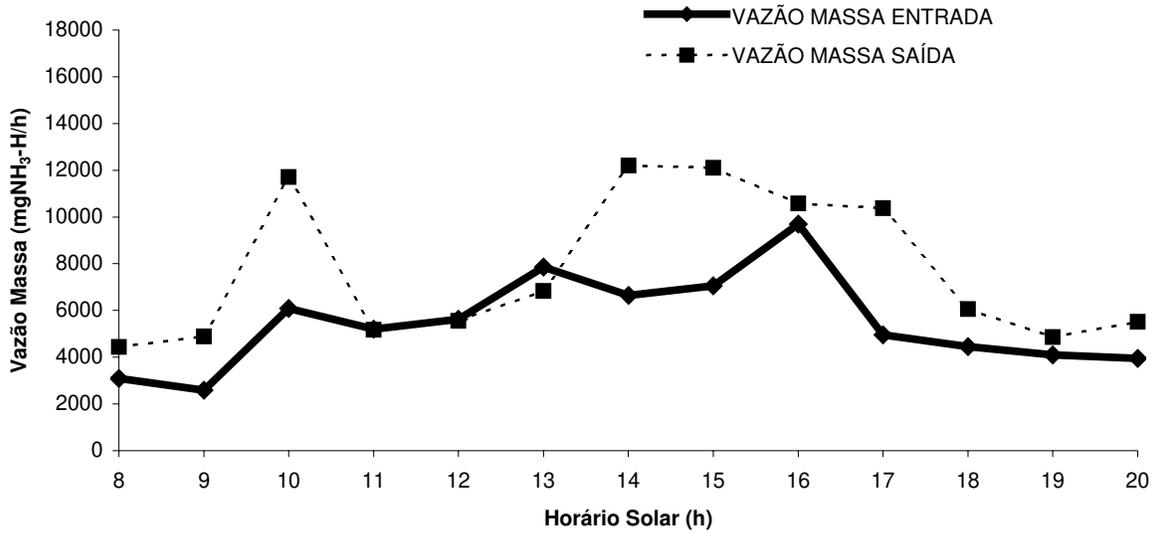


CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mgNH₃-H/L) NO LEITO 2 PARA O DIA 04/10/2002

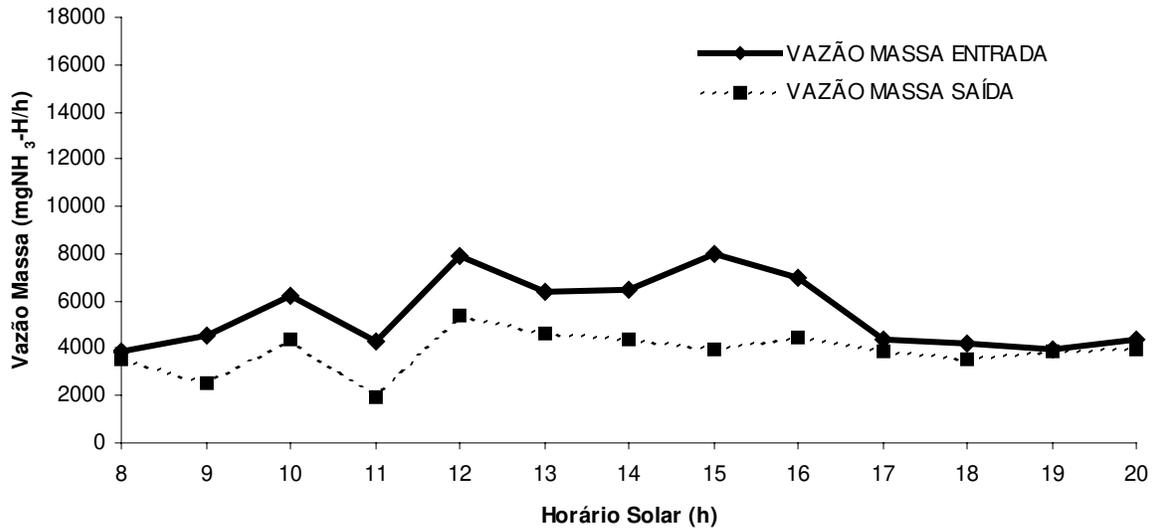


A8-VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NOS LEITOS CULTIVADOS

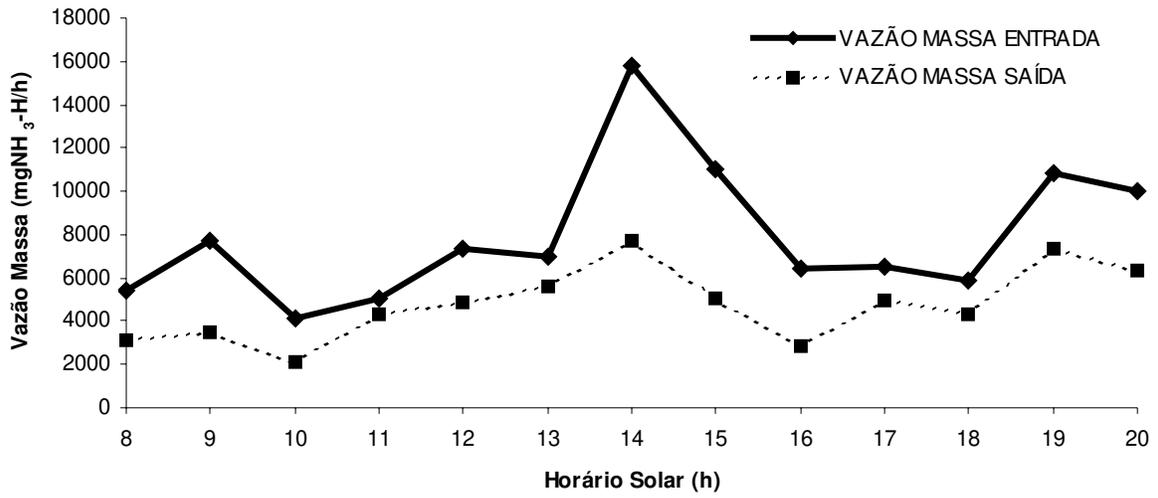
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA PARA O LEITO 1 NO DIA 13/05/2002



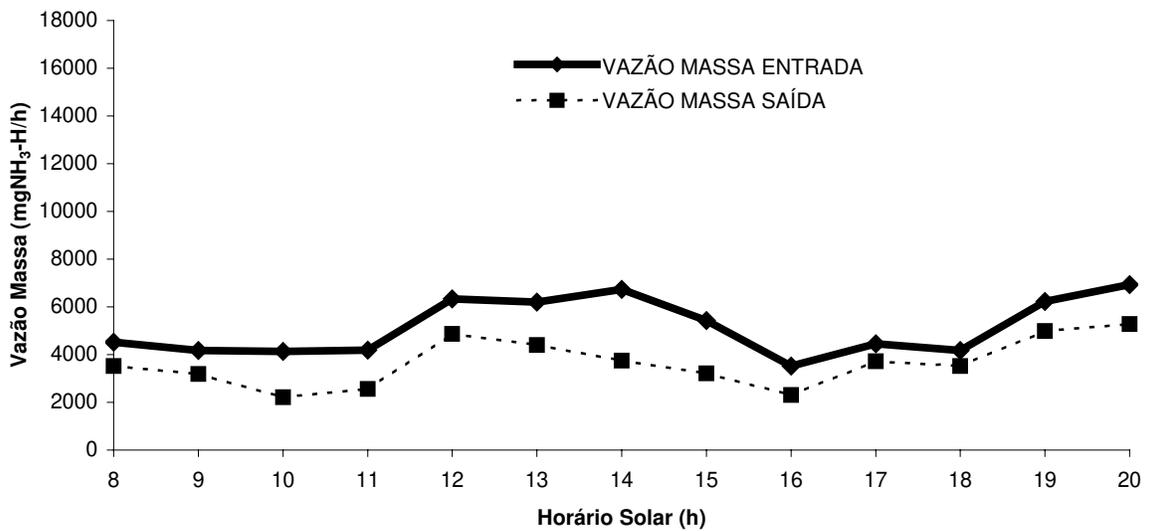
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA PARA O LEITO 2 NO DIA 13/05/2002



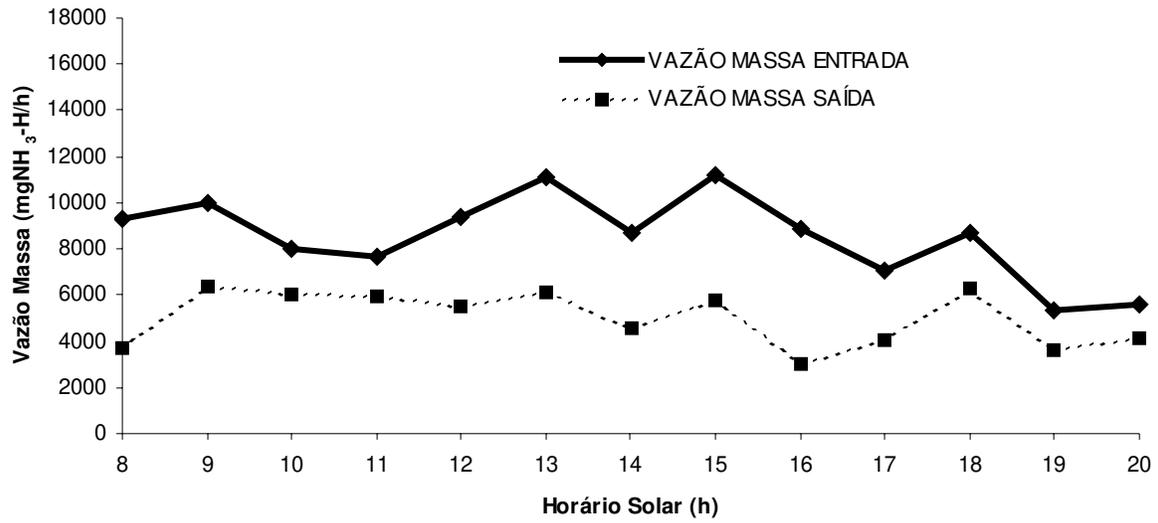
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 14/05/2002



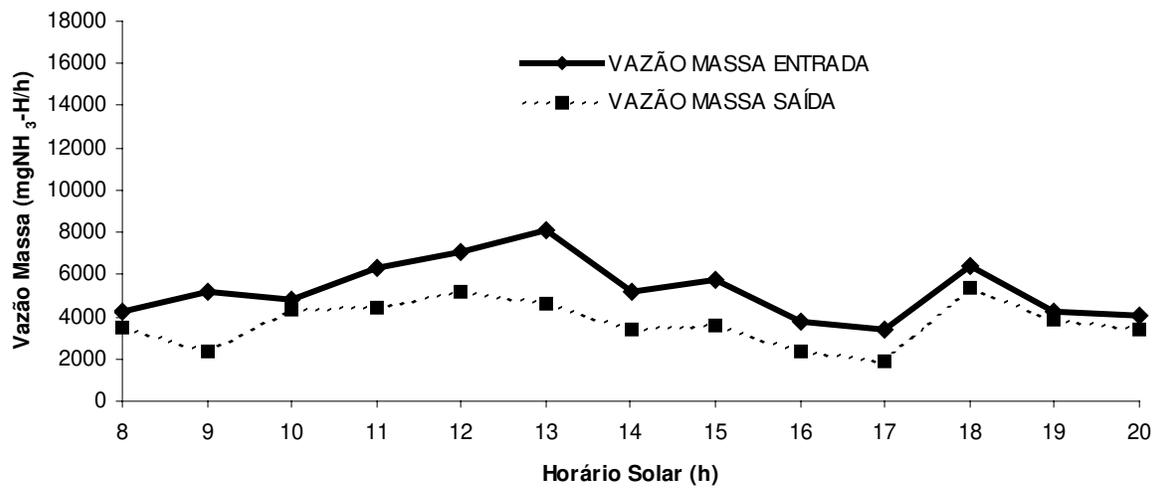
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 14/05/2002



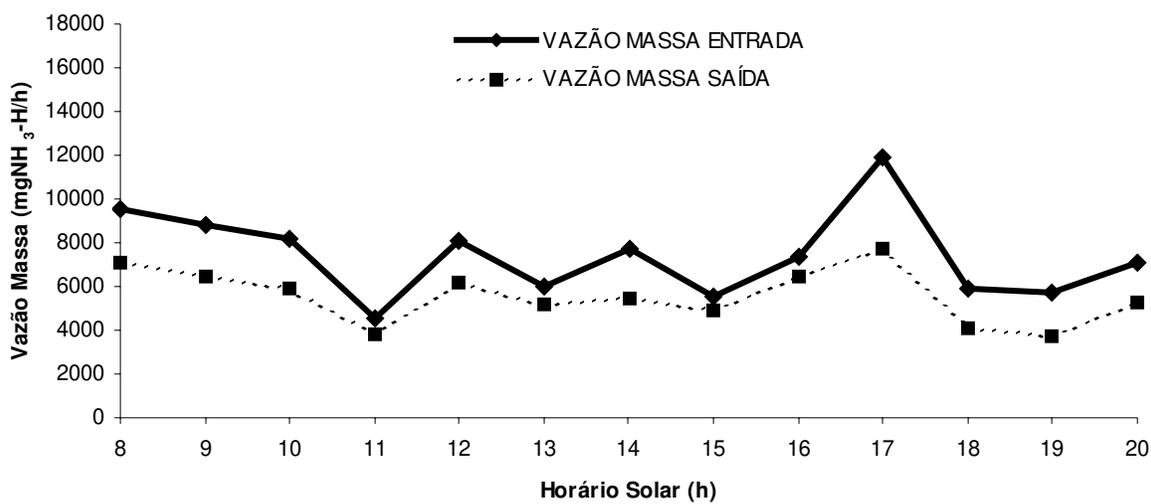
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 15/05/2002



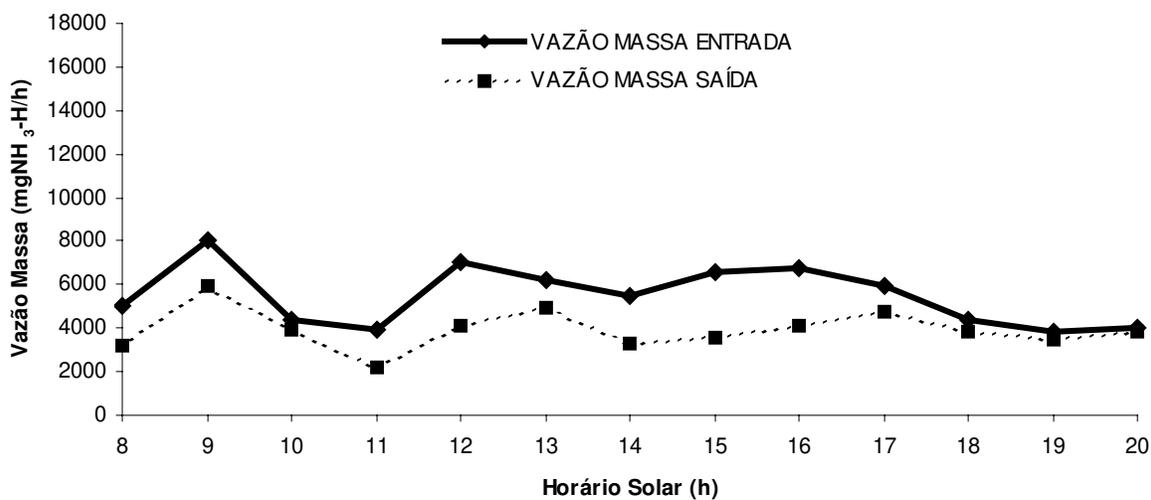
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 15/05/2002



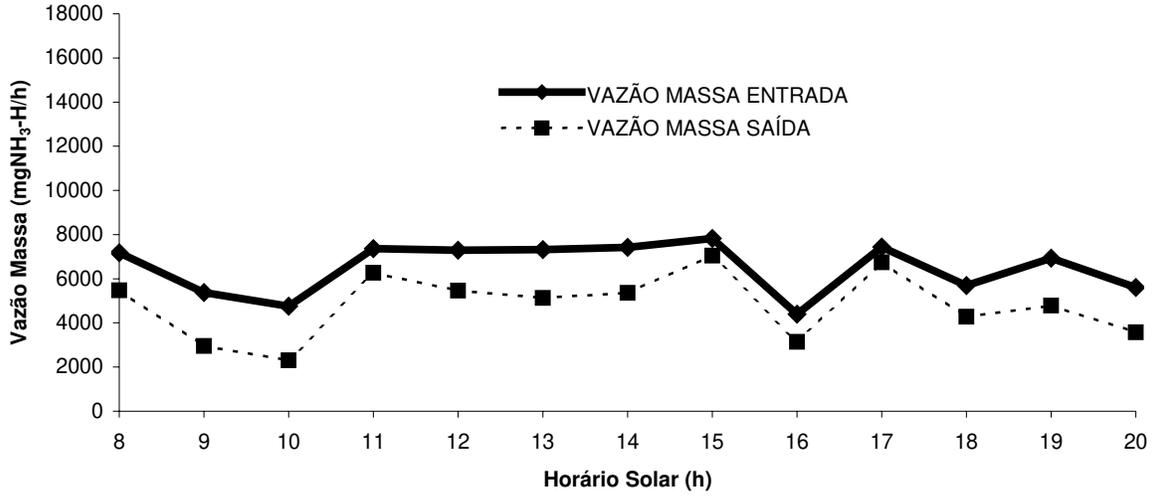
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 16/05/2002



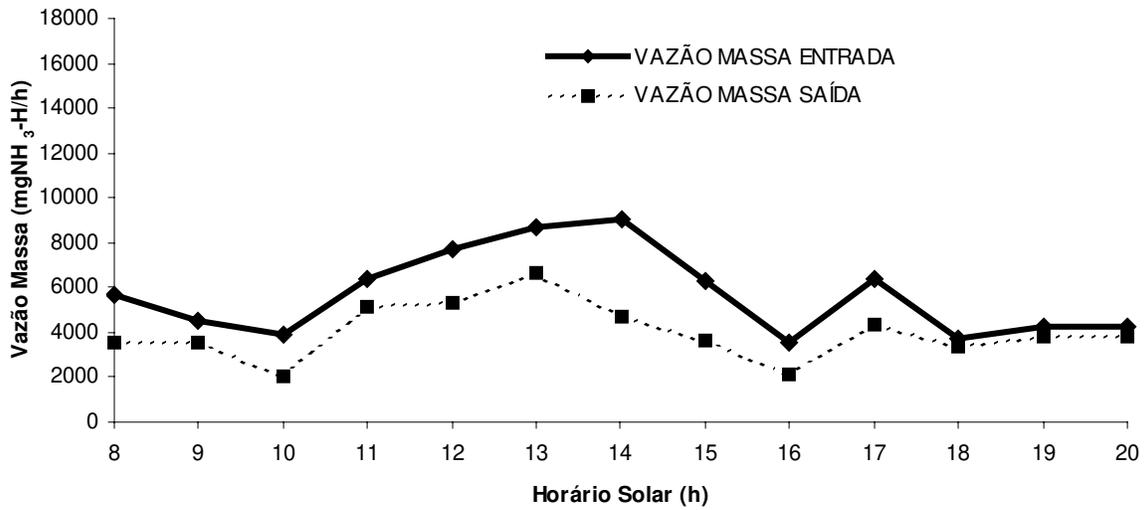
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 16/05/2002



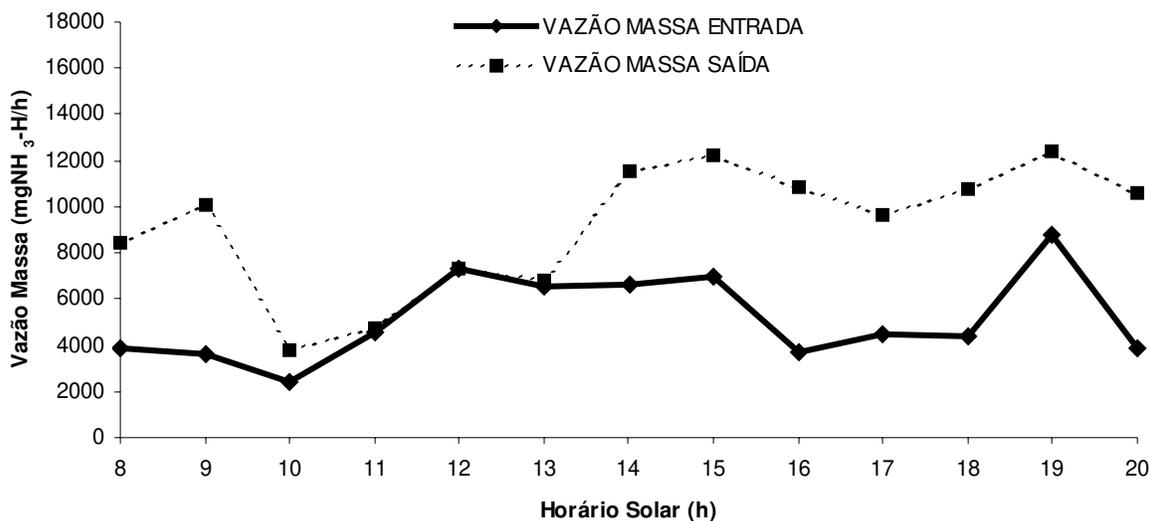
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 17/05/2002



