

## GreenEcoRoxo- Utilização de leitos flutuantes para melhoria da qualidade da massa de água superficial

Associação de Beneficiários do Roxo, Instituto Politécnico de Beja e António Manuel Rocha Parreira



PDR2020-101-030894; PDR2020-101-030895; PDR2020-101-030896

## Índice

Introdução.....	9
Relatório Final de Execução .....	10
Execução Física.....	10
Fase 1: Sistematização da informação existente relativa à qualidade da água e caracterização do sobrenadante existente na massa de água.....	10
Tarefa 1.1 - Sistematização da informação existente relativa à qualidade da água (2017-4 meses).....	10
Tarefa 1.2 - Recolha de amostras (2017-2021 – 4 meses/ano).....	11
Tarefa 1.3 - Caracterização analítica (2017-2021 –4 meses/ano).....	12
Fase 2: Determinação da qualidade da água e sedimentos (2017-2021).....	12
Tarefa 2.1 - Recolha de amostras .....	12
Tarefa 2.2 - Caracterização Analítica .....	14
Tarefa 2.2.1 - Caracterização Analítica da Qualidade da água da Ribeira de Água Forte .....	15
Tarefa 2.2.2- Caracterização Analítica da Qualidade da água da Ribeira do Roxo.....	21
Fase 3: Instalação, manutenção e controlo dos leitos flutuantes à escala piloto .....	25
Tarefa 3.1 - Instalação à escala piloto.....	25
Tarefa 3.1.1 - Construção da jangada flutuante.....	26
Tarefa 3.1.2 - Construção da estufa .....	27
Tarefa 3.2: Manutenção e controlo dos leitos flutuantes .....	28
Tarefa 3.2.1 - Manutenção e controlo dos leitos flutuantes (jangadas e efluentes) ....	28
Tarefa 3.2.2 - Manutenção e controlo das plantas nos leitos.....	32
Tarefa 3.2.2 - Manutenção e controlo das plantas nos leitos.....	43
Fase 4: Instalação, manutenção e controlo dos leitos flutuantes à escala real .....	50

Tarefa 4.1 – Instalação dos Leitos Flutuantes à escala Real .....	50
Tarefa 4.2 - Manutenção e controlo dos leitos flutuantes à escala real .....	53
Tarefa 4.2.1 - Principais resultados .....	55
Tarefa 4.2.1.1 - Desempenho do Tratamento dos Leitos Flutuantes  Monitorização físico-química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte .....	55
Tarefa 4.2.1.1.1 - Estimativa da área necessária dos leitos flutuantes na ribeira de Água Forte .....	67
Tarefa 4.2.1.2 - Desempenho do Tratamento dos Leitos Flutuantes  Monitorização físico-química da qualidade da água da ribeira do Roxo. ....	68
Tarefa 4.2.1.2.1 - Estimativa da área necessária dos leitos flutuantes na ribeira do Roxo .....	80
Tarefa 4.2.1.2.2 - Fito remediação de metais pela Vetiveriaia Zizanioides na ribeira de Água Forte e Ribeira do Roxo (Sistema Radicular) .....	81
Fase 5: Difusão dos Resultados .....	83
Tarefa 5.1 - Ambiente Web para projeto.....	83
Tarefa 5.2 - Colóquios e congressos .....	83
Tarefa 5.3 – Sensibilização dos stakeholders (grupos focais).....	85
Tarefa 5.4 - Publicações técnicas.....	86
6. Conclusões sobre o projeto desenvolvido .....	88
7. Perspetivas Futuras .....	89
7. Execução Financeira .....	90
8. Desvios: .....	90
Associação de Beneficiários do Roxo .....	90
Instituto Politécnico de Beja.....	92
António Manuel Rocha Parreira.....	94
8. Referências Bibliográficas .....	94

## Índice de Figuras

Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem: 1- Ribeira do Roxo; 2- Ribeira de Água Forte (adaptado Google Maps). .....	13
Figura 2 - Instalação piloto, plantas nas jangadas e instalação do leito de Vetiveria Zizanioides na instalação piloto.....	26
Figura 3 - Esquema do leito flutuante (jangada flutuante e planta). .....	27
Figura 4 - Construção da estufa.....	27
Figura 5 - Aclimação em vaso para Vetiveria Zizanioides (imagem da esquerda) e Phragmites Australis (imagem da direita) da Instalação Piloto.....	28
Figura 6 - Leitões flutuantes contendo Vetiveria Zizanioides (imagem da esquerda) e Phragmites Australis (imagem da direita) da Instalação Piloto.....	28
Figura 7 - Representação dos perfis de pH (escala de Sorensen) na coluna de água para o leito FL1- Leito contendo Phragmites Australis, FL2- Leito de Controlo e FL3- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides. ....	29
Figura 8 -. Representação dos perfis de condutividade elétrica (EC)( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) na coluna de água para o leito FL1- Leito contendo Phragmites Australis, FL2- Leito de Controlo e FL3- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides. ....	29
Figura 9 - Representação dos perfis dos Sólidos Dissolvidos Totais [SDT(ppm)] na coluna de água para o leito FL1- Leito contendo Phragmites Australis, FL2- Leito de Controlo e FL3- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides. ....	30
Figura 10 - Representação dos perfis de Oxigénio Dissolvido (%) na coluna de água na coluna de água para o leito FL1- Leito contendo Phragmites Australis, FL2- Leito de Controlo e FL3- Leito contendo Vetiveria Zizanioides. ....	30
Figura 11 - Representação da evolução do teor dos metais Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Níquel (Ni), Zinco (Zn) e Manganés (Mn) nos leitões monitorizados (FB1- Leito contendo Phragmites Australis, FB2- Leito de Controlo e FB3- Leito contendo Vetiveria Zizanioides). ....	31
Figura 12 - Representação da evolução do teor em sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) nos leitões monitorizados. ....	31
Figura 13 - Evolução do teor dos pigmentos fotossintéticos (clorofila a (Ca), clorofila b (Cb), clorofila total (Ca+ Cb) e carotenóides totais (Cx+c)) nas plantas Vetiveria Zizanioides e Phragmites Australis. ....	32
Figura 14 - Representação do conteúdo em metais nas plantas em estudo Vetiveria Zizanioides e Phragmites Australis, nos leitões piloto. ....	33

Figura 15 - (a) Sistema de suporte (vista de cima) e (b) Sistema de flutuação (vista de baixo) da jangada flutuante utilizada em 2019. ....	33
Figura 16 - Evolução do pH, do Potencial Redox (Eh), Afluente- Leito de Controlo (FB2); Efluente 1- Leito contendo Phragmites Australis (FB1) e Efluente 2- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides (FB3) (Média ± D.P:n=3). ....	34
Figura 17 - Oxigénio Dissolvido (OD) e da Condutividade Eléctrica (CE) no Afluente - Leito de Controlo (FB2); Efluente 1- Leito contendo Phragmites Australis (FB1) e Efluente 2- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides (FB3) (Média ± D.P:n=3). ....	35
Figura 18 - Evolução dos Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), dos Nitratos, ( $\text{N-NO}_3^-$ ), Azoto amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ), Azoto kjeldhal (Nkj), Fósforo total ( $\text{P}_{\text{total}}$ ) e ião Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), no Afluente - Leito de Controlo (FB2); Efluente 1- Leito contendo Phragmites Australis (FB1) e Efluente 2- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides (FB3). (Média ± D.P:n=3). ....	36
Figura 19 - Evolução do ião Potássio ( $\text{K}^+$ ), do ião Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), dos Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), do ião Boro ( $\text{B}^{3+}$ ) e do ião Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) no Afluente- Leito de Controlo (FB2); Efluente 1- Leito contendo Phragmites Australis (FB1) e Efluente 2- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides (FB3). (Média ± D.P:n=3). ....	39
Figura 20 - Evolução dos teores de metais Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Ferro (Fe) no Afluente, Efluente 1 e Efluente 2, e respetiva eficiência de remoção. (Média ± D.P:n=3). ....	41
Figura 21 - Conteúdo de pigmentos fotossintéticos: clorofila a ( $\text{Cl}_a$ ), clorofila b ( $\text{Cl}_b$ ), clorofila total ( $\text{Cl}_a+\text{Cl}_b$ ) e carotenoides ( $\text{C}_x+\text{C}_c$ ) totais nas folhas a) Phragmites australis e b) Vetiveriaia zizanioides (Média ± D.P:n=3). ....	44
Figura 22 - Evolução do Fator de Bioconcentração (FBC) e Fator de Translocação (FT) na Vetiveriaia zizanioides para os elementos: Zn, Cu, Fe e Mn. ....	46
Figura 23 - Evolução do Fator de Bioconcentração (FBC) e Fator de Translocação (FT) na Phragmites australis para os elementos: Zn, Cu, Fe e Mn. ....	47
Figura 24 - Taxa de crescimento médio da biomassa radicular e foliar da Vetiveriaia zizanioides e de Phragmites australis (Média ± D.P:n=3). ....	48
Figura 25 - Leito da Ribeira do Roxo, em abril 2020, antes da intervenção de limpeza. ....	51
Figura 26 - Povoamento das jangadas com a macrófita Vetiveriaia zizanioides. ....	52
Figura 27 - Colocação dos leitos flutuantes na ribeira do Roxo. ....	53
Figura 28 - Colocação dos leitos flutuantes na ribeira de Água Forte. ....	53
Figura 29 - Dados meteorológicos referentes ao período de monitorização do tratamento por LFs. ....	54

Figura 30 - Evolução dos teores dos parâmetros pH, Oxigénio dissolvido (OD) e Condutividade Elétrica (CE) medidos a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira de Água Forte ao longo do período de monitorização.....	62
Figura 31 - Cargas mássicas referente aos parâmetros Carência Química em Oxigénio (CQO), Azoto amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) e Cloretos (Cl <sup>-</sup> ), obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira de Água Forte ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida.....	63
Figura 32 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, Fósforo Total (Pt), Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) e metal Zinco (Zn <sup>2+</sup> ) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira de Água Forte ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida. ....	65
Figura 33 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, ( Cu <sup>2+</sup> ), Ferro (Fe <sup>2+</sup> ) e Manganês (Mn <sup>2+</sup> ) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira de Água Forte ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida. ....	66
Figura 34 - Evolução dos teores dos parâmetros pH, Condutividade Elétrica (CE), Oxigénio dissolvido (OD) ao longo do período de monitorização da ribeira do Roxo. ....	75
Figura 35 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Azoto Amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira do Roxo ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida.....	76
Figura 36 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, Cloretos (Cl <sup>-</sup> ), Sulfatos ( SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) e Carência Química em Oxigénio (CQO) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira do Roxo ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida.....	77
Figura 37 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, Azoto Kjeldhal (N <sub>Kj</sub> ), Fósforo total (Pt) e metal Ferro (Fe <sup>2+</sup> ) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira do Roxo ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida. ....	78
Figura 38 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, Zinco (Zn <sup>2+</sup> ), Manganês (Mn <sup>2+</sup> ) e Cobre, (Cu <sup>2+</sup> ) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira do Roxo ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida. ....	79

## Índice de Tabelas:

Tabela 1 - Coordenadas GPS dos locais de amostragem ao longo do período de monitorização.....	13
Tabela 2 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2017, (n=7).....	15
Tabela 3 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2018 (n=11).....	17
Tabela 4 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2019 (n=11± DP).....	18
Tabela 5 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2020/2021(n=20± DP).....	20
Tabela 6 - Caracterização físico- química da qualidade da água da Ribeira do Roxo no ano de 2017 .....	21
Tabela 7 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira do Roxo no ano de 2018 (n=11). .....	22
Tabela 8 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira do Roxo no ano de 2019 (n=11±DP).....	23
Tabela 9 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira do Roxo no ano de 2020/2021 (n=20±DP).....	24
Tabela 10 - Comparação das concentrações médias dos metais nos Afluentes (Fe, Mn, Cu e Zn) (mg/L) e as respetivas eficiências média de remoção, nos Efluentes 1 (Phragmites australis) e Efluentes 2 (Vetiveriaia zizanioides) (cor verde), com a literatura.....	42
Tabela 11 -Teor total de metais acumulados nas raízes e nas folhas (mg kg <sup>-1</sup> MS ) da Vetiveriaia zizanioides e da Phragmites australis.....	44
Tabela 12 - Produção total de biomassa foliar e radicular (Média ± D.P:n=3) .....	49
Tabela 13 - Caracterização dos cursos de água onde foram colocados os LFs.....	54
Tabela 14 - Resultados obtidos da performance dos leitos flutuantes ao longo do período de monitorização na ribeira de Água Forte: Concentrações de entrada (Inlet), Concentrações de saída (Outlet), Cargas mássicas e Percentagens de remoção.(Média ± DP, n=3). .....	56
Tabela 15 - Estimativa da área dos leitos flutuantes para haver cumprimento do Anexo XVI do DL 236/98 de 1 de Agosto. ....	67

Tabela 16 - Resultados obtidos da performance dos leitos flutuantes ao longo do período de monitorização na ribeira do Roxo: Concentrações de entrada (inlet), Concentrações de saída (outlet), Cargas mássicas e Percentagens de remoção. (Média $\pm$ DP, n=3).....	69
Tabela 17 - Estimativa da área dos leitos flutuantes para haver cumprimento do Anexo XVI do DL 236/98 de 1 de Agosto. ....	80
Tabela 18 - Evolução da densidade da macrófita nos leitos flutuantes colocados na Ribeira do Roxo (RR) e Ribeira de Água Forte (RAF) ( n <sup>o</sup> plantas/m <sup>2</sup> ) em 2020 (* repovoamento). ....	82
Tabela 19 - Evolução da densidade da macrófita nos leitos flutuantes colocados na Ribeira do Roxo (RR) e Ribeira de Água Forte (RAF) ( n <sup>o</sup> plantas/m <sup>2</sup> ) em 2021.....	82
Tabela 20 - Resumo da execução financeira do projeto. ....	90
Tabela 21 - Desvios ocorridos na execução financeira da Associação de Beneficiários do Roxo no projeto GreenEcoRoxo.....	90
Tabela 22 - Desvios ocorridos na execução financeira da parceria IPBeja do projeto GreenEcoRoxo. ....	92



## Introdução

Neste documento apresenta-se o relatório final de Execução Física do projeto PDR2020-101-030894; PDR2020-101-030895 e PDR2020-101-030896- **Utilização de leitos flutuantes para melhoria da qualidade da massa de água superficial. GreenEcoRoxo** e foi elaborado de acordo com o anexo V da Orientação Técnica Específica nº32/2016.

## **Relatório Final de Execução**

**Nº do Grupo Operacional:** 158

**Nº dos Projetos que integram o grupo operacional:** PDR2020-101-030894; PDR2020-101-030895; PDR2020-101-030896

**Designação do Plano de Ação:** Utilização de leitos flutuantes para melhoria da qualidade da massa de água superficial. GreenEcoRoxo.

Identificação de todas as entidades que integram o grupo operacional: Associação de Beneficiários do Roxo (ABRoxo), Instituto Politécnico de Beja (IPBeja) e António Manuel Rocha Parreira.

**Data de início do Plano de Ação:** 2017-01-09

**Data de conclusão do Plano de Ação:** 2021-12-16

### **Execução Física**

**Fase 1: Sistematização da informação existente relativa à qualidade da água e caracterização do sobrenadante existente na massa de água.**

**Tarefa 1.1 - Sistematização da informação existente relativa à qualidade da água (2017-4 meses).**

Esta tarefa não foi realizada na data prevista, como consta no relatório de progresso de 2017. Tal foi devido à decisão de aprovação final (retificação dos fundamentos da elegibilidade da despesa) da candidatura n.º - PDR2020-101-030895 (Parceiro IPBeja), ter sido só conhecida a 19/07/2017 e somente se ter submetido o termo de aceitação a 02/11/2017. A estabilização dos pressupostos do projeto e sua aprovação tardia pela presidência do IPBeja levaram a que todos os envolvidos na tarefa a tenham protelado.

Porém, foi realizada em 2018, sem consequências para a prossecução do plano de trabalho.

A sistematização da informação foi feita recorrendo à pesquisa de dados referentes à qualidade da água da ribeira do Roxo existente. Foi efetuada, consultando e analisando documentos científicos e técnicos. Para a sua concretização recorreu-se a equipamento informático. Os resultados estão plasmados na base de dados:

[https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.abroxo.pt%2Fimagens%2FBase de dados- RR.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.abroxo.pt%2Fimagens%2FBase%20de%20dados-RR.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK)

### **Tarefa 1.2 - Recolha de amostras (2017-2021 – 4 meses/ano).**

Como calendarizado na memória descritiva, estava previsto a recolha de sobrenadante trimestralmente ao longo de cada ano do projeto. Porém, como a recolha de amostras de água estava prevista para ser feita mensalmente, a quando da realização desta tarefa (tarefa 2.1) pesquisou-se sempre a presença desta ocorrência. Assim:

Em 2017 as condições climáticas foram atípicas ao longo de todo o ano, o que provocou uma situação de seca extrema no final do ano hidrológico, não sendo possível a recolha de sobrenadante pois verificou-se uma diminuição drástica do caudal do leito a monitorizar.

No ano de 2018, não existiu o desenvolvimento de sobrenadante. Deste modo, não foi feita recolha e sua caracterização. O mesmo aconteceu em 2019.

Somente em 2020, na amostragem de Dezembro, se detetou a presença de sobrenadante, tendo-se realizado a recolha e respetiva caracterização.

Para ser feita a recolha do sobrenadante (Localização GPS: 37.944685-8.153876) foi necessário a utilização de veículo 4\*4 para aceder ao local da colheita, a utilização de frasco de mergulho para proceder à recolha e equipamento de acondicionamento das amostras.

Esta tarefa foi realizada pelo Instituto Politécnico de Beja com a colaboração da Associação de Beneficiários do Roxo.

### **Tarefa 1.3 - Caracterização analítica (2017-2021 –4 meses/ano).**

Como referido anteriormente perante os anos de 2017 a 2019 não foi possível recolher sobrenadante e fazer sua respetiva caracterização. Em dezembro de 2020 o curso de água apresentou pela primeira vez, no período temporal do projeto, o descrito em memória descritiva, como sobrenadante, ou seja, uma película mucilaginosa que cobriu a sua superfície. Assim, foram recolhidas amostras e feita a sua caracterização.

A amostra analisada evidenciou para além das características físico-químicas da água da ribeira do Roxo, no respetivo mês, um teor do parâmetro Óleos e Gorduras da ordem 1,0 mg/L. Este é um valor não elevado, mas que não é suposto existir numa massa de água superficial. O ocorrido parece estar, já muito diluído, resultante de uma descarga de água residual.

Pode-se, pois concluir que no período temporal de execução do projeto, o não aparecimento deste conteúdo anómalo nas massas de água em análise, o que era recorrente anteriormente, indicia um maior controle de qualidade das aflúncias à ribeira do Roxo e /ou o impacto da ligação ao Alqueva, em 2016, no perímetro de rega do Roxo induziu alguma diluição na massa de água em estudo.

Esta tarefa foi realizada pelo Instituto Politécnico de Beja.

## **Fase 2: Determinação da qualidade da água e sedimentos (2017-2021).**

### **Tarefa 2.1 - Recolha de amostras**

Para fazer a recolha das amostras foi necessário a utilização de veículos 4\*4 para aceder aos locais da colheita, a utilização da draga para a recolha de sedimentos, a utilização de frasco de mergulho para proceder à recolha da água, equipamento de acondicionamento das amostras e utilização de sonda multiparamétrica com vista à recolha de dados de caracterização in situ (nomeadamente temperatura, oxigénio dissolvido, pH, etc). A localização geográfica da amostragem encontra-se na Tabela 1 e Figura 1. A sua escolha foi feita de acordo com as indicações do parceiro António Manuel Rocha Parreira, tendo em conta a proximidade da aflúncia da ribeira de Água Forte à ribeira do Roxo e à facilidade de acesso a ambos os pontos.

Tabela 1 - Coordenadas GPS dos locais de amostragem ao longo do período de monitorização.

	Ribeira do Roxo	Ribeira de Água Forte
Localização (GPS Coordenadas)	37.944685-8.153876	37.9393942 -8.14567566



Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem: 1- Ribeira do Roxo; 2- Ribeira de Água Forte (adaptado Google Maps).

No início do projeto durante o ano de 2017, a amostragem foi feita com uma periodicidade inferior ao calendarizado devida à situação climática atípica ocorrida no Baixo Alentejo durante o verão de 2017. A seca extrema levou a que a recolha das amostras de água se tornasse impossível visto que o curso de água desapareceu quase completamente.

A partir do ano de 2018 a colheita de amostras realizou-se com a periodicidade mensal na ribeira do Roxo e ribeira de Água Forte.

Durante os anos seguintes até à data do fim do projeto continuou-se a executar esta tarefa consolidando -se, assim, a representatividade dos resultados obtidos.

Esta tarefa foi realizada pelo Instituto Politécnico de Beja com a colaboração da Associação de Beneficiários do Roxo.

## Tarefa 2.2 - Caracterização Analítica

A caracterização analítica foi realizada de acordo com os métodos padronizados para a qualidade de águas e sedimentos (APHA, 2012), para os seguintes parâmetros: pH (potenciometria); Condutividade eléctrica (Conduímetria); Turvação (Nefelometria) Sólidos dissolvidos totais (Gravimetria); Oxigénio Dissolvido; CBO5 (Método manométrico); CQO (Método do dicromato de potássio); Azoto total (NT; Método do Kjeldahl); Azoto amoniacal (NH<sub>4</sub>-N; Espectrometria de absorção no visível); Nitritos (NO<sub>2</sub>-N; Espectrometria de absorção no visível); Nitratos (Espectrometria de absorção no visível); Fósforo total (PT; Espectrometria de absorção no visível); Sulfatos; (Gravimetria); Cloretos (Método de Mohr); Alumínio (Espectrometria de absorção atómica); Arsénio (Espectrometria de absorção atómica); Cádmio (Espectrometria de absorção atómica); Chumbo (Espectrometria de absorção atómica); Cobalto (Espectrometria de absorção atómica); Cobre (Espectrometria de absorção atómica); Crómio (Espectrometria de absorção atómica), Ferro (Espectrometria de absorção atómica), N-fosfonometil-glicina (glifosato) (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência, (HPLC) e dimetil S-metilcarbamoilmetil fosforodithioato (dimetoato) (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência, (HPLC).

A análise paramétrica foi realizada de acordo com o Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto, que estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos, para possível utilização para rega (Anexo XVI).

Durante o ano de 2020 a caracterização analítica da Qualidade da Água da Ribeira do Roxo e Ribeira de Água Forte, não foi realizada na totalidade, devido a constrangimentos ocorridos. Assim, em fevereiro de 2020 ocorreu a rescisão do contrato do bolseiro à qual se seguiu nova contratação em abril de 2020, que permaneceu em funções somente até agosto 2020. Tendo a Escola Superior Agrária de Beja (Unidade Orgânica do IPBeja onde decorreram os ensaios) estado encerrado de 16 de março a 05 de maio, sendo agosto o mês de férias e estando o elemento contratado a familiarizar-se com as suas funções teve como consequência o reduzido volume de trabalho executado.

Tendo, o elemento contratado permanecido em funções somente até agosto de 2020, seguiu-se, o período de abertura de novo concurso público para admissão de novo bolseiro, que só terminou em janeiro de 2021. Deste modo, durante a quase totalidade do

ano de 2020, o projeto contou com menos um elemento que lhe estava afeto a 100% o que se consubstanciou na não realização de tarefas que lhe estavam alocadas, com perda parcial de resultados, Porém, como a colheitas foram feitas, as amostras que o permitiam, foram preservadas e após a aprovação do pedido de alteração de verbas entre rubricas em sede de PDR2020, sendo em 2021 analisadas.

### Tarefa 2.2.1 - Caracterização Analítica da Qualidade da água da Ribeira de Água Forte

Os resultados relativos à caracterização físico-química da qualidade da água da Ribeira da Água Forte em 2017, apresentam-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2017, (n=7).

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	3,0	6,5-8,4	4,5-9,0	6-9
Tw	°C	18	-	-	-
Eh	mV	544	-	-	-
B	mg/L	0,3	0,30	3,75	-
CE	µS/cm, 20°C	2820	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	26	-	-	-
OD	% saturação de O <sub>2</sub>	130	-	-	60-120
CQO	mg/L O <sub>2</sub>	81	-	-	-
CBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	11	-	-	-
Pt	mg P/L	0,009	-	-	≤0,13
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	0,0	-	-	-
NKj	mg/L	13	-	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	15	-	-	≤1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	2	50	-	≤25
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	505	575	-	-
F <sup>-</sup>	mg/L	1.0	-	-	-

Cl <sup>-</sup>	mg/L	811	70	-	-
SST	mg/L	9	-	-	-
Na <sup>+</sup>	mg/L	204	-	-	-
K <sup>+</sup>	mg/L	17	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	139	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	56	-	-	-
Zn	mg/L	7,4	2,0	10	-

Tabela 2 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2017 (n=7) (cont.).

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	
Fe	mg/L	3,4	5,0	-	-
Cu	mg/L	1,0	0,2	5,0	-
Ni	mg/L	0,1	0,5	2,0	-
Mn	Mg/L	4,0	0,2	10	-
Cd	mg/L	-	0,01	0,05	-
Pb	mg/L	0,02	5,0	20	-
As	mg/L	-	0,1	10	-
SAR	-	6	8	-	-

Os resultados da qualidade da água da Ribeira de Água Forte, relativamente os parâmetros pH, CE, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Cu, Mn e Zn, não cumprem os valores máximos recomendados (VMR) do ANEXO XVI (Decreto-Lei 236/98, de 1 de agosto). Assim, esta não se encontra apta para rega. Pode, também, ser considerada como tendo um estado ecológico mau (SNIRH, 2017), quando avaliada apenas para os parâmetros físico-químicos.

Este curso de água parece apresentar características típicas de uma drenagem mineira ácida (DMA), uma vez que contém concentrações elevadas de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (505 mg/L) (anião indicador relevante dado o seu carácter conservativo em meio aquático); baixo pH (pH=3) e elevada concentração de Zn (7,4mg/L) e Mn (4,0 mg/L).



Na Tabela 3 plasam-se os resultados relativos a 2018.

Tabela 3 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2018 (n=11).

Parâmetros	Unidades	Qualidade da Ribeira da Água Forte	Qualidade das águas destinadas à rega		Estado Ecológico Instituto da Água, 2009
			Decreto-Lei n.º 236/98 (Anexo XVI)		
			VMR	VMA	
pH	Escala de Sorensen	3,6	6,5-8,4	4,5-9,0	6-9
Eh	mV	500,6	-	-	-
B <sup>3+</sup>	mg/L	0,2	0,3	3,75	-
CE	µS/cm, 20°C	2100	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0.00	-	-	-
OD	%	114	-	-	60-120
CQO	mg O <sub>2</sub> /L	3,0	-	-	-
CBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	3,0	-	-	-
P <sub>t</sub>	mg/L	0,00	-	-	≤0,13
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	0,00	-	-	-
Nkj	mg/L	10	-	-	-
NH <sub>4</sub>	mg/L	12	-	-	≤1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	6,04	50	-	≤25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	733	575	-	-
Cl <sup>-</sup>	mg/L	330	70	-	-
SST	mg/L	10	60	-	-
SDT	mg/L	1654	-	-	-
Na <sup>+</sup>	mg/L	190	-	-	-
K <sup>+</sup>	mg/L	19	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	186	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	131	-	-	-
CaCO <sub>3</sub>	mg/L	316,22	-	-	-
Zn	mg/L	5,2	2,0	10,0	-
Fe	mg/L	1,0	5,0	-	-
Cu	mg/L	1,0	0,2	5,0	-

Tabela 3 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2018 (n=11) (cont.).

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	
Ni	mg/L	0,1	0,5	2,0	-
Cd	mg/L	0,02	0,01	0,05	-
Pb	mg/L	0,07	5,0	20	-
As	mg/L	-	0,1	20	-
Mn	mg/L	4,7	0,2	10	-
SAR	-	4	8	-	-

A caracterização da qualidade da água da Ribeira de Água Forte efetuada em 2018 mostra uma degradação da sua qualidade em relação a 2017. Os parâmetros pH, CE,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , Cu e Zn, mantém o incumprimento relativamente aos valores máximos recomendados (VMR) do ANEXO XVI (Decreto-Lei 236/98, de 1 de agosto), mas o parâmetro sulfatos, ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), apresenta valores muito mais elevados, claramente superiores aos permitidos pela legislação.

