

Avaliação de Leitos de Macrófitas no Tratamento de Águas Residuais Domésticas em Portugal:

Sistemas de fluxo sub-superficial horizontal

Teresa Canais Seco

José Alcides Peres

Isabel Bentes

1. Índice

1. Objectivos
2. Tratamento de águas residuais através de leitos de macrófitas
3. Sistema de macrófitas de fluxo sub-superficial horizontal
4. Dimensionamento
5. Casos de estudo
6. Conclusões



Objectivos

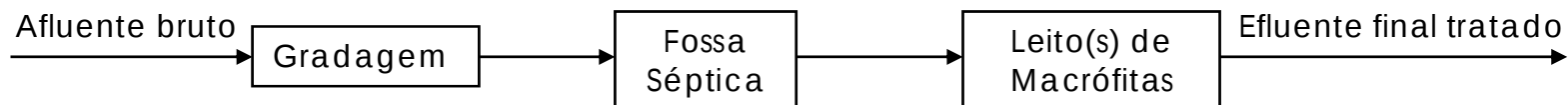
- Métodos de dimensionamento
- Avaliação do desempenho dos leitos de macrófitas
- Caracterização das águas residuais brutas
- Determinação de custos e áreas *per capita*
- Levantamento dos principais problemas



2. Leitos de Macrófitas

Os sistemas de tratamento utilizando leitos de macrófitas são compostos pelas seguintes etapas:

- tratamento preliminar - grelha
- tratamento primário – fossa séptica ou tanque Imhoff
- tratamento secundário – **leito de macrófitas**



Os leitos de macrófitas subdividem-se em diferentes tipos de acordo com as espécies de plantas a utilizar:

- Macrófitas aquáticas flutuantes
- Macrófitas submersas
- Macrófitas emergentes:

- *Fluxo superficial*

- ***Fluxo sub-superficial*** { *vertical*
horizontal



As macrófitas emergentes são espécies vegetais anfíbias, que vivem em águas pouco profundas, enraizadas no solo e cujos caules e folhas emergem, podendo alcançar 2 a 3 metros de altura.

Estas plantas são muito vigorosas e produtivas em virtude de aproveitarem as vantagens do meio terrestre e do aquático.



