CONFERENCIA FINAL BlueWWater
6 nov 2026, CETMAR, Vigo

Contaminantes inorgánicos y microplásticos: determinación y cuantificación en masas de aguas superficiales y residuales

Juan Santos Echeandía, Patricia Bernárdez Rodríguez

CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Instituto Español de Oceanografía
Centro Oceanográfico de Vigo

Interreg España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue wwater

Índice

1. **Desarrollo de metodologías para la determinación de contaminantes inorgánicos emergentes**
   - Metales clásicos (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)
   - Elementos del grupo del platino (Pt, Pd, Rh)
   - Tierras raras (REEs) (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu)
2. **Aplicación de las metodologías para el análisis de estos contaminantes en aguas urbanas y superficiales**
3. **Conclusiones**

Interreg
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
España – Portugal
blue water

1. Desarrollo de metodologías para la determinación de contaminantes inorgánicos emergentes

ICP-MS

Modo de Alta Introducción Matricial (HMI) con dilución de Ar (Gas Nebulizador 0.62 L min^{-1} y gas de dilución 0,37 L min^{-1})



Agilent modelo 8900 Triple Quadrupole

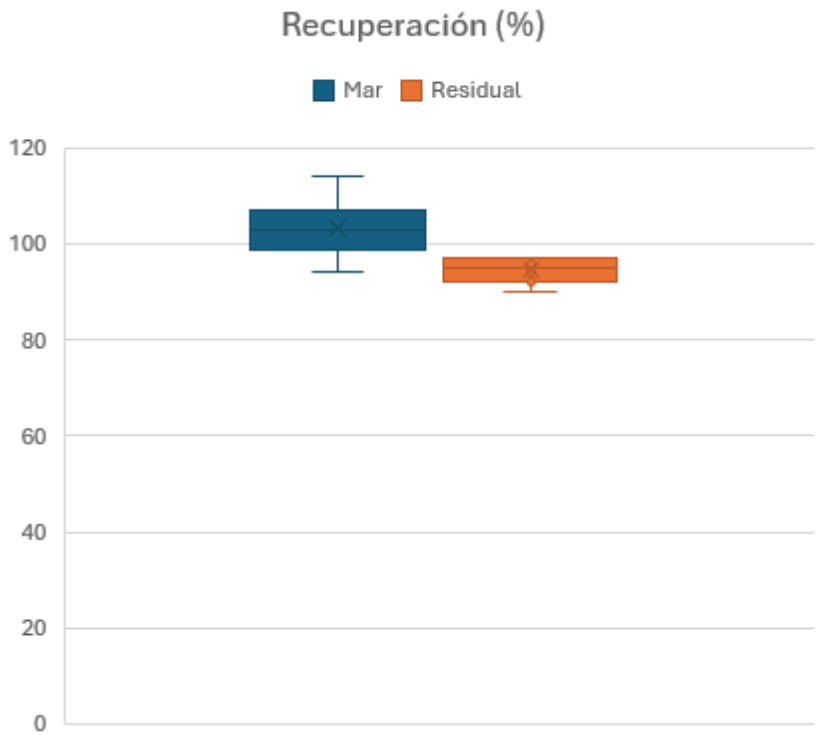
1. Desarrollo de metodologías para la determinación de contaminantes inorgánicos emergentes

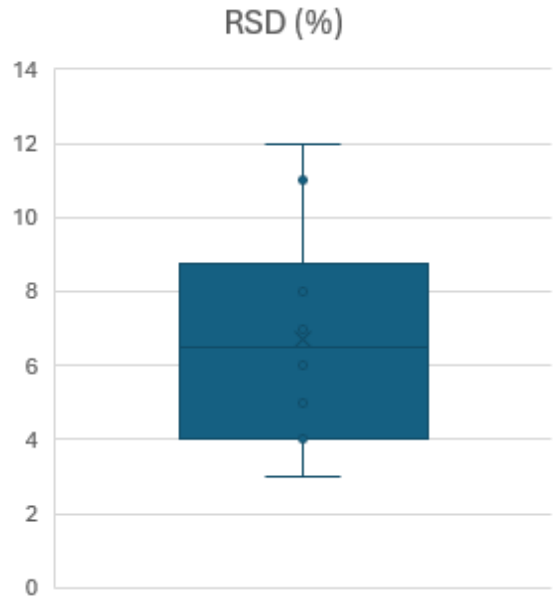
EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

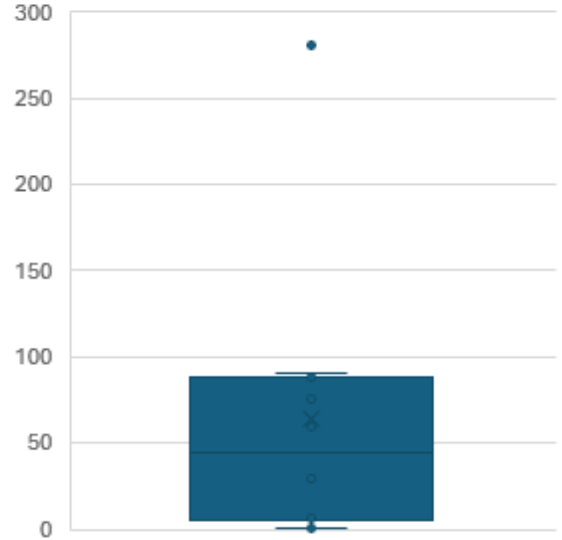


1. Desarrollo de metodologías para la determinación de contaminantes inorgánicos emergentes

Metales clásicos







1. Desarrollo de metodologías para la determinación de contaminantes inorgánicos emergentes

Elementos del grupo del platino

Pd:

Recuperación (Mar)= 99%
Recuperación (Residual) = 96%
LOD = 0,005 ng/L

Pt:

Recuperación (Mar) > 85%
Recuperación (Residual) = 97%
LOD = 0,01 ng/L

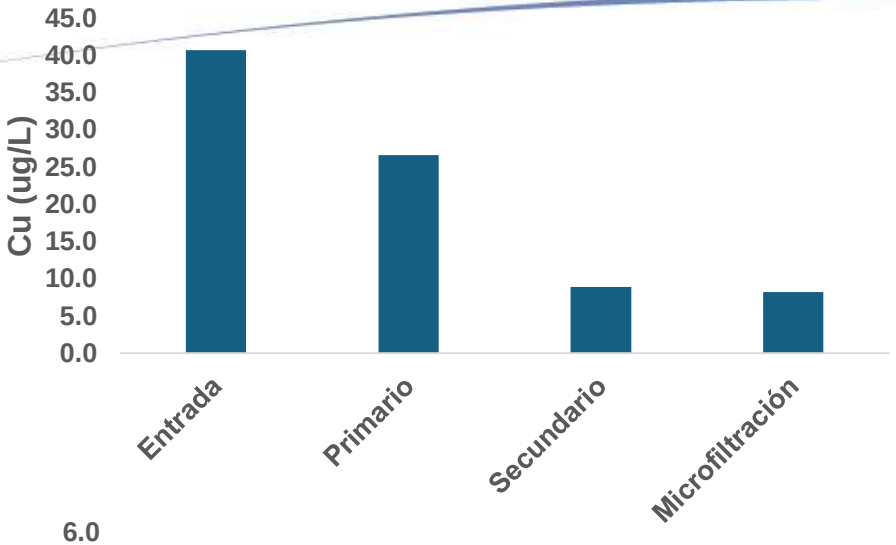
Tierras raras (REEs)



