

Contribuição para o Estudo das Alterações Climáticas e Adaptação do Ciclo Urbano da Água

EPAL Technical Editions



EPAL

Grupo Águas de Portugal



**Contribuição para o Estudo das
Alterações Climáticas
e Adaptação do Ciclo Urbano da Água**

EPAL Technical Editions

Edição: EPAL, Empresa Portuguesa das Águas Livres S.A.

Editores: Ana Margarida Luís e Maria João Cruz

EQUIPAS:

Coordenação científica: Filipe Duarte Santos e Maria João Cruz (CCIAM, FCUL)

Coordenação EPAL: Ana Luís, Basílio Martins, Vanessa Martins, Paula Aprisco, Alexandre Rodrigues, Lília Azevedo (Grupo para as alterações climáticas - GAC, EPAL) e Francisco Serranito, Maria João Benoiel, José Figueira, Mário Maria (Comissão de Acompanhamento do Projeto)

Cenários socioeconómicos: Rita Jacinto e Maria João Cruz (CCIAM, FCUL)

Cenários climáticos: Mário Pulquério (CCIAM, FCUL)

Recursos hídricos superficiais: João Pedro Nunes, Jingxian Tao, José António Rodríguez-Suárez e María Ermitas Rial-Rivas (CESAM, UA), Paulo Diogo, Carmona Rodrigues e Pedro Duarte Colaço (FCT)

Recursos hídricos subterrâneos: Luís Ribeiro, João Nascimento, João Barradas e Joana Oliveira (IST, UTL)

Vulnerabilidade climática: Nuno Grosso e Maria João Cruz (CCIAM, FCUL)

Adaptação: Tiago Capela Lourenço, David Avelar, Rita Jacinto e Nuno Grosso (CCIAM, FCUL)

ENTIDADES PARTICIPANTES:

EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, SA

CCIAM, FCUL - Climate Change Impacts, Adaptation and Modelling research group, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

CESAM - Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro

IST, UTL - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa

DCEA, FCT - Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Design gráfico e paginação: António Carvalho (GIC/EPAL)

Fotografias: Nuno Farinha, Luís Carvalho (p.38), Fabrice Ziegler, Abílio Leitão, Vera Marmelo, João Morgado (p.50-51)

Impressão e acabamento: GRAFICOISAS - Indústria Gráfica Lda.

1000 exemplares

Depósito legal: 380165/14

ISBN 978-989-8620-05-7

1ª edição setembro 2014

Para citação: Luís, A.M. e Cruz, M.J. (eds.) 2014. Contribuição para o Estudo das Alterações Climáticas e Adaptação do Ciclo Urbano da Água. EPAL, Empresa Portuguesa das Águas Livres S.A., Lisboa. 49pp. ISBN 978-989-8620-05-7

índice

1. Enquadramento	7
1.1 História e sistema da EPAL	7
1.2 Os desafios para a EPAL colocados pelas alterações climáticas.....	9
1.3 O Projeto Adaptaclima-EPAL	9
2. Principais alterações climáticas e socioeconómicas esperadas	15
2.1 Introdução.....	15
2.2 Cenários climáticos.....	16
2.3 Cenários socioeconómicos.....	19
3. Avaliação das vulnerabilidades	23
3.1 Introdução.....	23
3.2 Vulnerabilidades atuais.....	25
3.3 Vulnerabilidades futuras.....	27
4. Projeto Adaptaclima-EPAL – Desafios atuais e futuros	37
4.1 Desafios atuais	37
4.2 Desafios futuros.....	39
4.3 Indicadores e momentos de tomada de decisão.....	42
4.4 Relação com as partes interessadas	43
5. Projeto Adaptaclima-EPAL: o que diz a Equipa	45
Referências e Bibliografia	48



Preâmbulo

A EPAL é a mais antiga e a maior empresa operadora do setor da água em Portugal, assumindo uma posição revelante e de referência, quer pela reconhecida inovação quer pela qualidade do serviço público de excelência que presta a uma grande proporção da população portuguesa.

Atualmente os desafios colocados ao setor da água em Portugal incentivam a uma cada vez maior aposta nos ganhos de eficiência, como base do exercício de racionalidade económica que é característica da gestão de qualquer empresa, mas neste caso exacerbados pela responsabilidade social própria de uma atividade com uma ligação intrínseca e dependente dos recursos naturais, promovendo a defesa de valores ambientais e de solidariedade inter-regional e inter-geracional.

Ao longo dos últimos anos a EPAL tem-se afirmado como empresa de grande destaque no benchmark internacional em matéria de gestão eficiente dos recursos hídricos e exemplo de boas práticas, como é o caso da redução de perdas de água. A prossecução de uma política desta natureza sai mais reforçada quando suportada em avaliações de risco estratégico, o que pressupõe um conhecimento das principais ameaças para o sistema a médio e longo prazo, como é o caso dos impactes das alterações climáticas. De facto, o planeamento da EPAL ao longo dos anos em matérias estruturantes como a realização de investimentos em ativos, permitiu constituir um sistema com apreciável resiliência e garantia de serviço de qualidade, que importa salvaguardar no futuro.

Neste âmbito, a EPAL entendeu por bem procurar na academia, em Portugal, o que de melhor se produz em ciência sobre esta temática, promovendo o desenvolvimento do projeto Adaptaclima-EPAL e criando as condições para a internalização desse conhecimento. Deste modo, poderão os resultados do estudo ser integrados nos diversos processos de planeamento em vigor na Empresa, colocando a dimensão “alterações climáticas” entre todas as outras a considerar com vista à melhoria do sistema e garantia de continuidade do negócio.

