



PODE A GESTÃO DA RECARGA DE AQUÍFEROS (MAR) SER UMA SOLUÇÃO PARA MELHOR GERIR AS RESERVAS HÍDRICAS?

Teresa E. Leitão, Tiago N. Martins, Selçuk Oral,
Catalin Stefan, Nuno Correia

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

Como evitar este ciclo?



Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

ÍNDICE

1. Consumos / disponibilidades em Portugal
2. Que novas soluções
3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos, MAR
4. Considerações finais

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

1. Contexto: consumos

Consumo anual médio 4 557 hm³ (PNA, 2016)

Setor	Origem		Consumo total	
	Subterrâneas	Superficiais	Volume anual	
	%	%	%	(hm ³)
Urbano	37	63	20	904
Agricultura	64	36	74	3390
Industrial	46	54	5	229
Turismo			1	34
TOTAL	60	40	100	4557

Fonte: PNA, 2016

(Decreto-Lei n.º 76/2016 de 9 de novembro)

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

1. Contexto: disponibilidades

Capacidade de armazenamento em albufeiras (hm³)

10 932

ARADE	233,1
AVE	21,1
CÁVADO/RIBEIRAS COSTEIRAS	1 169,6
DOURO	297,2
GUADIANA	4 603,5
LIMA	405,5
MIRA	486,6
MONDEGO	508,2
RIBEIRAS DO ALGARVE	34,8
RIBEIRAS DO OESTE	7,9
SADO	618,4
TEJO	2 546,4
TOTAL	10 932,3

Fonte: SNIRH, outubro 2023

Escoamento anual em rios (hm³)

Rios (aquíferos)	
Minho	1 000
Lima	1 700
Cávado, Ave e Leça	3 400
Douro	9 200
Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste	5 900
Tejo	6 200
Sado e Mira	1 100
Guadiana	1 900
Ribeiras do Algarve	400
Total*	30 800

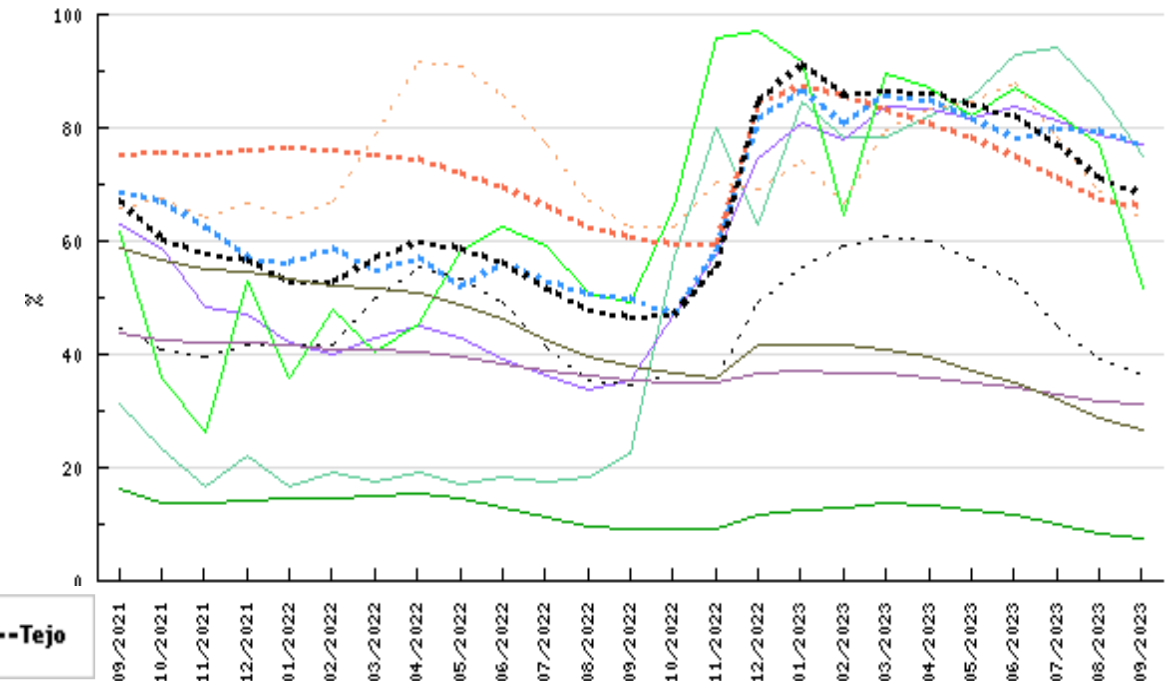
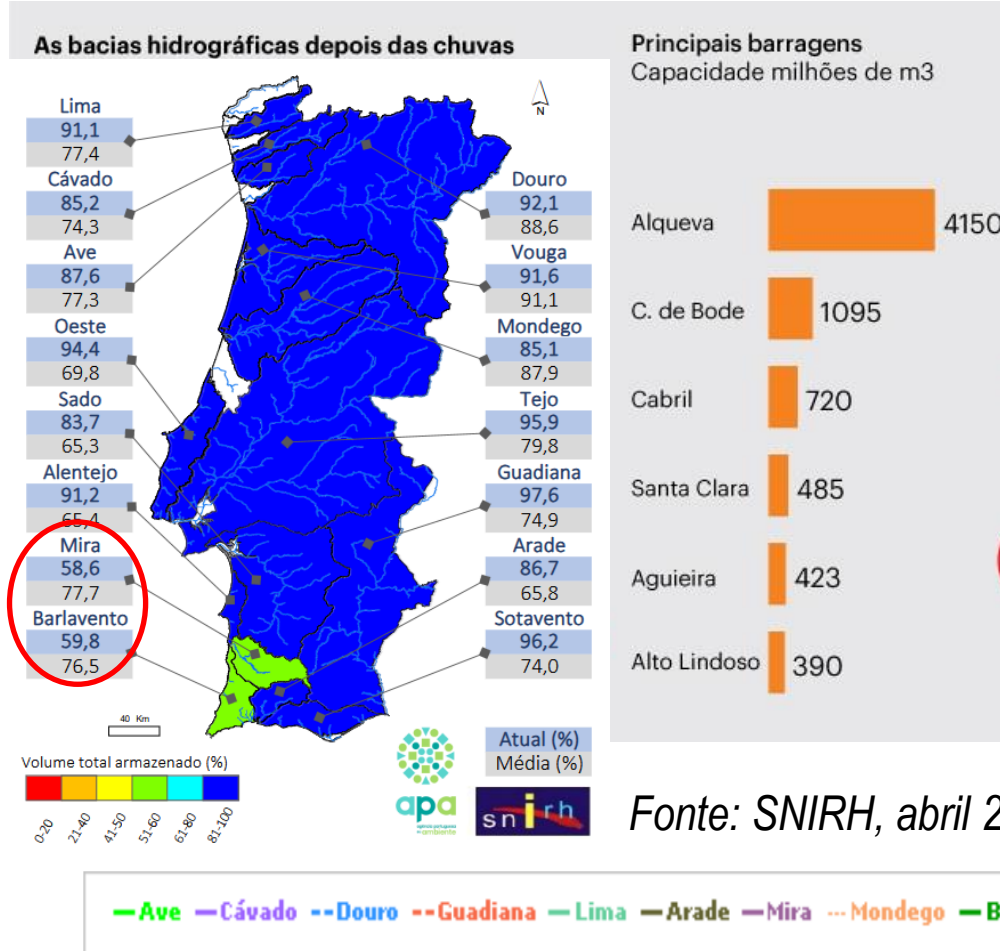
Fonte: PNA, 2016
(Decreto-Lei n.º 76/2016 de 9 de novembro)

Capacidade de armazenamento em aquíferos (hm³) – 100 000 (50% Aquífero Tejo-Sado)

Fonte: Lobo Ferreira, 1995

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

1. Contexto: disponibilidades, variabilidade espaço-temporal



Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

1. Contexto: resumo

- **Consumo anual** médio 4 557 hm³ (PNA, 2016) ou 4 324 hm³ (“Água que Une”)
- Capacidade de **armazenamento em albufeiras** (10 932 hm³, SNIRH, 2023)
- **Reservas (armazenamento) em aquíferos** (100 000 hm³, Lobo Ferreira *et al.*, 1995)
- Importância da **disponibilidade anual** (cerca de 51 000 hm³, “Água que Une”)
- Muito volume não-útil, grande variabilidade de disponibilidade de água no espaço e no tempo
- Alterações climáticas: eventos extremos de cheias e de secas, e risco de escassez (Alentejo e Algarve)
- Mais necessidades e menos água disponível <--> excesso de água em cheias

Soluções para mitigar a escassez e garantir segurança hídrica?