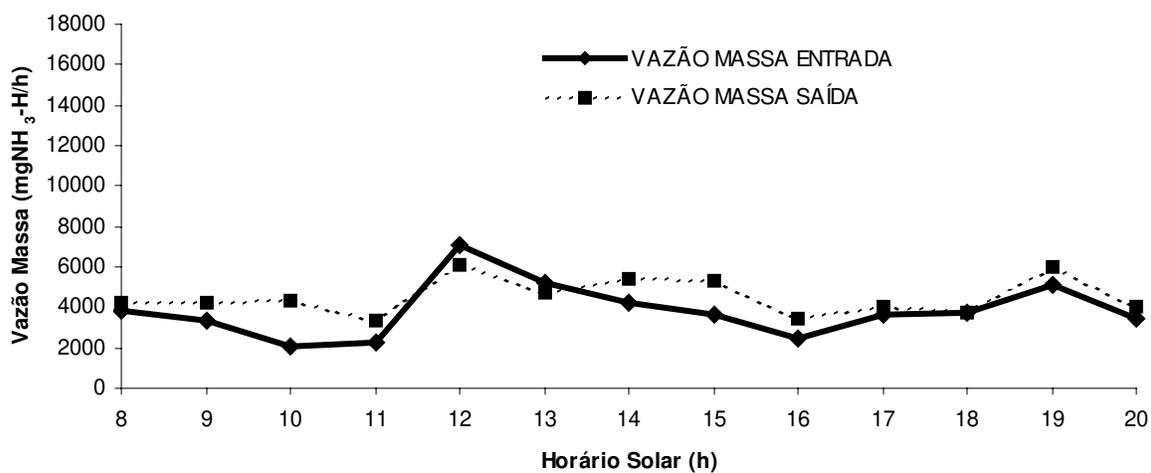
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 17/05/2002



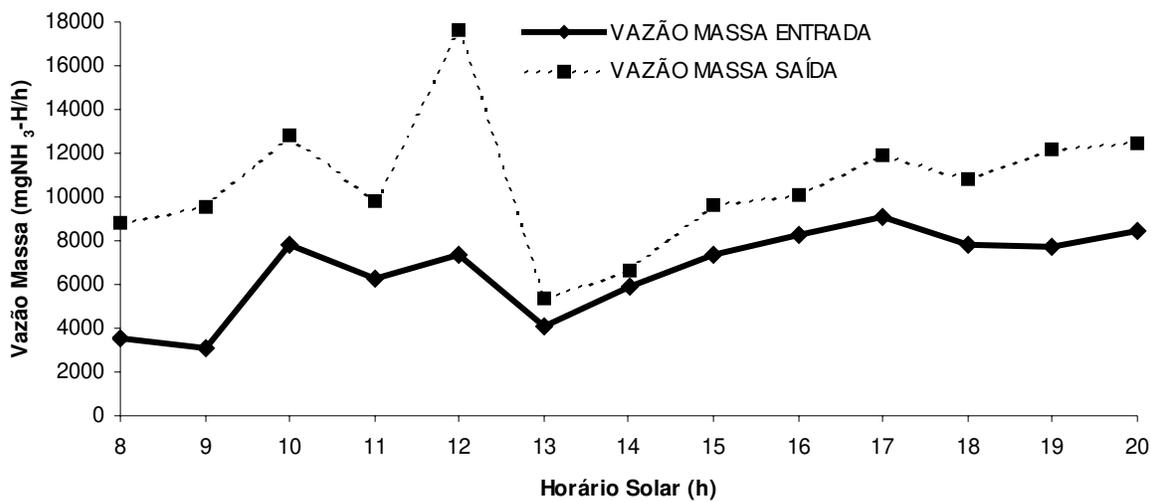
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 15/07/2002



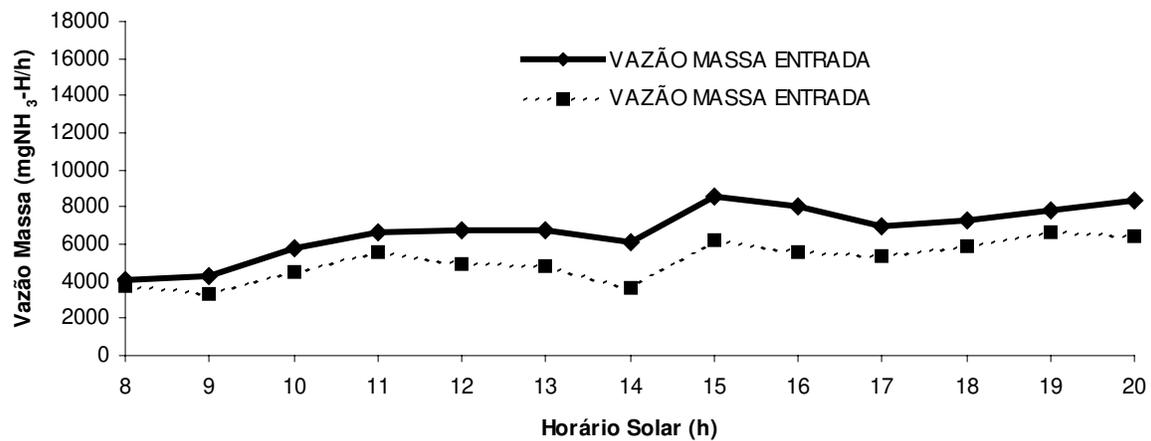
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 15/07/2002



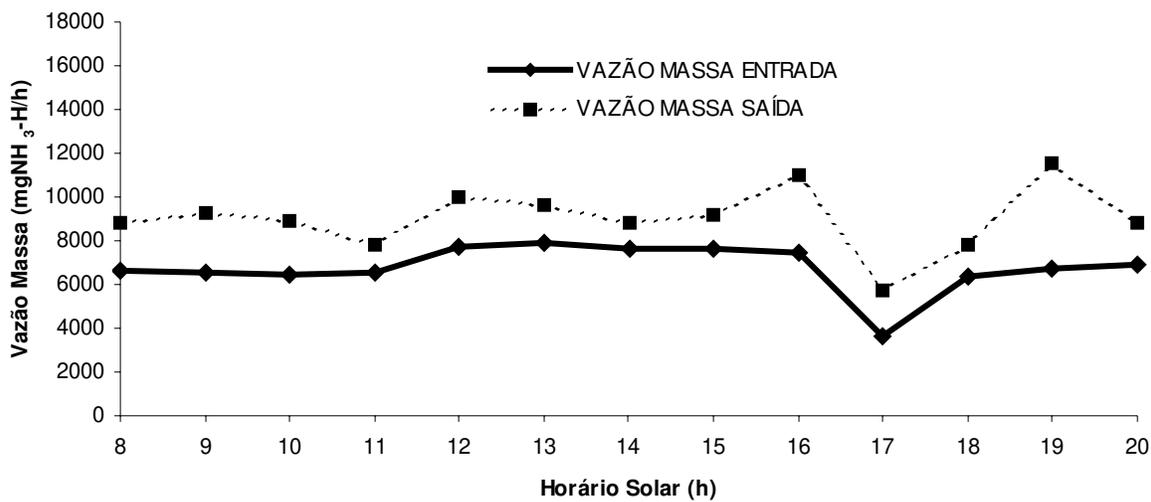
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 16/07/2002



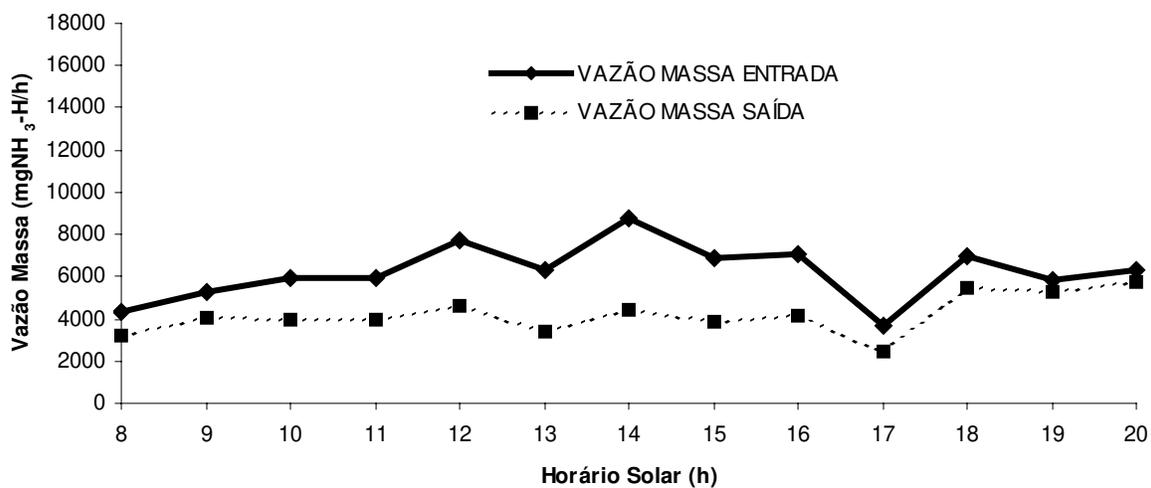
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 16/07/2002



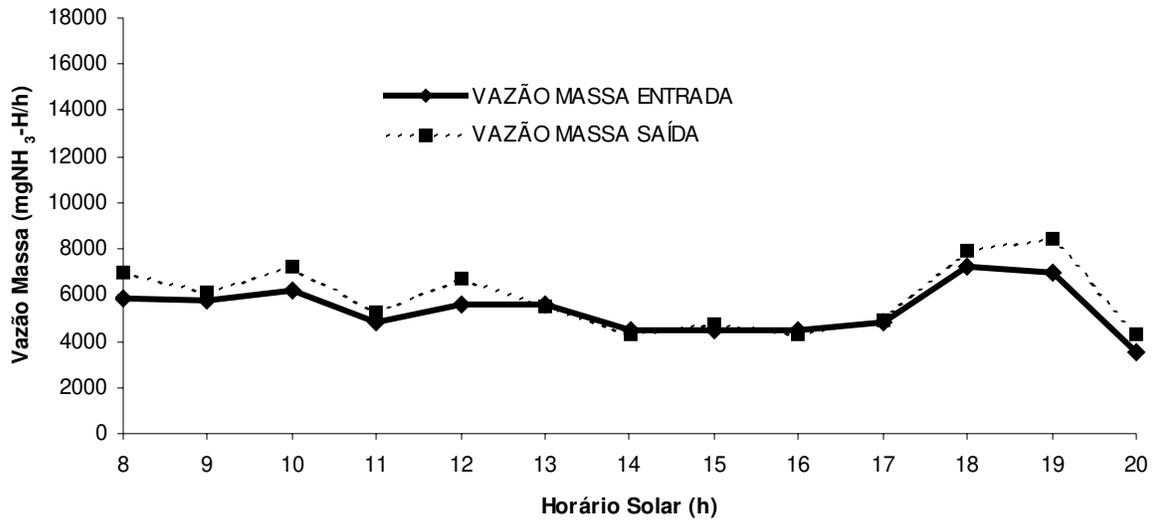
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 17/07/2002



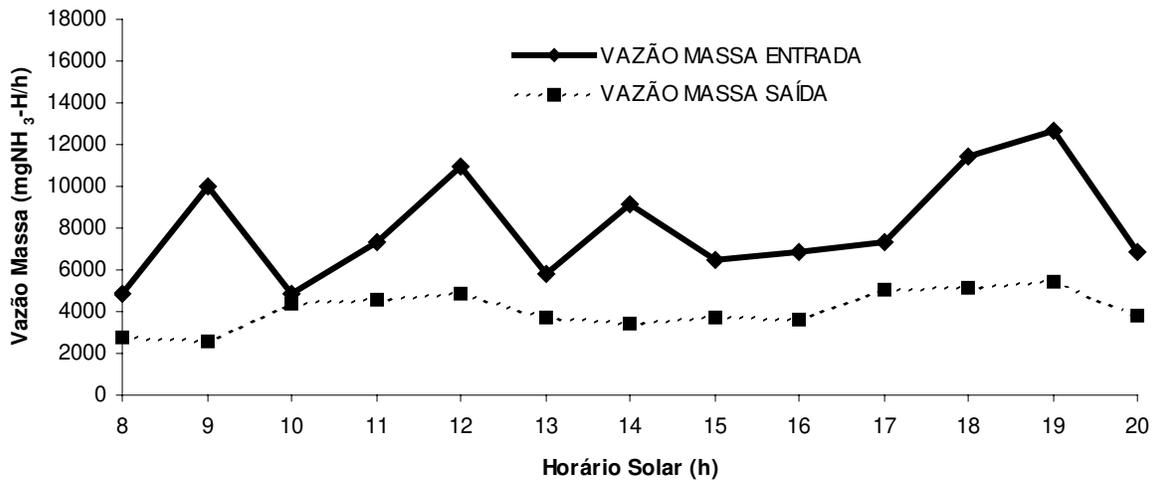
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 17/07/2002



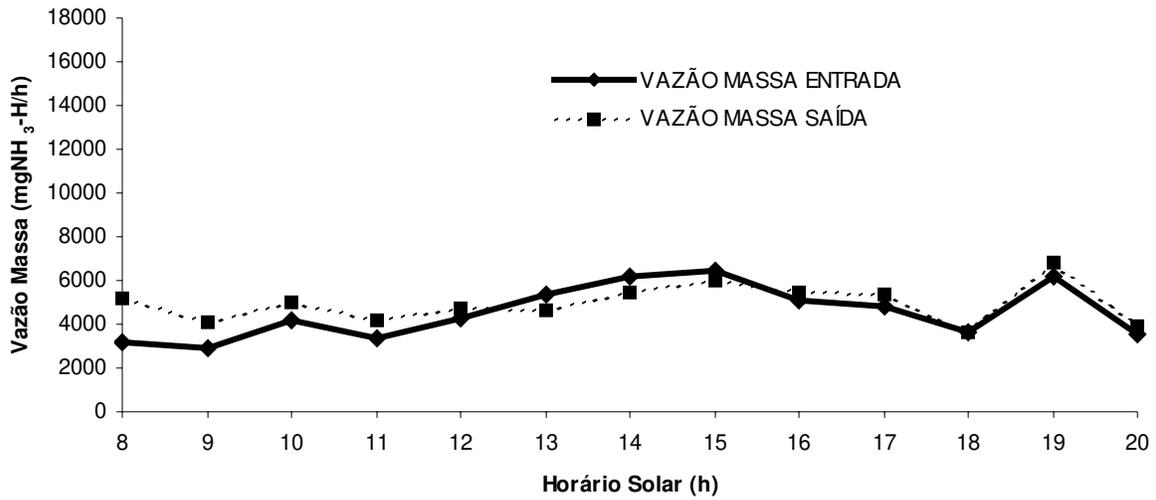
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002



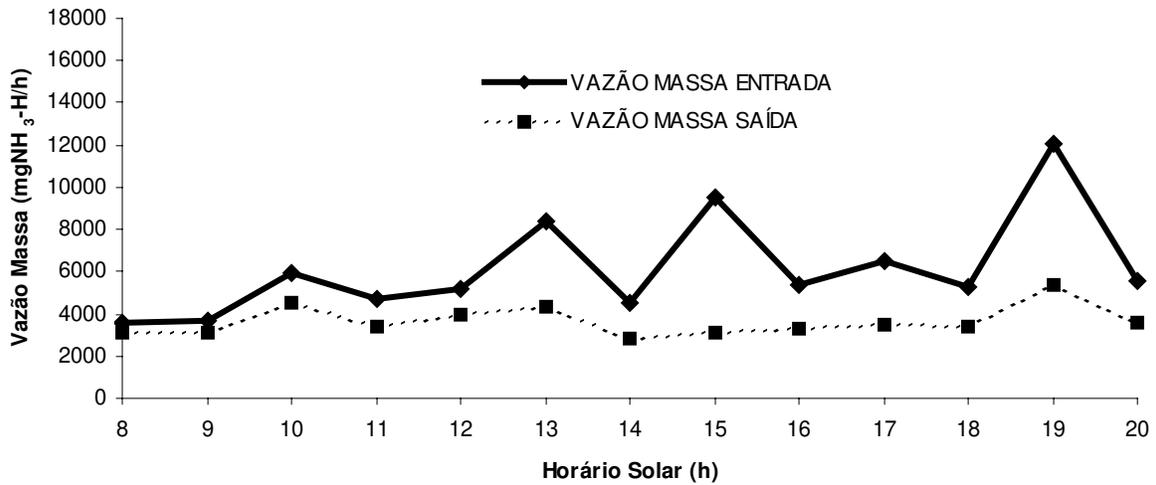
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 18/07/2002



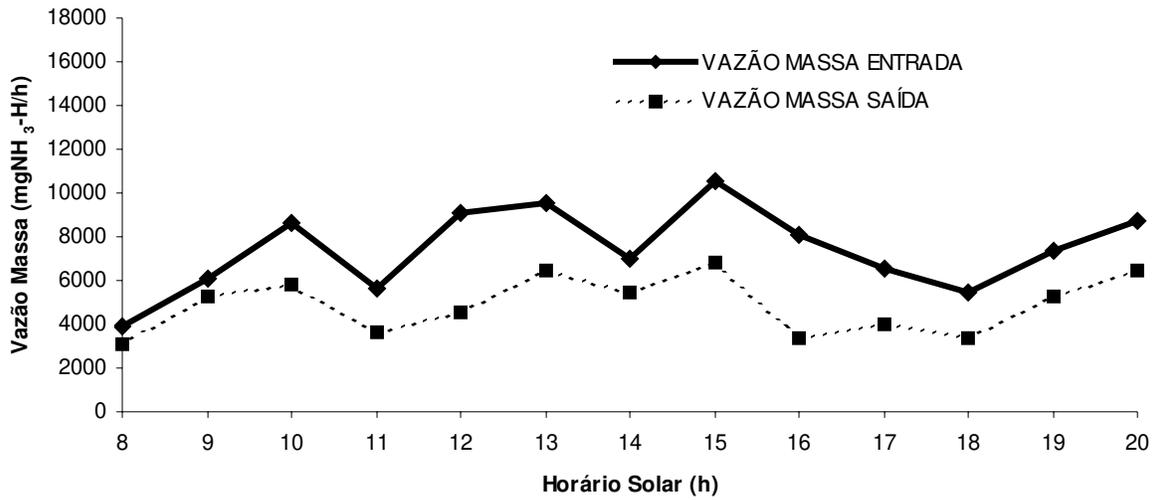
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 19/07/2002



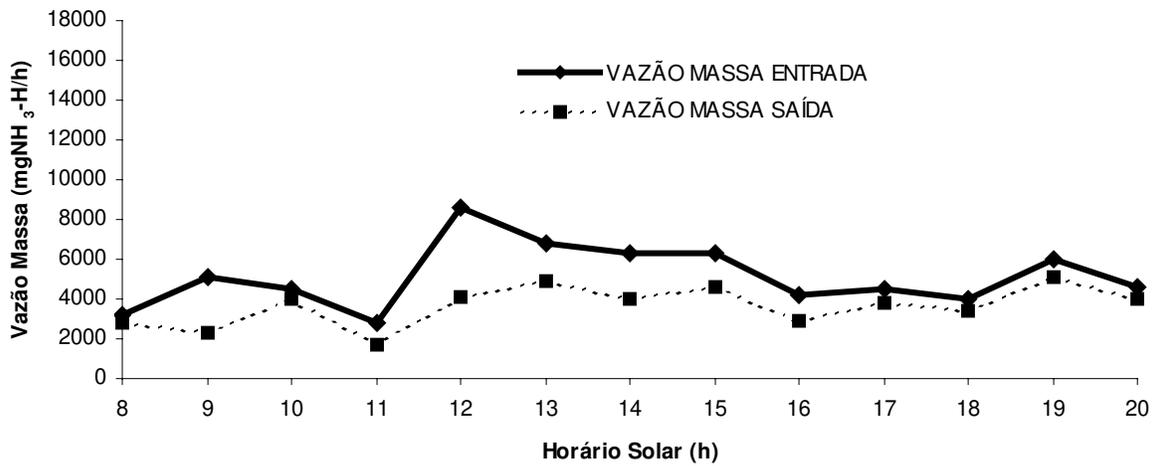
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 19/07/2002