Apesar das conclusões favoráveis reveladas pelo estudo, o mais importante facto a realçar é a oportunidade que foi criada para refletir, de forma crítica, sobre o sistema, fazendo o levantamento das vulnerabilidades e das melhorias a introduzir, bem como da necessidade de uma nova metodologia de monitorização do risco das alterações climáticas sobre o sistema, como auxílio à tomada de decisões com vista à melhor adaptação possível.

Assim, a EPAL continuará a prosseguir a sua missão, criando valor de forma sustentável e na vanguarda do que deve ser o posicionamento do setor da água como ator de máxima relevância na estratégia nacional de adaptação às alterações climáticas.



1. Enquadramento

Autores: Basílio Martins, Paula Aprisco, Alexandre Rodrigues, Vanessa Martins, Lília Azevedo, Ana Luís e Filipe Duarte Santos

1.1 História e sistema da EPAL

Sucessora da centenária "Companhia das Águas de Lisboa, SARL", cuja concessão do abastecimento de água a Lisboa vigorou de 1868 até 1974, a EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. é a maior e a mais antiga empresa de abastecimento de água do país.

Em 30 de outubro de 1974 caducou o contrato de concessão celebrado entre o Estado e a Companhia das Águas de Lisboa e, através do Decreto-Lei n.º 553-A/74, foi constituída a EPAL - Empresa Pública das Águas de Lisboa, EP. Foi nessa altura definido o regime transitório de gestão do serviço público de abastecimento de água, tendo os estatutos da empresa apenas sido aprovados em 1981, pelo Decreto-Lei n.º 190/81, de 04 de julho.

Uma década mais tarde, através do Decreto-Lei n.º 230/91, de 21 de junho, a Empresa Pública foi convertida em Sociedade Anónima de capitais exclusivamente públicos, com a denominação de EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. e atualizados os seus Estatutos. Em 1993, a EPAL foi integrada na AdP - Águas de Portugal, SGPS, S.A., passando a ser detida a 100% por este Grupo.

A razão de existir da empresa, com mais de 145 anos, reside no compromisso social de fornecer e abastecer todos os seus clientes com água para consumo humano, de forma sustentada e sustentável, respeitando integralmente os padrões de qualidade, cumprindo os requisitos da legislação em vigor e os melhores níveis de serviço quanto à sua fiabilidade.

O negócio da EPAL compreende um ciclo de atividades que vão desde a captação de água nas origens, tratamento e transporte até à entrega de água a sistemas multimunicipais, municípios e, no caso de Lisboa, aos clientes diretos.

A EPAL fornece, em "Alta", três Clientes Multimunicipais (Águas do Oeste, Águas do Centro e Águas do Ribatejo) e 17 Clientes Municipais, sendo que, em "Baixa", assegura a distribuição domiciliária no município de Lisboa a cerca de 350.000 clientes. Assim, o sistema de abastecimento da EPAL (Figura 1) abrange, globalmente, 35 municípios e uma população de cerca de 2,9 milhões de pessoas, fornecendo uma quantidade média diária de, sensivelmente, 600.000 m³ de água.

A EPAL é responsável por um sistema de abastecimento com mais de 2.100 quilómetros de condutas, desde as captações até à cidade de Lisboa e concelhos limítrofes. A capacidade máxima de produção é de 1.110.000 m³/dia.

Este sistema capta água em duas origens superficiais – albufeira de Castelo do Bode e margem direita do rio Tejo, em Valada – e em cerca de 20 captações subterrâneas localizadas em Alenquer, Lezírias e Ota. Em situações de emergência a EPAL pode ainda recorrer à nascente dos Olhos de Água e a captações subterrâneas localizadas em Valada.

Para o tratamento da água captada, a EPAL dispõe de duas Estações de Tratamento de Água (ETA): a ETA de Asseiceira, localizada no concelho de Tomar, que trata a água captada na albufeira de Castelo do Bode; e a ETA de Vale da Pedra, que se localiza no concelho de Azambuja e que procede ao tratamento da água captada no rio Tejo.



Figura 1 Sistema de Abastecimento da EPAL

O tratamento aplicado atualmente nas captações subterrâneas é a desinfecção por cloro. Nos furos de Alenquer, existe ainda uma estação de descarbonatação.

A EPAL dispõe também de 26 Postos de Cloragem, localizados junto às captações subterrâneas e ao longo das redes de adução e distribuição, bem como de 41 Estações Elevatórias e de 42 Reservatórios.

Estas infraestruturas representam a parte mais significativa do capital da empresa, num valor da ordem dos 740 milhões de euros.

1.2 Os desafios para a EPAL colocados pelas alterações climáticas

Existe atualmente um amplo consenso científico de que as alterações climáticas provocadas pela intensificação antropogénica do efeito de estufa se irão agravar ao longo do século XXI (IPCC, 2014). Um dos setores mais vulneráveis às alterações climáticas nos países do sul da Europa é o dos recursos hídricos (EEA, 2012).

Nos últimos 40 anos observou-se já, nesta região, uma ligeira tendência de diminuição da precipitação média anual e uma tendência mais clara de aumento da variabilidade da precipitação acumulada no inverno, com maior frequência tanto de invernos muito secos como de invernos muito chuvosos (SIAM, 2006). As projeções até ao final do século, obtidas a partir dos vários modelos climáticos globais disponíveis, são concordantes no que se refere a uma intensificação das tendências referidas (SIAM, 2006; Pulquério *et al.*, 2014).