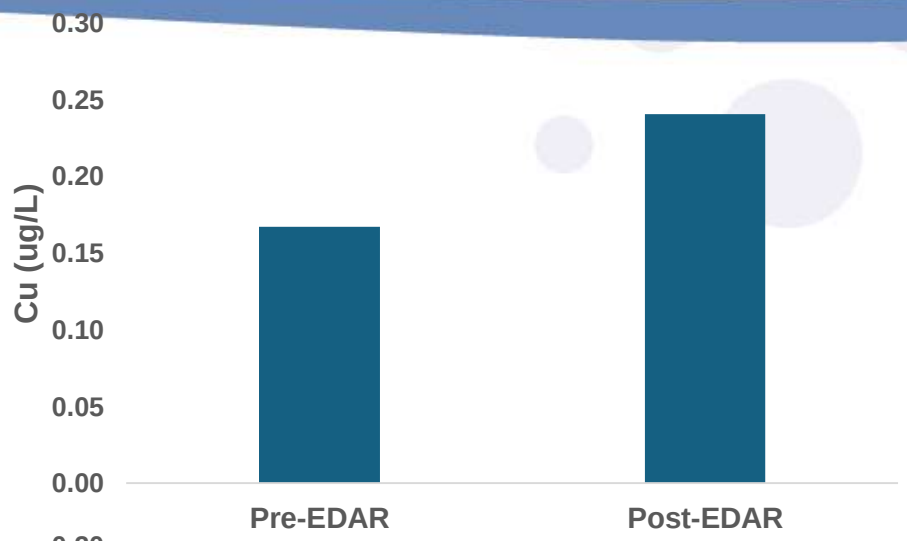
LODs: 0,001 – 0,02 ng/L

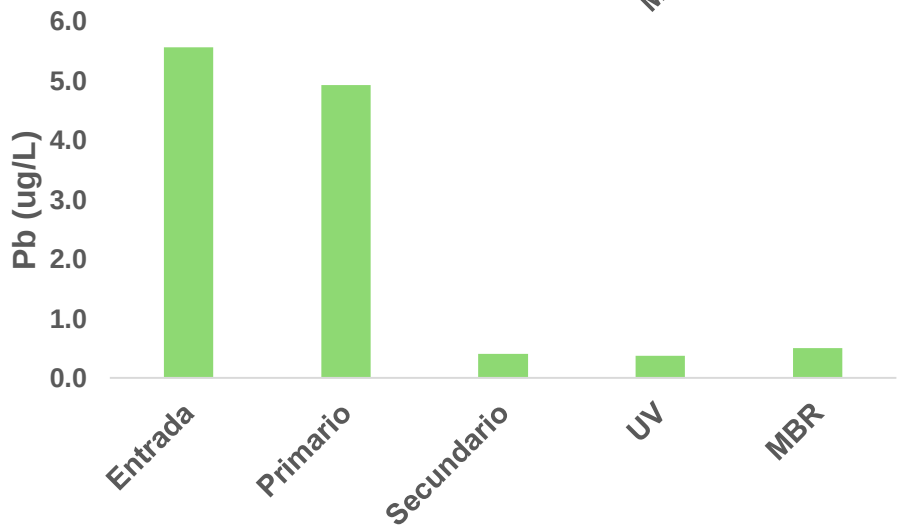
2. Aplicación de las metodologías para el análisis de estos contaminantes en aguas urbanas y superficiales

Metales clásicos

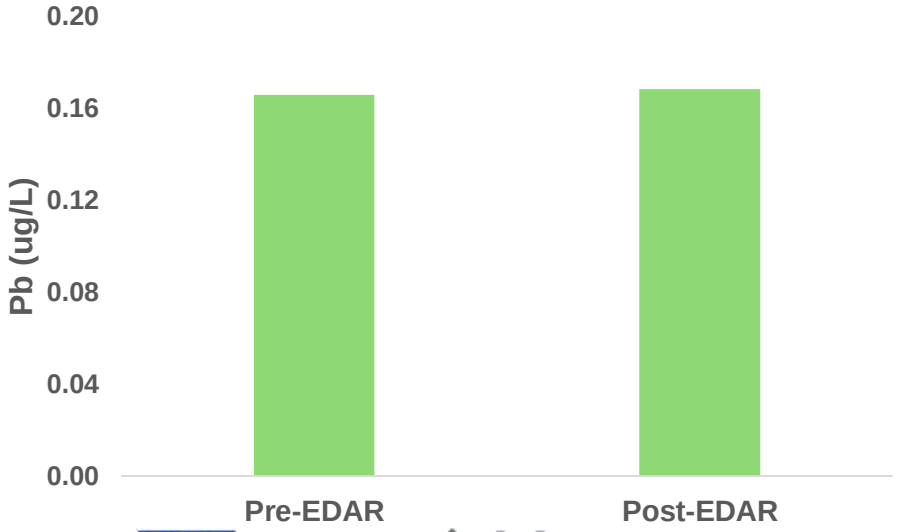


BW-02





BW-05

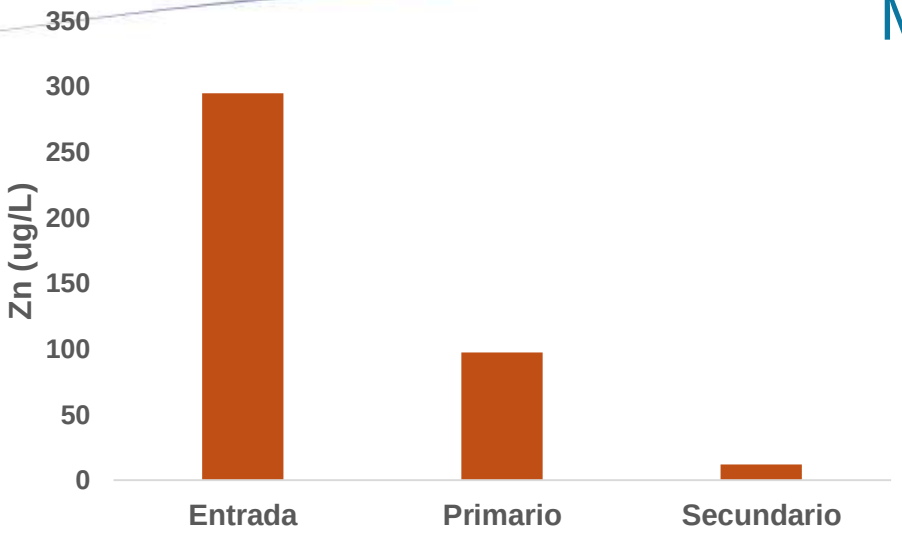


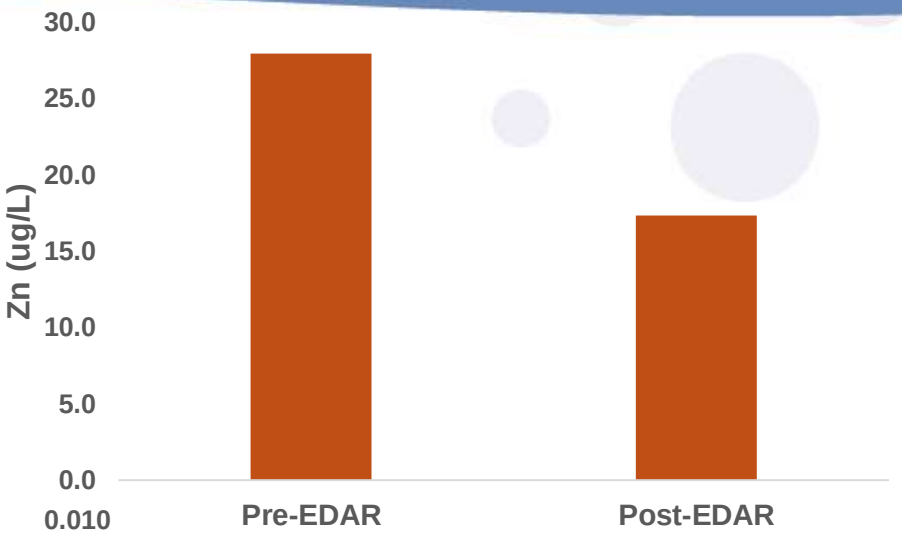
Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue water