Tipos de plantas



Íris



Juncus



Phragmites

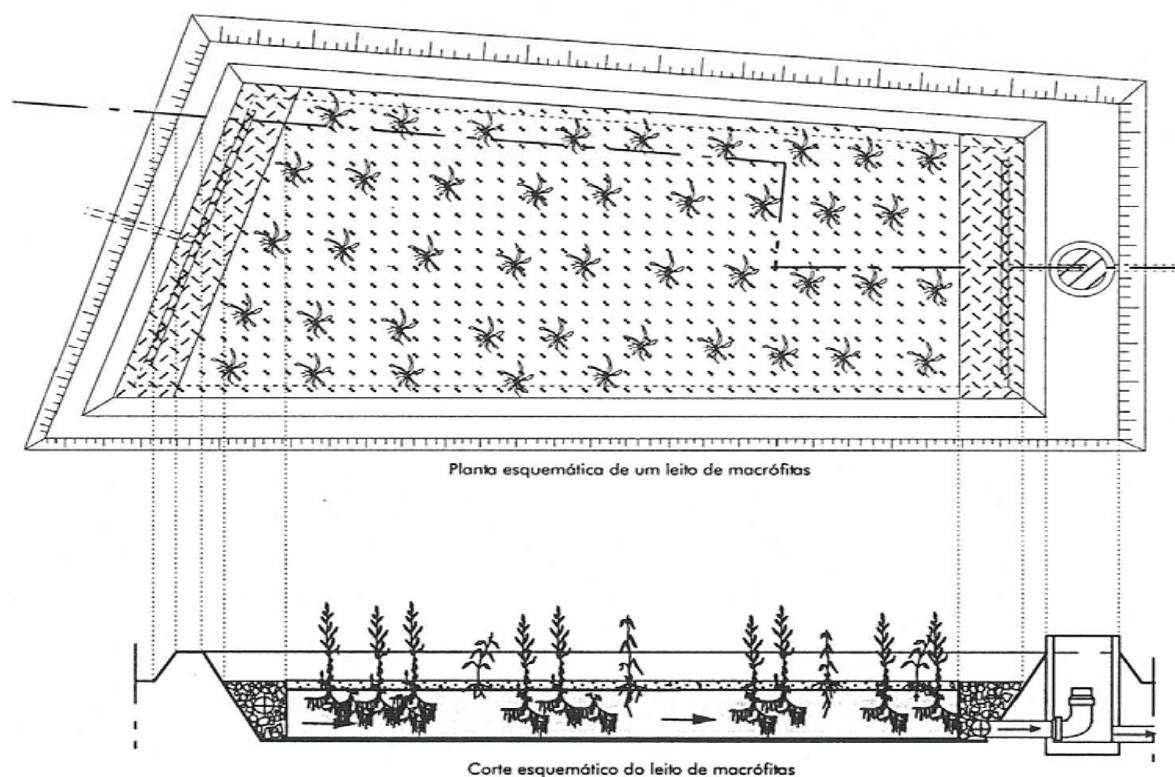


Scirpus



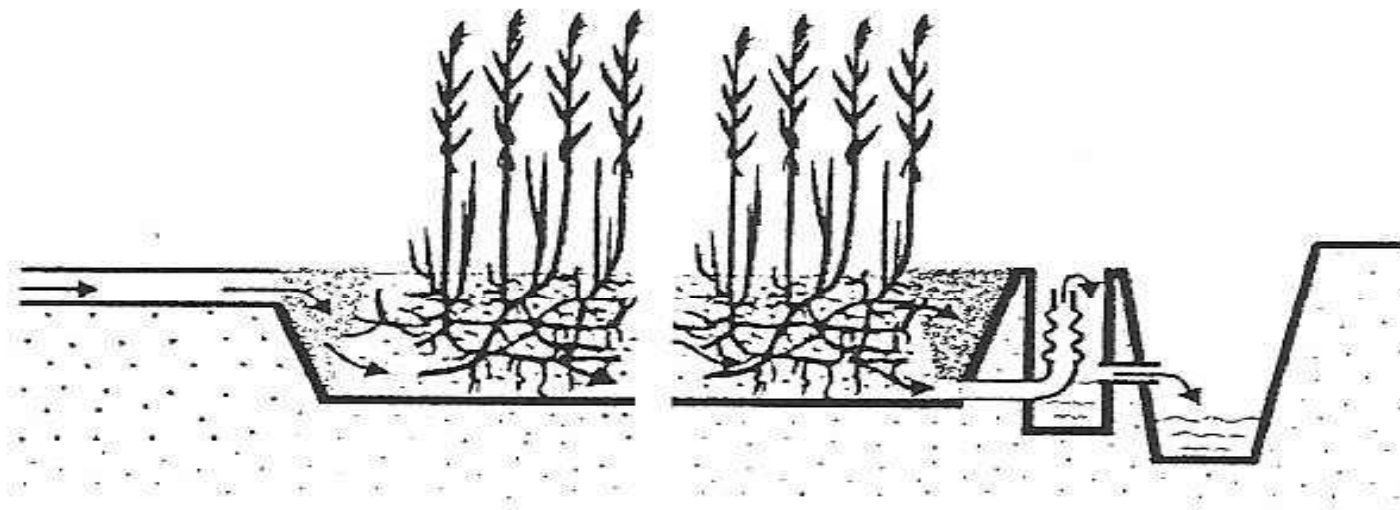
Typha

3. Sistema de Macrófitas de Fluxo Sub-superficial Horizontal



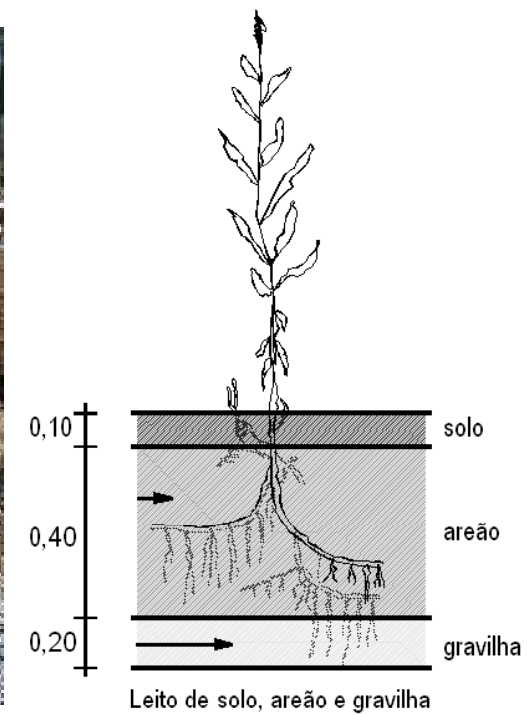
Leito de macrófitas de fluxo sub-superficial – planta e corte

