
ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ÁGUAS RESIDUAIS POR LEITO DE MACRÓFITAS



DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA
Ciências do Ambiente, ramo de Qualidade do Ambiente
Ecologia III

Autores:

🌐 Ferreira, Carlos J.	nº15193	carlosjorgeferreira@yahoo.com.br
🌐 Pereira, Mónica S. S.	nº15298	mpiriri@portugalmail.pt
🌐 Luís, Pedro F.M.	nº13593	pedroluis124@yahoo.com.br

PALAVRAS -CHAVE

Fito-ETAR, Macrófitas (emergentes vs flutuantes), *Phragmites communis*, *Lemna gibbor*, Depuração, Turbidez, Sólidos Suspensos Totais

ABSTRACT

Este documento teve como finalidade uma análise comparativa entre dois sistemas de macrófitas emergentes e flutuantes no que respeita à sua capacidade depuradora. Para tal foram determinados diferentes parâmetros físico-químicos tais como a Turbidez, os Sólidos Suspensos Totais (SST), o pH, a Condutividade, o BOD₇ e o Oxigénio Dissolvido (OD).

O nosso estudo incidiu apenas no sistema de macrófitas emergentes (*Phragmites communis*) e foi direccionado para dois parâmetros: a turbidez e os SST. Para tal, foram realizadas duas montagens experimentais (dois replicados), com o objectivo de se poder ler directamente os valores retirando amostras de água provenientes da ETAR de Évora, depois de sofrerem o processo de depuração por parte das macrófitas.

Dos resultados obtidos para os dois sistemas, conclui-se que o sistema onde se utilizou macrófitas emergentes, é aquele que é o mais eficiente em termos de depuração.

INTRODUÇÃO

A contaminação e a deterioração progressiva das águas doces estão a tornar-se num problema cada vez mais grave. A preocupação criada por este problema encontra-se reflectida com clareza numa legislação progressivamente mais rigorosa, promulgada nos países desenvolvidos para o tratamento adequado dos efluentes (Martinez, 1993).

Em alternativa às técnicas convencionais de depuração (caso das ETAR`s) foi desenvolvida uma série de sistemas conhecidos como "naturais" que aproveitam e potenciam os processos de purificação físicos, químicos e biológicos que ocorrem espontaneamente na natureza. É,

em bom rigor, o complexo "substrato-microbiota-plantas", com uma interacção depurante, que assegura a descontaminação das águas residuais nas Fito-ETARs, e não, isoladamente, as "plantas" ou qualquer outro componente desagregado do todo (Dias *et al*, 2000). Estes sistemas, que exigem grandes áreas de terreno, num País como o nosso em que há um grande número de povoações de pequena dimensão (inferior a 1000 indivíduos), assumem uma importância significativa na definição de adequados sistemas de tratamento de águas residuais de baixa tecnologia e custos moderados, não só em termos de primeiro investimento mas sobretudo em questões de exploração (Santiago, 1998). Isto é comprovado pelo facto de apresentarem baixo custo de inversão e manutenção, adaptando-se bem às variações do caudal e da carga poluente existente nos efluentes, razão pela qual são bastante adequados para pequenas comunidades rurais ou industriais agrárias (Martinez, 1993).

Estes sistemas naturais têm vindo a desenvolver-se segundo algumas linhas preferenciais, que incluem, nomeadamente, o recurso à capacidade bioxigenadora de plantas aquáticas não micrófitas, a reconstituição e optimização de zonas húmidas, a generalização do uso do poder autodepurador do solo e a concepção/construção de sistemas artificiais baseados, fundamentalmente, nas capacidades depuradoras das macrófitas (Oliveira, 1995).

As principais vantagens inerentes a este tipo de sistemas quando comparadas com os sistemas de tratamento convencionais são:

- ✓ Dispensam quaisquer equipamentos;
- ✓ Não é necessário adição de químicos, desde que as unidades sejam bem projectadas;
- ✓ Eficiências de tratamento elevadas, especialmente para BOD₅, sólidos totais em suspensão e coliformes fecais;
- ✓ Elevadas remoções de compostos azotados e de fósforo, desde que o projecto seja adequado e que haja uma área de tratamento suficiente;
- ✓ São de manutenção e supervisão simples, por constituírem sistemas de baixa tecnologia, podendo ser mantidos por pessoal não qualificado;
- ✓ Apresentam uma perfeita integração paisagística, uma vez que são sistemas de tratamento agradáveis esteticamente, proporcionando um espaço verde e fornecendo habitats para a vida selvagem;
- ✓ São sistemas relativamente simples que podem ser construídos em locais baixos, mesmo que inundáveis, sem inconvenientes ambientais.

