



Recuperação Ambiental da Ribeira do Roxo

**GreenEcoRoxo- Utilização de Leitos Flutuantes para melhoria de
água superficial**

PDR2020-1.0.1-FEADER-030894

T. Carvalho, A. Almeida, A. Parda, J. Correia, A. Parreira , V. Lopes, C. Marques, A. Durão

Aljustrel, 16 de dezembro 2021- Portugal

Designação do projeto | GreenEcoRoxo – Utilização de leitos flutuantes para a melhoria da qualidade de massas de água superficial

Código do projeto | PDR2020-1.0.1-FEADER-030894

Objetivo principal | Proteger o Ambiente e Promover a Eficiência dos Recursos

Entidades Promotoras

Entidade Líder | Associação Beneficiários do Roxo

Entidade Parceira | Instituto Politécnico de Beja

Entidade Parceira | Agricultor Local

Data da aprovação | 07-01-2017

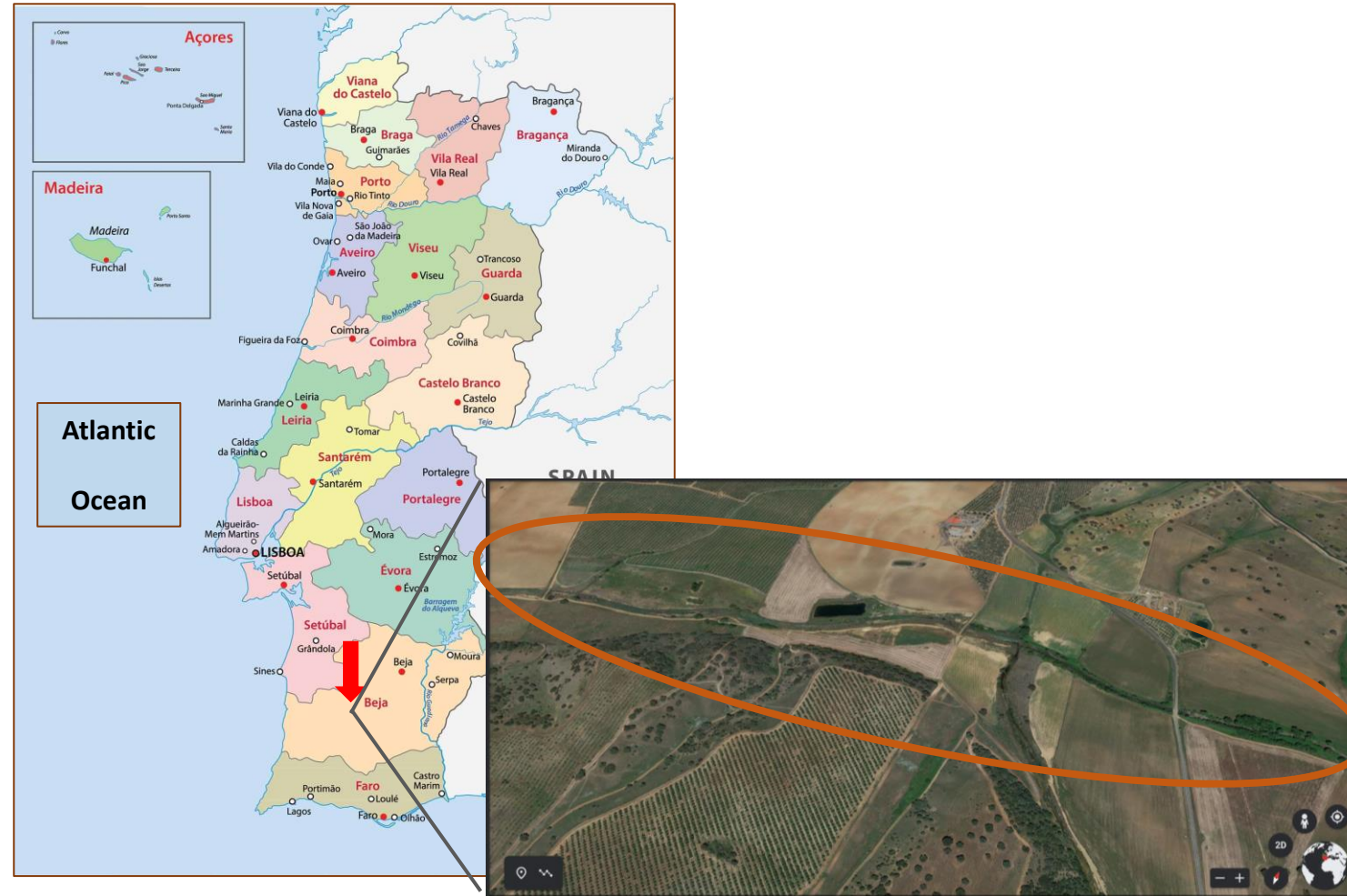
Data de início | 02-01-2018

Data de conclusão | 16-12-2021

Custo total elegível | 398.000,88 € (participação 75%)



1. Enquadramento



1. Enquadramento

Os resultados do projeto QARSC (Borrvalho& Durão, 2016).

Evidenciaram a má qualidade da água da ribeira do Roxo para a qual contribuem os seus principais afluentes/ atividades limítrofes.



Actividades agrícolas



Exploração mineira existente na bacia hidrográfica



Explorações agro-pecuárias

1. Enquadramento

1. 1. Medidas de Eco-Reabilitação

Os projetos de reabilitação de rios (alternativamente chamados de Eco-reabilitação) têm como objetivo remediar os corpos de água modificados e degradados (United Nations, 2015).



A reabilitação e restauração fluvial abrangem uma grande variedade de medidas
(Durão, 2013)



- Galerias ripícolas;
- Estabilidade das margens;
- Zonas húmidas e
- Leitos Flutuantes.

1. Enquadramento

1.2. Leitos Flutuantes

- Os leitos flutuantes (LFs) consistem na criação de um meio artificial flutuante (isto é, uma jangada flutuante), à qual foram plantadas macrófitas emergentes com capacidade de fitorremediação.
- Estes são colocados diretamente na superfície da água e as raízes das plantas ficam total ou parcialmente imersas, não devendo ocorrer obstrução do seu crescimento.

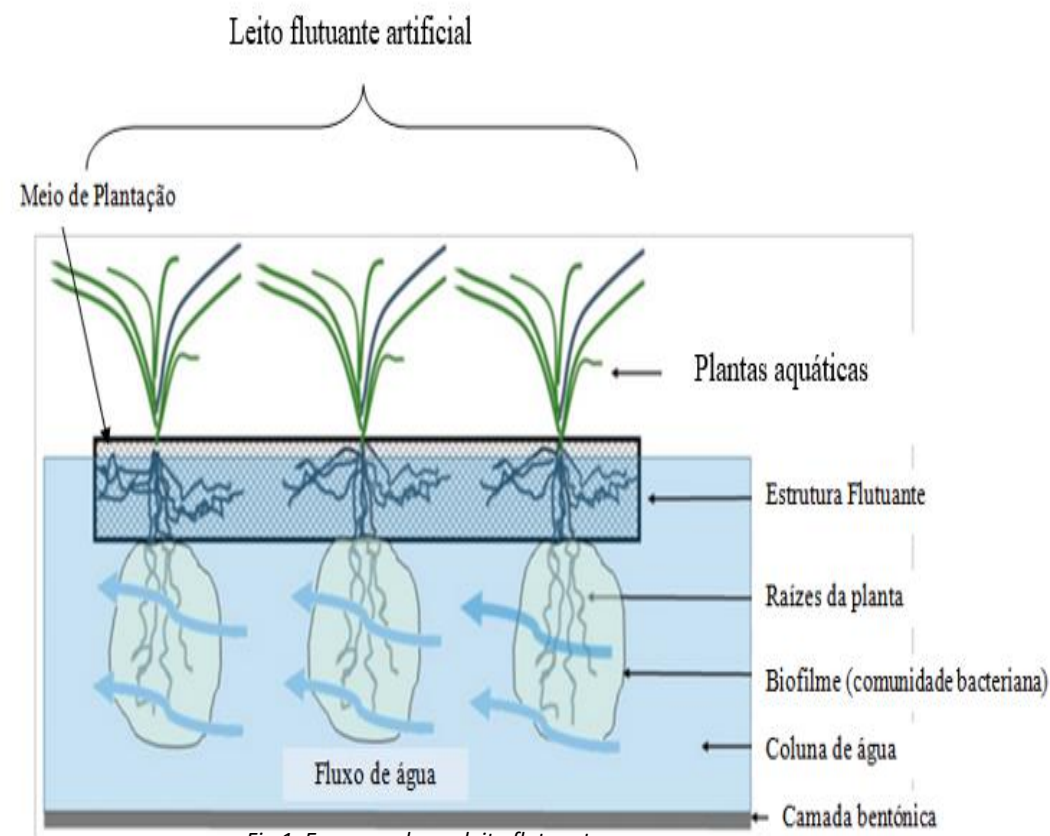


Fig.1. Esquema de um leito flutuante.

Adaptado de Walker et al., 2017



Recuperação Ambiental da Ribeira do Roxo

GreenEcoRoxo- Utilização de Leitos Flutuantes para melhoria de água superficial
PDR2020-1.0.1-FEADER-030894



2. Objetivo

- Contributo para a recuperação ambiental da **Ribeira do Roxo**, com recurso à Eco Tecnologia de **Leitos Flutuantes** para melhoria da qualidade da sua água com vista sua requalificação ecológica e possível utilização para rega.

3. Tarefas

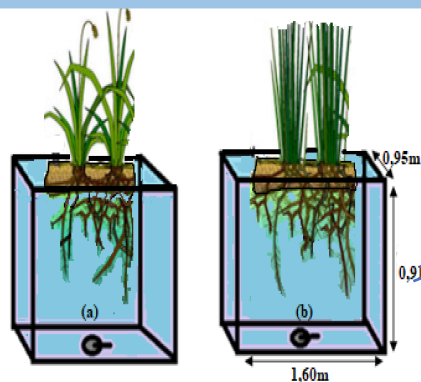
1. Caracterização físico- química da água da Ribeira do Roxo e da Ribeira de Água Forte;
2. Desenvolvimento de instalação piloto com a função de testar duas macrófitas; ***Phragmites australis* e *Vetiver Zizanioides***/ Avaliação da capacidade de fitoremediação, produção de biomassa e taxa de crescimento.
3. Desenvolvimento de um sistema de tratamento à escala real com a colocação de leitos flutuantes na Ribeira do Roxo e Ribeira de Água Forte;
 - 3.1. Monitorização da qualidade da água e dos sedimentos dos cursos de água em estudo;
 - 3.2. Avaliação da eficiência do tratamento obtido.
4. Proposta de dimensionamento do sistema de tratamento por leitos flutuantes para a Ribeira do Roxo que assegure os fins pretendidos.

4. Resultados

- 2 Artigos publicados;
Study on the Application of Floating Beds of Macrophytes (*Vetiveria zizanioides* and *Phragmites australis*), in Pilot Scale, for the Removal of Heavy Metals from Água Forte Stream (Alentejo-Portugal)
[DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/118285](https://doi.org/10.12911/22998993/118285)
- 2 Artigos em preparação;
- 10 Apresentações de encontros internacionais e nacionais;
- 2 Dissertações de Mestrado;
- 5 Estágios de Licenciatura/Outros e
- 2 Bolsas de Mérito Social.