O sistema de macrófitas de fluxo sub-superficial horizontal consiste numa escavação impermeabilizada e cheia com material pétreo, de diferentes granulometrias e com uma camada de solo arável à superfície, onde são plantadas macrófitas e que se designa por leito.



Sistema de macrófitas de fluxo sub-superficial horizontal

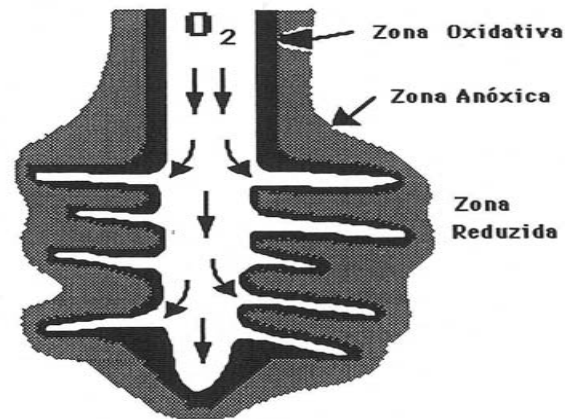
Normalmente os leitos são constituídos por gravilha, areão e solo.



Camadas constituintes dos leitos de macrófitas

As plantas macrófitas vão:

- assimilar essencialmente compostos de C, N e P, existentes na matéria orgânica
- proporcionar um suporte físico para o desenvolvimento de microrganismos
- transportar e difundir oxigênio até à zona radicular



Raíz de uma macrófita

A existência de micro-áreas aeróbias e anaeróbias, vai facilitar a ocorrência de fenómenos de nitrificação e desnitrificação, em simultâneo.

4. Dimensionamento de Leitos de Macrófitas

O dimensionamento dos leitos de macrófitas deve ser direccionado para a remoção da matéria orgânica, descrita por uma cinética de 1ª ordem:

$$\frac{C_e}{C_a} = \exp(-K_T t)$$

Por outro lado, os leitos funcionam como um meio filtrante, sendo a Lei de Darcy a mais utilizada para o estudo de escoamentos laminares em meios porosos:

$$v = KJ$$

A partir da cinética de 1ª ordem é possível dimensionar a área superficial dos leitos.

A partir da Lei de Darcy é possível dimensionar a secção transversal.



Métodos de Dimensionamento

Os métodos de dimensionamento estudados são os seguintes:

- Empírico
- Reed
- Metcalf & Eddy
- Relvão
- EPA

Comparação dos Métodos

Todos os métodos anteriormente apresentados utilizam para o dimensionamento dos leitos de macrófitas a equação cinética de 1ª ordem ou os seus princípios e a Lei de Darcy.

As diferenças encontradas centram-se, fundamentalmente, nos valores utilizados para a constante cinética de 1ª ordem K_T .

5. Casos de Estudo



1. Boaventura – Madeira
2. Barroca d'Alva – Alcochete
3. Aranhas – Penamacor
4. Anobra – Condeixa
5. Gonçalo – Guarda
6. S. Pedro d'Alva – Penacova
7. Rossas – Vieira do Minho
8. Salamonde 2 – Vieira do Minho
9. Salvador – Penamacor
10. Penedo – Vila de Rei
11. Salamonde 1 – Vieira do Minho
12. Adiça – Tondela
13. Vale – Tondela
14. Póvoa das Forçadas – Carregal do Sal
15. Malavado – Odemira
16. Castelejo – Santa Comba Dão
17. Erada – Covilhã
18. Casal de Frade – Arganil
19. Grada – Mealhada
20. Lousal – Grândola

- A 1ª parte incidiu na monitorização da qualidade das águas residuais
- A 2ª parte incidiu na caracterização geral dos sistemas e na determinação de áreas e custos *per capita*, entre outros aspectos