Em 2019, Tabela 4, a qualidade deste curso de água mostra que mantem os mesmos problemas detetando-se apenas pequenas oscilações nos valores paramétricos.

Tabela 4 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2019 (n=11± DP)

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	3,2 ± 0,1	6,5-	4,5-9	6-9
Eh	mV	522 ± 19	-	-	-

B <sup>3+</sup>	mg/L	0,3 ± 0,1	0,3	3,75	
CE	μS/cm 20°C	1 813 ± 117	-	-	-
OD	mg/L	7 ± 1	-	-	≥5

Tabela 4 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2019 (n=11± DP).

Parâmetros	Unidades	Qualidade da Ribeira de Água Forte	Qualidade das águas destinadas à rega Decreto-Lei n.º 236/98		Estado Ecológico Instituto da Água, 2009
			VMA	VMR	
OD	% saturação de	81 ± 1	-	-	60-120
CQO	mg/L O <sub>2</sub>	30 ± 3	-	-	-
CBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	4 ± 1	-	-	≤6
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	0,007 ± 0,001	-	-	-
P <sub>total</sub>	mg/L	0,01 ± 0,01	-	-	≤0,13
Nkj	mg/L	11 ± 0,0	-	-	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	-	-	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	9 ± 2	-	-	≤1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	7 ± 1	50	-	≤25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	826 ± 31	575	-	-
F <sup>-</sup>	mg/L	-	1	15	-
Cl <sup>-</sup>	mg/L	208 ± 21	70	-	-
SST	mg/L	17 ± 1	60	-	-
SDT	mg/L	1 238 ± 232	-	-	-
Na <sup>+</sup>	mg/L	102 ± 16	-	-	-
K <sup>+</sup>	mg/L	11 ± 2	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	109 ± 19	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	76 ± 8	-	-	-
Zn	mg/L	13 ± 2	2	10	-
Fe	mg/L	8 ± 0,0	5	-	-
Cu	mg/L	3,0 ± 0,0	0,20	5	-
Mn	mg/L	7,0 ± 1,0	0,20	10	-
SAR	-	3 ± 2	8	-	-

Esta constância também se observa em 2020/21, (Tabela 5) ficando, contudo, patente uma tendência para a diminuição dos níveis de oxigenação da massa de água ao longo do período de monitorização.

Pode-se concluir que a água da ribeira de Água Forte apresenta problemas severos de qualidade físico-química, e que a sua afluência à ribeira do Roxo deverá causar impacte significativo na sua qualidade.

Tabela 5 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte no ano de 2020/2021(n=20± DP).

Parâmetros	Unidades	Qualidade da Ribeira de Água Forte	Qualidade das águas destinadas à rega		Estado Ecológico Instituto da Água, 2009
			Decreto-Lei n.º 236/98 (Anexo XVI)		
			VMR	VMA	
pH	Escala de	3,7±0,7	6,5-8,4	4,5-9	6-9
Eh	mV	366±131	-	-	-
B <sup>3+</sup>	mg/L	0,3±0,2	0,3	3,75	
CE	µS/cm 20°C	2004±350	-	-	-
OD	mg/L	6±2	-	-	≥5
OD	% saturação de		-	-	60-120
CQO	mg/L O <sub>2</sub>	65 ±54	-	-	-
CBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	5±54	-	-	≤6
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	1,1 ±1,0	-	-	-
P <sub>total</sub>	mg/L	0,19±0,09	-	-	≤0,13
Nkj	mg/L	17±11	-	-	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	-	-	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	9±7	-	-	≤1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	5,7±4	50	-	≤25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	735±169	575	-	-
F <sup>-</sup>	mg/L	-	1	15	-
Cl <sup>-</sup>	mg/L	272±108	70	-	-
SST	mg/L	32±15	60	-	-
SDT	mg/L	1000±142	-	-	-
Na <sup>+</sup>	mg/L	107±30	-	-	-
K <sup>+</sup>	mg/L	15±9	-	-	-

Ca <sup>2+</sup>	mg/L	102±54	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	77±70	-	-	-
Zn	mg/L	8±6	2	10	-
Fe	mg/L	6±5	5	-	-
Cu	mg/L	2±1	0,20	5	-
Mn	mg/L	6,4±2,3	0,20	10	-
SAR	-	2	8	-	-

Foram também monitorizados os herbicidas (compostos emergentes), N-fosfonometil-glicina (glifosato) e dimetil S-metilcarbamoilmetil fosforodithioato (dimetoato) que apresentaram valores abaixo do limite de deteção ao longo de todo o período de monitorização.

### Tarefa 2.2.2 - Caracterização Analítica da Qualidade da água da Ribeira do Roxo

A monitorização da qualidade da água da ribeira do Roxo fez-se de forma equivalente à da ribeira de Água Forte. Assim, apresenta-se nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 a sua caracterização físico-química para os anos de 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021.

Tabela 6 - Caracterização físico- química da qualidade da água da Ribeira do Roxo no ano de 2017 (n=7± DP).

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	7,2 ± 0,4	6,5-8,4	4,5-9,0	6-9
B <sup>3+</sup>	mg/L	0,1 ± 0,04	0,3	3,75	-
CE	µS/cm, 20°C	1313± 0,2	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	164± 68	-	-	-
OD	mg/L O <sub>2</sub>	7,2± 0,8	-	-	6,0-12
CQO	mg O <sub>2</sub> /L	14± 3	-	-	-
CBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	4,0± 0,4	-	-	-
P <sub>t</sub>	mg/L	0,2± 0,01	-	-	≤0,13
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	0,04± 0,03	-	-	-
Nkj	mg/L	7± 0,4	-	-	-
NH <sub>4</sub>	mg/L	2± 0,4	-	-	≤1

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	6 ± 2	50	-	≤25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	225 ± 124	575	-	-
F <sup>-</sup>	mg/L	0,5 ± 0,1	1,0	15	-
Cl <sup>-</sup>	mg/L	350 ± 110	70	-	-
SST	mg/L	90 ± 20	60	-	-
SDT	mg/L	990 ± 100	-	-	-
Na <sup>+</sup>	mg/L	170 ± 82	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	105 ± 21	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	52 ± 7	-	-	-
Zn	mg/L	3,0 ± 0,0	2,0	10,0	-
Fe	mg/L	7,0 ± 0,0	5,0	-	-
Cu	mg/L	0,4 ± 0,0	0,2	5,0	-
Mn	mg/L	3,0 ± 0,8	0,2	10	-
SAR	-	3 ± 2	8	-	-

Tabela 7 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira do Roxo no ano de 2018 (n=11).

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	6,3	6,5-8,4	4,5-9,0	6-9
B <sup>3+</sup>	mg/L	0,1	0,3	3,75	-
CE	µS/cm, 20°C	1285	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	109	-	-	-
OD	%	73	-	-	60-120
CQO	mg O <sub>2</sub> /L	10	-	-	-
CBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	3	-	-	-
P <sub>t</sub>	mg/L	0,3	-	-	≤0,13
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	0,01	-	-	-
Nkj	mg/L	6,8	-	-	-
NH <sub>4</sub>	mg/L	2	-	-	≤1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	7	50	-	≤25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	293	575	-	-
F <sup>-</sup>	mg/L	1,0	1,0	15	-
Cl <sup>-</sup>	mg/L	280	70	-	-

SST	mg/L	80	60	-	-
SDT	mg/L	950	-	-	-
Na <sup>+</sup>	mg/L	139	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	82	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	75	-	-	-
Zn	mg/L	4,0	2,0	10,0	-
Fe	mg/L	6,0	5,0	-	-
Cu	mg/L	0,6	0,2	5,0	-
Mn	mg/L	2,5	0,2	10	-
SAR	-	2	8		-

Tabela 8 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira do Roxo no ano de 2019 (n=11±DP).

Parâmetros	Unidades	Qualidade da Ribeira do Roxo	Qualidade das águas destinadas à rega		Estado Ecológico  Instituto da Água, 2009
			Decreto-Lei n.º 236/98  (Anexo XVI)		
			VMR	VMA	
pH	Escala de Sorensen	6.6± 1,6	6,5-8,4	4,5-9,0	6-9
Eh	mV	522 ± 19	-	-	-
B <sup>3+</sup>	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 <sub>2</sub>	23± 3	-	-	-
CBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	4 ± 0,0	-	-	≤6
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	0,007 ± 0,001	-	-	-
P <sub>total</sub>	mg/L	0,2± 0,2	-	-	≤0,13
Nkj	mg/L	4 ± 1	-	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	2 ± 1	-	-	≤1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	7 ± 1	50	-	≤25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	391 ± 31	575	-	-
F <sup>-</sup>	mg/L	1,0 ± 0,0	1,0	15	-
Cl <sup>-</sup>	mg/L	500 ± 21	70	-	-
SST	mg/L	90 ± 20	60	-	-
SDT	mg/L	900± 232	-	-	-
Na <sup>+</sup>	mg/L	101± 17	-	-	-

Ca <sup>2+</sup>	mg/L	144±146	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	62± 21	-	-	-
Zn <sup>2+</sup>	mg/L	3,7 ± 2,1	2,0	10,0	-
Fe <sup>2+</sup>	mg/L	0,5 ± 0,3	5,0	-	-
Cu <sup>2+</sup>	mg/L	0,6± 0,3	0,20	5,0	-
Mn <sup>2+</sup>	mg/L	2,2 ± 0,7	0,20	10	-
SAR	-	2 ± 0	8	-	-

Tabela 9 - Caracterização físico - química da qualidade da água da Ribeira do Roxo no ano de 2020/2021 (n=20±DP).

Parâmetros	Unidades	Qualidade da Ribeira do Roxo	Qualidade das águas destinadas à rega		Estado Ecológico Instituto da Água, 2009
			Decreto-Lei n.º 236/98 (Anexo XVI)		
			VMR	VMA	
pH	Escala de Sorensen	6,3± 0,6	6,5-8,4	4,5-9,0	6-9
Eh	mV	207 ± 142	-	-	-
B <sup>3+</sup>	mg/L	0,2 ± 0,1	0,3	3,75	-
CE	µS/cm 20°C	1 525 ± 189	-	-	-
OD	mg/L	6,9 ± 1	-	-	≥5
CQO	mg/L O <sub>2</sub>	69± 51	-	-	-
CBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	6 ± 1	-	-	≤6
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	0,9± 0,8	-	-	-
P <sub>total</sub>	mg/L	0,2± 0,2	-	-	≤0,13
N <sub>ki</sub>	mg/L	8 ± 6	-	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	4 ± 1	-	-	≤1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	5 ± 1	50	-	≤25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	452 ± 233	575	-	-
Cl <sup>-</sup>	mg/L	434 ± 327	70	-	-
SST	mg/L	105± 132	60	-	-
SDT	mg/L	805± 83	-	-	-
Na <sup>+</sup>	mg/L	108± 25	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	199± 125	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	63± 32	-	-	-
Zn <sup>2+</sup>	mg/L	3,0 ± 2,5	2,0	10,0	-
Fe <sup>2+</sup>	mg/L	2,7± 1,1	5,0	-	-
Cu <sup>2+</sup>	mg/L	0,6± 1,1	0,20	5,0	-
Mn <sup>2+</sup>	mg/L	2,1 ± 1,0	0,20	10	-
SAR	-	2 ± 1	8	-	-



Pode-se, então, concluir, de uma forma geral, que esta massa de água apresenta os mesmos problemas que ficaram evidenciados aquando da sistematização da informação prévia da sua qualidade. Observaram-se algumas oscilações que parecem não ser significativas e poderão ser devidas à irregularidade climatérica verificada nos últimos anos no Baixo Alentejo, potenciando escorrências não habituais. Manteve-se o teor baixo de nutrientes azotados e fosfatados, se bem que este último mostre tendência para um ligeiro aumento, o que deverá ser acompanhado, pois, ainda que os valores sejam baixos, é um responsável pela eutrofização das massas de água. O nível de oxigenação mantém-se baixos o que dificulta a manutenção da flora e fauna e do ecossistema fluvial.

A presença, em teores elevados, dos metais Zinco (Zn), Manganés (Mn), Cobre (Cu) e Ferro (Fe) ainda se mantém. Para além disto, também se constatou a tendência para o abaixamento de pH. De fato, este curso de água apresentava características tendencialmente alcalinas que foram esbatendo ao longo do período de monitorização, roçando, nos últimos anos monitorizados o incumprimento do Anexo XVI do Decreto Lei 236/98 de 1 de Agosto. Tal, poderá ser devido à mistura de água aquando da ligação à barragem do Alqueva, em 2016, e que influencia o perímetro de rega do Roxo.

Foram também monitorizados os herbicidas (compostos emergentes), N-fosfometilglicina (glifosato) e dimetil S-metilcarbamoilmetil fosforodithioato (dimetoato) que apresentaram valores abaixo do limite de deteção ao longo de todo o período de monitorização

### **Fase 3: Instalação, manutenção e controlo dos leitos flutuantes à escala piloto**

#### **Tarefa 3.1 - Instalação à escala piloto**

Construiu-se uma instalação piloto constituída por leitos flutuantes (jangadas flutuantes com plantas enraizadas) (Figura 2), para se avaliar e monitorizar a possível eco-reabilitação da ribeira de Água Forte (curso de água contaminado com metais pesados e com características ácidas). A instalação piloto é composta por 3 depósitos de capacidade nominal de 1000 L cada um: (a) controlo (contendo água da ribeira de Água Forte); b) Vetiveria zizanioides (leito flutuante contendo Vetiveria zizanioides e água da ribeira de Água Forte); c) Phragmites australis (leito flutuante contendo Phragmites australis e água

da ribeira de Água Forte). As jangadas flutuantes foram construídas com garrafas de água PET, onde posteriormente foram colocadas 100 plantas de cada espécie.

A construção da instalação piloto permitiu, na sequência da monitorização do seu desempenho, o que entronca na tarefa seguinte (Tarefa 3.2) na obtenção de dados operacionais o que permitiram otimizar a sua performance e selecionar a macrófita que melhor se adequava a ser utilizada a quando dos ensaios à escala real (capacidade de fitoremediação, produção de biomassa e taxa de crescimento).

Esta tarefa, que decorreu de 2017 foi executada por recursos próprios do IPBEJA.

O Transporte da água da ribeira de Água Forte, para alimentar a instalação piloto alocada no IPBEJA, foi efetuada com a periodicidade mensal e ficou a cargo da ABROXO.

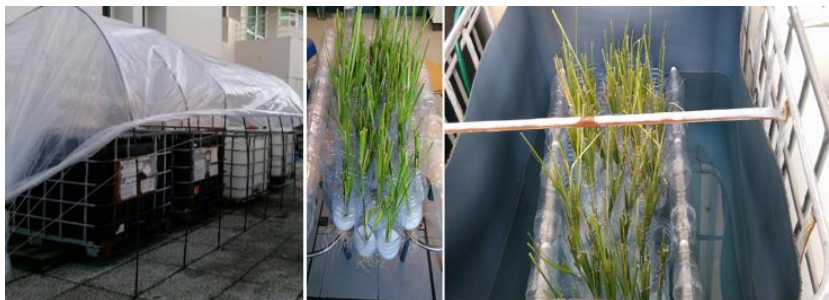


Figura 2 - Instalação piloto, plantas nas jangadas e instalação do leito de Vetiveria Zizanioides na instalação piloto.

### **Tarefa 3.1.1 - Construção da jangada flutuante**

Cada jangada foi constituída por filas de 5 garrafas PET na largura da jangada e por 10 filas de garrafas PET de comprimento, perfazendo uma área de 0.62m<sup>2</sup>.

Na construção das três jangadas flutuantes, selecionaram-se 180 garrafas PET idênticas. Congelaram-se 18 garrafas durante 30 minutos, de forma a comprimir o ar e torná-las mais rígidas.

Cortaram-se as extremidades de outras 12 garrafas, de forma a fazer a ligação com as garrafas congeladas. A ligação das garrafas congeladas foi efetuada com recurso a cola-

quente (silicone) para fixação com as garrafas PET cortadas. Esta estrutura tem a função de suporte da jangada flutuante construída, servindo como boia (Figura 3).

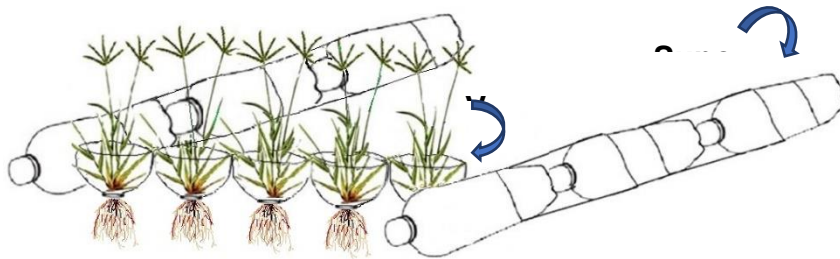


Figura 3 - Esquema do leito flutuante (jangada flutuante e planta).

O preenchimento da jangada flutuante foi efetuado com as restantes garrafas PET cortadas numa das extremidades (vasos). Depois dos vasos colados em grupos de 3 procedeu-se ao trabalho de amarração que foi feito com fio de nylon forte. Finalmente, colocaram-se as esponjas e as plantas constituindo, assim, o leito flutuante. As esponjas consistem num material inerte e permite a fixação das plantas nos vasos.

### Tarefa 3.1.2 - Construção da estufa

A construção de uma estufa na instalação piloto (Figura 4) foi realizada para permitir a proteção da água pluvial, obtendo-se um melhor controlo do volume de água presente na instalação e evitando a diluição.



Figura 4 - Construção da estufa.

### Tarefa 3.2: Manutenção e controlo dos leitos flutuantes

#### Tarefa 3.2.1 - Manutenção e controlo dos leitos flutuantes (jangadas e efluentes)

Foi realizada a manutenção dos leitos a nível a água e das plantas e em 2018 houve necessidade de replantar os leitos pois as plantas entraram em senescência visto terem sido atacadas por uma praga de “piolho branco”. Assim, tiveram de ser adquiridas mais exemplares que foram sujeitos ao processo de aclimatização em vaso que demorou, sensivelmente, 3 semanas (Figura 5).



Figura 5 - Aclimação em vaso para *Vetiveria Zizanioides* (imagem da esquerda) e *Phragmites Australis* (imagem da direita) da Instalação Piloto.

Construíram-se novas jangadas com novo modelo, jangada flutuante de madeira e arame (Figura 6) pois as anteriores demonstraram pouca estabilidade e iniciou-se novamente, então, o controlo e manutenção dos três leitos.

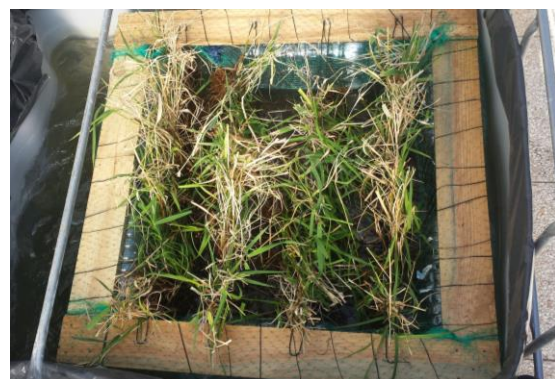


Figura 6 - Leitos flutuantes contendo *Vetiveria Zizanioides* (imagem da esquerda) e *Phragmites Australis* (imagem da direita) da Instalação Piloto.

Esta tarefa foi executada procedendo à monitorização de parâmetros físico-químicos: (i) diariamente com recurso ao medidor multiparamétrico (Oxigénio Dissolvido, pH, T, condutividade, Potencial redox); (ii) mensalmente e em laboratório, (azoto amoniacal, nitratos, cloretos, sulfatos, fósforo, azoto total e boro). Foram também monitorizados, mensalmente, os metais que se revelarem mais problemáticos entre outros, cobre, ferro, etc.). Estas operações foram realizadas com recurso a materiais próprios do IPBEJA e ao equipamento e consumíveis solicitados nesta candidatura. A monitorização analítica dos metais estava, em sede de candidatura a cargo de empresa externa o que não ocorreu, pois o IPBeja, entretanto disponibilizou meios para ser efetuada internamente.

Apresentam-se, nas figuras 7, 8, 9 e 10 extrato dos resultados da monitorização efetuada:

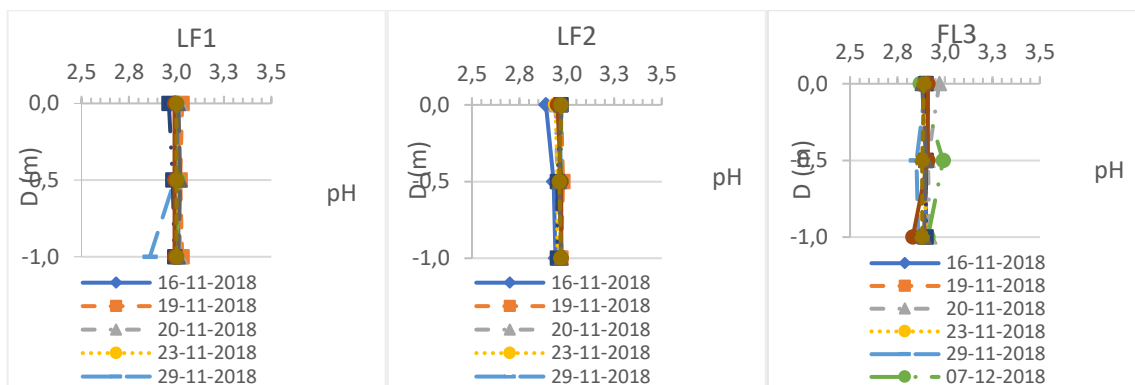


Figura 7 - Representação dos perfis de pH (escala de Sorensen) na coluna de água para o leito FL1- Leito contendo Phragmites Australis, FL2- Leito de Controlo e FL3- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides.

A variação do pH nos três leitos, não é significativa. O valor médio, pH=3,3, apresenta características ácidas (pH<7).

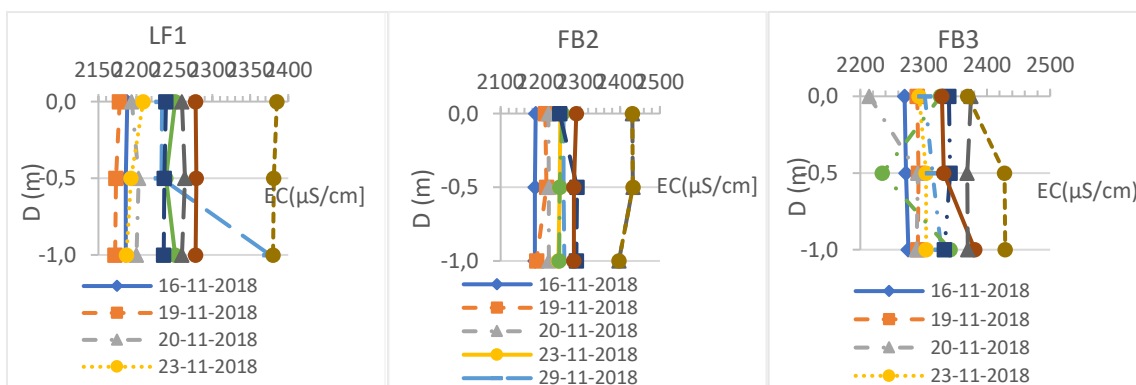


Figura 8 - Representação dos perfis de condutividade elétrica (EC)(μS/cm] na coluna de água para o leito FL1- Leito contendo Phragmites Australis, FL2- Leito de Controlo e FL3- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides.

A condutividade elétrica é muito elevada e idêntica em todos os leitos, não havendo, também, alterações ao longo do tempo e em profundidade.

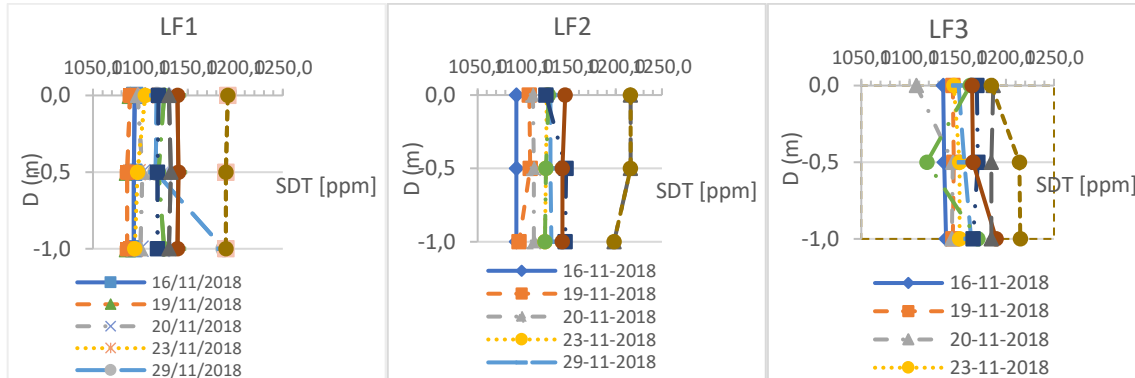


Figura 9 - Representação dos perfis dos Sólidos Dissolvidos Totais [SDT(ppm)] na coluna de água para o leito FL1- Leito contendo Phragmites Australis, FL2- Leito de Controlo e FL3- Leito contendo Vetiveria Zizanioides.

Quanto ao parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais (Figura 8) apresenta valores muito elevados e a sua evolução ao longo do tempo e em profundidade é idêntica em todos os leitos.

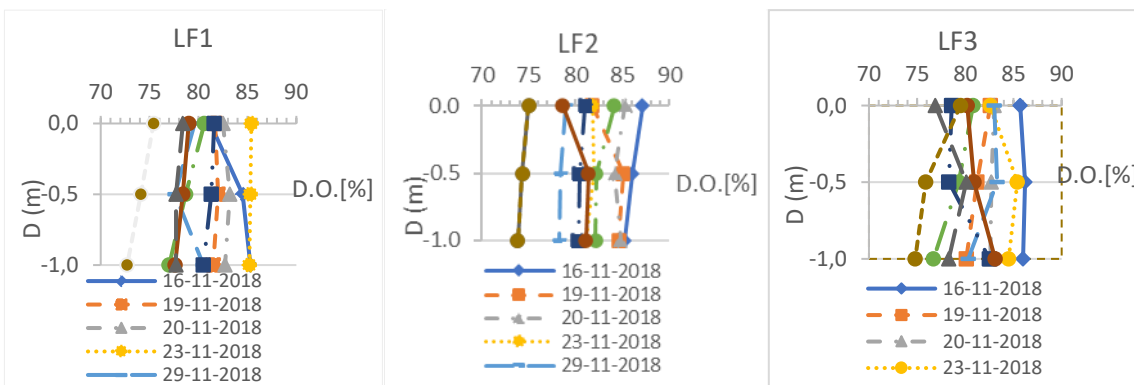


Figura 10 - Representação dos perfis de Oxigénio Dissolvido (%) na coluna de água para o leito FL1- Leito contendo Phragmites Australis, FL2- Leito de Controlo e FL3- Leito contendo Vetiveria Zizanioides.

O nível de oxigenação das massas de água é elevado e idêntico em todos os leitos.

Sendo o conteúdo em metais um dos principais problemas da água da Ribeira de Água Forte e tendo as macrófitas capacidades de fito remediação apresentam-se, de seguida, na Figura 11, os resultados da monitorização dos leitos e a indicação do Valor Máximo Recomendável (VMR) constante do ANEXO XVI (Decreto-Lei 236/98, de 1 de agosto).