Por outro lado tem também as suas desvantagens:

- ✓ Exigência de terreno com área razoável para a implantação dos leitos, (embora semelhantes, às necessárias para as trincheiras filtrantes);

- ✓ São sistemas dinâmicos com grande complexidade sobre os quais se tem apenas um conhecimento limitado, conduzindo a alguma imprecisão nos critérios de projecto, construção e operação;
- ✓ Necessidade de um período para obtenção das condições operacionais óptimas estimado em 2 a 3 anos;
- ✓ Estes sistemas estão em operação há cerca de 20 anos, pelo que se desconhecem eventuais problemas de colmatção, que poderão surgir devido à saturação do sistema.

Os componentes bióticos das zonas húmidas são susceptíveis de controlar as suas condições aquáticas através de uma variedade de mecanismos que incluem a captura de sedimentos, o sombreamento da folha (ou da coluna) de água, a transpiração, entre outros (Mitsch & Gosselink *in* Dias *et al*, 2000). Muitos pântanos e certas zonas húmidas ribeirinhas acumulam, por esse meio, sedimentos, decrescendo a frequência com que se apresentam inundados. Também a vegetação das zonas húmidas influencia as próprias condições hidrológicas através de modos e processos diversos: a aglutinação de sedimentos com a finalidade de reduzir a erosão, a interrupção de fluxos aquáticos, a captura de sedimentos e outro material particulado, a construção de depósitos túrficos ou húmicos (Dias *et al*, 2000).

Uma das características identitárias das zonas húmidas é a saturação hídrica. Esta circunstância determina o aparecimento de défices em oxigénio disponível, o que, em conjugação com a existência de diversos mecanismos associados de reposição desta substância, faz com que, de forma dinâmica, se estabeleçam no substrato das zonas húmidas sequências espaciais e temporais de micro-zonas dotadas de metabolismo de tipo diverso: aeróbio, anaeróbio e anóxico. Desta circunstância, o que interessa fazer avultar no âmbito do dimensionamento e operação das Fito-ETAR` s, é a capacidade das zonas húmidas se assumirem frequentemente como os principais ecossistemas redutores das paisagens, dotados de uma dilatada e extensa capacidade de processar não só nutrientes como também outras substâncias e materiais (Richardson, 1989 *in* Dias *et al*, 2000).

Os sistemas de leitos de macrófitas podem também servir como afinação do efluente depurado em estações de tratamento clássicas quando o meio receptor deva ser preservado de nutrientes como o azoto e o fósforo e, quando seja importante, a remoção de poluição microbiológicas (Moreira, 1998).

Desta forma podemos afirmar que as Fito-ETAR` s representam uma tecnologia emergente, de baixos custos energéticos, eficiente e estética, susceptível de se revelar como uma boa alternativa aos sistemas convencionais no tratamento de águas residuais. Designadas em

língua inglesa por *constructed wetlands, treatment wetlands, vegetated submerged beds, reed bed treatment systems*, as Fito-ETAR`s, são também conhecidas, em português, pelas denominações de lagoas e ou leitos de macrófitas, fito-lagunagem e ETAR`s através de plantas (ETAP`s) (Dias *et al*, 2000)

TIPOS DE Fito-ETAR`s/ MACRÓFITAS UTILIZADAS - SUAS CARACTERÍSTICAS

Os sistemas de tratamento de água podem utilizar um tipo principal de plantas numa operação de monocultura, ou podem utilizar uma grande variedade de tipos de plantas numa operação de policultura. Os diferentes tipos de plantas utilizadas podem ser flutuantes, submersas ou emergentes. De acordo com o tipo de plantas os sistemas classificam-se em:

- ✓ Sistemas baseados em macrófitas aquáticas flutuantes (enraizadas ou livres);
- ✓ Sistemas baseados em macrófitas submersas;
- ✓ Sistemas baseados em macrófitas aquáticas emergentes (Dias *et al*, 2000)

As primeiras provas de capacidade das plantas emergentes para depurar a água foram obtidas em diversas zonas húmidas ou áreas baixas naturais submetidas a efluentes residuais (Wetzel, 1983). A água após a passagem por essas zonas mostrava importantes reduções de todos os tipos de contaminantes.

Para este trabalho apenas se utilizaram os sistemas baseados em macrófitas aquáticas livremente flutuantes (*Lemna gibor*) e em macrófitas aquáticas emergentes (*Phragmites communis*).

A Família *Lemnaceae*, à qual pertence a *Lemna gibor*, integra 35 espécies sendo estas dotadas de um desenvolvimento rápido e intenso. Estas plantas podem, em condições óptimas de crescimento, duplicar a sua biomassa em 2 a 3 dias, podendo algumas delas apresentar um crescimento nocturno tão grande ou superior ao diurno (Vasconcelos, 1980).

É sobretudo em tratamento terciário que as Lemnáceas têm aplicação, constituindo também um reforço na eficiência dos sistemas de lagunagem (Dias *et al*, 2000).

Os critérios de dimensionamento recomendados e, normalmente utilizados em Fito-ETARs com lemnáceas são os seguintes (Hancock e Buddhavarapau, 1993 *in* Dias *et al*, 2000):

- ✓ Tempo de residência de sensivelmente 40 dias, na estação estival e mais de 2 meses no Inverno;
- ✓ Rácio comprimento:largura de 15:1;
- ✓ Profundidade dos leitos até 3 metros.