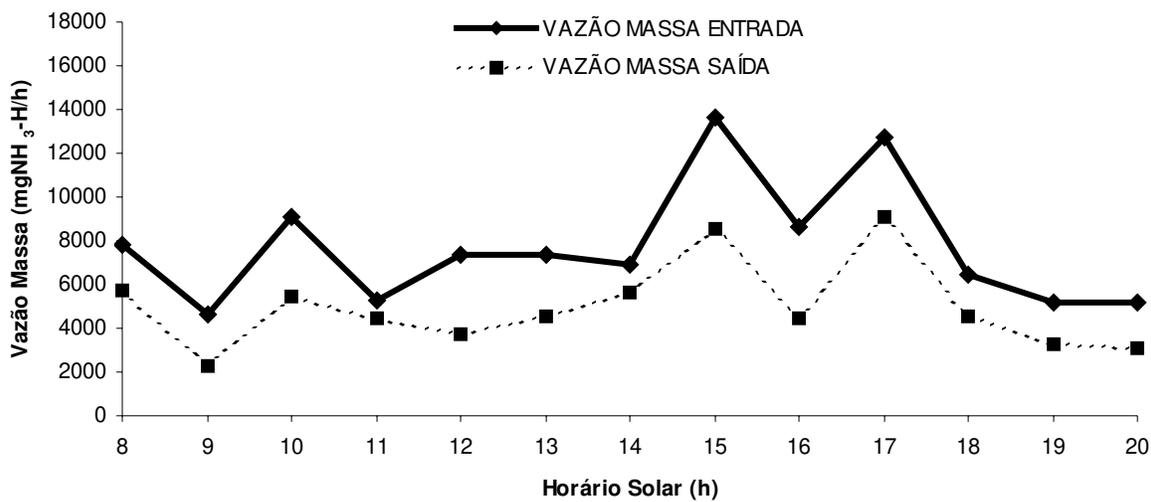
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 30/09/2002



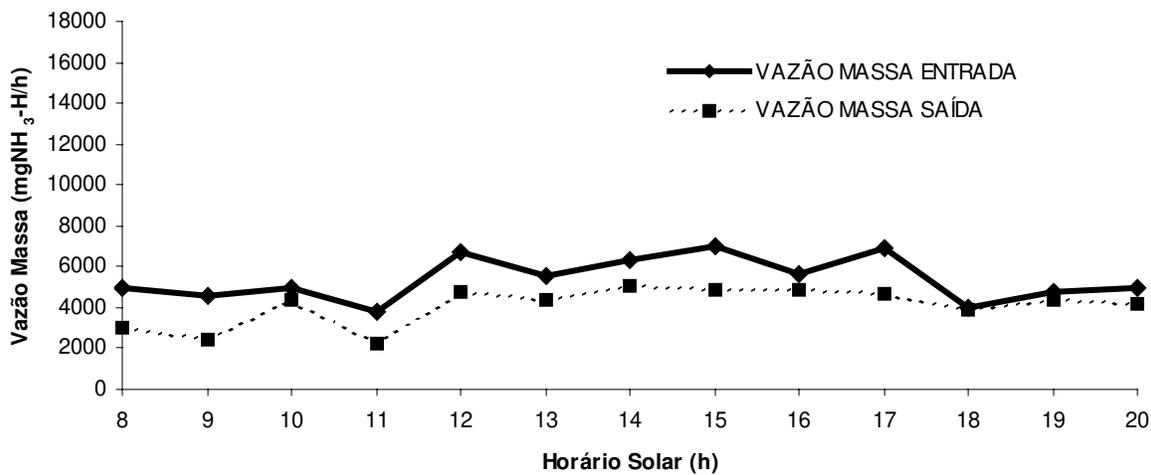
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 30/09/2002



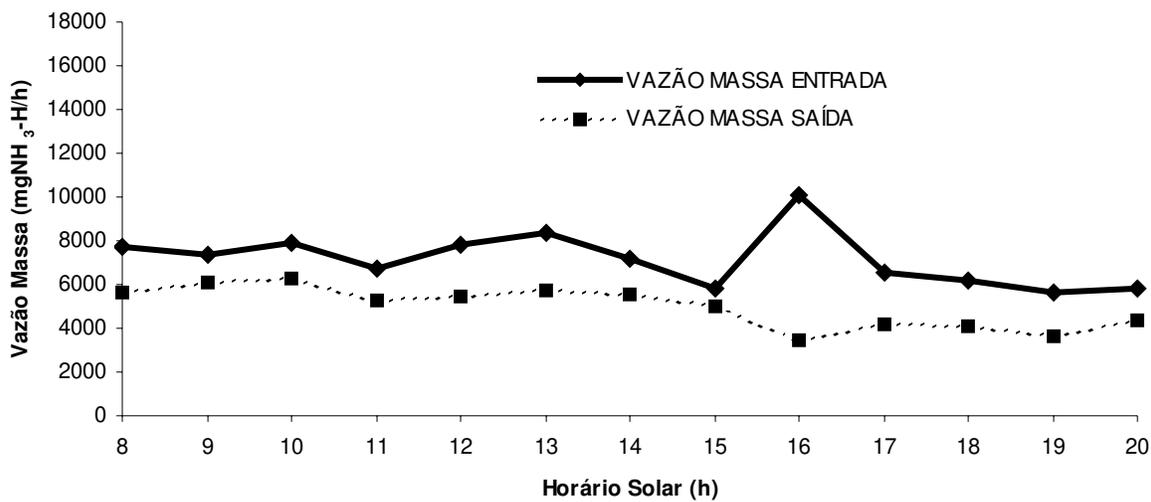
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 01/10/2002



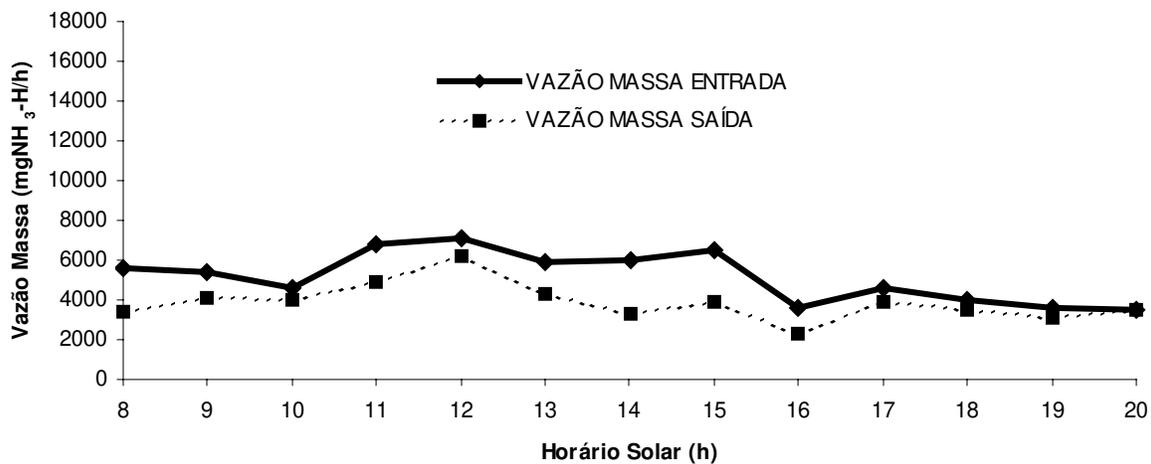
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 01/10/2002



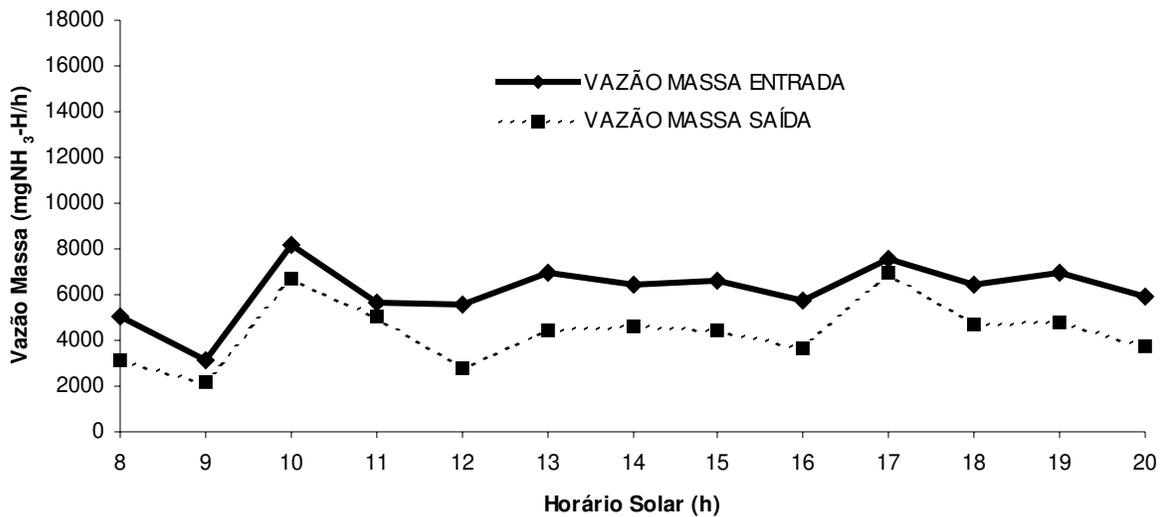
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 02/10/2002



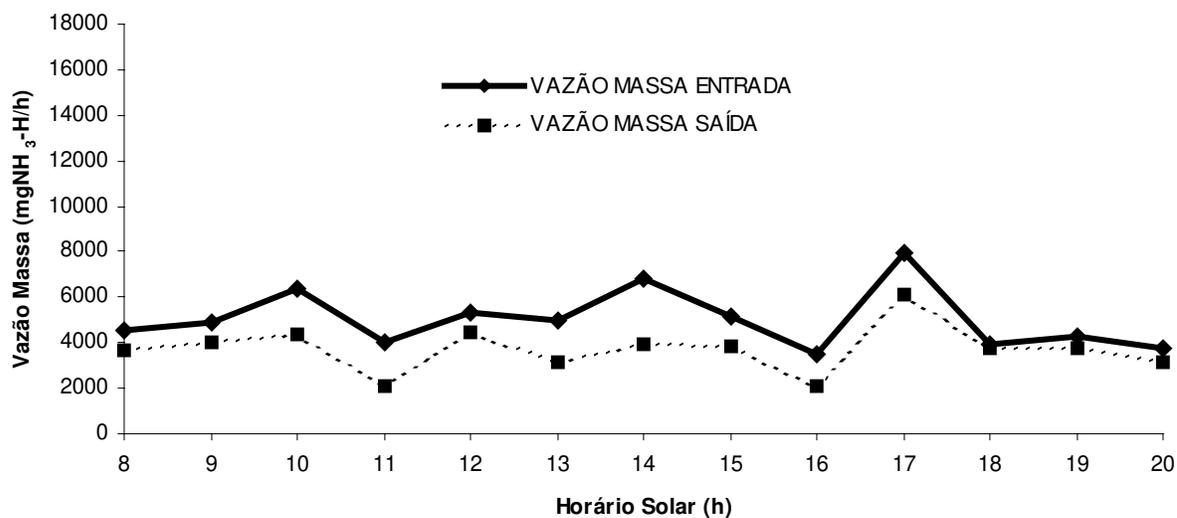
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 02/10/2002



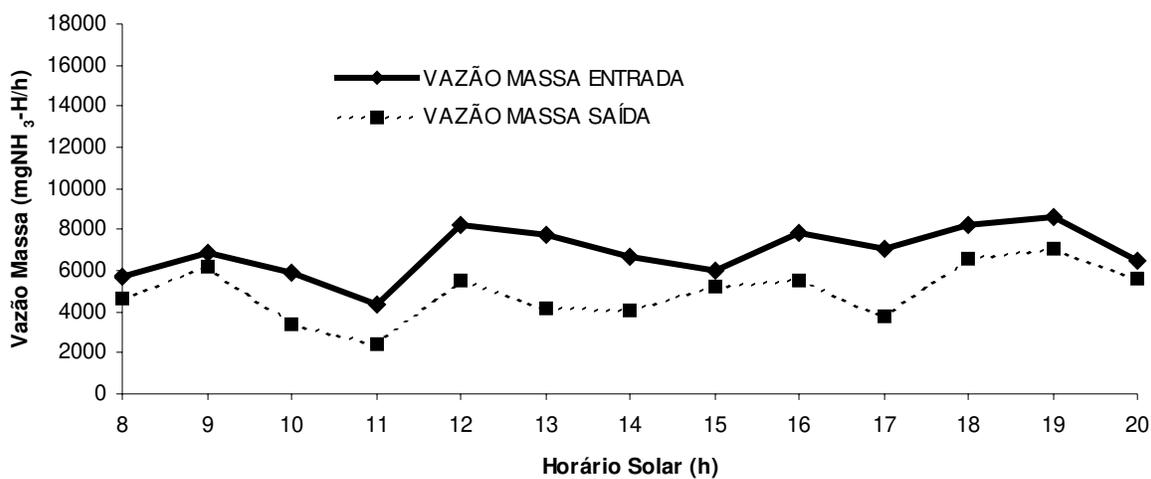
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 03/10/2002



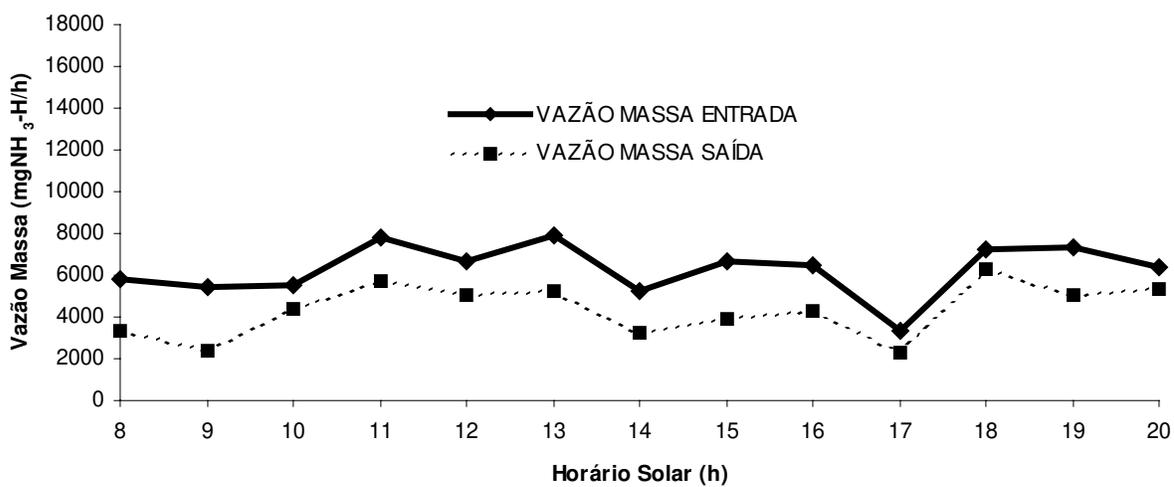
VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 03/10/2002



VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 1 PARA O DIA 04/10/2002

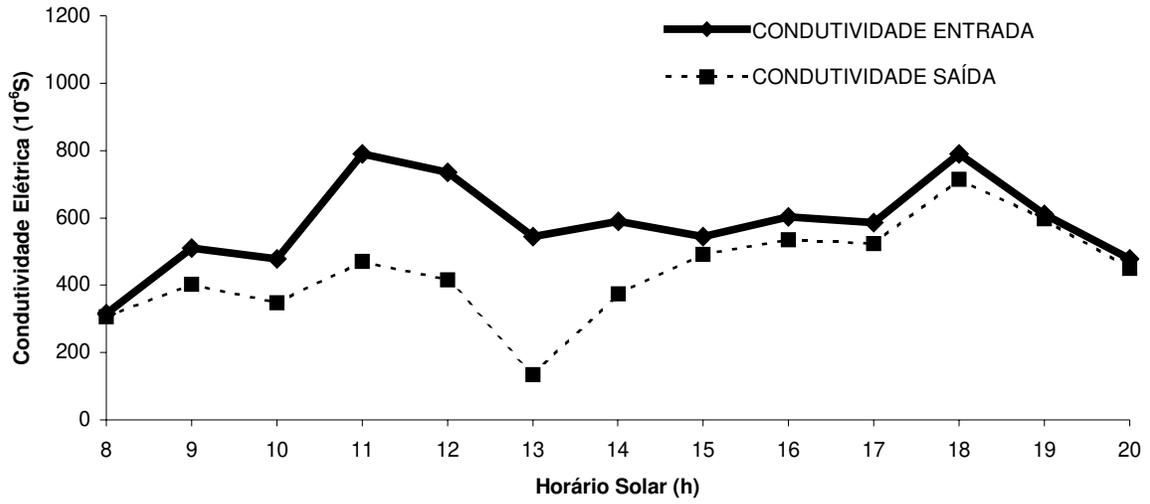


VAZÃO MASSA DE AMÔNIA NO LEITO 2 PARA O DIA 04/10/2002

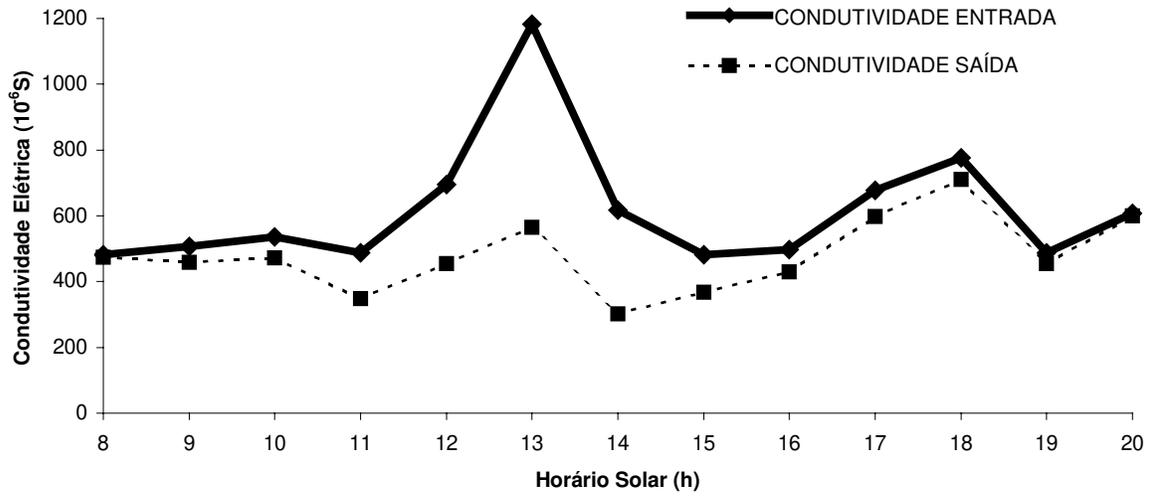


**A9-CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DE ENTRADA E SAÍDA DOS LEITOS
CULTIVADOS**

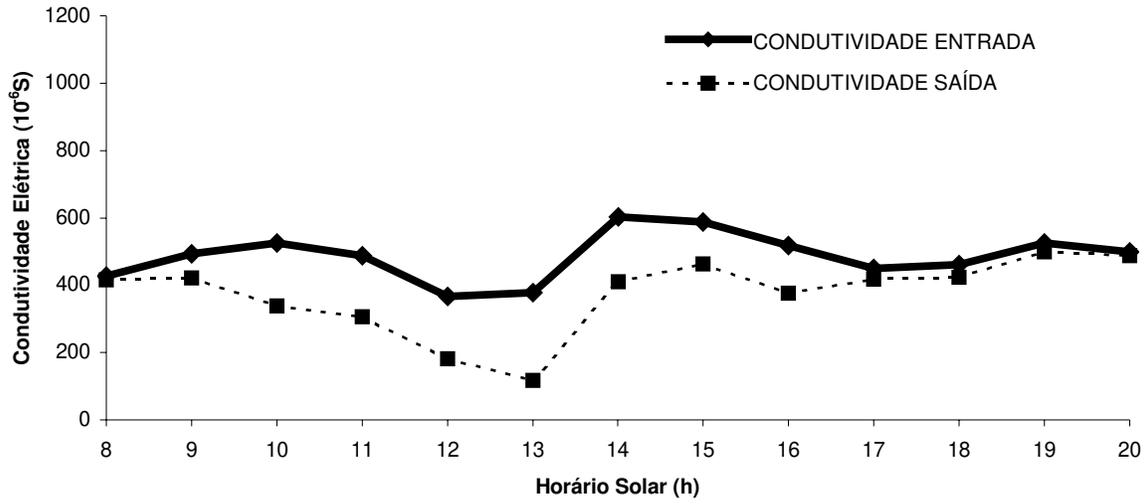
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 13/05/2002