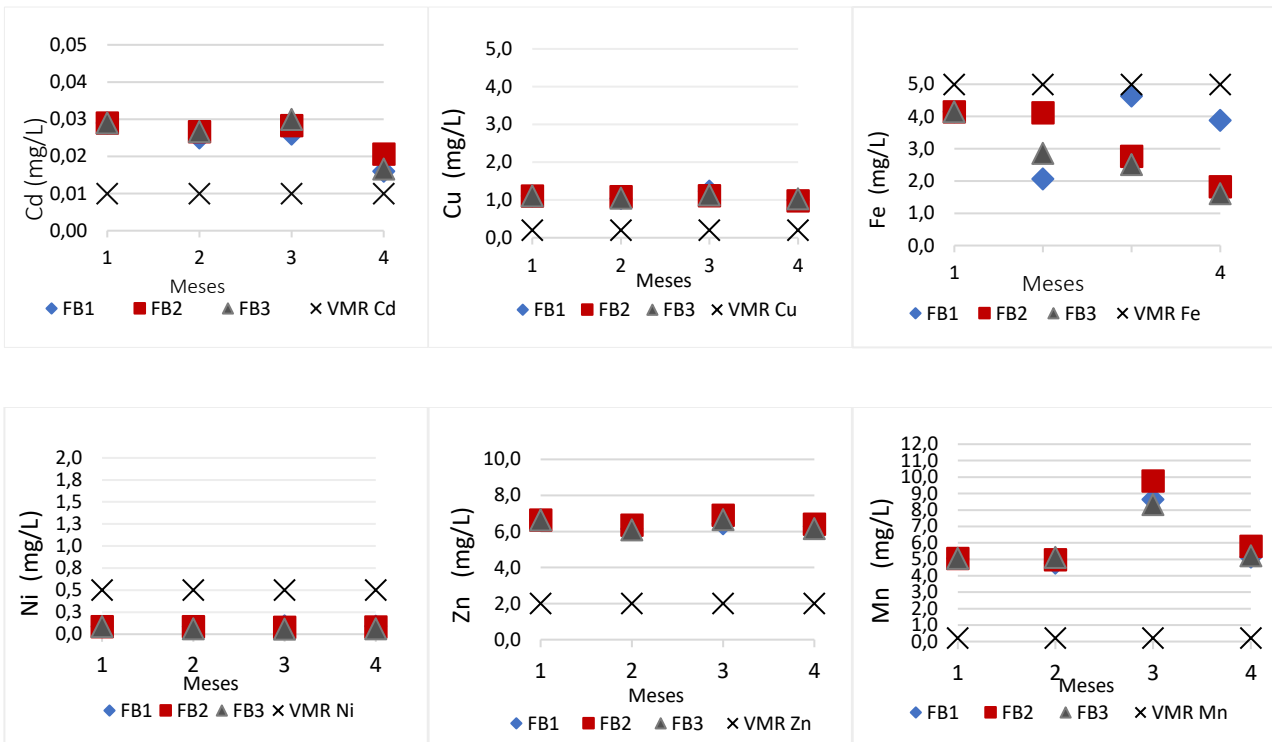


Figura 11 - Representação da evolução do teor dos metais Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Níquel (Ni), Zinco (Zn) e Manganés (Mn) nos leitos monitorizados (FB1- Leito contendo Phragmites Australis, FB2- Leito de Controlo e FB3- Leito contendo Vetiveria Zizanioides).

Pela observação da figura acima verifica-se que os leitos contendo as macrófitas evidenciaram baixa remoção dos metais da matriz aquosa, pois as pequenas alterações medidas não são significativas.

Os resultados da monitorização dos sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) bem como dos cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) apresentam-se a seguir, na figura 12.



Figura 12 - Representação da evolução do teor em sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) nos leitos monitorizados.

À semelhança de todos os outros parâmetros, o teor de sulfatos e de cloretos, que se encontram na Ribeira de Água Forte acima do permitido pela legislação para água de rega, não sofrem diminuição ao longo do período monitorizado.

### Tarefa 3.2.2 - Manutenção e controlo das plantas nos leitos

Em 2018 (jangadas de madeira), as plantas foram caracterizadas em termos de pigmentos fotossintéticos e da presença de metais no tecido vegetal. O conteúdo e a composição dos pigmentos fotossintéticos são importantes indicadores do estado de saúde das plantas e de possíveis alertas de toxicidade, e dependem das espécies de plantas, nutrição e condições de crescimento (Golubev, 2011).

A fotossíntese das plantas expostas a contaminação por metais pesados é comprometida, uma vez que esses elementos podem reduzir os níveis de clorofila e carotenóides, pela inativação das enzimas responsáveis pela biossíntese desses pigmentos (Santos et al., 2011).

A determinação dos pigmentos fotossintéticos (clorofila a (Ca), clorofila b (Cb), clorofila total (Ca+ Cb) e carotenóides totais (Cx+c)) foram determinados de acordo com Lichtenthaler (1987). Os resultados encontram-se na Figura 13.

Os resultados evidenciaram alguma fragilidade em ambas as macrófitas, pois o desenvolvimento e crescimento das raízes demonstraram malformações.

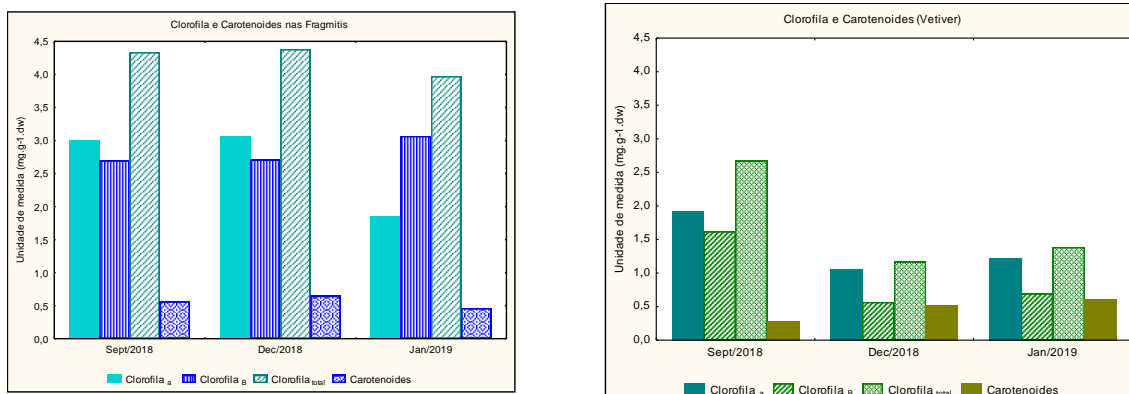


Figura 13 - Evolução do teor dos pigmentos fotossintéticos (clorofila a (Ca), clorofila b (Cb), clorofila total (Ca+ Cb) e carotenóides totais (Cx+c)) nas plantas Vetiveria Zizanioides e Phragmites Australis.



Foi também, analisado o teor de metais (Cu, Fe, Mn e Zn) nas folhas das plantas em estudo e verificou-se que o seu conteúdo não variou significativamente nas medições efetuadas, (Figura 14). De todo o modo, a a macrófita *Phragmites Australis* pareceu ter um melhor desempenho.

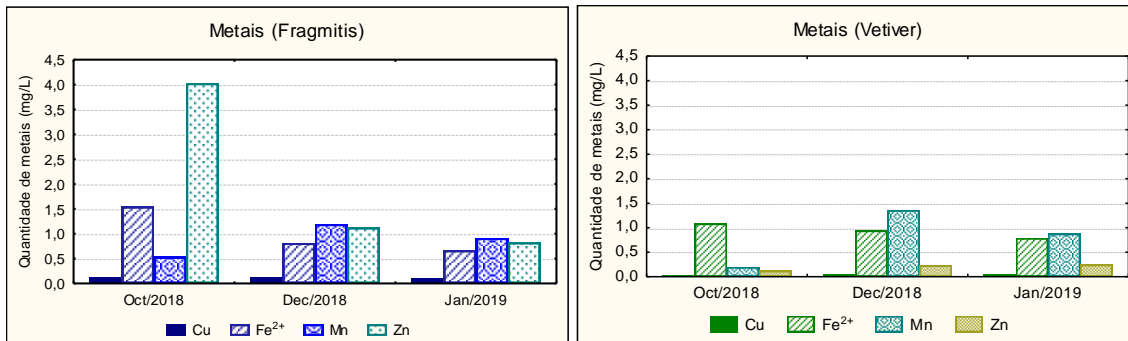


Figura 14 - Representação do conteúdo em metais nas plantas em estudo *Vetiveria Zizanioides* e *Phragmites Australis*, nos leitos piloto.

Como conclusão geral, pareceu que o funcionamento dos leitos na instalação piloto ainda se encontrava em fase de aclimação não tendo havido ainda resultados que evidenciassem o seu bom funcionamento. De todo o modo a macrófita *Phragmites Australis* pareceu ser mais promissora.

Em 2019, prosseguiram os ensaios de monitorização do desempenho das macrófitas *Vetiveriaia zizanioides* e da *Phragmites australis*, na instalação piloto e testou-se novo tipo de jangada flutuante: “jangada de manta orgânica”. Esta é constituída por um sistema de flutuação e por um sistema de suporte para as plantas (Rede em PEAD e Manta Orgânica), (Figura 15). Este teste teve como finalidade escolher a que apresentava melhores condições de resistência não pondo em causa a capacidade depurativa das macrófitas.

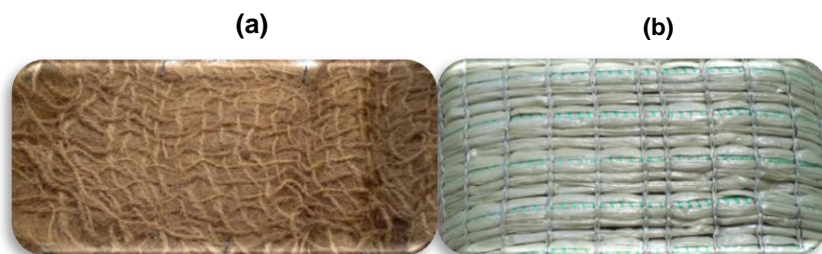


Figura 15 - (a) Sistema de suporte (vista de cima) e (b) Sistema de flutuação (vista de baixo) da jangada flutuante utilizada em 2019.

Durante o período de monitorização, verificou-se que o plástico de revestimento e a manta orgânica que compõem a jangada flutuante denominada de “manta orgânica” não mostraram sinais de desgaste e de deterioração, evidenciando resistência às características da água em estudo. Na fase inicial, pareceu ocorrer uma certa dificuldade dos novos rebentos penetrarem na manta, situação que foi ultrapassada com o seu crescimento.

Por seu turno, a jangada flutuante de madeira mostrou libertar menos detritos para a coluna de água, relativamente à jangada com manta orgânica. Porém, a proliferação de algas no período quente do ano, pareceu interferir mais no desenvolvimento das plantas comparativamente à primeira referida, sendo, assim, a primeira escolhida para os ensaios à escala real.

O controlo da qualidade da água nos leitos demonstrou que os leitos flutuantes (LFs) já se encontravam em pleno funcionamento tendo-se obtido, resultados mais favoráveis em relação à sua capacidade depuradora. Assim, nas Figuras 16, 17, 18 e 19 mostra-se a evolução dos diferentes parâmetros físico químicos ao longo de 2019.

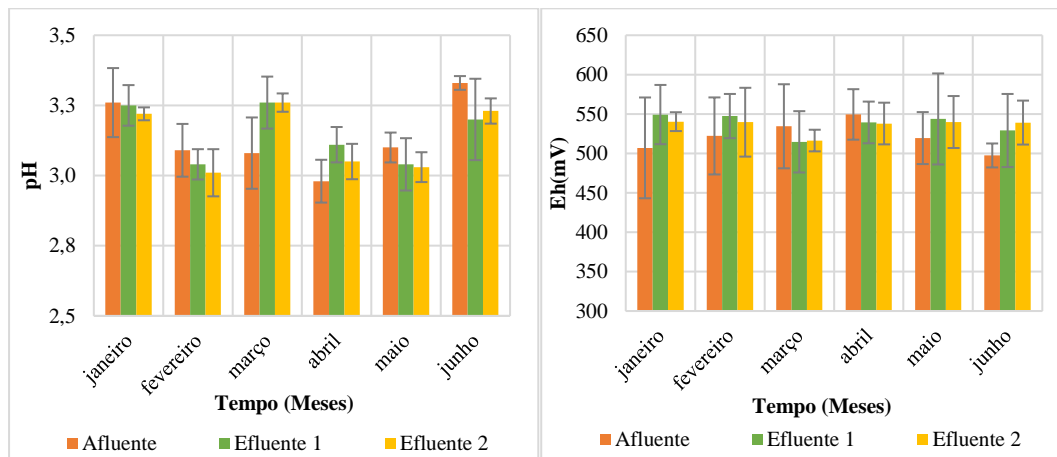


Figura 16 - Evolução do pH, do Potencial Redox (Eh), Afluentes- Leito de Controlo (FB2); Efluente 1- Leito contendo Phragmites Austrlis (FB1) e Efluente 2- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides (FB3) (Média ± D.P:n=3).

Segundo Kadlec & Wallace, (2009), o pH de uma água superficial contendo DMA, quando tratada com macrófitas, não sofre grandes alterações, mantendo-se quase constante ao longo do tempo. Mitsch & Wise, (1998) também observaram que utilizando macrófitas para

o tratamento de uma água superficial afetada por DMA, com pH de 2,8, esta apenas aumentou para pH 3,3. Fica claro, a partir destes resultados que os LFs não fornecem um mecanismo para o ajuste de condições de água fortemente ácidas.

Nos meses de março e abril observou-se que os Efluentes evidenciaram um ligeiro aumento do pH o que poderá ter sido devido ao aparecimento de algas na instalação piloto, pois segundo West et al., (2017) estas têm a capacidade de assimilar carbono na biomassa, diminuindo assim as concentrações de CO<sub>2</sub> na coluna de água e, por sua vez, aumento do pH. Todos os valores de potencial redox foram positivos e refletiram o ambiente oxidante dos Efluentes 1 e dos Efluentes 2, encontrando-se dentro dos limites (700 a 300 mV) para que ocorrem reações aeróbicas (Reddy & DeLaune, 2008). Os resultados obtidos em termos estatísticos, não apresentam diferenças significativas entre si (p>0,05).

Pela análise da Figura 16 pode-se dizer, de uma maneira geral, que ao longo do período de monitorização os valores de OD não sofreram variações significativas (p>0,05), denotando, contudo, uma ligeira tendência de aumento nos primeiros três meses, seguida diminuição nos restantes, estando todos de acordo com o limiar máximo definido para o Bom Estado Ecológico em Rios ( $\geq 5$  mg O<sub>2</sub>/L). Wang et al., (2018) mencionam que observaram uma redução do OD na primavera e no verão, devido ao aumento da temperatura. Os Afluentes apresentaram um valor médio  $7,45 \pm 0,52$  mg L<sup>-1</sup>, os Efluentes 1 de  $7,49 \pm 0,87$  mg L<sup>-1</sup> e os Efluentes 2 de  $7,58 \pm 0,90$  mg L<sup>-1</sup>.

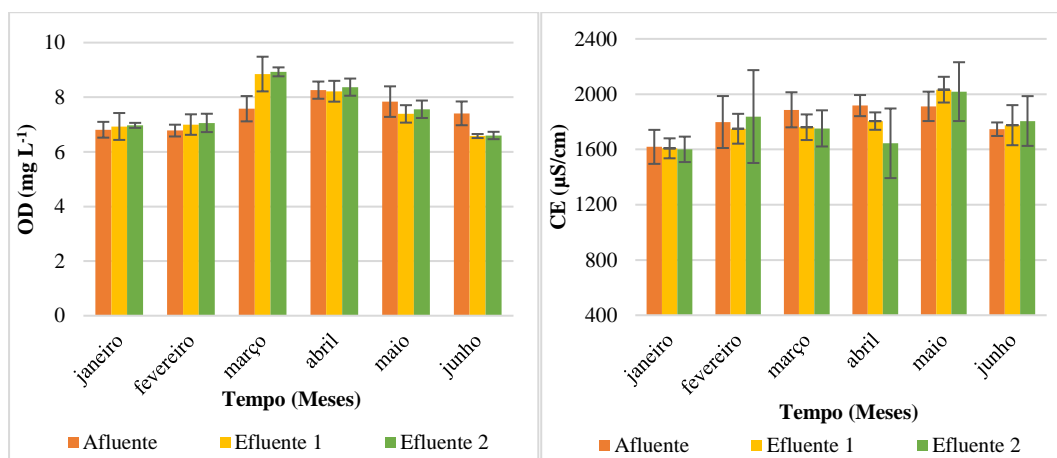


Figura 17 - Oxigénio Dissolvido (OD) e da Condutividade Eléctrica (CE) no Afluentes - Leito de Controlo (FB2); Efluente 1- Leito contendo Phragmites Austrlis (FB1) e Efluente 2- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides (FB3) (Média ± D.P.:n=3).

Os valores médios obtidos de CE foram sempre elevados e não sofreram variações significativas ( $p > 0,05$ ), ao longo do período de monitorização, apresentando os Afluentes um valor médio mensal de  $1813 \pm 117 \mu\text{S/cm}$  e os Efluentes um valor médio mensal de  $1788 \pm 138 \mu\text{S/cm}$  para os Efluentes 1 e de  $1776 \pm 142 \mu\text{S/cm}$  para os Efluentes 2.

Os problemas de salinidade existem quando os sais se acumulam na zona das raízes das plantas, de tal forma que a planta não consegue extrair água suficiente do solo, provocando consequentemente reduções significativas no processo de crescimento (Cordeiro, 2012).

Na Figura 18 encontra-se a evolução dos compostos azotados e fosfatados.

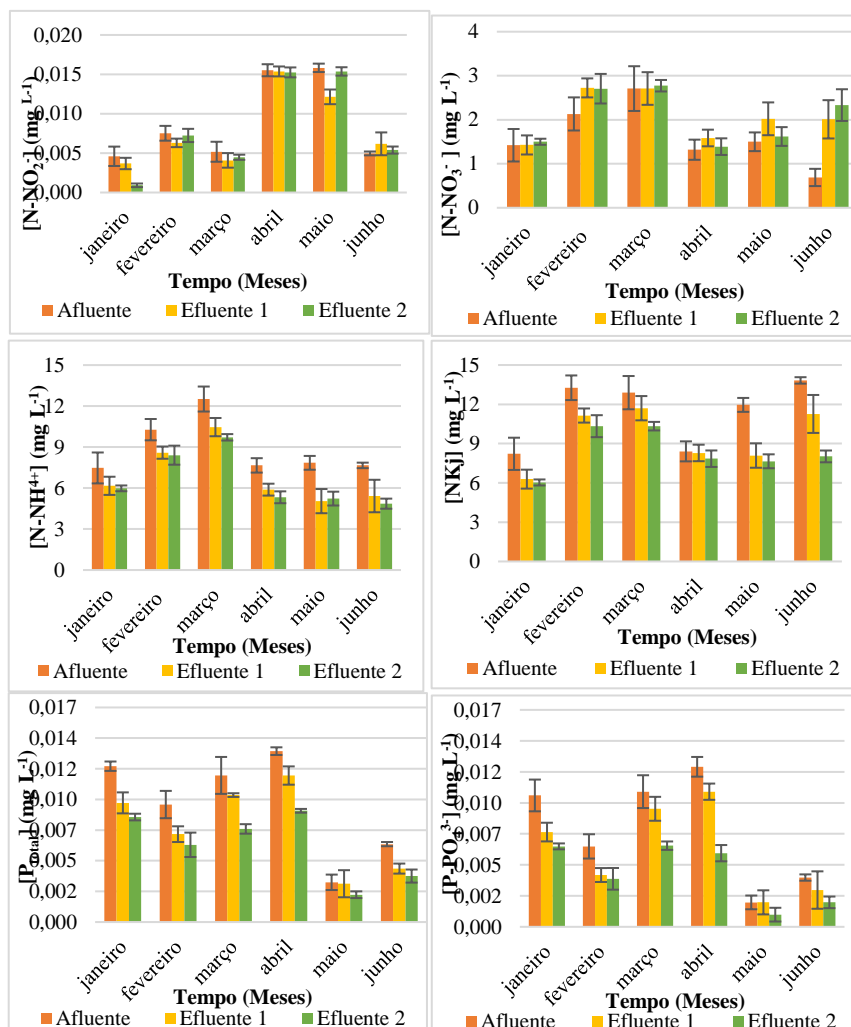


Figura 18 - Evolução dos Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), dos Nitratos, ( $\text{N-NO}_3^-$ ), Azoto amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ), Azoto kjeldhal ( $\text{Nkj}$ ), Fósforo total ( $\text{P}_{\text{total}}$ ) e ião Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), no Afluentes - Leito de Controlo (FB2); Efluente 1- Leito contendo Phragmites Australis (FB1) e Efluente 2- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides (FB3). (Média  $\pm$  D.P.:n=3).

Pode verificar-se, que os valores médios dos compostos azotados nos Afluentes são baixos, sendo a maior contribuição do ião  $N-NH_4^+$ , seguindo-se o ião  $N-NO_3^-$  já com valores muito inferiores e o ião  $N-NO_2^-$  praticamente inexistente. Quanto aos Efluentes, verifica-se um ligeiro aumento do ião  $N-NO_3^-$  e uma diminuição do ião  $N-NH_4^+$  nos Efluentes 1 e nos Efluentes 2 relativamente aos Afluentes, durante o período de monitoração. A nível estatístico, os resultados obtidos não revelam diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os Afluentes e os Efluentes analisados.

A diminuição do  $NK_j$  ( $N_{orgânico} + N-NH_4^+$ ) nos Efluentes, poderá ter sido devido à assimilação de  $N-NH_4^+$  pelas plantas (Kadlec & Wallace, 2009). A eficiência média de remoção de  $NK_j$  (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. Isto pode ser indicativo da sua importância neste processo. Jampeetong et al., (2013), refere ainda que as taxas de captação do ião  $N-NH_4^+$  e do ião  $N-NO_3^-$  pelas macrófitas foram muito baixas em pH 3,5 e mais elevadas para pH 6,5 e 8,5.

O  $NK_j$ , poderá ter sido também removido através da diminuição de azoto amoniacal, por conversão a nitrato, o que é corroborado pela diminuição do pH (Almeida, 2017), pela existência de condições aeróbias, potencial redox sempre superior a 250 mV (Wu et al., 2013) e temperaturas superiores a 10 °C. Por outro lado, o pH poderá ter sido um fator limitante na extensão do processo, pois segundo Vymazal (2007) o máximo de nitrificação ocorre em pH entre 6 a 8.

De acordo com o Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto e os limiares máximos definidos para o Bom Estado Ecológico em Rios (ver Anexo II), todos os valores mensais obtidos referentes a  $NO_3^-$  encontram-se abaixo do VMR ( $\leq 50$  mg  $NO_3^-/L$ ), sendo o valor médio dos Efluentes 1 = 9,3 mg  $NO_3^-/L$  e dos Efluentes 2 = 9,1 mg  $NO_3^-/L$ . Por outro lado, os valores mensais de  $NH_4^+$ , ainda se encontram acima do limiar máximo definido para o Bom Estado Ecológico em Rios ( $\leq 1$  mg  $NH_4^+/L$ ), sendo o valor médio dos Efluentes 1 = 6,9 mg  $NH_4^+/L$  e dos Efluentes 2 = 6,5 mg  $NH_4^+/L$ .

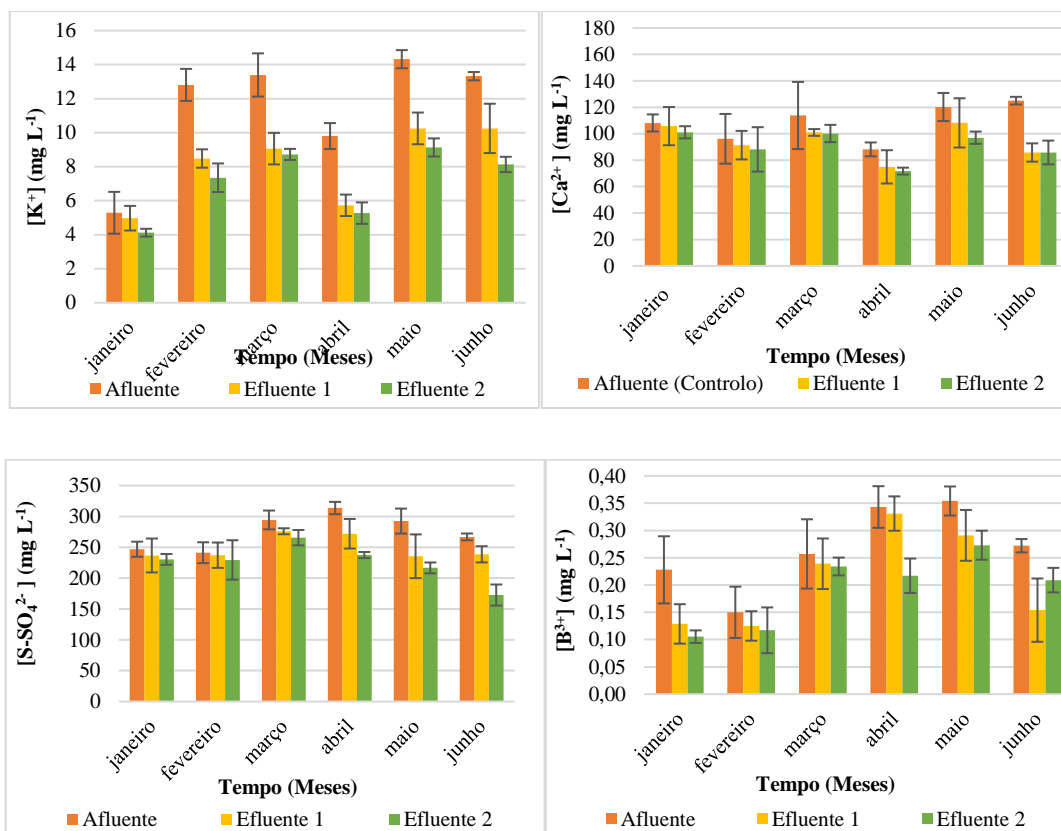
Os compostos de fósforo analisados apresentaram valores baixos. Porém, os valores médios de  $P_{total}$  diminuíram todos os meses relativamente aos Afluentes, sendo mais notório nos Efluentes 2, embora as variações não sejam significativas ( $p > 0,05$ ). Nos

Efluentes 1 a diminuição não foi tão evidente, porque a *Phragmites australis* esteve em dormência até abril.

Registou-se uma eficiência média de remoção 19% nos Efluentes 1 e 35% nos Efluentes 2. Os valores médios de  $P_{total}$  encontram-se dentro do limiar máximo definido para o Bom Estado Ecológico em Rios ( $\leq 0,13$  mg P/L).

Relativamente ao ião  $P-PO_4^{3-}$ , embora as variações não sejam significativos ( $p > 0,05$ ) as macrófitas conseguiram reduzir a concentração do ião  $P-PO_4^{3-}$  ao longo do período de monitorização, obtendo-se uma eficiência média de remoção de 21% nos Efluentes 1 e 45% nos Efluentes 2. Segundo West et al., (2017) o aparecimento de algas nos LFs poderá ter interferido na remoção do ião  $P-PO_4^{3-}$  pelas macrófitas.

Na Figura 19 Apresenta-se a evolução do ião Potássio ( $K^+$ ), do ião Cálcio ( $Ca^{2+}$ ), dos Sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ), do ião Boro ( $B^{3+}$ ) e do ião Cloreto nos leitos monitorizados.



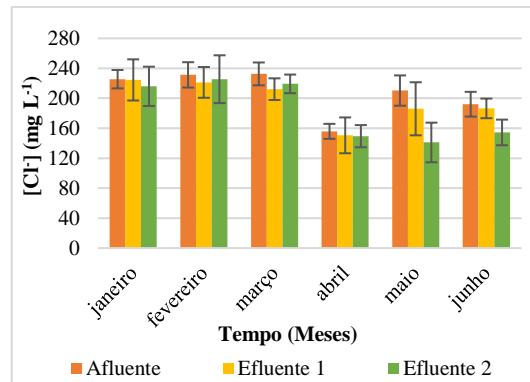


Figura 19 - Evolução do íon Potássio (K<sup>+</sup>), do íon Cálcio (Ca<sup>2+</sup>), dos Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), do íon Boro (B<sup>3+</sup>) e do íon Cloreto (Cl<sup>-</sup>) no Afluentes- Leito de Controlo (FB2); Efluente 1- Leito contendo Phragmites Australis (FB1) e Efluente 2- Leito contendo Vetiveriaia Zizanioides (FB3). (Média ± D.P:n=3).