No que respeita aos sistemas baseados em macrófitas aquáticas emergentes, aquela montagem que mais vai ao encontro da actividade por nós efectuada é o sistema de fluxo sub-superficial vertical descendente. Nos sistemas de fluxo vertical descendente, a distribuição do efluente é feita à superfície dos leitos e a deslocação do líquido é em percolação (Figura 1).

Os principais critérios de dimensionamento recomendados e normalmente utilizados em Fito-ETARs de macrófitas aquáticas emergentes e com fluxo superficial livre (Reed *et al*, (1988), entre outros *in* Dias *et al*, 2000) são:

- ✓ Pré-tratamentos a montante da Fito-ETAR: tratamentos preliminares (gradagem, desarenação, etc) e, desejavelmente, tratamento primário (sedimentação primária);
- ✓ Carga orgânica: < 112 Kg de CBO₅ 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;
- ✓ Rácio do aspecto (comprimento:largura): >10:1;
- ✓ Profundidade: 0, - 0,4 m;
- ✓ Declive do fundo: 0,5%;
- ✓ Solo / substrato: 20-30 cm para suportar o crescimento da vegetação, sem exigências especiais de permeabilidade (normalmente usam-se solos locais);
- ✓ Vegetação mais frequente: especialmente *Scirpus* spp. e *Typha* spp. nos EUA; *Phragmites australis* na Europa;

As *Phragmites communis* (Figura 1) são vulgares em zonas húmidas, margens dos cursos de água e valas, desde o Minho ao Alentejo, atingindo até 4m de altura. É denominado vulgarmente de "caniço". Trata-se de uma planta lenhosa de rizoma comprido, rastejante, multiplicando-se vegetativamente por gomos adventícios (Vasconcelos, 1970). Daí o interesse de testar o seu comportamento, em condições de depuração biológica efectiva.



Figura 1- *Phragmites communis* (*in* www.etarplan.pt)

PARÂMETROS A ANALISAR - SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS/TURBIDEZ

Sólidos Suspensos Totais

A definição de sólidos refere-se a toda a matéria suspensa ou dissolvida num corpo de água. Os sólidos podem afectar a qualidade da água de um modo negativo de diversas maneiras. Águas com muitos sólidos dissolvidos geralmente são de baixa qualidade podendo induzir reacções fisiológicas indesejadas no seu consumidor. O limite máximo de 500 mg para sólidos dissolvidos por litro de água foi estabelecido para as águas de consumo humano. Águas demasiado mineralizadas são inadequadas para muitas aplicações industriais. Análises de sólidos são importantes no controlo de desperdícios físicos e biológicos e na análise em processos de tratamento (APHA-AWWA-WEF, 1995).

Sólidos totais é o termo utilizado para os resíduos sólidos que ficam no fundo do recipiente após evaporação da amostra e secagem na estufa. Os sólidos totais indicam "os sólidos suspensos totais" que são a porção de partículas sólidas retidas no papel de filtro e os "sólidos dissolvidos totais" a porção que atravessa o filtro (APHA-AWWA-WEF, 1995).

Turbidez

A quantidade e a qualidade da luz disponível são essenciais para o desenrolar dos processos de fotossíntese das plantas. A fotossíntese como processo vital para o desenvolvimento das plantas é potenciada pelo aumento da intensidade de luz, até um valor óptimo, para o qual a taxa fotossintética é máxima. A turbidez é o parâmetro que permite a avaliação da quantidade de luz disponível para a execução dos produtos fotossintéticos essenciais à flora aquática. Se uma água é turva, a passagem da luz será inibida e a flora aquática terá problemas na execução fotossintética. Se for límpida a luz atingirá grandes profundidades, despoletando e incentivando os processos fotossintéticos das plantas de várias profundidades (APHA-AWWA-WEF, 1995).

A turbidez é assim um parâmetro essencial para determinar a qualidade da água para o desenvolvimento da flora. Pode ser determinado experimentalmente em laboratório pela utilização de uma fonte luminosa que atravessa a amostra e um ou mais detectores fotoeléctricos com medidores da intensidade da luz resultante, permitindo assim estabelecer uma relação entre a luz incidente e a emergente. Dessa relação consegue-se determinar a turbidez.

As unidades vêm expressas em NTU ou FTU. No nosso caso o aparelho dá os valores em NTU.

METODOLOGIA

Enquadramento da experiência

Com o objectivo de estimar a capacidade de depuração da *Lemna gibor* e da *Phragmites communis*, foram testados os seguintes parâmetros: condutividade, oxigénio dissolvido, turbidez, pH, BOD e sólidos suspensos totais (SST), cabendo ao nosso grupo a análise da turbidez e dos SST.

Métodos de campo

Foram inicialmente recolhidas macrófitas, nas margens da Ribeira de Valverde, junto à localidade, que seriam utilizadas no estudo.