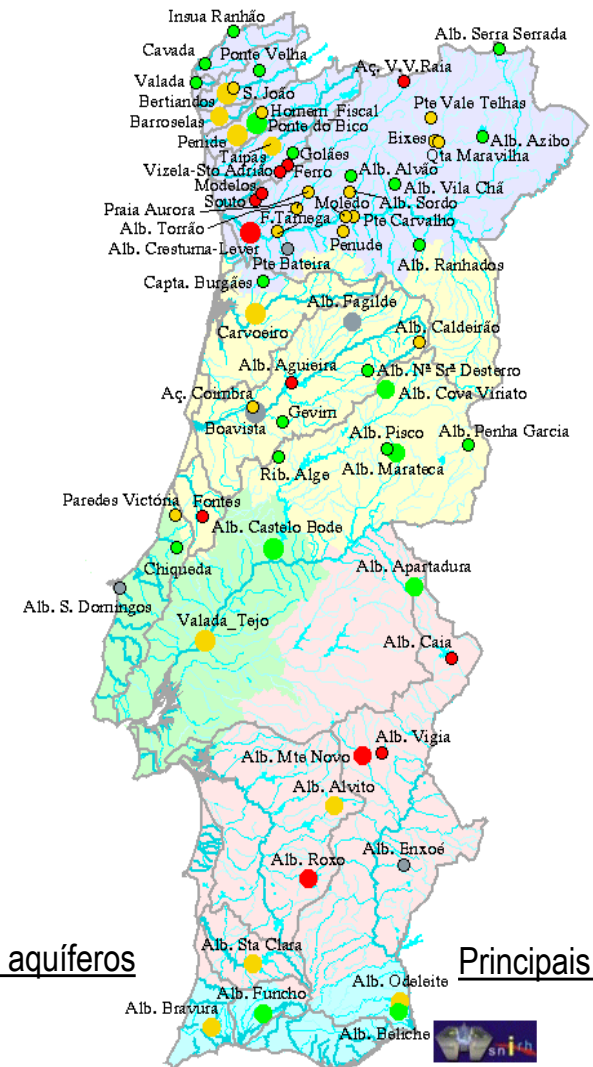
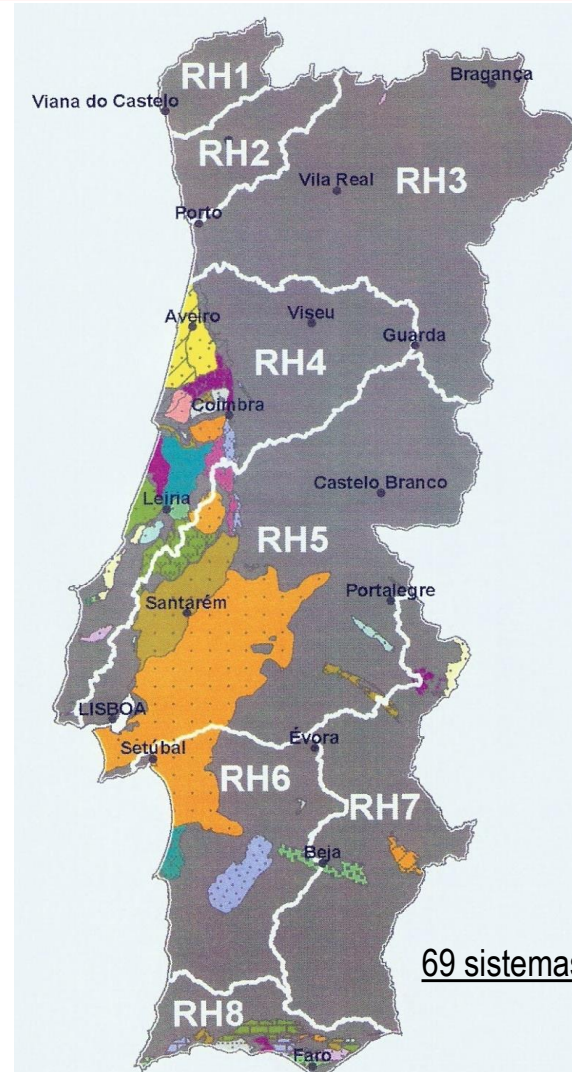
Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

2. Que soluções

- Reduzir as necessidades de água -> pouco provável
- Aumentar o armazenamento em albufeiras -> pouco provável
- Aumentar a eficiência do abastecimento de água -> continuar o esforço feito na agricultura e nas cidades
- Aumentar as disponibilidades: reutilização de água e recursos hídricos alternativos (por exemplo, inundações), incluindo a Gestão da Recarga de Aquíferos – MAR!

Água residual tratada em 2022 = 489 hm³
(Fonte: AdP)

Onde não é possível armazenar em barragens, existe a possibilidade de armazenar em aquíferos! MAR

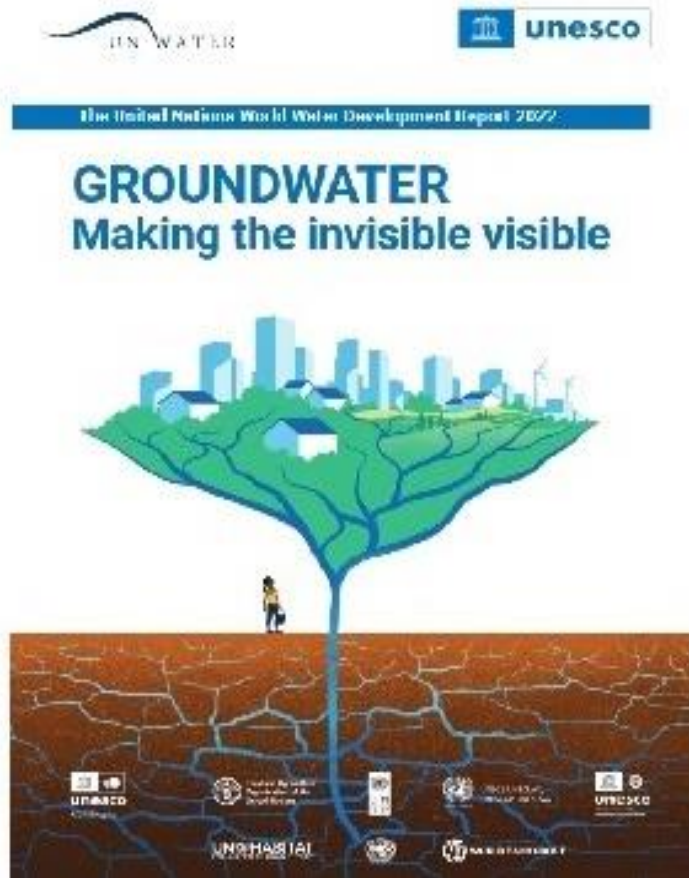


69 sistemas aquíferos

Principais albufeiras

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos



Managed aquifer recharge (MAR) is an integrated approach that allows replenishment of aquifers to complement storage dams and provides a cost-effective alternative that minimizes evaporation and environmental impacts. MAR can also be used to retain unharvested urban stormwater and recycled water, to be made available for productive use when needed. At the watershed scale, MAR can be used to maintain environmental water flows and their availability, creating lags in water discharges to a stream. The application of MAR has increased by a factor of 10 over the last 60 years, but there is still ample scope for further expansion, from the current 10 km³/year to probably around 100 km³/year.