Em termos médios o íon K<sup>+</sup> nos Afluentes foi de 11,4±1,9 mg/ L, nos Efluentes 1 foi de 8,1±1,4 mg/ L e nos Efluentes 2 foi de 7,1±1,2 mg/ L sugerindo uma eficiência média de remoção de 29% nos Efluentes 1 e 38% nos Efluentes 2. Relativamente ao íon Ca<sup>2+</sup>, a concentração média dos Afluentes foi de 109±19 mg/ L, nos Efluentes 1 de 95±12 mg/ L e nos Efluentes 2 de 91±11 mg / L, sugerindo uma redução média mensal de 13% nos Efluentes 1 e 17% nos Efluentes 2.

Por fim, pode-se observar que não houve variações significativas (p>0,05) de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> nos Efluentes 1 e Efluentes 2, relativamente aos Afluentes. Este resultado está de acordo com Chen et al., (2016), que sugerem que tanto a baixa matéria orgânica influente, quanto os exsudatos das raízes das plantas têm pouco efeito na remoção de sulfatos. No entanto, obteve-se uma eficiência média de remoção nos Efluentes 1 de 10 % e nos Efluentes 2 de 18 %, para o período em monitorização. Embora tenha ocorrido redução do SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> nos dois Efluentes, os valores obtidos (Efluentes 1 = 747 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L e Efluentes 2 = 675 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L) ainda se encontram acima do VMR pelo Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto (≤575 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L).

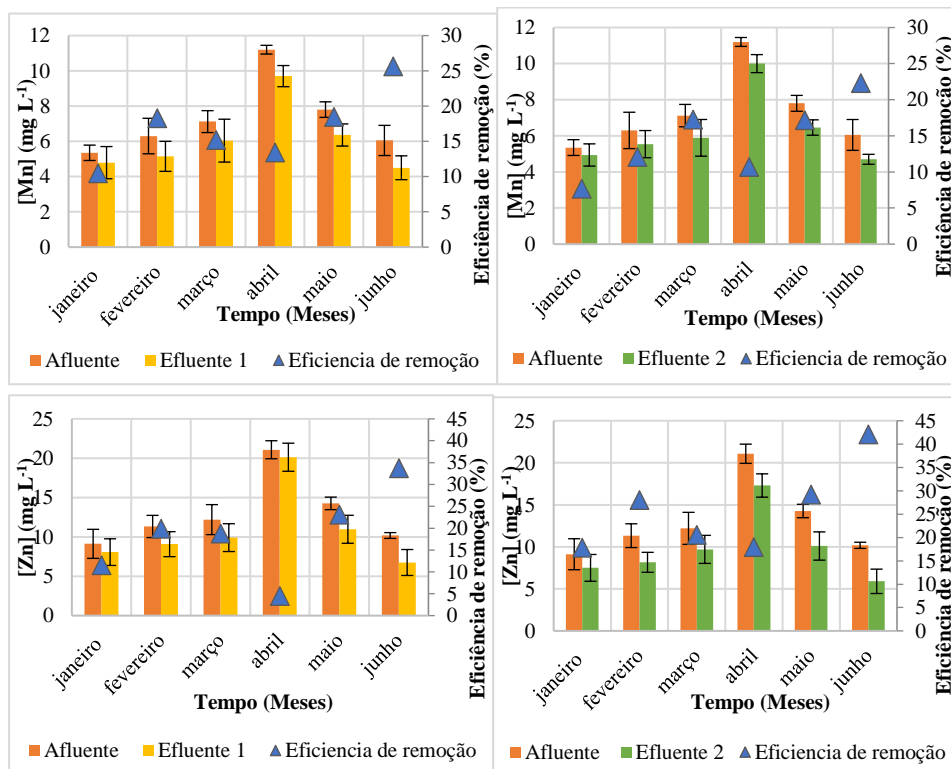
O aumento da temperatura nos meses de abril, maio e junho também pode ter favorecido a redução de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> como se verifica a partir da Figura 18. Xu & Mills, (2018) relatam que a redução de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ocorre durante os meses quentes do ano.

O teor de boro em termos médios nos Afluentes foi de 0,27±0,05 mg L<sup>-1</sup>, nos Efluentes 1 foi de 0,21±0,05 mg L<sup>-1</sup> e nos Efluentes 2 foi de 0,19±0,03 mg L<sup>-1</sup>, sugerindo uma redução

média mensal de 22% nos Efluentes 1 e 30% nos Efluentes 2. Os valores médios de boro obtidos foram inferiores VMR pelo Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto ( $\leq 0,3$  mg B/L). Contudo, observou-se nos Afluentes, um aumento do boro até ao mês maio, atingindo-se já valores superiores ao VMR nos meses de abril e maio.

Os cloretos, quando estão em excesso na água de irrigação podem causar fitotoxicidade, uma vez que não são absorvidos ou retidos pelos solos, movendo-se facilmente com a água, principalmente no processo de transpiração, acumulando-se desta forma nas folhas da planta (Cordeiro, 2012). O uso contínuo de águas com elevados teores em sais (ex: ião Cl<sup>-</sup>), pode levar à salinização do solo, inviabilizando-o para uso agrícola. Dependendo do teor de sais, a salinidade da água pode ainda afetar a disponibilidade de água para as culturas, podendo restringir o seu uso (FAO, 2018).

Porém, os metais pesados apresentaram alterações relevantes com diminuição mais significativa. Obtiveram-se taxas médias de remoção dos metais pesados na água do leito fluante da Vetiveriaia zizanioides (Efluente 2) e do leito da Phragmites australis (Efluente 1), de Fe=40%; Zn=25%; Cu=15%; Mn=14% e Fe=27%; Zn=17%; Mn=16%; Cu=6%; respetivamente (Figura 20).





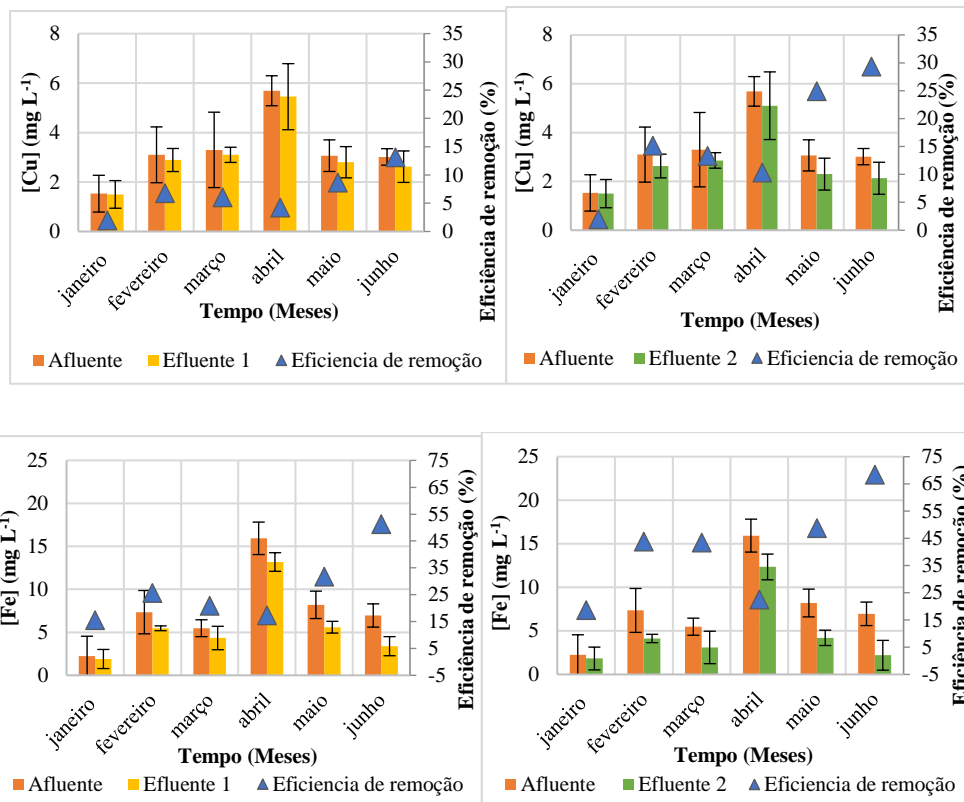


Figura 20 - Evolução dos teores de metais Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Ferro (Fe) no Afluentes, Efluente 1 e Efluente 2, e respetiva eficiência de remoção. (Média ± D.P.:n=3).

A análise da Figura 20 mostra que no mês de abril as Afluências de metais pesados foram muito mais elevadas que nos restantes meses, tal poderá ter sido devido a eventuais escorrências, uma vez que o mês abril foi o mês mais chuvoso do período de monitorização e/ou a uma descarga mais concentrada da atividade mineira.

Para o Mn registou-se uma eficiência média de remoção de 16% para os Efluentes 1 e de 14% para os Efluentes 2. Os valores médios mensais obtidos, encontram-se abaixo do VMA ( $\leq 10$  mg Mn/L), contudo, ainda muito distantes do VMR pelo Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98 ( $\leq 0,20$  mg Mn/L). A remoção do Mn foi mais notória nos Efluentes 1, porque a *Phragmites australis* consegue remover concentrações elevadas de Mn (Srivastava et al., 2014).

O Zn apresentou uma eficiência média de remoção de 17% para os Efluentes 1 e de 25% para os Efluentes 2, respetivamente. Comparando os valores mensais de Zn com o VMA pelo Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98 ( $\leq 10$  mg Zn/L), observa-se que os Efluentes 1

tiveram valores sempre superiores ao VMA, à exceção dos meses de janeiro fevereiro e junho. Por outro lado, nos Efluentes 2 só se verificou excedência do VMA no mês de abril.

O Cu apresentou uma eficiência média de remoção de 6% para os Efluentes 1 e de 15% para os Efluentes 2. Durante o período de monitorização, a concentração mensal de Cu foi inferior ao VMA pelo Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98 ( $\leq 5$  mg Cu/L), à exceção do mês de abril, em ambos os Efluentes.

O Fe revelou uma eficiência média de remoção de 27% para os Efluentes 1 e de 40% para os Efluentes 2. Comparando os valores mensais de Fe com o VMR pelo Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98 ( $\leq 5$  mg Fe/L), observa-se que nos Efluentes 1 os valores foram superiores nos meses de fevereiro, abril e maio. No entanto, nos Efluentes 2 as concentrações mais elevadas foram observadas no mês de abril. De um modo geral, a remoção deste metal foi a mais eficiente de todos os monitorizados neste estudo.

Os resultados obtidos revelaram uma ordem de remoção nos Efluentes 1 de **Fe>Zn>Mn>Cu** e nos Efluentes 2 de **Fe>Zn>Cu>Mn**.

Na tabela 10 é apresentada uma comparação, com a literatura, entre as concentrações de metais em diferentes Afluentes e as respetivas eficiências de remoção obtidas neste estudo, para diferentes tipos de sistemas, utilizando a *Phragmites australis* e a *Vetiveriaia zizanioides*.

Tabela 10 - Comparação das concentrações médias dos metais nos Afluentes (Fe, Mn, Cu e Zn) (mg/L) e as respetivas eficiências média de remoção, nos Efluentes 1 (*Phragmites australis*) e Efluentes 2 (*Vetiveriaia zizanioides*) (cor verde), com a literatura.

Tipo de Afluente	Tipo de Sistema + Vegetação	Concentração do Afluente (mg/L)				Eficiência de remoção (%)			
		Zn	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn
Água superficial com DMA	LF ( <i>Phragmites australis</i> )	13,0	3,3	7,7	7,3	17	6	27	16
	LF ( <i>Vetiveriaia Zizanioides</i> )					25	15	40	14

<sup>(a)</sup> Água superficial DMA com	LF (Vetiveriaia Zizanioides)	7,4	1,2	3,4	-	0	0	12	-
<sup>(b)</sup> Meio sintético contendo metais pesados	LF (Vetiveriaia Zizanioides)	6,5	10	30	7	9,17	11,17	92,31	11,38
<sup>(c)</sup> Água superficial DMA com	ZHA (Phragmites australis)	4,7	2,1	36	0,5	50	59	98	42
<sup>(d)</sup> Águas residuais da indústria de papel e celulose	ZHA (Phragmites australis)	0,4	0,3	1,6	0,2	72	54	72	65
<sup>(e)</sup> Água residual industrial	ZHA (Vetiveriaia Zizanioides)	4,09	0,06	16,15	0,49	52,7	87,5	27,6	33,7

(a) Rocha, 2017; (b) Suelee et al., 2017; (c) Alexandre, 2016; (d) Arivoli et al., 2015; (e) Roongtanakiat et al., 2007

Como se pode verificar pela análise da Tabela 11 não parece existir uma correlação direta entre as concentrações dos metais nos Afluentes e as respetivas eficiências de remoção, evidenciando a existência de outros fatores que intervêm neste processo.

### Tarefa 3.2.2 - Manutenção e controlo das plantas nos leitões

Foram medidos os conteúdos de pigmentos fotossintéticos: clorofila a (Cla), clorofila b (Clb), clorofila total (Cla+Clb) e carotenoides (Cx+Cc) totais nas folhas da Phragmites australis e da Vetiveriaia zizanioides, durante o período de monitorização. Os valores médios obtidos encontram-se na Figura 20.

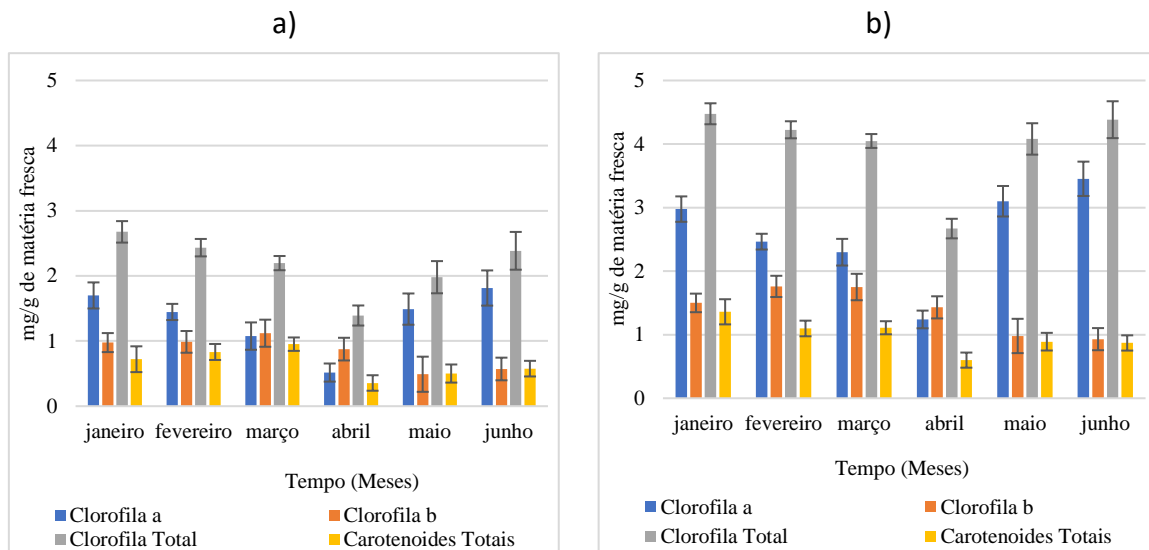


Figura 21 - Conteúdo de pigmentos fotossintéticos: clorofila a ( $Cl_a$ ), clorofila b ( $Cl_b$ ), clorofila total ( $Cl_a+Cl_b$ ) e carotenoides ( $C_x+C_c$ ) totais nas folhas a) *Phragmites australis* e b) *Vetiveriaia zizanioides* (Média  $\pm$  D.P.:n=3).

A partir análise da Figura 21, verifica-se que a macrófita *Phragmites australis* apresenta conteúdos fotossintéticos menos elevados que *Vetiveriaia zizanioides*, observando-se, contudo uma ligeira tendência, em ambas, para a diminuição dos níveis de clorofila total, ao longo do período de monitorização. Tal pode ter ocorrido devido ao stress causado pela agressividade do meio (pH ácido) e pela excessiva exposição a metais pesados, o que foi particularmente evidente no mês de abril. Quando as plantas aquáticas são expostas a metais pesados, como o Fe, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni e Pb, ocorre a redução dos níveis de pigmentos fotossintéticos, incluindo clorofila a ( $Cl_a$ ) e clorofila b ( $Cl_b$ ) e carotenoides ( $C_x+C_c$ ). Quando ocorre a redução de clorofila nas folhas das plantas e subsequentemente a redução da fotossíntese, a produção de biomassa diminui (Monteiro et al., 2009).

Na Tabela 11 é apresentado o teor total de metais acumulados nas raízes e nas folhas ( $mg\ kg^{-1}\ MS$ ) da *Vetiveriaia zizanioides* e da *Phragmites australis*, durante o período de monitorização.

Tabela 11 -Teor total de metais acumulados nas raízes e nas folhas ( $mg\ kg^{-1}\ MS$ ) da *Vetiveriaia zizanioides* e da *Phragmites australis*.

	<i>Vetiveriaia zizanioides</i> <sup>1</sup>			<i>Phragmites australis</i> <sup>1</sup>		
	Raiz	Folha	Total	Raiz	Folha	Total
Zn	955 $\pm$ 86 a	227 $\pm$ 25 b	1 182 $\pm$ 111 a	458 $\pm$ 54 a	65 $\pm$ 1 c	523 $\pm$ 55 a
Cu	147 $\pm$ 11 a	25 $\pm$ 2 b	172 $\pm$ 13 a	74 $\pm$ 10 a	19 $\pm$ 3 b	93 $\pm$ 13 a

Fe	1 020 ± 108 a	265 ± 23 b	1 285 ± 132 a	666 ± 97 a	166 ± 24 b	832 ± 120 a
Mn	100 ± 6 b	37 ± 3 c	137 ± 8 a	201 ± 32 a	101 ± 20 b	302 ± 52 a

<sup>1</sup>Os valores são apresentados como a média ± D.P (n=6). Valores seguidos da mesma letra dentro da mesma linha, para cada variável não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (nível de significância p<0,05).

Pela análise da tabela constata-se que as concentrações médias de metais na biomassa foliar e radicular em ambas as plantas, foram de um modo geral inferiores aos referidos na literatura, tendo, contudo, a *Vetiveriaia zizanioides* apresentado melhor performance.

Em ambas as macrófitas, o Fe foi o que registou maior acumulação. Estes resultados estão de acordo com a literatura, que referem que o Fe exibe uma maior capacidade de assimilação em ambas as plantas, comparativamente aos outros metais analisados (Wang & Jia, 2009; Srivastava et al., 2014; Muhammad et al., 2015). Verifica-se também que a acumulação dos metais foi, preferencialmente, feita nas raízes.

A *Phragmites australis* obteve, de um modo geral, valores mais reduzidos de acumulação para todos os metais, à exceção do Mn que apresentou o valor médio total de 302 mg kg<sup>-1</sup> MS, muito superior ao observado na *Vetiveriaia zizanioides* de 137 mg kg<sup>-1</sup> MS. Segundo Srivastava et al., (2014), a macrófita *Phragmites australis* é bastante tolerante a concentrações elevadas de Mn, conseguindo acumular grandes concentrações dos metais Zn e Mn nos seus tecidos.

Foi calculado o Fator de Bioconcentração (FBC) e Fator da Translocação (FT), que são parâmetros operacionais a ter em conta quando se utilizam estas plantas com a finalidade de fitorremediação e quando se tem em conta a sua valorização após utilização. O Fator de Bioconcentração (FBC) indica a eficiência da planta em acumular um metal nos seus tecidos a partir do ambiente na qual está inserida. Quando o FBC é superior a 1, indica a acumulação de metais pesados na biomassa da planta. Por outro lado, o Fator da Translocação (FT) é uma proporção da capacidade da planta de extrair metais pesados da raiz para a parte aérea. Quando FT é inferior a 1 significa que a maior parte dos metais pesados se acumulam na raiz e vice-versa. As plantas podem imobilizar metais pesados através da absorção e acumulação por raízes e adsorção nas raízes. Este processo reduz a mobilidade do metal e também reduz a biodisponibilidade do metal para entrada na cadeia alimentar (Joseph et al., 2019).

Na Figura 22 e na Figura 23 pode-se observar a evolução do FBC (L/kg) e do FT da *Vetiveria zizanioides* e da *Phragmites australis* para os metais: Zn, Cu, Fe e Mn, respetivamente.

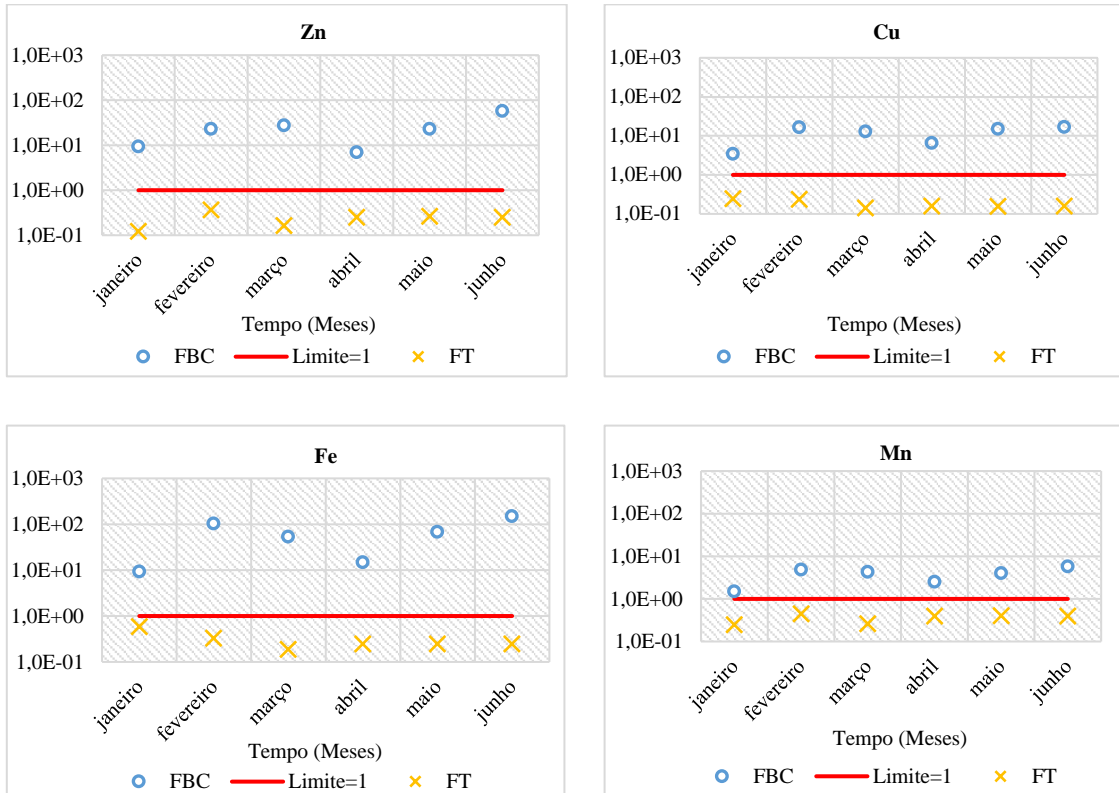
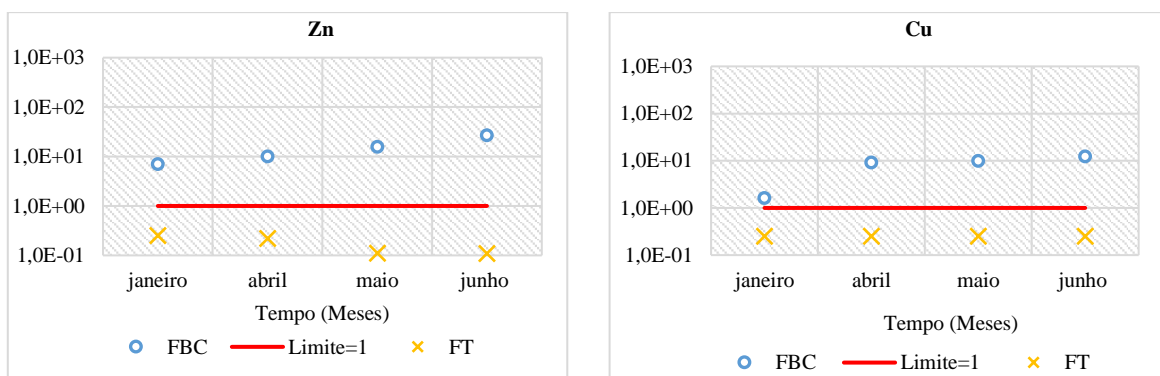


Figura 22 - Evolução do Fator de Bioconcentração (FBC) e Fator de Translocação (FT) na *Vetiveria zizanioides* para os elementos: Zn, Cu, Fe e Mn.



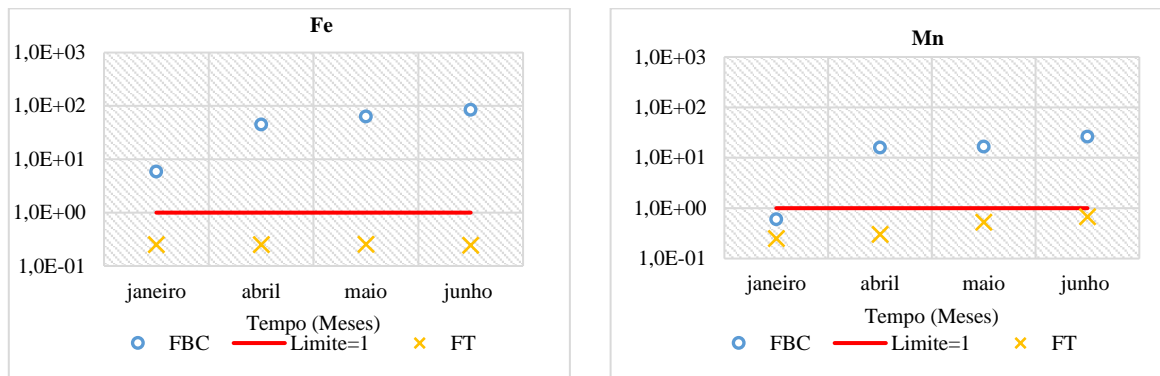


Figura 23 - Evolução do Fator de Bioconcentração (FBC) e Fator de Translocação (FT) na *Phragmites australis* para os elementos: Zn, Cu, Fe e Mn.

Neste estudo observa-se que os valores de FBC na *Vetiveriaia zizanioides* são superiores aos da *Phragmites australis*. Os motivos para que estes tenham sido mais baixos nesta última, pode ser explicado pela dormência da planta que durou até abril, observando-se melhorias nos resultados em maio e junho.

Relativamente aos valores de FT, pode se observar que todos os valores de FT estão abaixo de 1, indicando que ambas as macrófitas não demonstraram serem hiperacumuladoras de metais, uma vez que estas preferiram armazená-los nas suas raízes, com translocação muito baixa para a parte aérea de forma a evitar a toxicidade, o que vai de encontro com o mencionado por Danh et al., (2009) e Majid et al., (2014). Moresco, (2016).

A restrição de translocação para a parte aérea acredita-se ser uma estratégia de tolerância aos metais das plantas não hiperacumuladoras, evitando desta forma potenciais efeitos das elevadas concentrações de metais nos tecidos fotossintéticos (Alexandre, 2016). De acordo com os resultados obtidos a *Phragmites australis* e a *Vetiveriaia zizanioides* atuam principalmente como excluder, ou seja, estas plantas podem restringir a entrada dos metais em função da sua tolerância e/ou reter a maioria dos metais tóxicos nos tecidos da raiz com uma translocação mínima para as folhas (Feng et al., 2016).

O crescimento das plantas pode ser expressa pela determinação da sua taxa de crescimento e/ou produção de biomassa.

Na Figura 24 pode-se observar a evolução do crescimento médio da biomassa radicular e foliar da *Phragmites australis* e da *Vetiveria zizanioides*.