2. Aplicación de las metodologías para el análisis de estos contaminantes en aguas urbanas y superficiales

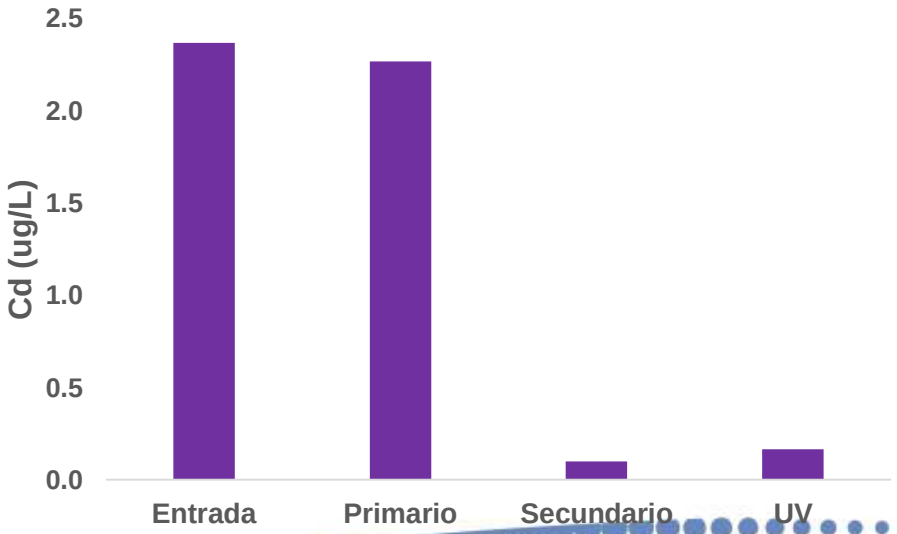
Metales clásicos

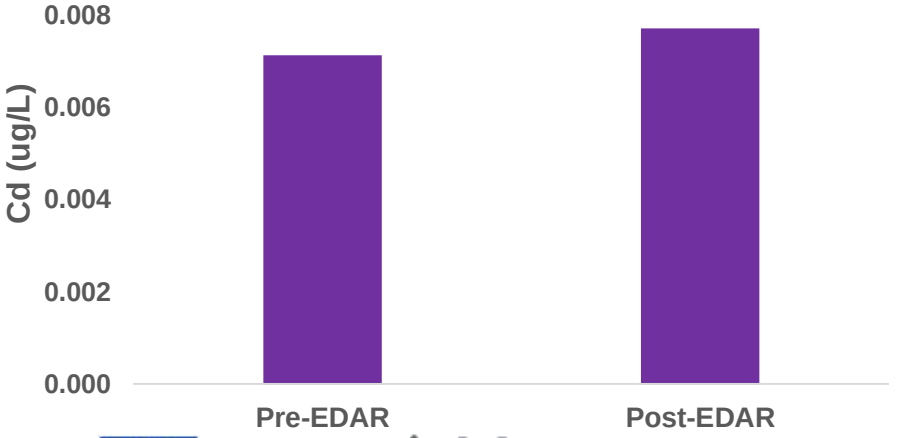
BW-08





BW-04





Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue water

2. Aplicación de las metodologías para el análisis de estos contaminantes en aguas urbanas y superficiales

Metales clásicos

	% Eficacia de Eliminación			
	BW-01	BW-02	BW-03	BW-04
Arsénico	68	63	45	73
Cadmio	35	93	87	93
Cobalto	49	7	49	89
Cromo	92	66	98	98
Cobre	79	80	94	97
Hierro	82	21	76	98
Manganeso	-11	-48	-18	19
Níquel	-5	-17	71	92
Plomo	97	93	94	96
Zinc	-25	73	86	83

	% Incremento agua receptora			
	BW-01	BW-02	BW-03	BW-04
Arsénico	-2	2	-6	1
Cadmio	-1	23	270	-34
Cobalto	14	27	35	-37
Cromo	16	18	-18	15
Cobre	6	44	19	-15
Hierro	15	16	24	1
Manganeso	17	12	20	-35
Níquel	5	5	2	-16
Plomo	36	27	11	-51
Zinc	19	37	37	-73

Interreg
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
España – Portugal
blue water

2. Aplicación de las metodologías para el análisis de estos contaminantes en aguas urbanas y superficiales

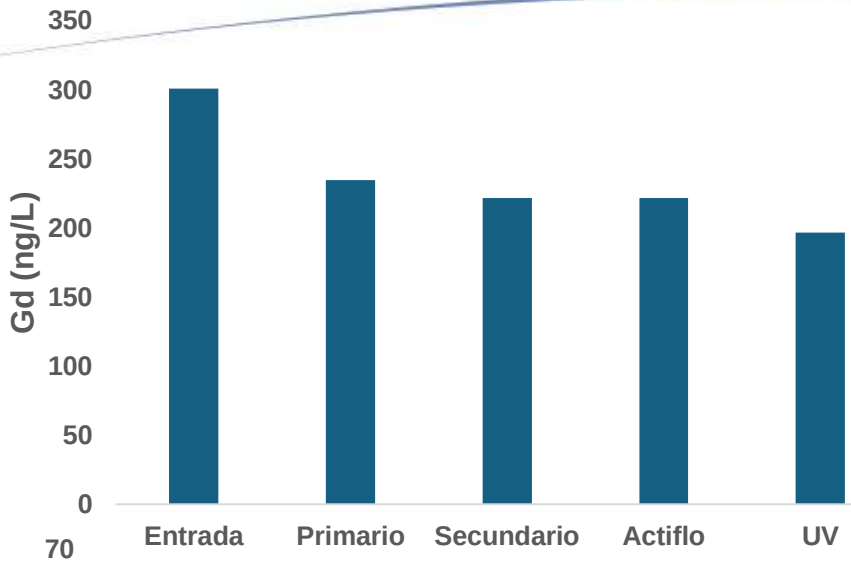
Metales clásicos: valores legislación

	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
Legislación aguas residuales	10	3	50	500	1000	10	10	5000
Máximo Salida EDAR	8	0,2	4	36	1365	22*	0,7	97
Legislación Aguas Transición Costeras	50	1,5	50	40	-	20	1,3	200
Legislación otras aguas	25	0,2	5	25	-	20	1,3	60
Máximo Aguas receptoras	3	0,04	26	14	1324	13	17**	238***

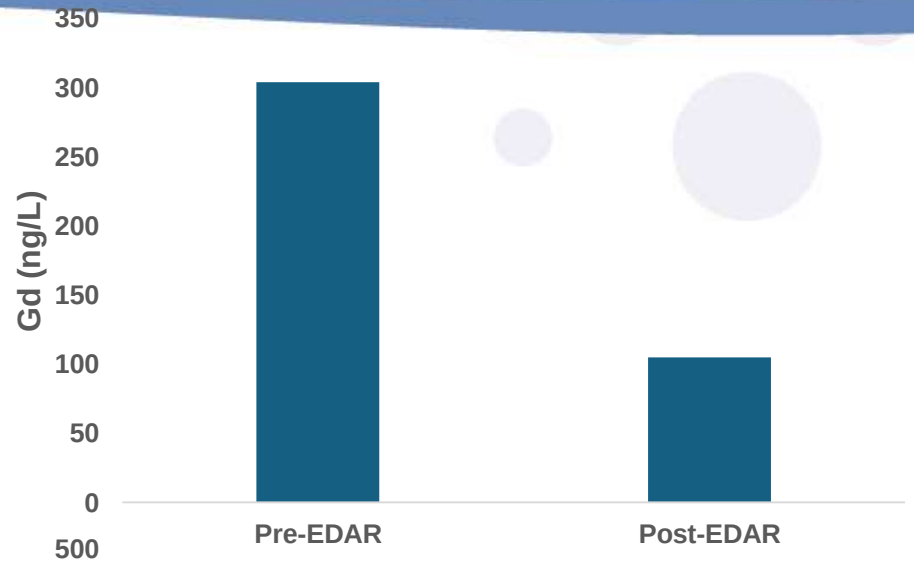
*Níquel: Superan el valor de 10 µg/L 3 de las 8 depuradoras
**Plomo: Superan el valor de 1,3 µg/L 2 de las 8 aguas receptoras
***Zinc: Solo un agua receptora supera los niveles de la legislación

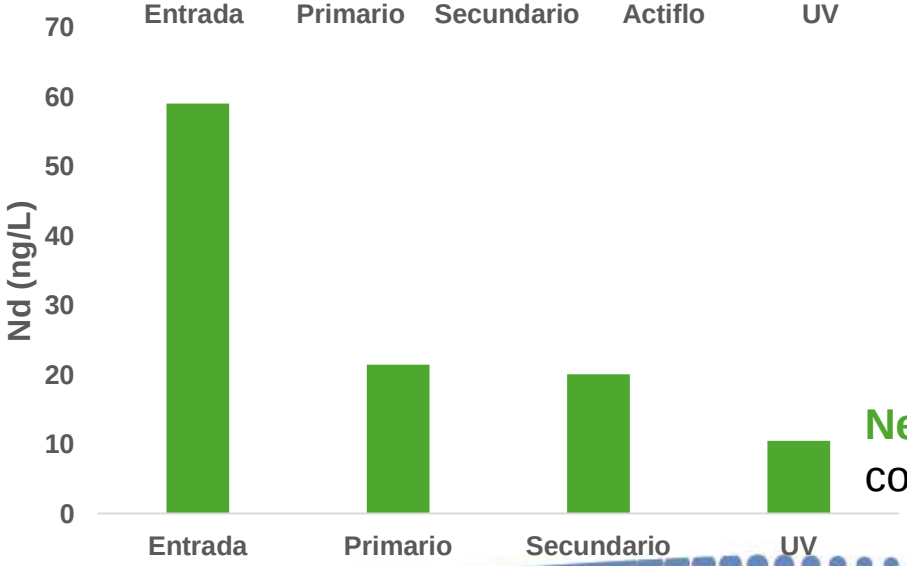
2. Aplicación de las metodologías para el análisis de estos contaminantes en aguas urbanas y superficiales

Tierras Raras (REEs)