O posicionamento da EPAL e a sua importância na prestação de um serviço essencial praticamente a um terço da população portuguesa levam-na a tomar em consideração todos os fatores que, a prazo, possam colocar em risco o cumprimento da sua missão, sendo as alterações climáticas um deles. Esta problemática não pode ser ignorada por qualquer empresa ou organização que tem de projetar a sua atividade no futuro, levando em linha de conta todas as variáveis que poderão afetar a sua capacidade de proporcionar um serviço fundamental, como é o abastecimento de água para consumo humano.

A abordagem da sociedade à problemática das alterações climáticas é feita por duas vias: a da mitigação, tendo sobretudo objetivos de redução das emissões de gases com efeito de estufa com vista à desaceleração das dinâmicas que estão a levar ao fenómeno do aquecimento global; e a da adaptação, preparando as estruturas da sociedade para resistirem aos impactes das alterações que se prevê virem a ocorrer até ao final deste século, numa perspetiva de redução do risco, mas também tornando-as mais resilientes, ou seja, com maior capacidade de recuperarem após a ocorrência de qualquer anomalia que afete o seu normal funcionamento (IPCC, 2007; 2014).

1.3 O Projeto Adaptaclima-EPAL

Integrado numa estratégia que visa reduzir as vulnerabilidades da empresa no médio e longo prazo, o projeto Adaptaclima-EPAL inscreve-se na vertente da adaptação, tendo tido como objetivos a avaliação dos potenciais impactes das alterações climáticas sobre o sistema da EPAL bem como a identificação de medidas de adaptação necessárias.

Iniciado a 30 de setembro de 2010 e com duração de 30 meses, o estudo foi desenvolvido por uma equipa multidisciplinar de diversas Universidades, coordenada pelo Prof. Filipe Duarte Santos, da Faculdade de Ciências de Lisboa.



Figura 2 Área de estudo do projeto Adaptaclima-EPAL

(fonte: Plano de Bacia Hidrográfica do Tejo, 2001)

O desenvolvimento do projeto foi acompanhado pelo Grupo das Alterações Climáticas da EPAL (GAC).

A área de estudo abrangeu não só a zona de influência da EPAL, mas praticamente toda a bacia hidrográfica do rio Tejo em Portugal, tendo em conta a localização das origens de água do sistema da EPAL. Particular enfoque foi dado à bacia hidrográfica do rio Zêzere a montante da barragem de Castelo do Bode, e do rio Tejo a montante da captação de Valada, bem como aos aquíferos Tejo - Sado e Ota - Alenquer (Figura 2).



Figura 3 Metodologia global do projeto Adaptaclima-EPAL

A metodologia de desenvolvimento do projeto assentou em sete tarefas, divididas por quatro áreas principais: cenários climáticos, cenários socioeconómicos, avaliação de impactes e vulnerabilidades e, por fim, medidas de adaptação (Figura 3).

Este projeto é um exemplo de como podem as empresas do setor da água inovar, integrando na sua gestão o conhecimento gerado na academia para a resolução de problemas específicos e concretos. Recorrendo à equipa que já havia elaborado o único estudo intersetorial sobre o tema no território de Portugal – o projeto SIAM (SIAM, 2002; 2006), que tornou Portugal um dos primeiros países do mundo a aplicar as metodologias de análise que já haviam sido desenvolvidas a nível planetário pelo Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) – a EPAL constituiu-se igualmente pioneira no estudo desta matéria aplicada ao setor da água e abrangendo uma área que representa praticamente 1/3 do território nacional.



12

O desafio de mitigar as alterações climáticas de origem antropogénica e de ultrapassar com sucesso os seus impactes está intimamente ligado aos problemas de desenvolvimento sustentável com que se confrontam a sociedade e as gerações futuras, com a tónica nos valores de solidariedade inter-regional e inter-geracional (Santos, 2012).



Estes desafios, sobretudo quando tratados ao nível das políticas públicas, mas também ao nível do campo de ação de uma empresa com a dimensão e as características da EPAL, exigem uma abordagem sistémica e multidisciplinar, dados os muitos ramos de saber científico que são mobilizados, desde as ciências físicas da terra, oceanos e atmosfera até às ciências sociais, uma vez que será na dinâmica das relações sociais e institucionais à escala local, nacional e global que terão de ser encontradas as respostas.

A criação de uma equipa com colaboradores de várias Direções da EPAL – o GAC, para o acompanhamento do projeto Adaptaclima-EPAL permitiu internalizar na empresa o conhecimento gerado neste estudo.

Por outro lado, o sentido crítico e conhecimento da EPAL detido pelos elementos do GAC conduziram a uma melhor aplicabilidade das conclusões à realidade, uma vez que, além de terem fornecido todos os dados internos e informação para os modelos, em diversas ocasiões a opinião dos colaboradores da EPAL ajudou a melhorar o enquadramento dos problemas, a definir o contexto e a melhorar a fundamentação da escolha das diferentes opções.

A problemática das alterações climáticas é transversal, na medida em que afeta de forma mais ou menos negativa diversas estruturas da economia e sociedade. Este facto aplica-se também à procura de soluções de adaptação, levando a que os *stakeholders* de vários setores e com diferentes tipos de relações com a EPAL devam ser envolvidos. Em muitos casos, esse envolvimento decorre de obrigações legais de reporte, como sucede com a autoridade de saúde e a entidade reguladora do setor da água.

No decurso do projeto realizaram-se reuniões com um conjunto de *stakeholders*, não só para dar a conhecer os desenvolvimentos do estudo mas, mais importante ainda, para preparar o contexto para eventuais futuras colaborações na implementação coordenada de medidas de adaptação que garantam disponibilidade de água para consumo humano, com qualidade aceitável, em cenários de alterações climáticas.





