



Improving current barriers for
controlling pharmaceutical compounds
in urban wastewater treatment plants

www.life-impetus.eu

LAYMAN'S REPORT

2016-2019



LIFE IMPETUS is a project co-funded by the European Union under the LIFE Financial Instrument within the axe Environment and Resource Efficiency and under the Grant Agreement n. LIFE 14 ENV/PT/000739

Duration

January 2016 – December 2019

Budget

Total costs: € 1 492 452

EU funding: € 855 589

Duração

Janeiro 2016 – dezembro 2019

Orçamento

Custos totais: € 1 492 452

Financiamento EU: € 855 589



LIFE 14 ENV/PT/000739

Project consortium | Consórcio do projeto



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Coordination of the project. Collaboration in the characterization of activated carbons. Definition and analysis of treatment enhancement measures. Cost-benefit analysis.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Coordenação do projeto. Colaboração na caracterização de carvões ativados. Definição e análise de medidas de melhoria do tratamento. Análise custo-benefício.



Ciências
ULisboa

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Preparation and characterization of activated carbons.

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Experiência na preparação e caracterização de carvões ativados.



FACULDADE DE
FARMÁCIA
Universidade de Lisboa

Faculdade de Farmácia da Universidade de Lisboa.

Preparation of samples for PhC analysis and study of anti-microbial resistance.

Faculdade de Farmácia da Universidade de Lisboa.

Preparação de amostras para análise de fármacos e estudo de resistência bacteriana.



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Universidade do Algarve.

Study about pharmaceutical bioaccumulation in clams exposed to the discharge of treated effluents.

Universidade do Algarve.

Estudo sobre bioacumulação de fármacos em amêijoas expostas à descarga de efluentes tratados.



Grupo Águas de Portugal

Empresa Portuguesa das Águas Livres.

Pharmaceutical analysis in samples of wastewater, sludge and clams.

Empresa Portuguesa das Águas Livres.

Análise de fármacos em amostras de águas residuais, lamas e amêijoas.



ÁGUAS DO
ALGARVE
Grupo Águas de Portugal

Águas do Algarve.

Management of the Faro NW wastewater treatment plant (case study in the Algarve region).

Águas do Algarve.

Gestão da estação de tratamento de águas residuais de Faro Noroeste (caso de estudo na região do Algarve).



ÁGUAS DO
TEJO ATLÂNTICO
Grupo Águas de Portugal

Águas do Tejo Atlântico.

Management of the Beiro las wastewater treatment plant (case study in the Great Lisbon region).

Águas do Tejo Atlântico.

Gestão da estação de tratamento de águas residuais de Beiro las (caso de estudo na região da grande Lisboa).



ehs
Consulting

Environment and Regional Development Consulting.

Contribution to the project's replication and transfer plan.

Environment and Regional Development Consulting.

Contributo para o plano de replicação e transferência do projeto.

Index | Índice

01	Pharmaceutical compounds in aquatic environments <i>Fármacos nos meios aquáticos</i>	1
02	LIFE IMPETUS project <i>O projeto LIFE IMPETUS</i>	2
03	Pharmaceutical compounds monitoring <i>Monitorização de fármacos</i>	3
04	Operational improvement of biological treatment <i>Melhoria operacional do tratamento biológico</i>	4
05	Treatment enhancement with activated carbon addition <i>Reforço do tratamento com adição de carvão ativado</i>	6
06	Innovation & replication <i>Inovação & replicação</i>	8
07	Cost-benefit analysis & long-term environmental benefits <i>Análise custo-benefício & benefícios ambientais de longo prazo</i>	9
08	Key messages <i>Mensagens chave</i>	11
09	Dissemination and recognition <i>Disseminação e reconhecimento</i>	12



Acronyms | Acrónimos

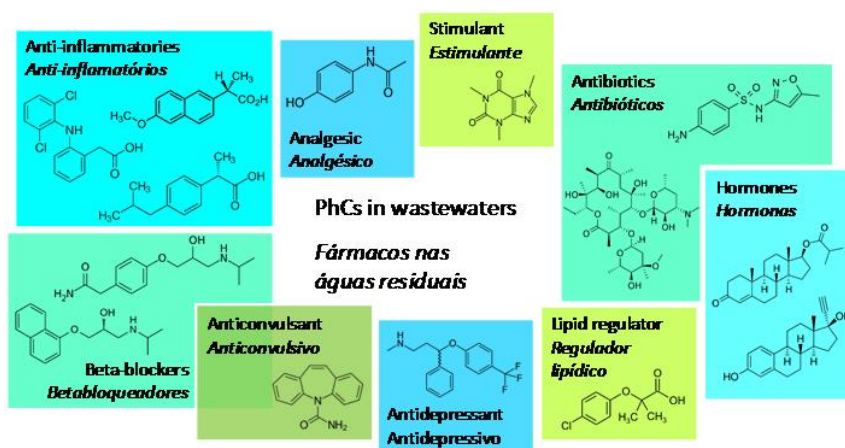
Definition | Definição

BEI	Beirolas WWTP <i>ETAR de Beirolas</i>
CBA	Cost-benefit analysis <i>Análise Custo-Benefício</i>
F/M	Food to microorganisms ratio <i>Razão alimento microrganismo</i>
FNW	Faro Nw WWTP <i>ETAR de Faro Noroeste</i>
PAC	Powdered Activated Carbon <i>Carvão Ativado em Pó</i>
PhC	Pharmaceutical compound <i>Composto farmacêutico</i>
SDG ODS	UN Sustainable development goal <i>Objetivo de desenvolvimento sustentável da ONU</i>
WWTP ETAR	Wastewater treatment plant <i>Estação de tratamento de águas residuais</i>

01 | Pharmaceutical compounds in aquatic environments

Fármacos nos meios aquáticos

The degradation of water quality due to the presence of **pharmaceutical compounds (PhCs)** threatens the human health, ecosystem functions and food production. The main source of pharmaceuticals in the environment is human and animal medicines' uptake. After ingestion, pharmaceuticals are absorbed and subjected to metabolic reactions and excreted as metabolites or as the parent compounds through urine and faeces.