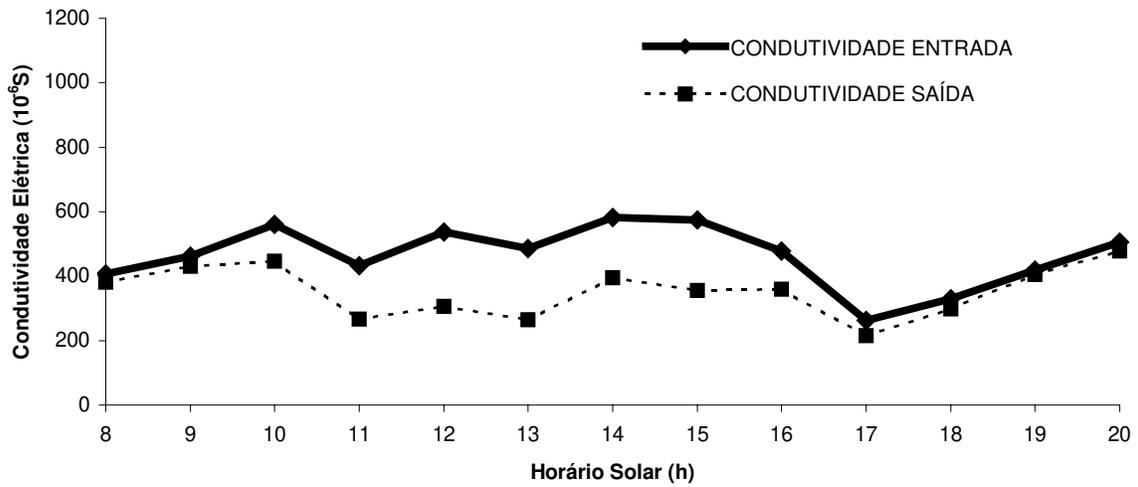
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 13/05/2002



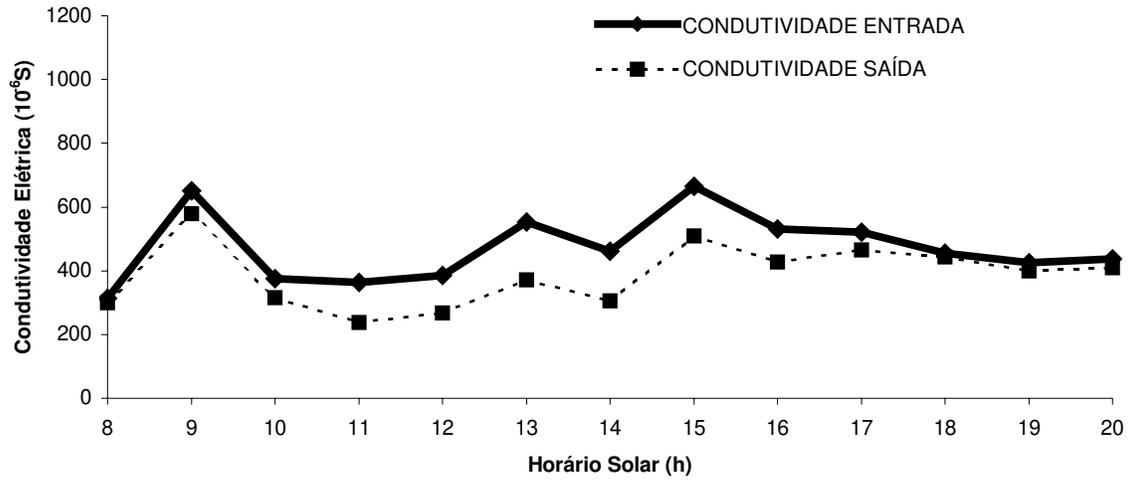
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 14/05/2002



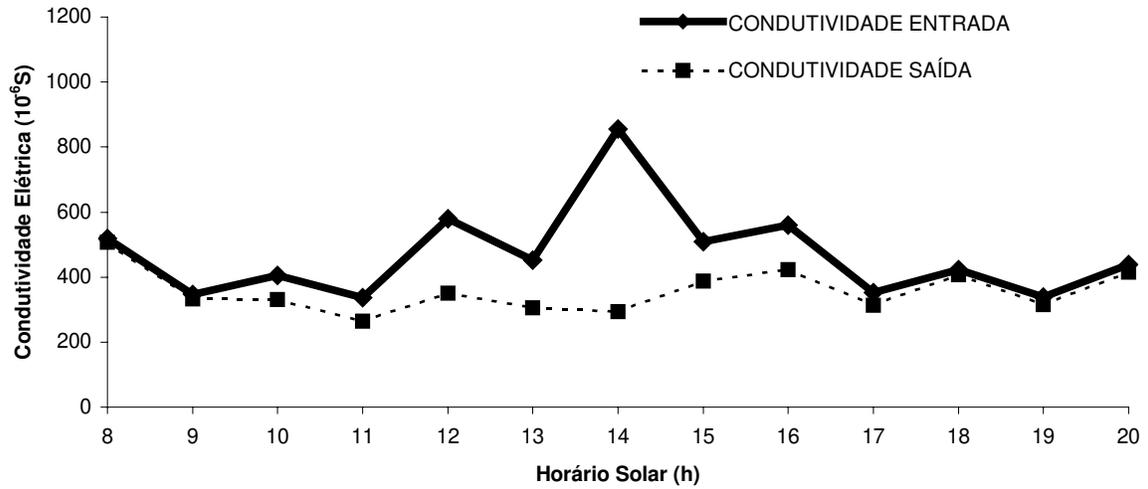
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 14/05/2002



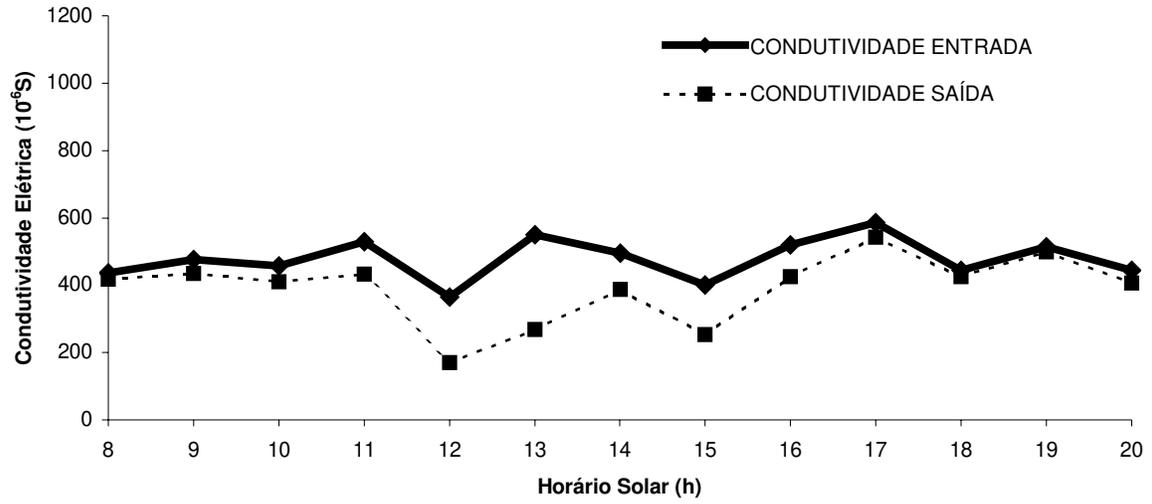
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 15/05/2002



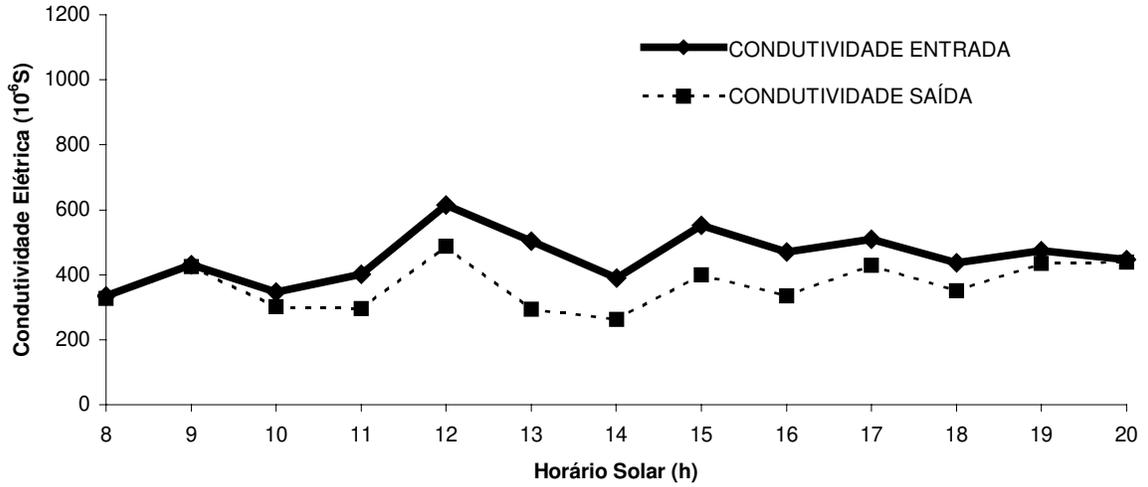
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 15/05/2002



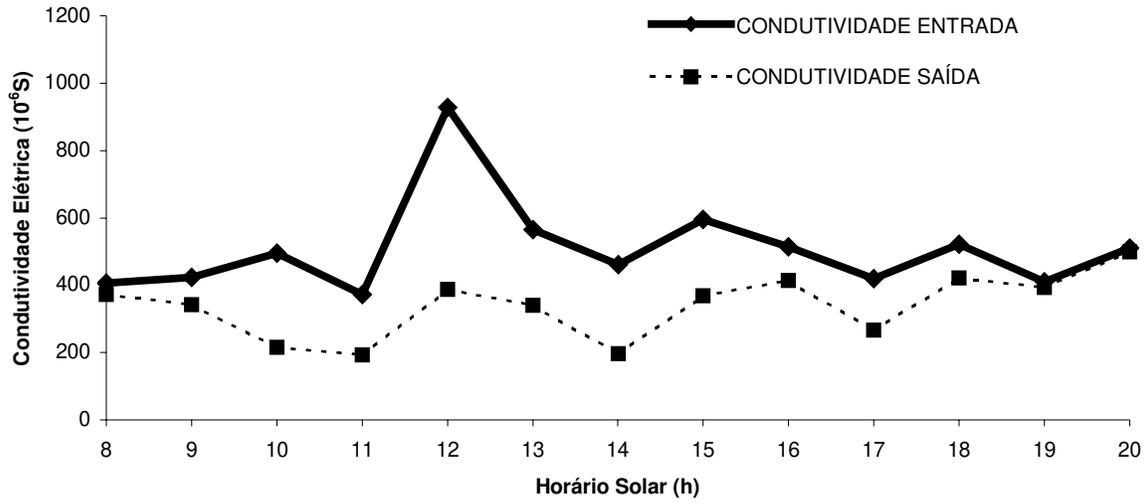
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 16/05/2002



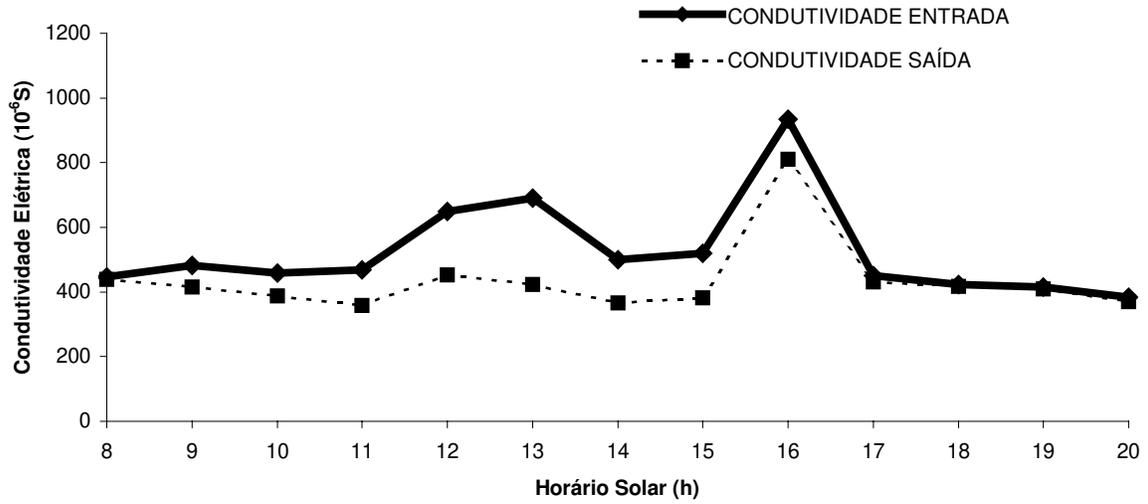
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 16/05/2002



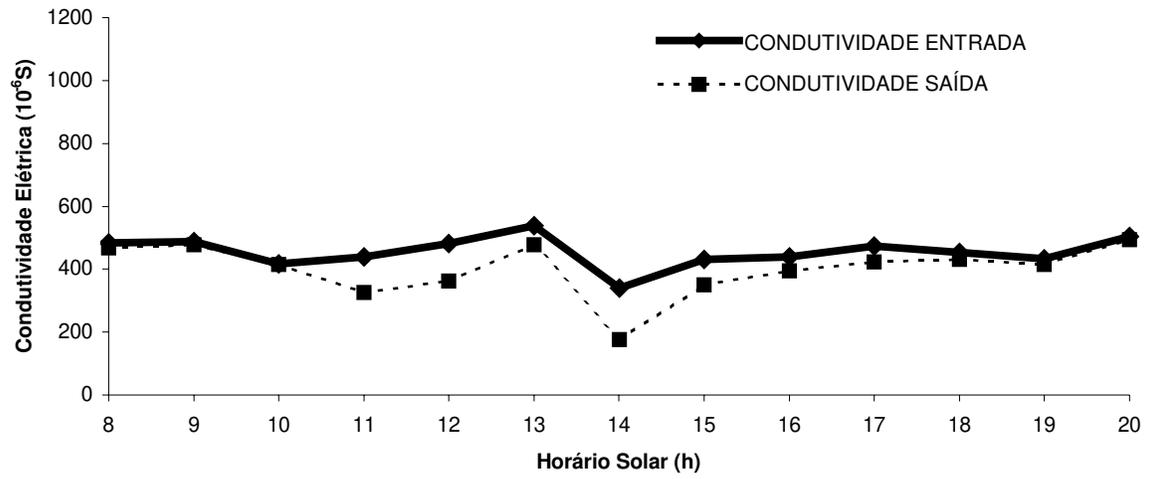
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 17/05/2002



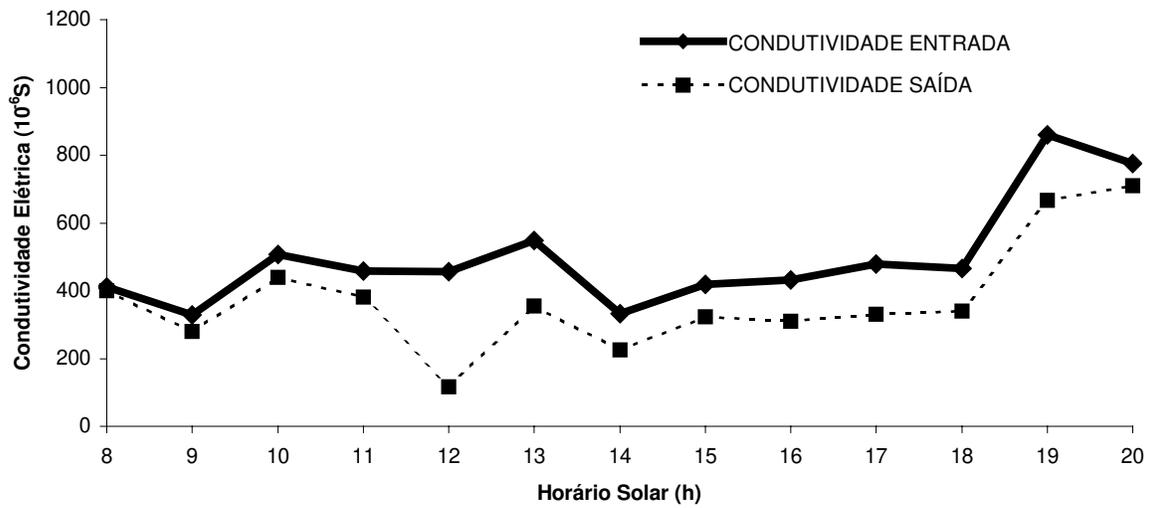
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 17/05/2002



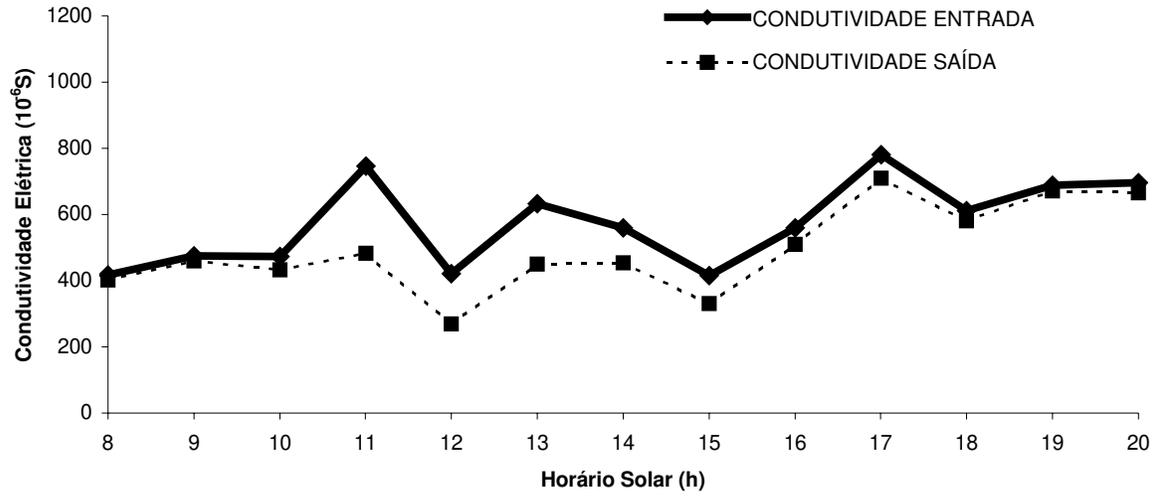
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 15/07/2002



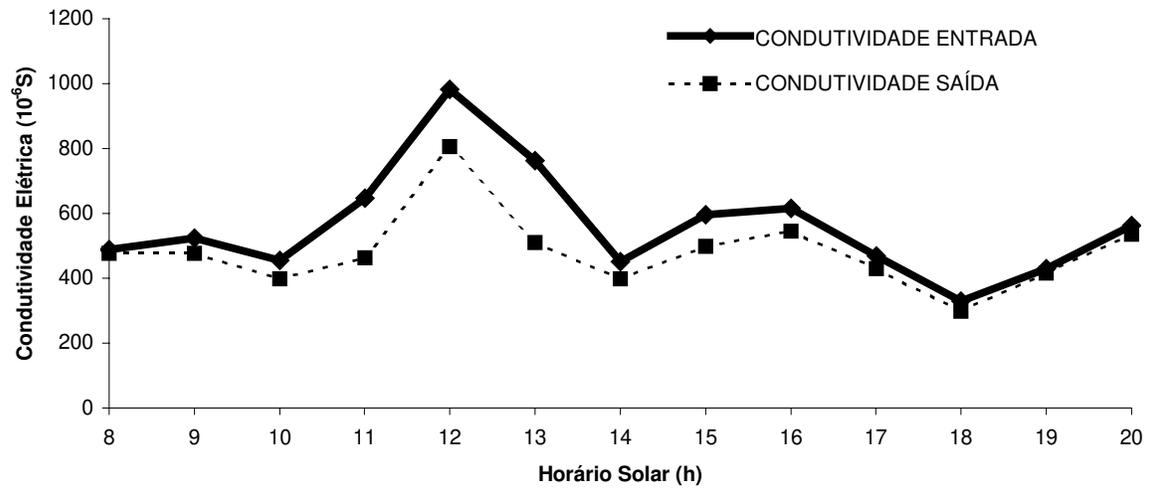
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 15/07/2002