GreenEcoRoxo- Utilização de Leitos Flutuantes para melhoria de água superficial PDR2020-1.0.1-FEADER-030894

Esquema Geral de Procedimentos do Projeto GreenEcoRoxo



Instalação Piloto

Avaliação da capacidade de fitorremediação das macrófitas (taxas de remoção de poluentes).

Avaliação de produção de biomassa e sobrevivência sem ocorrência de dano severo na morfologia externa e anatómica das plantas (produção de biomassa, caracterização do conteúdo foliar e radicular).

Seleção da macrófita



Instalação e Desenvolvimento do Tratamento à Escala Real

Ribeira do Roxo

Ribeira de Água Forte

Monitorização da qualidade, físico-química, da água e dos sedimentos.

Avaliação da eficiência do tratamento obtido → Proposta de dimensionamento



Recuperação Ambiental da Ribeira do Roxo

GreenEcoRoxo- Utilização de Leitos Flutuantes para melhoria de água superficial

PDR2020-1.0.1-FEADER-030894



Seleção da macrófita a utilizar à escala real Resultados à Escala Piloto

T. Carvalho^{1,4}, A. Durão², D. Santos¹, I. Parente¹, V. Lopes⁴, A. Almeida^{1,4}

1. Instituto Politécnico de Beja – Escola Superior Agrária, Rua Pedro Soares - Campus do IPBeja, 7800-295 Beja, 2. Instituto Politécnico de Beja
2. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Rua Pedro Soares - Campus do IPBeja, 7800-295 Beja:
3. Associação de Beneficiários do Roxo, Estrada Nacional nº383, Montes Velhos
4. FIBENTECH- Materiais Fibrosos e Tecnologias Ambientais , Rua Marquês de Ávila e Bolama- 6201 Covilhã, Portugal

1. Objetivo

- Testar, à **escala piloto**, o desempenho de leitos flutuantes de macrófitas (*vetiver zizanioides* e *Phragmites australis*) com a finalidade melhorar a qualidade da água, em especial os metais pesados (Zn, Cu, Fe e Mn) da água da Ribeira de Água Forte.
- **Selecionar** a macrófita que apresenta melhor desempenho com vista à sua utilização à **escala real**.

2. Delineamento experimental

- pH, SO_4^{2-} , Cl^- , Cu, Fe e Mn, excedem os valores máximos recomendados (VMR);
- Zn acima do valor máximo admissível (VMA).



Não está apta para rega.

Incumprimento do parâmetro pH e NH_4^+



Estado ecológico mau, quando avaliada apenas para os parâmetros físico-químicos.

Tabela1. Caracterização físico-química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte .

Parâmetros	Unidades	Qualidade da Ribeira da Água Forte	Qualidade das águas destinadas à rega Decreto-Lei n.º 236/98 (Anexo XVI)		Estado Ecológico Instituto da Água, 2009
			VMR	VMA	
pH	Escala de Sorensen	3,75± 1,6	6,5-8,4	4,5-9,0	6-9
T _w	°C	17 ± 2	-	-	-
Eh	mV	522 ± 19	-	-	-
B ³⁺	mg/L	0,2 ± 0,1	0,3	3,75	-
CE	µS/cm 20°C	1 813 ± 117	-	-	-
OD	mg/L	7 ± 1	-	-	≥5
CQO	mg/L O ₂	23± 3	-	-	-
CBO ₅	mg/L O ₂	4 ± 0,0	-	-	≤6
PO ₄ ³⁻	mg/L	0,007 ± 0,001	-	-	-
P _{total}	mg/L	0,01± 0,01	-	-	≤0,13
Nkj	mg/L	4 ± 1	-	-	-
NH ₄ ⁺	mg/L	2 ± 1	-	-	≤1
NO ₃ ⁻	mg/L	7 ± 1	50	-	≤25
SO ₄ ²⁻	mg/L	826 ± 31	575	-	-
F ⁻	mg/L	1,0 ± 0,0	1,0	15	-
Cl ⁻	mg/L	700 ± 21	70	-	-
SST	mg/L	19 ± 1	60	-	-
SDT	mg/L	1 238 ± 232	-	-	-
Zn	mg/L	13,0 ± 2,1	2,0	10,0	-
Fe	mg/L	7,7 ± 0,8	5,0	-	-
Cu	mg/L	3,3 ± 0,7	0,20	5,0	-
Mn	mg/L	7,3 ± 1,2	0,20	10	-
SAR	-	2 ± 1	8	-	-

2. Delineamento experimental

Phragmites australis

Gramínea de natureza cosmopolita, tem sido amplamente estudado, especialmente para a redução da contaminação ambiental (Köbbing et al., 2013).

Algumas das características principais desta planta, são:

- ❖ Tolerante a salinidade moderada (Canais-Seco, Peres, & Bentes, 2008);
- ❖ Resistente a pH entre 2 e 8 (Canais-Seco, Peres, & Bentes, 2008);
- ❖ Resistente a temperaturas entre 6,6°C e 26,6°C (Canais-Seco, Peres, & Bentes, 2008);
- ❖ Alto potencial de remoção de metais (Srivastava et al., 2014);
- ❖ Remove pesticidas organoclorados (Guo et al., 2014) .



Fig.2. imagem de *Phragmites australis*.

2. Delineamento experimental

Vetiver Zizanioides

Principais características da planta (Brix., 2003; Almeida., 2017):

- ❖ Grande e profundo sistema radicular;
- ❖ Consegue suportar uma ampla faixa de pH (3,3 a 9,5);
- ❖ Resiste a altos níveis de saturação de Al, Mn e metais pesados;
- ❖ Tem alta eficiência na remoção de nutrientes como azoto e fósforo;
- ❖ Tolerar temperaturas do ar entre -20°C e 60°C e
- ❖ Eficaz na retenção de herbicidas.
- ❖ Tolerar solos sódicos, salinos, alcalinos e
- ❖ Apesar de não ser nativa de Portugal, não é considerada uma espécie invasora segundo o Decreto-Lei n.º 92/2019.



Adaptado de Panja et al., 2018

Fig.3. imagem de Vetiver Zizanioides.

2. Delineamento experimental

Instalação piloto

- Leito 1 (LF1)- Jangada flutuante com *Phragmites australis* e água da Ribeira de Água Forte (800L);
- Leito 2 (LF2)- Jangada flutuante com *Vetivertia zizanioides* e água da Ribeira de Água Forte (800L).

Procedimento experimental

- Ensaios em “Batch”, com renovação mensal de afluente de janeiro a junho 2019 (local de colheita: coordenadas GPS: 37.944685-8.153876).
- Monitorização mensal da qualidade físico-química da água dos leitos (Afluente (controlo) e Efluentes 1 e 2) e monitorização das plantas (crescimento e produção de biomassa, acumulação dos metais Fe, Zn, Cu e Mn).

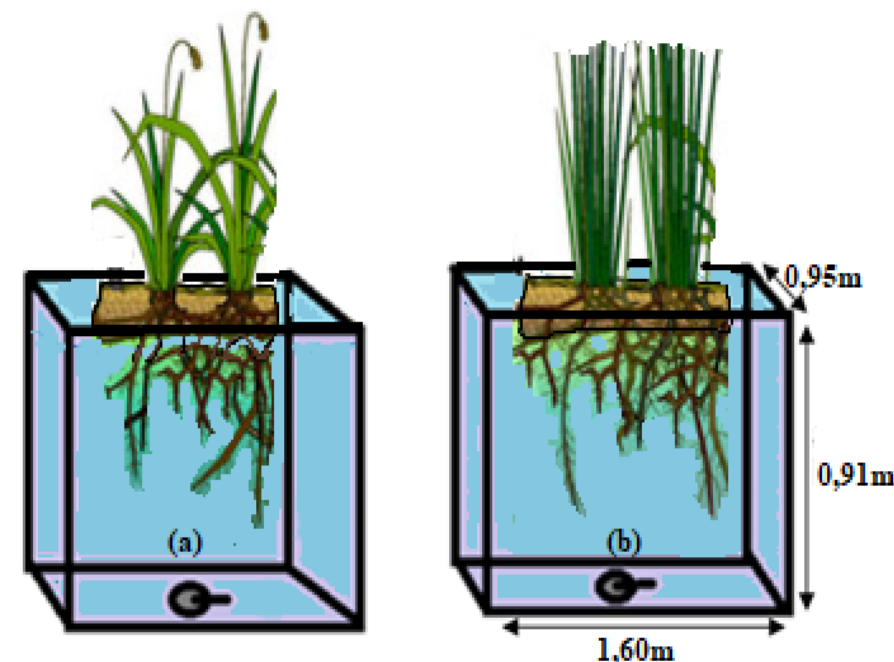


Fig.4. Esquema geral da instalação piloto (a) Leito 1 (LF1) e (b) Leito 2 (LF2).

3. Resultados

- Os compostos de fósforo e azoto analisados apresentaram valores baixos.
 P_{total} eficiência média de remoção 19% nos Efluentes 1 e 35% nos Efluentes 2.
- A diminuição do NKj ($N_{orgânico} + N-NH_4^+$) nos Efluentes, poderá ter sido devido à assimilação de $N-NH_4^+$ pelas plantas.
- A eficiência média de remoção de Nkj (Efluentes 1=17% e Efluentes 2=26%) foi maior no mês de maio e junho em ambos os Efluentes, coincidindo com o aumento do crescimento mais significativo das macrófitas.
- Os cloretos com valores muito altos obtêm eficiências de remoção de 5% e 11% para os Efluentes 1 e Efluentes 2, respetivamente.
- Redução de SO_4^{2-} baixa e com valores finais ainda acima do VMR do Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto (≤ 575 mg SO_4^{2-} /L).