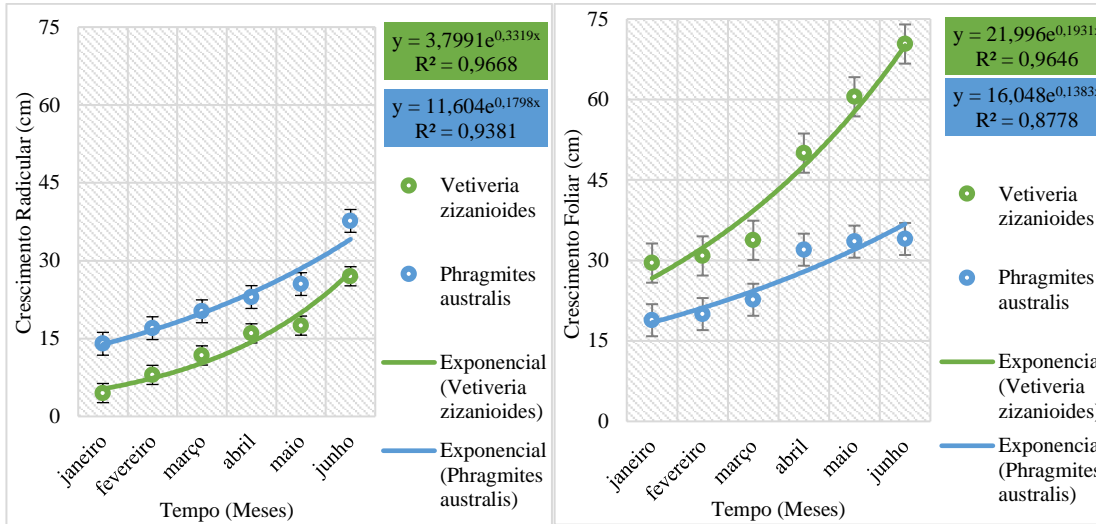


Figura 24 - Taxa de crescimento médio da biomassa radicular e foliar da *Vetiveria zizanioides* e de *Phragmites australis* (Média ± D.P.:n=3).

De uma maneira geral, os crescimentos observados na Figura 24 foram baixos, o que está confirmado pela evolução da curva exponencial ( $R^2$ ).

A taxa de crescimento radicular na *Phragmites australis* e na *Vetiveria zizanioides* foi de  $4,1 \pm 0,1$  cm/mês e de  $3,8 \pm 0,0$  cm/mês, respetivamente, tendo-se observado maior crescimento radicular na *Phragmites australis*. Relativamente à biomassa foliar registou-se uma taxa de crescimento na *Phragmites australis* de  $2,5 \pm 0,0$  cm/mês e na *Vetiveria zizanioides* de  $7,1 \pm 0,1$  cm/mês. Durante os primeiros três meses de monitorização a biomassa foliar da *Phragmites australis* manteve-se mais ou menos constante e a biomassa radicular cresceu significativamente em comparação com a *Vetiveria zizanioides*. Observaram-se os primeiros rebentos foliares da *Phragmites australis* no final de março, o que coincidiu com o final do período de dormência da planta.

Comparando estes crescimentos com os observados em outros estudos, verifica-se que a *Phragmites australis* não teve um crescimento foliar e radicular tão vigoroso como o observado por Alexandre, (2016). Relativamente à *Vetiveria zizanioides* obteve-se um crescimento foliar e radicular maior em comparação com o estudo realizado por Rocha, (2017). Na Tabela 12 apresenta-se a produção total de biomassa foliar e radicular, durante o período de monitorização.



Tabela 12 - Produção total de biomassa foliar e radicular (Média  $\pm$  D.P.:n=3)

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

A partir da Tabela 12 observa-se que a produção de biomassa total foi baixa em ambas as plantas, tendo a *Vetiveriaia zizanioides* obtido valores mais elevados. Estes resultados não são confirmados pela literatura. Assim, de acordo com Danh et al., (2009), a *Vetiveriaia zizanioides* cresce muito rapidamente, atingindo produções de biomassa extremamente altas (mais de 10 000 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> MS ). Por outro lado, a *Phragmites australis* pode chegar a produzir 2 790 g m<sup>-2</sup> MS em apenas três meses (Salem et al., 2014).

A inibição do crescimento e produção de biomassa em ambas as macrófitas pode ser explicado por: (i) temperaturas baixas registadas nos primeiros meses de monitorização; (ii) valores de pH baixos, estes constituem um fator de stress para o crescimento e produção de biomassa das plantas pois podem interferir com os mecanismos de absorção de nutrientes e (iii) valores elevados de metais pesados.

De todo o modo, ambas as macrófitas evidenciaram capacidade de sobrevivência neste tipo de meio sem a ocorrência de dano severo na sua morfologia externa e anatómica, embora com alguma inibição do crescimento.

Porém, a comparação do desempenho das duas macrófitas mostrou que *Vetiveriaia zizanioides*, apresentou melhores resultados de um modo geral, o que também foi corroborado pelos valores do Fator de Bioconcentração (FBC) e Factor de Translocação (FT) calculados que foram mais elevados e que mostram a sua maior capacidade de fitoestabilização em relação à macrófita *Phragmites Australis*.

Perante estes resultados ficou selecionada, ***Vetiveriaia zizanioides*** a macrófita a utilizar à escala real bem como o tipo de jangada a utilizar.

## **Fase 4: Instalação, manutenção e controlo dos leitos flutuantes à escala real**

### **Tarefa 4.1 – Instalação dos Leitos Flutuantes à escala Real**

A instalação dos leitos flutuantes à escala real não se realizou como estava previsto no cronograma do projeto. Tal foi devido ao facto da execução do projeto estar com o atraso referido atrás e também pela indisponibilidade de fornecimento das plantas Vetiveriaia Zizanioides na quantidade requerida.

Os leitos flutuantes foram instalados na Ribeira do Roxo e Ribeira de Água Forte, em maio de 2020, e repovoados em maio de 2021.

A macrófita a colocar nos leitos à escala real, Vetiveriaia zizanioides, foi escolhida por ter evidenciado o melhor desempenho nos ensaios piloto efetuados nos anos 2018/19 e por estes estarem de acordo com a literatura:

A Vetiveriaia zizanioides apresenta as seguintes características (Brix,2003)

Grande e profundo sistema radicular;

Tolera solos sódicos, salinos, alcalinos;

Suporta uma ampla faixa de pH (3,3 a 9,5);

Resiste a altos níveis de saturação de Al, Mn e metais pesados tais como: arsénio (As), cadmio (Cd), crómio (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), selénio (Se) e Zn;

Tem alta eficiência na remoção de nutrientes como azoto (N) e fósforo (P) e

Tolera temperaturas do ar entre -20 e 60 graus Celsius.

A Vetiveriaia zizanioides apesar de não ser nativa de Portugal, não é considerada uma espécie invasora segundo o Decreto-Lei n.o 92/2019.

Deste modo procedeu-se à aquisição de 1000 plantas ( n<sup>o</sup> máximo possível de adquirir) e deu-se início da sua aclimação em outubro de 2019 nas instalações do IPBeja/ESA. Este processo estava previsto decorrer até final de março de 2020 com vista a proporcionar condições radiculares e foliares otimizadas das mesmas aquando da sua colocação à escala real. Porém, devido ao estado de emergência que se viveu no país, prolongou-se até finais de abril de 2020 tendo somente sido feita a sua manutenção periódica (instalações IPBeja/ ESA abertas somente duas manhãs/ semana) durante este período.

Com vista a preparar a instalação dos leitos, em abril de 2020 foi efetuada a limpeza do leito da ribeira do Roxo que devido a se encontrar assoreado e com excesso de vegetação impossibilitava quase na totalidade a circulação de água, como é possível verificar na figura seguinte:



Figura 25 - Leito da Ribeira do Roxo, em abril 2020, antes da intervenção de limpeza.

Finalmente, em maio de 2020, após o aligeirar das condições de confinamento a que o país esteve sujeito que já permitiam o deslocamento entre concelhos, procedeu-se a 12 de maio ao povoamento das jangadas (leitos flutuantes) (Figura 26) e sua colocação na Ribeira do Roxo (RR) e na Ribeira de Água Forte (RAF). Os leitos flutuantes (LF) utilizados foram constituídos pelo suporte escolhido na Fase 3 deste trabalho; Rede em PEAD e Manta PEAD Orgânica no qual foram plantados “pés” da macrófita *Vetiveriaia Zizanioides* com 20 cm de caule/planta e densidade 40.5 plantas/m<sup>2</sup>



Figura 26 - Povoamento das jangadas com a macrófita Vetiveriaia zizanioides.

Foram colocados 3 leitos flutuantes (LFs) de 3.3 m<sup>2</sup> em cada curso de água, com uma densidade de povoamento de plantas de 40,5 plantas /m<sup>2</sup> e foram ancorados para evitar a sua deriva, para permitir o acesso à manutenção e para atender às variações do nível de água dentro dos corpos de água. Os leitos foram identificados da seguinte forma:

-RR1, RR2 e RR3 de acordo com a sua localização relativa ao sentido da corrente da Ribeira do Roxo (Figura 27) e

-RAF1, RAF2 e RAF3 de acordo com a sua localização relativa ao sentido da corrente da Ribeira de Água Forte (Figura 28).



Figura 27 - Colocação dos leitos flutuantes na ribeira do Roxo.



Figura 28 - Colocação dos leitos flutuantes na ribeira de Água Forte.

A instalação dos leitos à escala real ficou a cargo do Instituto Politécnico de Beja, da Associação de Beneficiários do Roxo e do agricultor António Manuel Rocha Parreira.

#### **Tarefa 4.2 - Manutenção e controlo dos leitos flutuantes à escala real**

Após instalação dos leitos flutuantes foi feita a sua manutenção, com a periodicidade mensal, que consistiu na limpeza dos cursos de água (remoção de vegetação e resíduos) e na medição das dimensões dos leitos (largura, profundidade e caudal).

Foi, efetuada, igualmente a monitorização do desenvolvimento da planta; contagem do nº de plantas e controlo do seu crescimento (medição da parte aérea e radicular). A avaliação do desempenho dos leitos foi efetuada mensalmente com a respetiva caracterização da água a montante (inlet) e a jusante (outlet) dos mesmos, bem como a medição dos caudais afluentes à ribeira de Água Forte e ribeira do Roxo e as dimensões dos leitos dos cursos de água.

Segue-se, quadro esquemático, Tabela 13, com as condições operacionais dos cursos de água onde decorreu o tratamento:

Tabela 13 - Caracterização dos 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 (m³/s)	0,12 ± 0,10	0,11 ± 0,20

Os dados meteorológicos referentes ao período de monitorização dos LFs encontram-se na Figura 29.

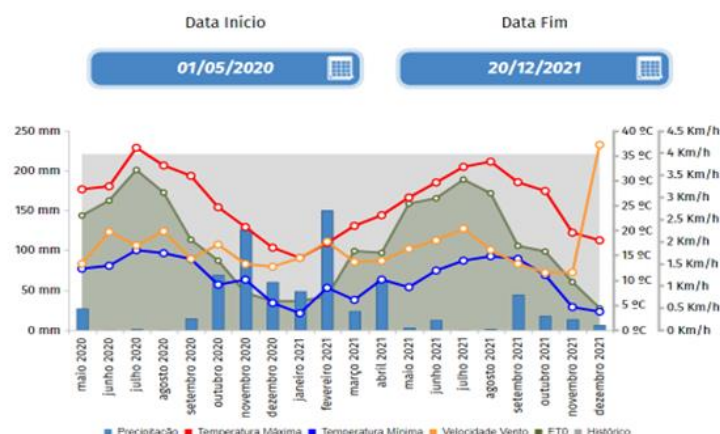


Figura 29 - Dados meteorológicos referentes ao período de monitorização do tratamento por LFs.

Visto em 2020 não ter sido possível apresentar os resultados completos desta tarefa apresentam-se, de seguida, e em conjunto com os de 2021 (maio de 2020 a novembro de 2021).

Os dados experimentais obtidos foram tratados, tendo-se calculado:

- A carga mássica por parâmetro/ ponto de amostragem;
- A eficiência de remoção/ parâmetro utilizando a expressão:

$$\%R = \frac{Inlet - Outlet}{Inlet} \times 100 \quad (Eq. 1)$$

- Com a eficiência de remoção média obtida, por parâmetro obteve-se a estimativa da área de tratamento necessária para obter a conformidade legal nas situações de incumprimento do anexo XVI do Decreto Lei 236/98- Tal foi feito, assumindo uma cinética de remoção de poluentes, de ordem zero (Kusin, 2018).

#### **Tarefa 4.2.1 - Principais resultados**

Apresentam-se separadamente os resultados obtidos em ambas as massas de água analisadas: Ribeira e Água Forte e Ribeira do Roxo.

##### **Tarefa 4.2.1.1 - Desempenho do Tratamento dos Leitões Flutuantes| Monitorização físico-química da qualidade da água da Ribeira de Água Forte**

A caracterização da qualidade físico-química da água da ribeira de Água Forte que foi feita ao longo dos anos do presente projeto mostrou que: pH,  $SO_4^{2-}$ , Cl<sup>-</sup>,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ , excedem os valores máximos recomendados (VMR) e o metal Zn <sup>2+</sup> assume valores superiores ao valor máximo admissível (VMA) do Decreto Lei 236/98 de 1 de agosto, no que se refere à qualidade da água para rega (Anexo XVI). Apresenta, também, incumprimento do parâmetro pH e  $NH_4^+$ , sendo classificada de Estado ecológico mau, quando avaliada apenas para os parâmetros físico-químicos.

Os resultados da monitorização físico-química da qualidade da água da ribeira da Água Forte e seu tratamento estatístico, o cálculo das cargas mássicas afluídas e taxas de remoção obtidas, relativos aos parâmetros que apresentaram incumprimento durante o período de tempo do tratamento com as jangadas flutuantes, e outros que são indicativos de qualidade de massas de água encontram-se na tabela 14.

Tabela 14 - Resultados obtidos da performance dos leitos flutuantes ao longo do período de monitorização na ribeira de Água Forte: Concentrações de entrada (Inlet), Concentrações de saída (Outlet), Cargas mássicas e Percentagens de remoção. (Média ± DP, n=3).

Meses	maio	jun.	jul.	ag.	set.	out.	nov.	dez.	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ag.	set.	out.	nov.	
	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	
<b>Parâmetros</b>																				
<b>pH (Inlet)</b>																				
pH (escala Sorensen)	3,1±0,3	3,3±0,2	3,2±0,3	-	3,5±0,2	4±0,3	3,5±0,4	4,0±0,1	-	3,1±0,2	3,1±0,3	3,0±0,5	3,1±0,3	3,3±0,1	3,5±0,5	4,5±0,1	3,7±0,w	5±0,3	5,6±0,1	
<b>pH (Outlet)</b>																				
pH (escala Sorensen)	2,7±0,3	2,8±0,2	3,0±0,3	-	3,7±0,2	4,1±0,3	3,5±0,4	4,6±0,1	-	3,4±0,2	3,1±0,3	3,9±0,5	3,1±0,3	3,6±0,1	3,4±0,5	3,4±0,1	3,1±0,2	3,1±0,3	4,1±0,1	
<b>CE (Inlet)</b>																				
CE( ms/cm)	2,4±0,4	2,0±0,3	1,9±0,1	-	2,0±0,1	2,0±0,2	1,7±0,1	1,3±0,2	-	2,1±0,1	1,3±0,4	2,4±0,2	2,2±0,2	2,4±0,2	2,2±0,2	2,0±0,1	2,2±0,4	2,5±0,8	1,8±0,5	
<b>CE (Outlet)</b>																				
CE( ms/cm)	2,4±0,4	1,8±0,3	1,8±0,1	-	2,0±0,3	1,8±0,1	1,6±0,7	1,2±0,7	-	2,0±0,1	1,2±0,3	2,3±0,6	2,2±0,3	2,3±0,2	2,1±0,8	2,0±0,5	2,2±0,3	2,0±0,5	1,9±0,3	
<b>OD (Inlet)</b>																				
[OD] (mg/L)	6±0,9	7±1	7±1	-	5±1	6±1	2±2	9±1	-	7±1	9±1	8±1	6±1	6±1	7±1	5±1	3±1	4±1	6±1	



<b>OD (Outlet)</b>																			
[OD] (mg/L)	6±0,9	8±1	6±1	-	5±1	2±1	2±2	10±1	-	7±1	10±1	8±1	6±1	7±1	7±1	5±1	4±1	5±1	6±1
<b>CQO (Inlet)</b>																			
[CQO] (mg/L O <sub>2</sub> )	-	55±3±	23±2	-	18±2	39±4	15±1	18±1	-	39±3	110±8	86±5	83±5	50±5	35±4	50±4	75±3	50±3	220±6
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)		27,3	8,8	-	10,4	15,8	11,7	4,1	-	761	186,2	56,2	7,6	3,4	3,2	3,4	32,8	301,3	77,4
<b>CQO (Outlet)</b>																			
[CQO] (mg/l O <sub>2</sub> )	-	50±2	20±1	-	18±2	32±2	9±2	24±1	-	130±4	95±3	75±2	85±4	45±3	50±2	63±2	32±2	45±1	155±5
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	-	14,8	7,7	-	10,6	13,0	7,5	5,4	-	711,7	160,8	49,0	7,8	3,1	4,0	6,0	14,0	30,1	22,9
R (%)	-	9,1	13,0	-	0	17,9	36,1	0	-	6,5	13,6	12,8	0	10,0	0	0	57,3	10	29,5
<b>Cl<sup>-</sup> (Inlet)</b>																			
[Cl <sup>-</sup> ] (mg/L)	250±6	200±4	220±3	-	520±4	313±2	315±4	540±2	-	210±3	147±2	230±1	238±3	220±2	217±3	241±1	326±1	252±2	181±2
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	149,7	99,4	84,6	-	307,7	126,9	253,1	120,9	-	1149,6	248,9	150,3	21,8	15,1	17,5	23,2	1492,9	1518,8	63,7
<b>Cl<sup>-</sup> (Outlet)</b>																			
[Cl <sup>-</sup> ] ( mg/L )	250±2	160±3	170±1	-	460±3	600±3	280±3	490±4	-	192±5	114±6	181±4	220±1	227±3	220±2	238±3	316±5	248±5	178±4
CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	149,7	79,4	65,4	-	272,1	243,2	225,0	109,7	-	1049,4	152,3	118,3	20,1	15,5	17,8	22,9	138,2	1497,4	62,4
R (%)	0	20,1	22,7	-	11,5	0	11,1	9,3	-	8,7	22,7	21,3	7,5	0	0	1,4	3,3	1,4	1,9

Tabela 14 - Resultados obtidos da performance dos leitos flutuantes ao longo do período de monitorização na ribeira de Água Forte: Concentrações de entrada (Inlet), Concentrações de saída (Outlet), Cargas mássicas e Percentagens de remoção. (Média ± DP, n=3) ( cont.).

Meses	maio 2020	jun. 2020	jul. 2020	ag. 2020	set. 2020	out. 2020	nov, 2020	dez. 2020	jan. 2021	fev. 2021	mar. 2021	abr. 2021	maio 2021	jun. 2021	jul. 2021	ag. 2021	set. 2021	out. 2021	nov, 2021
<b>Parâmetros</b>																			
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Inlet)</b>																			
[ NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] (mg/L)	5±0,5	6±0,5	8±1	-	4±1	3±0,2	3±0,5	3±0,7	8±0,3	10±0,1	6±0,5	6±0,3	6±0,8	11±1	8±0,6	26±2	24±0,3	18±1	9±0,9
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	3,7	3,4	3,8	-	3,0	1,6	3,3	0,8		54,7	21,2	5,1	0,7	0,5	1,1	1,0	13,8	173,1	7,9
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Outlet)</b>																			
[ NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] (mg/L)	6±0,5	5±0,5	10±0,5	-	4±0,5	2±0,5	4±0,5	2±0,5	-	7±0,5	10±0,5	5±0,5	5±0,5	14±0,5	11±0,5	11±0,5	30±0,5	24±0,5	20±0,5
CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	3,6	2,5	3,7	-	2,5	0,9	2,9	0,5	-	38,3	16,4	3,5	0,5	0,3	1,1	1,0	13,3	14,7	7,0
R (%)	3,2	27,5	3,0	-	14,0	45,0	12,2	37,8	-	30,0	22,3	32,1	29,4	36,6	0	0	3,3	16,1	11,0
<b>Pt (Inlet)</b>																			
[Pt ] (mg/L)	-	0,06±0,5	-	-	0,09±0,02	0,69±0,2	0,07±0,01	0,01±0,5	-	0,03±0,01	0,03±0,02	0,03±0,03	0,05±0,015	0,05±0,01	0,08±0,01	0,1±0,01	0,5±0,01	0,4±0,01	0,7±0,02
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	-	0,03	-	-	0,05	0,28	0,05	0	-	0,14	0,05	0,02	0	0	0,01	0,01	0,21	2,64	0,25
<b>Pt (Outlet)</b>																			
[Pt] (mg/L)	-	0,05±0,0	-	-	0,07±0,01	0,61±0,02	0,05±0,02	0,02±0,01	-	0,02±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01	0,02±0,01	0,04±0,01	0,04±0,02	0,1±0,01	1,0±0,1	0,6±0,1	0,7±0,1
CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	-	0,02	-	-	0,04	0,25	0,04	0	-	0,09	0,05	0,02	0	0	0	0,01	0,45	3,56	0,23
R (%)	-	23,3	-	-	12,9	11,4	27,7	0	-	36,0	15,6	23,5	48,9	35,2	48,1	0	0	0	9,9

<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Inlet)</b>	-																		
[ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ](mg/L)	750± 5	70± 1	650± 3	-	761± 5	126± 3	821± 2	882± 2	-	600± 2	750± 2	796±3	700± 1		679±1	550±2	647±2	590±2	597± 3
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	449,1	357,8	249,9	-	450,1	512,8	659,6	197,5	-	3284, 6	1269,8	520,3	64,1	0	54,8	52,9	283,0	3553, 7	209,9
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Outlet)</b>									-										
[ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] (mg/L)	750± 2	695± 4	600± 1	-	640± 2	1200 ± 3	510± 2	840± 1	-	521± 2	529± 3	739± 4	703± 3		681± 2	569± 1	757± 2	597± 3	603± 1
CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	494,1	345,3	230,7	-	378,6	486,5	409,8	188,1	-	2852, 1	895,6	483,0	64,3		55,0	54,8	331,0	3596, 7	211,9
R (%)	0	3,5	7,7	-	15,9	5,1	37,9	4,8	-	13,2	29,5	7,2	0		0	0	0	0	0
<b>Zn<sup>2+</sup> (Inlet)</b>																			
[ Zn <sup>2+</sup> ](mg/L)	10± 0,9	4± 05	4± 0,4	-	2± 0,2	3± 0,2	6± 1	7± 0,9	-	14± 2	21± 1	18± 1	12± 0,9	9± 0,8	3± 0,2	2± 0,3	3± 0,2	3± 0,4	9± 02
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	6,1	2,0	1,5	-	1,0	10	4,9	1,5	-	78,4	35,6	11,8	1,1	0,6	0,3	0,2	1,2	18,8	3,0
<b>Zn<sup>2+</sup> (Outlet)</b>																			
[ Zn <sup>2+</sup> ] (mg/L)	8± 1	3± 0,9	3± 0,5		1± 0,01	1± 0,5	11± 2	5± 0,9	-	10± 1	19± 0,7	15± 0,6	10± 0,9	6± 0,7	3± 0,1	2± 0,3	3± 0,7	2± 0,5	9± 0,9
CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	4,7	1,7	1,1		0,5	0,6	8,8	1,2	-	52,6	31,7	9,8	0,9	0,4	0,2	0,1	1,3	13,5	3,1
R (%)	22,5	15,9	27,8		49,1	44,0	0	20,3	-	33,0	11,0	16,7	18,1	29,6	10,3	38,4	0	28,1	0

Tabela 14 - Resultados obtidos da performance dos leitos flutuantes ao longo do período de monitorização na ribeira de Água Forte: Concentrações de entrada (Inlet), Concentrações de saída (Outlet), Cargas mássicas e Percentagens de remoção. (Média ± DP, n=3) (cont.).

Meses	maio 2020	jun. 2020	jul. 2020	ag. 2020	set. 2020	out. 2020	nov, 2020	dez. 2020	jan. 2021	fev. 2021	mar. 2021	abr. 2021	maio 2021	jun. 2021	jul. 2021	ag. 2021	set. 2021	out. 2021	nov, 2021	
<b>Parâmetros</b>																				
<b>Fe<sup>2+</sup> (Inlet)</b>																				
[ Fe <sup>2+</sup> ](mg/L)	4± 0,5	7± 1	6± 0,4	-	2± 0,2	1± 0,3	4± 0,9	3± 1	-	7± 0,9	12± 0,3	11± 1	5± 0,8	7± 0,4	19± 0,6	5± 0,4	2± 0,3	2± 0,4	1± 0,5	
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	2,3	3,4	2,3	-	1,1	0,5	0,6	3,3	-	40,7	20,7	7,0	0,5	0,5	1,6	0,5	1,0	13,4	0,4	
<b>Fe<sup>2+</sup> (Outlet)</b>																				
[ Fe <sup>2+</sup> ] (mg/L)	4± 0,5	1± 0,01	2± 0,3	-	1± 0,1	0± 0,07	2± 0,5	0± 0,01	-	1± 0,2	10± 0,5	6± 0,6	3± 0,5	1± 0,1	13± 0,5	2± 0,7	2± 0,2	2± 0,4	1± 0,1	
CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	2,3	0,7	0,7	-	0,6	0,1	1,3	0,1	-	3,7	16,5	4,1	0,3	0	1,0	0,2	0,9	9,2	0,3	
R (%)	0	78,8	70,3	-	50,8	69,9	61,2	87,7	-	90,7	20,4	41,7	36,1	90,8	33,3	55,6	9,8	31,1	19,5	
<b>Cu<sup>2+</sup> (Inlet)</b>																				
[ Cu <sup>2+</sup> ](mg/L)	1,9± 0,6	2,3± 0,5	1,2± 0,4	-	1,6± 0,9	2,0± 0,7	1,1± 0,8	1,2± 0,5	-	3,6± 0,3	5,3± 0,4	2,5± 0,7	1,5± 0,7	0,5± 0,05	0,0± 0,01	0,1± 0,02	0,5± 0,01	0,2± 0,02	1,1± 0,2	
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	1,1	1,1	0,5	-	0,9	0,8	0,9	0,3	-	19,7	8,7	1,6	0,1	0	0	0	0,2	1,4	0,4	
<b>Cu<sup>2+</sup> (Outlet)</b>																				
[ Cu <sup>2+</sup> ] (mg/L)	1,8± 0,5	0,5± 0,01	0,8± 0,04	-	0,1± 0,01	0,1± 0,01	1,9± 0,4	1,7± 0,4	-	2,3± 0,5	4,9± 0,4	1,8± 0,3	1,3± 0,3	0,6± 0,02	0± 0,01	0± 0,01	0,5± 0,03	0,3± 0,01	1,2± 0,3	
CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	1,1	0,3	0,3	-	0	0	1,5	0,4	-	12,7	8,3	1,2	0,1	0	0	0	0,2	2,0	0,4	
R (%)	0,5	77,8	33,3	-	96,9	97,0	0	0	-	35,6	6,7	28,0	11,3	0	0	57,3	0	0	1,8	

<b>Mn<sup>2+</sup> (Inlet)</b>																			
[ Mn <sup>2+</sup> ](mg/L)	7,8± 1	6,1± 0,9	9,1± 0,9	-	5,0± 0,5	2,6± 0,8	5,0± 0,3	3,6± 0,2	-	6,3± 0,9	5,4± 0,7	11,2± 1	7,8± 0,9	5,9± 0,5	10,6± 0,6	6,9± 0,5	4,0± 0,4	5,2± 0,8	7,2± 0,5
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	4,7	3,0	3,5	-	3,0	1,1	4,0	0,8	-	34,5	9,1	7,3	0,7	0,4	0,9	0,7	1,7	31,4	2,5
<b>Mn<sup>2+</sup> (Outlet)</b>																			
[ Mn <sup>2+</sup> ] (mg/L)	7,8± 0,6	3,3± 0,4	4,7± 0,5	-	3,2± 0,2	0,8± 0,1	1,6± 0,5	2,1± 0,2	-	3,9± 0,2	5,1± 0,2	6,0± 0,5	6,3± 0,5	7,1± 0,3	4,8± 0,3	4,8± 0,6	3,9± 0,2	6,6± 0,5	5,8± 0,7
CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	4,7	1,6	1,8	-	1,9	0,3	1,3	0,5	-	21,3	8,6	3,9	0,6	0,5	0,4	0,5	1,7	39,9	2,1
R (%)	0	46,6	48,7	-	36,0	68,1	67,9	42,0	-	38,1	5,6	46,4	19,6	0	54,2	29,5	2,2	0	18,4

A representação gráfica dos resultados, relativos às cargas mássicas afluídas e contidos na tabela 14, apresentam-se nas Figuras 30, 31, 32 e 33.