The United Nations World Water Development Report 2022 Groundwater: Making the invisible visible

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos

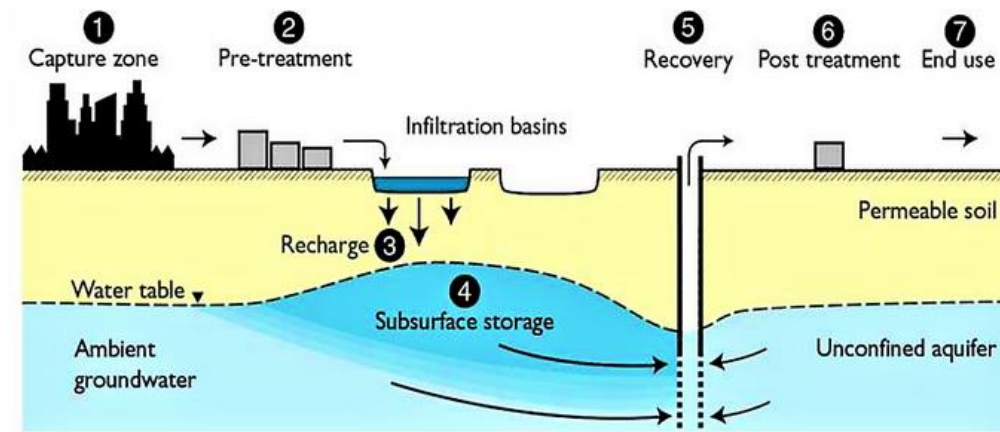
Managed Aquifer Recharge, MAR: recarga intencional de água em aquíferos, para subsequente extração ou para benefícios ambientais

Estratégia-chave para:

- aumentar a disponibilidade e melhorar a gestão dos recursos hídricos subterrâneos em regiões com escassez de água
- suavizar a desfasagem entre a procura e a disponibilidade de água
- ajudar a mitigar os efeitos das alterações climáticas e apoiar os serviços ambientais relacionados à água

Oportunidades:

- Permite melhorar a qualidade da água durante a infiltração nas zonas vadosa e saturada por processos de filtragem, biodegradação e adsorção, p.e., em bacias de *soil-aquifer treatment*
- Menor evaporação, proteção contra contaminação, prevenção da intrusão marinha, menor área e menor custo de investimento, ...



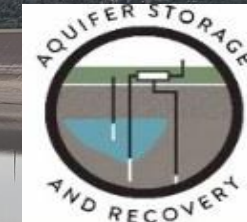
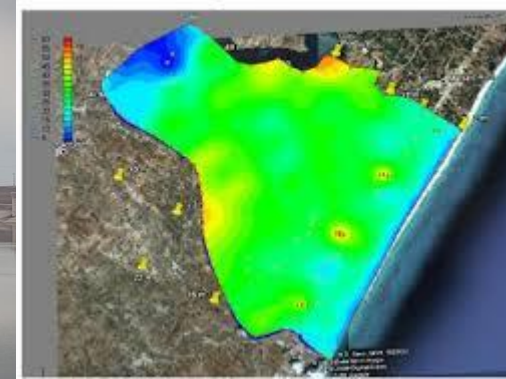
P. Dillon

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos

	Technology	Sub type	
Techniques referring primarily to getting water infiltrated	Spreading methods	infiltration ponds & basins	
		flooding	
		ditch, furrow, drains	
		irrigation	
	Induced bank infiltration		
	Well, shaft and borehole recharge	deep well injection	AS(TR)
ASR			
shallow well/ shaft/ pit infiltration			
Techniques referring primarily to intercepting the water	In-channel modifications	recharge dams	
		sub surface dams	
		sand dams	
		channel spreading	
	Runoff harvesting	barriers and bunds	
		trenches	

Transient state modelling – 3000 m³/d of MAR in 3 different local



Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos

GABARDINE, FP6 (2005-2009, LNEC)

MARSoluT, H2020 (2019-23, LNEC, UALG)

MARCLAIMED, Horizonte Europa (2024-27, LNEC, AgdA)

MARSOL, FP7 (2013-2016, LNEC, TARH, UALG)

AGREEMAR, PRIMA (2022-25, LNEC)



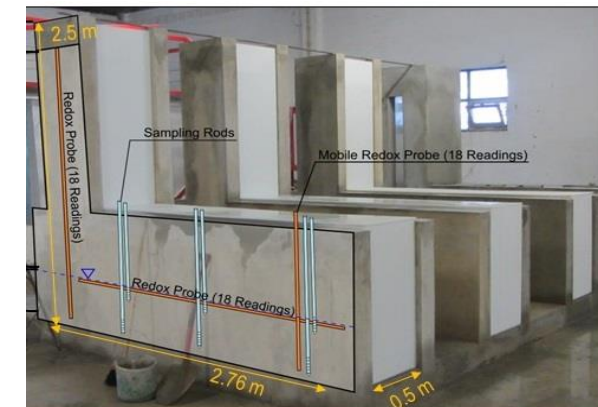
Década 1990



Década 2010



Década 2020

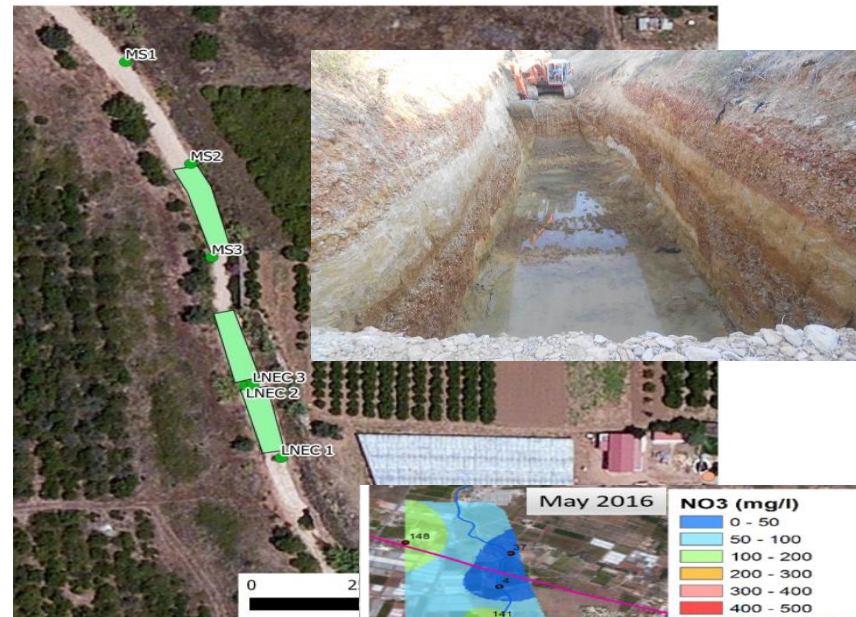


MARSoluT
Managed Aquifer Recharge ITN

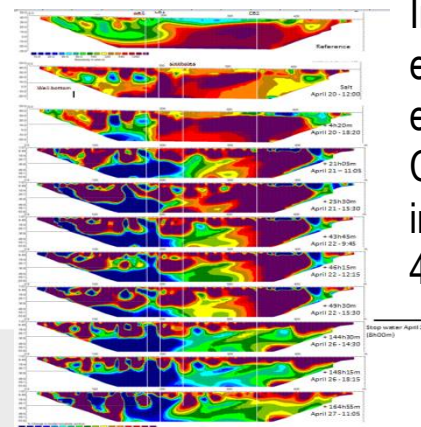
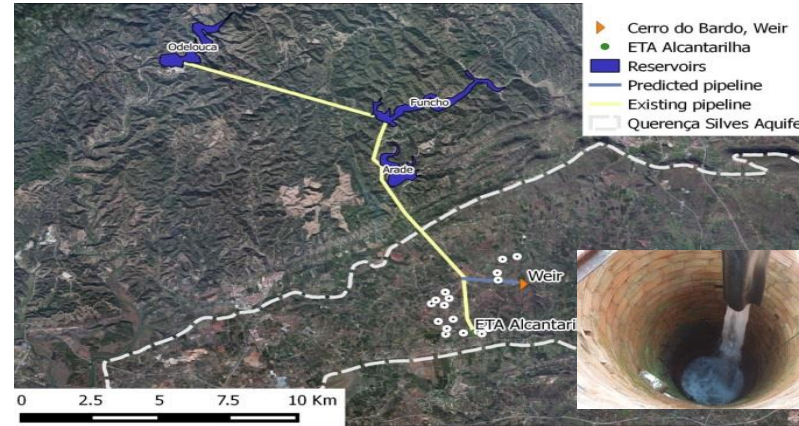
Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos

Faro: recarga em leitos de rio escavados para aumento e melhoria da qualidade da água

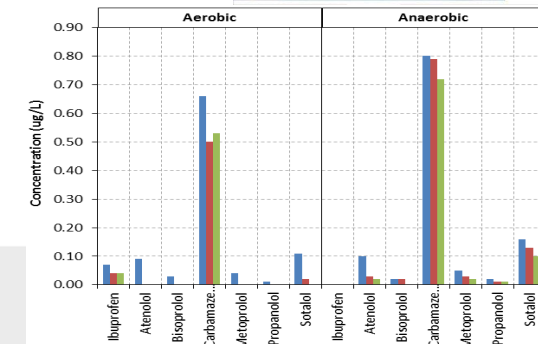
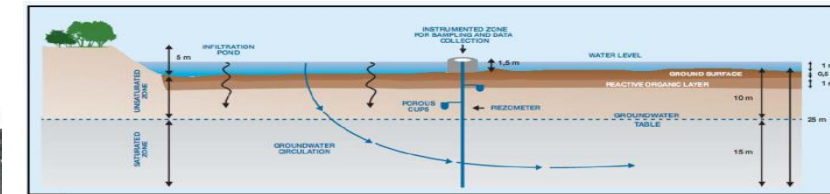


Aquífero Q.-Silves: aumentar a disponibilidade de águas no aquífero cársico com excedentes de Odelouca



Infiltração (azuis e verdes) em ensaios com traçador em zona cársica.
Capacidade mínima de infiltração: 4060 m³/d

SBMessines: melhorar a qualidade do efluente à saída da ETAR durante a infiltração: bacias soil-aquifer treatment



Redução fármacos da entrada (azul) para as saídas das duas bacias (verm e verde)

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos

Três aspetos de MAR devem estar claros para que as autoridades de água e as partes interessadas promovam ativamente seu uso em Portugal:

- (1) metodologia para **mapear a viabilidade de MAR**, incluindo a disponibilidade hídrica de recursos hídricos convencionais e não convencionais → **Tiago Martins / AGREEMAR**
- (2) garantir a **proteção da qualidade da água** decorrente do conhecimento sobre o destino dos contaminantes presentes na água (e.g. água residual) → **Marcel Horovitz / MARSolUT + Selçuk Oral / MARCLAIMED**
- (3) adaptar os sistemas MAR para um desempenho otimizado → resultante do conjunto

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos

Legislação:

Resolução da Assembleia da República n.º 86/2022 - Recomenda que o Governo incentive a gestão da recarga de aquíferos para reforçar a eficiência hídrica.

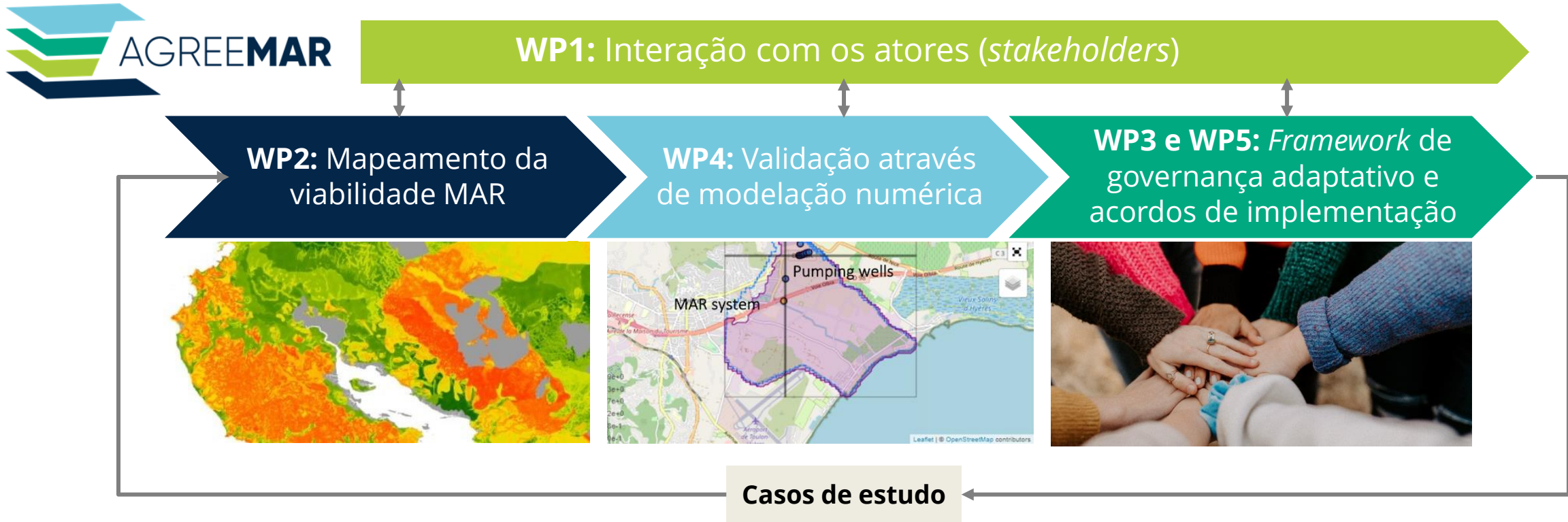
Os **planos de gestão das bacias hidrográficas** também fazem referência à utilização do MAR, mas não são conhecidas ações específicas.

Espanha: Real Decreto 665/2023, de 18 de julho: "Qualquer volume excedente de água de qualidade adequada deverá ser capaz de ser utilizado para a gestão da recarga artificial de aquíferos..."

Itália: Decreto de maio de 2016, n. 100: Regulamento contendo critérios para a emissão de autorização MAR.

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos: Mapeamento MAR



Tunísia



Portugal



Espanha



Chipre



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

Definição do problema

Mapeamento de restrições
(áreas de exclusão)