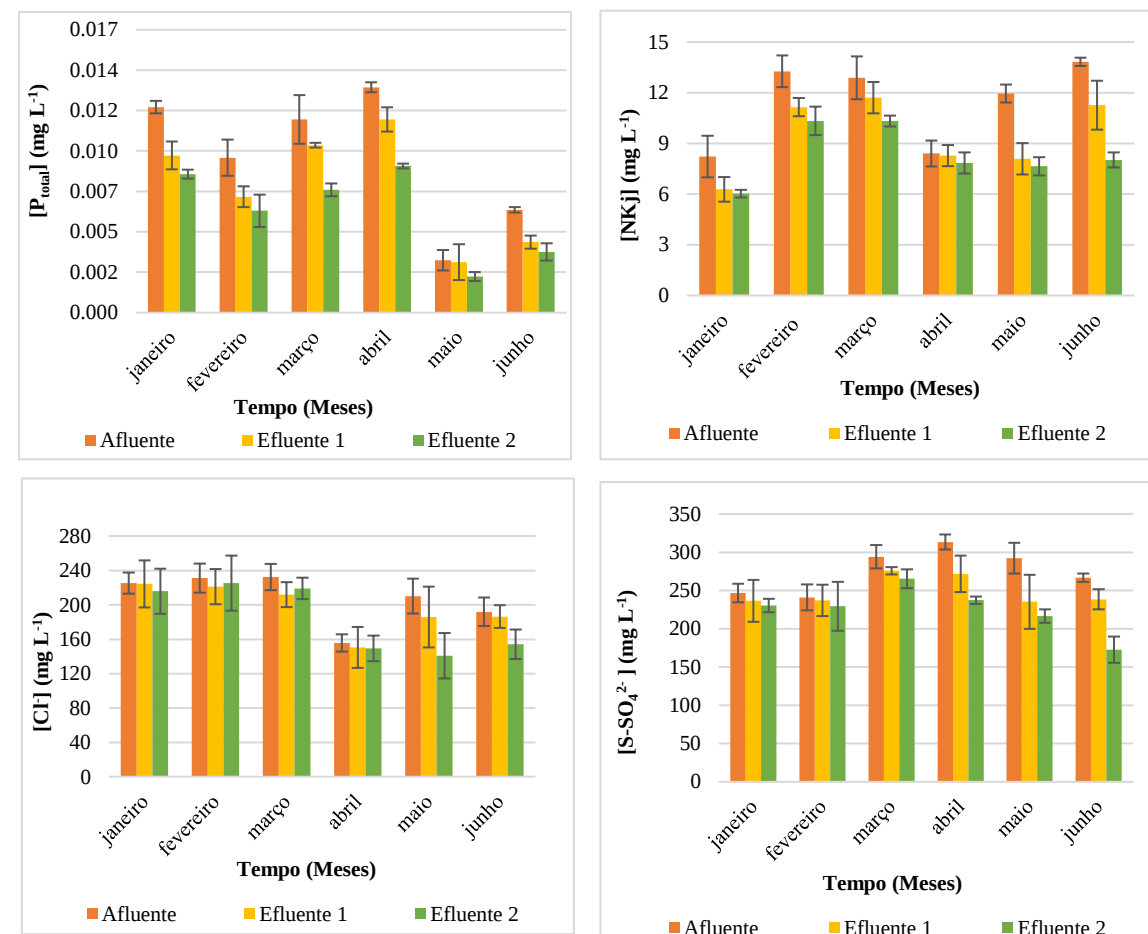


Fig 5. Evolução dos nutrientes Fósforo total (P_{total}) e Azoto kjeldhal (Nkj) nos Afluentes, Efluentes 1 e Efluentes 2, e, durante o período de monitorização (Média $\pm$ D.P.: n=3).

3. Resultados

Eficiência média de remoção de metais

Mn

- 16% -Efluentes 1 (LF1) - *Phragmites australis* consegue remover concentrações elevadas de Mn (Srivastava et al., 2014).
- 14% - Efluentes 2 (LF2)

Todos os valores, se bem que abaixo do VMA, ainda muito distantes do VMR.

Zn

- 17% - Efluentes 1 (LF1)– Valores abaixo do VMA (janeiro, fevereiro e junho)
- 25% - Efluentes 2 (LF2)- Só se verificou excedência do VMA no mês de abril.

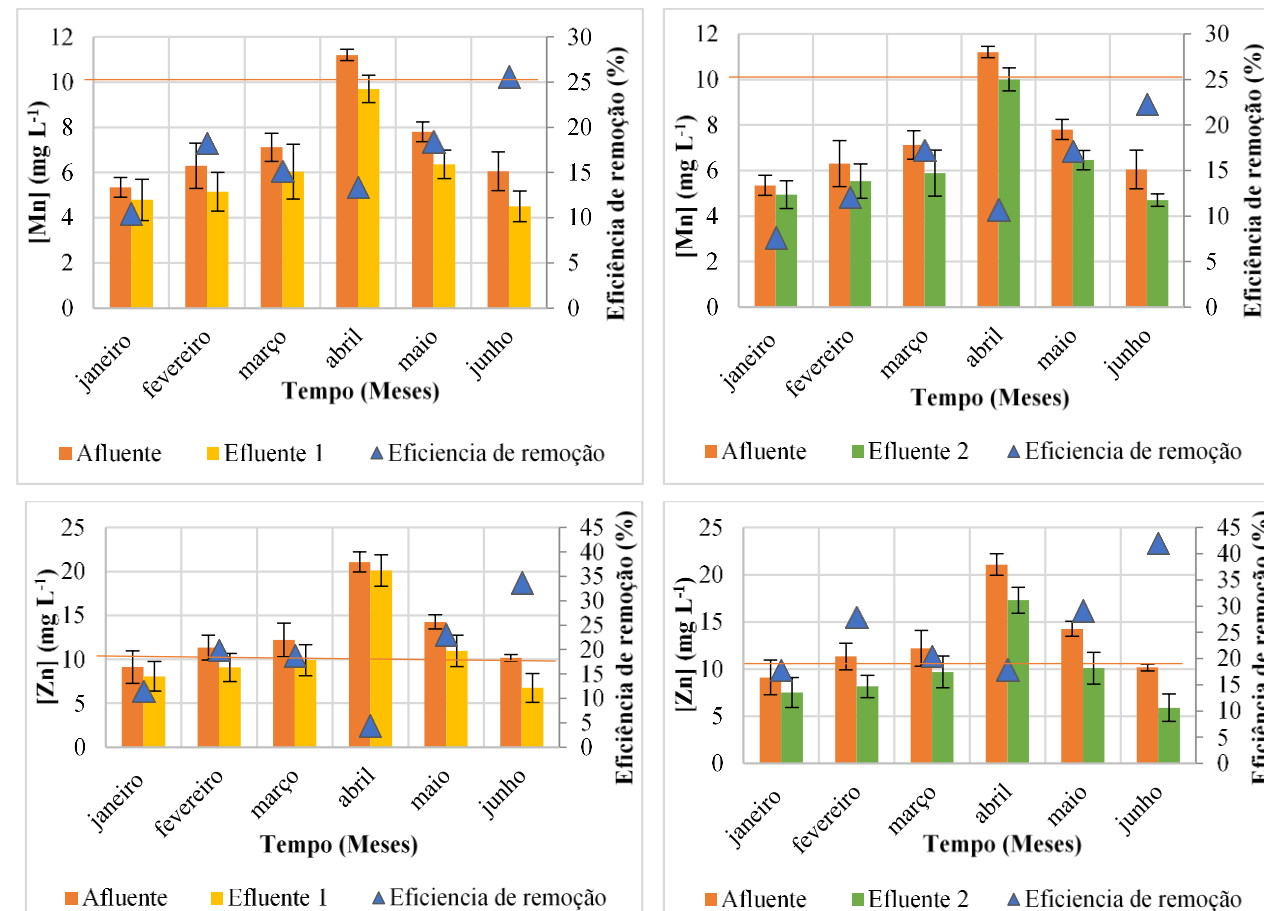


Fig 6. Evolução dos teores de metais Manganês (Mn) e Zinco (Zn) nos Afluentes, Efluentes 1 e Efluentes 2, e respetiva eficiência de remoção, durante o período de monitorização (Média ± D.P:n=3).

3. Resultados

Eficiência média de remoção de metais

Cu

- 6% - Efluentes 1 (LF1)
- 15% - Efluentes 2 (LF2)

Todos os valores foram inferiores ao VMA, à exceção do mês de abril, em ambos os Efluentes.

Fe

- 27% - Efluentes 1 (LF1) – Valores próximos do VMR nos meses de fevereiro, março e maio.
- 40% - Efluentes 2 (LF2) - Só valores superiores ao VMR no mês de abril.

De um modo geral, a remoção deste metal foi a mais eficiente de todos os monitorizados.

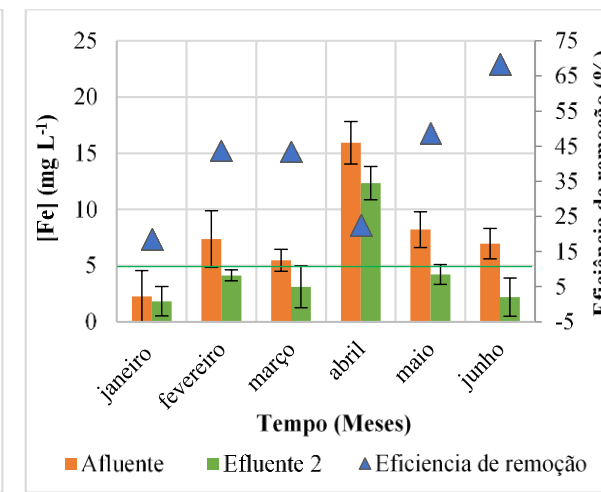
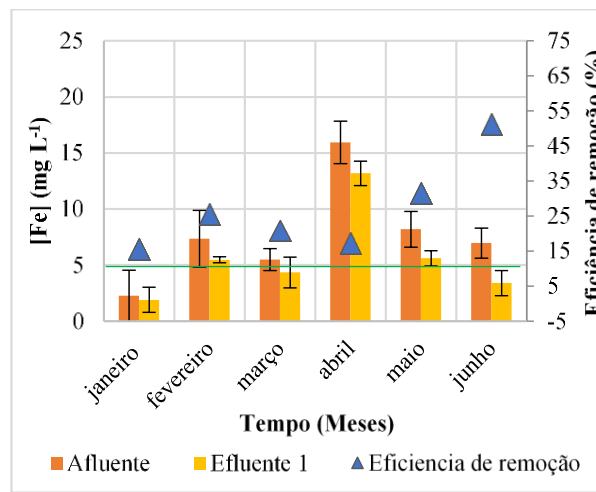
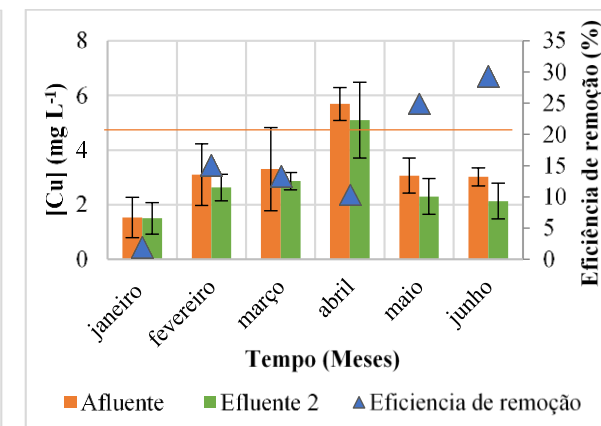
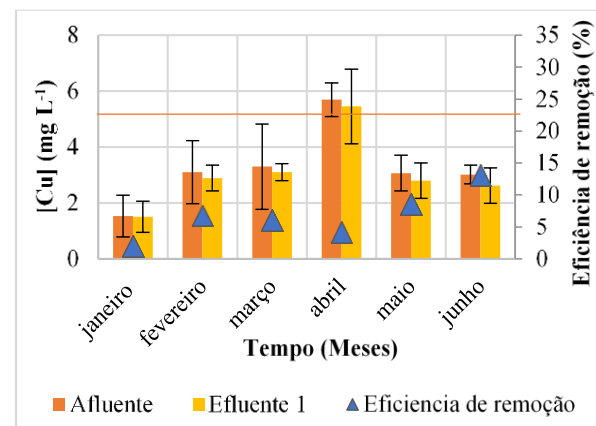


Fig.7. Evolução dos teores de metais Cobre (Cu) e Ferro (Fe) nos Afluentes, Efluentes 1 e Efluentes 2, e respetiva eficiência de remoção, durante o período de monitorização (Média ± D.P:n=3).

3. Resultados

Fitorremediação de metais pesados pelas macrófitas

A concentração de metais é superior nas raízes que na parte aérea (Bonanno, 2011; Suelee et al., 2017).

A ordem de acumulação na *Vetiver zizanioides* foi de $Fe > Zn > Cu > Mn$ para a biomassa radicular e $Fe > Zn > Mn > Cu$ para a biomassa foliar.

A ordem de acumulação na *Phragmites australis* foi de $Fe > Zn > Mn > Cu$ para a biomassa radicular e $Fe > Mn > Zn > Cu$ para a biomassa foliar.

