Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

LIFE Hymemb

Tailoring hybrid membrane processes for sustainable drinking water production

2014-2016

Maria João Rosa, **Helena Lucas**

Margarida Campinas, Rui Viegas, Catarina Silva, Rosario Coelho

WORKSHOP I&DI ADA

Universidade do Algarve, Campus da Penha, Faro
9 Outubro 2019

LNEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

A equipa…

LNEC

Maria João Rosa, Margarida Campinas, Rui Viegas, Catarina Silva, Vítor Napier, Maria João Freitas, João Craveiro, Nuno Alves

AdA

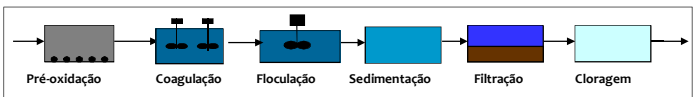
Helena Lucas, Rui Sancho, Lizete Costa, Rosário Coelho, Isabel Sousa, Anabela Fialho, Vera Gonçalves, M. Luz Berjano, Braúlio Almeida

2

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Um desafio em 2012…

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production



ETA convencional água superficial

Mesmo otimizado, o **tratamento convencional** apresenta limitações para

- microrganismos resistentes oxidação química (cripto, giardia)
- NOM, OBP (THM, ác. haloacéticos, bromato)
- **contaminantes de interesse emergente (CEC)**

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Examples of CECs

- **Chemical compounds found in**
  - **pharmaceutical compounds**
  - personal care products
  - **pesticides**
  - flame retardants
  - surfactant products
  - industrial additives and solvents
  - manufactured nanoparticles
- **Natural substances**
  - hormones
  - **Cyanotoxins** (hepatotoxins, neurotoxins)
- **Biological material**
  - antibiotic resistance genes

LNEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL · ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

5

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Pharmaceutical compounds (PhCs)

- with potential **toxic, mutagenic and/or endocrine disrupting action** and development of **multidrug-resistant bacteria**
- effective at **low concentrations**
- often **resistant to the conventional treatments** in WWTPs & WTPs
  - dissolved material, low molecular weight
  - in some cases, low biodegradability and chemically resistant

LNEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL · ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

Presence of PhCs in water

example < 2014

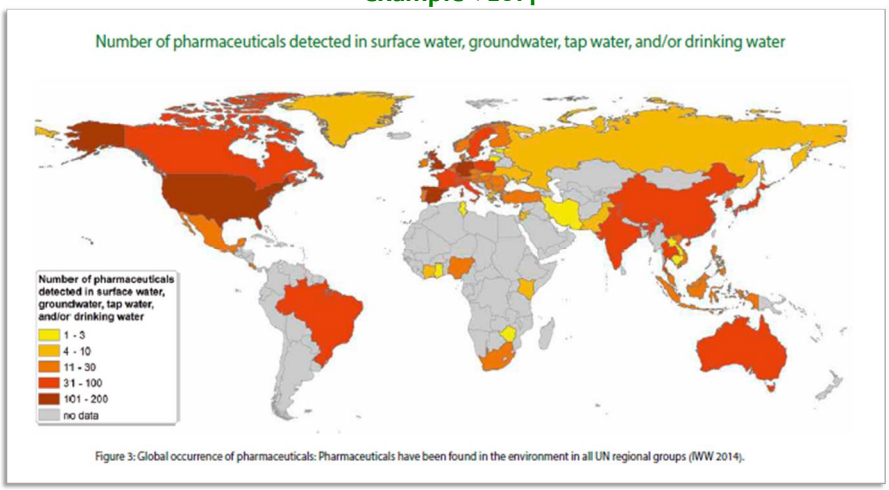


Figure 3: Global occurrence of pharmaceuticals: Pharmaceuticals have been found in the environment in all UN regional groups (IWW 2014).