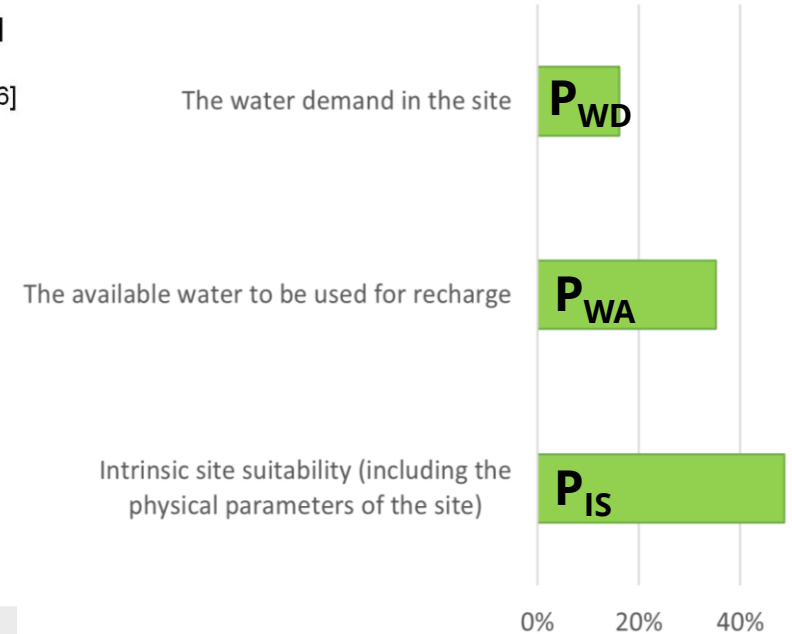
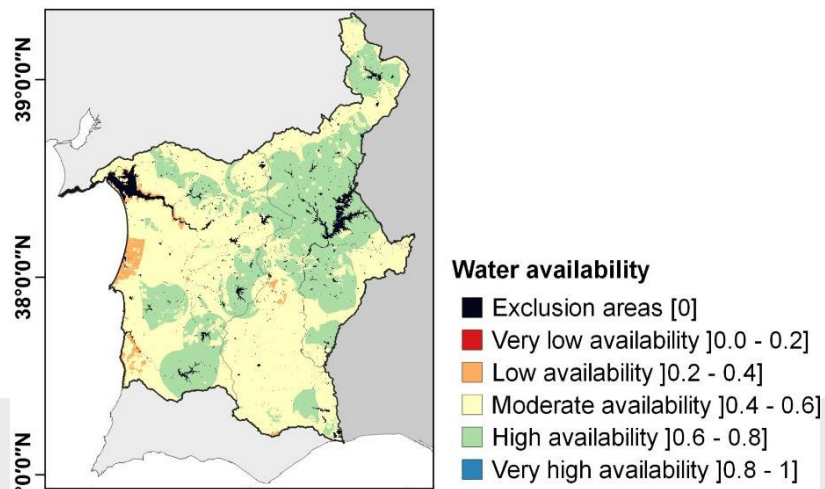
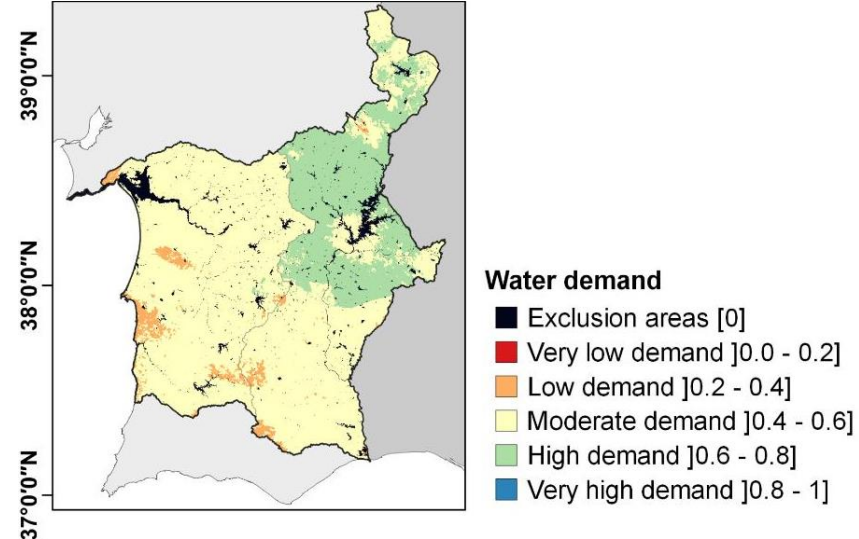
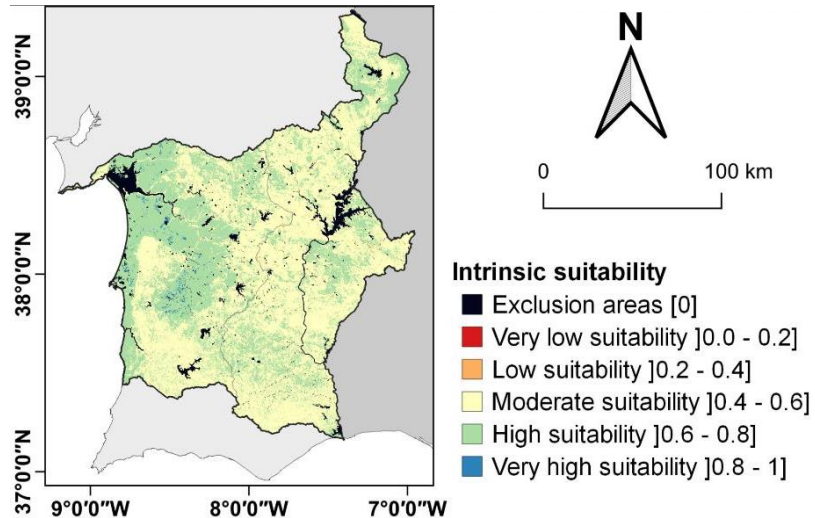
Seleção de critérios

Standardização

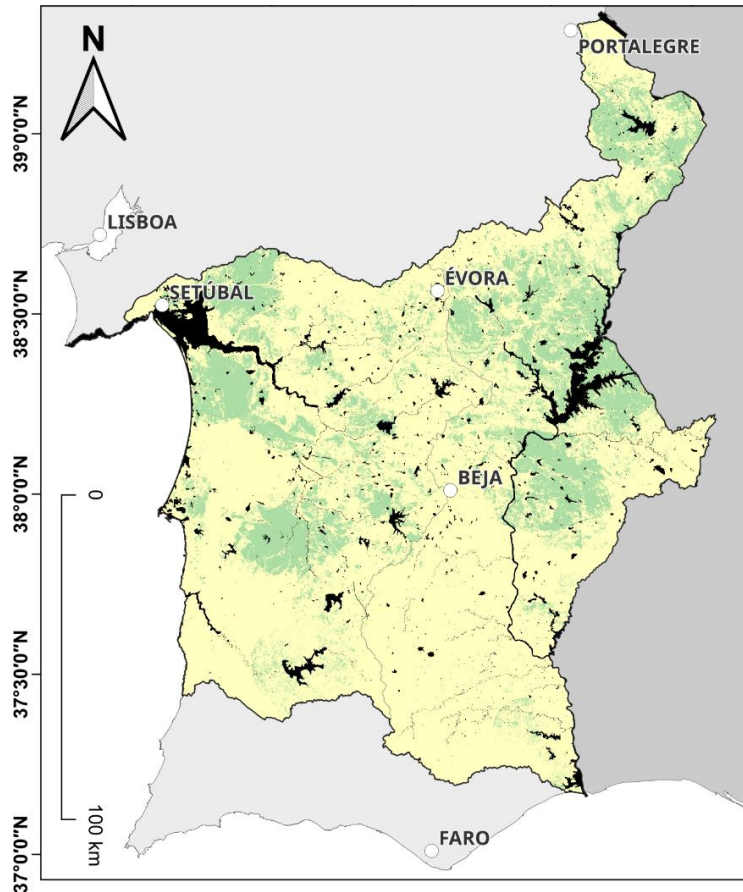
Atribuição de pesos

Mapeamento

Validação

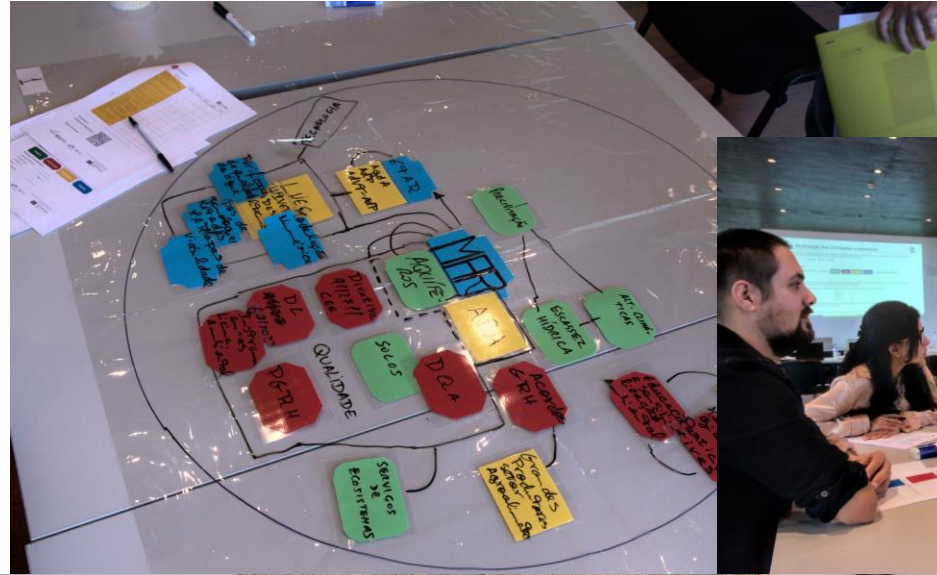


Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?