Efectuou-se a montagem da experiência que está representada na Figura 3. Posteriormente foi recolhida água residual na E.T.A.R. de Évora, no dia 8 de Maio. Depois de regada a experiência (os vasos) procedeu-se nas semanas seguintes à recolha de dados.

Montagem Experimental

Em dois vasos com cerca de 34cm de diâmetro, 75 cm de altura e uma saída de água por descarregador de fundo (torneira) colocou-se uma sequência de camadas, de respectivamente, de cima para baixo, areia, leca e gravilha. Posteriormente procedeu-se à rega de cada um dos vasos com 5L do efluente da ETAR.

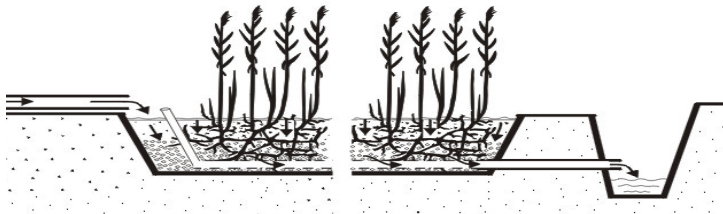
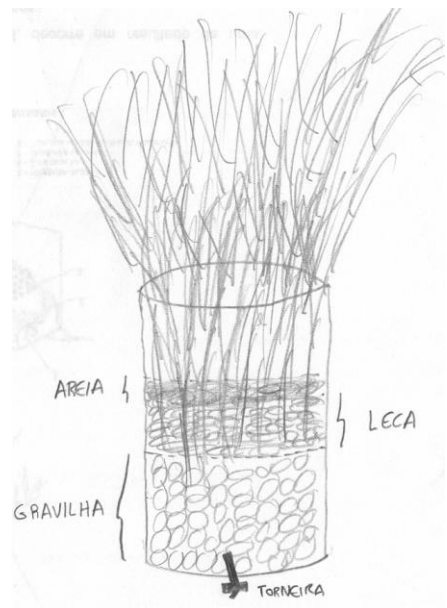


Figura 2 - Esquema representativo do sistema de macrófitas aquáticas emergentes (Dias *et al*, 2000).

Figura 3 - Esquema experimental utilizado com três camadas diferentes (gravilha, leca e areia) e a macrófita aquática emergente, *Phragmites communis*.



TÉCNICA/PROCEDIMENTO LABORATORIAL

Sólidos Suspensos Totais

Para a obtenção dos SST coloca-se o filtro no funil de Büchner, lava-se com água destilada para posteriormente por sucção remover os vestígios de água. Depois com o auxílio duma pinça retira-se o filtro para o colocar no vidro de relógio para o colocar a secar a 103 - 105°C, durante 30 minutos. Em seguida coloca-se no excicador para arrefecer o papel de filtro. Em seguida, filtra-se por sucção 100mL da amostra de água retirada de cada um dos recipientes. Com a pinça retira-se o filtro e coloca-se na cápsula de porcelana, secando novamente a 103-105°C durante 30 minutos. Arrefece-se outra vez no excicador e pesa-se o filtro, até obter massa constante.

Os sólidos suspensos totais são uma estimativa dos materiais inorgânicos dissolvidos na água após secagem por evaporação (105°C).

Para se proceder ao cálculo dos Sólidos Suspensos Totais (SST) utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\text{SST (mg/L)} = ((A-B) * 1000) / C$$

Em que:

- A - massa de filtro + resíduo
- B - massa de filtro
- C - Volume da Amostra (mL)

Turbidez

A turbidez pode ser determinada por um aparelho que tem que ser previamente calibrado. Posteriormente é colocada a amostra a analisar dentro de uma célula que é introduzida no aparelho, recolhendo-se em seguida os valores, após estabilização.

RESULTADOS/TRATAMENTO DE RESULTADOS

Nos quadros I e II apresentam-se os resultados obtidos para os diferentes parâmetros analisados nos dois sistemas experimentais utilizados (sistemas baseados em macrófitas aquáticas emergentes - *Phragmites communis* - e sistemas baseados em macrófitas aquáticas flutuantes - *Lemna gibor*).

	Água provinda da ETAR	Replicado 1	Replicado 2	Média Replicados
Data de Realização	16/05/2003	23/05/2003	23/05/2003	
BOD ₇ (mg/L)	220	20	20	20
SST (mg/L)	44	9,0	16,0	12,5
Turbidez (NTU)	41	7,21	7,80	7,51
pH	7,282	6,917	6,743	6,83
Condutividade (µS/cm)	1213	1073	1189	1131
OD (mg/L)	1,35	2,39	2,22	2,31
OD (%)	15,8	28,2	26,4	27,3

Quadro I - Valores lidos no sistema baseado em macrófitas aquáticas emergentes (*Phragmites communis*).