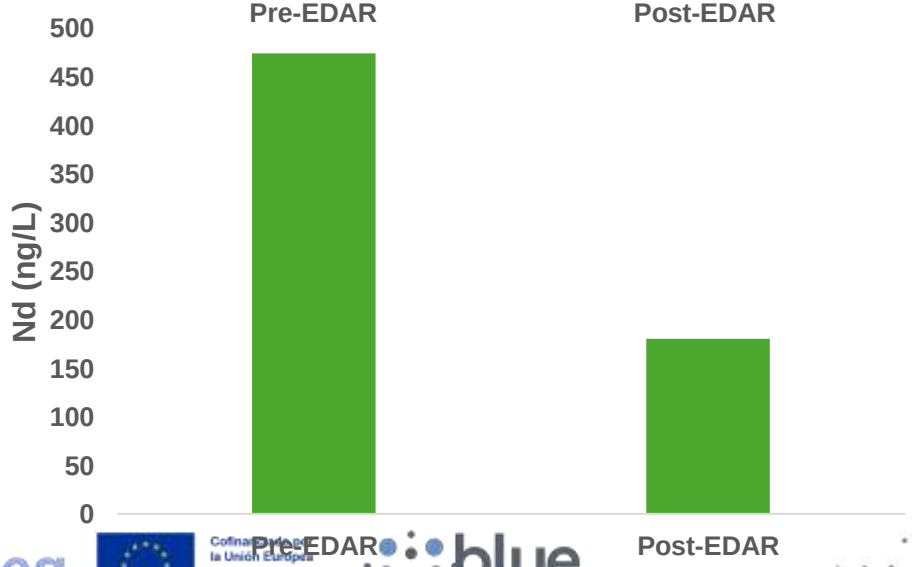


Gadolinio: Contrastes resonancias magnéticas hospitales





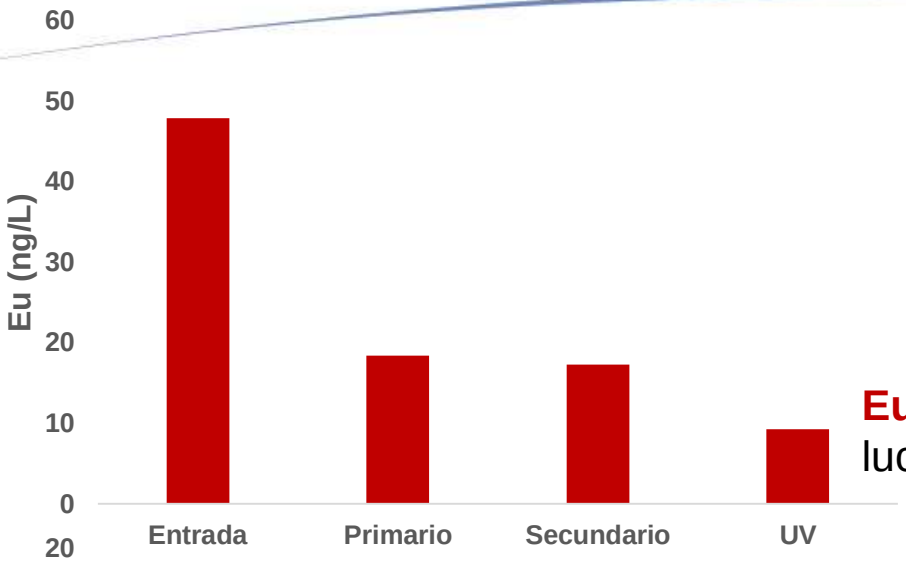
Neodimio: Imanes ultrapotentes coches eléctricos

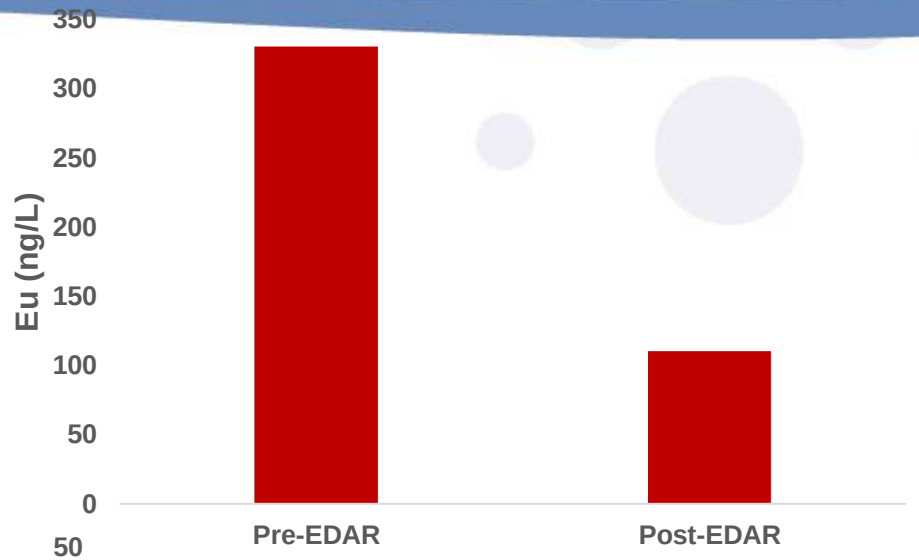


Interreg
España – Portugal
Cofinanciado pela União Europeia
blue water

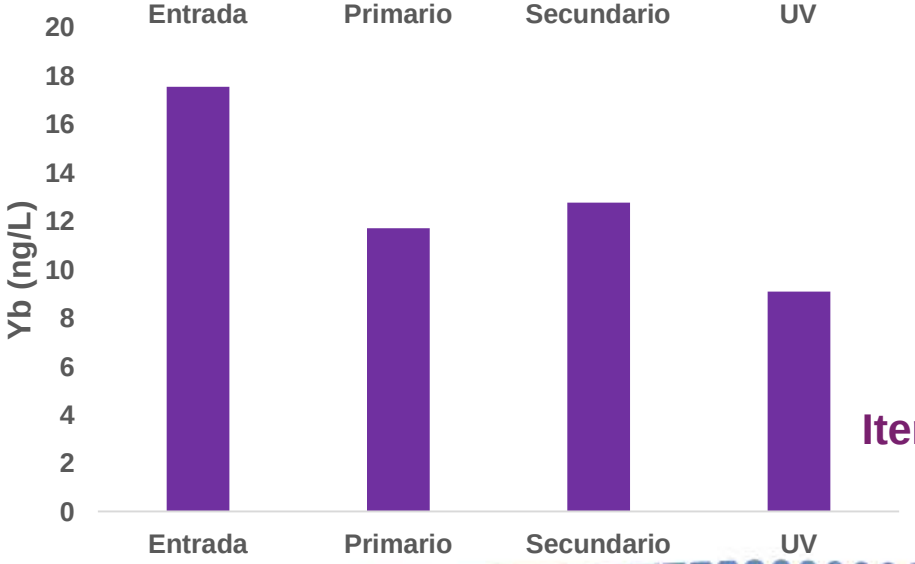
2. Aplicación de las metodologías para el análisis de estos contaminantes en aguas urbanas y superficiales

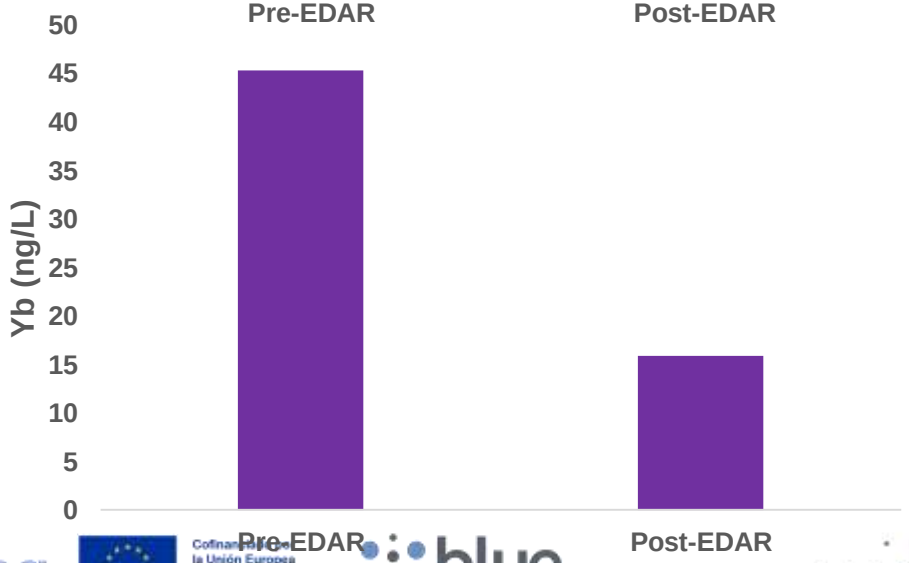
Tierras Raras (REEs)