1ª parte



1. Boaventura – Madeira
2. Barroca d'Alva – Alcochete
3. Aranhas – Penamacor
4. Anobra – Condeixa
5. Gonçalo – Guarda
6. S.Pedro d'Alva – Penacova
7. Rossas – Vieira do Minho
8. Salamonde 2 – Vieira do Minho
9. Salvador – Penamacor
10. Penedo – Vila de Rei

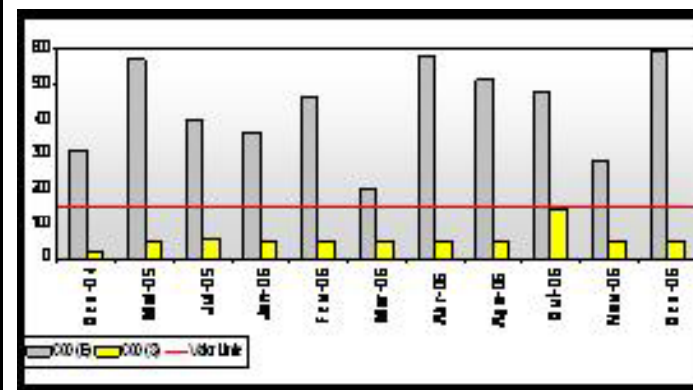
- O estudo destes 10 sistemas de leitos de macrófitas, incidiu na monitorização da qualidade das águas residuais.
- Permitiu avaliar o desempenho dos sistemas a partir do conhecimento dos parâmetros físico-químicos (CBO_5 , CQO, SST, P e N) e das respectivas eficiências.
- Permitiu ainda fazer a caracterização das águas residuais brutas de pequenos aglomerados



Sistema de Rossas

parâmetros CBO₅, CQO e SST

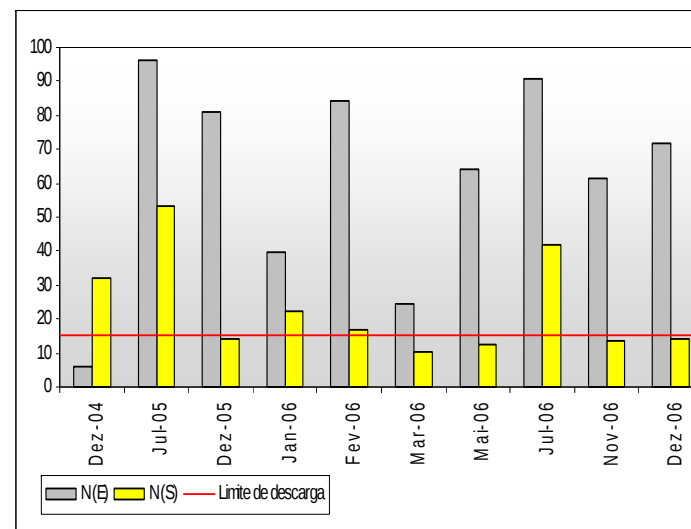
Datas	CBO ₅ (E) (mg/L O ₂)	CBO ₅ (S) (mg/L O ₂)	CBO ₅ Ef. (%)	CQO (E) (mg/L O ₂)	CQO (S) (mg/L O ₂)	CQO Ef. (%)	SST (E) (mg/L)	SST (S) (mg/L)	SST Ef. (%)
Set-04	320	10	97	1200	86	93	270	15	94
Nov-04	3100	17	99	4400	87	98	4300	7	100
Dez-04	100	10	90	310	20	94	110	5	95
Jan-05	610	16	97	900	60	93	280	7	98
Abr-05	560	10	98	3500	87	98	1700	11	99
Mai-05	230	10	96	570	46	92	200	6	97
Jun-05	1400	10	99	3000	32	99	3200	5	100
Jul-05	94	10	89	400	56	86	120	13	89
Ago-05	440	10	98	1300	20	98	530	16	97
Nov-05	180	10	94	710	38	95	270	5	98
Dez-05	300	10	97	810	43	95	310	6	98
Jan-06	180	20	89	364	50	86	110	5	95
Fev-06	382	20	95	458	50	89	185	7	96
Mar-06	100	20	80	203	50	75	105	5	95
Abr-06	327	20	94	577	50	91	218	5	98
Jul-06	507	20	96	889	50	94	471	19	96
Ago-06	300	20	93	513	50	90	189	5	97
Set-06	536	20	96	781	56	93	438	20	95
Out-06	383	20	95	477	138	71	237	8	97
Nov-06	155	20	87	280	50	82	126	8	94
Dez-06	360	20	94	597	50	92	231	5	98
Média	516	15	95	1076	58	91	631	9	97
DesvPad	586	5	4	1000	29	7	968	5	2