Weber *et al.* (2014). *Pharmaceuticals in the environment – the global perspective. Occurrence, effects, and potential cooperative action under SAICM.* Umweltbundesamt

7

Presence of PhCs in water

example < 2014

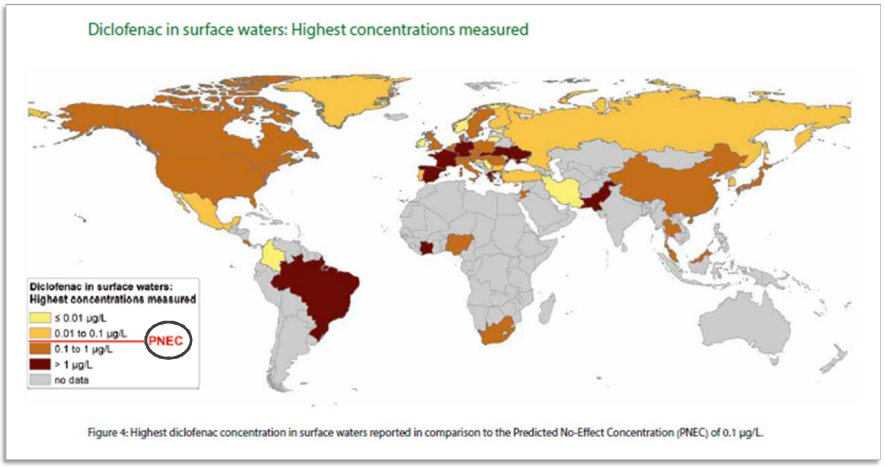


Figure 4: Highest diclofenac concentration in surface waters reported in comparison to the Predicted No-Effect Concentration (PNEC) of 0.1 µg/L.

Weber *et al.* (2014). *Pharmaceuticals in the environment – the global perspective. Occurrence, effects, and potential cooperative action under SAICM.* Umweltbundesamt

8

EU policy on CECs

Water = privileged means of CEC dissemination in the environment

1st list of 33 **priority substances** (PSs)
(Decision 2455/2001/EC)

2001

2000

Water Framework Directive
(WFD - 2000/60/EC)

Environmental quality standard (EQS) for 33 PSs
Priority Substances Directive
(EQSD 2008/105/EC)

2008

12 additional PSs + Watch List instrument to be published w/ up to 10 subst. /group subst. **Directive amending WFD & EQSD**
(Daughter directive 2013/39/EU)

2013

Published **1st Watch List**
1st revision EQSD
(Decision (EU) 2015/495)

2015

PhCs: anti-inflammatory diclofenac
hormones E1, E2, EE2
macrolide antibiotics erythromycin, clarithromycin, azithromycin

Published **2nd WL**
8 substances or groups of substances
(Decision (EU) 2018/840)

2018

9

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Uma solução em 2012...

10

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Introdução de novas tecnologias

- Processos de oxidação avançada (AOP)
- Filtros de carvão ativado granulado (GAC)
- Biofiltração em carvão ativado (BAC)
- Biofiltração em filtros lentos areia (BF)
- Flutuação por ar dissolvido (DAF)
- Processos de separação por membranas (MF, UF, NF)
- **Processo integrado PAC/MF**

SELEÇÃO E OTIMIZAÇÃO CASO A CASO

(+) barreiras múltiplas

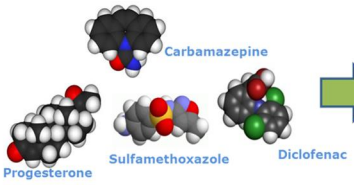
(+) barreiras físicas

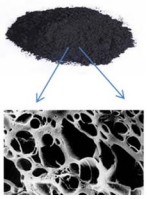
LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil · Águas do Algarve Grupo Águas de Portugal

11

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

The PAC/MF concept…





Target contaminants pharmaceuticals, pesticides and other endocrine disruptor compounds, cyanotoxins, viruses and protozoa

PAC can be tailored for a wide range of contaminants targeted

MF is a safe barrier against protozoa, turbidity, bacteria and fine-PAC

Ceramic membranes are emerging in water treatment, in many European countries but not in Portugal; they have superior lifetime and low energy consumption.

LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil · Águas do Algarve Grupo Águas de Portugal

12

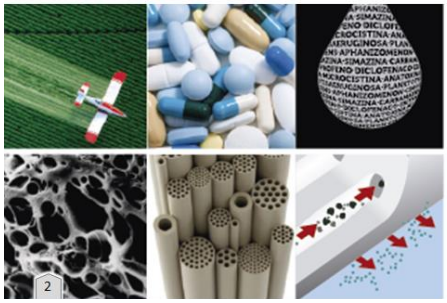
Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Objetivo

Demonstrar que o **processo híbrido PAC/MF** (carvão ativado em pó/ microfiltração cerâmica) é uma solução **resiliente** e **sustentável** para controlo de **contaminantes emergentes** na produção de água para consumo humano, designadamente:

- Demonstrar a **eficácia**, **fiabilidade** e **eficiência** da tecnologia PAC/MF, utilizando um protótipo PAC/MF, à escala piloto, a operar numa estação de tratamento de água (ETA) durante um ano e meio;
- **Comparar** este processo avançado com o processo de tratamento convencional;
- Desenvolver ***guidelines*** para a aplicação de PAC/MF (quando?, onde? como?);
- Realizar uma análise **custo-benefício** do processo utilizando os resultados técnico-económicos obtidos na demonstração e indicadores sociais que refletem a atitude dos *stakeholders* em relação ao processo.

Best LIFE ENV project 2016-2017



Hymemb

TÍTULO: *Tailoring hybrid membrane pr*
sustainable drinking water pr
REFERÊNCIA: LIFE12 ENV/PT/001154
BENEFICIÁRIO COORDENADOR: LNEC, I.P.
BENEFICIÁRIO ASSOCIADO: Águas do Alg
ORÇAMENTO TOTAL: 631 k€
FUNDOS UE: 282 k€
WEBSITE: http://www.life-hymemb.eu

LNEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

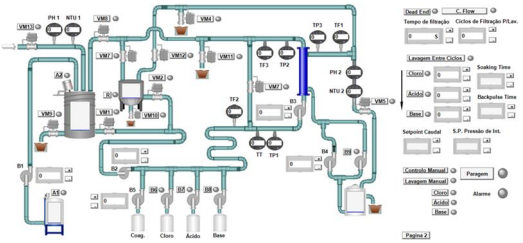
2

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Protótipo PAC/MF

- Funcionamento **contínuo**, 24/7, com Qp constante (50-250 L/h) e P variável
- Nível de **automação elevado, aquisição em linha** e **controlo remoto/acesso remoto a dados** de parâmetros operacionais e de qualidade da água
- Muito **flexível,** à "medida" da aplicação
  - **pré-tratamento**: adição de coagulante e/ou floculante, ajuste de pH
  - modo de operação: **filtração frontal ou tangencial**
  - **várias estratégias de limpeza** das membranas: contra-pulsos, contra-lavagem, enxaguamento com água filtrada ou soluções químicas e lavagem em circuito fechado

vs. piloto PAC/C/F/S



Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

O projeto LIFE Hymemb na AdA

- O desafio inicial foi viabilizar a localização, a adaptação das condições reais para a instalação e funcionamento do protótipo PAC/MF e do piloto C/F/S
- Foi necessário planear todas as colheitas e as análises dos contaminantes-alvo: fármacos, pesticidas, cianotoxinas, vírus e protozoários e outros desreguladores endócrinos
- Concretizar o reforço da monitorização no âmbito dos Planos de Controlo Operacional previamente existentes de acordo com os contaminantes-alvo definidos
- Adquirir o novo equipamento de análise e implementação dos respetivos métodos, nomeadamente microcistinas por ELISA
- Viabilizar os ensaios de *spiking* de contaminantes e assegurar a sua monitorização

Helena Lucas

LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil · Águas do Algarve Grupo Águas de Portugal