2. Principais alterações climáticas e socioeconómicas esperadas

Autores: Mário Pulquério, Rita Jacinto e Maria João Cruz

2.1 Introdução

O clima da Terra resulta da interação de muitos processos que ocorrem na atmosfera, nos oceanos, na superfície terrestre e na criosfera. Estes processos são hoje simulados em modelos globais de circulação atmosférica. Atualmente, existe uma quantidade considerável destes modelos (por exemplo, HadCM3, CGCM2, CSIRO-MK2, ECHAM4) que são usados para perceber a evolução do clima.

Para estudar as alterações climáticas, recorre-se a cenários climáticos futuros obtidos a partir destes modelos. Estes cenários necessitam de projeções quantitativas da evolução das emissões globais de gases com efeito de estufa, ou seja, de cenários de emissões.

O IPCC construiu quatro cenários de futuro (A1, A2, B1 e B2 - [Figura 4](#)) que se organizam em dois eixos fundamentais: o tipo de governação – regional versus global – e os valores prevalentes – económicos versus ambientais. Estes cenários não são previsões ou projeções, mas antes tendências de cariz demográfico, social, económico e tecnológico, que formam descrições internamente coerentes de futuros possíveis. Estes cenários de evolução socioeconómica (histórias do futuro) permitem obter projeções quantitativas da evolução das emissões de gases com efeito de estufa. Permitem ainda explorar possíveis alterações em diversos fatores como sejam alterações da população, dos usos do solo ou dos consumos de água que têm implicações diretas e indiretas nos recursos hídricos.

15

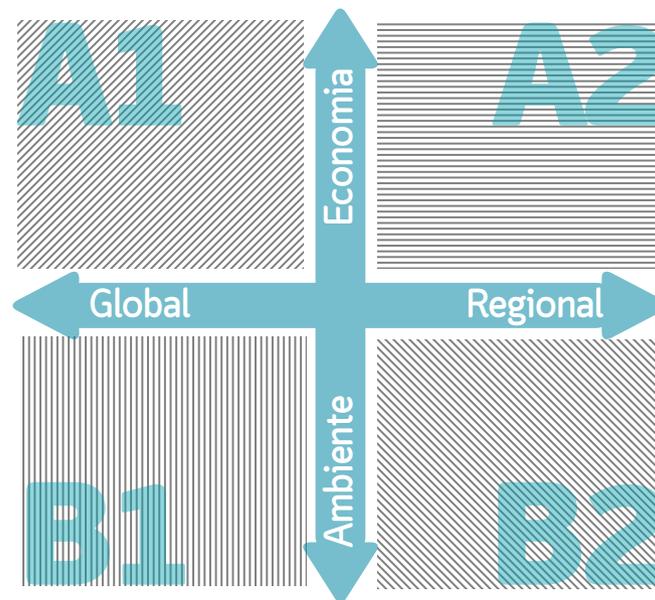


Figura 4 Cenarização do IPCC: cenários SRES, dominados pelo tipo de governação (eixo horizontal) e valores predominantes (eixo vertical) (Fonte: IPCC, 2007)

2.2 Cenários climáticos

O Modelo de Circulação Global (GCM) usado neste projeto foi o HadCM3, elaborado pelo Hadley Center da Universidade de East Anglia (Collins *et al.*, 2006). Este modelo usa uma grelha de aproximadamente 416 km x 277 km para o planeta, o que corresponde a 96 x 73 quadrículas. Esta escala torna o uso direto dos modelos GCMs insuficiente, dado que, praticamente toda a área de estudo ficaria numa única quadrícula. Assim, foi necessário realizar uma regionalização ("downscaling") dos modelos globais para uma escala de maior resolução.

Neste projeto realizou-se uma regionalização estatística (Wilby *et al.*, 2004). Foram regionalizadas as variáveis precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima para os cenários A2 e B2 do IPCC. A validação dos modelos obtidos indicou um bom ajuste dos modelos aos dados observados. De seguida apresentam-se os principais resultados obtidos, podendo ser encontrada informação mais detalhada sobre os métodos e resultados em <http://siam.fc.ul.pt/adaptacima-epal/>.

Precipitação

Para a regionalização da precipitação foi usado o programa GLIMCLIM (Chandler, 2010) que tem implementado um modelo linear generalizado (Pulquério *et al.*, 2014). Após calibração e validação do modelo, os resultados das projeções para a precipitação até ao final do século XXI apontam para um decréscimo de 28% no cenário A2 e 16% no cenário B2 (Tabela 1) em relação ao período de referência de 1960-1999.

16

Período	Média anual		Anomalia (mm)		Anomalia (%)	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2
2010-2039	686,9	693,2	-111,9	-104,6	-13,9	-13,9
2040-2069	653,8	666,6	-144,7	-131,2	-18,4	-16,5
2070-2099	572,8	668,1	-225,4	-129,7	-28,5	-16,3

Tabela 1 Anomalia da precipitação para períodos de 30 anos em comparação com o período de referência de 1961 a 1990.