Sistema de Rossas

Parâmetros Azoto e Fósforo

DATAS	P (E) (mg/L P)	P (S) (mg/L P)	P Ef. (%)	N (E) (mg/L N)	N (S) (mg/L N)	N Ef.(%)
Out-04	14	0	98	115	24	79
Nov-04	30	3	89	263	21	92
Fev-05	15	0	98	125	6	95
Mai-05	20	2	89	126	16	87
Jul-05	40	0	99	96	53	45
Ago-05	22	0	99	188	80	57
Set-05	24	0	99	156	80	49
Dez-05	27	0	99	81	14	83
Jan-06	7	1	89	40	22	44
Fev-06	21	1	98	84	17	80
Abr-06	11	0	97	118	15	88
Mai-06	13	0	98	64	13	80
Jun-06	18	0	98	169	33	80
Set-06	12	1	89	131	41	68
Out-06	7	1	92	136	67	51
Nov-06	5	1	90	61	14	78
Dez-06	7	1	86	72	14	80
Média	17	1	95	120	31	72
DesvPad	10	1	4	56	22	16



Síntese dos sistemas estudados – valores médios

ETAR	CBO ₅		CQO		SST		P		N	
	Saída	Ef. %	Saída	Ef. %	Saída	Ef. %	Saída	Ef. %	Saída	Ef. %
Madeira	9	93	27	77	17	81	.....	.....	.....	.....
Alcochete	33	70	318	66	23	55	2	27	34	50
Aranhas	35	78	107	76	21	80	3	38	31	56
Condeixa	22	75	78	65	21	81	6	38	47	48
Guarda	44	84	131	77	27	79	5	31	33	61
Penacova	42	89	123	82	22	84	7	30	48	34
Rossas	15	95	58	91	9	97	1	95	31	72
Salamonde 2	24	85	77	81	20	91	3	66	33	61
Salvador	62	83	170	80	31	82	5	33	45	61
Vila de Rei	37	86	133	68	20	88	.....	.....	.....	.....
Média	32	84	122	76	21	82	4	45	38	55
D.L 236/98	40	-	150	-	60	-	10	-	15	-
D.L 152/97	25	70-90	125	75	35	90	2	80	15	70-80

- **CBO₅** – os valores médios de descarga cumprem em todas as situações o D.L. 152/97. O mesmo não acontece relativamente ao D.L. 236/98, onde se verificam 3 situações em que o valor médio é superior ao limite fixado.
- **CQO** – os valores médios de descarga não são cumpridos em 2 situações, relativamente aos dois Decretos tomados como referência.
- **SST** - verifica-se em todos os sistemas que os valores médios registados cumprem sempre os requisitos da legislação.
- **Fósforo** – os valores preconizados pelo D.L. 236/98 são cumpridos, o que não acontece no que se refere aos valores estipulados pelo D.L. 152/97.
- **Azoto** – verifica-se que não cumprem os valores limite de descarga da legislação.

Incumprimentos Verificados:

ETAR	Percentagem de Incumprimentos									
	CBO ₅		CQO		SST		P		N	
	DL 236/98	DL 152/97	DL 236/98	DL 152/97	DL 236/98	DL 152/97	DL 236/98	DL 152/97	DL 236/98	DL 152/97
Madeira	0	0	0	0	0	9	....	....	....	....
Alcochete	20	40	40	40	0	20	0	20	60	60
Aranhas	33	13	23	23	0	16	0	62	68	59
Condeixa	12	0	12	5	12	11	8	92	75	58
Guarda	39	11	25	18	4	33	0	93	73	44
Penacova	47	0	17	6	0	12	31	100	100	100
Rossas	0	0	0	0	0	0	0	0	69	30
Salamonde 2	7	4	7	4	4	7	0	54	69	38
Salvador	65	15	60	40	5	35	0	95	80	55
Vila de Rei	30	17	40	67	5	33	....	....	....	....
Média	25	10	22	20	3	18	5	65	74	56