15

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

O projeto LIFE Hymemb na AdA

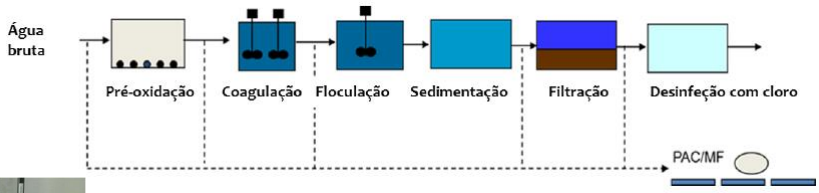
- Colaborar ativamente na demonstração de uma solução resiliente e sustentável para controlo de contaminantes de interesse emergente na produção de água para consumo humano
- Apoiar os ensaios de campo, quase 2 anos, na ETA Alcantarilha, para assegurar uma comparação significativa entre os processos convencional e avançado – incluindo avaliação de eficácia, fiabilidade e eficiência (reagentes, lamas, energia)
- Divulgar informação sobre a importância do projeto e seus resultados no âmbito de inúmeras visitas efetuadas ao *test site* e promoção de seminários/workshops sobre o projeto

LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil · Águas do Algarve Grupo Águas de Portugal

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Piloto PAC/MF na ETA de Alcantarilha

A ETA de Alcantarilha, dimensionada para tratar através do processo convencional 3 m^3/s de água para consumo humano, permite o abastecimento público a mais de meio milhão de pessoas no Algarve (ca. 650.000 pessoas no Verão e 180.000 no Inverno), podendo enfrentar eventuais alterações sazonais na qualidade da água bruta.



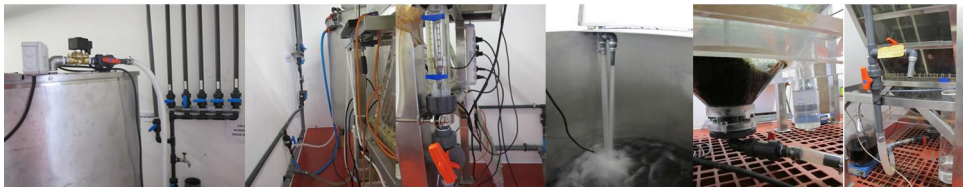
Testes intensivos na ETA de Alcantarilha

Para otimizar: pré-tratamento, condições de operação, limpeza da membrana

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Site adaptation

- Adaptação de um espaço para a instalação dos protótipos piloto PAC/MF e PAC-C/F/S
- Aquisição do protótipo PAC/MF com LNEC e execução de todas as ligações para alimentação/descarga de água
- Conexões elétricas entre o protótipo e sistema elétrico da ETA
- Instalação de UPS no protótipo PAC/MF (adicional)



Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Otimização PAC/CFS na ETA (full-scale)

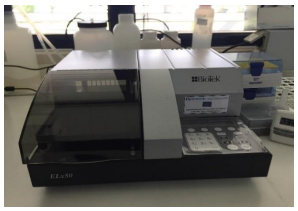
* A monitorização dos contaminantes-alvo na ETA de Alcantarilha revelou a sua ausência e como tal não ocorreu a otimização da etapa de adsorção.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL · ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Aquisição de equipamento de análise de cianotoxinas ELISA

Microcistina- LR (total, dissolvida, particulada)	Método acreditado (ELISA e HPLC)
Cilindrospermopsina	Efetuada auditoria IPAC/ aguarda certificado acreditação
Saxitoxina	Extensão de acreditação para 2020
Anatoxina-*a*	Implementado (ELISA/ HPLC)

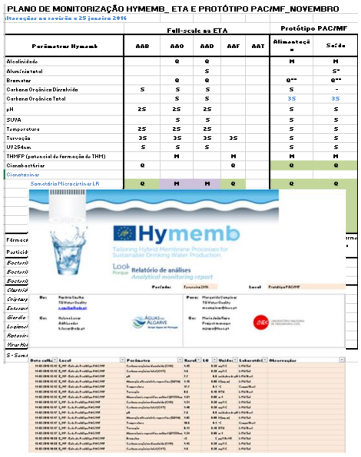


LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL · ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Reforço do controlo operacional