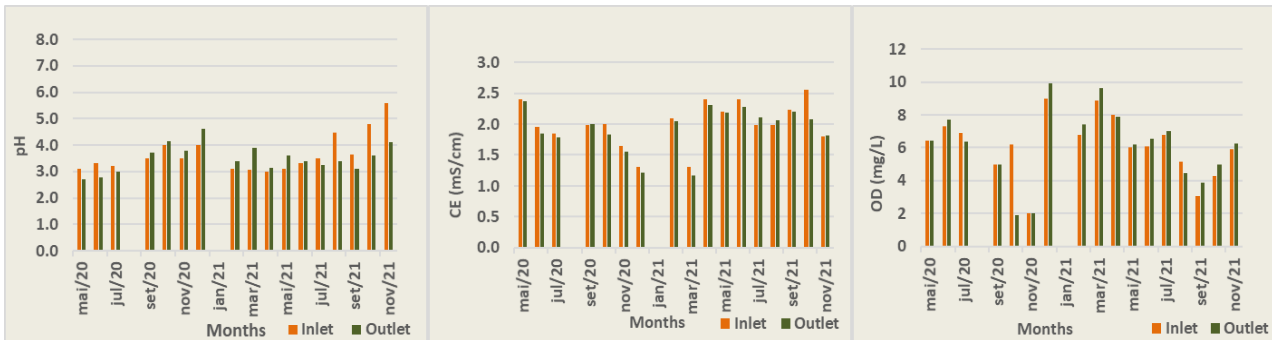


Figura 30 - Evolução dos teores dos parâmetros pH, Oxigénio dissolvido (OD) e Condutividade Elétrica (CE) medidos a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira de Água Forte ao longo do período de monitorização.

O efeito das características mineiras ácidas da ribeira de Água Forte está patente nos níveis baixos de pH medidos ao longo do período de monitorização apresentando, contudo, tendência para o seu aumento e parecendo que leitos tiveram um efeito estabilizador do mesmo.

O oxigénio dissolvido (OD) é um importante indicador do estado ecológico das massas de água superficiais e os LF com macrófitas de raízes de grande desenvolvimento vertical (o que acontece na utilizada neste estudo) potencia o aumento dos níveis de oxigénio em profundidade. Os resultados obtidos mostram que os níveis de oxigénio que afluem aos LFs são baixos (inlet), mas o seu efeito benéfico pareceu fazer-se sentir em todos os meses monitorizados, constatando-se, sempre um ligeiro aumento após a passagem por estes (outlet).

A condutividade elétrica (Ec) foi sempre muito elevada, tanto a montante como a jusante dos LFs e indica que esta massa de água apresenta risco de salinidade moderado ( $E_c=700-3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Porém, o efeito dos leitos flutuantes foi benéfico, pois ocorreu diminuição deste parâmetro em quase todos os meses de monitorização.

Apresenta-se, de seguida, nas figuras seguintes a representação gráfica da variação das cargas mássicas a montante (Inlet) e jusante (Outlet) dos leitos flutuantes e as taxas de remoção obtidas ao longo do período de monitorização da ribeira de Água Forte.

Os resultados relativos ao parâmetro carência Química em Oxigênio (CQO), Azoto amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e Cloretos (Cl<sup>-</sup>) encontram-se Figura 31.

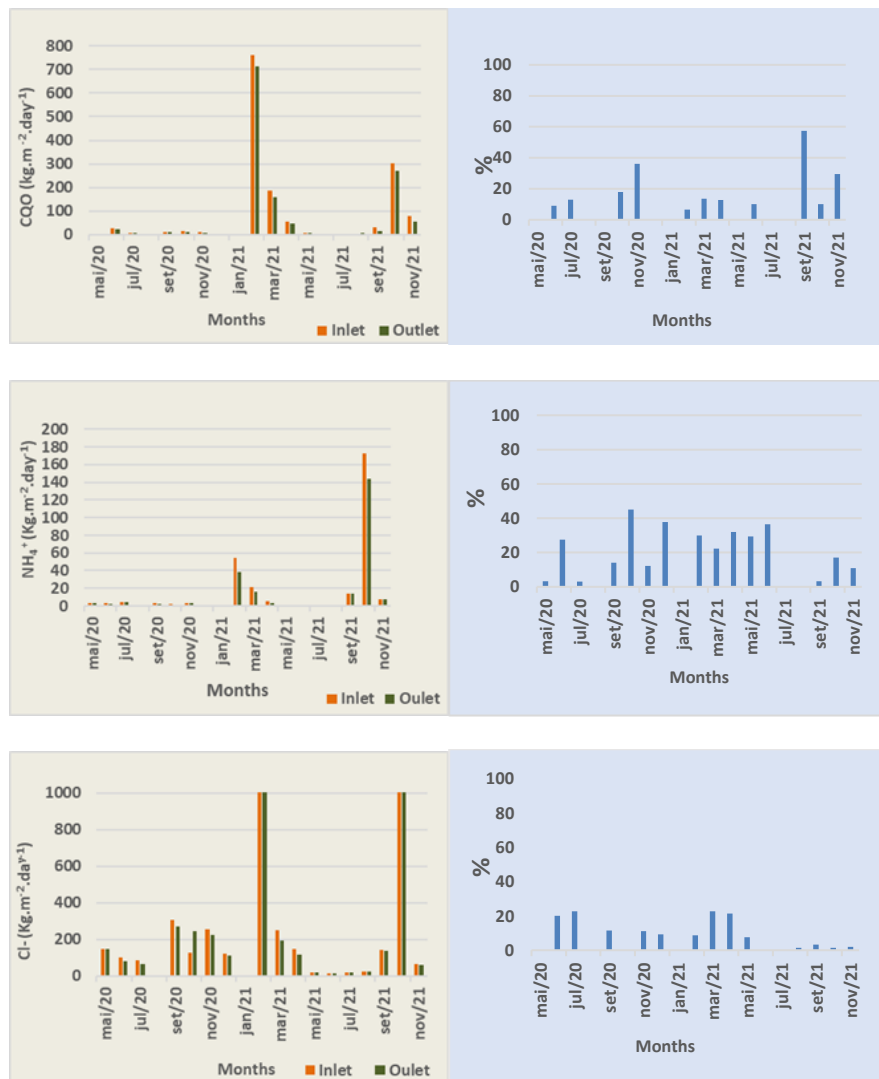


Figura 31 - Cargas mássicas referente aos parâmetros Carência Química em Oxigênio (CQO), Azoto amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e Cloretos (Cl<sup>-</sup>), obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira de Água Forte ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida.

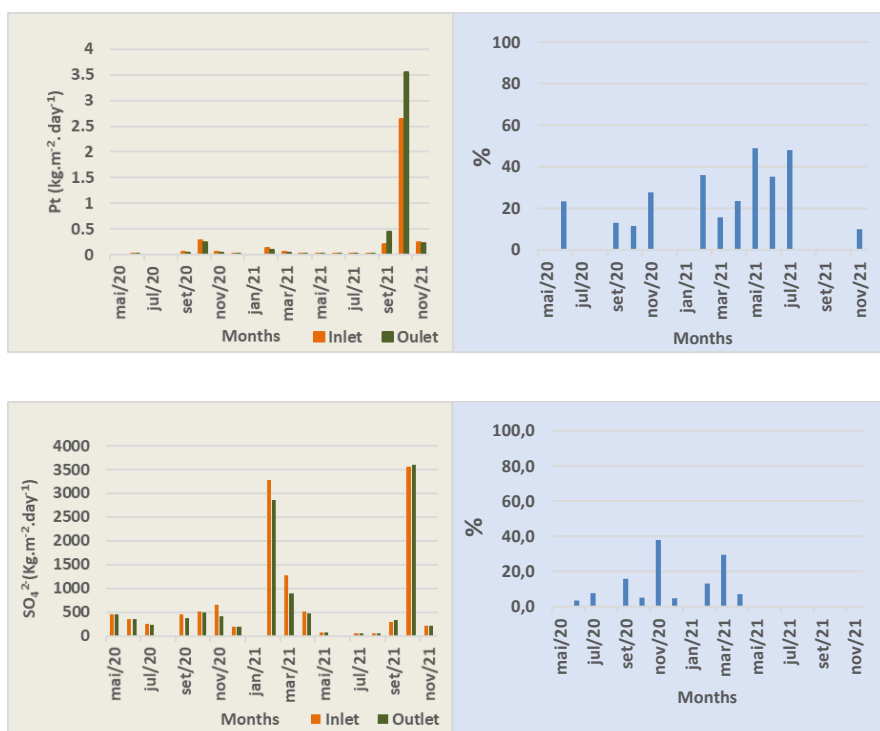
As cargas mássicas, como é de esperar, estão muito dependentes dos caudais que afluem aos cursos de água. Assim, estas foram sempre baixas com exceção dos meses em que a pluviosidade foi intensa. Por outro lado, parece não haver uma relação direta entre o aumento da carga mássica e a capacidade de remoção do poluente pela ação depuradora dos leitos.

De fato, as remoções de CQO foram muito variáveis e de um geral abaixo dos 20% em quase os meses com exceção dos meses de novembro de 2020 (36,1%) e setembro de 2021 (57,3%). Este parâmetro não constando das normas de qualidade relativas à qualidade da água para rega é, contudo, um indicador importante para a qualidade do seu estado ecológico.

Para o parâmetro azoto amoniacal parece ter ocorrido uma maior constância nas remoções obtidas ao longo do período de monitorização. De todo o modo, estas foram sempre baixas, atingindo-se o valor máximo de 45% no mês de outubro de 2020.

Os LFs parecerem não contribuir para a melhoria da qualidade da água relativamente ao parâmetro cloretos a partir de junho de 2021.

Para os parâmetros Fósforo Total (Pt), Sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) e metal Zinco ( $Zn^{2+}$ ) os resultados encontram-se na Figura 32.





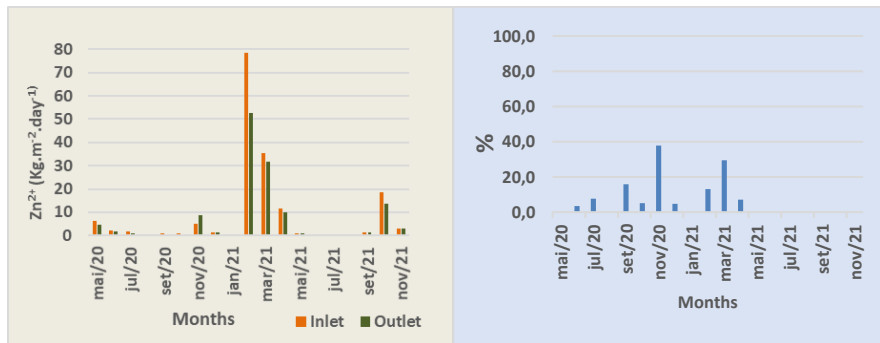
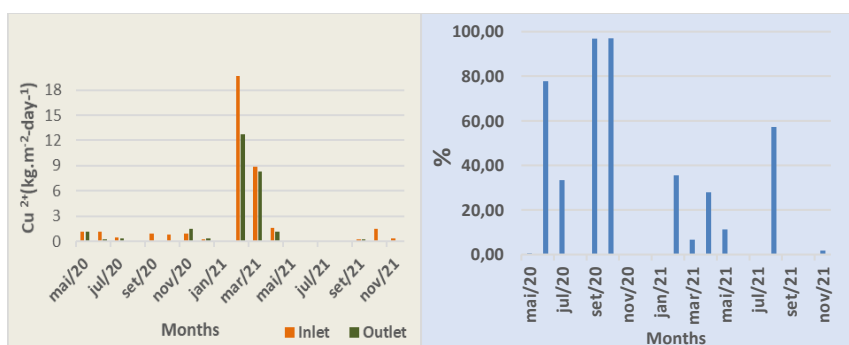


Figura 32 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, Fósforo Total (Pt), Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) e metal Zinco (Zn<sup>2+</sup>) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira de Água Forte ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida.

Para os três parâmetros representados na Figura 32, somente o fósforo total parece ter mantido alguma regularidade em termos de remoção ao longo do tempo. Sendo o fósforo um nutriente muito importante para o desenvolvimento das plantas e existindo valores muito baixos na ribeira em análise, pode-se dizer que aquela recorre ao nutriente para se manter e crescer.

De fato, os parâmetros sulfatos e o metal zinco, para além de terem alcançado remoções baixas em 2020 a partir de 2021 os LFs não tiveram efeito na remoção destes compostos. Para o primeiro composto este comportamento é confirmado pela literatura (Chen et al., (2016).

Para os parâmetros Cobre (Cu<sup>2+</sup>), Ferro (Fe<sup>2+</sup>) e Manganês (Mn<sup>2+</sup>) os resultados apresentam-se na Figura 33.



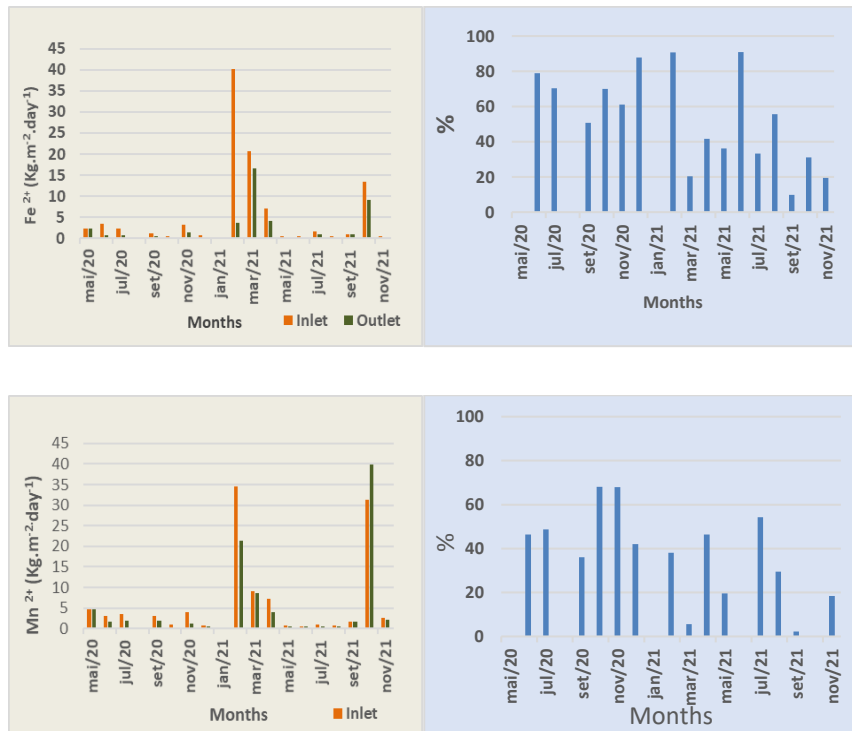


Figura 33 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, (  $\text{Cu}^{2+}$  ), Ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e Manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira de Água Forte ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida.

Como se pode observar da figura acima, pode-se dizer que os metais são os compostos que apresentam maiores taxas de remoção independentemente da carga afluída. Os três metais, para além de apresentarem ao longo dos meses de monitorização s sempre remoções significativas, atingem as remoções de sensivelmente 96% no caso do cobre, 93% no caso do ferro e menos eficiente o manganês que se fica pelos 68%.

#### Tarefa 4.2.1.1.1 - Estimativa da área necessária dos leitos flutuantes na ribeira de Água Forte

Com base nos dados contidos na tabela 14 e Figuras 31,32 e 33 relativos às taxas de remoção dos parâmetros analisados, obtidas na sequência do tratamento efetuado pelos leitos flutuantes na ribeira de Água Forte estimou-se a área necessária de tratamento para se poder alcançar cumprimento do Anexo XVI do DL 236/98 de 1 de Agosto de 1998.

Esta, foi feita, assumindo uma cinética de remoção de ordem zero (Kusin, et al., 2019).

Os resultados obtidos encontram-se na tabela 15.

Tabela 15 - Estimativa da área dos leitos flutuantes para haver cumprimento do Anexo XVI do DL 236/98 de 1 de Agosto.

Parâmetro	Taxa de remoção mínima (%)	Taxa de remoção máxima (%)	Taxa de remoção média (%)	Área necessária (m <sup>2</sup> )	Obs.
CQO	0,0	57,3 <sup>(*)</sup>	13,5±12,0	-	(*)- set/21
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,0	45,0 <sup>(*)</sup>	17,0± 15,0	288	(*)- dez/20
Cl <sup>-</sup>	0,0	22,7 <sup>(**)</sup>	9,0±8,0	513	(**)-mar/20
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,0	37,8 <sup>(***)</sup>	8,0±12,0	107	(***)-nov/20
Pt	0,0	48,9 <sup>(****)</sup>	19,5±16,0	102	(****)-jul/20
Zn 2+	0,0	49,1 <sup>(*)</sup>	21,5±15,0	83	(*)- set/20
Cu 2+	0,0	96,8 <sup>(**)</sup>	29,6±20,0	145	(**)-set/20
Fe 2+	9,8	90,8 <sup>(***)</sup>	49,8±29,0	23	(***)-fev/21
Mn 2+	0,0	68,0 <sup>(****)</sup>	37,3±20,5	423	(****)-jul/20

Como conclusão geral, para o tratamento efetuado na ribeira de Água Forte, pode-se dizer que as eficiências de remoção variaram muito, consoante o parâmetro analisado, variações de [0,0% - 96,8%] e com valores médios de [8,0±12,0; 49,8±29,0]. Quanto à área de tratamento necessária para se poder obter taxas de remoção que permitam que todos os parâmetros se encontrem de acordo com a legislação são todos relativamente baixos,

assumindo-se como área necessária para reabilitar a qualidade da ribeira de Água Forte o valor de 423 m<sup>2</sup>, valor mais elevado, e devido ao parâmetro manganés.

#### **Tarefa 4.2.1.2 - Desempenho do Tratamento dos Leitões Flutuantes| Monitorização físico-química da qualidade da água da ribeira do Roxo.**

A caracterização da qualidade físico-química da água da ribeira do Roxo e que foi feita ao longo dos anos do presente projeto mostrou que os parâmetros: Cl<sup>-</sup>, SST, Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> e Mn<sup>2+</sup>, excedem o valor máximo recomendável (VMR) do Decreto Lei 236/98 de 1 de agosto, no que se refere à qualidade da água para rega (Anexo XVI). Apresenta, também, incumprimento dos parâmetros, pH, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e P<sub>total</sub> na classificação do Estado Ecológico, sendo, pois, classificada de Estado ecológico mau, quando avaliada para os parâmetros físico-químicos.

Os resultados da monitorização físico-química da qualidade da água da ribeira do Roxo e seu tratamento estatístico, o cálculo das cargas mássicas afluídas e taxas de remoção obtidas, relativos aos parâmetros que apresentaram incumprimento durante o período de tempo do tratamento com as jangadas flutuantes, e outros que são indicadores específicos de qualidade de massas de água encontram-se na tabela 17.

Tabela 16 - Resultados obtidos da performance dos leitos flutuantes ao longo do período de monitorização na ribeira do Roxo: Concentrações de entrada (inlet), Concentrações de saída (outlet), Cargas mássicas e Percentagens de remoção. (Média ± DP, n=3).

Meses	maio	jun.	jul.	ag.	set.	out.	nov,	dez.	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ag.	set.	out.	nov,	
	2020	2020	2020	2020.	2020	2020	2020	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	
<b>Parâmetros</b>																				
<b>pH (Inlet)</b>																				
H (escala Sorensen)	6,0±0,3	6,0±0,1	4,7±0,3	-	5,6±0,2	7,1±0,5	6,4±0,3	5,9±0,2	-	6,0±0,2	5,5±0,6	6,3±0,3	6,6±0,5	6,5±0,2	5,7±0,3	5,9±0,4	6,4±0,1	5,7±0,3	6,0±0,4	
<b>pH (Outlet)</b>																				
H (escala Sorensen)	6,30±0,3	6,40±0,4	5,00±0,1	-	5,90±0,3	7,30±0,2	6,50±0,3	6,00±0,4	-	6,00±0,3	5,50±0,3	6,3±0,1	7,0±0,4	6,50±0,2	6,90±0,2	6,60±0,4	6,40±0,6	7,00±0,2	6,90±0,3	
<b>CE (Inlet)</b>																				
CE (ms/cm)	2,0±0,7	1,4±0,1	1,4±0,4	-	1,4±0,5	1,4±0,7	1,3±0,3	1,4±0,7	-	1,8±0,1	1,5±0,7	1,6±0,3	1,4±0,1	1,3±0,4	1,5±0,2	1,6±0,7	1,8±0,1	1,6±0,4	1,4±0,2	
<b>CE (Outlet)</b>																				
CE (ms/cm)	2,25±0,1	1,1±0,3	1,2±0,1	-	1,3±0,5	1,2±0,2	1,6±0,1	1,1±0,4	-	1,6±0,1	1,4±0,2	1,7±0,3	1,6±0,1	1,6±0,4	1,4±0,2	1,6±0,4	1,8±0,1	1,6±0,3	1,4±0,1	
<b>OD (Intlet)</b>																				
[OD] (mg/L)	7±0,9	8±0,3	7±1	-	5±0,8	8±2	7±06	8±1	-	8±0,6	10±0,5	6±1	6±0,5	7±0,6	6±05	8±1	4±1	5±0,4	7±0,5	
<b>OD (Outlet)</b>																				
[OD] (mg/L)	7±10,7	8±0,5	7±1	-	6±0,4	8±0,7	8±0,4	12±0,6	-	8±1	10±0,9	9±0,1	9±0,1	7±0,8	8±0,1	8±0,1	4±0,3	5±0,2	6±1	
<b>SST (Intlet)</b>																				
[SST] (mg/L)	36±0,4	20±0,3	23±0,2	-	19±0,4	16±0,2	18±1	400±3	-	200±4	390±3	120±1	100±1	90±2	280±2	12±0,4	19±1	5±0,4	50±2	

CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	24,6	9,8	6,1	-	19,1	13,7	56,4	88,4	-	889,0	1156,4	93,3	10,7	7,8	278,2	1,3	21,7	14,0	5,0
<b>SST (Outlet)</b>																			
[SST] (mg/L)	30±1	17±1	17±0,5	-	23±2	23±1	17±4	350±4	-	200±3	350±1	100±2	71±4	79±5	102±3	10±3	16±1	10±1	65±2
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	20,5	8,4	4,5	-	23,1	19,7	53,3	77,4	-	889,1	1037,8	77,8	7,6	6,9	101,3	1,1	18,3	28,0	6,5
R (%)	0	15	26,1	-	0	0	5,5	12,5	-	0	10,2	16,7	29,0	12,2	0	16,6	15,6	0	0
<b>SDT (Inlet)</b>																			
[SDT] (mg/L)	986	890	800	-	825	760	820	700	-	790	610	817	820	823	800	798	910	808	724
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	674,7	438,3	210,5	-	826,8	650,1	2571,8	154,9	-	3511,9	1808,8	635,3	87,9	71,9	794,9	85,2	1042,6	2262,6	72,9
<b>SDT (Outlet)</b>																			
[SDT] ( mg/L O <sub>2</sub> )	984	820	680	-	738	713	755	601	-	827	668	796	801	792	715	795	919	808	738
CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	637,3	403,8	178,9	-	739,1	609,9	2367,9	132,9	-	3674,0	1980,8	618,9	85,8	69,1	710,4	84,9	1052,3	2263,9	74,3
R (%)	0,20	7,9	15	-	10,6	6,2	7,9	14,1	-	0	0	2,5	2,3	3,8	10,6	2,3	3,8	0	0

Tabela 16 - Resultados obtidos da performance dos leitos flutuantes ao longo do período de monitorização na ribeira do Roxo: Concentrações de entrada (Inlet), Concentrações de saída (Outlet), Cargas mássicas e Percentagens de remoção.(Média ± DP, n=3) (cont.)

Meses	maio	jun.	jul.	ag.	set.	out.	nov,	dez.	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ag.	set.	out.	nov,
	2020	2020	2020	2020.	2020	2020	2020	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
Parâmetros																			
<b>CQO (Inlet)</b>																			
[CQO] (mg/L O <sub>2</sub> )	13	45	29		52	65	36	150	-	70	30	15	95	60	15	110	115	30	190
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	8,9	22,2	7,6		52,1	55,2	112,9	33,2	-	311,2	88,9	11,7	10,2	5,2	14,9	11,7	131,8	84,0	19,1
<b>COD (Outlet)</b>																			
[CQO] ( mg/L O <sub>2</sub> )	-	15	13		14	27	30	149	-	22	18	50	88	25	30	28	18	12	135



CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	-	7,4	3,4		14,0	23,0	94,1	30,9	-	97,8	53,4	38,9	9,4	2,1	29,8	2,93	20,0	33,7	13,6
R (%)	-	66,6	55,2		73,1	58,1	16,7	6,7	-	68,6	0,4	0	7,9	58,3	0	75,0	84,8	60,0	28,9
<b>Cl<sup>-</sup> (Inlet)</b>																			
[Cl <sup>-</sup> ] (mg/L)	263	368	374		429	1020	1250	1000	-	350	110	250	386	310	341	231	295	234	160
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	180	181,3	98,4		430,2	872,5	3920,4	221,2	-	1555,9	326,2	194,4	41,4	27,1	338,6	24,6	337,6	656,5	16,1
<b>Cl<sup>-</sup> (Outlet)</b>																			
[Cl <sup>-</sup> ] (mg/L)	263	180	500		310	950	1300	770	-	256	103	224	245	323	199	288	238	153	406
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	180	87,4	131,5		310,7	812,6	4077,2	170,3	-	1136,2	305,3	173,9	37,7	21,3	320,4	21,2	329,4	666,6	15,4
R (%)	0	51,7	0		27,8	6,9	0	23,0	-	26,9	6,4	10,5	8,9	20,9	5,2	13,8	2,4	0	4,4
<b>Pt (Inlet)</b>																			
[Pt] (mg/L)	0,02	0,5	0,03		0,1	0,2	0,3	0,2	-	0,1	0,3	0,02	0,1	0,04	0,1	0,09	0,6	0,4	0,8
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	0,01	0,2	0,007		0,1	0,2	0,9	0,04	-	0,44	0,89	0,01	0,01	0,003	0,1	0,01	0,66	1,2	0,07
<b>Pt (Outlet)</b>																			
[Pt] (mg/L)	-	0,05	0,05		0,04	0,06	0,06	0,5	-	0,01	0,03	0,02	0,02	0,05	0,05	0,09	0,7	0,6	0,5
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	-	0,02	0,01		0,04	0,06	0,19	0,11	-	0,06	0,08	0,01	0,002	0,004	0,05	0,01	0,78	1,6	0,05
R (%)	-	22,2	0		6,1	12,1	74,9	0	-	38,2	80,6	0,07	0,9	0	5,8	0	0	0	2,0
<b>Nkej (Inlet)</b>																			
[NKej] (mg/L)	3	3	3		2	1	7	4	-	11	5	12	4	10	6	14	24	18	11
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	2,0	1,4	0,8		2,0	0,9	21,9	0,90	-	48,9	14,8	9,3	0,43	0,86	5,6	1,5	27,3	49,1	1,1
<b>Nkej (Outlet)</b>																			
[Nkej] (mg/L)	6	1	1		1	1	5	4	-	13	4	5	7,0	5	19	8	20	15	7
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)		3,0	0,18		0,5	0,4	15,1	1	-	56,1	12,5	3,8	0,8	0,4	9,7	0,82	22,5	43,2	0,7
R (%)		0	76,6		73,5	50,0	31,4	0	-	0	16,0	59,2	0	50,0	0	45,0	17,6	12,0	36,9
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Inlet)</b>																			
[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] [(mg/L)	0,5	0,4	0,4		0,3	0,2	4,5	3,3	-	2,8	4,0	2,4	1,1	1,8	2,5	3,2	21,7	11,2	5,6



CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	0,3	0,2	0,1		0,3	0,2	14,1	0,7	-	12,4	11,8	1,8	0,1	0,2	2,4	0,3	24,9	31,4	0,56
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Outlet)</b>																			
[ NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] (mg/L)	0,4	0,3	0,3		0,34	0,13	3,9	3,5	-	2,8	1,1	1,6	0,6	0,5	2,1	2,8	19,3	10,5	5,3
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	0,3	0,1	0,07		0,3	0,1	12,2	0,8	-	12,4	3,2	1,2	0,06	0,03	2,1	0,3	22,1	29,4	0,5
R (%)	20,0	25,0	23,7		0	35,0	13,3	0	-	0,4	73,0	33,3	47,3	74,7	14,3	11,,1	11,3	6,2	6,2



Tabela 16 - Resultados obtidos da performance dos leitos flutuantes ao longo do período de monitorização na ribeira do Roxo: Concentrações de entrada (inlet), Concentrações de saída (outlet), Cargas mássicas e Percentagens de remoção. (Média ± DP, n=3) (cont.)