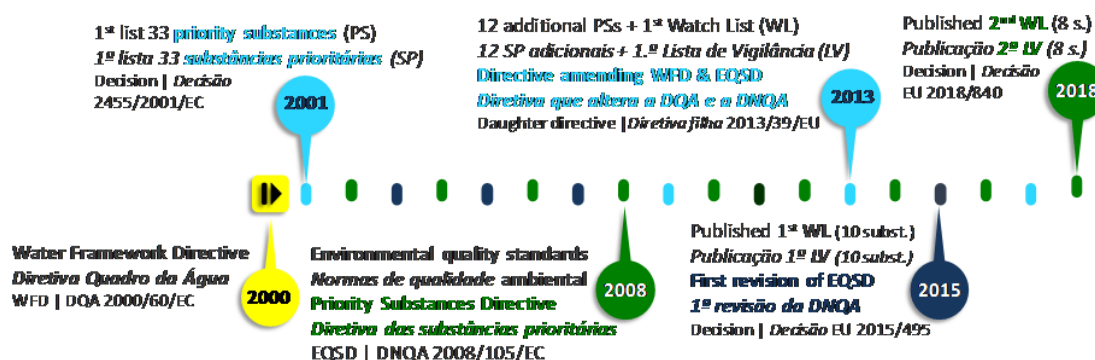
A degradação da qualidade da água devido à presença de compostos farmacêuticos ameaça a saúde humana, as funções dos ecossistemas e a produção de alimentos. A principal origem dos compostos farmacêuticos no ambiente é a utilização de medicamentos para uso humano e animal. Após a ingestão, os fármacos são absorvidos e sujeitos a reações metabólicas e excretados como metabolitos ou como compostos de origem através da urina e das fezes.

Population growth and ageing make the occurrence of pharmaceuticals in urban wastewaters inevitable. If wastewater treatment plants (WWTPs) fail to control them, they will occur in the water bodies, and may affect the biota and/or be accumulated in the food chain. If these water bodies are used for drinking water production, they may occur in drinking water. Actually, in the last years, they have been found in urban wastewaters, before and after treatment, and in surface and ground waters.

Pharmaceutical compounds are contaminants of emerging concern. They may have toxic, carcinogenic, mutagenic and endocrine disrupting effects at very low concentrations, and their synergetic and chronic effects are still poorly documented or unknown. **EU legislation** is following this environmental-health issue.

O crescimento e o envelhecimento da população tornam inevitável a ocorrência de fármacos nas águas residuais urbanas. Se as estações de tratamento de águas residuais (ETAR) não conseguirem controlar estes compostos, é inevitável a sua presença nas massas de água, o que pode afetar a biota e/ou levar à acumulação na cadeia alimentar. Caso estas massas de água sejam utilizadas para a produção de água de abastecimento humano, será possível a presença de fármacos na água potável. Nos últimos anos, detetaram-se fármacos nas águas residuais urbanas, antes e depois do tratamento nas ETAR, e em águas superficiais e subterrâneas.

Os compostos farmacêuticos são contaminantes de interesse emergente. Podem ter efeitos tóxicos, cancerígenos, mutagénicos e de desregulação endócrina em concentrações muito reduzidas, e os seus efeitos sinérgicos e crónicos estão ainda pouco documentados ou são desconhecidos. A legislação da União Europeia está a acompanhar esta questão de ambiente e saúde.



02 | LIFE IMPETUS project

O projeto LIFE IMPETUS

WWTPs are crucial barriers against the release of pharmaceuticals into the aquatic environment. However, high variations are found in the removal of these compounds in WWTPs, mostly depending on their physical-chemical properties and on the treatment technology and operation. This variability allows considering there is room to enhance the control of pharmaceutical compounds in conventional WWTPs. As the main mechanisms for pharmaceuticals' removal in urban WWTPs are biotransformation and sorption onto particles and bioflocs, **LIFE IMPETUS** focused on the improvement of those mechanisms through the following actions:

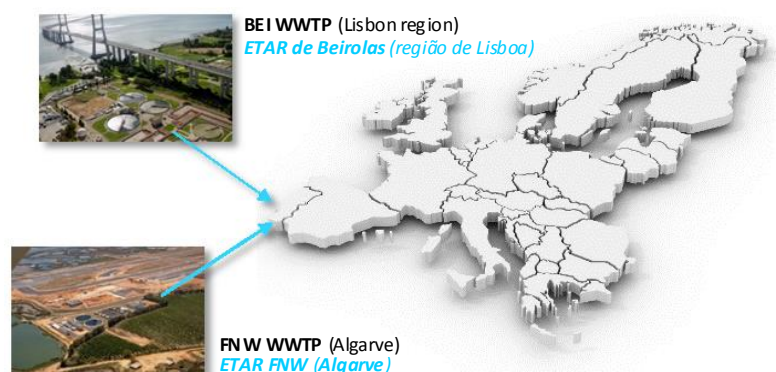
- **Operational strategies** for improving the performance of the biological treatment most commonly used (activated sludge – see Chapter 4)
- **Addition of powdered activated carbon** to this treatment to improve the removal of the recalcitrant (nonbiodegradable) compounds.

These strategies were selected for they involve no significant investment nor energy consumption increase and allow easy adjustment to influent water quality variations. As the most common biological process in urban WWTPs was studied, the solutions may be easily transferred to wastewater treatment Europe-wide.

LIFE IMPETUS also aimed at contributing to circular economy through the production of new, high performing, eco-friendly powdered activated carbon (PACs) from pine nutshells. Enhancing the treated water quality limits the dispersion of pharmaceuticals in the environment and increases the potential and the acceptance of water reuse.

Sound procedures were developed for the analysis of PhCs in wastewaters and clams, and a bioindicator of PhC's bioavailability in real water environments was proposed.

The project, implemented in 2016-2019 and co-funded by the EU LIFE Programme, involved more than 75 people from 8 beneficiaries and two case studies, Beirolas WWTP in the Lisbon region and Faro Nw WWTP in the Algarve, where monitoring work was also conducted in the Ria Formosa coastal lagoon.



As ETAR são barreiras decisivas contra a introdução de fármacos no meio aquático. Verificam-se fortes variações na remoção de fármacos nas ETAR, dependendo sobretudo do tipo de compostos, das suas propriedades físico-químicas e da tecnologia de tratamento. Esta variabilidade permite considerar que há margem para melhorar as barreiras de tratamento a fim de melhorar o controlo dos fármacos em ETAR convencionais. Sendo os principais mecanismos de remoção de fármacos nas ETAR urbanas a biodegradação/biotransformação e a adsorção em partículas e lamas são, o LIFE IMPETUS concentrou-se na melhoria desses mecanismos através das seguintes ações:

- **Estratégias operacionais** para melhorar o desempenho do tratamento biológico mais habitualmente utilizado (lamas ativadas – ver capítulo 4)
- **Adição de carvão ativado em pó** a este tratamento para melhorar a remoção dos compostos recalcitrantes (não biodegradáveis)

Estas estratégias foram selecionadas por não implicarem investimentos significativos nem um aumento do consumo energético e por permitirem um fácil ajustamento às variações da qualidade da água residual afluente. Como foi estudado o processo biológico mais comum nas ETAR urbanas, as soluções podem ser facilmente transferidas para o tratamento de águas residuais em toda a Europa.

O LIFE IMPETUS também visou contribuir para a economia circular através da produção de novo carvão ativado em pó (PAC) de alto desempenho e amigo do ambiente a partir de casca de pinhão. A melhoria da qualidade da água tratada limita a dispersão de produtos farmacêuticos no ambiente e aumenta o potencial e a aceitação da reutilização da água. Foram desenvolvidos procedimentos sólidos para a análise de fármacos em águas residuais e amêijoas, tendo sido proposto um bioindicador da biodisponibilidade de fármacos em ambientes aquáticos reais.