Análise dos Incumprimentos

De acordo com o D.L. 236/98, os incumprimentos relativos a:

- SST e fósforo são muito pequenos (3 e 5%)
- CBO₅ e CQO, na ordem dos 25%
- Azoto, o valor mais elevado (74%)

De acordo com o D.L. 152/97, os incumprimentos são:

- CBO₅ e CQO, de 10 e 20%
- SST com 18%
- Fósforo e Azoto com 65 e 56%

Caracterização média global das águas residuais brutas

ETAR	CBO ₅	CQO	SST	P	N
Madeira	171	329	287	.....	.....
Alcochete	97	1009	62	3	61
Aranhas	298	610	570	6	80
Condeixa	159	409	316	11	132
Guarda	403	880	408	8	107
Penacova	554	937	290	12	78
Rossas	516	1076	631	17	120
Salamonde 2	267	474	257	11	97
Salvador	524	889	366	8	125
Vila de Rei	251	618	238	.....	.....
Média	354	718	393	10	102
Metcalf & Eddy	350	800	400	12	70

2ª parte



1. Boaventura – Madeira
2. Barroca d'Alva – Alcochete
3. Aranhas – Penamacor
4. Anobra – Condeixa
5. Gonçalo – Guarda
6. S. Pedro d'Alva – Penacova
7. Rossas – Vieira do Minho
8. Salamonde 2 – Vieira do Minho
9. Salvador – Penamacor
10. Penedo – Vila de Rei
11. Salamonde 1 – Vieira do Minho
12. Adiça – Tondela
13. Vale – Tondela
14. Póvoa das Forçadas – Carregal do Sal
15. Malavado – Odemira
16. Castelejo – Santa Comba Dão
17. Erada – Covilhã
18. Casal de Frade – Arganil
19. Grada – Mealhada
20. Lousal – Grândola

O estudo dos 20 sistemas de leitos de macrófitas permitiu:

- a sua caracterização geral – população servida, área dos leitos, tipos de plantas, número de leitos, autoria do projecto e da execução, tipo de pré-tratamento, custo, frequência de análises, manutenção, problemas mais comuns e período de carência.
- a determinação de áreas e de custos *per capita* e o grau de satisfação de cada sistema.



Síntese dos Inquéritos

ETAR	Habitantes servidos	Área do sistema (m ²)	Área dos leitos (m ²)	Tipo de plantas	Nº leitos de macrófitas	Projecto	Execução	Pré Tratamento	Custo (euros)
Alcochete	500	4000	1764	<i>Phragmites</i>	4	Etarplan	Etarplan	F.S.	189500
Aranhas	437	4100	836	<i>Phragmites</i>	1	Proengel	Edioc	F.S.	.....
Arganil	109	800	160	<i>Junco</i>	1	Empresa	Tricivil	F.S.	41000
Carregal do Sal	200	655	338	<i>Phragmites</i>	2	Etarplan	Etarplan	F.s.	-----
Condeixa	600	4600	1600	<i>Lírio e Typha</i>	1	GAT	Empresa	T.I.	144500
Covilhã	840	2398	1045	<i>Typha</i>	1	C.M.	Empresa	T.I.	99760
Grândola	500	1100	500	<i>Phragmites</i>	1	GAT	Empresa	F.S.	82182
Guarda	1160	2500	2500	<i>Phragmites</i>	2	C.M.	C.M	F.S.	130000
Madeira	200	541	441	<i>Phrag lírio junco</i>	3	C.M.	D.Regional	F.S.	130000
Mealhada	125	1000	350	<i>Phragmites</i>	1	Etarplan	Etarplan	F.S.	38513
Odemira	350	1360	714	<i>Phragmites</i>	2	GAT	Empresa	F.S.	87040
Penacova	500	3240	1860	<i>Phragmites</i>	2	C.M.	Empresa	T.I.	97266
Rossas	600	1800	1444	<i>Phragmites</i>	4	Etarplan	Etarplan	F.S.	100802
Salamonde 1	250	700	289	<i>Phragmites</i>	2	Etarplan	Etarplan	F.S.	64750
Salamonde 2	250	600	289	<i>Phragmites</i>	2	Etarplan	Etarplan	F.S.	-----
Salvador	563	3100	630	<i>Phragmites</i>	2	Proengel	Edioc	F.S.	.....
St.Comba Dão	300	1153	585	<i>Typha</i>	1	GAT	Empresa	F.S.	31159
Tondela 1 - Vale	200	686	656	<i>Junco</i>	1	GAT	Empresa	F.S.	-----
Tondela 2 - Adiça	200	562	532	<i>Junco</i>	1	GAT	Empresa	F.S.	-----
Vila de Rei	1054	4325	855	<i>Phragmites</i>	1	Empresa	Empresa	T.I.	185000