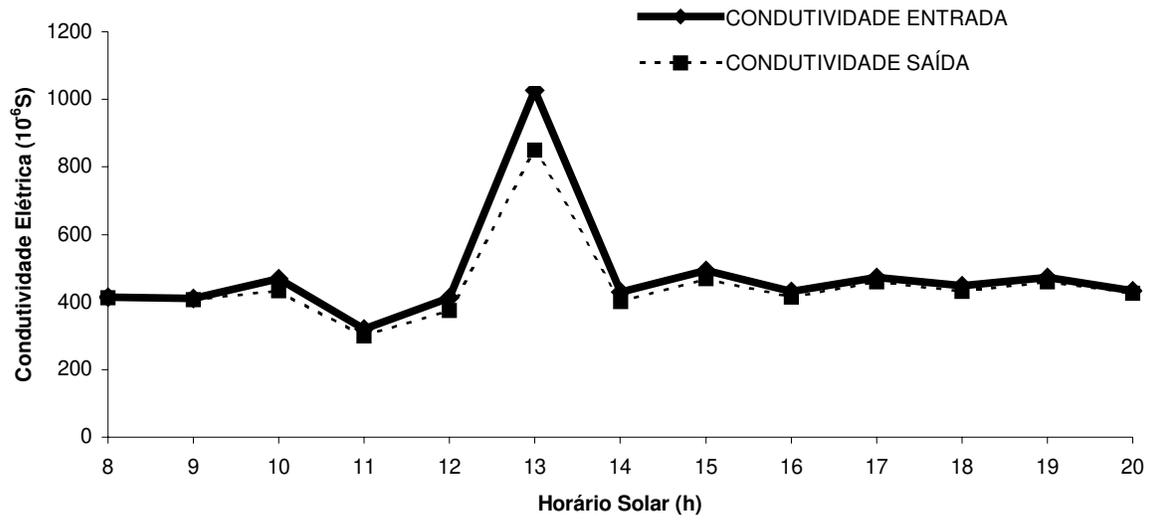
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 16/07/2002



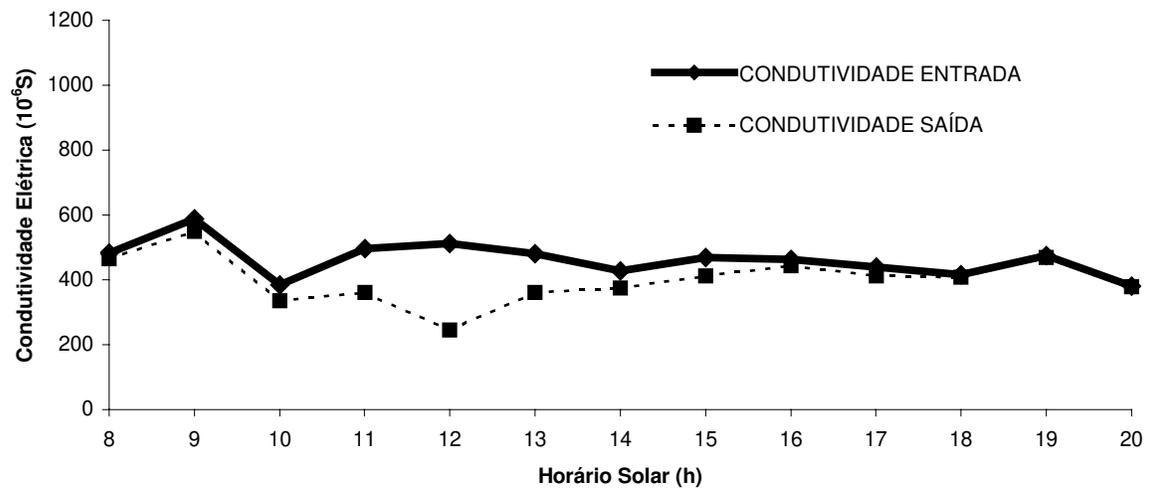
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 16/07/2002



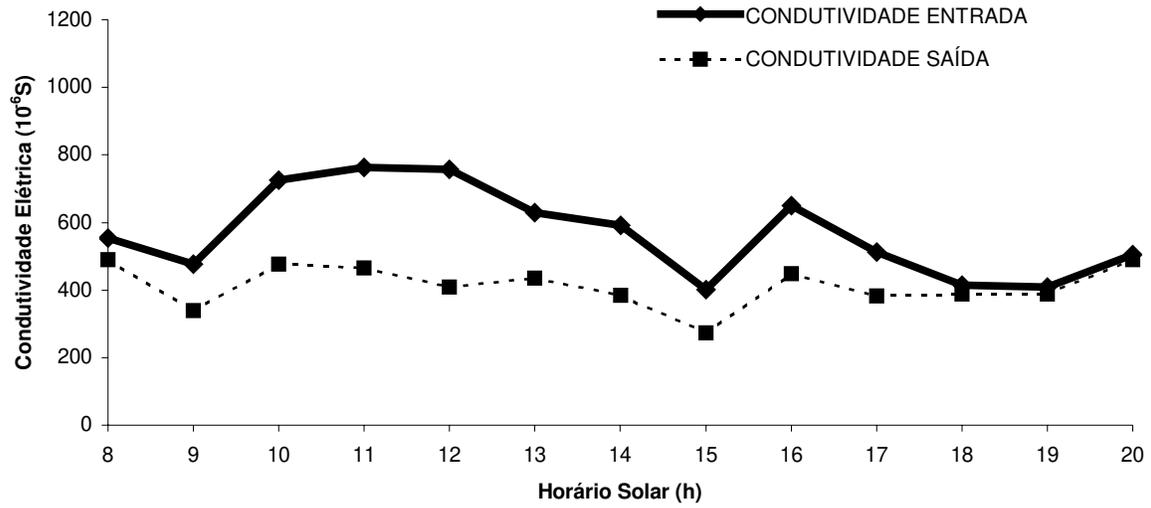
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 17/07/2002



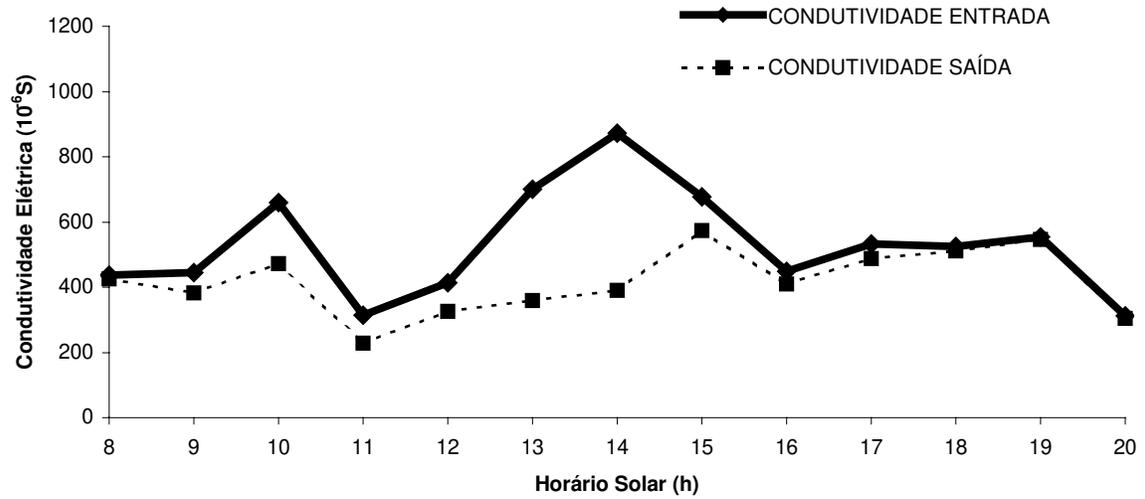
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 17/07/2002



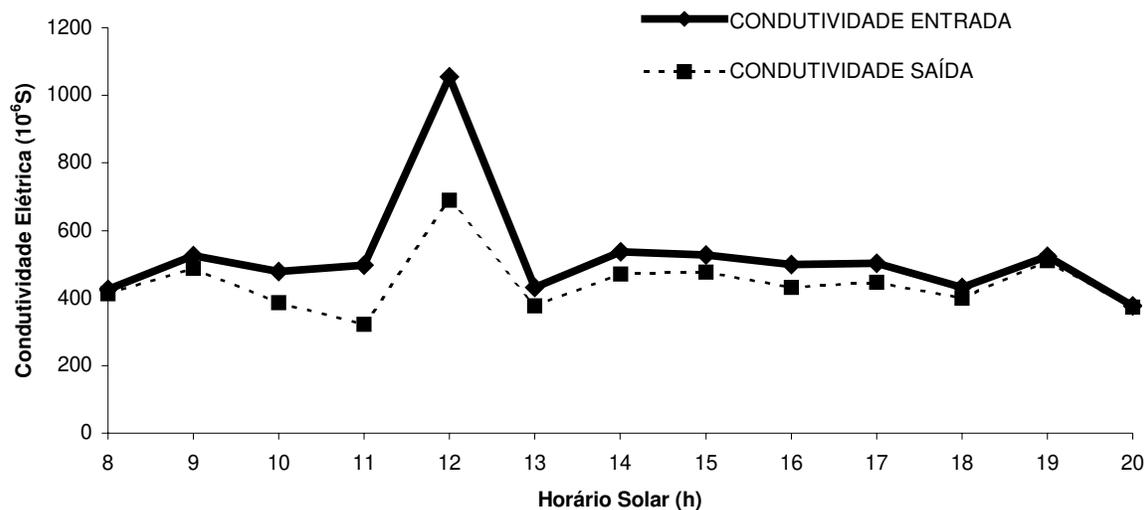
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002



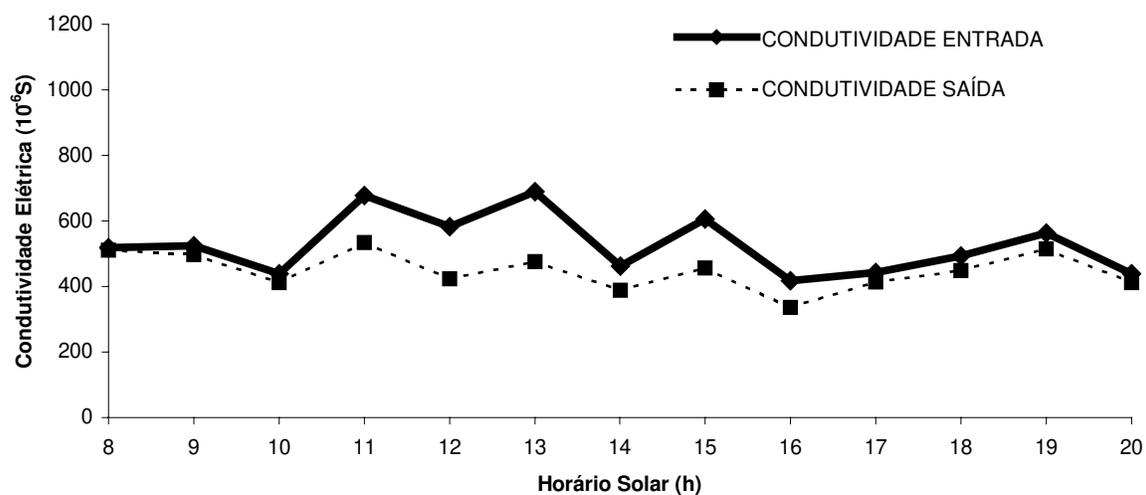
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 18/07/2002



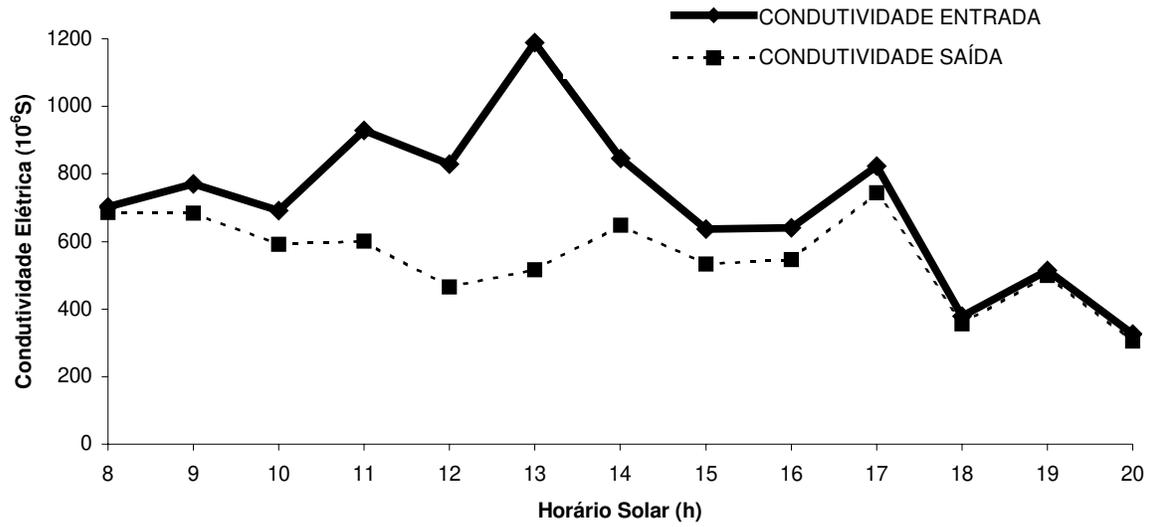
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 19/07/2002



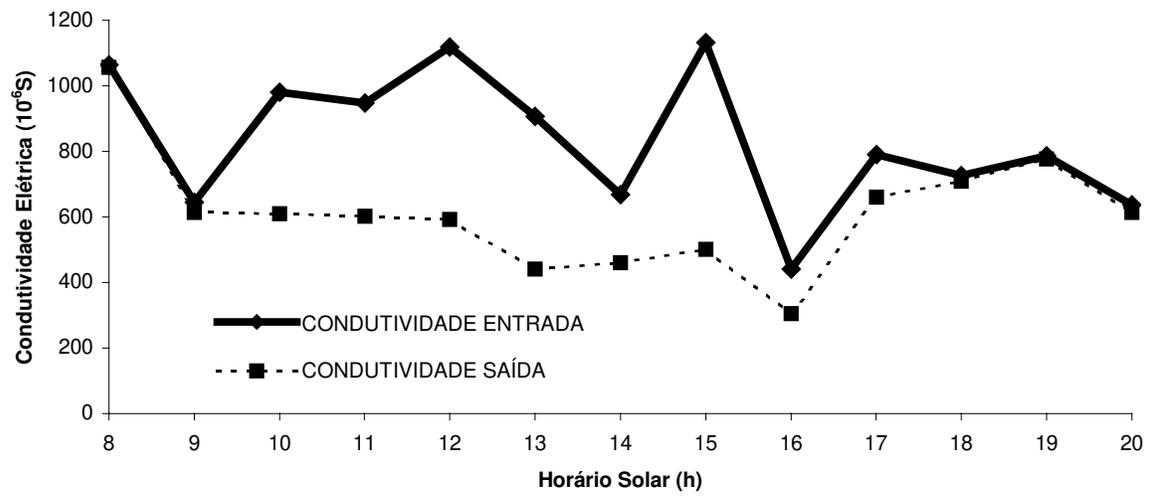
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 19/07/2002



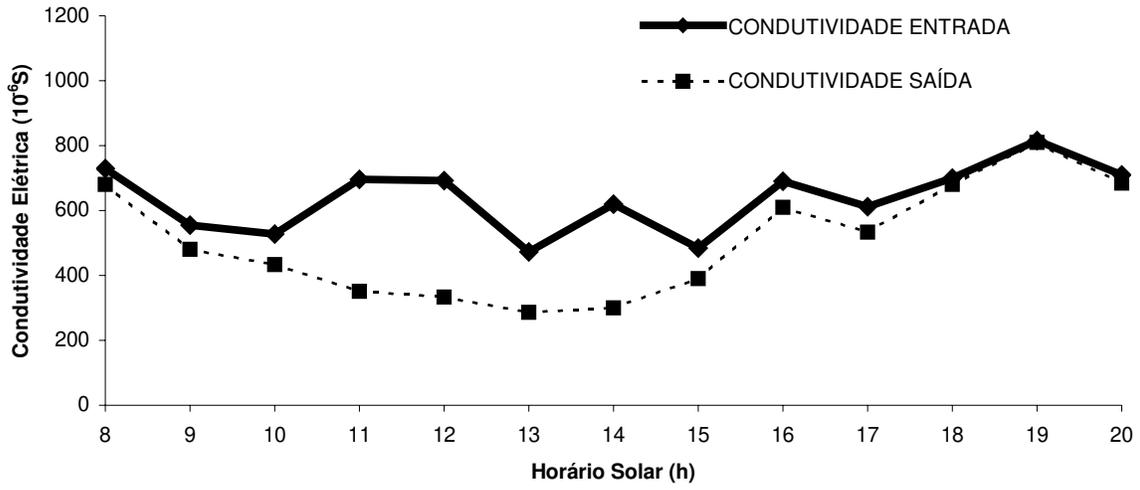
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 30/09/2002



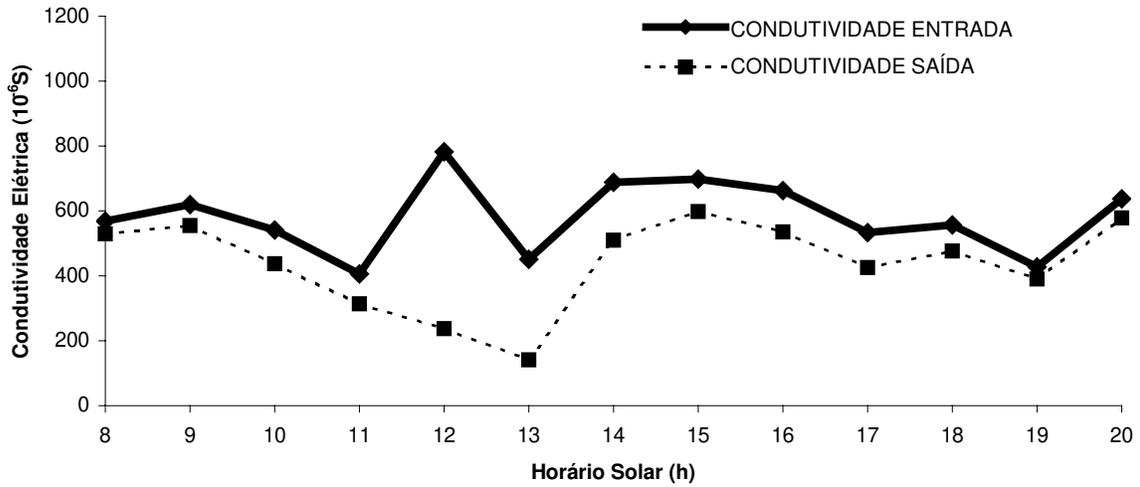
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 30/09/2002



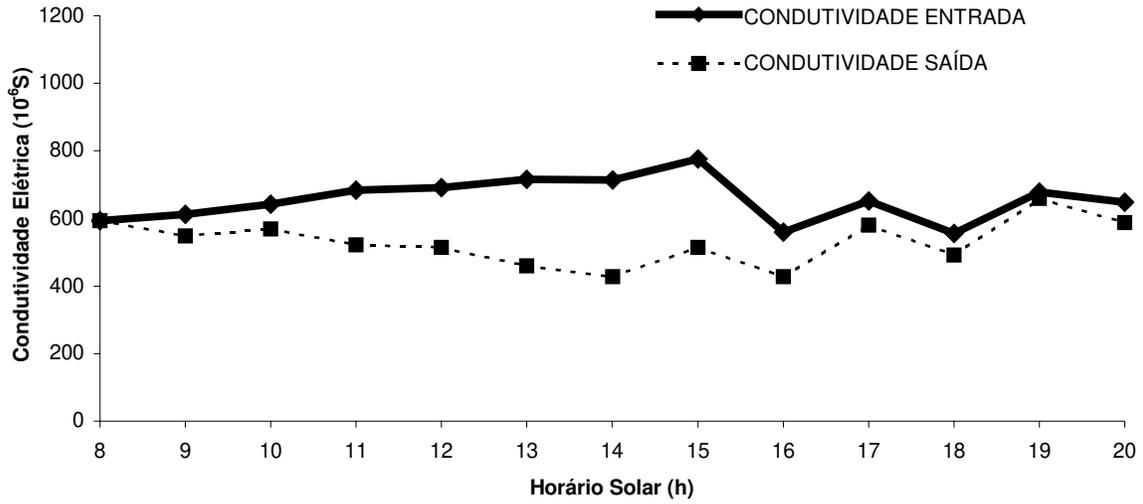
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 01/10/2002



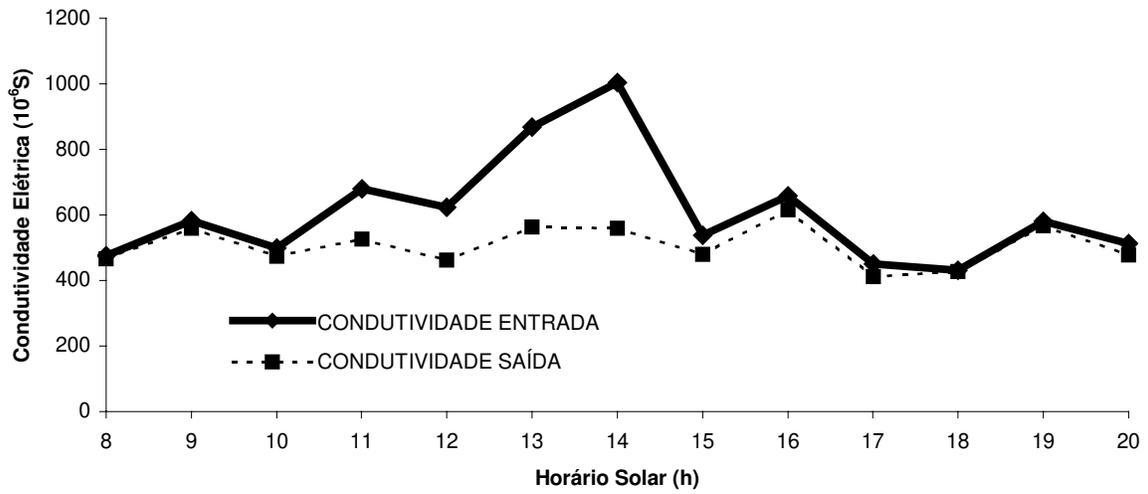
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 01/10/2002