O projeto, implementado em 2016-2019 e co-financiado pelo Programa LIFE da UE, envolveu mais de 75 pessoas de 8 beneficiários e dois estudos de caso, a ETAR de Beirolas na região de Lisboa e a ETAR de Faro Nw no Algarve, onde também foram realizados trabalhos de monitorização na lagoa costeira da Ria Formosa.

03 | Pharmaceutical compounds monitoring

Monitorização de fármacos

The **analytical determination** of pharmaceutical compounds and hormones in urban wastewaters involves sophisticated methods. The very low concentration values (10^{-5} - 10^{-2} mg/L) of compounds of very different properties in wastewater with many other macrocontaminants ($1-10^3$ mg/L) is an important challenge.

A determinação analítica de fármacos e hormonas em águas residuais urbanas envolve métodos sofisticados. Os baixos valores de concentração (10^{-5} - 10^{-2} mg/L) de compostos com diferentes propriedades em água com outros macrocontaminantes ($1-10^3$ mg/L) constituem um desafio importante.

Class Classe	24 PhCs and hormones	24 fármacos e hormonas
Analgésico Analgésico	Paracetamol	Paracetamol
Antibiotic Antibiótico	Erythromycin, Sulfadiazine, Sulfamethoxazole, Sulfapyridine	Eritromicina, Sulfadiazina, Sulfametoxazol, Sulfapiridina
Anticonvulsant Anticonvulsivo	Carbamazepine	Carbamazepina
Antidepressant Antidepressivo	Fluoxetine	Fluoxetina
Anti-inflammatory Anti-inflamatório	Diclofenac, Ibuprofen, Naproxen	Diclofenac, Ibuprofeno, Naproxeno
Beta-blocker Betabloqueador	Atenolol, Metoprolol, Propranolol	Atenolol, Metoprolol, Propranolol
Hormone Hormona	Diethylstilbestrol, 17-β Estradiol, Cortisone, Ethinylestradiol, Estriol, Estrone, Gestodene, Testosterone	Dietilestilbestrol, 17-β Estradiol, Cortisona, Etilnilestradiol, Estriol, Estrona, Gestodeno, Testosterona
Lipid regulator Regulador lipídico	Clofibrac acid, Bezafibrate	Ácido clofibracico, Bezafibrato
Stimulant Estimulante	Caffeine	Cafeína

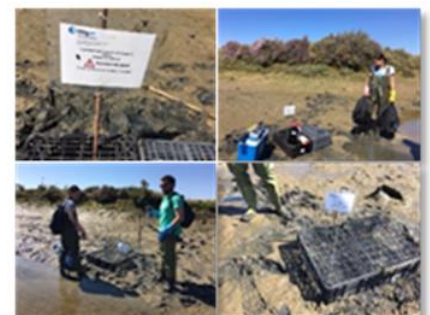
LIFE IMPETUS results in wastewaters | resultados em águas residuais



- Pharmaceutical compounds in higher concentrations at WWTP inlet were paracetamol and caffeine, followed by ibuprofen and naproxen. Almost complete removal of these compounds were observed.
- Other compounds, in particular some antibiotics (erythromycin, sulfamethoxazole, sulfapyridine) and beta-blockers to treat hypertension (metoprolol and propranolol) showed incomplete and variable removals.
- Very low or no removals were observed for diclofenac and carbamazepine, which were the most abundant in the treated waters, at the WWTP outlet.
- The meteorological conditions air temperature and precipitation may affect their occurrence at WWTP inlet.
- *Os fármacos presentes em maior concentração nas águas residuais à entrada das ETAR foram o paracetamol e a cafeína, seguidos do ibuprofeno e do naproxeno. Foi observada uma remoção quase completa destes compostos.*
- *Outros fármacos, em particular alguns antibióticos (eritromicina, sulfametoxazol, sulfapiridina) e anti-hipertensores (metoprolol e propranolol), apresentaram uma remoção incompleta e variada.*
- *Observaram-se remoções muito reduzidas ou mesmo nulas no caso do diclofenac e da carbamazepina.*
- *As condições meteorológicas, temperatura do ar e precipitação, podem afetar a ocorrência nas águas residuais*

LIFE IMPETUS results in wastewaters | resultados em águas residuais

- 3 field campaigns (30 day exposure/each): June/July 2016, 2017, 2018.
- Caffeine showed the greatest bioaccumulation in clams, although the most abundant in Ria Formosa water was diclofenac.
- The clam species *Ruditapes decussatus* is a suitable bioindicator of pharmaceuticals bioavailability in real water environments.
- *3 campanhas (30 dias exposição/cada): Junho/Julho 2016, 2017, 2018.*
- *A cafeína foi o fármaco com maior bioacumulação nas amêijoas, embora o diclofenac tenha sido o mais abundante na água da Ria Formosa.*
- *A espécie de amêijoia Ruditapes decussatus é um bom bioindicador da biodisponibilidade de fármacos em ambientes aquáticos.*

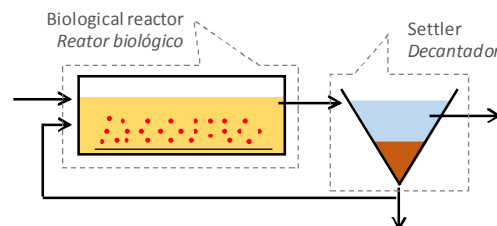


Clams deliberately exposed to FNW WWTP discharge in Ria Formosa (Algarve)
Amêijoas deliberadamente expostas à descarga da ETAR FNW na Ria Formosa (Algarve)

04 | Operational improvement of biological treatment *Melhoria operacional do tratamento biológico*

Activated sludge system | *Sistema de lamas ativadas*

Activated sludge is a biological treatment process that uses a microbial culture in suspension, in an aerated reactor, for the removal of organic material and nutrients from wastewater. The bioflocs produced are retained in settling units and the treated water is discharged. The treatment efficiency can be controlled by many parameters in the bioreactor: dissolved oxygen, the time the water stays in the reactor, cell age and concentration, food to microorganisms ratio (F/M).

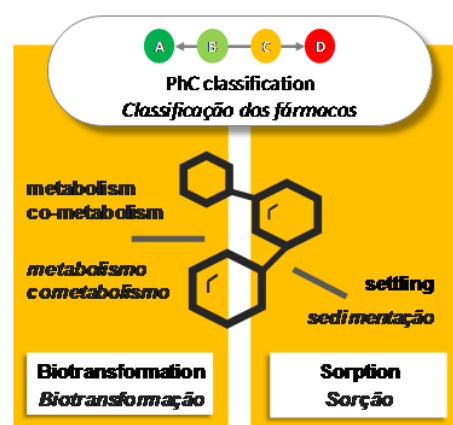


As lamas ativadas são um processo de tratamento biológico que utiliza uma cultura microbiana em suspensão, num reator arejado, para a remoção de matéria orgânica e nutrientes das águas residuais. Os flocos biológicos produzidos são retidos em unidades de decantação e o efluente tratado é descarregado. A eficiência do tratamento pode ser controlada por muitos parâmetros no reator: oxigénio dissolvido, tempo de permanência da água, idade e concentração celular, razão alimento/microorganismo (F/M).