- maio 2015 a novembro 2016 – **total 10.000 análises**
- Laboratório AdA
  - cianobactérias e cianotoxinas; NOM; THMFP; toxicidade; parasitas; endosporos
- Laboratórios subcontratados
  - pesticidas/ fármacos/ cafeína/ vírus/ bacteriófagos
- Elaboração de relatórios mensais
  - resultados ETA + Protótipo PAC/MF + PAC/CFS



Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Reforço do controlo operacional

Compostos Alvo

Pesticidas (#10)
Alacloro; Atrazina (Desetilatrazina), Bentazona Cimoxanil
Clortolurão; Clotrimazol; Linurão
Terbutilazina (Desetilterbutilazina)

Fármacos (#22)
Atenolol; Carbamazepine; Clarithromycin; Diclofenac; Diltiazem; Dipyrone; Erytromicin; 17a-ethynilestradiol; Fluoxetine; Hidrochlorothiazide; Ibuprofene; ketoprofen; Metoprolol; Metronidazole; Norfloxacin; Norfluoxetine; Ofloxacin; Oxytetracycline; Paracetamol; Progesterone; Propanolol; Tolfenamic acid

Toxicidade

Cianobactérias e Cianotoxinas
Microcistinas LR (Dissolvida; Particulada)
Anatoxina-a (Dissolvida; Particulada)
Densidade células

Microbiológicos
Bacteriofagos (B. fragilis ;FRNA; Somaticos);
Cryptosporidium ; Giardia;
Enterovirus
Norovírus ; Rotavirus
Sapovírus ; Virus Hepatite A
Legionella; Endosporos

Caracterização NOM
COT; COD; UV 254; SUVA

Potencial de formação THMs

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL
ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Comunicação e disseminação

23

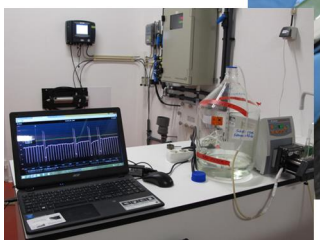
Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

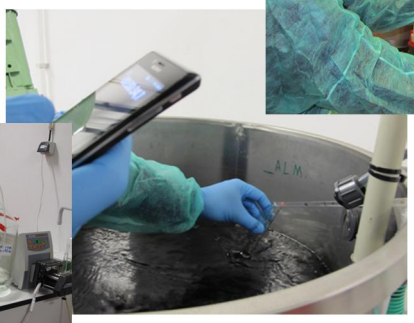
Resultados do projeto…

Maria João Rosa

24

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production





Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

O processo PAC/MF funciona?

Sim, ficou provado que o processo funciona, e os resultados obtidos ultrapassaram a expetativa inicial. Em termos de qualidade da água produzida, os resultados de turvação revelaram sempre uma **água de elevada qualidade** (< 0,03 UNT), remoção total de endosporos aeróbios (indicadores de remoção de (oo)cistos de protozoários) e quase total (0-1 UFP/100 mL à saída) de bacteriófagos somáticos (indicadores de remoção de vírus por PAC/MF), mesmo quando ocorreram variações de qualidade da água a tratar e dose de PAC aplicada (2-18 mg/L), o que demonstra que o processo tem **elevada eficácia e fiabilidade.** Nos ensaios de spiking de fármacos, pesticidas ou microcistina-LR (1-20 µg/L à entrada do processo) obtiveram-se resultados muito bons – remoção de pesticidas-total de 78% (2 mg/L PAC) e 97% (10 mg/L PAC), remoção de microcistina-LR > 85% e remoção de fármacos-total de 83% (6 mg/L PAC) até ≥ 98% (12-18 mg/L PAC, dependendo da água a tratar).