Meses	maio 2020	jun. 2020	jul. 2020	ag. 2020.	set. 2020	out. 2020	nov, 2020	dez. 2020	jan. 2021	fev. 2021	mar. 2021	abr. 2021	maio 2021	jun. 2021	jul. 2021	ag. 2021	set. 2021	out. 2021	nov, 2021	
<b>Parâmetros</b>																				
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Inlet)</b>																				
[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] (mg/L O <sub>2</sub> )	237	560	450	-	510	862	1120	450	-	383	380	392	294	228	582	244	468	216	451	
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	162,2	275,8	118,4	-	511,1	737,3	3512,7	995,3	-	1702,5	1126,8	304,8	31,5	19,9	578,5	26,0	536,7	848,0	21,8	
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Outlet)</b>																				
[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] ( mg/L O <sub>2</sub> )	200	459	390	-	420	860	1000	480	-	301	256	350	412	200	150	234	478	293	229	
CM(kg/m <sup>2</sup> .day)	136,9	226,0	102,6	-	420,9	735,6	3136,3	106,2	-	1338,0	759,1	272,2	44,1	17,5	149,2	25,0	547,2	820,1	23,1	
R (%)	15,6	18,0	13,3	-	17,6	0,23	10,7	0	-	21,4	32,4	10,7	0	12,3	74,2	3,9	0	3,3	0	
<b>Zn<sup>2+</sup> (Inlet)</b>																				
[ Zn <sup>2+</sup> ] (mg/L)	2	2	0,4	-	0,2	2,1	7,5	7,3	-	4,3	6,7	5,9	4	2,8	0,5	0,4	0,4	1,2	1,8	
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	1,4	0,9	0,1	-	0,2	1,8	23,5	1,6	-	19,1	19,9	4,6	0,5	0,24	0,5	0,03	3,0	3,3	0,18	
<b>Zn<sup>2+</sup> (Outlet)</b>																				
[ Zn <sup>2+</sup> ] (mg/L)	2	1,4	0,2	-	0,1	0,4	4,2	4,2	-	2,7	6,0	4,3	3,2	2,2	0,3	0,3	2,4	1,1	1,8	
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	1,4	0,7	0,04	-	0,1	0,3	13,2	0,9	-	11,9	17,3	3,3	0,3	0,2	0,2	0,03	2,8	3,2	0,2	
R (%)	0	26,9	57,5	-	55,0	83,3	43,9	42,5	-	37,8	12,7	27,1	19,3	20,6	39,1	14,3	6,1	3,4	0	
<b>Fe<sup>2+</sup> (Inlet)</b>																				
[ Fe <sup>2+</sup> ] (mg/L)	-	0,9	2	-	1,1	3,8	2,0	10,0	-	3,0	11,0	1,9	2,3	0,4	0,6	0,8	0,8	1,1	1,8	
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	-	0,4	0,5	-	1,1	3,2	6,3	2,3	-	13,3	32,6	1,5	0,2	0,03	0,6	0,08	0,09	2,9	0,2	
<b>Fe<sup>2+</sup> (Outlet)</b>																				



[ Fe <sup>2+</sup> ] (mg/L)	-	0,6	1,1	-	0,3	0,5	0,7	17	-	0,4	9,4	0,5	0,6	0,03	0,4	0,6	0,7	0,9	3,2
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	-	26,7	45,0	-	72,5	87,0	64,2	0	-	88,3	14,2	74,7	72,6	92,9	38,5	30,6	6,9	17,1	0
R (%)																			
<b>Cu<sup>2+</sup> (Inlet)</b>																			
[ Cu <sup>2+</sup> ] (mg/L)	0,2	0,2	0,2	-	0,06	0,1	0,1	4,9	-	1,0	1,6	0,3	0,3	0,1	0	0	0,2	0,1	0,2
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	0,14	0,07	0,04	-	0,06	0,07	3,1	1,1	-	4,7	4,7	0,2	0,03	0,005	0	0	0,3	0,3	0,02
<b>Cu<sup>2+</sup> (Outlet)</b>																			
[ Cu <sup>2+</sup> ] (mg/L)	0,2	0,05	0,02	-	0,02	0,02	0,4	4,8	-	0,4	1,3	0,3	0,2	0,05	0	0	0,2	0,1	0,2
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	0,1	0,02	0,005	-	0,02	0,02	1,3	1,1	-	2,0	4,0	0,21	0,02	0,004	0	0	0,3	0,3	0,02
R (%)	30	66,7	86,7	-	75,0	76,5	58,6	2,0	-	58,9	17,5	12,5	26,9	33,3	0	0	1,1	0	0
<b>Mn<sup>2+</sup> (Inlet)</b>																			
[ Mn <sup>2+</sup> ] (mg/L)	1,4	1,9	1,1	-	0,9	2,0	4,5	3,1	-	2,5	1,9	1,9	3,1	1,9	1,1	0,8	3,3	3,0	1,7
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	0,99	1,0	0,3	-	0,9	1,7	14,1	0,7	-	10,9	5,6	1,5	0,3	0,2	1,1	0,08	3,8	8,3	0,2
<b>Mn<sup>2+</sup> (Outlet)</b>																			
[ Mn <sup>2+</sup> ] (mg/L)	1,4	1,7	0,8	-	0,3	0,5	3,0	1,5	-	1,1	1,5	1,8	2,3	2,2	0,6	1,3	3,2	3,1	1,8
CM (kg/m <sup>2</sup> .day)	0,9	0,8	0,2	-	0,3	0,4	9,4	0,3	-	5,0	4,2	1,4	0,2	0,2	0,6	0,1	3,6	3,8	0,2
R (%)	0	16,5	30,3	-	65,6	76,5	33,3	51,1	-	54,2	23,7	5,3	26,1	0	40,2	0	4,2	0	0

Os principais resultados relativos à monitorização da água da ribeira do Roxo estão organizados de forma equivalente aos da ribeira de Água Forte:

Assim, na Figura 34 está representada a evolução dos teores dos parâmetros pH, Condutividade Elétrica (CE), Oxigénio dissolvido (OD) ao longo do período de monitorização.

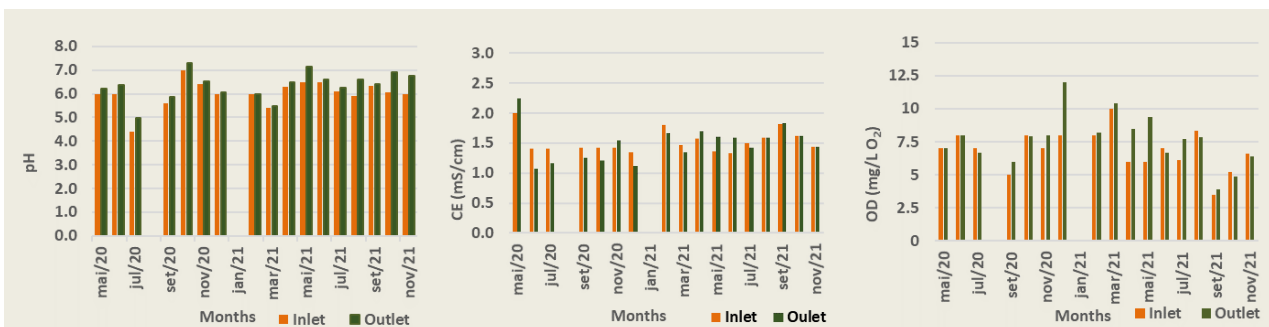


Figura 34 - Evolução dos teores dos parâmetros pH, Condutividade Elétrica (CE), Oxigénio dissolvido (OD) ao longo do período de monitorização da ribeira do Roxo.

Aqui, na ribeira do Roxo, o pH já assume valores próximos da neutralidade e o efeito do tratamento por LFs parece tendencialmente remeter para o seu aumento, o que é benéfico para a qualidade de água.

A condutividade elétrica assume valores muito elevados, à semelhança da ribeira de Água Forte. Os LFs, em alguns meses (junho 2020 a março 2021) parecem ter um efeito benéfico na redução deste parâmetro. Porém, não deverá ser assumido como regra geral, pois nos meses seguintes tal não se verificou.

O Oxigénio Dissolvido (OD), à semelhança do constatado na Ribeira de Água Forte, também apresentou sempre valores baixos, independentemente dos caudais afluídos, sem efeito significativo dos LFs.

Quanto aos resultados das cargas mássicas medidas ao longo do período de monitorização dos parâmetros Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Azoto Amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) estão graficados na Figura 35.

Apresenta-se, de seguida, nas figuras seguintes a representação gráfica da variação das cargas mássicas a montante (Inlet) e jusante (Outlet) dos leitos flutuantes e as taxas de remoção obtidas ao longo do período de monitorização da ribeira do Roxo.

Quanto aos resultados das cargas mássicas medidas ao longo do período de monitorização dos parâmetros Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Azoto Amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) estão graficados na Figura 35.

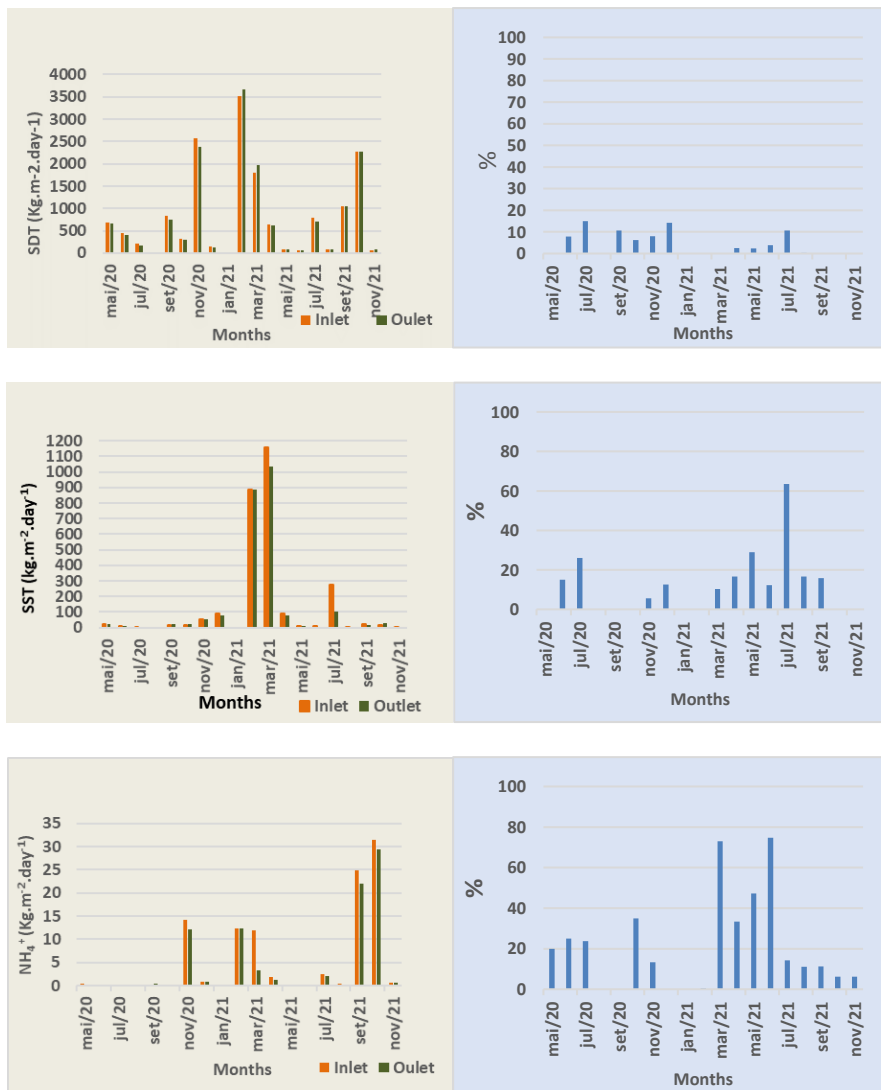


Figura 35 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Azoto Amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira do Roxo ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida.

As cargas mássicas relativamente elevadas obtidas na entrada, associadas ao parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais permitiram uma eficiência de tratamento com taxas de remoção rondando os 16%, com a exceção do mês de Julho 2021 em que alcançou valor acima dos 60%. O composto, azoto amoniacal, obtém os valores mais elevados de remoção no início da primavera de 2021 que atingem a proximidade dos 80%. Isto poderá estar relacionado com o aumento de temperatura que estimula o crescimento das macrófitas. Esta situação potência o consumo de nutrientes azotados.

Os resultados para os parâmetros Cloretos ( $Cl^-$ ), Sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) e Carência Química em Oxigénio (CQO) apresentam-se na Figura 36.



Figura 36 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, Cloretos ( $Cl^-$ ), Sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) e Carência Química em Oxigénio (CQO) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira do Roxo ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida.

Os cloretos e os sulfatos apresentam valores paramétricos de concentração muito elevadas (tabela 16) levando a que as cargas mássicas sejam apreciáveis. Contudo, isso não se refletiu nas remoções obtidas, que rondaram os 20%.

Finalmente à CQO, parâmetro indicador da existência de matéria orgânica numa massa de água, apresentou remoções muito apreciáveis que tendencialmente rondaram os 60%.

A evolução das cargas afluídas dos nutrientes azoto, medido pelo parâmetro azoto kjedhal ( $N_{Kj}$ ), fósforo, medido pelo parâmetro fósforo total (Pt) e do metal Ferro ( $Fe^{2+}$ ) e respetivas taxas de remoção encontram-se na Figura 37.

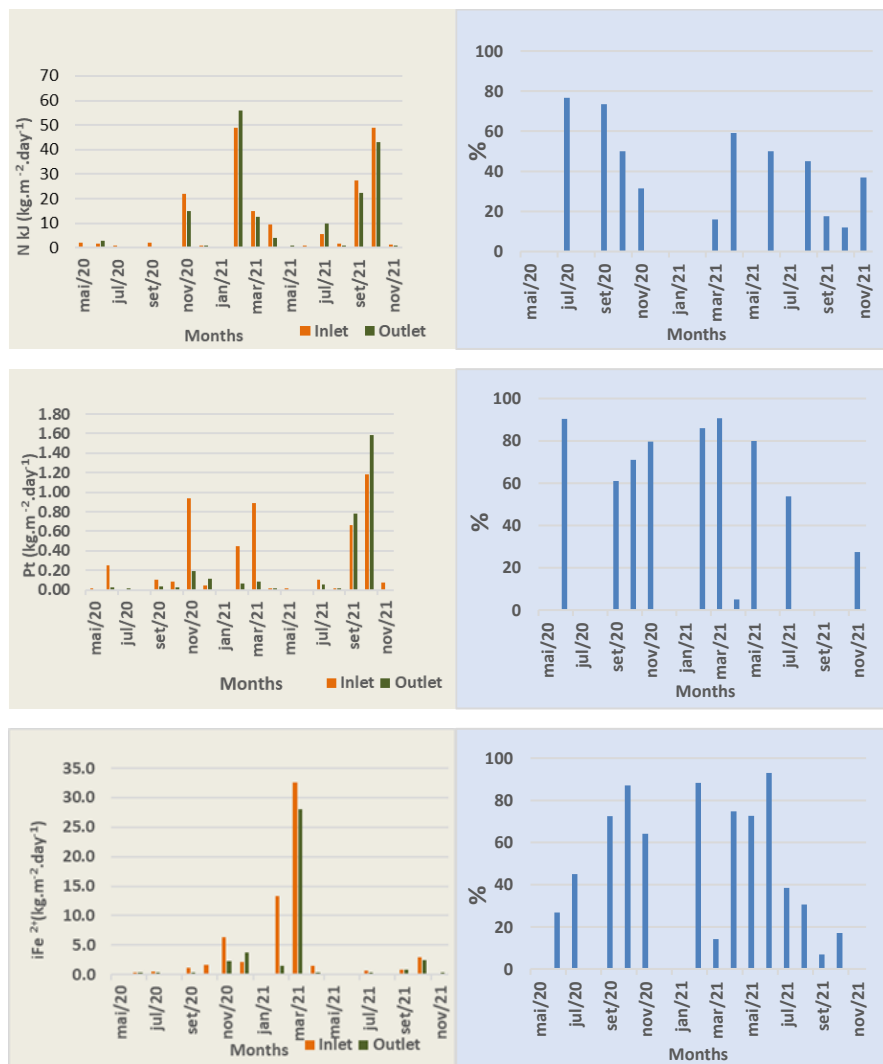


Figura 37 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, Azoto Kjeldahl ( $N_{Kj}$ ), Fósforo total (Pt) e metal Ferro ( $Fe^{2+}$ ) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira do Roxo ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida.

A análise dos resultados plasmados na figura 37 indica que os nutrientes azotados e fosfatados, apresentam bons desempenhos em termos de taxas de remoção alcançadas. Obtiveram-se valores tendencialmente elevados a atingiram valores da ordem dos 80%.

O metal ferro ( $Fe^{2+}$ ) apresenta também taxas remoções elevadas, em alguns meses rondando os 90%. Tal era de esperar visto que a macrófita *Vetivéria Zizanioides* apresenta sempre essa capacidade, retendo o metal na zona radicular.

A Figura 38, representa os resultados relativos aos metais Zinco ( $Zn^{2+}$ ), Manganês ( $Mn^{2+}$ ) e Cobre, ( $Cu^{2+}$ ).

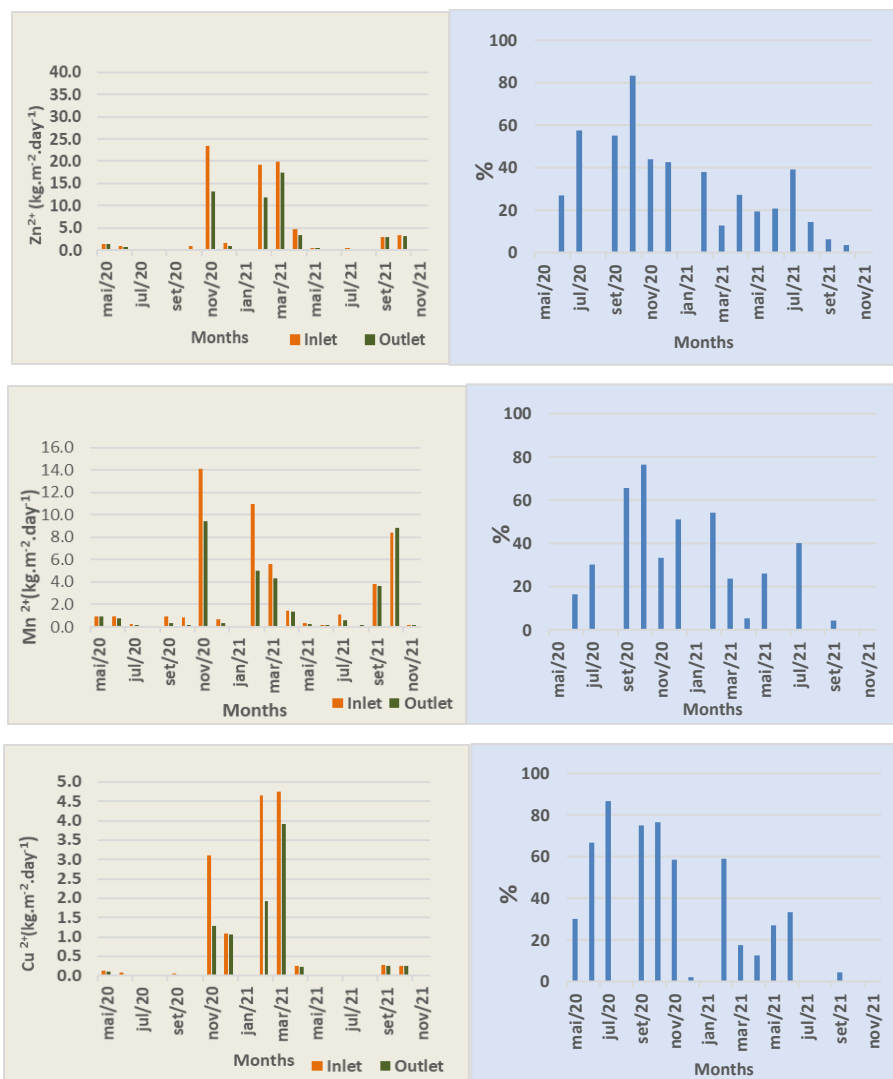


Figura 38 - Cargas mássicas referente aos parâmetros, Zinco ( $Zn^{2+}$ ), Manganês ( $Mn^{2+}$ ) e Cobre, ( $Cu^{2+}$ ) obtidas a montante (inlet) e jusante (outlet) dos leitos flutuantes colocados na ribeira do Roxo ao longo do período de monitorização e respetiva taxa de remoção obtida.

Para os restantes metais, Figura 38, aplica-se também o referido no parágrafo anterior. De fato, as remoções são apreciáveis, mas a média parece ser um pouco mais baixa que para o metal ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ).

#### Tarefa 4.2.1.2.1 - Estimativa da área necessária dos leitos flutuantes na ribeira do Roxo

Com base nos dados contidos na tabela 16, relativos às taxas de remoção dos parâmetros analisados, obtidas na sequência do tratamento efetuado pelos leitos flutuantes na ribeira do Roxo estimou-se a área necessária de tratamento para se poder alcançar cumprimento do Anexo XVI do DL 236/98 de 1 de Agosto de 1998.

Tabela 17 - Estimativa da área dos leitos flutuantes para haver cumprimento do Anexo XVI do DL 236/98 de 1 de Agosto.

Parâmetro	Taxa de remoção mínima (%)	Taxa de remoção máxima (%)	Taxa de remoção média (%)	Área necessária (m <sup>2</sup> )	Obs.
SDT	0,0	14,1 <sup>(*)</sup>	6,8±5,1	-	(*)dez/20
SST	0,0	63,6 <sup>(*)</sup>	14,0±14,0	83	(*)jul/21
$\text{NH}_4^+$	0,0	74,7 <sup>(*)</sup>	23,2±23,0	136	(*)jun/20
$\text{Cl}^-$	0,0	51,8 <sup>(**)</sup>	11,0±13,0	316	(**)-jun/20
$\text{SO}_4^{2-}$	0,0	74,6 <sup>(***)</sup>	13,7±12,0	1425	(***)-jul/21
CQO	0,0	84,8 <sup>(***)</sup>	43,7±29,3	-	(***)-set/21
Pt	0,0	90,7 <sup>(*)</sup>	35,8 ±35,1	47	(*)-mar/21
$\text{N}_{\text{Kj}}$	0,0	76,7 <sup>(**)</sup>	29,3±27,3	-	(**)-jul/21
$\text{Fe}^{2+}$	0,0	88,3 <sup>(***)</sup>	45,6±33,0	39	(***)-fev/21
$\text{Zn}^{2+}$	0,0	83,3 <sup>(*)</sup>	28,8±23,0	46	(*)- out/20
$\text{Mn}^{2+}$	0,0	76,5 <sup>(****)</sup>	25,1±24,0	221	(****)-out/20
$\text{Cu}^{2+}$	0,0	76,5 <sup>(**)</sup>	36,6±31,0	460	(**)-mar/21



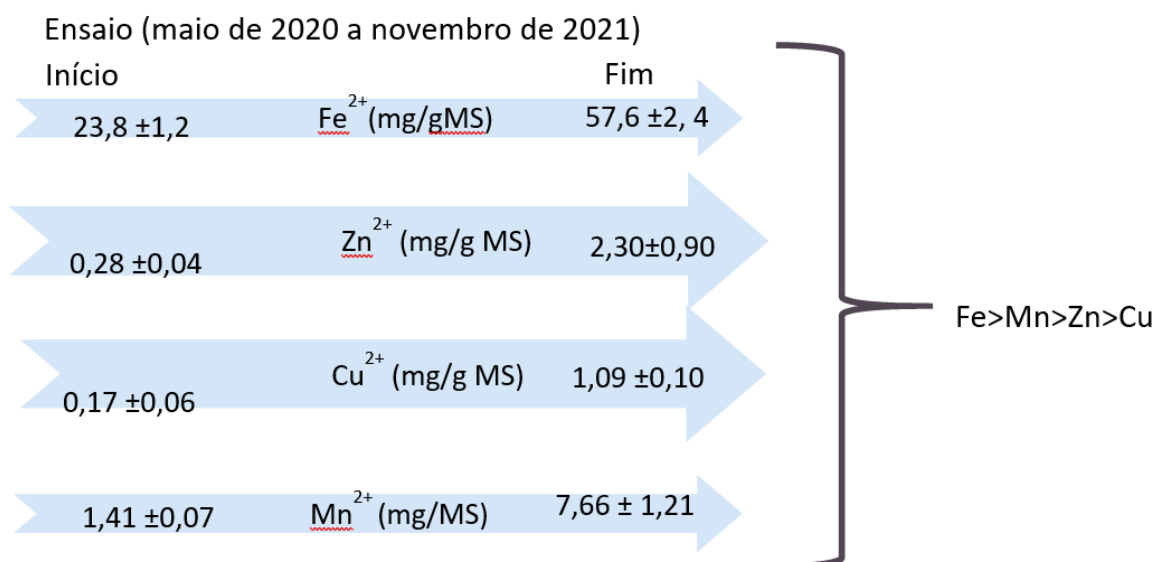
Concluiu-se que as eficiências de remoção, na ribeira do Roxo, à semelhança da ribeira de Água Forte variaram muito, consoante o parâmetro analisado, variações estas da ordem [0,0% - 96,8%] e com valores médios de [6,8±5,1; 45,6±33,0].

Quanto à área de tratamento por leitos flutuantes a aplicar nesta massa de água obteve-se o valor de 1425 m<sup>2</sup>, devido ao parâmetro sulfatos.

#### Tarefa 4.2.1.2.2 - Fito remediação de metais pela Vetiveriaia Zizanioides na ribeira de Água Forte e Ribeira do Roxo (Sistema Radicular)

Devido a ter ocorrido um problema no sistema de congelação utilizado na preservação das amostras não foi possível obter resultados de janeiro a abril de 2021, pois ficaram inutilizados.

A capacidade de fitoremediação da macrófita utilizada no ensaio mostrou ser obtida pelo mecanismo de rizo filtração, isto é acumulação preferencial na zona radicular em detrimento das zonas aéreas. Os parâmetros que foram preferencialmente incorporados na zona radicular foram os metais. Assim, os resultados obtidos foram os seguintes:



Concluiu-se o metal Ferro foi o que alcançou maiores níveis de acumulação no tecido radicular seguido do Manganês e do Zinco. O cobre foi o metal que mostrou menos capacidade de acumulação.

#### Tarefa 4.2.1.2.3 - Crescimento/Produção de Biomassa

Apresentam-se, de seguida, na Tabela 18 e Tabela 19 os resultados da monitorização dos leitos flutuantes (LF) em 2020 e 2021.

Tabela 18 - Evolução da densidade da macrófita nos leitos flutuantes colocados na Ribeira do Roxo (RR) e Ribeira de Água Forte (RAF) ( nº plantas/m<sup>2</sup>) em 2020 (\* repovoamento).

Data	LF (RR1)	LF(RR2)	LF(RR3)	LF(RAF1)	LF(RAF2)	LF(RAF3)
12/05/2020	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3
29/09/2020	27,3	17,9	27,3	23,0	27,9	26,7
12/10/2020*	31,2	28,2	31,2	29,7	31,2	30,9
21/12/2020	25,6	18,0	17,5	18	22	23

Para 2021 obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 19 - Evolução da densidade da macrófita nos leitos flutuantes colocados na Ribeira do Roxo (RR) e Ribeira de Água Forte (RAF) ( nº plantas/m<sup>2</sup>) em 2021

Data	LF (RR1)	LF(RR2)	LF(RR3)	LF(RAF1)	LF(RAF2)	LF(RAF3)
05/2021	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5
09/2021	26,2	21,6	22,8	20,4	25,0	20,1
10/2021	28,9	22,5	23,8	18,6	23,8	21,3
11/2021	27,1	20,4	23,4	15,8	21,3	19,5

Como se pode constatar, a colocação da planta em ambiente real, tanto na ribeira de Água Forte como na ribeira do Roxo, induz uma grande pressão na sua estrutura, verificando -se uma redução média de densidade ao fim de 4 meses de permanência de, sensivelmente, 32%.