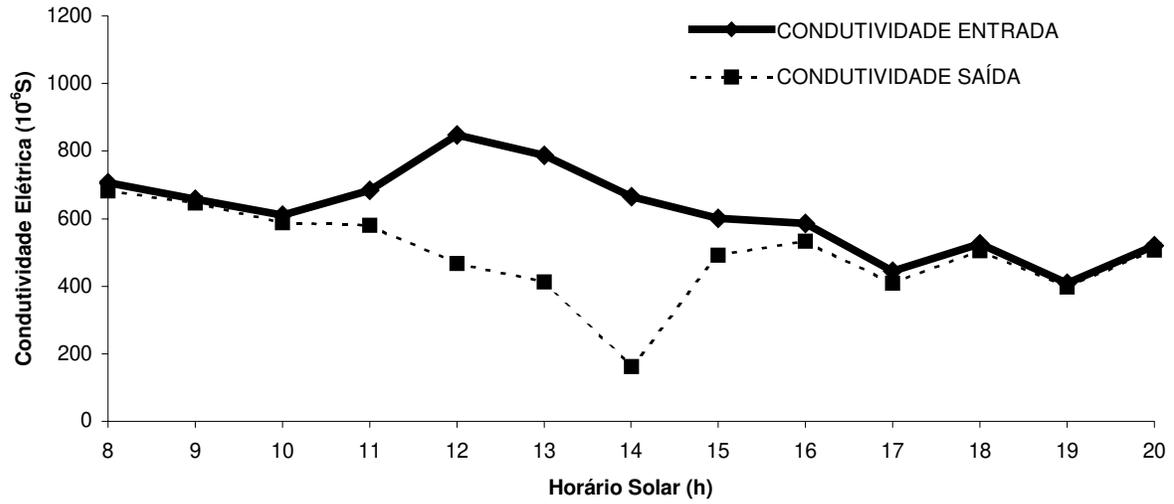
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 02/10/2002



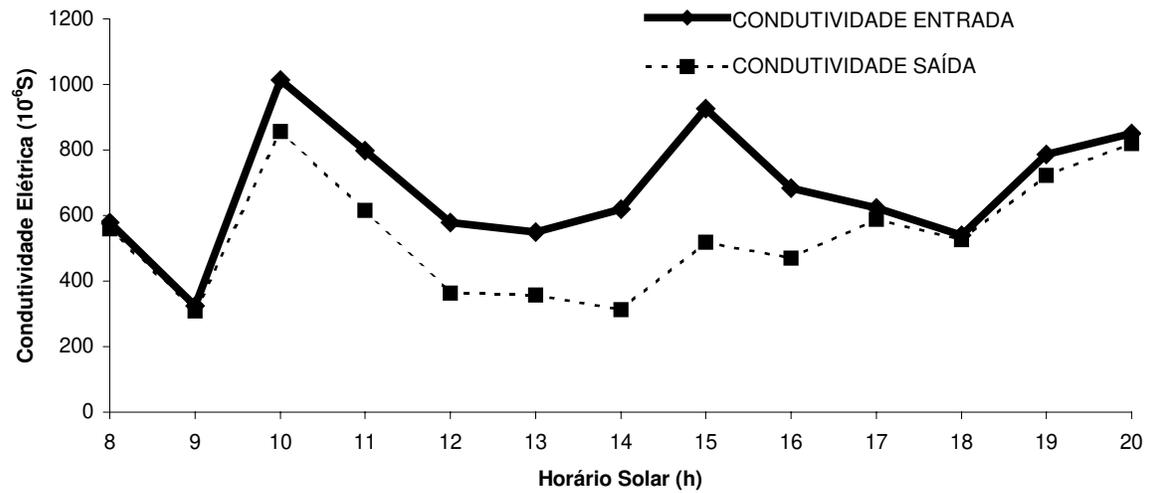
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 02/10/2002



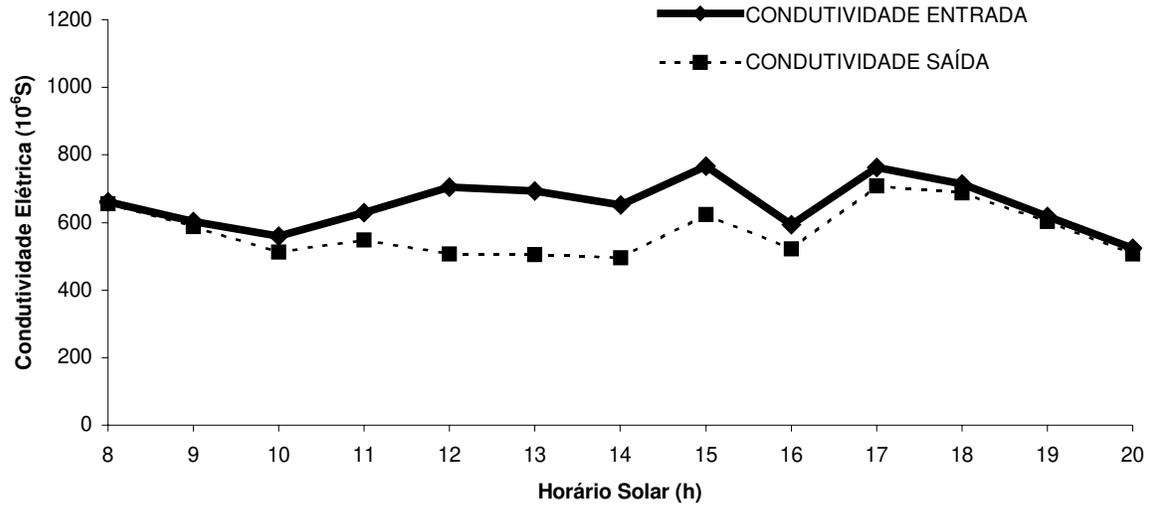
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 03/10/2002



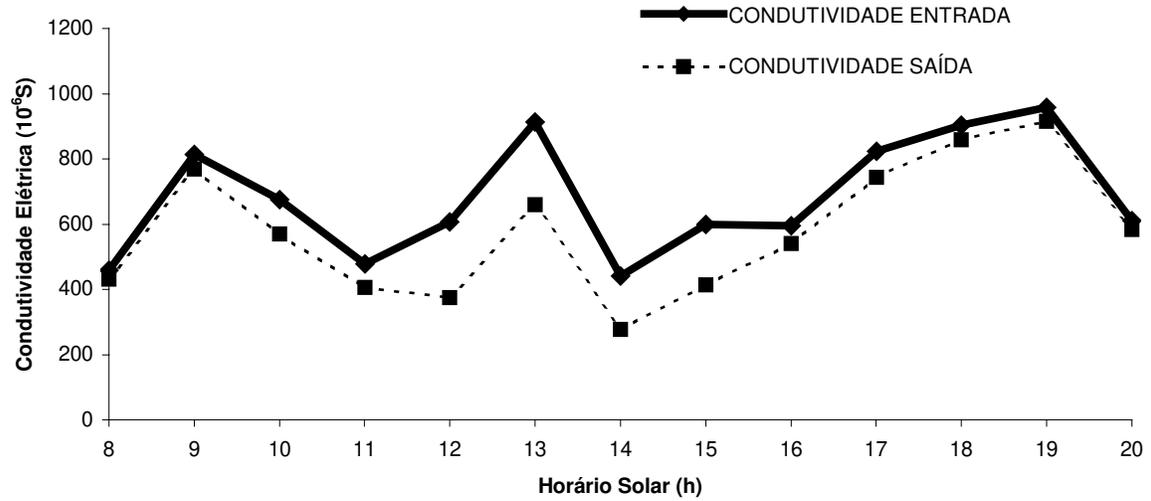
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 03/10/2002



CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 1 PARA O DIA 04/10/2002

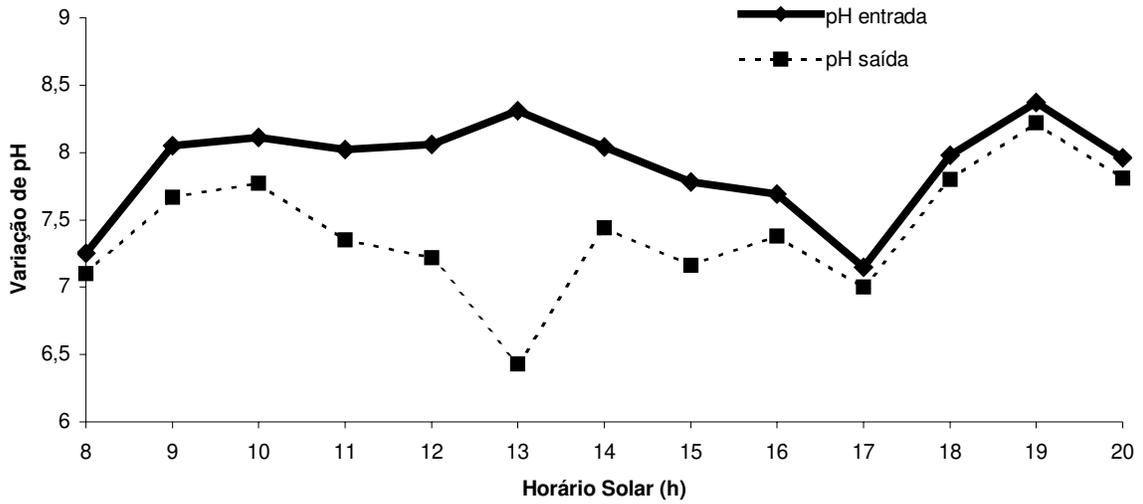


CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO LEITO 2 PARA O DIA 04/10/2002

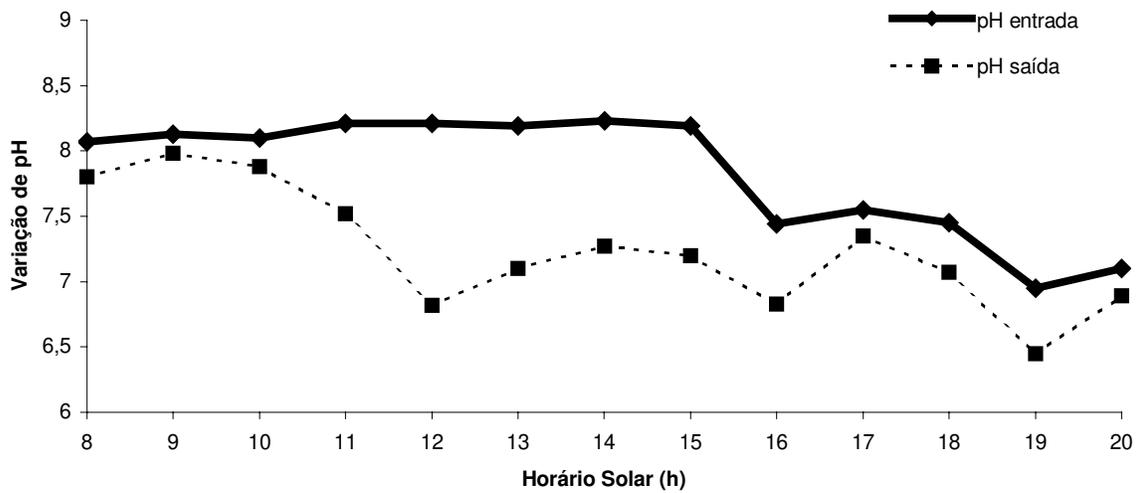


**A10-ANALISE GRÁFICA DO pH DE ENTRADA E SAÍDA DOS LEITOS
CULTIVADOS**

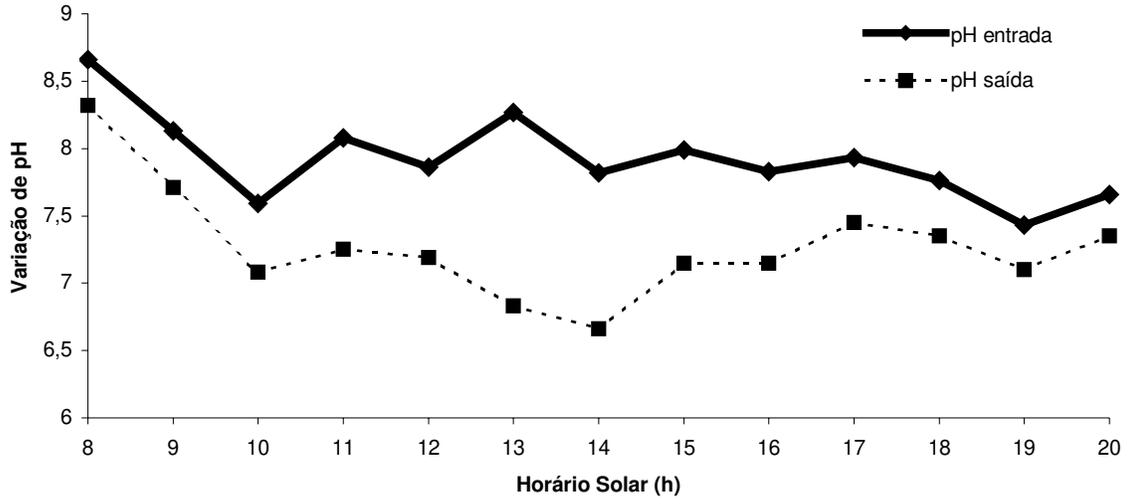
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 13/05/2002



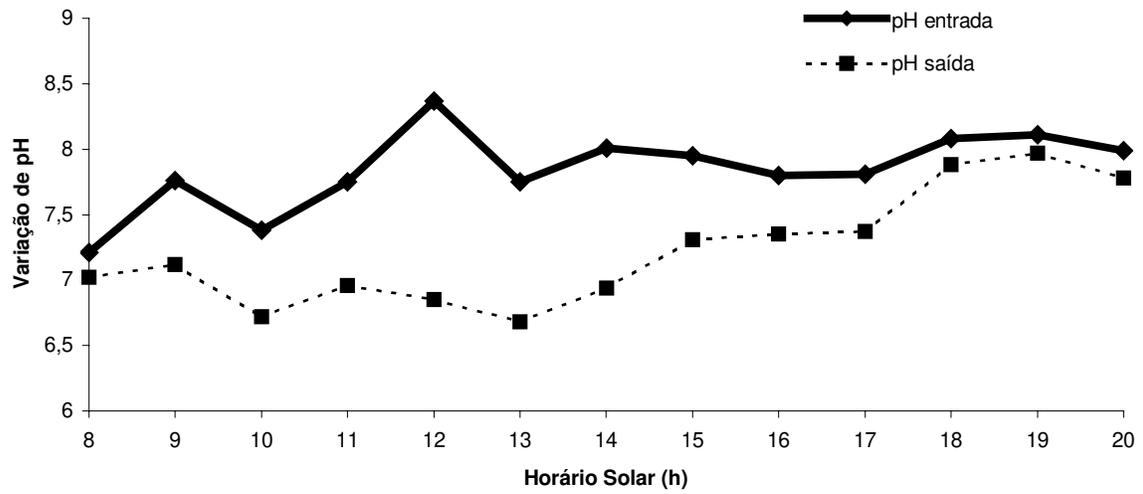
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 13/05/2002



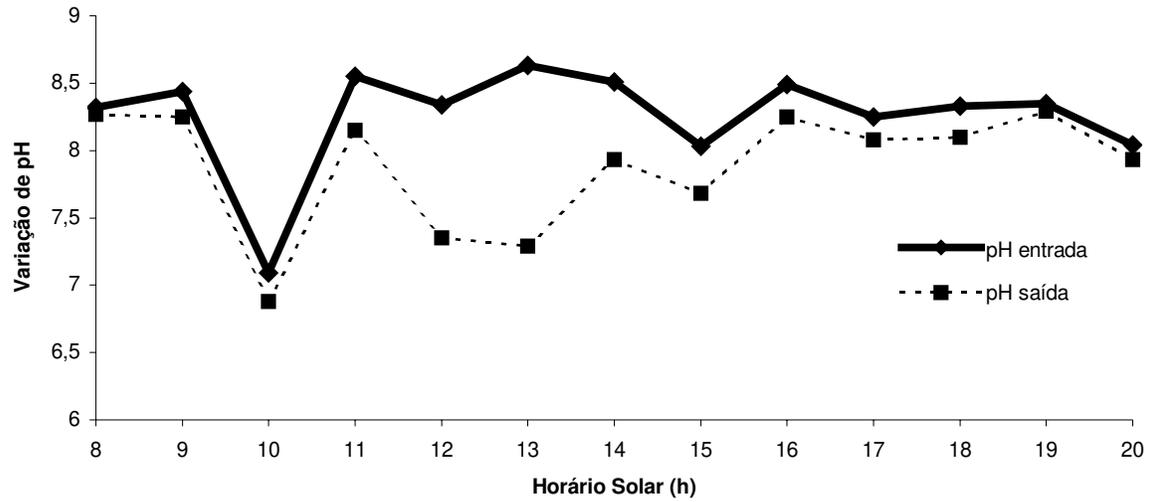
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 14/05/2002



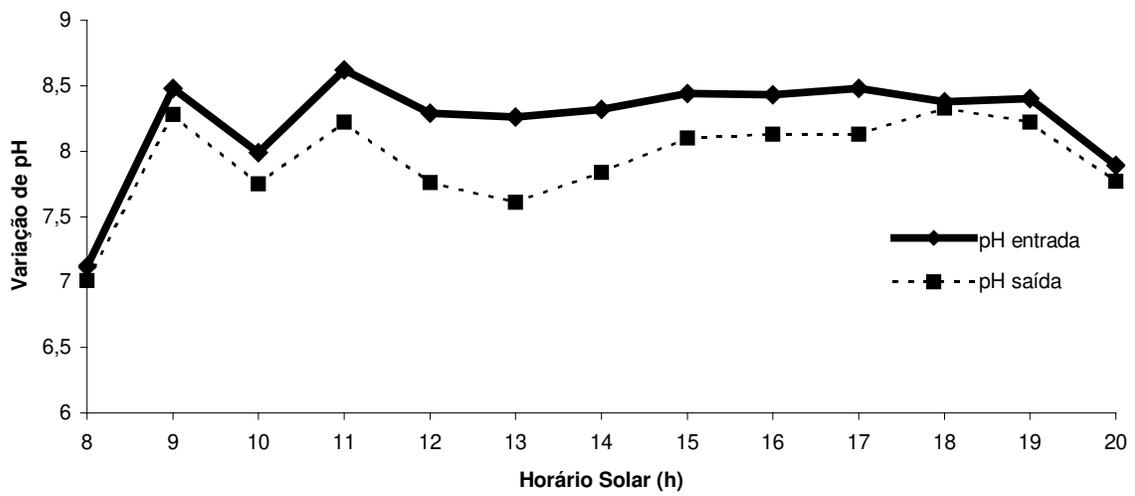
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 14/05/2002



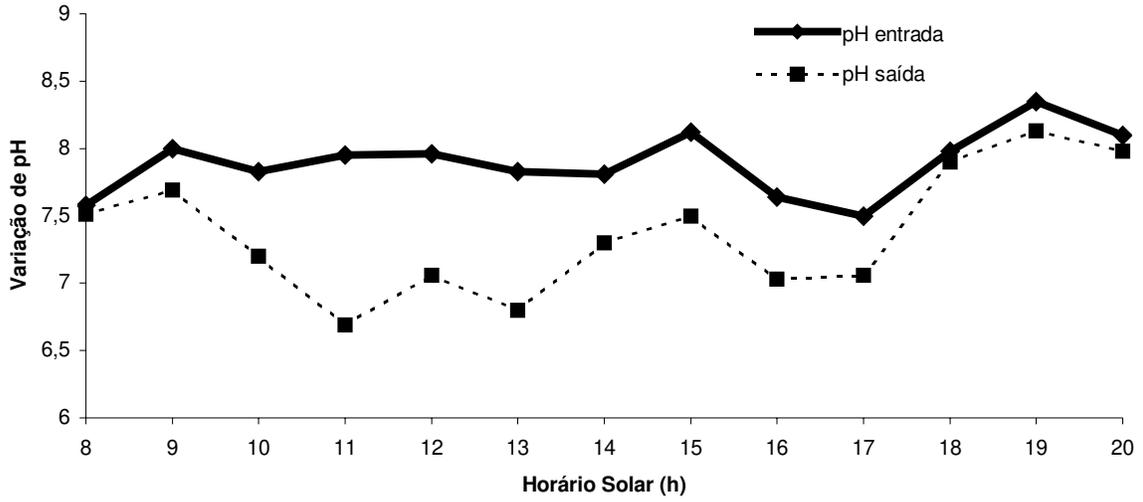
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 15/05/2002