Os sistemas estudados:

- servem populações entre os 109 e os 1160 habitantes
- têm como planta mais comum a *Phragmites*
- usam habitualmente 1 ou 2 leitos de macrófitas
- apresentam projectos realizados por organismos públicos e empresas privadas
- são executados por empresas privadas
- realizam o pré-tratamento na maioria dos casos em fossa séptica e por vezes em tanque Imhoff
- efectuam monitorização e manutenção irregulares
- têm problemas de colmatação dos leitos e maus odores
- referem períodos de carência entre os 6 e os 12 meses



ETAR	Habitantes	Área				Custo			Grau de satisfação 0 - 5
		Total (1)	Total sistema (2)	Leitos (3)	Leito (4)	Total/m² (1)	Total/m² leito (2)	Total/Hab (3)	
		m²	m²/hab	m²	m²/hab	euros	euros	euros	
Madeira	200	541	2,7	294	1,5	294	442	650	4
Alcochete	500	4000	8,0	1764	3,5	47	107	379	3
Aranhas	437	4100	9,4	836	1,9	.....	.....	.....	4
Condeixa	600	4600	7,7	1610	2,7	37	90	285	3
Penacova	600	3240	5,4	1860	3,1	30	52	162	3
Rossas	600	1800	3,0	1444	2,4	56	70	168	3
Salamonde 2	250	600	2,4	289	1,2	.....	.....	.....	3
Salvador	563	3100	5,5	630	1,1	.....	.....	.....	4
Vila de Rei	1054	4325	4,1	855	0,8	43	216	176	2
Arganil	109	800	7,3	160	1,5	51	256	376	2
Carregal do Sal	200	655	3,3	338	1,7	.....	.....	.....	3
Covilhã	840	2398	2,9	1045	1,2	41	95	119	3
Grândola	500	1100	2,2	500	1,0	75	164	164	1
Guarda	3000	2500	0,8	2500	0,8	52	52	43	3
Mealhada	125	1000	8,0	350	2,8	39	110	308	3
Odemira	350	1360	3,9	714	2,0	64	121	249	1
Salamonde 1	250	700	2,8	289	1,2	72	224	259	3
St. Comba Dão	300	1153	3,8	585	2,0	27	53	103	2
Tondela 1	200	686	3,4	656	3,3	.....	.....	.....	2
Tondela 2	200	562	2,8	532	2,7	.....	.....	.....	2
Média	544	1961	4,5	863	1,9	66	147	246	3

Da análise dos valores anteriores é possível deduzir que:

- A área total do sistema – 4,5 m²/hab
- A área dos leitos – 1,9 m²/hab
- O custo médio total do sistema – 246 euros/hab
- O custo médio total do sistema – 66 euros/m²
- O grau de satisfação com o funcionamento dos sistemas é médio



Principais problemas observados

- Colmatação dos leitos
- Fraco desenvolvimento das plantas
- Elevados teores de contaminantes à entrada



6. Conclusões

- O desempenho global dos sistemas de leitos de macrófitas estudados é comparável com valores obtidos por outros tipos de tratamento convencionais (lamas activadas, leitos percoladores)
- Os valores médios de eficiência obtidos foram: CBO₅ - 85%; CQO - 77%; SST – 82%; N – 55%; P – 45%
- As bases de dimensionamento utilizadas pelos diferentes autores são:
 - Equação cinética de 1ª ordem
 - Lei de Darcy
- Custos médios de instalação de 246 euros/hab e 66 euros/m²
- Área média necessária para instalação de 4,5 m²/hab e área média de leito de 1,9 m²/hab.