Após este período pareceu ocorrer estabilização pois não se verificou alteração significativa. De todo o modo, a produção de biomassa não foi satisfatória, mesmo tendo

ocorrido crescimento das plantas que alcançaram um valor médio de  $37,3 \pm 4,4$  cm, na ribeira do Roxo, e de  $32,2 \pm 3,8$  cm, na ribeira de Água Forte, contra os 20,0 cm iniciais.

## Fase 5: Difusão dos Resultados

### Tarefa 5.1 - Ambiente Web para projeto

Através do site: <http://green-ecoroxo.pt/>, encontram-se os resultados ao longo do projeto bem como todos os documentos associados ao mesmo.

### Tarefa 5.2 - Colóquios e congressos

- Durão, A.; Almeida, A.; Pardal, A.; Marques, C.; Parreira, A.; Borralho, T. (2017). “GreenEcoRoxo- Utilização de leitos flutuantes para melhoria qualidade de massas de água superficiais”. II Congresso Nacional das Escolas Superiores Agrárias. Escola Superior Agrária de Elvas. Elvas (Portugal). 16-18 de novembro de 2017. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20VIII.pdf>
- Carvalhos, T. (2018). Projeto GreenEcoRoxo- Utilização de leitos flutuantes para melhoria para qualidade de massas de água superficiais”. Fórum dos Politécnicos- Valorização agroindustrial e produção animal - Quintas de investigação e desenvolvimento experimental e internacionalização. Beja (Portugal). 30 de abril de 2018. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20VI.pdf>
- Maria Teresa Carvalhos, António Parreira, Carlos Marques (2018). GreenEcoRoxo- Utilização de leitos flutuantes para melhoria qualidade de massas de água superficiais”. Cimeira Nacional Inovação na Agricultura (2018). Oeiras (Portugal). 29 de outubro de 2018. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20VII.pdf>
- Maria Teresa Carvalhos, Carlos Marques (2019). GreenEcoRoxo: Utilização de Leitos Flutuantes Para a Melhoria da Qualidade de Massa de Água Superficial. Cimeira Agro Inovação- Workshops Regionais de Inovação na Agricultura. 23 de outubro de 2019. Ferreira do Alentejo. Portugal. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20II.pdf>

- D. Gago, A. Almeida; A. Durão; I. Parente; T. Borralho (2019). Avaliação do desempenho de *Vetiveria zizanioides* e *Phragmites australis* na remoção de metais pesados em água superficial com características de drenagem mineira ácida (Ribeira de Água Forte, Aljustrel). 5º Simpósio Produção e Transformação de Alimentos em Ambiente Sustentável. 7 de junho de 2019. Escola Superior Agraria do Instituto Politécnico de Beja. Beja. Portugal. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20IV.pdf>
- Igor MATIA, Adelaide ALMEIDA, Teresa CARVALHOS, Izabel PARENTE, David GAGO, Anabela DURÃO. Comparação dos valores, medidos in situ, na coluna de água de pH, Potencial Redox e Oxigénio Dissolvido entre a ribeira de Água Forte e a instalação à escala piloto. Maratona Académica por Moçambique. 27 de maio de 2019. Instituto Politécnico de Beja., Beja. Portugal. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20V.pdf>
- T. Borralho, D. Gago (2019). Study of the Application of floating beds of macrophytes (*Vetiveria zizanioides* and *Phragmites australis*) in pilot scale for the removal of heavy metals of Água Forte Stream in Alentejo region (Portugal). The 9th International Scientific- Technical Conference. Environmental Engineering, Photogrammetry Geoinformatics- Modern Technologies and Development Perspectives. Lublin (Poland). 17-20 September 2019. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20IX.pdf>
- Teresa Carvalhos, Anabela Durão, Adelaide Almeida, Ana Pardal, Izabel Parente, Valter Lopes, António Parreira, Carlos Marques (2021). Utilização de Leitões Flutuantes para Melhoria da Qualidade de Massa de Água Superficial – O Caso da Ribeira do Roxo. 15º Congresso da Água, LNEC, Lisboa, Online. 22-26 março 2021. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20XI.pdf>

- T. Borralho, A. Durão, D. Santos, A. Almeida (2021). Use of Floating Beds to Improve the Quality of Surface Water Mass. 2<sup>nd</sup> International Scientific Conference on Ecological and Environmental Engineering. Wroclaw ( Portugal). 30 June-1 July 2021. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20XIII.pdf>
- T. Carvalhos, A. Almeida, J. Correia, V. Lopes, A. Durão (2021). Use of Vetiveriaia Zizanioides floating beds to improve river water quality in the Mediterranean climate - Real scale preliminary results. Erasmus+ ICM Meeting on Agriculture, Food Technology and Environmental Engineering: Eastern European, Balkan and Mediterranean Perspectives. IPBeja (Portugal). 27<sup>th</sup> October 2021. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20XIV.pdf>
- Correia , A. Almeida, A. Durão , A. Pardal, T. Borralho (2021). Real-scale study of use of Vetiveria zizinioides floating beds to improvement quality of surface water body in a Mediterranean climate. 1<sup>st</sup> International FibEnTech Congress (FibEnTech21) - New opportunities for fibrous materials in the ecological transition. University of Beira Interior, Covilhã, (Portugal). 9 to 10 of December of 2021. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20XV.pdf>
- T. Carvalhos, A. Almeida, A. Pardal, J. Correia, A. Parreira , V. Lopes, C. Marques, A. Durão ( 2021). GreenEcoRoxo- Utilização de Leitos Flutuantes para melhoria de água superficial- PDR2020-1.0.1-FEADER-030894. A recuperação Ambiental da Ribeira do Roxo-Apresentação dos resultados Finais. Aljustrel (Portugal). 16 de dezembro de 2021. <http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20XVIII.pdf>

### **Tarefa 5.3 – Sensibilização dos stakeholders (grupos focais)**

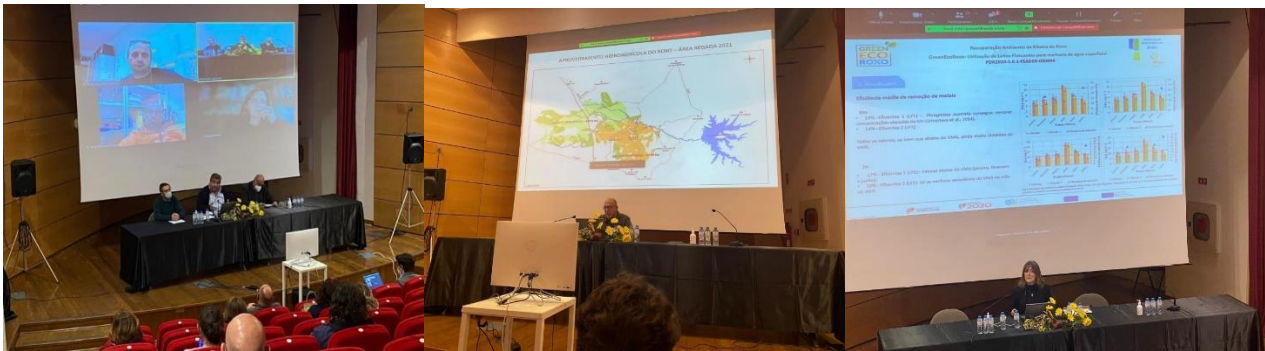
Estavam previstas duas ações de sensibilização junto dos stakeholders no espaço temporal de 2019-2020 que não se realizaram, devido ao atraso na instalação dos leitos flutuantes à escala real no ano de 2019 e em 2020 devido à situação pandémica COVID-19, a qual inviabilizou completamente a sua realização.

Porém, em 2021, o evento de apresentação dos resultados finais do projeto teve como participantes um conjunto alargado de stakeholders (Almina, Somincor, APA, Câmara Municipal de Aljustrel, Câmara Municipal de Odemira, Associação de Regantes do Mira, investigadores, etc e onde foi discutido a temática, pertinência do trabalho realizado e os resultados obtidos.

Carvalhos, A. Almeida, A. Pardal, J. Correia, A. Parreira, V. Lopes, C. Marques, A. Durão (2021). GreenEcoRoxo- Utilização de Leitões Flutuantes para melhoria de água superficial- PDR2020-1.0.1-FEADER-030894. A recuperação Ambiental da Ribeira do Roxo- Apresentação dos resultados Finais. Aljustrel (Portugal). 16 de dezembro de 2021. (<http://green-ecoroxo.pt/images/publica/Anexo%20XVIII.pdf>)

Cartaz de divulgação da ação: ( [http://abroxo.pt/images/Programa\\_GreenEcoRoxo\\_3.pdf](http://abroxo.pt/images/Programa_GreenEcoRoxo_3.pdf)  
[http://abroxo.pt/images/Save\\_the\\_date\\_2.pdf](http://abroxo.pt/images/Save_the_date_2.pdf))

Imagens do evento:



#### Tarefa 5.4 - Publicações técnicas

Ao longo do decorrer da realização do projeto foram sendo gerados elementos de divulgação do mesmo que não atingiram o proposto em sede de candidatura. A tardia estabilização dos pressupostos do projeto e aprovação pela presidência do IPBeja, a instabilidade dos recursos humanos afetos ao projeto, com períodos de inexistência de um

elemento e a situação de pandemia foram os principais constrangimentos que impediram o seu cumprimento.

- Teresa Borralho, David Gago, Adelaide Almeida (2020). 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). *Journal of Ecological Engineering*. Volume 21, Issue 3, April 2020, pages 153–163. <https://doi.org/10.12911/22998993/118285>.
- David Gago (2019). Avaliação do desempenho de leitos flutuantes de macrófitas (*Vetiveria zizanioides* e *Phragmites australis*) na remoção de metais pesados da água da Ribeira de Água Forte (Aljustrel, Sul de Portugal). Dissertação de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente- Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior Agrária. <http://hdl.handle.net/20.500.12207/5320>
- Borralho, T., Gago, D. (2019). Study of the application of floating beds of macrophytes (*vetiveria zizanioides* and *phragmites australis*) in pilot scale for the removal of heavy metals and of água forte stream in the Alentejo region (PORTUGAL). 9th International Scientific-Technical Conference on Environmental Engineering, photogrammetry, Geoinformatics. Modern Technologies and Development Perspectives. 17-20 September 2019, Lublin, Poland. ISBN 978-83-930973-7-1.pag. 166 (<http://green-ecoroxo.pt/index.php/public>)
- Teresa Carvalhos, Anabela Durão, Adelaide Almeida, Ana Pardal, Izabel Parente, Valter Lopes, António Parreira, Carlos Marques (2021). Utilização de Leitos Flutuantes para Melhoria da Qualidade de Massa de Água Superficial – O Caso da Ribeira do Roxo. 15.º Congresso da Água (aprh.pt) ([http://abroxo.pt/images/Anexo\\_XII.pdf](http://abroxo.pt/images/Anexo_XII.pdf))
- J. Correia , A. Almeida, A. Durão , A. Pardal, T. Borralho (2021). ). Real-scale study of use of *Vetiveria zizanioides* floating beds to improvement quality of surface water body in a Mediterranean climate. FibEnTech21 1<sup>st</sup> International FibEnTech Congress

(FibEnTech21). New opportunities for fibrous materials in the ecological transition, Volume 2022, DOI 10.18502/14 (<http://green-ecoroxo.pt/index.php/public>)

- José Miguel Gonçalves Correia (2021). Contributo para melhoria de qualidade de água para rega com recurso à eco tecnologia de leitos flutuantes. Dissertação a apresentar à Escola Superior Agrária de Beja para cumprimento dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Agronomia. ([http://abroxo.pt/images/Anexo\\_XVII.pdf](http://abroxo.pt/images/Anexo_XVII.pdf))

## 6. Conclusões sobre o projeto desenvolvido

- 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.
- Das duas macrófitas testadas a que apresentou melhores resultados em termos de produção de biomassa, vigor fisiológico e capacidade de fitoremediação foi a *Vetivéria Zizanioides*
- As taxas de remoção médias obtidas variaram entre os 8,0%- 49,8%, para a Ribeira de Água Forte, (parâmetros  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Fe}^{2+}$ , respetivamente) e de 6,8%-45,6% (parâmetros  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Fe}^{2+}$ , respetivamente) para a Ribeira do Roxo.
- O tratamento por LFs pareceu ser mais eficaz na remoção dos metais comparativamente aos outros parâmetros.
- 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 *Vetiveriaia Zizanioides* apresentou inibição de crescimento e danos na sua morfologia externa e anatómica (em especial no leito flutuante colocado na Ribeira de Água Forte) mantendo, contudo, a sua capacidade de fito remediação.

-O sistema de tratamento necessita de ser otimizado para que a qualidade da água de ambos os leitos testados atinjam o cumprimento das normas de qualidade para rega ( DL 236/98 de 1 de agosto- Anexo VI), necessitando para tal de possuir, 429 m<sup>2</sup> e 1425 m<sup>2</sup> os leitos flutuantes a colocar na ribeira de Água Forte e ribeira do Roxo, respetivamente.

- Os resultados obtidos forneceram evidências de que LFs testados poderão servir de aferição para outros sistemas de tratamento por leitos flutuantes e dar um contributo para a recuperação ambiental de massas de água superficiais, assumindo-se como um sistema de tratamento sumidouro de CO<sub>2</sub>, eficaz a longo prazo, ecológico, de fácil manutenção e baixo custo.

## 7. Perspetivas Futuras

- Efetuar um novo tratamento à qualidade da água da Ribeira do Roxo com a área de tratamento, por leitos flutuantes, de 1460 m<sup>2</sup> por um período de tempo mais alargado (> 2 anos).

- Alargar a monitorização a pesticidas, nomeadamente, inseticidas e herbicidas, cujo uso foi aprovado para proteção de plantas.

- Aumentar a densidade de macrófita/ leito (n<sup>o</sup> plantas/ m<sup>2</sup>).

- Testar o desempenho de outras macrófitas, por ex: espécies autóctones.

- Pesquisar vias de valorização adequadas da biomassa gerada que poderá passar por vermicompostagem, e produção de biochar.

- Reforçar a sensibilização ambiental aos stakeholders a fim de suscitar interesse e receptividade pela utilização de medidas preventivas, que contribuam para a melhoria da qualidade sustentável das massas de água.

## 7. Execução Financeira

Tabela 20 - *Resumo da execução financeira do projeto.*

Designação da Entidade	Investimento Elegível Aprovado (€)	Investimento Elegível Realizado (€)	Taxa de Execução (%)
Associação de Beneficiários do Roxo	204 851.18€	152 161,40€	74,28%
Instituto Politécnico de Beja	174 966.57€	149 885,15€	85,70%
António Manuel Rocha Parreira	18 738.24€	14 427,90€	77,00%

## 8. Desvios:

### Associação de Beneficiários do Roxo

Os desvios ocorridos pela Associação de Beneficiários do Roxo estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Desvios ocorridos na execução financeira da Associação de Beneficiários do Roxo no projeto GreenEcoRoxo.

Rubrica	Orçamento	Execução	Saldo
B12002	7 788,17 €	3 766,16 €	4 022,01 €
B12005	23 937,74 €	11 135,50 €	12 802,24 €
B12010	449,28 €	0,00 €	449,28 €
B12016	165 550,99 €	137 059,78 €	28 491,21 €
B12017	6 125,00 €	200,00 €	5 925,00 €
B12022	1 000,00 €	0,00 €	1 000,00 €

1 – Despesas com pessoal (B12002; B12005 e B12016), devido a alguns recursos humanos associados ao projecto, terem sofrido com a doença de covid 19 e também por baixa médica, o que originou o desvio na execução das rubricas.

2- Deslocações e estadas (B12010) deveu-se:

i) A verba prevista para o ano de 2017, não foi utilizada devido ao facto de o termo de aceitação da candidatura só ter sido efetuado em novembro desse ano.

ii) O atraso verificado nos ensaios à escala real (colocação dos leitos flutuantes na Ribeira do Roxo e Ribeira de Água Forte em Montes Velhos) também diminuiu a necessidade da realização das deslocações previstas em sede de candidatura.

3 – Produção ou aquisição de material (B12017) – foram adquiridos por valor inferior ao aprovado em sede de candidatura

4 – Despesas Gerais (B12022) – este custo estava associado às despesas que iriam ser realizadas com a organização de ações de demonstração, uma vez que essas ações não se realizaram este valor não foi utilizado.

## Instituto Politécnico de Beja

Os desvios ocorridos pelo parceiro IPBeja apresentados na Tabela 20, podem ser justificados da seguinte forma, plasmada da Tabela 22.

Tabela 22 - Desvios ocorridos na execução financeira da parceria IPBeja do projeto GreenEcoRoxo.

Rubrica	Orçamento	Execução	Saldo
B12002	6 139,44	2 537,76	3 601,68
B12007	6 478,23	6 183,99	294,24
B12010	4 079,44	1 390,39	2 689,05
B12011	5 549,83	4 926,69	623,14
B12015	13 407,00	10 683,73	2 723,27
B12016 - Professores	94 792,75	90 542,36	4 250,39
B12016 - Bolseiros	40 769,05	32 690,23	8 078,82
B12019	3 750,00	330,00	3 420,00

1- Despesas com o pessoal (B12002 e B12016) – Dado que os valores aprovados em candidatura previam os aumentos salariais anuais, que não vieram a ocorrer, foram orçamentados por valor superior ao real, o que originou um desvio na execução das rubricas.

2- Despesas com o pessoal – Bolseiros (B120168)- Dado que o bolseiro, devido aos procedimentos burocráticos de contratação de bolseiros, foi contratado 6 meses após o início do projeto, e que o projeto teve 3 bolseiros contratados (a cessação dos contratos de bolsa por iniciativa dos bolseiros, implicou a contratação de novos bolseiros), o que originou um período sem bolseiros devido aos novos procedimentos de contratação, implicou a não execução da rubrica a 100%.

3- O desvio ocorrido na rubrica “Aquisição de serviços técnicos especializados (B12015)” deveu-se:

À data da candidatura, a não existência de meios disponíveis no IPBeja, pressupunham para execução do projeto, a necessidade de recorrer a serviços externos para obtenção de alguns dados experimentais. Esta situação alterou-se e, estes, foram sendo obtidos internamente o que fez diminuir o montante a despendar.

4- Matérias-primas e materiais consumíveis (B12011) – Na realidade a rubrica foi executada a 100%, o que aconteceu foi que a aquisição das plantas Vetiveriaia Zizanioides e Phramites Australis não foram consideradas elegíveis em sede de análise de pedido de pagamento, devido ao facto de o fornecedor das plantas não possuir o certificado de viveirista.

5- O desvio ocorrido na rubrica “Participação em eventos-(B12019)” deveu-se:

i) O nº de participações em eventos ficou muito reduzida devido à situação de pandemia vivida em todo o mundo, o que por um lado reduziu o nº de eventos e por outro, aqueles que se realizaram ocorreram em formato virtual, o que minimizou o custo das inscrições e os gastos associados à comparência física nos mesmos.

ii) A participação em alguns eventos, foi gratuita por os elementos da equipa de recursos humanos e/ou o IPBeja estarem afetos à organização dos mesmos (ex: Comissões Técnicas e Científicas e Comissões Organizacionais).

6- O desvio ocorrido na rubrica “Deslocações e Estadas” (B12010) deveu-se:

i) A verba prevista para o ano de 2017, não foi utilizada devido ao facto do termo de aceitação da candidatura só ter sido efetuado em novembro desse ano.

ii) O atraso verificado nos ensaios à escala real (colocação dos leitos flutuantes na Ribeira do Roxo e Ribeira de Água Forte em Montes Velhos) também diminuiu a necessidade da realização das deslocações previstas em sede de candidatura.

7- Máquinas e equipamentos (B12007) – os equipamentos foram adquiridos por valor inferior ao valor aprovado em sede de candidatura.

## António Manuel Rocha Parreira

Tabela 23 - Desvios ocorridos na execução financeira de António Manuel Rocha Parreira no projeto GreenEcoRoxo.

Rubrica	Orçamento	Execução	Saldo
B12002	616,82 €	602,70 €	14,12 €
B12010	57,60 €	0,00 €	57,60 €
B12016	18 063,82 €	13 825,20 €	4 238,62 €

1- Despesa com o pessoal (B12002 e B12016) – este desvio ocorreu derivado a existir pagamentos feitos de outras contas bancárias que não estavam associadas ao projeto em questão.

2- Deslocações e estadas (B12010)

i) A verba prevista para o ano de 2017, não foi utilizada devido ao facto de o termo de aceitação da candidatura só ter sido efetuado em novembro desse ano.

ii) O atraso verificado nos ensaios à escala real (colocação dos leitos flutuantes na Ribeira do Roxo e Ribeira de Água Forte em Montes Velhos) também diminuiu a necessidade da realização das deslocações previstas em sede de candidatura.

## 8. Referências Bibliográficas

(APHA, 2012), American Public Health Association. Standard methods for examination of water and wastewater. Washington, DC: American Public Health Association; 2012.

Alexandre, L. J. T. (2016). Fitorremediação de Águas Ácidas de Minas. Dissertação apresentada ao Instituto Superior Técnico (UL) para cumprimento dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Engenharia do Ambiente. Obtida a 1 de outubro de 2019.

Almeida, A. A. M. (2017). Fitorremediação: uma tecnologia sustentável para remoção de compostos de azoto em águas residuais. Lição apresentada no âmbito das Provas Públicas

de Avaliação de Competências Pedagógicas e Tecno-Científicas na área da disciplina de tecnologia do ambiente, Instituto Politécnico de Beja, 1-187. Obtido a 21 de maio de 2019.

Arivoli, A., Mohanraj, R., & Seenivasan, R. (2015). Application of vertical flow constructed wetland in treatment of heavy metals from pulp and paper industry wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(17), 13336–13343. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4594-4>

Borrvalho, 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.

Chen, Y., Wen, Y., Zhou, Q., Huang, J., Vymazal, J., & Kuschik, P. (2016). Sulfate removal and sulfur transformation in constructed wetlands: The roles of filling material and plant biomass. *Water Research*, 102, 572–581. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.07.001>

Cordeiro, C. de O. G. (2012). Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística. Universidade Nova de Lisboa. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Sanitária. Obtida a 15 de junho de 2019

Danh, L. T., Truong, P., Mammucari, R., Tran, T., & Foster, N. (2009). Vetiveria grass, *Vetiveria zizanioides*: A choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. *International Journal of Phytoremediation*, 11(8), 664–691. <https://doi.org/10.1080/1522651090278730>

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.

FAO. (2018). Handbook for saline soil management. (R. Vargas, E. I. Pankova, S. A. Balyuk, P. V. Khasankhanova, & K. G.M., Eds.), Fao (1st ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations and Lomonosov Moscow State University.

Feng, H., Qian, Y., Gallagher, F. J., Zhang, W., Yu, L., Liu, C., Tappero, R. (2016). Synchrotron micro-scale measurement of metal distributions in *Phragmites australis* and

*Typha latifolia* root tissue from an urban brownfield site. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 41, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.07.015>

Golubev, I. A. (2011). *Handbook of phytoremediation*. Handbook of Phytoremediation (1st ed.).

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.

Jampeetong, A., Konnerup, D., Piwpuan, N., & Brix, H. (2013). Interactive effects of nitrogen form and pH on growth, morphology, N uptake and mineral contents of *Coix lacryma-jobi* L. *Aquatic Botany*, 111, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2013.06.002>

Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands*. Second Edition (2nd ed.).

Monteiro, M. S., Santos, C., Soares, A. M. V. M., & Mann, R. M. (2009). Assessment of biomarkers of cadmium stress in lettuce. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(3), 811–818. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.08.002>.

Moresco, M. C. (2016). *Avaliação do potencial da macrófita Pistia stratiotes na exposição de íon cromo (VI): Biossorção e tolerância*. Dissertação apresentada à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Obtido a 27 de junho de 2019.

Reddy, K. R., & DeLaune, R. D. (2008). *Biogeochemistry of Wetlands*. *Biogeochemistry of Wetlands*. 1-800. <https://doi.org/10.1201/9780203491454>

Roongtanakiat, N., Tangruangkiat, S., & Meesat, R. (2007). Utilization of *Vetiveria* grass (*Vetiveria zizanioides*) for removal of heavy metals from industrial wastewaters. *ScienceAsia*, 33(4), 397–403. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2007.33.397>

SNIRH, (2017) SNIRH: <http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.5>, last accessed 2017/12/10.



Wang, W. H., Wang, Y., Li, Z., Wei, C. Z., Zhao, J. C., & Sun, L. qin. (2018). Effect of a strengthened ecological floating bed on the purification of urban landscape water supplied with reclaimed water. *Science of the Total Environment*, 622–623, 1630–1639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.035>

West, M., Fenner, N., Gough, R., & Freeman, C. (2017). Evaluation of algal bloom mitigation and nutrient removal in floating constructed wetlands with different macrophyte species. *Ecological Engineering*, 108(August), 581–588. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.033>

Muhammad, S. N., Kusin, F. M., Zahar, M. S. M., Halimoon, N., & Yusuf, F. M. (2015). Passive Treatment of Acid Mine Drainage Using Mixed Substrates: Batch Experiments. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 157–161. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.028>

Majid, S., Khwakaram, A., & Rasul, G. A. M. (2014). Bioaccumulation, Enrichment and Translocation Factors of some Heavy Metals in *Typha Angustifolia* and *Phragmites Australis* Species Growing along Qalyasan Stream in Sulaimani City /IKR. *Journal of Zankoy Sulaimani - Part A*, 16(4), 93–109. <https://doi.org/10.17656/jzs.10350>

Mitsch, W. j., & Wise, K. M. (1998). Water quality, fate of metals, and predictive model validation of a constructed wetland treating acid mine drainage. *Water Research*, 32(6), 1888–1900. Retrieved from <http://Ovidsp.ovid.com.wam.city.ac.uk/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed4&N EWS=N&AN=1998243856>

Wu, H., Zhang, J., Wei, R., Liang, S., Li, C., & Xie, H. (2013). Nitrogen transformations and balance in constructed wetlands for slightly polluted river water treatment using different macrophytes. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(1), 443–451. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0996-8>

Xu, X., & Mills, G. L. (2018). Do constructed wetlands remove metals or increase metal bioavailability? *Journal of Environmental Management*, 218, 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.014>

Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 380(1–3), 48–65. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014>

Rocha, C. S. C. (2017). Estudo da possibilidade de utilização de leitos flutuantes de macrófitas para a melhoria da qualidade de água da Ribeira de Água Forte. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Instituto Politécnico de Beja. Obtido em 20 de novembro de 2018. Retrieved from [https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/3972/1/Projeto terminado 9 abril.pdf](https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/3972/1/Projeto%20terminado%209%20abril.pdf)

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-x>

Lichtenthaler, H.K. (1987) Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. [http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

Salem, Z. Ben, Laffray, X., Ashoour, A., Ayadi, H., & Aleya, L. (2014). Metal accumulation and distribution in the organs of Reeds and Cattails in a constructed treatment wetland (Etuefont, France). *Ecological Engineering*, 64, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.027>

Santos, F. S., Sobrinho Amaral, N. M. B. Do, Mazur, N., Garbisu, C., Barrutia, O., & Becerril, J. M. (2011). Resposta antioxidante, formação de fitoquelatinas e composição de pigmentos fotoprotetores em *brachiaria decumbens* stapf submetida à contaminação com cd e Zn. *Quimica Nova*, 34(1), 16–20.

Wang, H., & Jia, Y. (2009). Bioaccumulation of heavy metals by *Phragmites australis* cultivated in synthesized substrates. *Journal of Environmental Sciences*, 21(10), 1409–1414. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62433-X](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62433-X)

Suelee, A. L., Hasan, S. N. M. S., Kusin, F. M., Yusuff, F. M., & Ibrahim, Z. Z. (2017). Phytoremediation Potential of *Vetiveria* 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>

Kusin, F. M., Has, S. N. M. S., Nordin, N. A., Mohamat- Yusuff , F., Ibraim, Z. Z. (2019). Floating Vetiveria island (FVI) and implication for treatment system design of polluted running water. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(1):497-510.