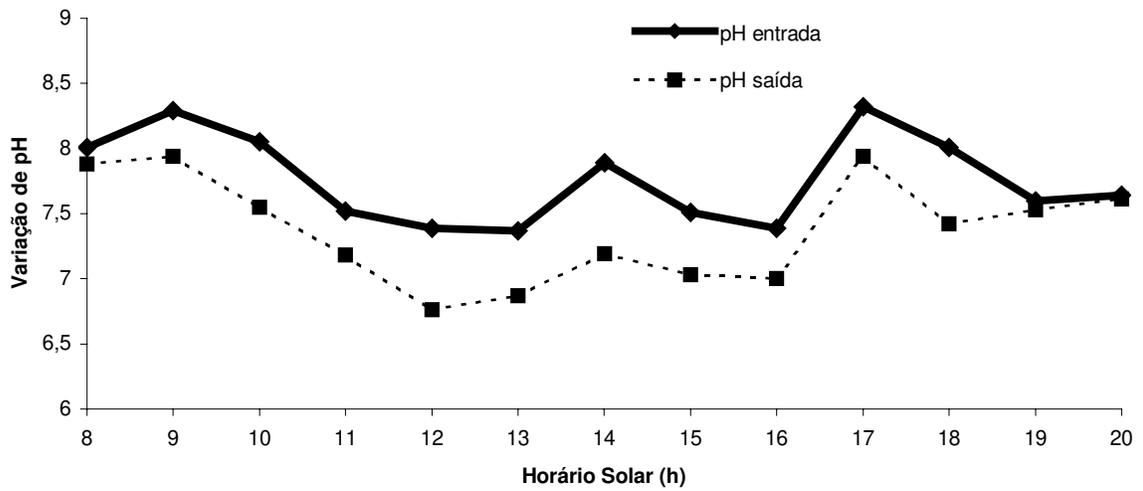
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 15/05/2002



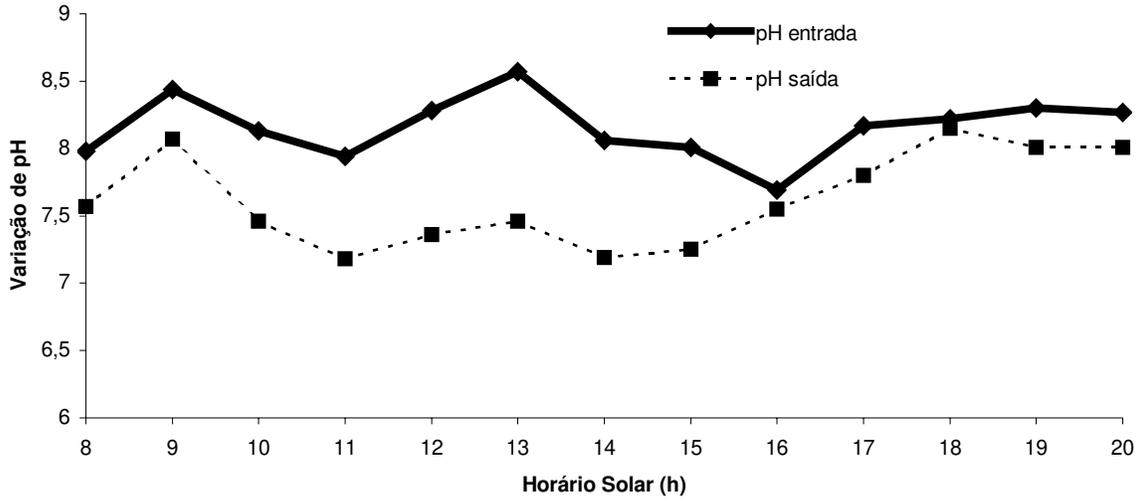
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 16/05/2002



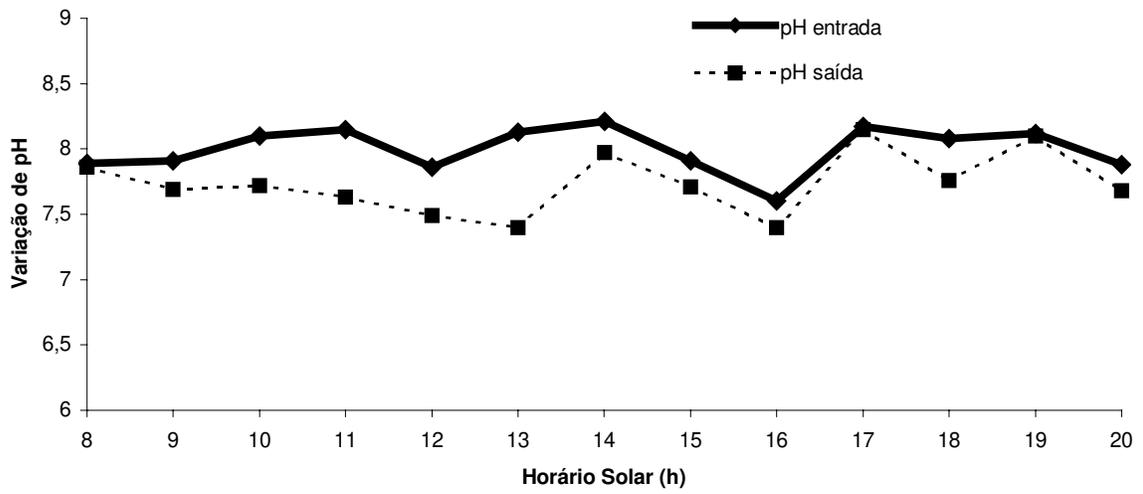
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 16/05/2002



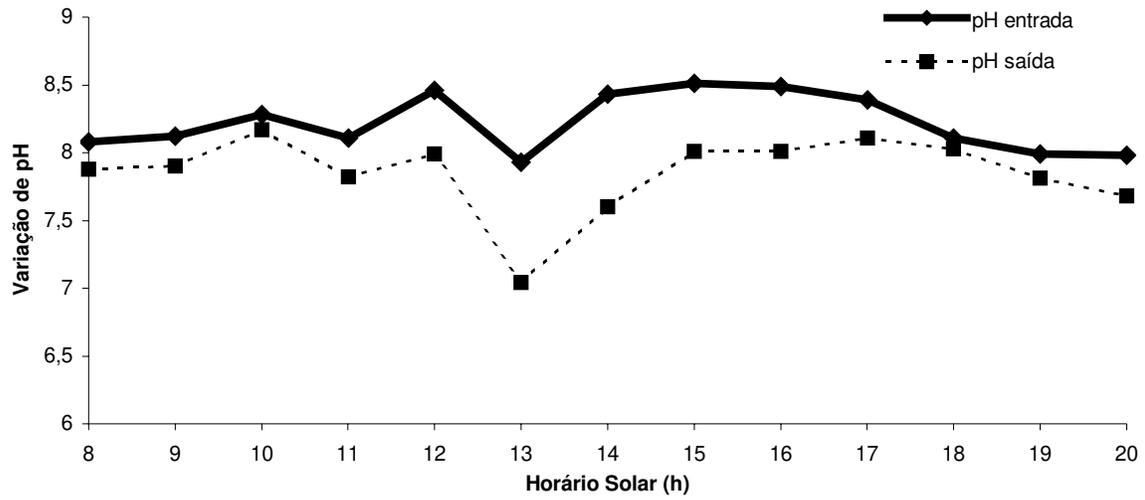
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 17/05/2002



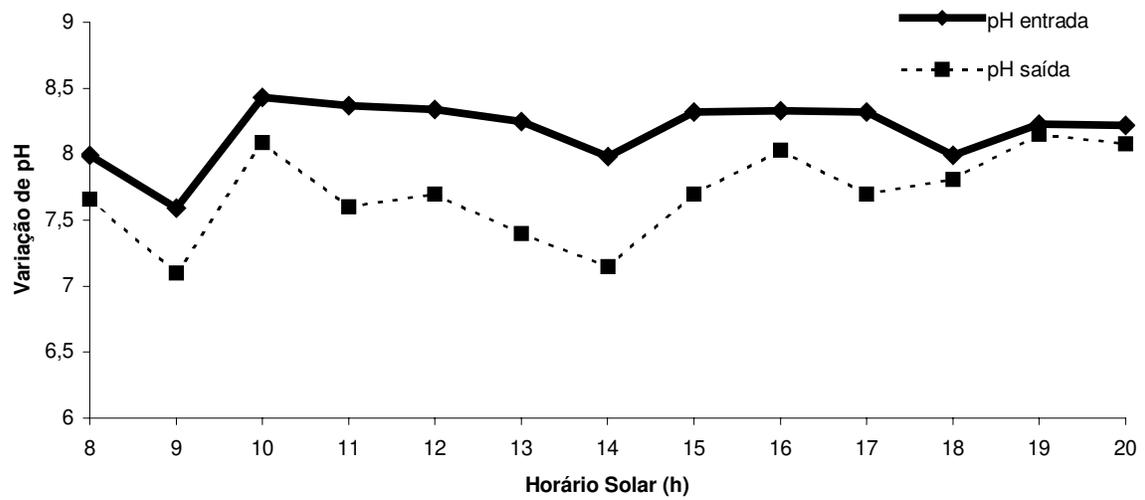
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 17/05/2002



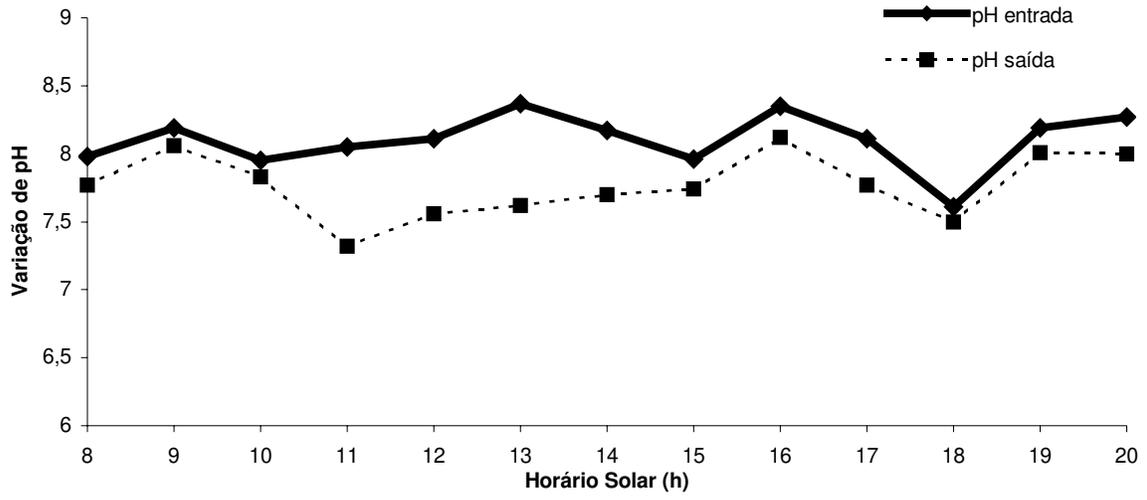
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 15/07/2002



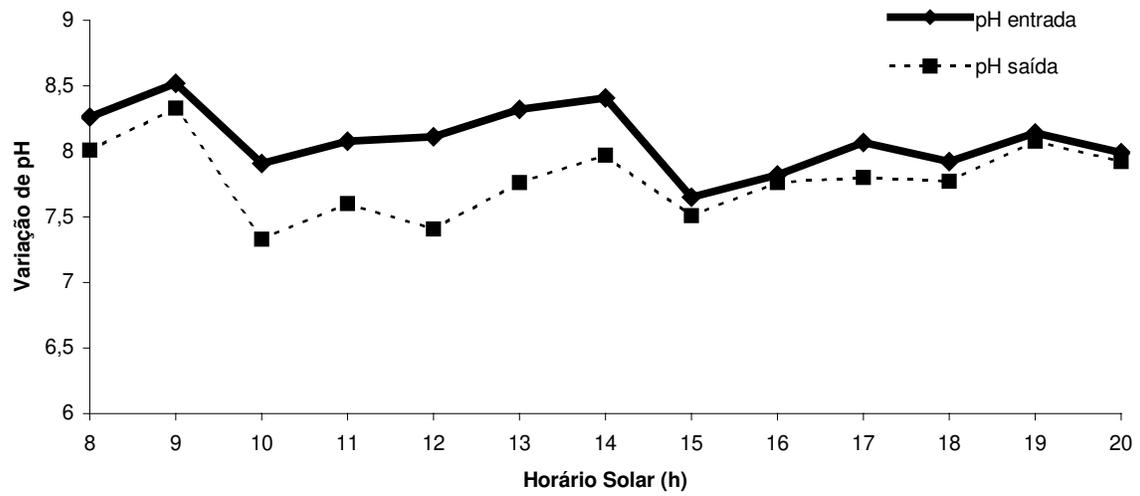
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 15/07/2002



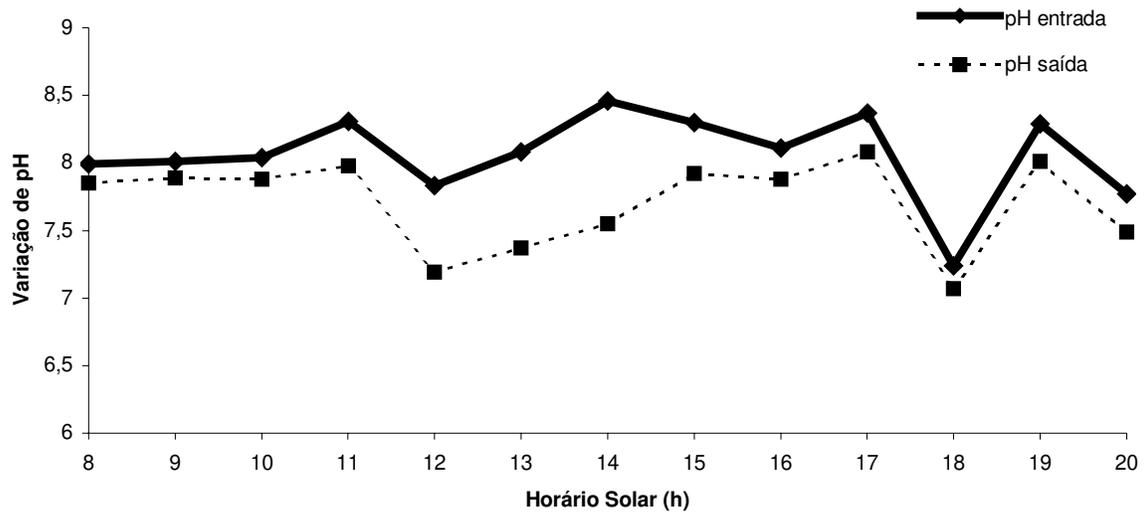
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 16/07/2002



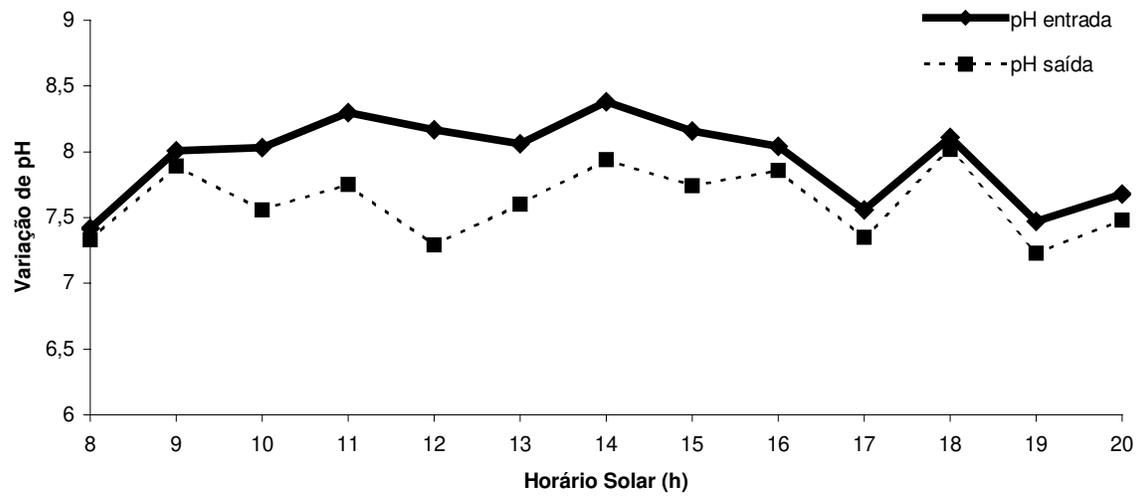
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 16/07/2002



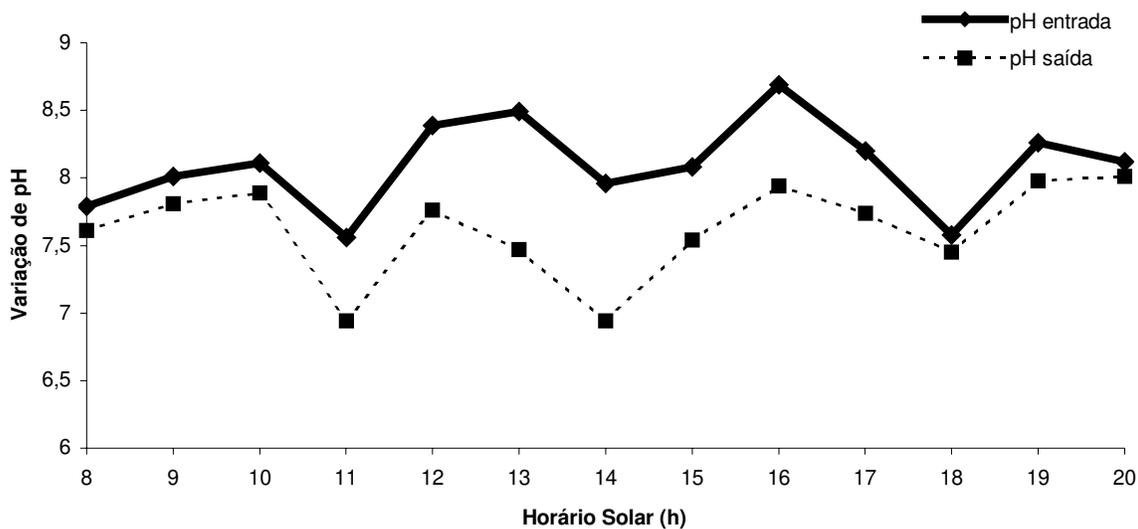
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002



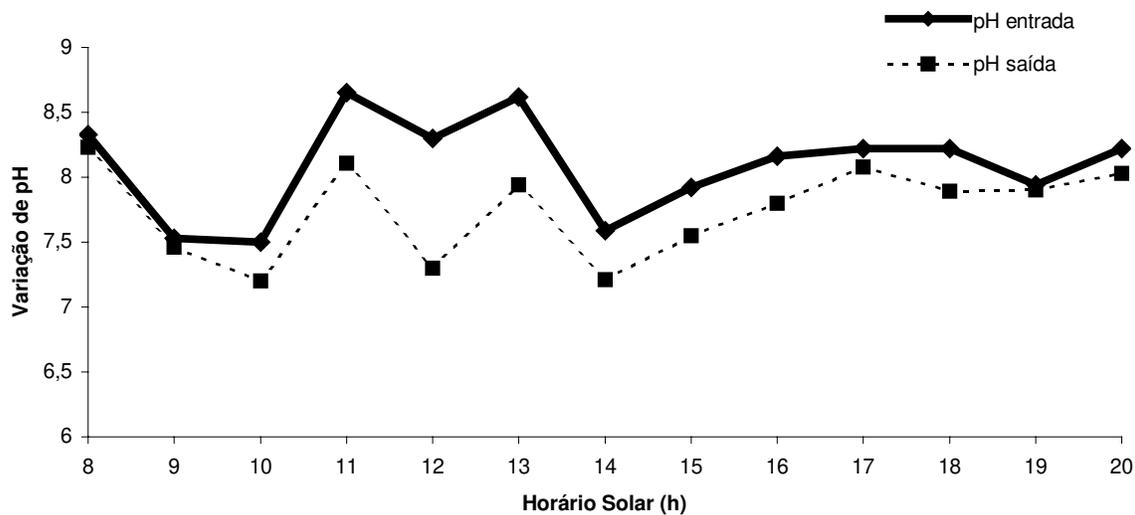
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 17/07/2002