Pharmaceutical compounds classification | *Classificação de fármacos*

Biotransformation and sorption to bioflocs are the main pathways for reducing the pharmaceuticals concentration in these WWTPs. A **(A-D) pharmaceuticals classification** based on these properties was proposed and validated: **class A**, always high reduction (> 99%); **class B** and **class C** with intermediate and variable reductions (30-97%); **class D**, no reliable reduction. This classification allows predicting the removal of a given compound based on its properties.

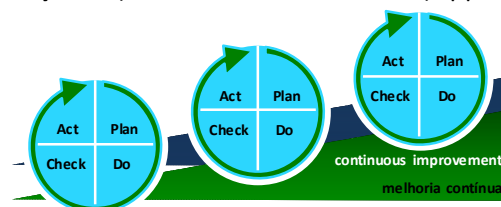
A biotransformação e a sorção (absorção e adsorção) aos bioflocos são as principais vias de redução de concentração de fármacos nestas ETAR. Foi proposta e validada uma classificação dos fármacos (A-D) com base nestas propriedades: classe A, sempre de redução elevada (> 99%); classe B e classe C com reduções intermédias e variáveis (30-97%); classe D, sem redução fiável. Esta classificação permite prever o controlo de um dado fármaco em função das suas propriedades.



CAS operational improvement | *Melhoria operacional em sistemas convencionais de lamas ativadas*

Improving requires measuring and assessing the performance towards the objectives set. In LIFE IMPETUS, treatment improvement relies on a **Performance Assessment System** (with indicators and indices) applied on "Plan-Do-Check-Act" cycles for continuous improvement.

Melhorar implica medir e avaliar o desempenho face aos objetivos definidos. No LIFE IMPETUS, a melhoria do tratamento assenta num Sistema de Avaliação do Desempenho (com indicadores e índices) aplicado em ciclos "Plan-Do-Check-Act" de melhoria contínua.



04 | Operational improvement of biological treatment *Melhoria operacional do tratamento biológico*

Full scale demonstration | *Demonstração à escala real*



BEI WWTP (AdTA) | ETAR de Beirolas (AdTA)

54 500 m³/d (2017/18)

Removal of organic matter and nutrients (nitrogen and phosphorus) in wastewater

Remoção de matéria orgânica e nutrientes (azoto e fósforo) da água residual

Applied strategy: F/M ratio control (< 0.08 kgBOD₅/(kg MLVSS.d)

Estratégia aplicada: controlo da razão F/M

Operating at **low F/M** allowed reducing the pharmaceuticals' load released into the Tagus River, by further 16-45% for classes B-C; organic matter by further 19% and nitrogen by further 39%. Overall, the reduction in load released was 86-99% for class B pharmaceuticals and 30-56% for class C compounds.

A operação a F/M baixos permitiu reduzir a carga de fármacos descarregada no Rio Tejo, com reduções acrescidas em 16-45% para fármacos classes B-C, em 19% para matéria orgânica e 39% para azoto. Globalmente, a redução de carga descarregada foi de 86-99% para fármacos classe B e 30-56% para compostos classe C.



FNW WWTP (AdA) | ETAR de Faro Noroeste (AdA)

4 700 m³/d (2017/18)

Removal of organic matter and nitrogen in wastewater

Remoção de matéria orgânica e azoto da água residual

Applied strategy: to promote nitrification

Estratégia aplicada: promoção da nitrificação

The **alkalinity** reduction was associated to **nitrification** (nitrifying bacteria assist pharmaceuticals degradation) which allowed reducing the pharmaceuticals' load released into Ria Formosa by further 23-47% for classes B, C; organic matter by further 4% and nitrogen by further 58%. Overall, the reduction in load released was 74-99% for class B pharmaceuticals and 28-65% for class C compounds.

A diminuição da alcalinidade esteve associada à nitrificação que (pelo crescimento de bactérias que facilitam a degradação dos fármacos) permitiu reduzir a carga de fármacos descarregada na Ria Formosa. 23-47% classes B-C, 4% matéria orgânica e 58% azoto. Globalmente, a redução de carga descarregada foi de 74-99% para fármacos classe B e 28-65% para compostos classe C.

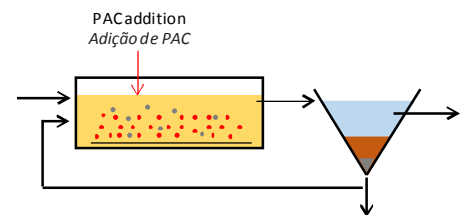
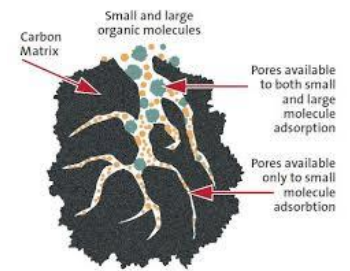
Best practices learned | *Boas práticas aprendidas*

- **Performance assessment** is a sound tool to know the problem, identify solutions and support a continuous improvement practice.
- **Transmittance** of the treated water and **alkalinity reduction** during treatment are easy and good indicators of treatment efficiency towards pharmaceuticals.
- **Low F/M** and **nitrification** favour the removal of most pharmaceutical compounds studied.
- At least two recalcitrant compounds, diclofenac and carbamazepine, require further treatment improvement by other means, for example, using adsorption-based solutions.
- *A avaliação do desempenho é uma boa ferramenta para conhecer o problema, identificar soluções e apoiar uma prática de melhoria contínua.*
- *A transmittância da água tratada e a redução da alcalinidade no tratamento são de fácil determinação e são bons indicadores da eficiência do tratamento para os fármacos estudados.*
- *Baixo F/M e nitrificação favorecem a remoção da maioria dos fármacos.*
- *Pelo menos dois compostos recalcitrantes, diclofenac e carbamazepina, requerem que o tratamento seja melhorado por outros meios, por exemplo, incluindo adsorção a carvão ativado.*

05 | Treatment enhancement with activated carbon addition *Reforço do tratamento com adição de carvão ativado*




A **carbon is activated** once its porous structure has been created, which provides a huge surface area. In only 10 g of powdered activated carbon (PAC) one has the area of a football pitch (0.7-0.9 ha). This huge area provides a tremendous capacity for adsorbing (fixing) molecules more prone to the carbon than to water. The water contaminant's preferential affinity to carbon, and subsequently the adsorption treatment efficacy and efficiency, is determined by the charge and hydrophobicity of the compound and the carbon, the relative size of the compound and of the carbon pores, and the competition from other micro and macrocontaminants in the water, particularly the organic matter.