	Água provinda da ETAR	Medição	Medição	Medição
Data de Realização	16/05/2003	23/05/2003	05/06/2003	12/06/2003
BOD ₇ (mg/L)	220	70	50	---
SST (mg/L)	44	61	78	110
Turbidez (NTU)	41	10,4	2,4	1,4
pH	7,282	7,580	7,524	7,570
Condutividade (µS/cm)	1213	1220	1249	1273
OD (mg/L)	1,35	2,12	3,93	4,68
OD (%)	15,8	26,1	47,1	58,5

Quadro II - Valores lidos no sistema baseado em macrófitas aquáticas flutuantes (*Lemna gibor*).

Para se efectuar a comparação de valores de eficácia Emergentes vs Flutuantes procedeu-se a cálculos, nos quais, se comparou os valores dos parâmetros vindos da ETAR com os valores após uma semana em contacto com as macrófitas utilizadas. Também se efectuou os cálculos da eficácia das *Lemna gibor* para um período maior. Os valores de eficácia apresentam-se no quadro III.

	Eficácia 16/05/2003 a 23/05/2003 (<i>Phragmites communis</i>)	Eficácia 16/05/2003 a 23/05/2003 (<i>Lemna gibor</i>)	Eficácia 16/05/2003 a 12/06/2003 (<i>Lemna gibor</i>)*
BOD ₇ (mg/L)	90,9%	68,2%	77,3%
SST (mg/L)	71,6%	**(-)66,6%	(-)250,0%
Turbidez (NTU)	81,7%	74,6%	96,6%
pH	***Não foram efectuados cálculos		
Condutividade (μS/cm)	6,8%	**(-)0,58%	**(-)5,0%
OD (mg/L)	71,1%	57,0%	248,2%

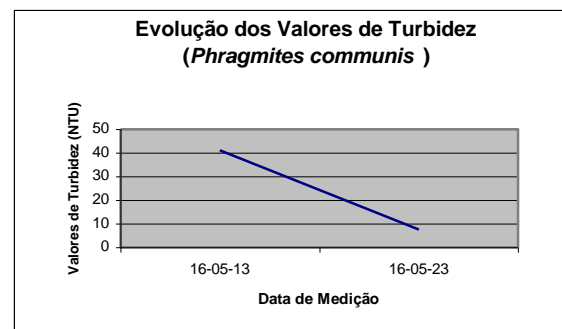
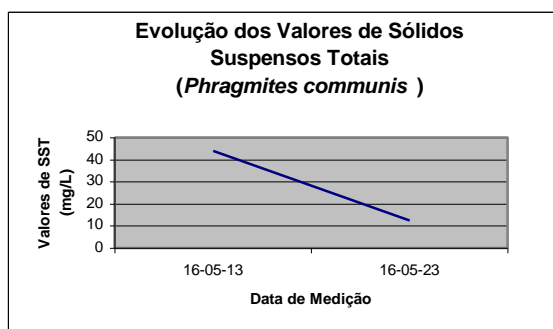
Quadro III - Comparação dos valores de eficácia obtidos nos dois sistemas com as diferentes macrófitas no mesmo período e também valores no sistema baseado em macrófitas aquáticas flutuantes (*Lemna gibor*) para um período maior.

* Os valores correspondentes a esta coluna não têm valores comparativos (emergentes).

** Os valores assinalados com (-) significa que tem efeito contrário ao esperado.

*** Não foram efectuados cálculos visto os valores se encontrarem dentro do intervalo considerado como óptimo para a actividade das macrófitas.

Para se efectuar a discussão e interpretação de resultados de uma forma mais fácil resolveu-se passar os resultados a gráficos (1 a 12). Assim:



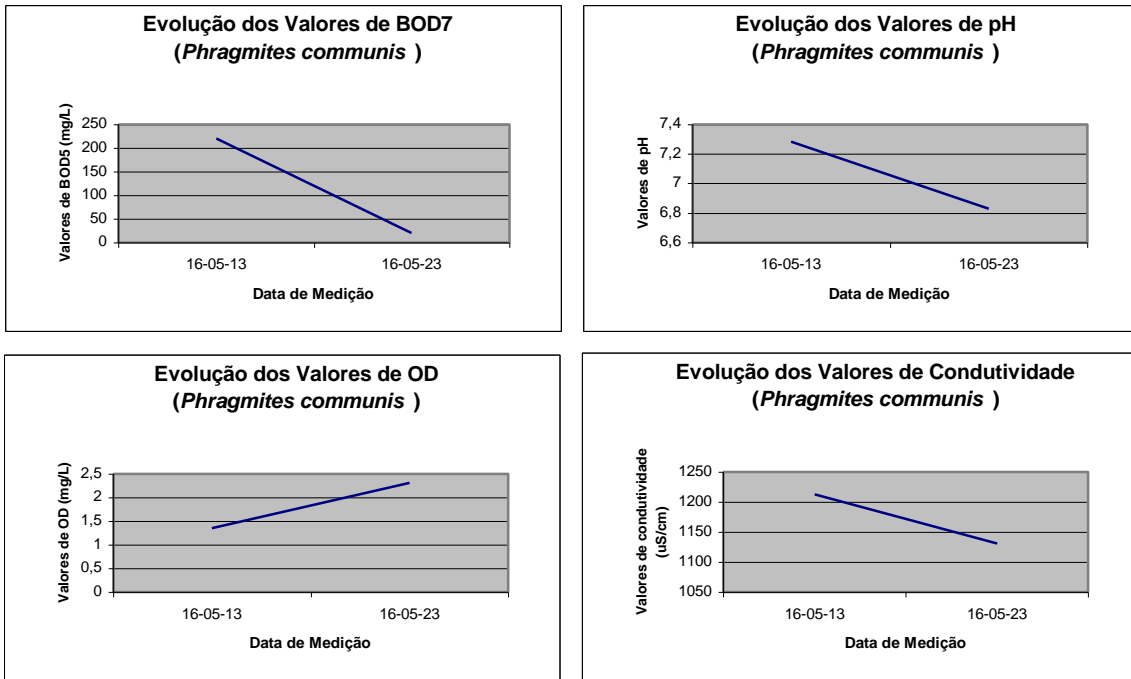
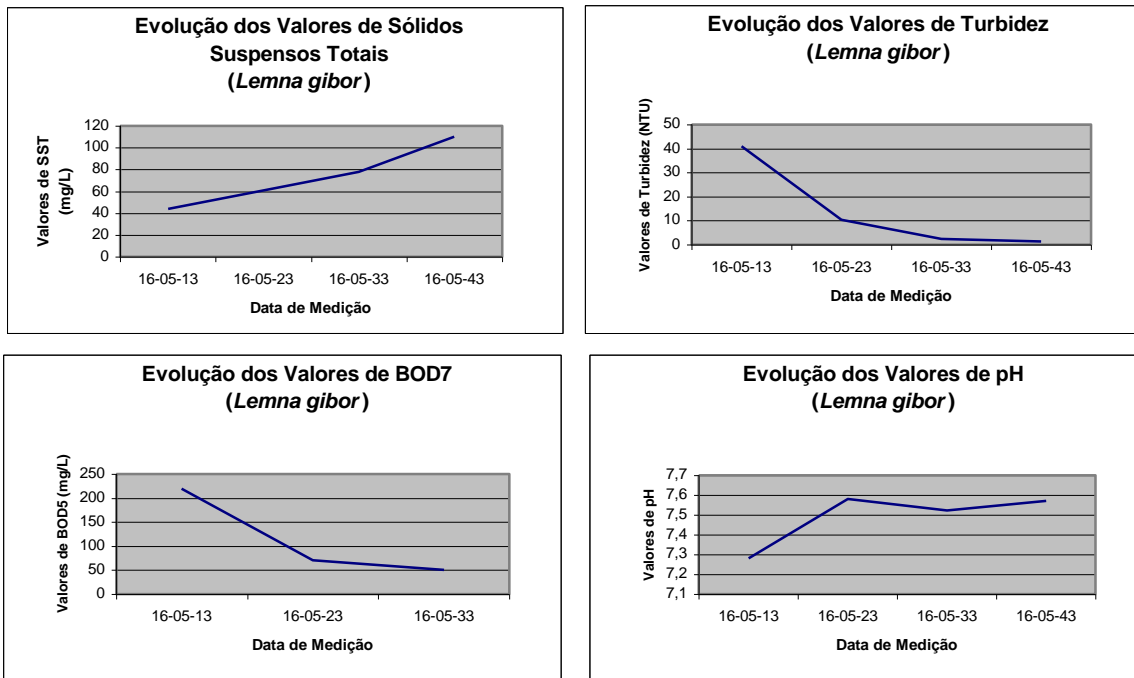


Gráfico 1 a 6 - Evolução dos valores de SST, turbidez, BOD₇, pH, OD e condutividade ao longo do tempo para o sistema de macrófitas aquáticas emergentes (*Phragmites communis*).



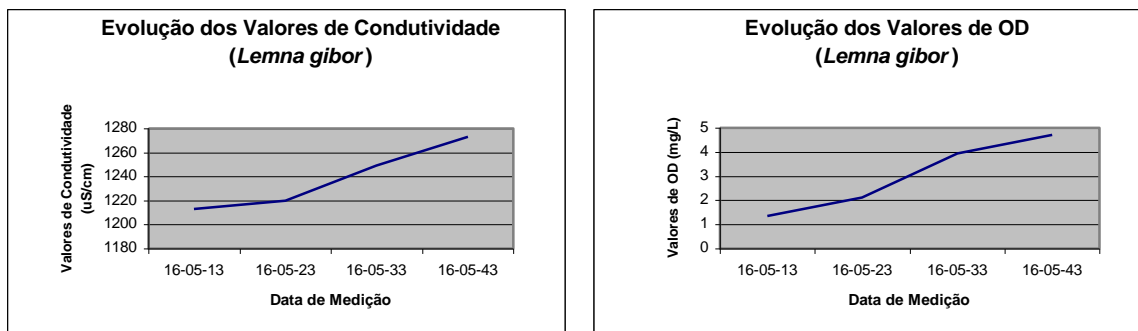


Gráfico 6 a 12 - Evolução dos valores de SST, turbidez, BOD₅, pH, OD e condutividade ao longo do tempo para o sistema de macrófitas aquáticas flutuantes (*Lemna gibor*).