Com as quatro águas testadas, obtiveram-se **fluxos elevados** (150-280 L/(m².h) @ 0,6-0,8 bar), **longo tempo de filtração** (≥ 2 horas) e **elevada recuperação de água** (≥ 97%). Além disso, nos testes realizados com diferentes fluxos e dosagens de carvão, não se verificou efeito negativo da **adição de PAC** na colmatação da membrana. Este é um dos pontos mais sensíveis da tecnologia PAC/MF, e os resultados demonstraram que o processo funciona muito bem.

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

E como se compara com a tecnologia convencional?

Um dos pilares de inovação do projeto é exatamente o ***benchmarking*** efetivo entre a tecnologia **PAC/MF** e a adição de **PAC no tratamento convencional**, i.e. PAC/CFS, a dois níveis:

- **demonstrando** os dois processos lado a lado, alimentados pela mesma água, ou seja, protótipo PAC/MF vs. tratamento convencional de ETA (1,5 anos de demonstração) e protótipo PAC/MF vs protótipo PAC/CFS em ensaios de *spiking* de contaminantes emergentes;
- utilizando **ferramentas** robustas de *benchmarking* (avaliação e melhoria do desempenho) de sistemas de tratamento desenvolvidas durante os últimos 10 anos no LNEC e *upgraded* no LIFE Hymemb, especificamente para PAC/MF.

Em eficácia e fiabilidade…

o processo PAC/MF permitiu **remoções de contaminantes emergentes 20% superiores** à tecnologia de tratamento convencional, utilizando doses semelhantes de carvão, com residuais de turvação e alumínio bastante inferiores, menores residuais de matéria orgânica particulada (COT) e endosporos e sem problemas de PAC fino na água tratada.

LNEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

27

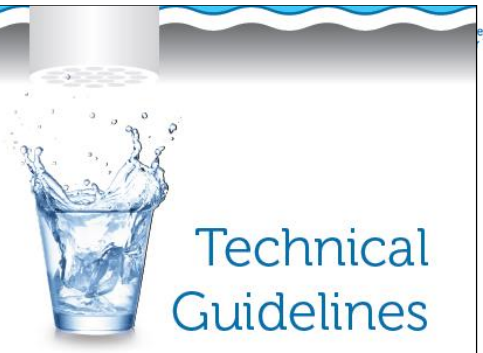
- Scope and objectives
- Terms and definitions
- Symbols and abbreviations
- PAC/MF concept

WHEN?
- Target contaminants
- Upgrading WTP
- In alternative to other process

WHERE?
- Intake water quality criteria
- Complement or replace treatment steps

HOW?
- Designing PAC/MF
- Operating PAC/MF

- Economic analysis
- Replicability and transferability
- Further reading



Technical Guidelines

PAC/MF

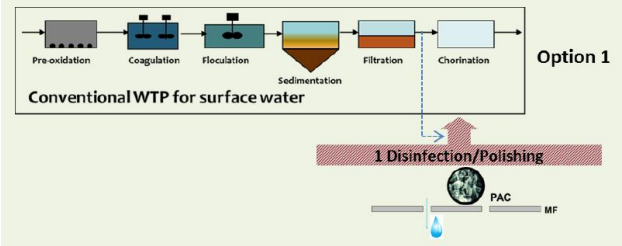
powdered activated carbon /ceramic microfiltration for drinking water production

Hymemb

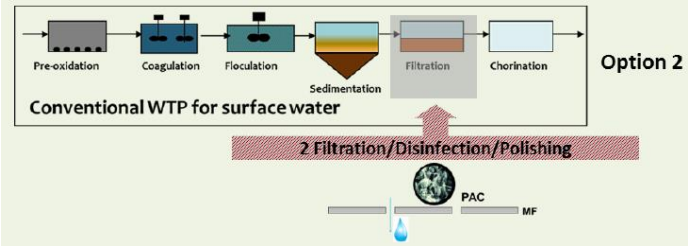
28

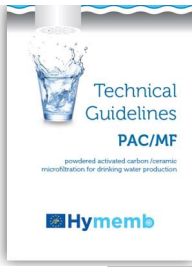
Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