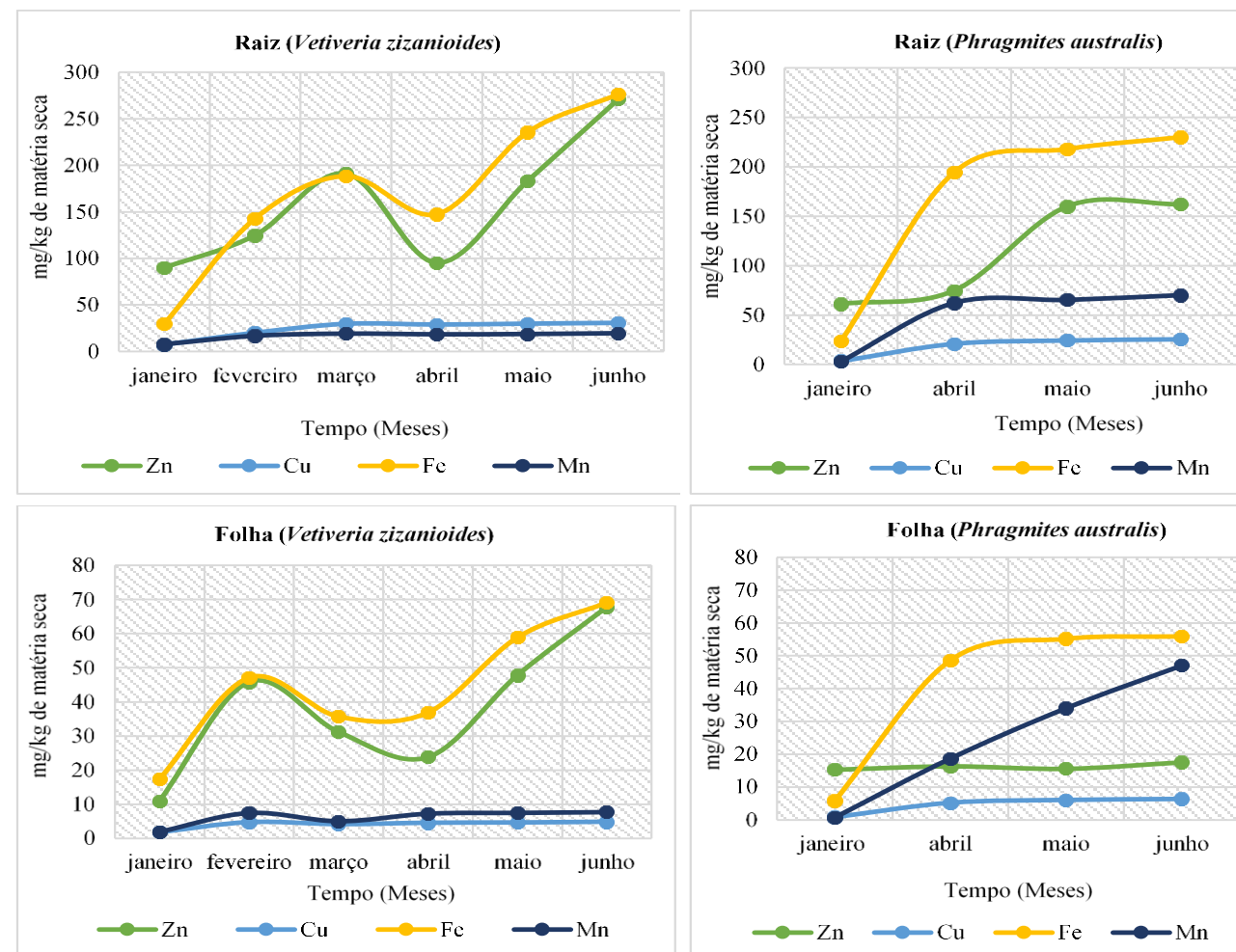


Fig.8. Acumulação de Zn, Cu, Fe e Mn, na zona radicular e foliar de vetiver *Zizanioides* e *Phragmites australis*.

3. Resultados

**Fator de Bioconcentração
e
Fator de Translocação**

Phragmites australis

FBC>1

FT<1

Apta para fitorremediação por rizofiltração.

- **FBC -Fator de Bioconcentração** - Capacidade das plantas para acumular metais em relação à concentração do meio.
- **FT-Fator de Translocação** - Capacidade da planta de extrair metais da raiz para a parte aérea.

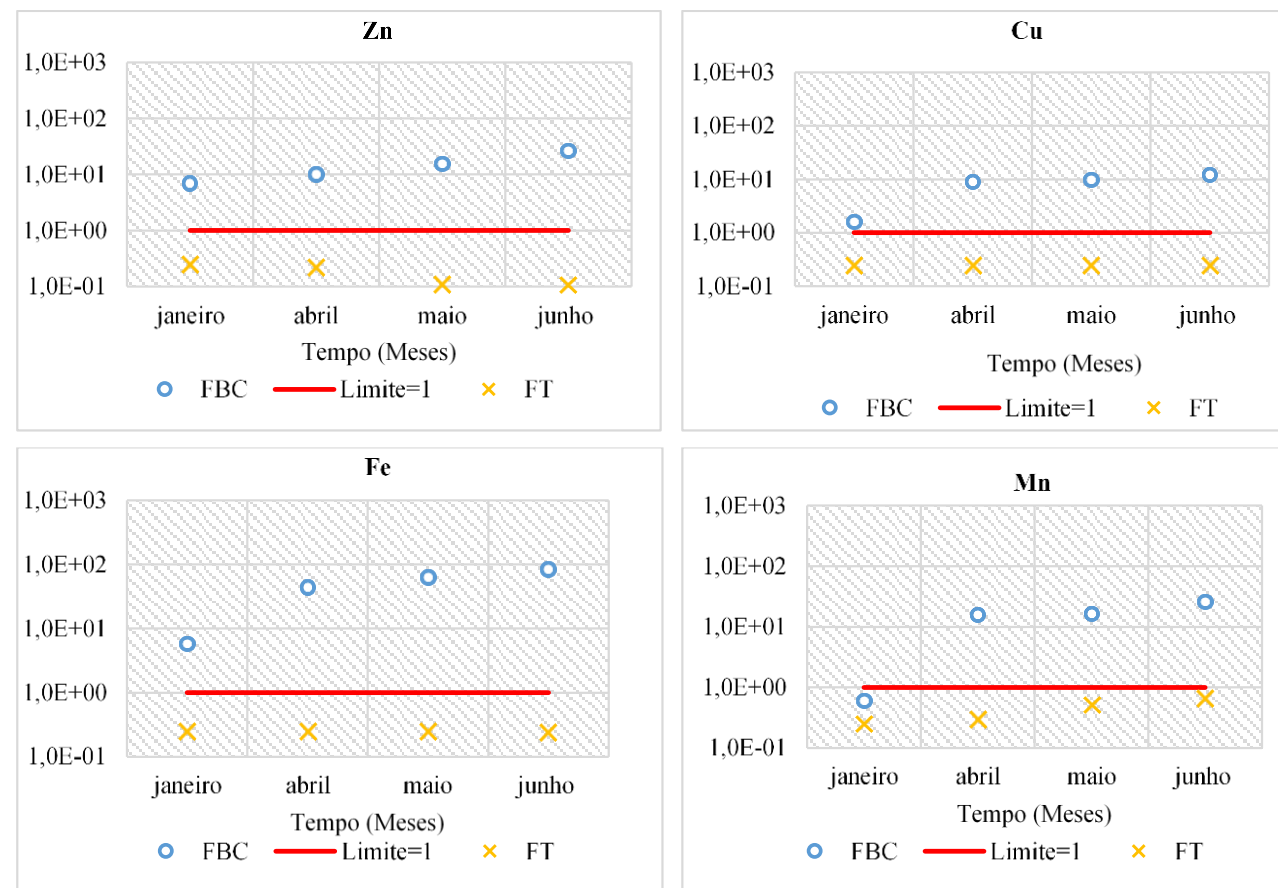


Fig.9. Evolução do Fator de Bioconcentração (FBC) (○) e Fator de Translocação (FT) (x) em *Phragmites australis* para os elementos: Zn, Cu, Fe e Mn.

3. Resultados

**Fator de Bioconcentração
e
Fator de Translocação**

Vetiver Zizanioides

$FBC > 1$

$FT < 1$

Apta para fitorremediação por rizofiltração.

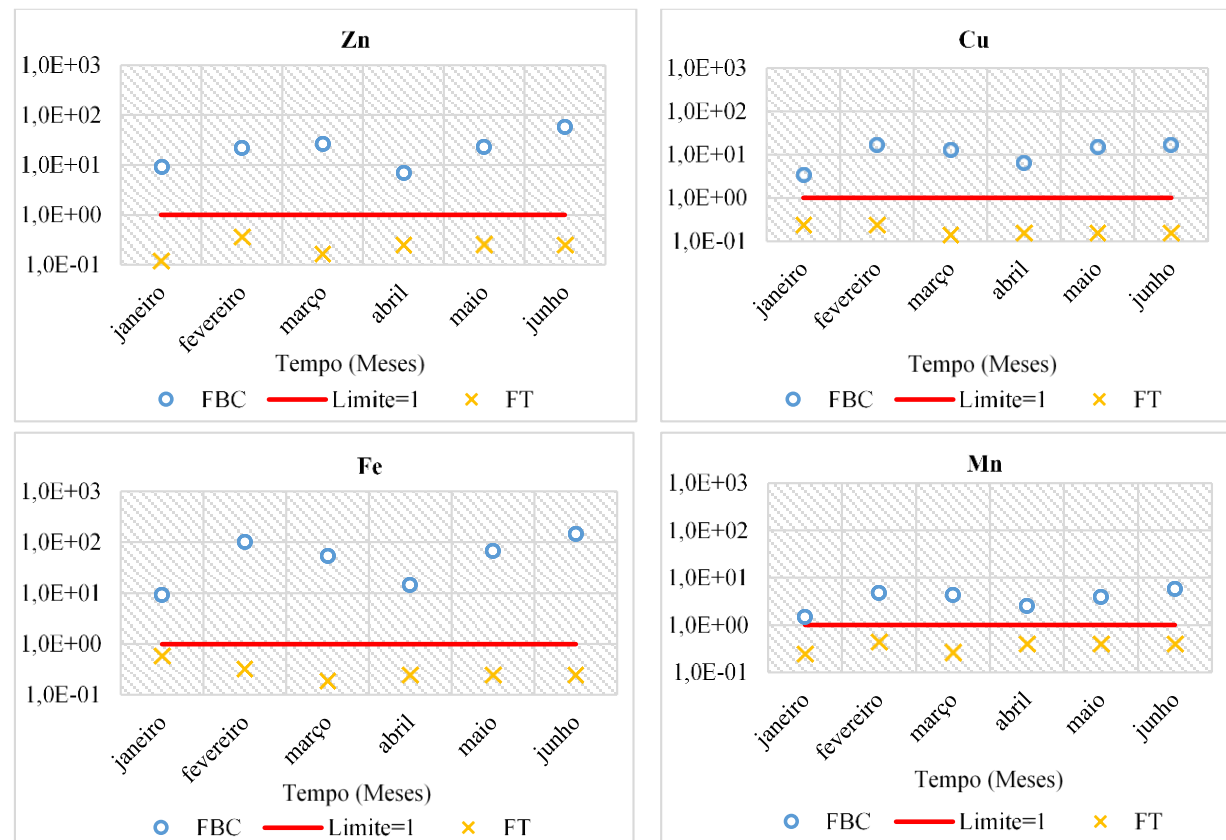


Fig.10. Evolução do Fator de Bioconcentração (FBC) (○) e Fator de Translocação (FT) (x) em *vetiver zizanioides* para os elementos: Zn, Cu, Fe e Mn.