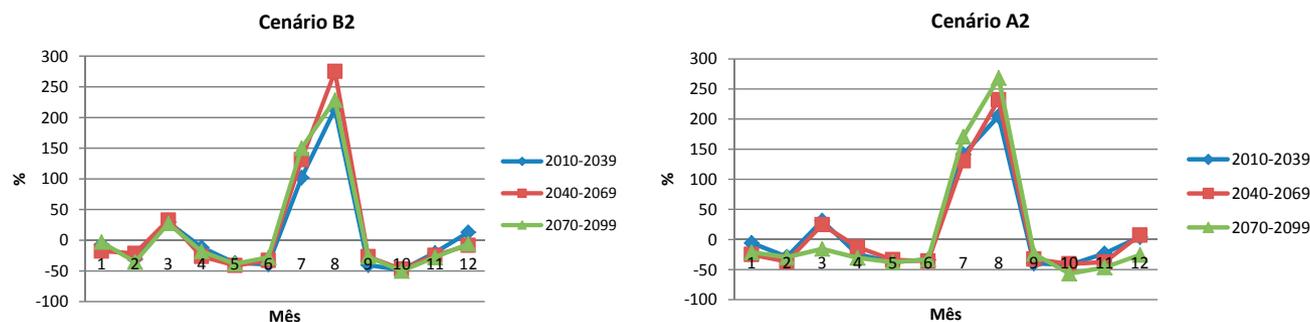


Figura 5 Anomalia (%) da precipitação para os diferentes meses para períodos de 30 anos

Em relação à precipitação nos diferentes meses do ano, ambos os cenários indicam um aumento da precipitação, entre 200 a 275% nos meses de julho e agosto (Figura 5). No entanto, é de considerar que para os meses de Verão o

modelo sobrestima a precipitação. Mas, mesmo considerando esta sobrestimação, é possível observar que em ambos os cenários a precipitação projetada é superior nestes dois meses à encontrada para o período de validação. No cenário B2 haverá um aumento também no mês de março, enquanto no cenário A2 este aumento no mês de março apenas se fará sentir entre 2010 a 2069, ocorrendo uma diminuição nos últimos 30 anos deste século.

Os meses de Outono serão os que sofrerão uma maior diminuição da precipitação, tanto no cenário A2 como no B2, podendo ultrapassar uma redução de 50% em relação ao período de referência. Em resumo, haverá uma antecipação e extensão da época seca para a Primavera e Outono, respetivamente.

Temperatura mínima e máxima

Para a regionalização da temperatura mínima e máxima foram usadas regressões lineares, recorrendo ao programa ASD (Automated Statistical Downscaling). As projeções para a temperatura mínima e máxima apontam para um aumento para o final do século de cerca de 3°C para o cenário A2 e de 2°C para o cenário B2 (Figura 6). As temperaturas mínima e máxima irão aumentar de forma contínua ao longo do século, deixando de haver valores médios abaixo dos valores do período de referência (1961-1990) a partir de meados do século para ambos os cenários.

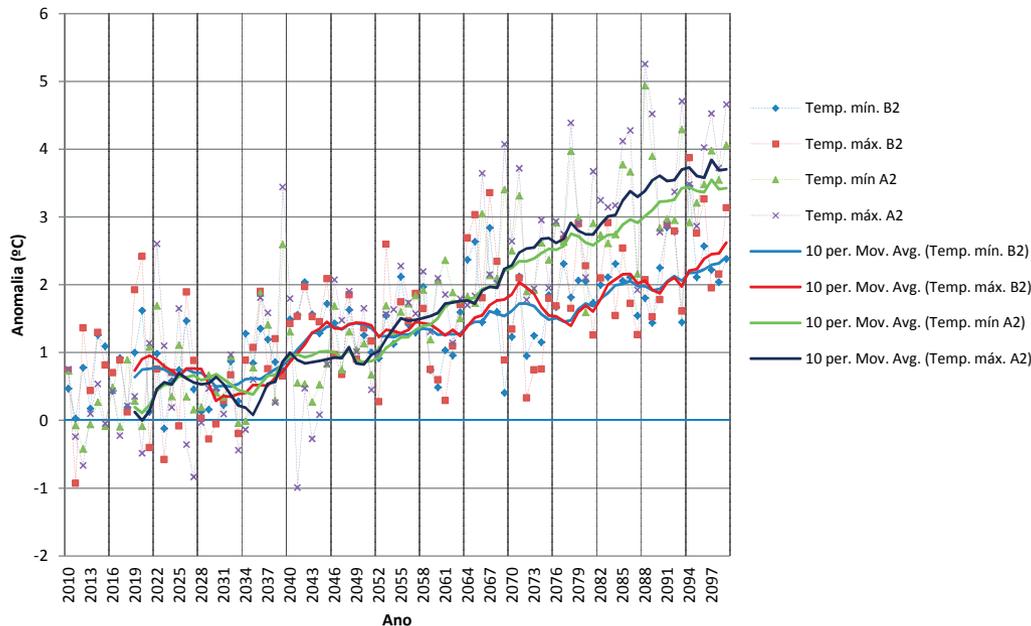


Figura 6 Anomalia (°C) da temperatura máxima e mínima até a final do século para os cenários A2 e B2. As linhas contínuas representam a média móvel de 10 anos

No que diz respeito à evolução da temperatura nos diferentes meses, é esperado um aumento da temperatura mínima e máxima para todos os meses, sendo este maior nos meses de maio, junho e outubro para a temperatura máxima, em ambos os cenários, podendo chegar a mais de 6°C de aumento para o mês de maio no cenário A2, para os últimos 30 anos do século. Para a temperatura mínima o aumento é mais homogêneo em todos os meses, mas seguindo a mesma tendência geral da temperatura máxima.

Estes resultados indicam que no final do século haverá uma aproximação da temperatura máxima e mínima dos meses de Primavera e Outono aos meses de Verão, aumentando assim o período quente.

Extremos

Os extremos assumem uma particular importância em estudos de impactos, principalmente em estudos hidrológicos, devido à forma como podem afetar as populações. Muita atenção tem sido dada ao estudo dos extremos em situações de alterações climáticas, sendo este um dos aspetos mais difíceis de quantificar.