… PAC/MF technology can complement a conventional WTP…



… or replace one step…





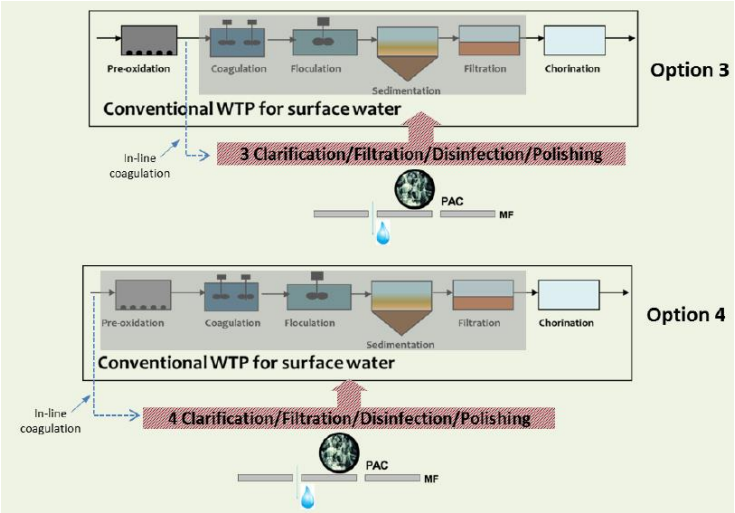
WHERE?
- Intake water quality criteria
- Complement or replace treatment steps

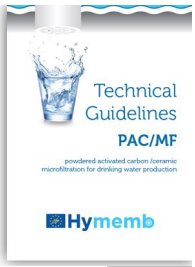
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL · ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

29

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

… or replace several steps





WHERE?
- Intake water quality criteria
- Complement or replace treatment steps

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL · ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

30

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

Recommended ranges of operation of key parameters and variables

The recommended ranges of operation of the key parameters and variables presented below were derived during **LIFE Hymemb** demonstration for a low turbidity intake water (≤ 5 NTU, ≤ 3 mg/L TOC, ≤ 2 L /mg-m SUVA) and reflect a technical and economic analysis (the latter presented in *Economic Analysis*).

Key parameter and variable	Recommended range of operation
Flux (normalised) (J_{20}) (L/(m².h))	150 – 280
Inlet pressure (bar)	0.6 – 0.9
TMP (bar)	0.6 – 0.8
Filtration time (h)	2 – 3
Backwash	
frequency (N./d)	8 – 12
flux (L/(m².h))	500
pressure (bar)	ca. 1.5 (water backwash)
CEB	
water volume spent (L/m²)	< 15
cleaning agents	sodium hypochlorite (≤ 1000 mg/L Cl_2 in membrane) sulphuric acid (pH 1-2 in membrane)
soaking time (min)	15-30
total frequency (N./d)	¾ – 1
sodium hypochlorite freq. (N./d)	¼ – ½
acid frequency (N./d)	¼ – ½
Specific flux (L/(m².h.bar))	200 – 500
Water recovery rate (%)	97 – 99
Treatment capacity (m³/(m².d.bar))	5 – 10
Fouling rate	
within cycles (FRw, mbar/h)	0 – 15
between cycles (FRb, mbar/h)	0 – 5
with CEB (FRc, mbar/d)	0 – 5
backwash efficiency (%)	50 – 80
CEB efficiency (%)	95 – 100
PAC	
size (µm)	6 – 15
pH_{pzc}	depends on the contaminants targeted, usually alkaline PACs are more efficient for negatively charged contaminants
specific area (S_{BET}) (m²/g)	the higher the better, often > 1000 m²/g
porous structure	micropores host the preferential adsorption sites for low molar mass contaminants; mesopores are important for adsorbing intermediate molar mass contaminants and for compounds less amenable to adsorption under strong competition conditions, i.e. low PAC doses and/or high(er) competitors' concentration (other microcontaminants and water background NOM); good results were obtained with 50/50 of microporous/mesoporous volume and total per volume > 0.7 cm³/g