3. Resultados

Taxa de crescimento e produção de biomassa

Phragmites australis

Taxa de crescimento radicular foi de $4,1 \pm 0,2$ cm/mês e taxa de crescimento foliar foi de $2,5 \pm 0,0$ cm/mês.

Vetiver zizanioides

Taxa de crescimento radicular foi de $3,8 \pm 0,1$ cm/mês e taxa de crescimento foliar foi de $7,1 \pm 0,3$ cm/mês.

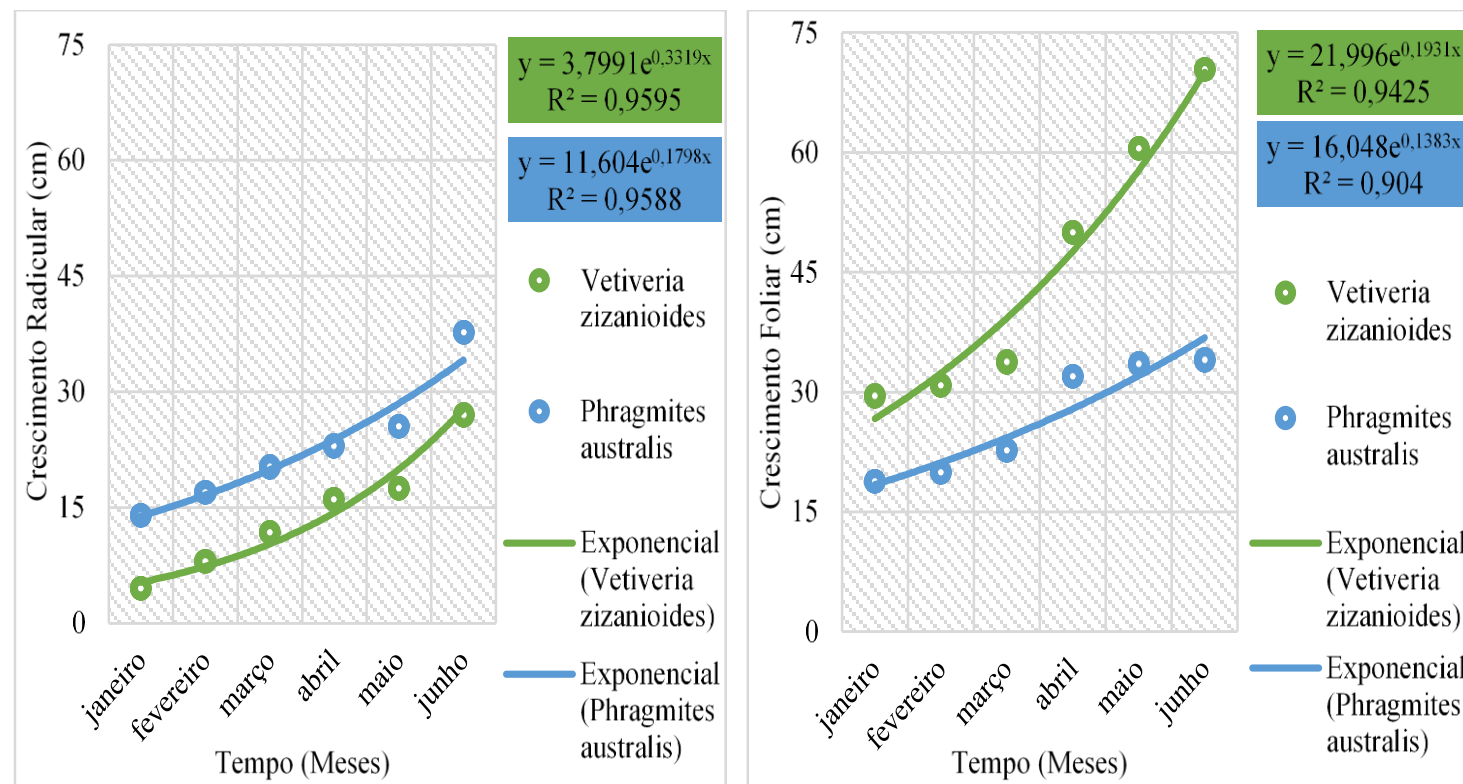


Fig.11. Taxa de crescimento médio da biomassa radicular e foliar *Phragmites australis* e *Vetiver zizanioides*. (Média $\pm$ D.P.: n=3).

3. Resultados

Taxa de crescimento e produção de biomassa

Tabela 2. Produção total de biomassa foliar e radicular (Média $\pm$ D.P.:n=6).

Macrófitas					
<i>Phragmites australis</i> (g m ⁻² MS)			<i>Vetiver zizanioides</i> (g m ⁻² MS)		
Folha	Raiz	Total	Folha	Raiz	Total
515 $\pm$ 74	2 728 $\pm$ 396	3 243 $\pm$ 470	1 041 $\pm$ 248	3 858 $\pm$ 454	4 859 $\pm$ 702

- Produção de biomassa total foi baixa em ambas as plantas, tendo a *Vetiver zizanioides* obtido valores mais elevados.

A inibição do crescimento e produção de biomassa em ambas as macrófitas pode ser explicado por:

- Temperaturas baixas registadas nos primeiros meses de monitorização,
- Aparecimento de algas que se fixaram na zona radicular impedindo o crescimento das raízes e das folhas;
- Teores de nutrientes baixos e
- Teores de metais elevados.

4. Conclusões

- A Caracterização Físico-Química da água da Ribeira de Água Forte demonstrou, entre outros, elevados teores de metais (Fe, Zn, Mn, Cu), sulfatos, cloretos e baixos níveis de nutrientes, estando inapta para rega.
- A qualidade da água dos Efluentes em estudo, mostrou melhorias para o período de monitorização, principalmente na eficiência de remoção de metais pesados, sulfatos e cloreto. No LF 2 (*Vetiver zizanioides*), Fe=40%; Zn=25%; Cu=15%; Mn=14%, SO_4^{2-} =18% e Cl^- = 11% e no LF1 (*Phragmites australis*), Fe=27%; Zn=17%; Mn=16%; Cu=6%, SO_4^{2-} =10% e Cl^- =5%.
- O crescimento das macrófitas evidenciaram capacidade de sobrevivência neste tipo de meio com baixos teores de nutrientes, sem a ocorrência de dano severo na sua morfologia externa e anatómica, embora com alguma inibição do crescimento.

4. Conclusões

- O mecanismo de fitoremediação utilizado por ambas as macrófitas parece ser a rizofiltração.
 - Embora tenha ocorrido uma melhoria em quase todos os parâmetros físico-químicos analisados, ainda não foi possível concluir acerca da eficácia deste tipo de tratamento quando colocado à escala real.
- O balanço global da performance de ambas as macrófitas permitiu escolher a *Vetiver Zizanioides* como macrófita para ser utilizada nos ensaios à escala real.



Recuperação Ambiental da Ribeira do Roxo

GreenEcoRoxo- Utilização de Leitos Flutuantes para melhoria de água superficial

PDR2020-1.0.1-FEADER-030894



ASSOCIAÇÃO DE
BENEFICIÁRIOS DO
ROXO



IPBeja
INSTITUTO POLITÉCNICO
DE BEJA

Desenvolvimento do sistema de tratamento de Leitos Flutuantes na Ribeira do Roxo e Ribeira de Água Forte

Resultados à Escala Real

T. Carvalho^{1,4}, A. Almeida^{1,4}, A. Pardal^{1,4}, J. Correia¹, A. Parreira³, V. Lopes³, C. Marques³, A. Durão^{1,4}

1. Instituto Politécnico de Beja – Escola Superior Agrária, Rua Pedro Soares - Campus do IPBeja, 7800-295 Beja, 2. Instituto Politécnico de Beja

2. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Rua Pedro Soares - Campus do IPBeja, 7800-295 Beja:

3. Associação de Beneficiários do Roxo, Estrada Nacional nº383, Montes Velhos

4. FIBENTECH- Materiais Fibrosos e Tecnologias Ambientais, Rua Marquês de Ávila e Bolama- 6201 Covilhã, Portugal

2. Delineamento experimental

2.1. Caracterização Físico-Química da Ribeira do Roxo

- Cl^- , SST, Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} e Mn^{2+} , excedem o valor máximo recomendável (VMR).



Não está apta para rega.

Incumprimento do parâmetro NH_4^+ e P_{total}



Estado ecológico mau, quando avaliada apenas para os parâmetros físico-químicos.

Tabela1. Caracterização físico-química da qualidade da água da Ribeira do Roxo .

Parâmetros	Unidades	Qualidade da Ribeira do Roxo	Qualidade das águas destinadas à rega Decreto-Lei n.º 236/98 (Anexo XVI)		Estado Ecológico Instituto da Água, 2009
			VMR	VMA	
pH	Escala de Sorensen	6.2± 1,6	6,5-8,4	4,5-9,0	6-9
T_w	°C	17 ± 2	-	-	-
Eh	mV	522 ± 19	-	-	-
B^{3+}	mg/L	0,2 ± 0,1	0,3	3,75	-
CE	µS/cm 20°C	1 813 ± 117	-	-	-
OD	mg/L	7 ± 1	-	-	≥5
CQO	mg/L O_2	23± 3	-	-	-
CBO_5	mg/L O_2	4 ± 0,0	-	-	≤6
PO_4^{3-}	mg/L	0,007 ± 0,001	-	-	-
P_{total}	mg/L	0,2± 0,2	-	-	≤0,13
Nkj	mg/L	4 ± 1	-	-	-
NH_4^+	mg/L	2 ± 1	-	-	≤1
NO_3^-	mg/L	7 ± 1	50	-	≤25
SO_4^{2-}	mg/L	391 ± 31	575	-	-
F^-	mg/L	1,0 ± 0,0	1,0	15	-
Cl^-	mg/L	500 ± 21	70	-	-
SST	mg/L	90 ± 20	60	-	-
SDT	mg/L	900± 232	-	-	-
Zn	mg/L	3,0 ± 2,1	2,0	10,0	-
Fe	mg/L	6,0 ± 0,3	5,0	-	-
Cu	mg/L	0,6± 0,3	0,20	5,0	-
Mn	mg/L	2,2 ± 0,7	0,20	10	-
SAR	-	2 ± 1	8	-	-

2. Delineamento experimental

2.2. Caracterização Físico-Química da Ribeira de Água Forte

- pH, SO_4^{2-} , Cl^- , Cu^{2+} , Fe^{2+} e Mn^{2+} , excedem os valores máximos recomendados (VMR);
- Zn acima do valor máximo admissível (VMA).

Não está apta para rega.

Incumprimento do parâmetro pH e NH_4^+

Estado ecológico mau, quando avaliada apenas para os parâmetros físico-químicos.

Tabela 2. Caracterização físico-química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte.