AGREEMAR method

- ### MAR Feasibility index
- Exclusion areas [0]
 - Very low feasibility [0.0 - 0.2]
 - Low feasibility [0.2 - 0.4]
 - Moderate feasibility [0.4 - 0.6]
 - High feasibility [0.6 - 0.8]
 - Very high feasibility [0.8 - 1]



Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

ABOUT


MARCLAIMED

START DATE
01 February 2024

DURATION
36 months

BUDGET
3 209 652.75

PROJECT COORDINATOR
CETAQUA
WATER TECHNOLOGY CENTRE


MARCLAIMED





CETAQUA WATER TECHNOLOGY CENTRE

AQUATEC

Agbar

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

egm

Fresh Thoughts Consulting

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

ÁGUAS PÚBLICAS DO ALENTEJO

ACACIA WATER

Water Europe

Lukasiewicz

Agència Catalana de l'Aigua

Integrated Decision Support Tool
for Reliable and Affordable
Application of Manage Aquifer
Recharge with Alternative Water
Resources in River Basin and
Drought Management Plans

marclaimed.eu

info@marclaimed.eu

https://twitter.com/marclaimed

https://www.linkedin.com/company/marclaimed-eu/



Funded by the European Union

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos: qualidade

Integrar MAR como AWR nos Planos de Gestão de Bacias Hidrográficas e Secas, apoiando a adaptação e resiliência dos sistemas de abastecimento no contexto das AC.



Consórcio com 12 parceiros
Prazo 36 meses (Fev. 24 – Fev. 27)
Valor do projeto € 3 732 000,00

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos: qualidade



Utilizar **6 ferramentas** para melhorar o desenho, operação e planeamento de MAR com fontes alternativas de água



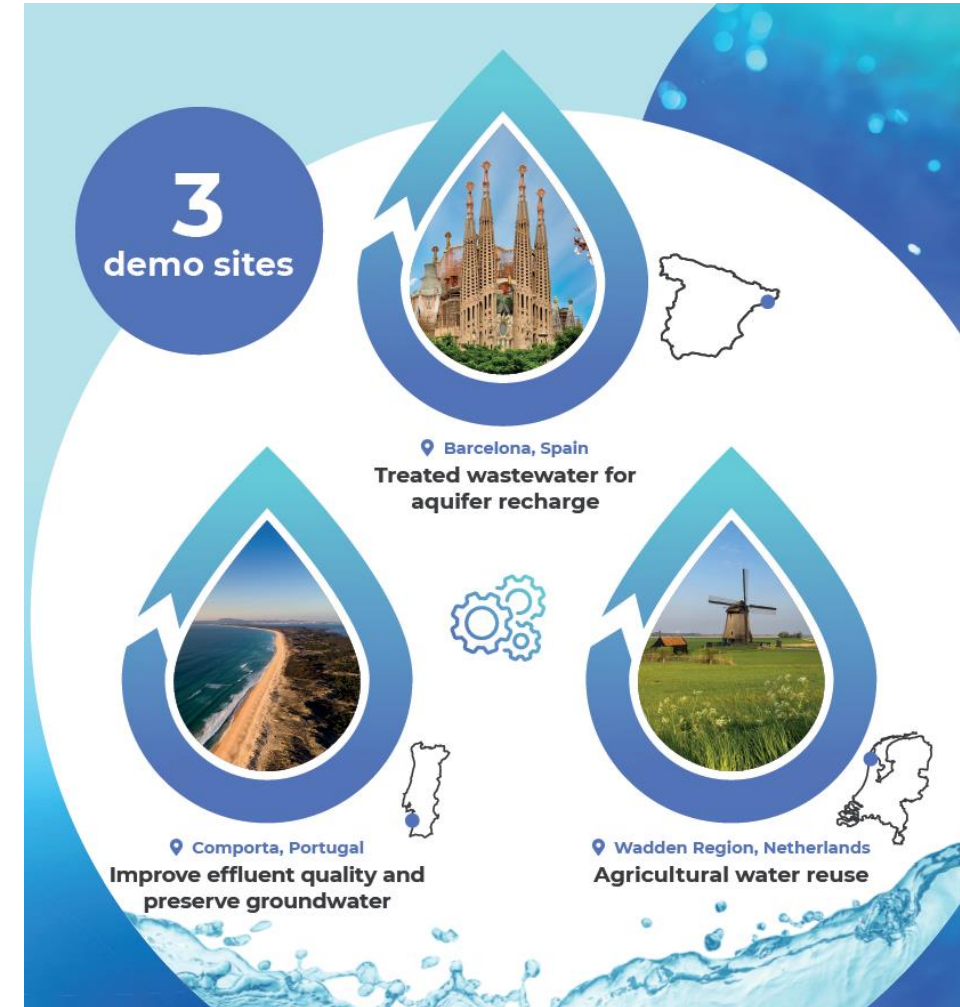
Desenvolver e implementar instrumentos para avaliar **benefícios económicos**, prever resultados e permitir o **retorno do investimento**



Envolver os atores na **co-criação de estratégias eficazes** na utilização de **fontes alternativas** de água de forma a fomentar a aceitação social



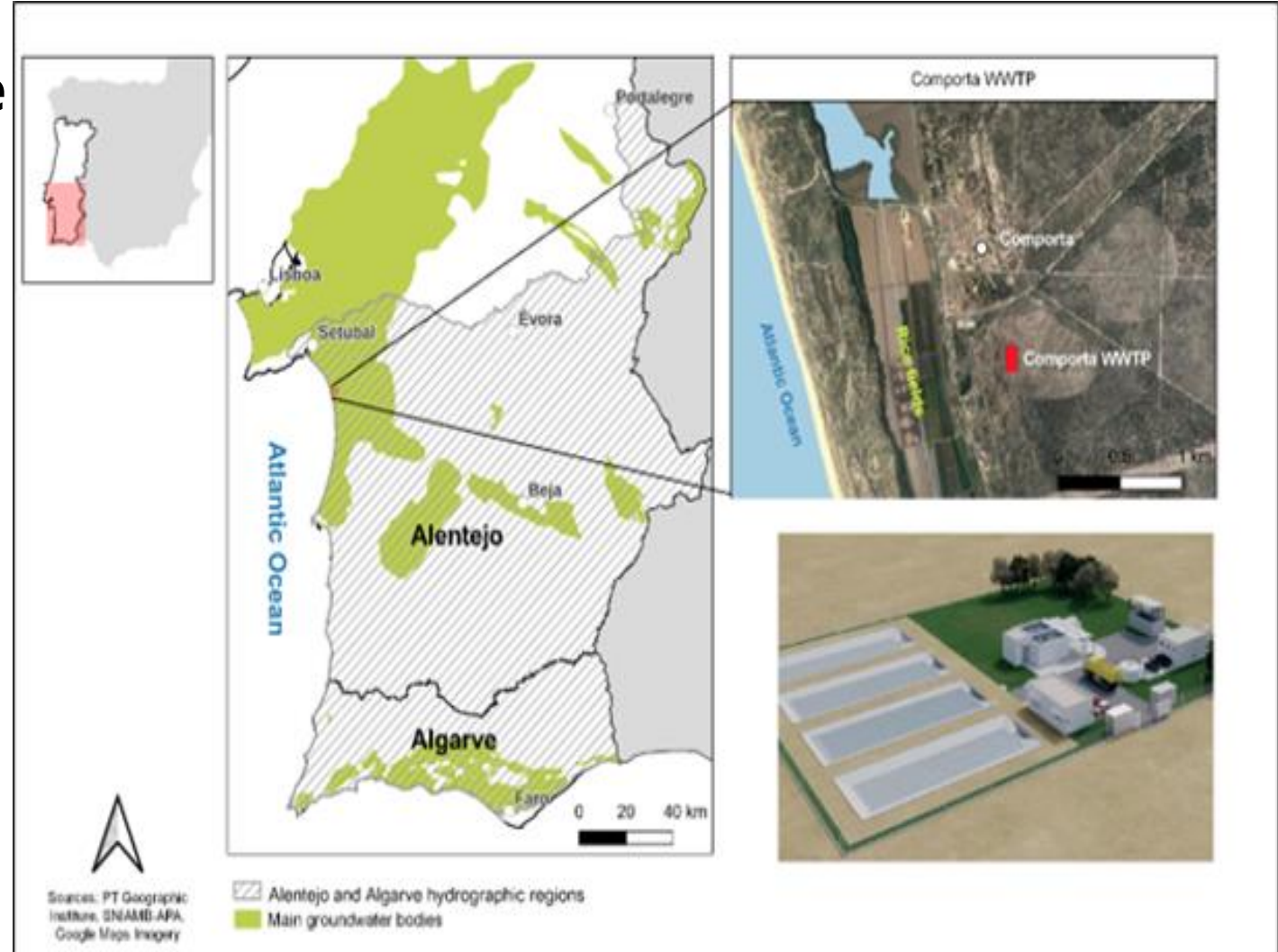
Integrar e promover a gestão da recarga de aquíferos com fontes alternativas de água nos **planos de gestão de bacias hidrográficas**



Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos: qualidade

- Verificar a melhoria da qualidade da água recarregada (dados da zona vadosa e das águas subterrâneas)
- Manter as taxas de infiltração
- Melhorar a avaliação dos riscos de poluição das águas subterrâneas
- Melhorar a aceitação, a fiabilidade e a confiança social e política
- **Alargar SAT-MAR como solução estrutural para ETAR de pequena dimensão, região do Alentejo**



Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos: qualidade



Desde 1 de outubro de 2021

Porquê SAT-MAR como solução?

- ETAR localizada numa zona sensível - ecossistema estuarino do Sado (Reserva Natural) - e perto de arrozais
- Análise custo-benefício, incluindo estudos hidrogeológicos

ETAR da Comporta

- Sistema de tratamento avançado, incluindo tratamento primário, biológico e desinfecção adicional para produzir ApR e tratamento de lamas por desidratação
- Quatro bacias de infiltração
- 590 p.e. até 2500 p.e. (época alta)
- Caudal médio 137 m³/dia

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos: qualidade

- Introduzir **duas camadas orgânicas reativas** para estudar as **melhores opções** de remoção de compostos farmacêuticos e outros contaminantes (tratamento solo-aquífero, SAT).
- Otimizar os cenários de operação: **melhorar a monitorização e o controlo do desempenho do sistema MAR**, manter as taxas de infiltração e melhorar a qualidade da água de recarga.
- **Disponibilizar soluções adaptadas** às alterações climáticas:
 - Extrapolar este exemplo para a região do Alentejo.
 - Melhorar a aceitação pública/social dos sistemas com AWR, proteger as áreas naturais sensíveis e proporcionar benefícios para as atividades económicas locais.



Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

Two Reactive Organic Layers (ROL) (September 2024)

20 cm	Gravel
1 cm	Geotextil
many cm...	Sand



0.9 m³ of biochar

5 cm	Gravel
5 cm	Biochar 30 / Sand 70
5 cm	Biochar 30 / Sand 70
5 cm	Gravel
1 cm	Geotextil
many cm...	Sand

5 cm	Gravel
5 cm	GAC 15 / Sand 85
5 cm	GAC 15 / Sand 85
5 cm	Gravel
1 cm	Geotextil
many cm...	Sand

0.45 m³ of GAC



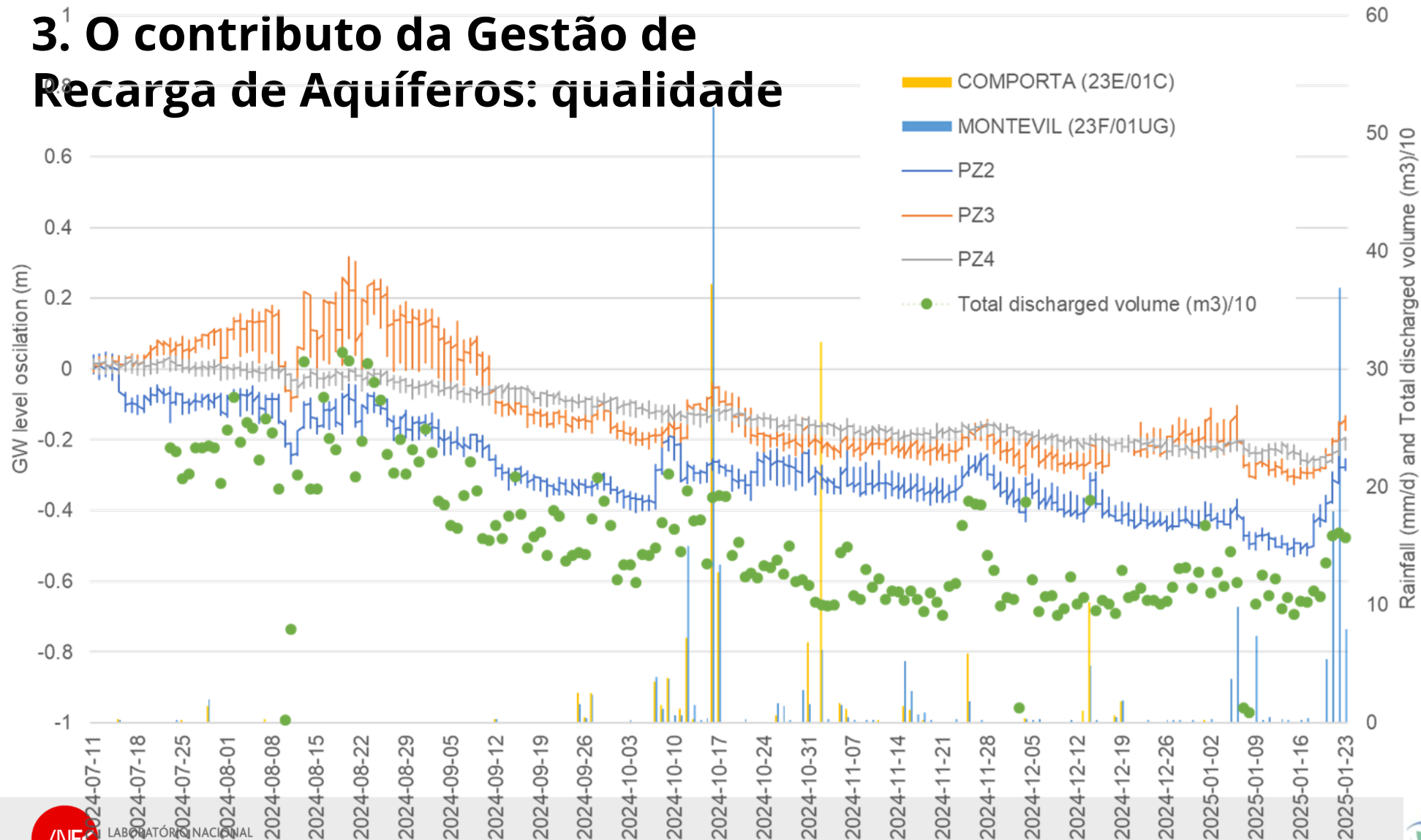
+3 piezómetros (junho 2024)

6 cápsulas zona vadosa (abril 2024)