Key parameter and variable	Recommended range of operation
PAC suspension concentration (slurry)	≤ 2 g/L (recommended), agglomerates formation should be avoided
contact time (min)	≥ 30
mixing velocity gradient (G) (s^{-1})	120
PAC dose (mg/L)	depends on the target contaminants
chemically resistant biological forms protozoan (oo)cysts	total removal by MF, no need for PAC addition
NOM and oxidation by-products good and reliable removal (DOC < 1.6 mg/L)	10
Low molar mass microcontaminants	depends on the target contaminants, indicative ranges below should be validated case-by-case
for 75% average removal	2
for 85% average removal	5
for 90% average removal	10
PAC/MF coagulant (Al_2O_3) dose (mg/L) (for non coagulated waters)	3
PAC/MF unit energy consumption (kWh/m³)	0.05
PAC/MF chemicals consumption (kg/m³)	
non-coagulated intake waters	0.07
coagulated intake waters	0.02
PAC/MF sludge production (kg/m³)	
non-filtered intake waters	36 – 41
filtered intake waters	16 –21

Technical Guidelines
PAC/MF
powdered activated carbon /ceramic microfiltration for drinking water production
Hymemb

HOW?
- Designing PAC/MF
- Operating PAC/MF

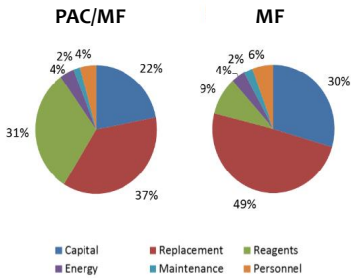
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL
ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

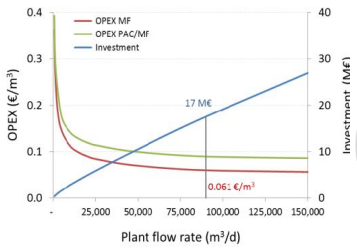
31

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

PAC/MF intake = raw water

(1.6 – 3 NTU, 1.5-2.5 mg/L DOC, < 2 L/m/mgC)



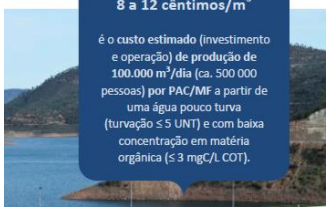


Technical Guidelines
PAC/MF
powdered activated carbon /ceramic microfiltration for drinking water production
Hymemb

- Economic analysis
- Replicability and transferability
- Further reading

8 a 12 cêntimos/m³

é o **custo estimado** (investimento e operação) **de produção de 100.000 m³/dia** (ca. 500 000 pessoas) **por PAC/MF** a partir de uma água pouco turva (turvação ≤ 5 UNT) e com baixa concentração em matéria orgânica (≤ 3 mgC/L COT).



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL
ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

32

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

A participação da AdA no LIFE Hymemb…

* permitiu melhorar o nível de caracterização da água bruta e tratada na ETA de Alcantarilha
* permitiu implementar e acreditar novas técnicas analíticas - cianotoxinas por ELISA
* viabilizou uma sala dedicada para projetos de I&D em condições reais de funcionamento
* permitiu a instalação e demonstração 24/7 de um protótipo PAC/MF durante 2 anos e de um piloto C/F/S
* Permitiu conhecer bem uma solução para a melhoria do controlo dos contaminantes de interesse emergente nas ETA da AdA

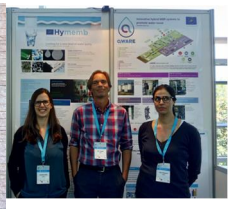
LNEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL · ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

33

Hymemb Tailoring Hybrid Membrane Process for Sustainable Drinking Water Production

A investigação que conduziu a estes resultados foi financiada pelo programa LIFE da União Europeia ao abrigo do acordo LIFE12 ENV/PT/001154

www.life-hymemb.eu



LNEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL · ÁGUAS DO ALGARVE Grupo Águas de Portugal

34