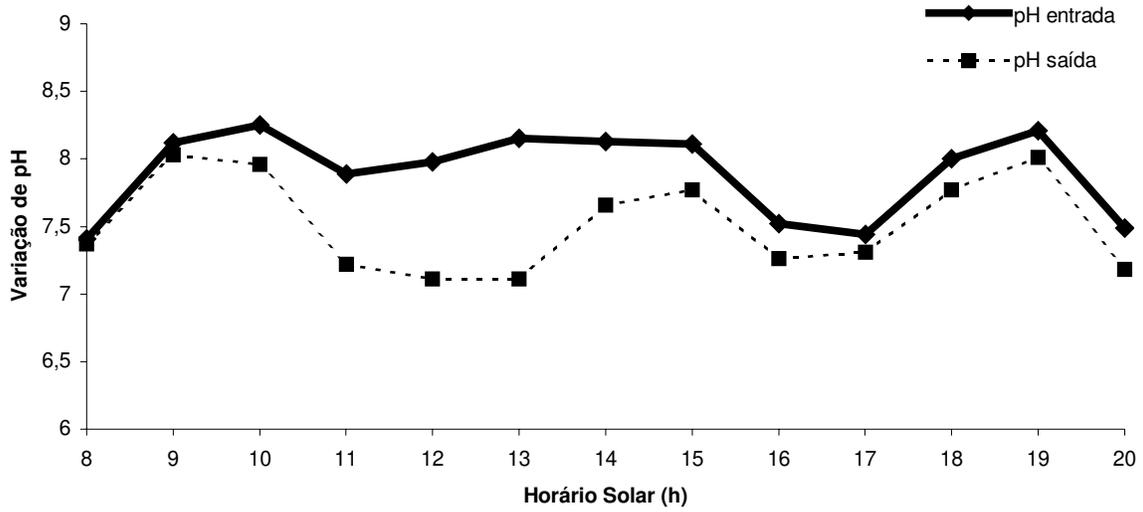
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 18/07/2002



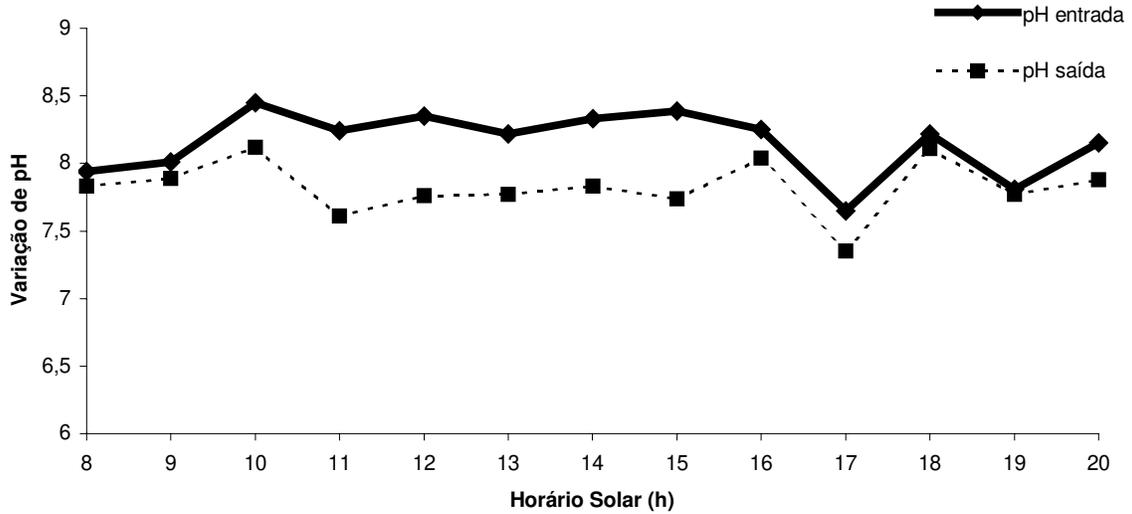
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 18/07/2002



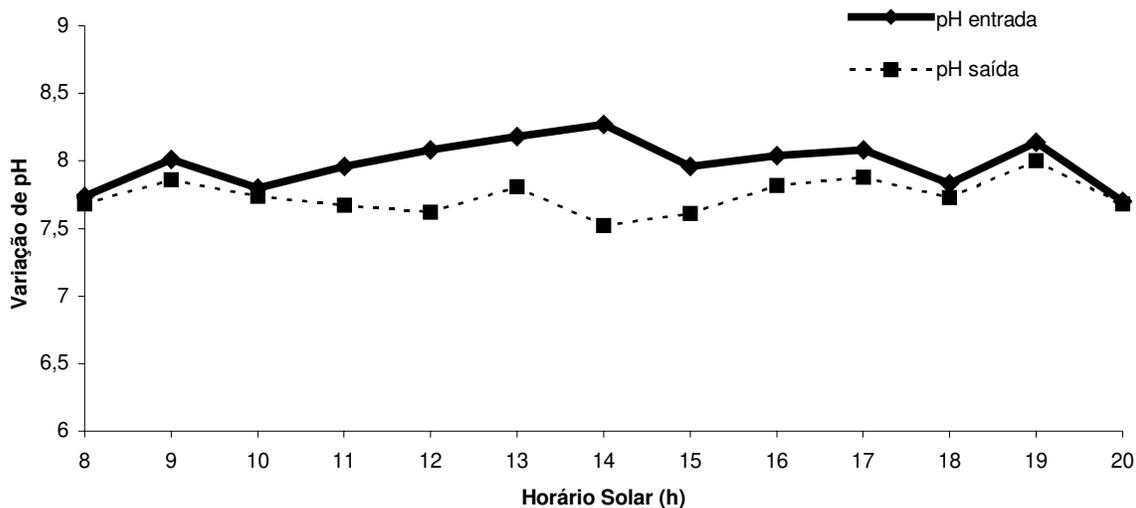
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 19/07/2002



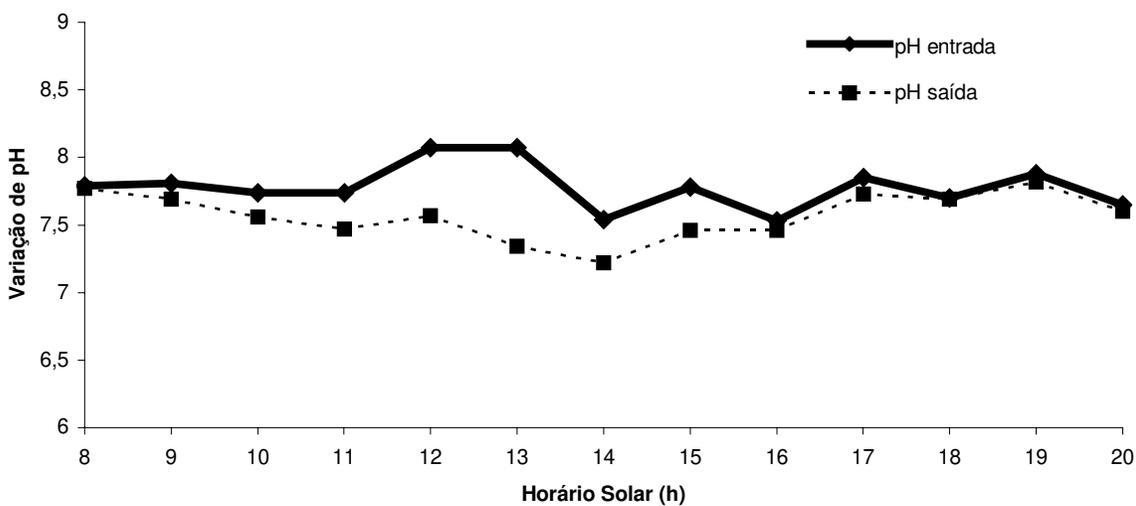
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 19/07/2002



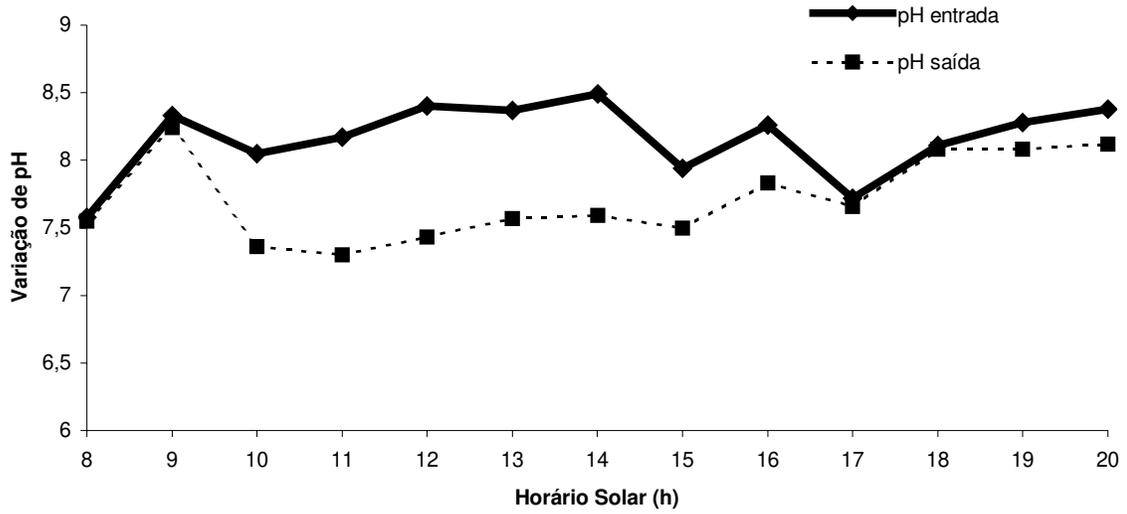
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 30/09/2002



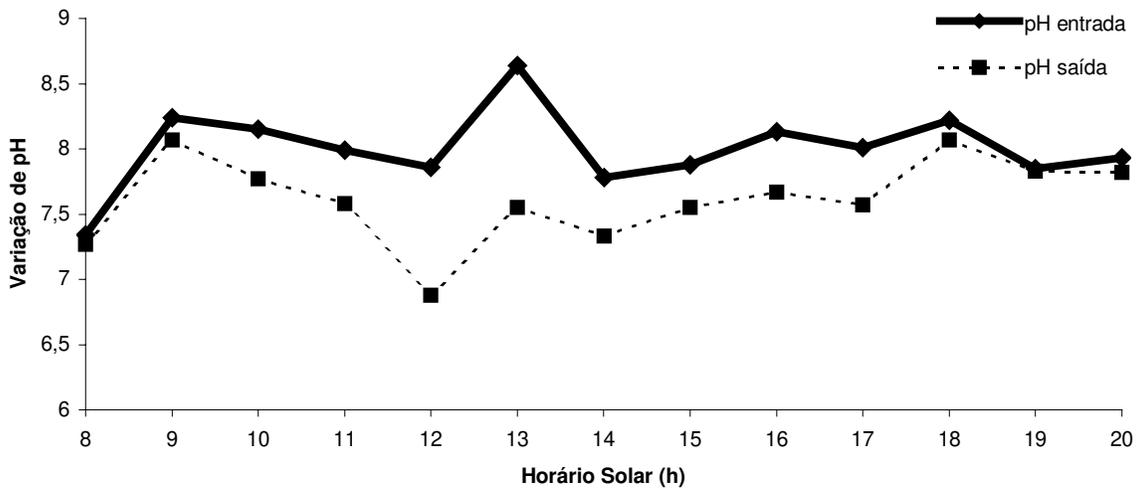
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 30/09/2002



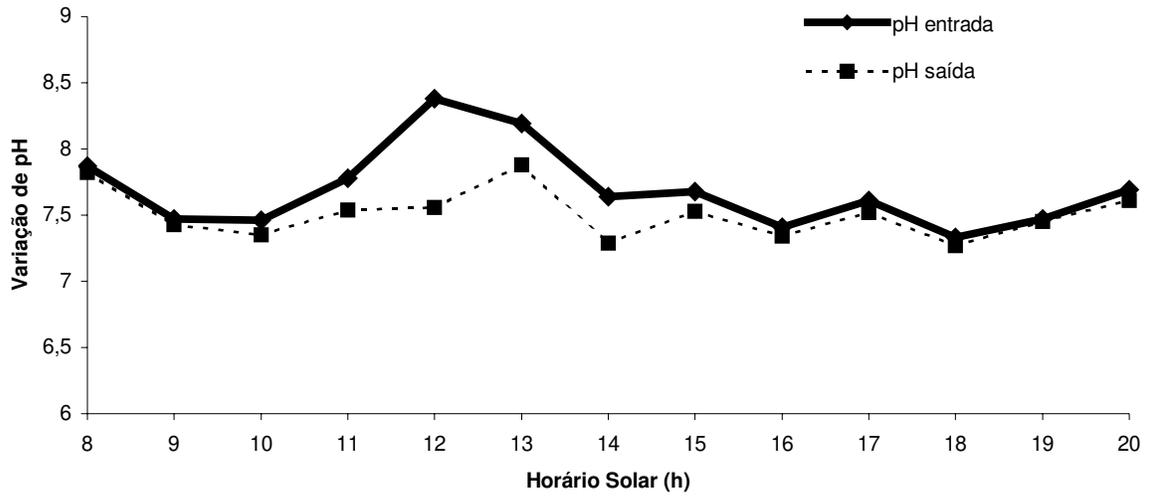
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 01/10/2002



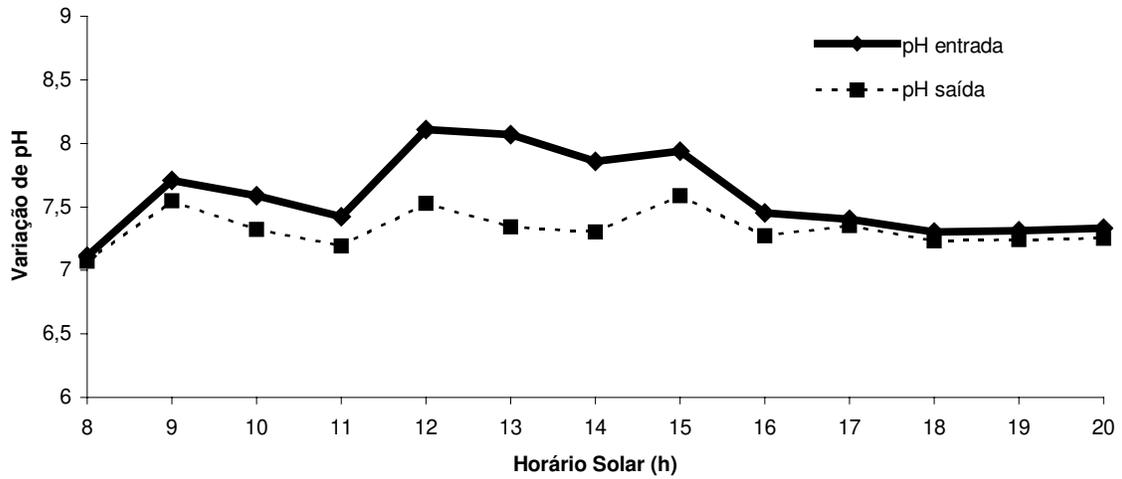
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 01/10/2002



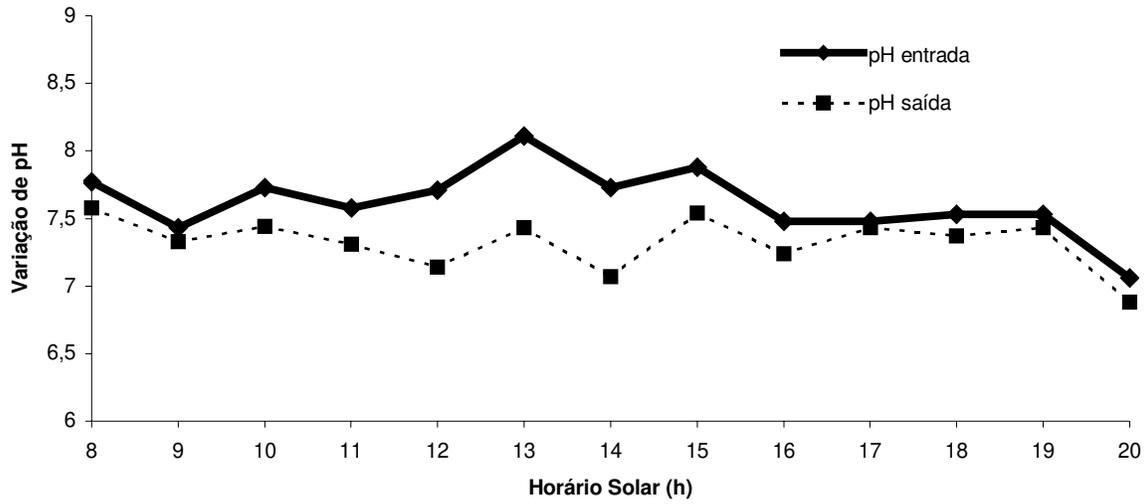
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 02/10/2002



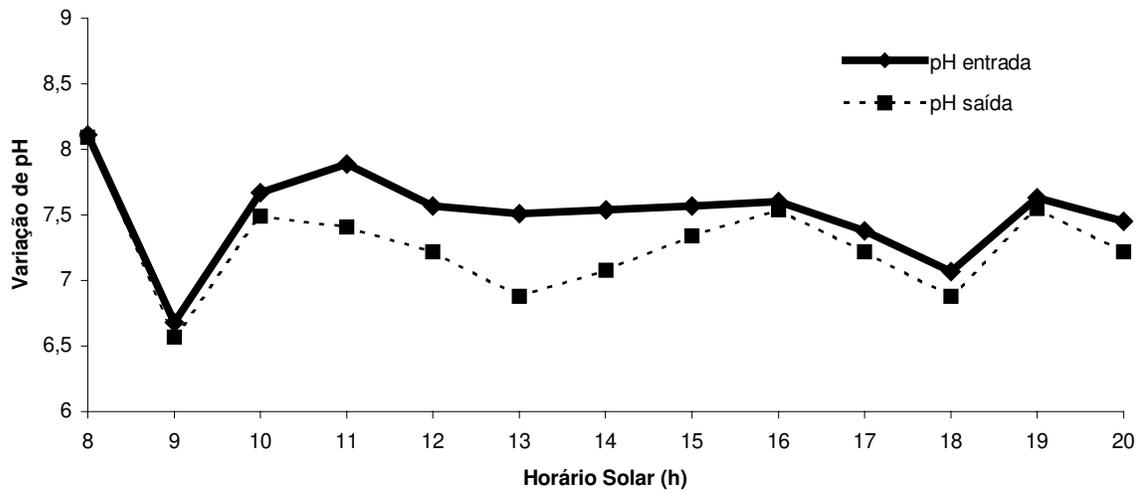
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 02/10/2002



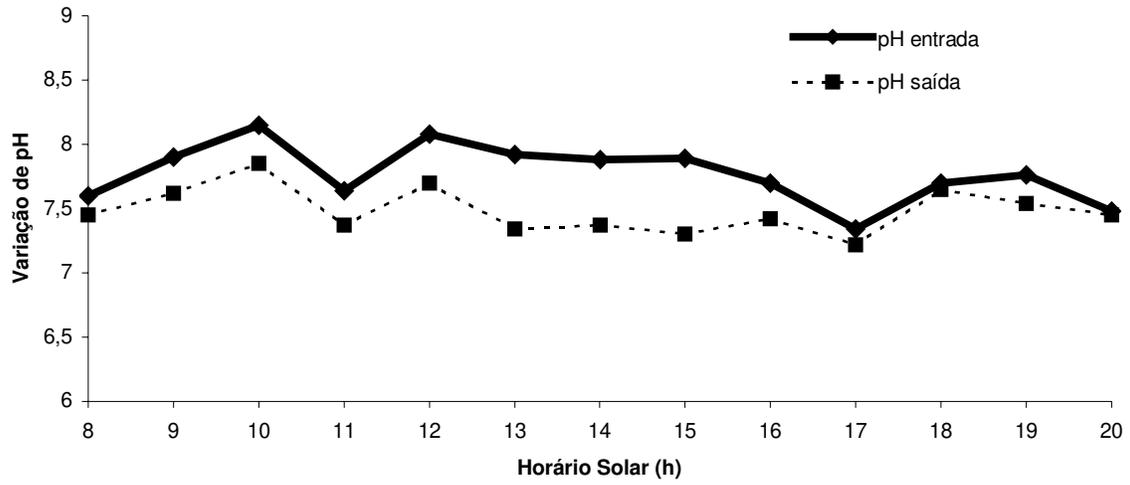
VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 03/10/2002



VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 03/10/2002



VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 1 PARA O DIA 04/10/2002



VARIAÇÃO DO pH NO LEITO 2 PARA O DIA 04/10/2002