DISCUSSÃO DE RESULTADOS/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando as tabelas e os gráficos que se obtiveram pode-se efectuar uma análise da evolução dos diversos parâmetros que se determinaram.

Assim, em relação aos valores de SST, as emergentes fazem diminuir 71,6%, o que está um pouco abaixo dos valores referenciados por Steiner & Combs (1993) *in* Neralla *et al* (2000) que citam que a redução se situa entre os 78 a 95%. Também Neralla *et al* (2000) no estudo registou valores mais elevados (88%) do que os valores por nós obtidos tal como os valores da Cetambio que indicam que em casos práticos alcançam valores na ordem dos 94% (www.evora.net/cetambio). Ao contrário, os valores de SST das macrófitas flutuantes aumentam (66,6 e 250% nos dois períodos de tempo considerados, respectivamente), o que não vai de encontro com a bibliografia, uma vez que deveriam diminuir, devido à sua capacidade de depuração.

A evolução da turbidez é análoga em ambos os casos com uma diminuição mais acentuada na primeira semana para ambas as macrófitas, indicando assim uma maior transparência da água. No período para o qual existem valores comparativos, podemos concluir que para as emergentes, a eficiência é de cerca de 81,7%, valor esse um pouco superior ao das flutuantes (74,6%). Analisando a evolução das flutuantes verifica-se uma redução para valores quase nulos, em 3 semanas, indo de 41 até valores quase insignificantes, 1,4 NTU (eficiência de 96,6%).

Fazendo a análise do conjunto SST e turbidez para as macrófitas aquáticas emergentes, os dois parâmetros baixam, o que era de esperar. Para as macrófitas aquáticas flutuantes os valores dos dois parâmetros contradizem-se visto que a turbidez baixa, mas os SST aumentam. Provavelmente ocorreram problemas em laboratório que não permitiram obter valores exactos.

A variação do pH é praticamente nulo com os valores a sofrerem apenas algumas alterações. No caso das emergentes, o pH decresce ligeiramente (ligeiramente ácido) enquanto que nas flutuantes sobe igualmente pouco (ligeiramente básico). Ambos os intervalos de valores estão de acordo com os valores teóricos legislados que se situam entre os 6,0 e 9,0 (Decreto-Lei nº236/98, de 1 de Agosto).

Para a condutividade ocorreu uma diminuição nas plantas emergentes (6,8%) e um aumento nas flutuantes (0,58% no período comparativo e 5% num período mais alargado). Ora um aumento da condutividade implica um aumento da carga eléctrica que reflecte uma maior quantidade de sais minerais levando a uma maior poluição das águas o que vai um pouco contra os valores obtidos para o BOD, SST e turbidez. Mais uma vez as macrófitas aquáticas emergentes levaram vantagem sobre as macrófitas aquáticas flutuantes. Normalmente, a capacidade de depuração das plantas leva a uma diminuição dos sais e logicamente à diminuição da condutividade.

Os valores de oxigénio dissolvido aumentam nas plantas emergentes em cerca de 71%, devido à actividade da planta. A evolução nas plantas flutuantes aponta igualmente para um aumento do oxigénio dissolvido embora num valor inferior (57,0%) ao das macrófitas aquáticas emergentes. Esse crescimento do valor de oxigénio dissolvido iria com certeza acentuar-se ao longo do tempo, mas deixou-se de poder efectuar uma comparação com as emergentes pois a água destas evaporou totalmente nesse período de tempo. Nesse período de tempo o oxigénio dissolvido aumentou 248,2% em relação ao valor inicial. Embora tenha aumentado 248,2% (de 1,35mg/L para 4,68mg/L), os valores ainda se encontravam afastados, por exemplo, dos valores considerados mínimos para a qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano tendo obrigatoriamente de ser sujeita a tratamento físico e desinfecção (Anexo I e II *in* Decreto-Lei nº236/98, de 1 de Agosto).

É também de referir que a solubilidade do oxigénio diminui exponencialmente com os aumentos de conteúdo de sais estando os sais associados a um aumento de condutividade.