Parâmetros	Unidades	Qualidade da Ribeira de Água Forte	Qualidade das águas destinadas à rega Decreto-Lei n.º 236/98 (Anexo XVI)		Estado Ecológico Instituto da Água, 2009
			VMR	VMA	
pH	Escala de Sorensen	3,2 ± 0,1	6,5-8,4	4,5-9	6-9
T _w	°C	17 ± 2	-	-	-
Eh	mV	522 ± 19	-	-	-
B ³⁺	mg/L	0,3 ± 0,1	0,3	3,75	-
CE	µS/cm 20°C	1 813 ± 117	-	-	-
OD	mg/L	7 ± 1	-	-	≥5
CQO	mg/L O ₂	30 ± 3	-	-	-
CBO ₅	mg/L O ₂	4 ± 0,0	-	-	≤6
PO ₄ ³⁻	mg/L	0,007 ± 0,001	-	-	-
P _{total}	mg/L	0,009 ± 0,001	-	-	≤0,13
Nkj	mg/L	11 ± 0,0	-	-	-
NH ₄ ⁺	mg/L	9 ± 2	-	-	≤1
NO ₃ ⁻	mg/L	7 ± 1	50	-	≤25
SO ₄ ²⁻	mg/L	826 ± 31	575	-	-
F ⁻	mg/L	1,0 ± 0,0	1,0	15	-
Cl ⁻	mg/L	208 ± 21	70	-	-
SST	mg/L	17 ± 1	60	-	-
SDT	mg/L	1 238 ± 232	-	-	-
Zn	mg/L	13 ± 2	2	10	-
Fe	mg/L	8 ± 0,0	5	-	-
Cu	mg/L	3 ± 0,0	0,20	5	-
Mn	mg/L	7 ± 1	0,20	10	-
SAR	mg/L	15 ± 3	8	-	-

2. Delineamento experimental

2.3. Instalação dos leitos à escala real

Os leitos flutuantes (LF) utilizados eram constituídos por um sistema de flutuação e por um sistema de suporte para as plantas (Rede em PEAD e Manta Orgânica no qual foram plantados “pés” da macrófita *Vetiveria Zizanioides* (20 cm de caule/planta e densidade 40.5 plantas/m²).

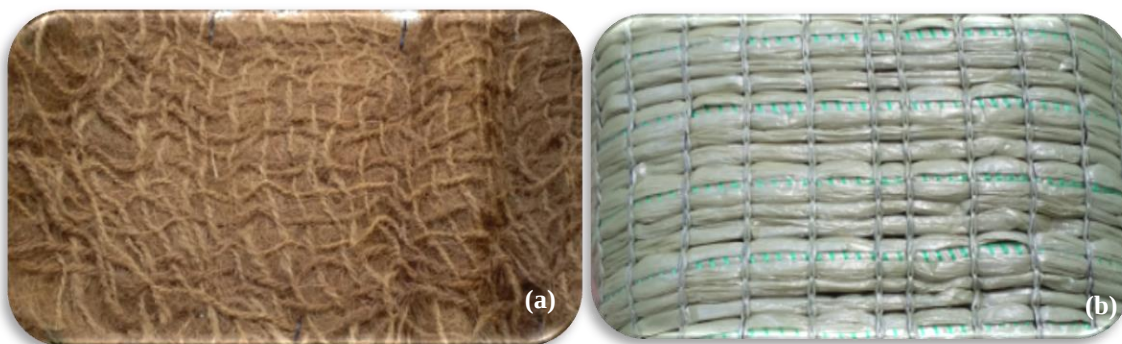


Fig. 1-(a) Sistema de suporte (vista de cima) e (b) Sistema de flutuação (vista de baixo) da jangada flutuante utilizada.



2. Delineamento experimental

2.4. Instalação dos leitos

Três Leitos Flutuantes, (LFs) com as dimensões de 3,3 m²/ unidade foram colocados na Ribeira do Roxo e Ribeira de Água Forte e foram amarrados às margens dos cursos de água.

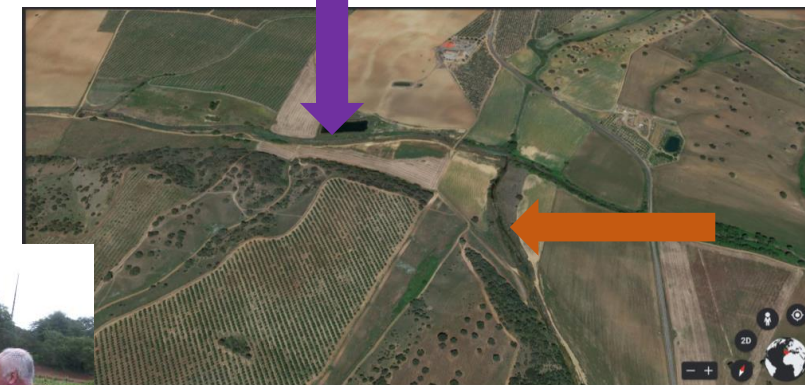


Tabela 3. Caracterização do cursos de água onde foram colocados os LFs.

	Ribeira do Roxo	Ribeira de Água Forte
Localização (GPS Coordenadas)	37.944685-8.153876	37.9393942 -8.14567566
Profundidade média do leito (m)	1,0± 0,3	1,2± 0,3
Largura média do leito (m)	10,2 ± 0,7	8,9± 0,5
Caudal médio (m ³ /s)	0,12 ± 0,10	0,11 ± 0,20

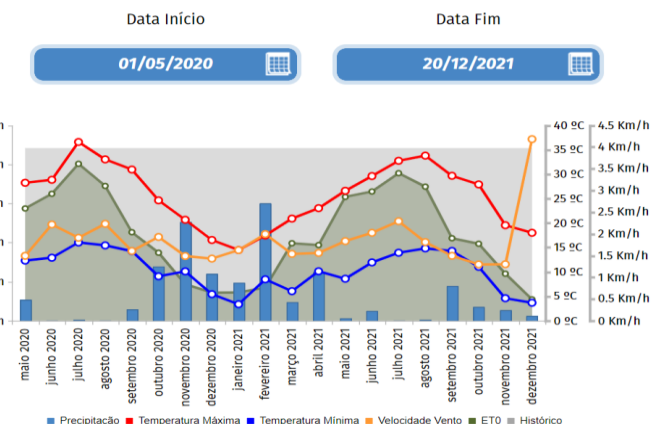


Fig.2.- Dados meteorológicos referentes ao período de monitorização do tratamento por LFs.

Adaptado Regante Alqueva (2021)

2. Delineamento experimental

2.5. Monitorização da qualidade da água dos leitos



A amostragem foi feita, em dois pontos, por cada curso de água; a montante da localização dos leitos (**Inlet**) e a jusante dos mesmos (**Outlet**), acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e decorreu entre **maio de 2020 e novembro de 2021**.



Monitorização bimensal, *in situ*, para os parâmetros: pH, Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Potencial Redox (Eh), Condutividade Eléctrica (EC) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) com recurso sonda portátil (HI9829 HANNA).



Restantes parâmetros, monitorização físico-química, mensal e análise *in Lab*, de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [1]: Sódio (Na^+); Potássio (K^+); Magnésio (Mg^{2+}); Cálcio (Ca^{2+}); Sólidos Suspensos Totais (SST); Cloretos (Cl^-); Azoto Amoniacal (NH_4^+); Azoto Total (TN); Nitratos (NO_3^-); Nitritos (NO_2^-); Fósforo Total (PT); Fosfato ($\text{P}_2\text{O}_5^{2-}$); Boro (B^{3+}); Carência Química Oxigénio (CQO), Sulfatos (SO_4^{2-}); Ferro (Fe^{2+}); Cobre (Cu^{2+}); Zinco (Zn^{2+}) e Manganês (Mn^{2+}).

2. Delineamento experimental

2.6. Monitorização do crescimento e conteúdo da macrófitas

- Medição trimestral do crescimento das plantas.
- Monitorização inicial e final do conteúdo das plantas a nível dos nutrientes fósforo e azoto e metais.

2.7. Tratamento dos dados

- Cálculo da carga mássica por parâmetro/ ponto de amostragem;
- Cálculo da eficiência de remoção/ parâmetro utilizando a expressão:
$$\%R = \frac{Inlet - Outlet}{Inlet} \times 100 \quad (Eq. 1)$$
- Estimativa da área de tratamento necessária para as situações de incumprimento assumindo cinética de remoção de poluentes de ordem zero (Kusin, 2019).

3. Principais Resultados

3.1. Desempenho do Tratamento dos Leitos Flutuantes | Monitorização físico-química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte

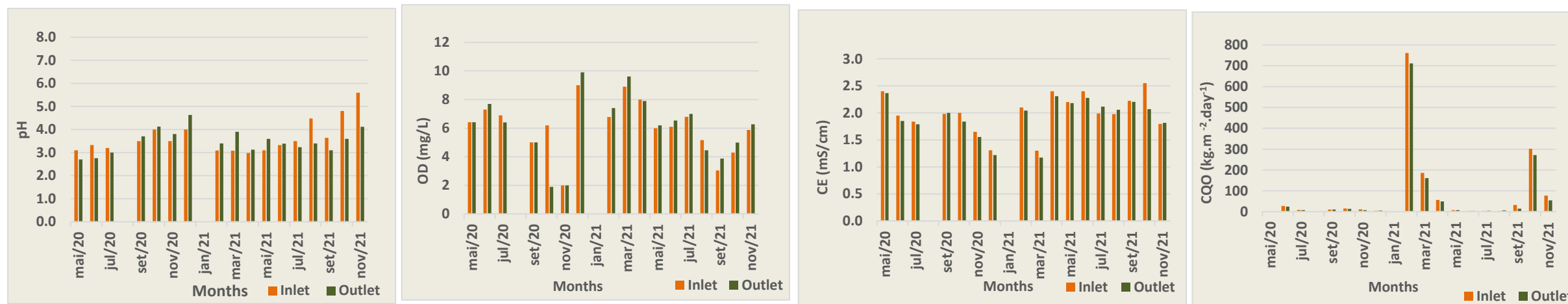


Fig. 3-Evolução dos teores dos parâmetros pH, Condutividade Elétrica (CE), Oxigénio dissolvido (OD) e carga orgânica afluente à Ribeira de Água Forte referente ao parâmetro Carga Orgânica da Qualidade (CQO) ao longo do período de monitorização.

Parâmetro	Taxa de remoção mínima(%)	Taxa de remoção máxima (%)	Taxa de remoção média (%)	Obs.
CQO	0,0	57,3(*)	13,5±12,0	(*)- set/21

3. Principais Resultados

3.1. Desempenho do Tratamento dos Leitos Flutuantes | Monitorização físico-química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte

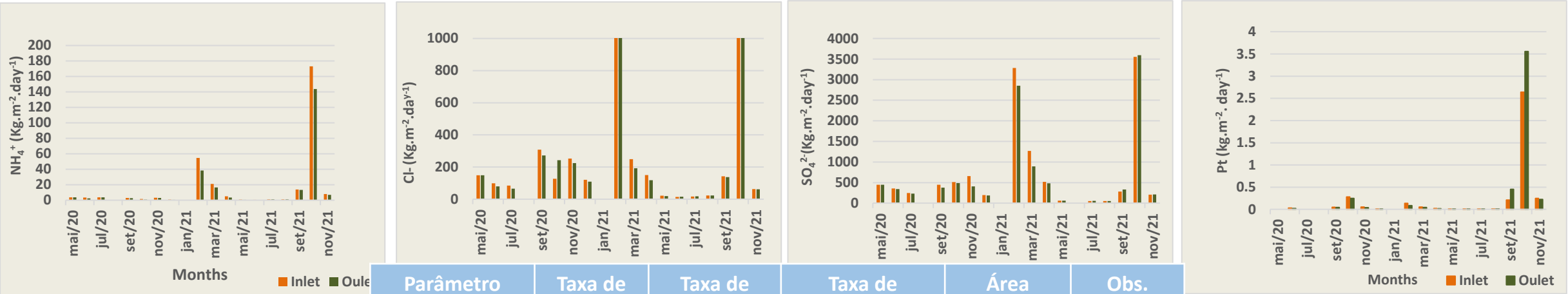


Fig. 4 -Evolução dos cargas mássicas afluídas à Ribeira de Água Forte

de monitorização.