Europio: Monitores móviles y luces LED





Iterbio: Láseres de fibra óptica

Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue water

2. Aplicación de las metodologías para el análisis de estos contaminantes en aguas urbanas y superficiales

Tierras Raras

	% Eficacia de Eliminación			
	BW-01	BW-02	BW-03	BW-04
Lantano	96	79	82	96
Cerio	96	84	85	97
Praseodimio	94	64	74	95
Neodimio	96	79	82	95
Samario	96	82	83	95
Europio	96	81	81	96
Gadolinio	88	-15	35	88
Terbio	96	78	79	95
Disprosio	95	77	76	93
Holmio	95	76	71	87
Erbio	94	72	63	81
Tulio	94	73	57	74
Iterbio	93	64	48	69
Lutecio	94	64	40	66

	% Incremento agua receptora			
	BW-01	BW-02	BW-03	BW-04
Lantano	130	-64	-90	-57
Cerio	128	-66	-90	-57
Praseodimio	51	-60	-77	-55
Neodimio	75	-62	-85	-55
Samario	142	-67	-88	-59
Europio	132	-67	-85	-60
Gadolinio	98	-66	-37	-58
Terbio	91	-66	-78	-59
Disprosio	86	-65	-75	-59
Holmio	80	-65	-72	-58
Erbio	78	-65	-70	-57
Tulio	74	-66	-67	-56
Iterbio	73	-65	-64	-54
Lutecio	71	-65	-61	-54

Interreg
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
España – Portugal
blue water

3. Conclusiones

1. Se han puesto apunto metodologías analíticas para determinar metales clásicos y tierras raras (REEs) en aguas de depuradora y masas de agua superficiales.

2. Para la mayor parte de los metales clásicos y depuradoras, la eficacia de eliminación es superior al 90%. Manganeso y níquel son los que presentan mayores problemas.

3. En el caso de las Tierras Raras (REEs) usadas en las nuevas tecnologías, los porcentajes de eliminación superan el 70% salvo para el Gadolinio, Iterbio y Lutecio.

4. Los valores del efluente no superan los máximos establecidos en la legislación salvo para el Ni en 3 depuradoras y el hiero en una.

5. Pese a que en algunos casos los niveles de metales en las aguas receptoras son mayores que en el agua antes de entrar en la depuradora, no superan casi nunca los niveles establecidos por la legislación correspondiente salvo para el plomo en varios casos y el zinc en una de las aguas receptoras.

6. Actualmente no existe legislación para los elementos pertenecientes al grupo de las Tierras Raras.

CONFERENCIA FINAL BlueWWater
6 nov 2026, CETMAR, Vigo

Contaminantes inorgánicos e microplásticos: determinação e quantificação em masas de aguas superficiais e residuais

Paula Araújo, Romeu Avó

Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue wwater
Porto. Águas e Energia do Porto

Desenvolvimento de metodologías para a determinação de microplásticos

Py-GC/MS

GC TRACE 1600 (ThermoScientific)
MS TSQ9610 (ThermoScientific)

- GC: Temp. Inj./Aux.: 300 °C, Temp. forno: 40 (2 min)-(20 °C /min)-280 °C (6 min)
- Split ratio: 1/50, Pressão Constante: 150 kPa;
- Pré-coluna: 50% difenil-50% dimetilpolisiloxano, 2 m, 0,25 mm id,1,0 µm;
- Coluna: 5% difenil-95% dimetilpolisiloxano, 30 m, 0,25 mm id, 0,5 µm

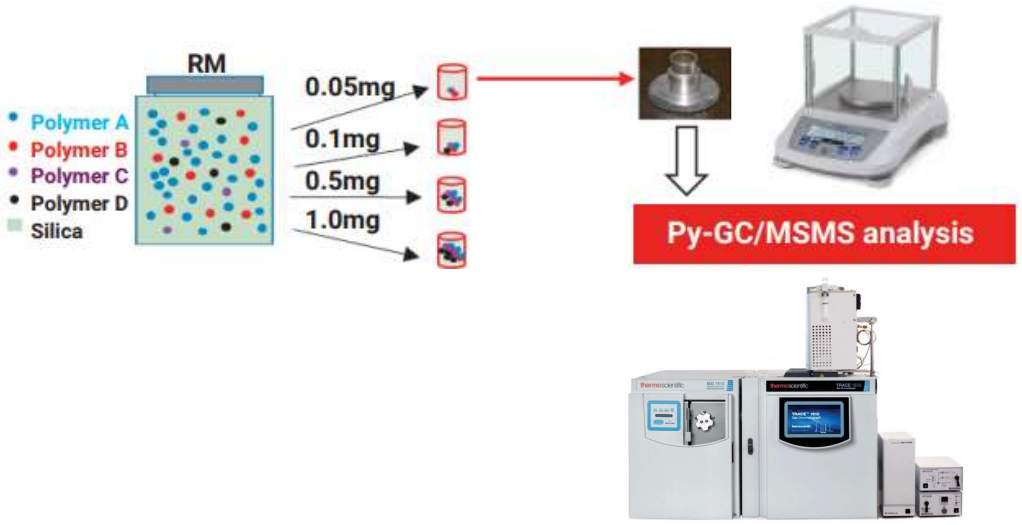


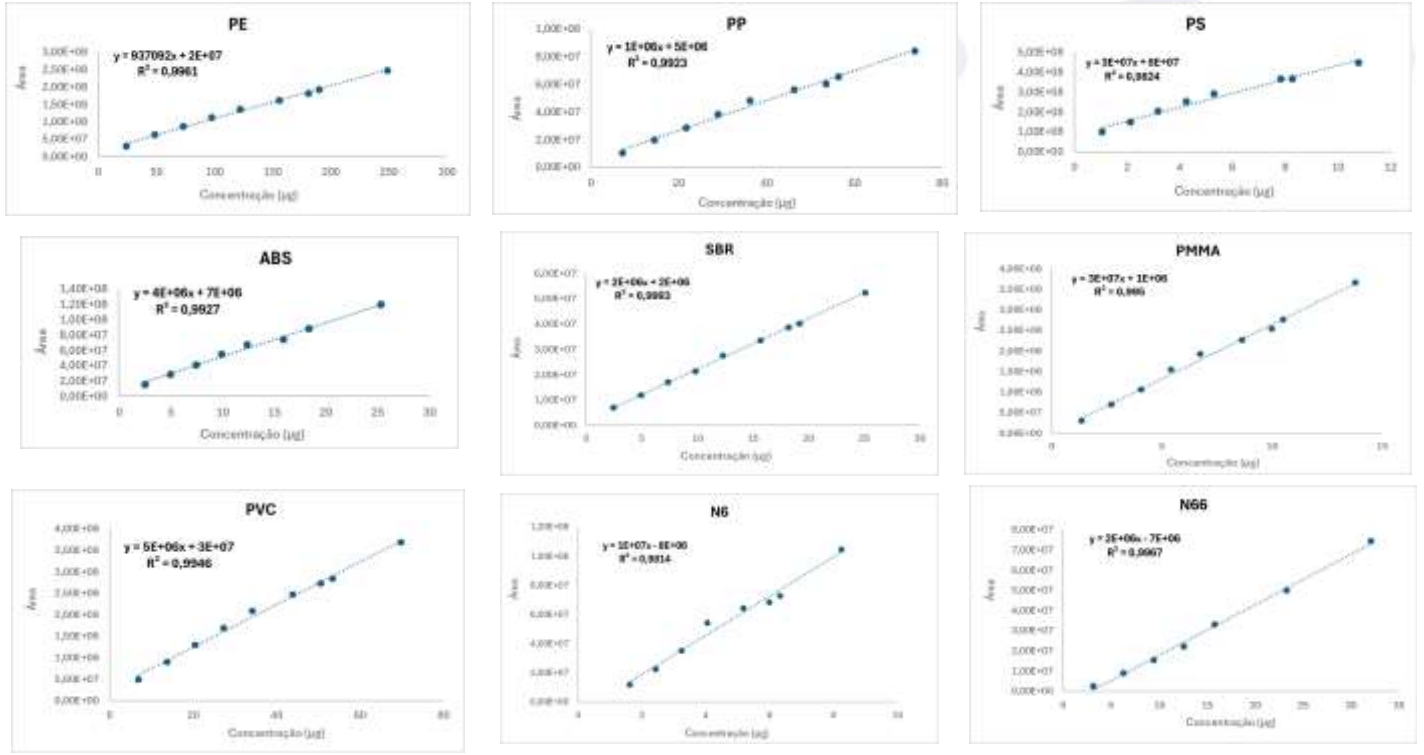
Pirolizador Multi-Shot EGA/PY-3030D (Frontier Lab)