Um carvão diz-se ativado após criação da sua estrutura porosa, que lhe confere uma área superficial enorme. Em apenas 10 gramas de carvão ativado em pó temos a área de um campo de futebol (0,7-0,9 ha). Esta enorme área superficial confere-lhe uma capacidade imensa de adsorção de moléculas mais afins do carvão do que da água. A afinidade preferencial dos contaminantes para o carvão, e consequentemente a eficácia e eficiência do tratamento por adsorção, é determinada pela carga e hidrofobia do contaminante e do carvão, pelo tamanho relativo do contaminante e dos poros do carvão, e pela competição exercida por outros micro e macro-contaminantes presentes na água, em particular, pela matéria orgânica.



Powdered activated carbon adsorption in combination with biological treatment has proven to be effective for removing pharmaceutical compounds from wastewater. Major advantages are that it only requires the installation of storage and dosing equipment, the dosing may be conducted only when needed and it can be easily adjusted to the incoming load, which may vary (and usually does) seasonally and among years. The lower the **PAC dose** needed for the desired treatment level, the higher the treatment efficiency. For improved environmental performance, one should use “eco-friendly” carbons, prepared from renewable sources (wastes) by physical activation.

A adsorção a carvão ativado em pó em combinação com o tratamento biológico tem provado ser eficaz na remoção de fármacos das águas residuais. As principais vantagens são que requer apenas a instalação de equipamento de armazenamento e doseamento do pó, pode ser efetuada apenas quando necessário e é facilmente ajustável a variações na carga afluente à ETAR, que pode variar (e normalmente varia) sazonalmente e entre anos. Quanto menor for a dose de carvão necessária para atingir o nível de tratamento desejado, mais eficiente é o tratamento. Ambientalmente, importa ainda usar carvões “amigos do ambiente”, ou seja, preparados a partir de materiais renováveis (resíduos naturais), com ativação física.

<p>Full scale FNIW (C,N control) 5000 m³/d 3 weeks 24/7, 4 tons PAC 10 mg/L & 25 mg/L PAC</p>	<p>Faro Noroeste  Ria Formosa (clams)</p>
<p>Pilot scale & math modelling 3 prototypes PAC addition/sedimentation 10 months 24/7</p>	
<p>Lab scale & math modelling Commercial PAC screening for pilot testing New PAC development</p>	

05 | Treatment enhancement with activated carbon addition

Reforço do tratamento com adição de carvão ativado

In LIFE IMPETUS project, **new eco-friendly adsorbents** were produced from Portuguese biomass residues:

- Cork – expanded corkboard granules
- Carob – pulp processing acid effluent
- *Pinus pinea* – pine cones and **pine nut shells**

These new PACs were tested with BEI and FNW wastewaters for the adsorption of three recalcitrant drugs of different hydrophobicity and charge: the antiepileptic **carbamazepine**, the non-steroidal inflammatory **diclofenac** and the antibiotic **sulphamethoxazole**. The results showed that the pine nut shell PACs steam activated are as good as the best commercial activated carbon (mineral) and better than the renewable-source commercial PAC tested – WEX global award 2019 winner “Innovation in technology”.

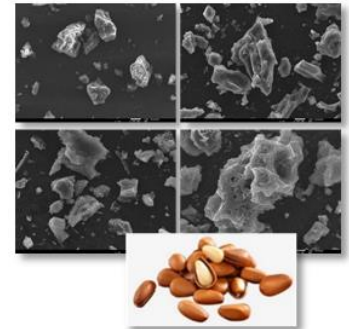
At a later stage, pine nut shell PACs were produced at pilot-scale in Millipore/Sigma (USA), and performed even better.

No projeto LIFE IMPETUS, foram produzidos novos adsorventes “amigos” do ambiente a partir de resíduos de biomassa portugueses:

- *Cortiça – grânulos de aglomerado de cortiça expandida*
- *Alfarroba – efluente ácido do processamento da polpa*
- *Pinus pinea (pinheiro-manso) – pinhas e cascas de pinhão*

Os carvões foram testados com águas residuais das ETAR de Beirolas e Faro NW na adsorção de fármacos recalcitrantes de diferente hidrofobia e carga: o anti-epilético carbamazepina, o anti-inflamatório não-esteróide diclofenac e o antibiótico sulfametoxazol. Os resultados mostraram que o PAC de casca de pinhão é tão bom como o melhor dos carvões ativados comerciais (mineral) e melhor do que o melhor carvão comercial de origem renovável – WEX Global award winner 2019 “Innovation in technology”.

Numa fase posterior, o PAC foi produzido à escala piloto na Millipore/Sigma (EUA) e o desempenho foi ainda melhor.



2 industrial trials in FNW WWTP

- best commercial renewable-source PAC
- 10 mg/L and 25 mg/L PAC into the oxidation ditch

2 ensaios industriais na ETAR de Faro Nw

*melhor PAC comercial de origem vegetal
10 mg/L e 25 mg/L adicionados na vala de oxidação*

The treated water quality improved for all pharmaceuticals targeted as well as for transmittance, colour and organic matter. The highest dose reached higher removals and reliability.

A qualidade da água tratada melhorou em todos os fármacos estudados, e também em transmitância, cor e matéria orgânica. A maior concentração conseguiu maiores remoções e maior fiabilidade.