Para analisar o BOD há que primeiro defini-lo. Assim, BOD é a quantidade de oxigénio necessária para que a totalidade da matéria orgânica presente na água seja mineralizada pelos decompositores. Assim, nesta experiência o BOD₇ diminui de um modo mais significativo no sistema de macrófitas emergentes do que no sistema de plantas flutuantes, facto este comprovado pelo coeficiente de eficiência que é de, respectivamente 90,9% e 68,2% no mesmo período analisado. Mesmo tendo as plantas flutuantes em contacto com a água residual durante um período de tempo maior (cerca de 3 semanas) não chegou a

alcançar os valores das macrófitas emergentes, ficando-se pelos 77,3%. Tal está mais ou menos de acordo com os valores referenciados em Neralla *et al* (2000) que prevê que essa diminuição se situa entre os 73 e 89%. Steer *et al* (2002) no seu estudo obteve valores semelhantes mas com um intervalo um pouco mais alargado visto ser entre 70,9 e 95,9%. Já os valores dados pela Cetambio (empresa de Évora) referem que os valores de BOD₅ se reduzem em 91% (www.evora.net/cetambio), que é praticamente igual ao valor obtido pelos nossos colegas.

Segundo o Decreto-lei nº236/98, de 1 de Agosto o valor máximo admissível de BOD₅ de um efluente, para que possa ser lançado para um curso de água, após sofrer tratamento, é de 40 mg/L. Tendo este valor como referência podemos afirmar que seria a espécie *Phragmites communis* a mais adequada, isto é, é a espécie que apresenta uma melhor capacidade depuradora.

Sabe-se que os valores de BOD₇ variam com a quantidade de microorganismos depurativos existentes no sistema. Assim sendo, sistemas com macrófitas possuem uma maior quantidade de microorganismos depuradores, já que para além do efeito do próprio sedimento (é de salientar que para uma melhor interpretação dos resultados, dever-se-ia ter também calculado o BOD do sedimento para determinar a capacidade microbiológica do mesmo, já que também tem bastante importância), contém também um efeito depurador acrescido por parte dos rizomas da espécie. Essa maior quantidade de microorganismos deverá pois originar valores inferiores de BOD₇, ou seja, uma maior capacidade depuradora. Este método constitui uma eficiente medida da quantidade indirecta de matéria orgânica.

Como críticas ao estudo efectuado têm de se salientar o facto de o dimensionamento recomendado quer para as macrófitas aquáticas flutuantes e emergentes não ter sido os recomendados e, normalmente utilizados em Fito-ETAR's (Hancock e Buddhavarapau, 1993 *in* Dias *et al*, 2000) e (Reed *et al*, (1988), entre outros *in* Dias *et al*, 2000).

Também se teria de recorrer a mais parâmetros do que àqueles que foram analisados, tais como os coliformes fecais, teor em azoto, em fósforo e amónia. Também se teria que saber qual a capacidade depuradora do substracto utilizado. Por fim, para o estudo ser mais fidedigno teria que ter sido efectuado durante um maior período de tempo para se poder analisar os valores a longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA-AWWA-WEF, 1995. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.* 19th Edition American Public Health Association, Washington, D.C.;

DECRETO-LEI Nº 236/98, DE 1 DE AGOSTO

DIAS, V. N. & M. INÁCIO & P. PACHECO & J. LOPES & P. CORREIA & E. SOUTINHO, 2000. *Fito-Etars: Pressupostos Teóricos de Funcionamento e Tipos.* In: 9º Encontro Nacional de Saneamento Básico, Loures. 587-607 pp;

MARTINEZ, I.M., 1993. *Depuração de águas com plantas emergentes.* Guia Agro-pecuário pp. 55-69;

MOREIRA, J.S.A., 1998. *Depuração de sistemas aquáticos com macrófitas.* Tese de Mestre em Planeamento Regional e Urbano. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa;

NERALLA, S. & R.W. WEAVER & B.J. LESIKAR & R.A.PERSYN, 2000. *Improvement of Domestic Wastewater Quality by Subsurface Flow Constructed Wetlands.* Bioresource Technology 75, (19-25);

OLIVEIRA, J.S., 1995. *A Lagunagem em Portugal.* Edições Universitárias Lusófonas, Lisboa;

SANTIAGO, E., 1998. *Leitos de Macrófitas – Perspectivas e Realidades da Região Centro.* Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas;

STEER, D. & F. LAUCLAN & J. BODDY & B. SEIBERT, 2002. *Efficiency of Small Constructed Wetlands for Subsurface Treatment of Single-Family Domestic Effluent.* Ecological Engineering 18, (429-440);

VASCONCELOS, 1970. *Plantas (Angiospérmicas) Aquáticas, Anfíbias e Ribeirinhas.* Estudos e Divulgação Técnica, Secretaria de Estado da Agricultura, Direcção-Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas;

WETZEL, R.G., 1983. *Limnologia.* Fundação Calouste Gulbenkian (ISBN 84-85441-56-6);

SITES NA INTERNET

www.etarplan.pt

www.evora.net/cetambio

AGRADECIMENTOS

Os sinceros agradecimentos ao professor Carlos Pinto Gomes, pela informação facultada sobre a vegetação em estudo neste trabalho. Também aqui deixamos o agradecimento à professora Ana Dordio pela cedência à nossa professora Sofia Capelo das macrófitas utilizadas.