- Temperatura de Pirólisis: 600 °C

Desenvolvimento de metodologías para a determinação de microplásticos

- **MPs dispersos no diluente SiO_2**





- Para os polímeros **PC** e **PET** nem sempre foi possível obter um coeficientes de correlação **R^2 ≥0,99**

Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue water

Processo de extração dos microplásticos

Predigestión

1. Muestra en matraz
2. H_2O_2 30%



3. Agitar 5—10 min
4. Estufa 50°C · 24 h

- Repetir si ve muestrá de aguas residtates



Filtración

1. Filtrar al vàcio
2. Filtro de acero (5 mm)



3. Filtro de 200 µm



4. Enjuagar con agua



Ultrasonidos y transferencia

1. Filtro 200 µm a vaso con EtOH



2. Baño ultrasónico 15 + 15 min



3. Transfeir a jeringa de vidrio



4. Filtrar con filtra de fitró de vidrio (Ø 1,3 cm, 0,7–1,2 µm)



Análisis final

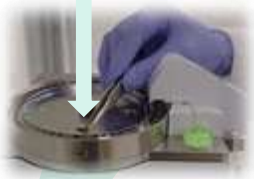
1. Filtro de vidrio en vaso de piŕólisis
2. Inictar análisis



Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue water
Porto. Águas e Energia do Porto

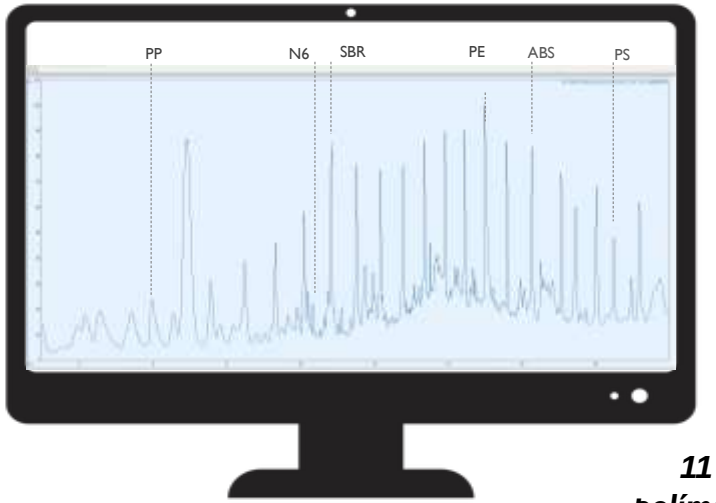
Análise de microplásticos





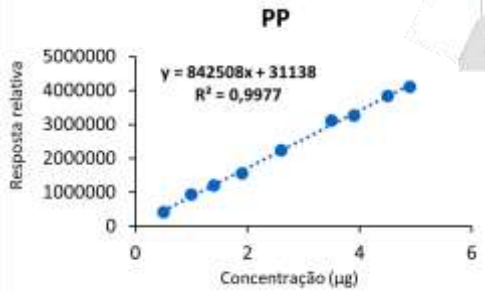


Pirograma



11 polímeros





- **Polímeros em SiO_2:**

Nome do polímero	Polímero	Pirolisado	Sigla do pirolisado	Ião principal (m/z)	Ião secundário	t_R (min)
Polietileno	**PE**	1,20-Heneicosadieno	C21''	82	294	14,92
Polipropileno	**PP**	2,4-Dimetil-1-hepteno	C9	126	70	6,06
Poliestireno	**PS**	2,4,6-Trifenil-1-hexeno	SSS	91	312	18,77
Copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno	**ABS**	2-Fenetil-4-fenilpent-4-enenitrilo	SAS	170	91	16,42
Borracha estireno-butadieno	**SBR**	4-Vinilciclohexeno	SB	104	158	10,89
Polimetilmetacrilato	**PMMA**	Metacrilato de metilo	MMA	100	69	4,66
Policarbonato	**PC**	Bisfenol A	BPA	213	-	16,7
Policloreto de vinilo	**PVC**	Naftaleno	Nap	128	115	9,88
Tereftalato de polietileno	**PET**	Ácido benzóico	BA	122	-	9,58
Nylon 6	**N6**	Caprolactama	Capro	113	85	10,66
Nylon 66	**N66**	Ciclopentanona	CP	84	55	5,95

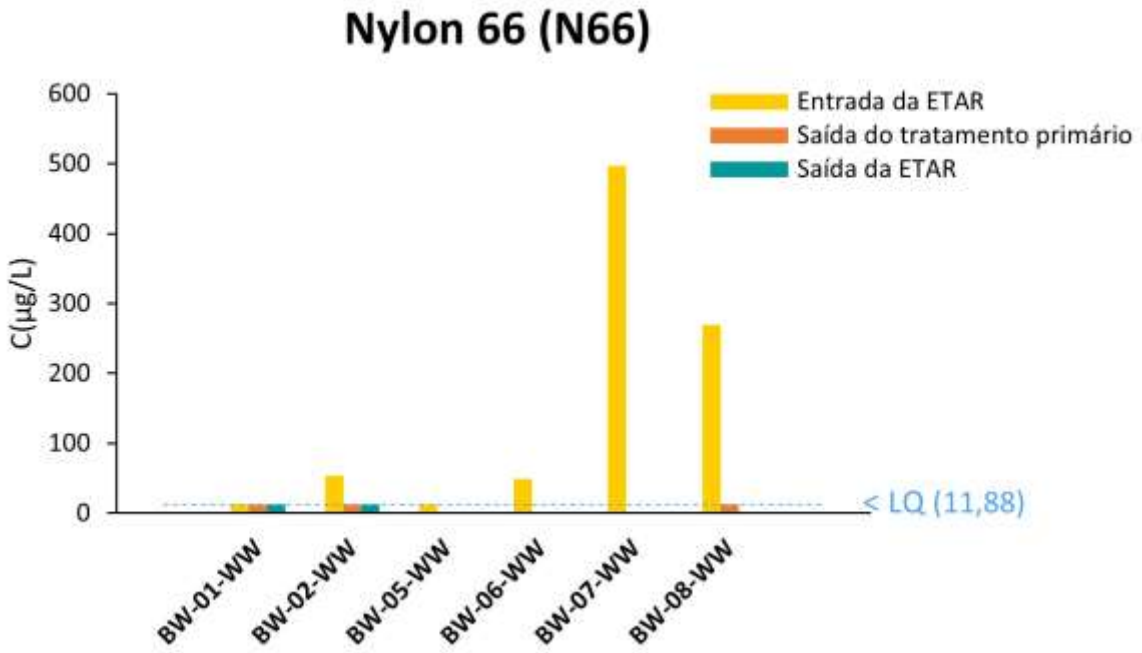
Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue water
Porto. Águas e Energia do Porto

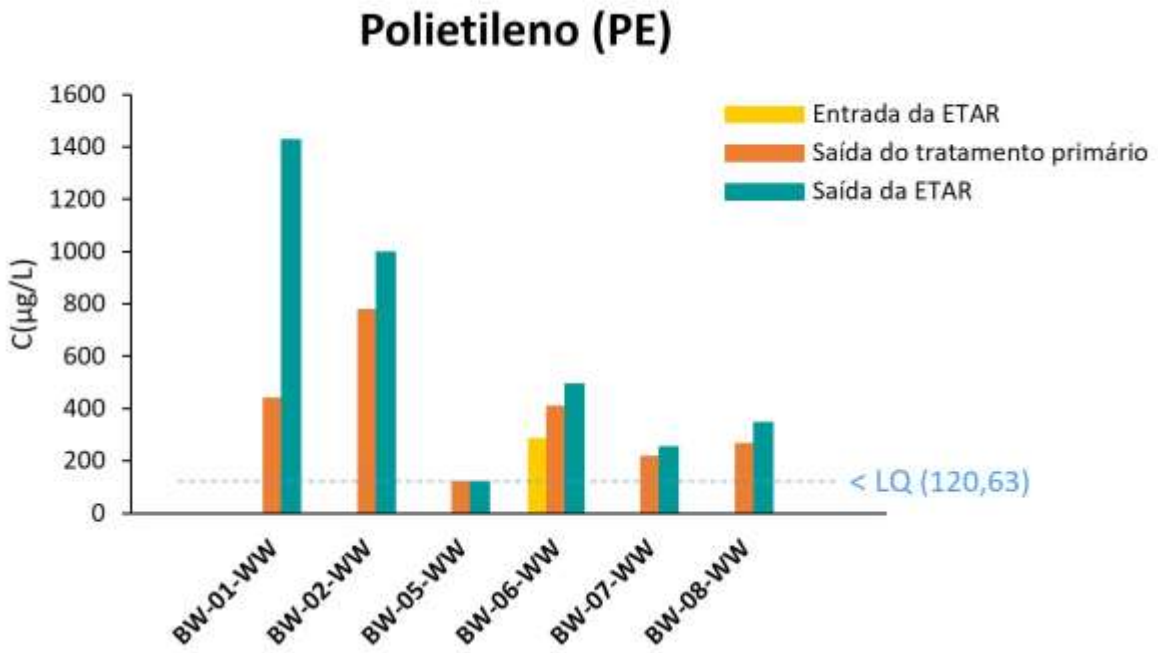
Resultados das análises de microplásticos



ETAR

- A **maioria dos polímeros** presentes nas amostras das diferentes ETAR **encontram-se abaixo** do **LQ** e **LD**.