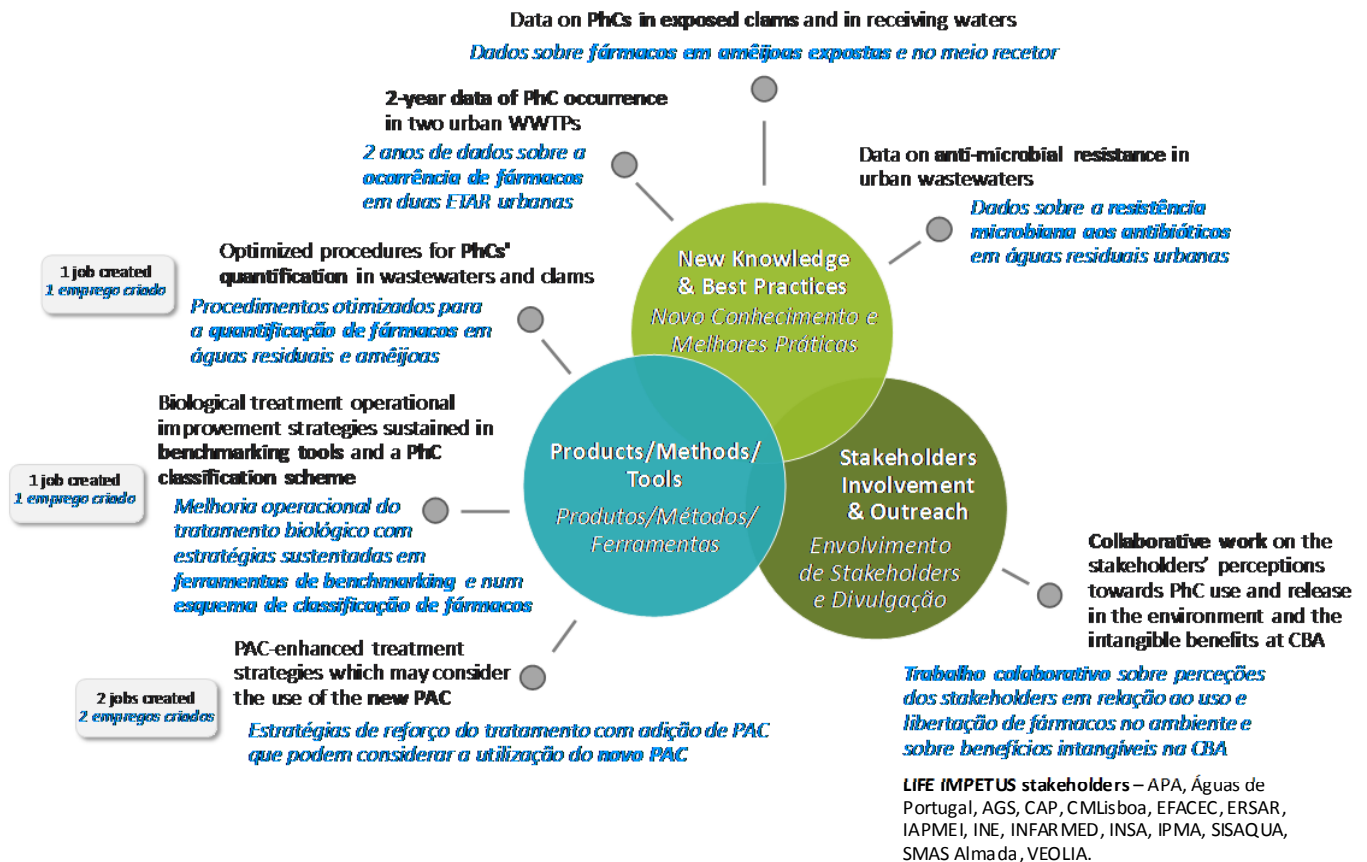
video [here](#)

vídeo [aqui](#)



06 | Innovation & replication

Inovação & replicação



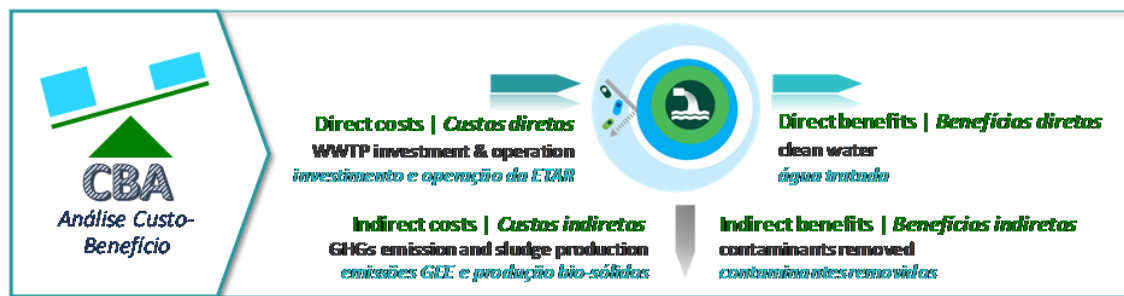
The replicability of LIFE IMPETUS results will focus on the following exploitable results:

A replicação dos resultados do LIFE IMPETUS incidirá sobre os seguintes resultados:

- ✓ **Optimized procedures for PhCs' quantification in wastewaters and clams** – EPAL will start in January 2020 the PhC monitoring (quarterly) of 25 of their WWTPs. FFUL and EPAL will adapt these procedures for analysing other target organic microcontaminants or these PhCs in other matrices.
Procedimentos otimizados para a quantificação de fármacos em águas residuais e amêijoas – a EPAL iniciará em jan. 2020 a monitorização de fármacos (quadrimestral) em 25 ETAR da Águas de Vale do Tejo. A FFUL e EPAL adaptarão estes procedimentos para análise de outros microcontaminantes orgânicos ou destes fármacos noutras matrizes.
- ✓ **CAS operational improvement strategies sustained in benchmarking tools** – in 2020, AdTA will study the feasibility of replicating these strategies in 18 WWTPs; idem for AdA in 11 WWTPs. LNEC will use these strategies in ongoing and future projects and advanced consultancy.
Melhoria operacional do tratamento biológico apoiada em ferramentas de benchmarking – em 2020, a AdTA avaliará a viabilidade de replicar estas estratégias em 18 ETAR; idem para a AdA em 11 ETAR. O LNEC utilizará estas estratégias e a ferramenta nos projetos e consultoria avançada em curso e futuros.
- ✓ **PAC-enhanced treatment strategies** – as long as pharmaceuticals' control is not mandatory, AdA or AdTA foresees no replication, without co-funding. Therefore, LNEC will approach other water utilities and will apply for funding (e.g. LIFE ENV) for full-scale demo of this solution for a broader application - other chemical and biological hazards, and other purposes, e.g. water reuse.
Tratamento reforçado com PAC – enquanto o controlo de fármacos não for obrigatório, AdA e AdTA não preveem replicar esta solução sem cofinanciamento. Portanto, o LNEC abordará outras entidades gestoras de ETAR e procurará cofinanciamento para demonstração desta tecnologia alargada a outros perigos químicos e biológicos e outros usos da água tratada, por ex. reutilização.
- ✓ **New PACs** – New PAC is under pre-industrial production with Millipore/Sigma (Merck group). Building on these new PACs, LNEC and FCUL are preparing two R&D&I proposals on the development of high-grade adsorbents for added-value applications (ultra pure water and tap water filters; advanced powdered adsorbents, recoverable and reusable).
Os novos carvões ativados de casca de pinhão estão em produção pré-industrial com a Sigma/Millipore (Merck Group). O LNEC e FCUL estão a preparar duas propostas I&D&I para desenvolvimento de novos adsorventes avançados, de elevado valor acrescentado (para produção de água ultrapura e para filtros domésticos; carvões em pó recuperáveis e reutilizáveis).