Para este estudo foram usadas as séries climáticas da precipitação e da temperatura máxima e mínima para estimar 23 índices de extremos definidos pelo CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI - <http://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>) e que foram usados no projeto STARDEX (Statistical and Regional Dynamical Downscaling of Extremes for European Region - <http://www.cru.uea.ac.uk/projets/stardex/>).

Os resultados das séries de temperatura apresentam em geral um aumento da frequência e intensidade dos extremos de calor e uma diminuição dos extremos de frio até ao final do século (Tabela 2). Exemplo disto são os índices máximos e mínimos da temperatura mínima e máxima, onde é possível observar uma clara tendência de aumento ao longo deste século.

18

Índice	Observado		A2						B2					
	1961-1990		2010-2039		2040-2069		2070-2099		2010-2039		2040-2069		2070-2099	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Máximo da temperatura máxima ¹	35.89	7.38	37.28	7.43	38.16	7.51	40.09	7.60	37.34	7.44	38.54	7.40	38.78	7.58
Duração das ondas de calor	11.13	10.02	19.32	35.81	36.87	49.06	81.91	70.50	18.89	33.13	35.26	46.75	44.09	48.89
Nº médio dias de verão por ano	110.11	21.14	117.50	23.78	133.97	25.22	163.63	24.98	119.62	24.89	135.15	22.00	144.34	22.54
% média de dias quentes por ano	0.10	0.11	0.13	0.14	0.22	0.18	0.40	0.25	0.14	0.13	0.22	0.18	0.26	0.19
Precipitação média acumulada por ano	792.21	264.15	680.63	275.01	646.99	251.69	567.09	212.27	687.62	296.09	660.71	265.01	662.22	230.09
SPI12: eventos de secas	3	na.	9.0	1.1	6.2	1.4	5.9	1.3	7.5	1.1	8.3	1.5	9.3	2.0
SPI12: magnitude das secas	24.2	16.0 ² 37.8 ³	28.3	8.8 ² 68.1 ³	43.6	8.1 ² 157.5 ³	71.2	11.5 ² 227.7 ³	36.0	9.8 ² 88.4 ³	31.3	4.8 ² 76.4 ³	27.4	5.5 ² 71.1 ³

Tabela 2 Valores médios e desvios padrão (D.P.) para alguns índices de extremos considerando períodos de 30 anos. ¹valor máximo em vez da média. ²mínimo e ³máximo da magnitude da seca.

De notar também que para a duração das ondas de calor existirá um aumento significativo deste índice, indicando ondas de calor mais longas (Tabela 2). No entanto, este índice é significativamente subestimado pelo modelo, o que poderá ser indicativo de que as ondas de calor serão no futuro ainda mais severas do que as projetadas pelo modelo. Para o índice de duração das vagas de frio, será de esperar uma diminuição bastante acentuada até ao final do século.

Em relação aos extremos associados com a precipitação, as projeções apontam para o decréscimo no número de dias de forte precipitação, na precipitação total e na intensidade. Este decréscimo será também acompanhado por uma diminuição na variabilidade dos índices, tal como é possível observar através da redução dos desvios padrão de muitos dos índices. Os resultados indicam também um aumento significativo do número e da magnitude das secas ao longo do século (Tabela 2).

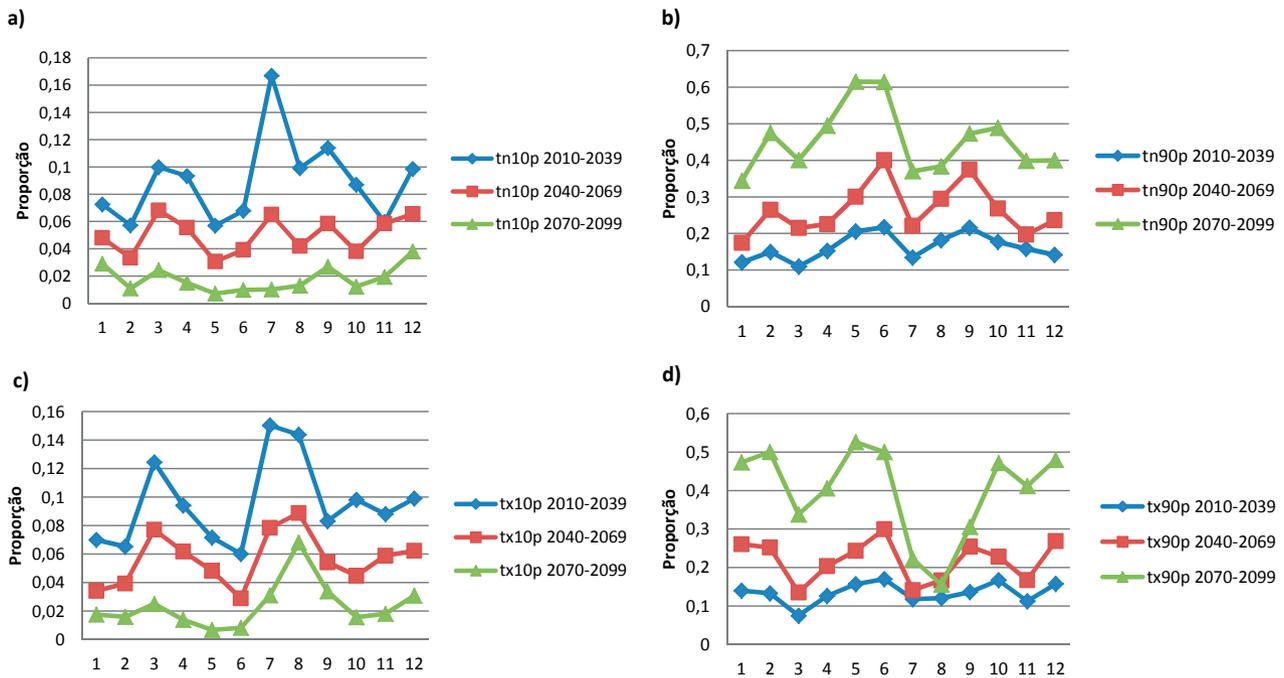


Figura 7 Projeções dos índices de extremos para a temperatura por mês até ao final do século para o cenário A2. a) noites frias; b) noites quentes; c) dias frios; d) dias quentes