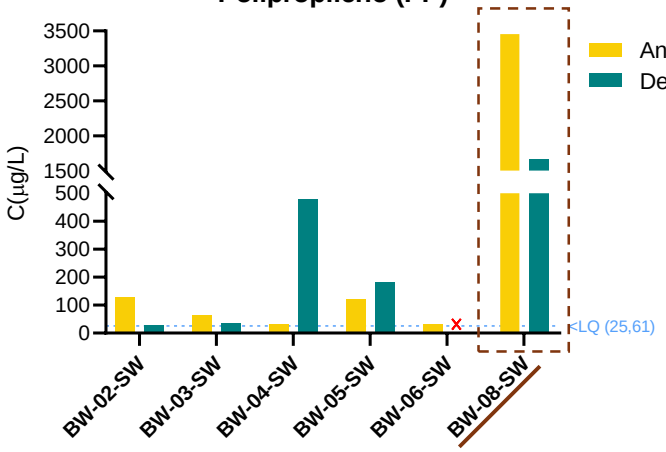


Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue water
Porto. Águas e Energia do Porto

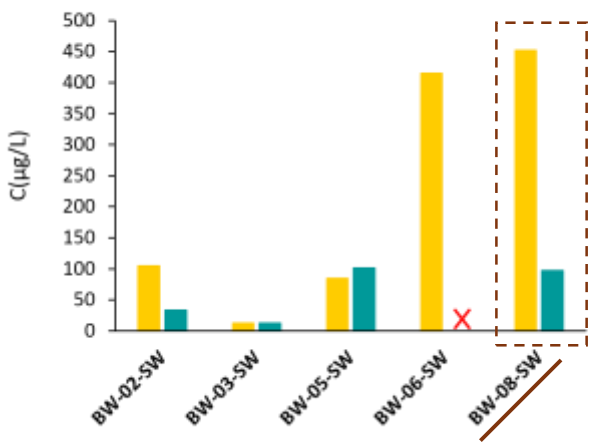
Resultados das análises de microplásticos

RIOS

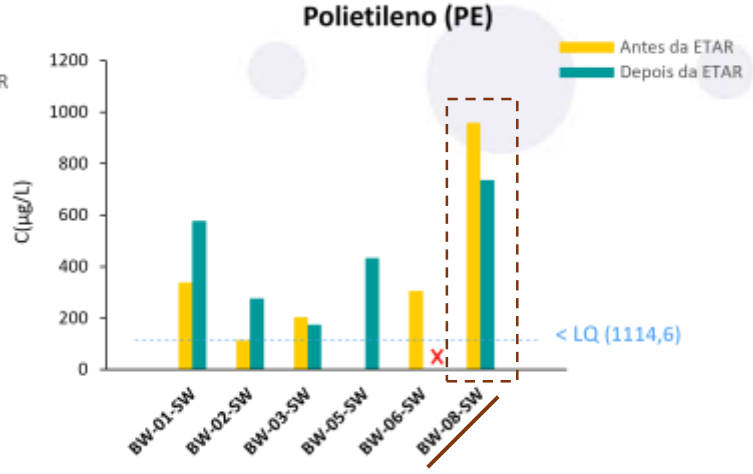
Polipropileno (PP)



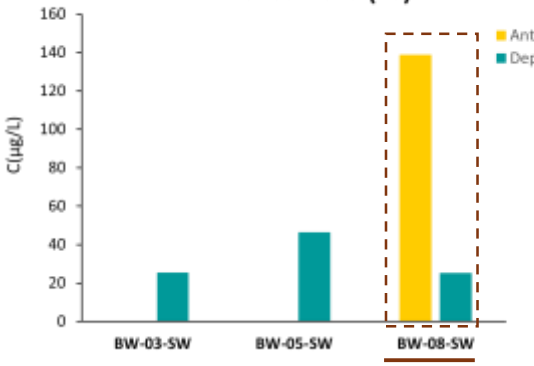
Nylon 66 (N66)



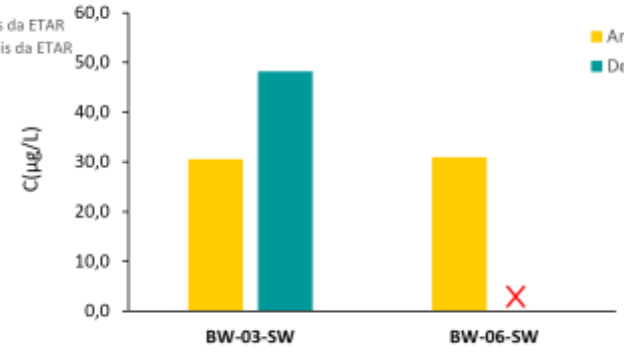
Polietileno (PE)



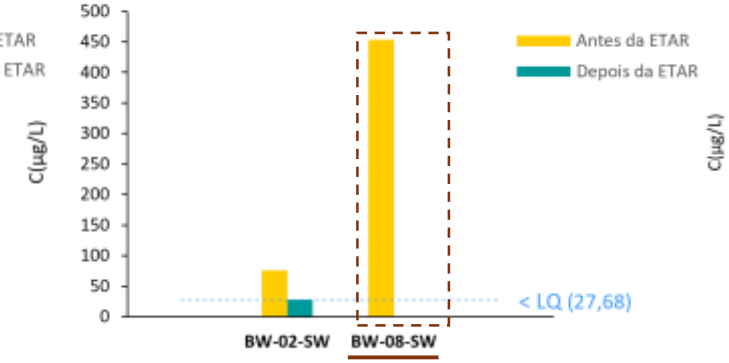
Poliestireno (PS)



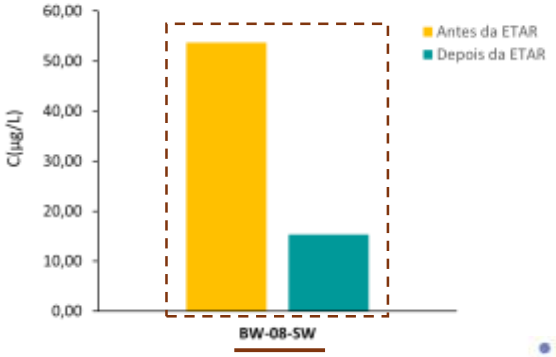
Borracha estireno-butadieno (SBR)



Policloreto de vinilo (PVC)



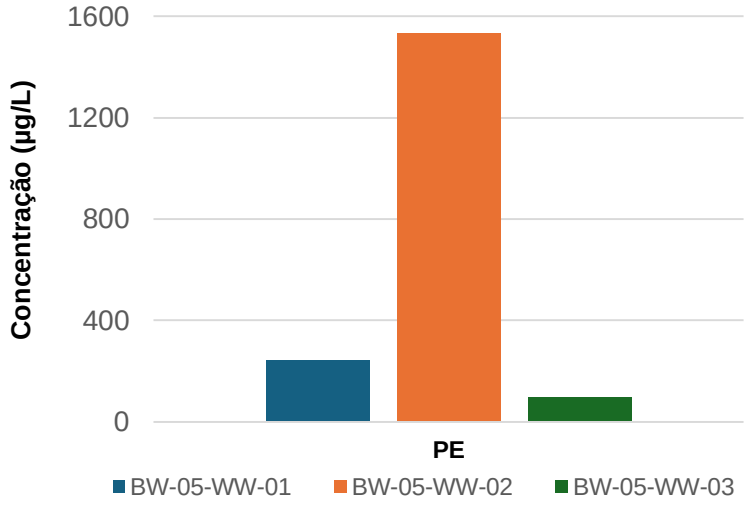
Polimetilmetacrilato (PMMA)