07 | Cost-benefit analysis & long-term environmental benefits

Análise custo-benefício & benefícios ambientais de longo prazo



Direct and indirect costs of enhanced pharmaceuticals' control in urban WWTPs

Custos diretos e indiretos de um melhor controlo de fármacos em ETAR urbanas

- ✓ **Operational improvement** (BEI, FNW) – no effect on energy consumption and sludge production, so no direct costs involved and no effect on indirect GHG emission, so no indirect costs involved.
- ✓ **Enhanced treatment** (FNW) – capital and operation cost-functions vs plant-size were developed and used for different scenarios of PAC dosing. For example, for 4700 m³/d, we estimate 0.03 €/m³ for dosing 25 mg/L during 4 months a year (clam production high-season), for 29% reduction of the annual load of diclofenac and carbamazepine released into Ria Formosa, or 0.06 €/m³ for dosing 25 mg/L, 12 months a year, reaching 73% diclofenac and 86% carbamazepine annual load reduction.
No indirect costs increase – PAC production from wood waste can be more beneficial than the disposal by wood pellet production, balancing the potential increase in GHG emissions due to PAC transportation and dosing.
- ✓ **Melhoria operacional** (BEI, FNW) – não afeta a energia consumida nem os bio-sólidos produzidos, logo não aumenta os custos diretos e não aumenta as emissões indiretas de GEE, logo não aumenta os custos indiretos.
- ✓ **Tratamento reforçado com PAC** (FNW) – foram desenvolvidas funções de custo de capital e operação vs. capacidade, que foram utilizadas em diferentes cenários de dosagem de carvão ativado. Por ex., para 4700 m³/d (FNW), obteve-se **0,03 euros/m³** para dosear 25 mg/L, 4 meses por ano (os mais críticos para a produção de amêijoas), para reduzir em 29% a carga anual de diclofenac e carbamazepina libertada na Ria Formosa; ou 0,06 euros/m³ doseando 25 mg/L, 12 meses por ano, para uma redução de 73% da carga de diclofenac e de 86% da de carbamazepina.
Sem aumento de custos indiretos - a produção de PAC a partir de resíduos de madeira pode ter vantagens sobre a sua transformação em "pellets", compensando um aumento de emissões de GEE devido ao transporte e à dosagem do PAC.

Direct benefits ...

Benefícios diretos ...

PhC control is not (yet) mandatory in EU and in Portugal, so there is no sound way to quantify its benefits. Some authors value the costs of no action, but arrive to greatly underestimated values.

Pharmaceuticals' control improves also the treated water quality ...

- **Operational improvement** (BEI, FNW), in organic matter and nitrogen (see 4.)
- **Enhanced treatment** (FNW), by further 20% improvement in organic matter,

and this improvement could be reflected in the WWTP discharge fee. This could be an incentive for high-performing WWTPs, but it would need negotiation with the Water Authority, since, at least in Portugal, this value is directly charged in the tariff based on the polluter-pays principle.

O controlo de fármacos não é obrigatório em Portugal e na UE, portanto é difícil quantificar os benefícios diretos. Alguns autores quantificam o custo da não ação, mas chegam a valores muito subestimados.

O controlo de fármacos melhora a qualidade da água...

- **Melhoria operacional** (BEI, FNW), em matéria orgânica e em azoto (ver 4.)
- **Tratamento reforçado com PAC** (FNW), em, pelo menos, mais 20% em matéria orgânica,

e esta melhoria reflete-se numa redução da taxa de recursos hídricos paga pelas ETAR na proporção direta das descargas de matéria orgânica, azoto e fósforo. Portanto, a verba poupada na taxa de recursos hídricos é um benefício direto do controlo de fármacos e podia ser usada como incentivo à operação melhorada da ETAR. Tal exigiria uma revisão legal/regulatória pois este valor é atualmente diretamente contabilizado na tarifa paga pelos consumidores, seguindo o princípio poluidor-pagador.



Contributes to
SDG 6
Contribui para
o ODS 6

07 | Cost-benefit analysis & long-term environmental benefits

Análise custo-benefício & benefícios ambientais de longo prazo

Long-term environmental benefits and indirect benefits ...

Benefícios ambientais de longo prazo e benefícios indiretos ...

The **indirect benefits** are primarily of environmental nature and strongly depend on the treated water final destination, being higher in case of discharge into a sensitive water body or for water reuse than in case of discharge into a river, as valued by the LIFE IMPETUS stakeholders. The indirect benefits are bigger for the low-investment low-energy solutions developed than for the technology-intensive alternatives. The benefits may include the preservation of water bodies for drinking water production or for aquaculture (as clam production in Ria Formosa), or for triggering water reuse and increasing its public acceptance; all of which may strongly translate into public health protection, economy development, and regional cohesion.

An important LIFE IMPETUS result is the production of the new eco-friendly powdered activated carbon that is better than the best commercial PACs tested (see 6.). We believe there is an opportunity for EU companies to invest in the development of “green” activated carbons, with the right legal, regulatory and economic incentives. Further, since this is a typically rural (or peri-urban) activity, where the raw materials are mostly available, these opportunities may promote regional cohesion and job creation.

The LIFE IMPETUS solutions can contribute to EU reindustrialization, green economy and green employment. LIFE IMPETUS outcomes have also policy implications. The knowledge produced and the best practices learned fully addresses the European strategic [approach](#) for pharmaceuticals (actions 1 and 9), and may assist the EU legislation developments on water, pharmaceuticals, and urban wastewater treatment (ongoing revision of the EU directive).

Contributes to SDGs
Contribui para os ODS



Os benefícios indiretos do projeto LIFE IMPETUS são, em primeira mão, de natureza ambiental e dependem fortemente do destino da água residual tratada, sendo tanto maiores quando mais se pretender proteger o ecossistema recetor ou viabilizar a reutilização de água, conforme resultado do trabalho colaborativo do painel de stakeholders do projeto. Os benefícios indiretos são maiores para as soluções preconizadas, de baixo investimento e baixo consumo de energia, do que para as alternativas de tecnologia intensiva. Os benefícios podem incluir a proteção de meios hídricos usados para produção de água para consumo humano ou para aquacultura (como é o caso da produção de amêijoas na Ria Formosa), ou viabilizando a reutilização de água e aumentando a sua aceitação pública. Todos estes benefícios podem traduzir-se na proteção da saúde pública, no desenvolvimento económico e em coesão regional.

Um resultado importante do LIFE IMPETUS consiste na produção de um novo carvão ativado, “amigo” do ambiente, de alto desempenho, melhor do que os melhores comerciais (ver 6.). Acreditamos existir espaço para empresas europeias investirem no desenvolvimento de carvões ativados “verdes”, com o devido enquadramento legal, regulatório e económico. Uma vez que estas unidades produtivas se situam em zonas rurais ou periurbanas, onde as matérias-primas abundam, são também um instrumento de promoção da coesão regional e criação de emprego.

As soluções propostas podem contribuir para a reindustrialização, a economia verde e o emprego verde na Europa.

O legado LIFE IMPETUS tem também implicações na política Europeia. O conhecimento e as melhores práticas aprendidas endereçam completamente a [abordagem](#) estratégica da Comissão Europeia para os fármacos no ambiente (ações 1 e 9) e podem contribuir para as evoluções da legislação europeia para a água, fármacos e tratamento de águas residuais urbanas (diretiva em revisão).