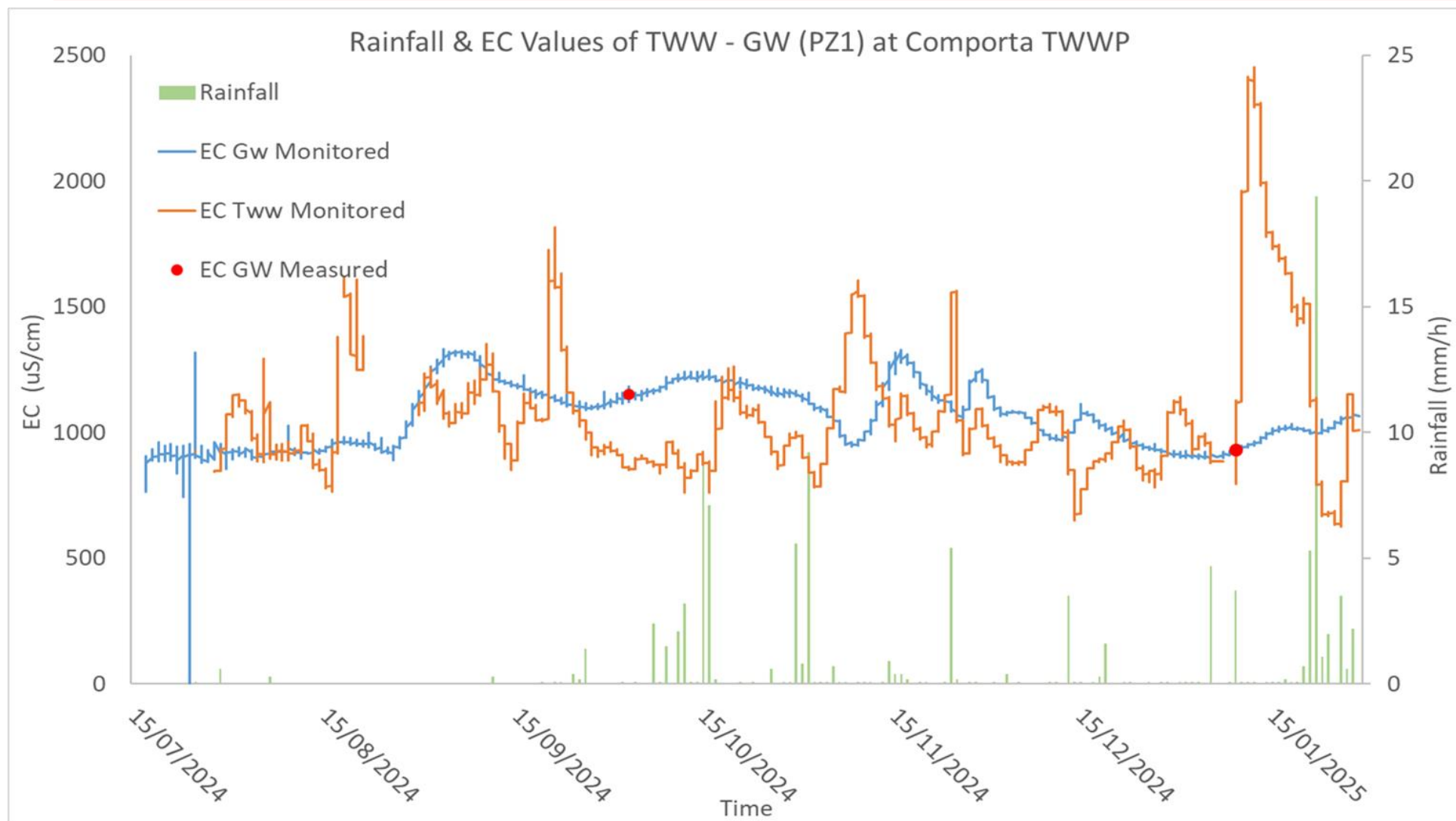
Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

3. O contributo da Gestão de Recarga de Aquíferos: qualidade



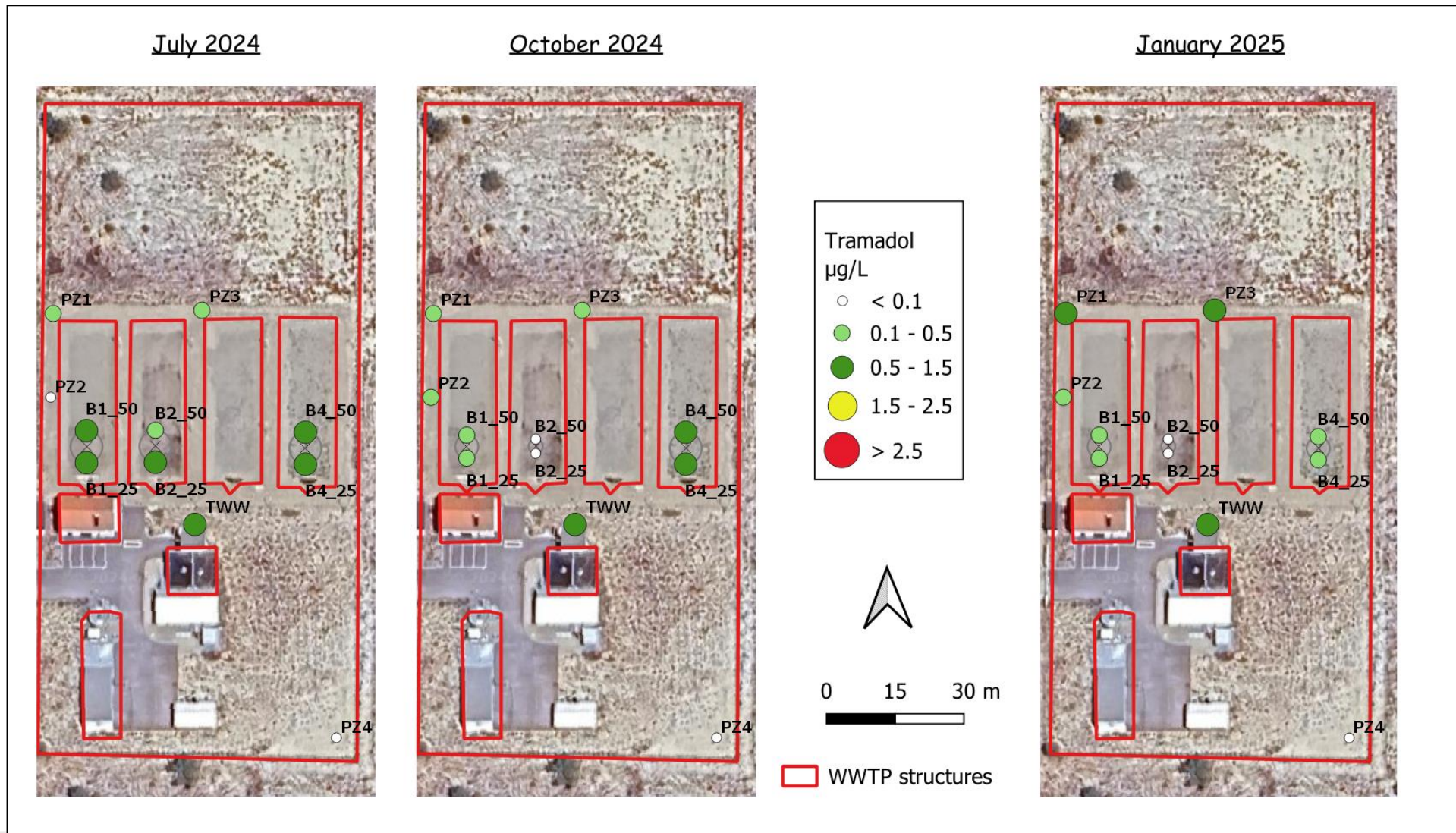
- Descargas mais elevadas no verão
- Sem resposta clara do nível de GW após fraca precipitação
- A água infiltrada afeta os n.p. em piezómetros mais próximos (PZ2, mais em PZ3)
- PZ4 (referência) não apresenta resposta aos volumes descarregados

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?



Influência da CE da TWW nas águas subterrâneas (atraso de cerca de 1 semana)

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?



TWW constante

Melhoria nas bacias após ROL (B2, GAC, melhor)

Efeito médio prazo nos PZ

Pode a Gestão da Recarga de Aquíferos ser uma solução para melhor gerir as reservas hídricas?

4. Considerações finais

- **Harmonizar** as práticas de gestão da recarga de aquíferos e do **uso de recursos hídricos alternativos no âmbito quadro legal da EU**, visando enfrentar as complexidades e os desafios de garantir a sustentabilidade do abastecimento de água a longo prazo.
- Reforçar a **aceitação social, a consciencialização, a confiança e a fiabilidade** em sistemas alternativos sustentáveis de recursos hídricos. O nosso objetivo é melhorar não só a sua eficiência, mas também a sua relação custo-benefício.
- **Envolver** um amplo espectro de **atores**, incluindo decisores, sectores hídricos públicos e privados.
- **Incentivar uma transição comportamental**, promovendo uma maior consciência e confiança nas tecnologias de gestão da recarga de aquíferos e no uso de recursos hídricos alternativos.