3. Principais Resultados

3.1. Desempenho do Tratamento dos Leitos Flutuantes | Monitorização físico-química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte

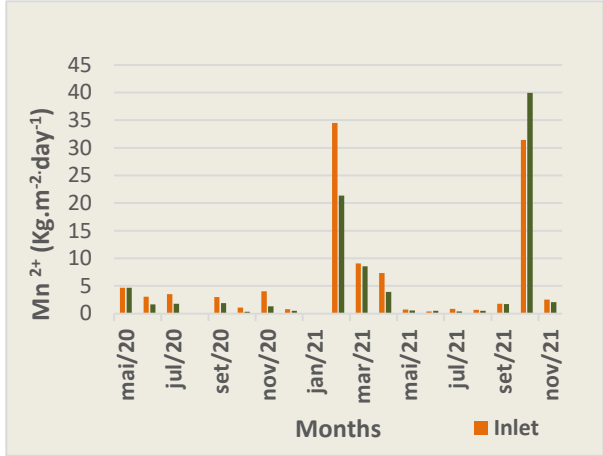
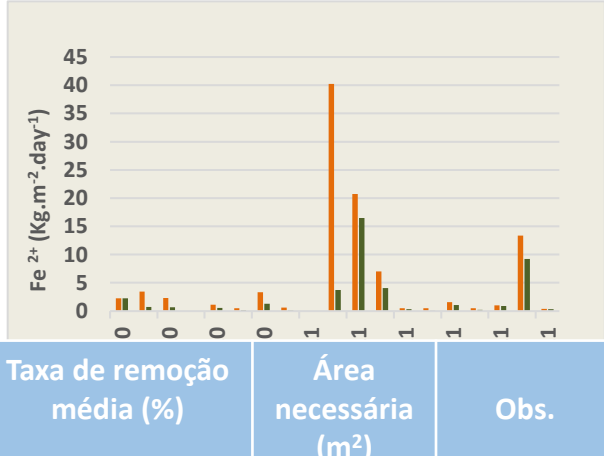
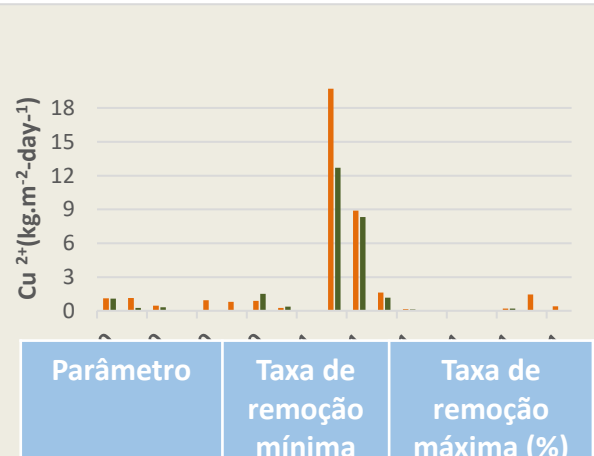
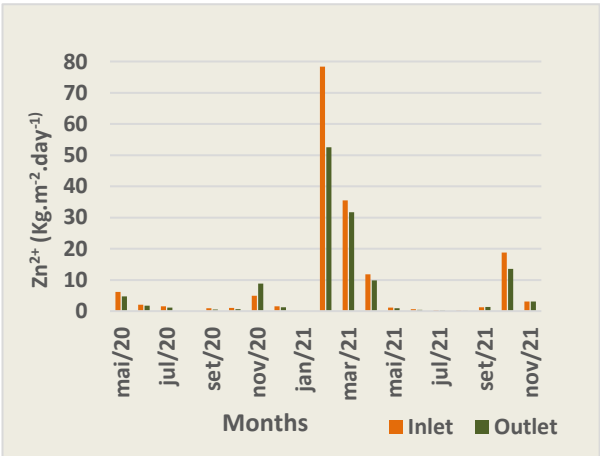


Fig. 5 - Evolução dos cargas mássicas afluídas à Ribeira de Água Forte

Parâmetro	Taxa de remoção mínima (%)	Taxa de remoção máxima (%)	Taxa de remoção média (%)	Área necessária (m²)	Obs.
Zn 2+	0,0	49,1 (*)	21,5±15,0	83	(*)- set/20
Cu 2+	0,0	96,8 (**)	29,6±20,0	145	(**)-set/20
Fe 2+	9,8	90,8 (***)	49,8±29,0	23	(***)-fev/21
Mn 2+	0,0	68,0 (****)	37,3±20,5	423	(****)-jul/20

Fig. 6

3. Principais Resultados

3.2. Desempenho do Tratamento dos Leitos Flutuantes | Monitorização físico-química da qualidade da água da Ribeira do Roxo

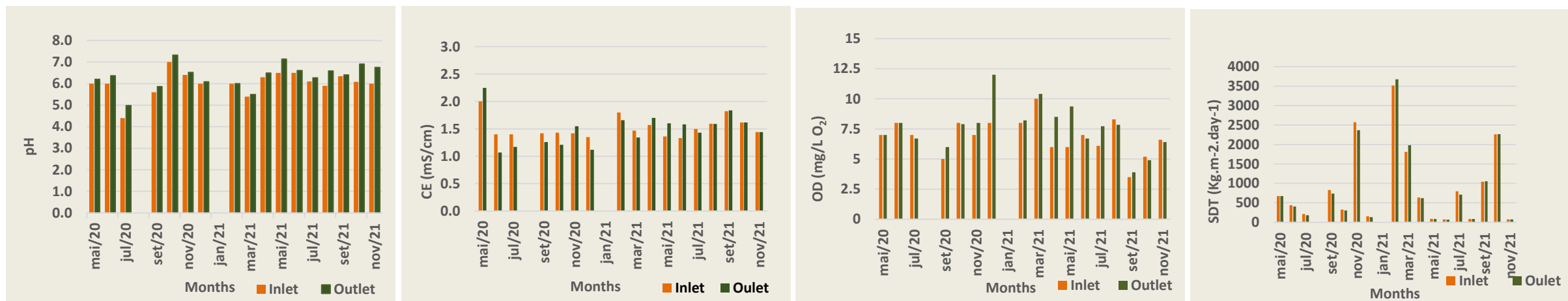


Fig. 6-Evolução dos teores dos parâmetros pH, Condutividade Elétrica (CE), Oxigénio dissolvido (OD) e carga mássica afluída à Ribeira do Roxo referente ao parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) ao longo do período de monitorização.

Parâmetro	Taxa de remoção mínima(%)	Taxa de remoção máxima (%)	Taxa de remoção média (%)	Obs.
SDT	0,0	14,1(*)	6,8±5,1	(*)dez/20

3. Principais Resultados

3.2 Desempenho do Tratamento dos leitos Flutuantes | Monitorização físico-química da qualidade da água da Ribeira do Roxo

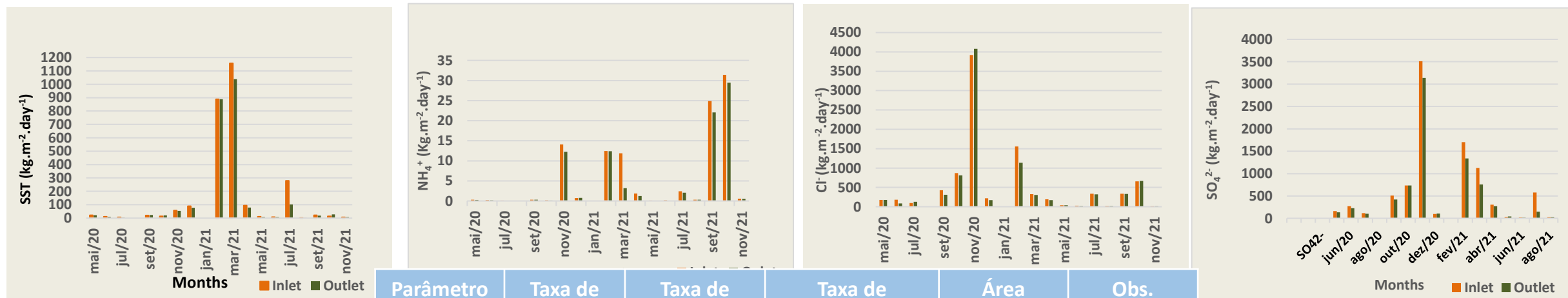


Fig. 7 -Evolução dos cargas mássicas afluídas à Ribeira do Roxo

período de monitorização.

Parâmetro	Taxa de remoção mínima (%)	Taxa de remoção máxima (%)	Taxa de remoção média (%)	Área necessária (m²)	Obs.
NH ₄ ⁺	0,0	74,7(*)	23,2± 23,0	136	(*)- jun/20
Cl ⁻	0,0	51,8(**)	11,0±13,0	316	(**)-jun/20
SO ₄ ²⁻	0,0	74,6(***)	13,7±12,0	1425	(***)-jul/21
SST	0,0	63,6(****)	14,0±14,0	83	(****)-jul/21

3. Principais Resultados

3.2. Desempenho do Tratamento dos leitos Flutuantes | Monitorização físico-química da qualidade da água da Ribeira do Roxo

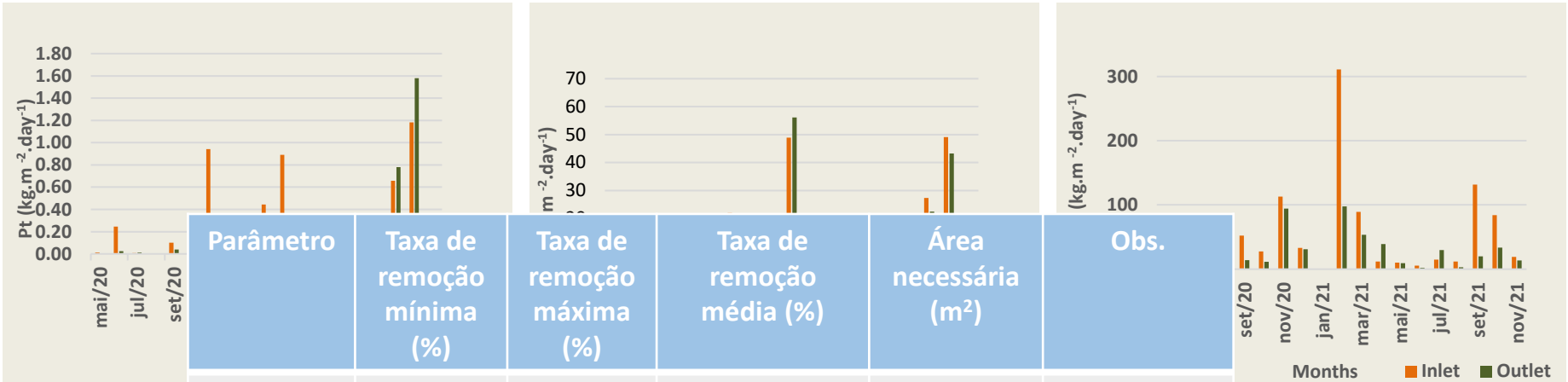


Fig. 8 - Evolução dos cargas de monitorização.