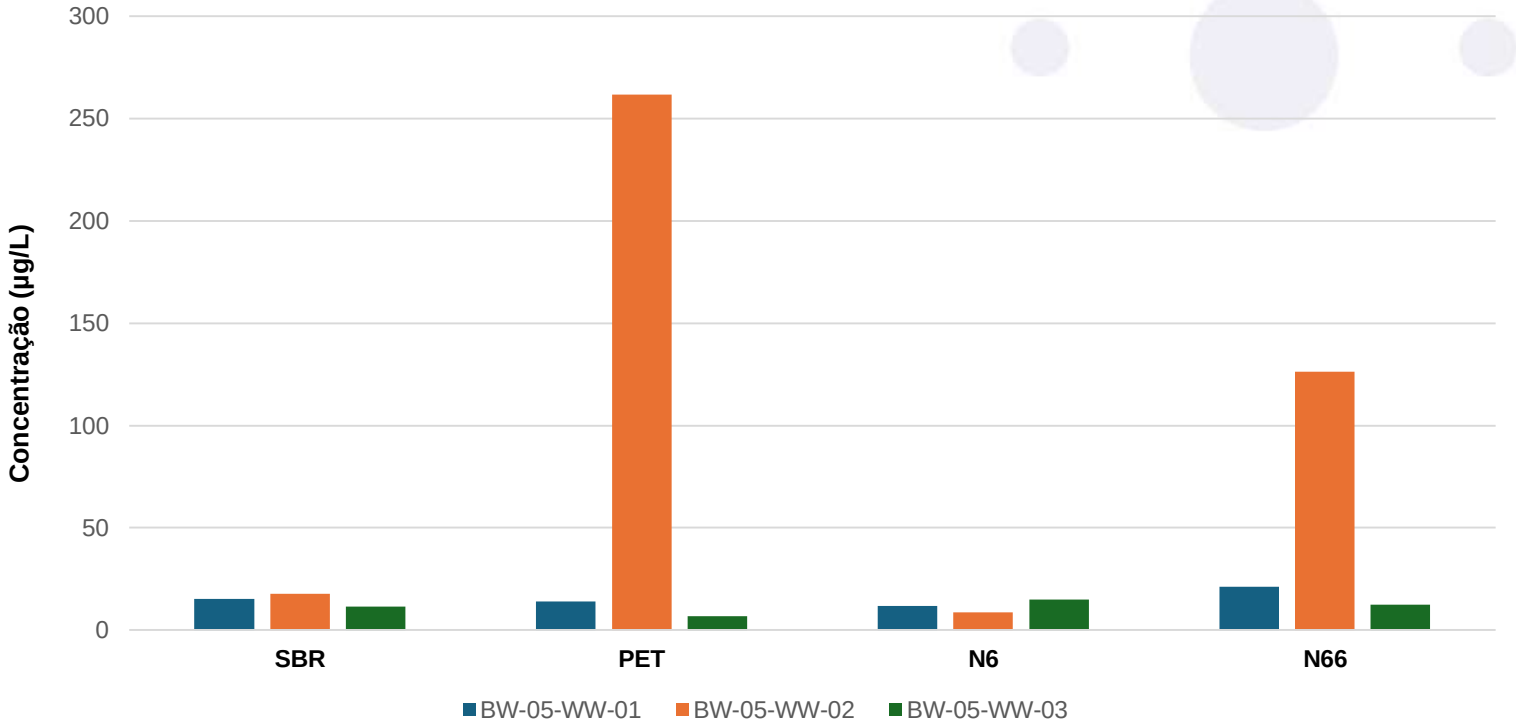


Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue water
Porto. Águas e Energia do Porto

Análise dos microplásticos nas amostras da ETAR BW-05-WW

(**BW-05-WW-01**: Entrada da ETAR; **BW-05-WW-02**: Saída do tratamento primário; **BW-05-WW-03**: Saída da ETAR)

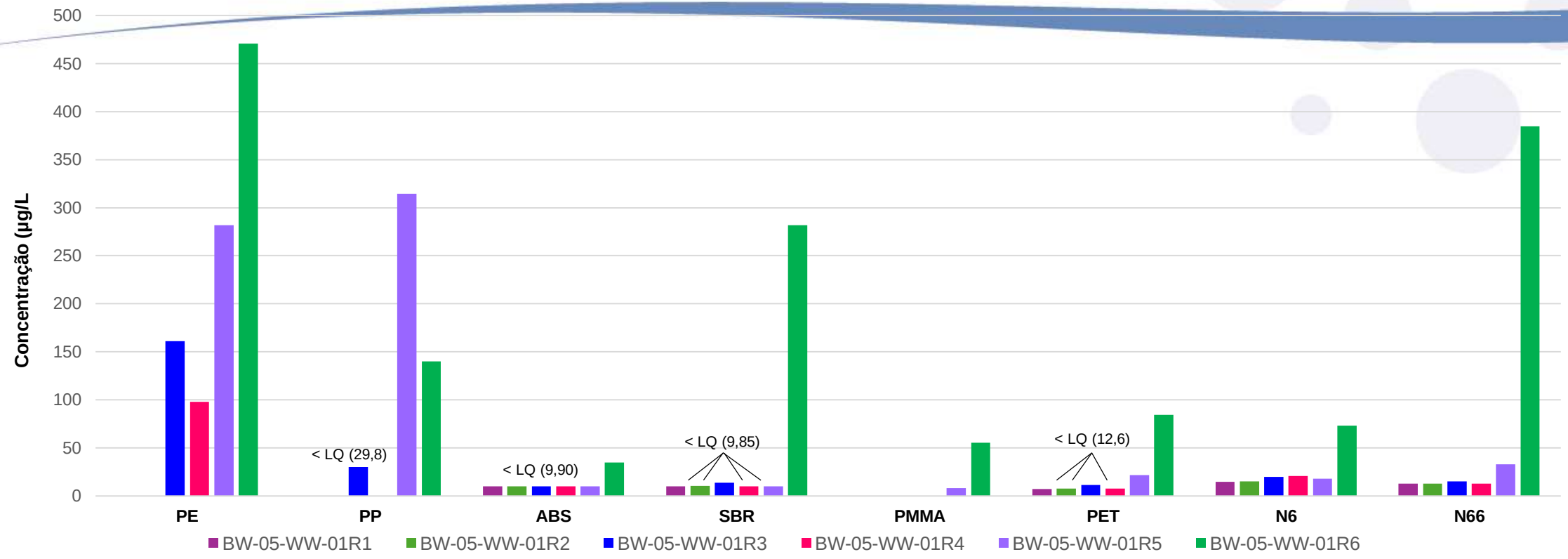




	BW-05-WW-01	BW-05-WW-02	BW-05-WW-03
PP	< LQ (28,9)	< LD (12,0)	< LD (9,65)
PS	< LD (1,42)	< LD (3,54)	< LD (1,42)
ABS	< LQ (9,90)	< LD (4,13)	< LQ (9,90)
PMMA	< LD (1,80)	< LQ (6,75)	< LD (1,80)
PC	< LD (2,15)	< LD (0,98)	< LD (2,15)
PVC	< LD (9,12)	< LD (11,4)	< LD (9,12)

Interreg
España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue water
Porto. Águas e Energia do Porto

Análise dos microplásticos nas amostras da ETAR BW-05-WW



	Escorrência Centrifuga de desidratação 1	Escorrência Centrifuga de desidratação 2	Escorrência Centrifuga de desidratação 3	Escorrência Centrifuga de espessamento 1	Escorrência Centrifuga de espessamento 2	Escorrência Espessamento gavítico
	BW-05-WW-01R1	**BW-05-WW-01R2**	**BW-05-WW-01R3**	**BW-05-WW-01R4**	**BW-05-WW-01R5**	**BW-05-WW-01R6**
PS	< LD (1,42)	< LD (1,42)	< LD (1,42)	< LD (1,42)	< LD (1,42)	< LD (1,42)
PC	< LD (2,15)	< LD (2,15)	< LD (2,15)	< LD (2,15)	< LD (2,15)	< LD (2,15)
PVC	< LD (9,12)	< LD (9,12)	< LD (9,12)	< LD (9,12)	< LD (9,12)	< LD (9,12)

Interreg España – Portugal
Cofinanciado por la Unión Europea
Cofinanciado pela União Europeia
blue water
Porto. Águas e Energia do Porto

Conclusões

- Na primeira campanha de amostragem nas ETAR os únicos microplásticos que foram quantificados foram o N6 e PE
- Nas amostras dos rios da mesma campanha foi detetado uma maior variedade de MPs
- O estudo das escorrência permitiu confirmar que o seu teor em MPs é consideravelmente elevado em relação ao que entra na ETAR