A análise para os diferentes meses, indica que haverá um aumento acentuado da percentagem de noites quentes nos meses de Primavera e Outono, podendo chegar a 60% dos dias dos meses de maio e junho para o cenário A2 no final do século (Figura 7b). De igual modo, a percentagem de dias quentes irá também aumentar para os meses de Primavera e Outono (Figura 7d). Aliás, os meses de julho e agosto são os períodos onde este índice irá aumentar menos. Isto acontecerá ao mesmo tempo em que a percentagem de dias e noites frias irá diminuir de forma muito significativa no final do século (Figura 7a/c), principalmente no cenário A2, em que estes índices serão detetados em apenas 2% dos dias.

2.3 Cenários socioeconómicos

A construção de cenários socioeconómicos para períodos de 50 a 100 anos, passa pela identificação de um pequeno número de parâmetros-chave, com que todos os outros aspetos do problema estão relacionados (IPCC, 2007). As tendências destes parâmetros formam os eixos de referência do espaço de possibilidades de evolução do mundo. Os cenários correspondem então a regiões deste espaço, e considerando suficientes regiões, consegue-se incluir todas as possibilidades que sejam suficientemente plausíveis e internamente consistentes (Figura 4).

Neste projeto regionalizaram-se os cenários SRES (Special Report on Emissions Scenarios) do IPCC, o que permitiu projetar a evolução de vários indicadores a médio e longo prazo, tais como a população, alterações nos usos do solo e o consumo de água. A área de estudo incluiu os concelhos abrangidos ou intersetados pelo limite da bacia hidro-

gráfica do rio Tejo (onde se situam as captações da EPAL) e ainda os concelhos da região Oeste.

De seguida apresentam-se os principais resultados obtidos, podendo ser encontrada informação mais detalhada sobre os métodos e resultados em <http://siam.fc.ul.pt/adaptaclima-epal/>

Cenários de evolução da população

Relativamente aos cenários de evolução da população na área de estudo, optou-se por uma regionalização linear dos cenários CIESIN (2002) para Portugal até 2100. O cenário A2 indica um aumento da população residente na área de estudo na ordem dos 16% até ao final do século. Os restantes cenários indicam reduções da população entre 6 e 8% (Figura 8).

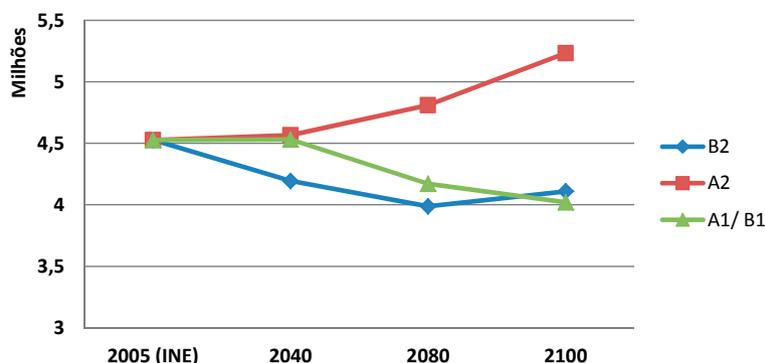


Figura 8 Cenários de evolução da população regionalizados para a área de estudo

Cenários de usos do solo

Relativamente aos usos do solo optou-se por: 1) caracterizar os usos do solo por concelho da área de estudo utilizando a carta Corine Land Cover (CLC, 2006) e adaptando as classes CLC às utilizadas pelo IPCC; e 2) regionalizar as tendências indicadas nos cenários SRES para a Europa com base numa extensa lista de publicações (nomeadamente, IPCC, 2007; Rounsevell *et al.*, 2006) para a área de estudo, tendo em conta as características de cada concelho e as tendências observadas nos últimos anos. Todos os cenários, mas sobretudo o A1, indicam um aumento das áreas urbanas e uma redução significativa da área agrícola, compensada pelo aumento da produtividade (Jacinto *et al.*, 2013).

Cenários de consumo de água

Foram ainda explorados cenários de consumo de água até ao final do século, não só para o sistema EPAL, mas também para todos os setores que concorrem pelo recurso água. Os cenários de consumos de água na área de estudo foram obtidos com recurso aos cenários de evolução da população e dos usos do solo, assim como a cenários de evolução de outros parâmetros (nomeadamente evoluções a nível tecnológico, alterações do clima e mudanças de políticas e de comportamentos de consumo) (IPCC, 2007; Alcamo *et al.*, 2007; Kok *et al.*, 2009; Jacinto *et al.*, 2013).

Em síntese, independentemente do cenário utilizado, os resultados indicam que os consumos de água vão diminuir progressivamente até ao final do século (Figura 9). Estas reduções devem-se sobretudo ao aumento da eficiência na

utilização de água em todos os setores e à redução de área agrícola. Estes resultados estão de acordo com os estudos globais conhecidos. Segundo vários autores, Portugal encontra-se no grupo de países que irá reduzir o consumo de água durante as próximas décadas, devido sobretudo a um aumento da eficiência na irrigação.