em Oxigénio (CQO) ao longo do período

3. Principais Resultados

3.2. Desempenho do Tratamento dos leitos Flutuantes | Monitorização físico-química da qualidade da água da Ribeira do Roxo

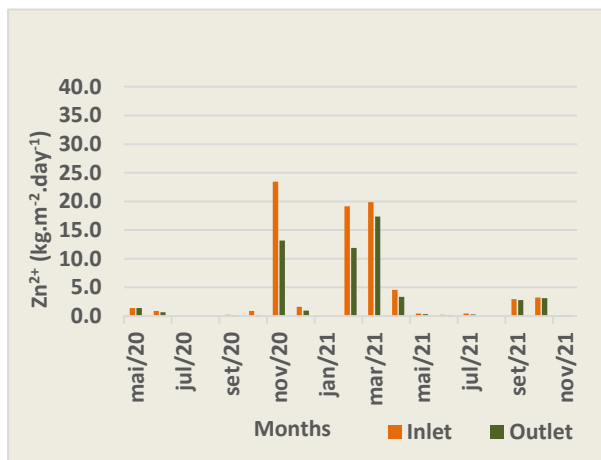
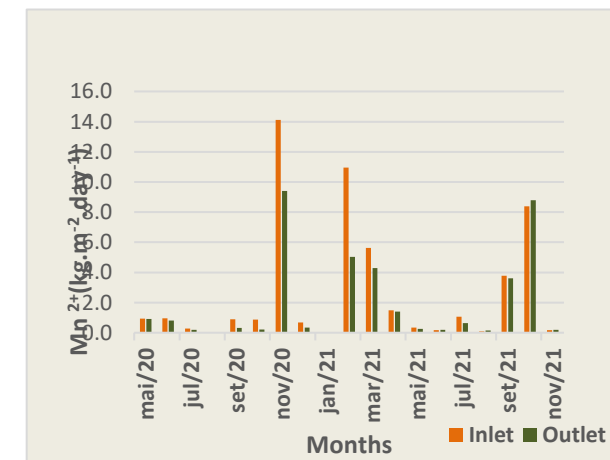
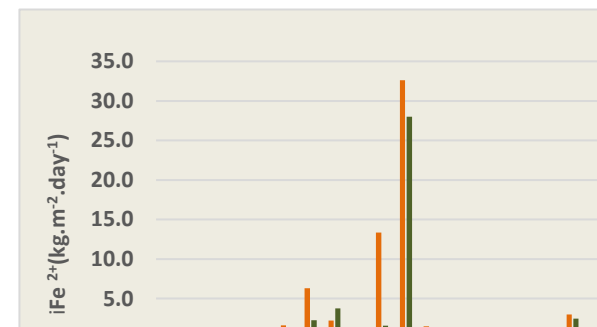
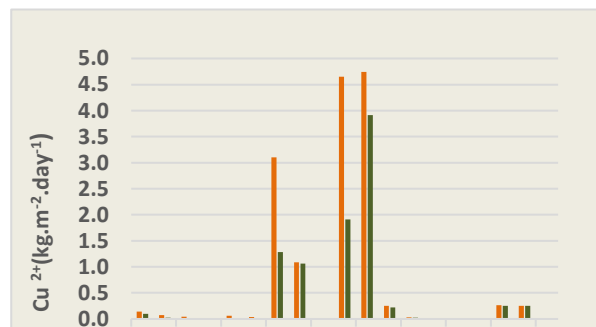


Fig. 9 - Evolução dos cargas mássicas afluídas à Ribeira do Roxo



Parâmetro	Taxa de remoção mínima (%)	Taxa de remoção máxima (%)	Taxa de remoção média (%)	Área necessária (m²)	Obs.
Zn 2+	0,0	83,3 (*)	28,8±23,0	46	(*)- out/20
Cu 2+	0,0	76,5(**)	36,6±31,0	460	(**)-mar/21
Fe 2+	0,0	88,3(***)	45,6±33,0	39	(***)-fev/21
Mn 2+	0,0	76,5(****)	25,1±24,0	221	(****)-out/20

3. Principais Resultados

3.3. Fitorremediação de metais pela *Vetiver Zizanioides* na Ribeira do Roxo (Sistema Radicular)



Ribeira de Água Forte (manifestou sinais evidentes de perda de vitalidade e degenerescência)

Ensaio			Fe>Mn>Zn>Cu
Início		Fim	
23,8 ±1,2	Fe ²⁺ (mg/gMS)	57,6 ±2, 4	
0,28 ±0,04	Zn ²⁺ (mg/g MS)	2,30±0,90	
0,17 ±0,06	Cu ²⁺ (mg/g MS)	1,09 ±0,10	
1,41 ±0,07	Mn ²⁺ (mg/MS)	7,66 ± 1,21	

4. Conclusões

A variabilidade climática sazonal e interanual traduz-se numa grande variabilidade das disponibilidades hídricas, ao longo do tempo, que se vão agravar com as alterações climáticas.

O regime de precipitação, atual, no Baixo Alentejo caracterizado por períodos de precipitação curtos mas muito intensos e períodos de seca longos provoca variações apreciáveis nas afluências à Ribeira de Água Forte e Ribeira do Roxo.

A afluência de alguns poluentes parece estar dependente das condições hidrológicas ocorridas.

A remoção de poluentes não parece estar dependente da concentração afluída.

As taxas de remoção médias obtidas variaram entre os 8,0%- 49,8%, para a Ribeira de Água Forte, (parâmetros SO_4^{2-} e Fe^{2+}) e de 11,0%-46,6% (parâmetros Cl^- e Fe^{2+}) para a Ribeira do Roxo.

O tratamento por LF's pareceu ser mais eficaz na remoção dos metais comparativamente aos outros parâmetros.



Recuperação Ambiental da Ribeira do Roxo

GreenEcoRoxo- Utilização de Leitos Flutuantes para melhoria de água superficial PDR2020-1.0.1-FEADER-030894



4. Conclusões

Embora tenha ocorrido diminuição em quase todos os parâmetros físico- químicos analisados, conclui-se que os dois cursos de água ainda não se encontram aptos para rega e consideram-se pertencentes ao estado ecológico mau.

O ensaio à escala real mostrou que a *Vetiver Zizanioides* apresentou inibição de crescimento e danos na sua morfologia externa e anatómica mantendo, contudo, a sua capacidade de fito remediação (resultados não apresentados).

Os resultados obtidos forneceram evidências de os LFs em estudo poderão dar um contributo para a recuperação ambiental de massas de água superficiais, assumindo-se como um sistema de tratamento eficaz a longo prazo, ecológico, de fácil manutenção e baixo custo.

Desafios futuros

- Efetuar o novo tratamento à qualidade da água da Ribeira do Roxo com a área de tratamento necessária (1460 m²) por um período de tempo mais alargado (1460 m²).
- Alargar a monitorização a pesticidas, nomeadamente, inseticidas e herbicidas, cujo uso foi aprovado para proteção de plantas.
- Reforçar a sensibilização ambiental aos *stakeholders* a fim de suscitar interesse e recetividade pela utilização de medidas preventivas que contribuam para o desenvolvimento sustentável das massas de água.

5.Referências Bibliográficas

- Almeida, A. A. M. (2017). Fitorremediação: uma tecnologia sustentável para remoção de compostos de azoto em águas residuais. Lição apresentada no âmbito das Provas Publicas de Avaliação de Competências Pedagógicas e Tecno-Científicas na área da disciplinar de tecnologia do ambiente, Instituto Politécnico de Beja, 1-187. Obtido a 21 de maio de 2019.
- Borralho, T., Durão, A. (2016). Qualidade da Água da Albufeira do Roxo na Dinâmica dos Solos e Culturas Agrícolas (QARSC). Associação de Regantes do Roxo, Instituto Politécnico de Beja, Universidade de Évora. pp. 25-45.
- Brix, H. (2003). Plants used in constructed wetlands and their functions. 1 St. International Seminar on the Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands, 68(December), 30. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2014.05.01.3>
- Canais-Seco, T., Peres, J. A., & Bentes, I. (2008). Avaliação De Leitos De Macrófitas No Tratamento De Águas Residuais Domésticas Em Portugal: Sistemas De Fluxo Sub-Superficial Horizontal. 9º Congresso Da Água, 14.
- Decreto-Lei n.º 236/98. (1998). Ministério do Ambiente, 1 de Agosto de 1998. Diário Da República I Série A, Nº 178, 3676–3722.
- Durão, A. C. R. (2013). Estratégias para a melhoria da qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Ardila. Tese elaborada na Universidade de Évora, para a obtenção do grau de doutor em Ciências da Engenharia do Território e Ambiente, Évora. Obtido em 19 de março de 2019.
- Guo, Wei, Zhang, H., & Huo, S. (2014). Organochlorine pesticides in aquatic hydrophyte tissues and surrounding sediments in Baiyangdian wetland, China. *Ecological Engineering*, 67, 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.047>
- Instituto da Água. (2009). Critérios para a classificação do estado das massas de água superficiais. Ministério Do Ambiente, Ordenamento Do Território e Do Desenvolvimento Regional.
- Köbbing, J., Thevs, N., & Zerbe, S. (2013). The utilisation of reed (*Phragmites australis*): a review. *Mires and Peat*, 13(01), 1–14.
- Srivastava, J., Kalra, S. J. S., & Naraian, R. (2014). Environmental perspectives of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex. Steudel. *Applied Water Science*, 4(3), 193–202. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0142>
- United, N. (2015). International Initiative on Water Quality. International Hydrological Programme.
- Uddin, M. N., & Robinson, R. W. (2018). Can nutrient enrichment influence the invasion of *Phragmites australis*? *Science of the Total Environment*, 613–614, 1449–1459. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.131>
- Walker, C., Tondera, K., & Lucke, T. (2017). Stormwater treatment evaluation of a Constructed Floating Wetland after two years operation in an urban catchment. *Sustainability (Switzerland)*, 9(10), 1–10. <https://doi.org/10.3390/su9101687>
- Bonanno, G. (2011). Trace element accumulation and distribution in the organs of *Phragmites australis* (common reed) and biomonitoring applications. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(4), 1057–1064. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.01.018>
- Kusin, F. M., Has, S. N. M. S., Nordin, N. A., Mohamat- Yusuff, F., Ibrahim, Z. Z. (2019). Floating vetiver island (FVI) and implication for treatment system design of polluted running water. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(1):497-510.
- Suelee, A. L., Hasan, S. N. M. S., Kusin, F. M., Yusuff, F. M., & Ibrahim, Z. Z. (2017). Phytoremediation Potential of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*) for Treatment of Metal-Contaminated Water. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(4), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3349-x>
- Panja, S., Sarkar, D., & Datta, R. (2018). Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) is capable of removing insensitive high explosives from munition industry wastewater. *Chemosphere*, 209, 920–927. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.155>
- Regante Alqueva (2021) <https://regante.edia.pt/suporteatividade/meteorologia/SitePages/Home.aspx> (acedido a 10/12/2021).

Muito obrigado pela atenção!!!!

mtcarvalhos@ipbeja.pt

Link do Projeto: <https://www.ipbeja.pt/servicos/gprojectos/Paginas/Projecto.aspx>