08 | Key messages Mensagens chave

- 1 Pharmaceutical compounds** in urban wastewaters are a reality and WWTPs are part of the solution and may be improved on a site-specific basis, “one size” does not fit all.
- 2 Low-investment, low-energy strategies of operational improvement** and enhanced treatment with powdered **activated carbon** can significantly improve pharmaceutical compounds control with little costs and significant benefits.
- 3 Water quality monitoring** should be cost-effective:
 - monitor target pharmaceutical compounds classes (e.g. A-D for biological treatment) rather than substance per substance (time consuming and costly)
 - regular monitoring and control of bulk parameters (easy and fast) of treatment level
 - regular monitoring and control of operation variables promoting pharmaceuticals’ removal.
- 4 Solutions’ feasibility and sustainability** require long-term planning and multipurpose integration, continuous practices of performance assessment & improvement and the identification of “critical” periods/seasonality for pharmaceuticals’ occurrence and impact on the final destination of the treated water.



- 1 Os fármacos nas águas residuais urbanas são uma realidade e as ETAR são parte da solução e podem ser melhoradas caso a caso, em função da ETAR e dos fármacos.*
- 2 Estratégias de baixo investimento e baixo consumo energético de melhoria operacional do desempenho do tratamento biológico e o seu reforço através da adição de carvão ativado em pó podem melhorar significativamente o controlo de fármacos com baixos custos e benefícios significativos.*
- 3 A monitorização da qualidade da água deve ser racional:*
 - monitorizar fármacos por classes-alvo (e.g. classes A-D para tratamento biológico) em vez de composto a composto (moroso e dispendioso)
 - monitorização regular de parâmetros indicadores do nível de tratamento, de determinação fácil e rápida
 - monitorização e controlo regulares das variáveis-chave de operação do tratamento.
- 4 A viabilidade e sustentabilidade das soluções exige planeamento a longo prazo e integração multiobjectivo, uma prática de avaliação e melhoria contínua do desempenho e a identificação de períodos "críticos"/sazonais em termos da ocorrência de fármacos e do seu impacto no destino final da água tratada.*



- 5** Most PhCs are consumed within **outpatient treatment**, and a part is always discharged into the urban sewage. Suggestions of **key source-control measures** level include: collection of unused drugs, pharmaceuticals’ development and prescription taking into consideration their environmental impact and treatability, information leaflets including environmental impact aspects to raise people’s awareness.
 - 6** Shared **responsibility** between pharmaceutical industry – doctors/pharmacies – patients – wastewater utilities is necessary.
- 5 A maioria dos fármacos é consumida em tratamento ambulatorio (em casa) e uma parte é sempre descarregada nos sistemas de drenagem urbana. Sugestões de medidas-chave de controlo na fonte incluem: recolha de medicamentos não utilizados, desenvolvimento e prescrição de fármacos tendo em conta o seu impacto ambiental e facilidade de tratamento, folhetos informativos com aspetos relativos ao seu impacto ambiental.*
 - 6 É necessária a partilha de responsabilidades entre a indústria farmacêutica – médicos/farmácias – doentes – serviços públicos de águas residuais.*

08 | Dissemination and recognition

Disseminação e reconhecimento

Numerous communication and networking activities during the entire project for disseminating the project's results and enhance the application of the LIFE IMPETUS solution.

Numerosas atividades de comunicação e de networking durante todo o projeto, para divulgar os resultados e fomentar a aplicação da solução LIFE IMPETUS.

Online activities | Atividades online

1 Website



55 527

Visits to the site (31/12/2019)
Visitas ao website

Visual communication | Comunicação visual

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1 Brochure
<i>Brochura</i> | 3 Leaflets
<i>Folhetos</i> |
| | 4 Notice boards
<i>Painéis informativos</i> |

Networking

- | | | |
|---|--|---|
| 1 International Final Conference
<i>Conferência Final Internacional</i> | 2 Analytical workshops
<i>Workshops analíticos</i> | @ Portuguese Water Hub
8 th World Water Forum
<i>8º Fórum Mundial da Água</i> |
| 2 Stakeholders' workshops
<i>Workshops com stakeholders</i> | @ 6 Open days
<i>Dias abertos</i> | 2 Technical visits to the prototypes
<i>Visitas técnicas aos protótipos</i> |

Dissemination & publications | Disseminação & publicações

- | |
|---|
| 6 Articles
<i>Artigos</i> |
| 26 Press releases
<i>Comunicados de imprensa</i> |
| 42 Participations in conferences, congresses et al.
<i>Participações em conferências, congressos et al.</i> |



Recognition | Reconhecimento

March 2019 - WEX Global 2019 award for "Innovation in Technology"
LNEC and FCUL for the PNS-PAC development



Março 2019 - WEX Global 2019 para "Inovação em Tecnologia", LNEC e FCUL pelo desenvolvimento do PNS-PAC



December 2019 - PT Global Water Award 2019 for Research + Development + Innovation

Dezembro 2019 - Prémio Global da Água PT 2019 para Investigação + Desenvolvimento + Inovação



Contact | Contacto

Maria João Rosa
Project coordinator
Coordenadora do projeto
mjrosa@lneec.pt

www.life-impetus.eu

Team | Equipa

LNEC Maria João Rosa, Rita Ribeiro, Catarina Silva, Rui Viegas, Margarida Campinas, Elsa Mesquita, Vítor Napier, João Vale, João Craveiro, Maria João Freitas, Helena Alegre, Paula Couto, Elisabete Costa, Graça Igreja

FCUL Ana Paula Carvalho, Ana Sofia Mestre, Marta Andrade, Sílvia Gomes

FFUL Cristina Almeida, Aida Duarte, Sofia Silva, Stephanie Albino, Andreia Joadas, Bruno Nicolau, Vitorina Tavares

UAig Alexandra Cravo, António São Braz, Cátia Correia, João Carlos Cunha, José Jacob, Lúcio Ricardo, Sandra Nascimento

EPAL Maria João Benoliel, Vítor Vale Cardoso, João Rodrigues, Sofia Silva, Ana Paula Teixeira, Alexandre Rodrigues, Ana Isabel Penetra, Ana Neto

AdA António Martins, Hugo Nunes, Sara Barreto, Osvaldo Silva, Joaquim Freire, Maria da Luz Berjano

AdA (lab) Rosário Coelho, Isabel Sousa, Rita Batista, Anabela Fialho

AdTA Rita Alves, Diana Figueiredo, Luís Gomes, Júlio Silva, Cândido Sequeira, Fernando Covas, Pedro Póvoa, José Martins, Sandra Duarte, Tereza Pinheiro

AdTA (lab) Eugénia Cardoso, Carla Silva

EHS Eduardo Limbert

Prepared by | *Preparado por*

LNEC (Rita Ribeiro, Catarina Silva, Maria João Rosa)
2019

Consortium



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Ciências
ULisboa



FACULDADE DE
FARMÁCIA
Universidade de Lisboa



UNIVERSIDADE DO ALGARVE



Grupo Águas de Portugal



Grupo Águas de Portugal



Grupo Águas de Portugal