No entanto, é fundamental ter em conta que embora a procura seja em média menor em qualquer um dos cenários desenvolvidos neste estudo e também noutros estudos, esta poderá ser mais concentrada nos meses quentes, o que, em conjugação com o aumento da estação quente e seca (desde maio ou mesmo abril até setembro ou outubro), pode levar a problemas de disponibilidade hídrica neste período.

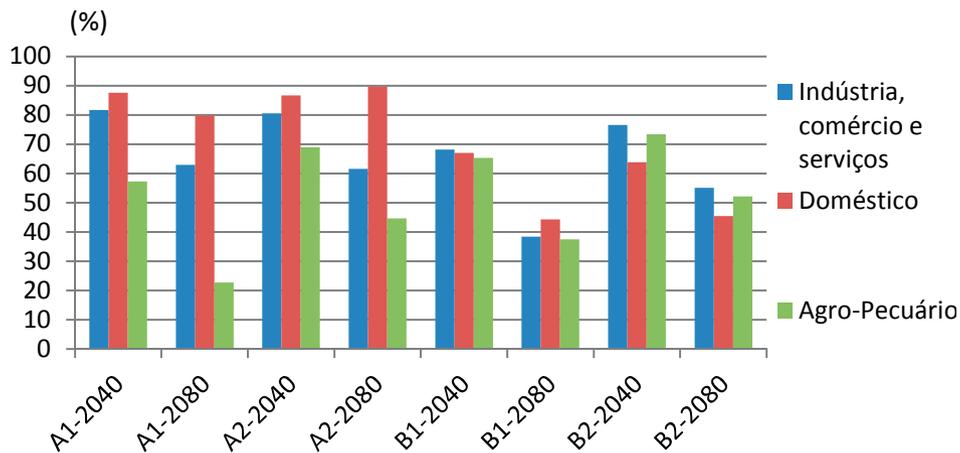


Figura 9 Cenários de consumos de água por setor para a totalidade dos municípios abastecidos pela EPAL para os anos de 2040 e 2080, em percentagens de alteração em relação ao ano de 2007



3. Avaliação das vulnerabilidades

Autores: Nuno Grosso, João Pedro Nunes, Paulo Diogo, João Nascimento, António Carmona Rodrigues e Maria João Cruz

3.1 Introdução

Para a avaliação da vulnerabilidade climática de cada origem de água foram consideradas separadamente vulnerabilidades relativas à quantidade e à qualidade da água. O valor de vulnerabilidade climática total de cada origem foi estimado como a maior vulnerabilidade a qualquer tipo de evento climático considerado individualmente.

A vulnerabilidade a cada tipo de evento climático é considerada como a conjugação dos riscos potenciais com a capacidade adaptativa do sistema (Figura 10), ou seja inclui as medidas de controlo (assim designadas pela EPAL no seu Plano de Segurança da Água, PSA). O risco, por sua vez, é composto pelo produto entre a severidade de dado evento e a sua probabilidade de ocorrência. A severidade foi avaliada numa escala de 1 (baixa) a 3 (elevada); a probabilidade foi avaliada de 0 (nula) a 3 (elevada); a capacidade adaptativa foi avaliada de 1 (baixa) a 3 (elevada).



Figura 10 Fatores considerados na avaliação da vulnerabilidade a determinado evento climático em cada origem do sistema EPAL.

As vulnerabilidades climáticas atuais do sistema EPAL foram avaliadas segundo as seguintes vertentes:

- 1) análise de dados observados e identificação de eventos climáticos passados com impactos no sistema EPAL;
- 2) avaliação das perceções dentro da EPAL sobre as suas vulnerabilidades climáticas presentes;
- 3) análise dos riscos climáticos descritos no PSA.

As vulnerabilidades futuras do sistema EPAL à variabilidade e alterações climáticas foram avaliadas com base nos impactes estimados na qualidade e quantidade de água nos recursos hídricos superficiais (Castelo do Bode e Valada-Tejo), incluindo um estudo mais específico que avaliou o risco de intrusão da cunha salina na captação de Valada-Tejo, e nos principais recursos hídricos subterrâneos (captações das Lezírias, sistema aquífero de Ota-Alenquer e Nascente dos Olhos de Água). Estes impactes foram avaliados para os diferentes períodos climáticos considerados: a) de referência: 1980-2009; b) futuros: 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099.

O estudo relativo aos recursos hídricos superficiais assentou na utilização de um modelo eco-hidrológico de simulação, o Soil and Water Assessment Tool (SWAT, Neitsch *et al.*, 2011), de acordo com o qual foram obtidas séries de caudal afluente à albufeira de Castelo do Bode e à secção do rio onde se localiza a captação de Valada-Tejo. No caso de Castelo do Bode a avaliação da disponibilidade de água foi realizada através da análise da variação de níveis hidrométricos na albufeira, tendo para o efeito sido utilizado um modelo de balanço hídrico no qual se considerou como principais consumos a produção de energia elétrica e o abastecimento de água. Ainda em relação a Castelo do Bode, a avaliação dos impactes na qualidade da água incluiu os descritores fósforo total, compostos de azoto (nitratos e nitritos) e sólidos suspensos totais, tendo sido utilizado o CE-Qual-W2 (Cole e Wells, 2008), um modelo matemático bidimensional de simulação da hidrodinâmica e qualidade das massas de água superficiais. Este modelo foi igualmente utilizado para avaliar a intrusão da cunha salina na zona da captação de Valada-Tejo.

Para o estudo das captações subterrâneas incluídas no sistema EPAL foram desenvolvidos, para cada uma, modelos estatísticos para determinar os respetivos níveis piezométricos em cada um dos cenários climáticos a partir da precipitação mensal ou de desvios acumulados da precipitação (definidos como o desvio acumulado da precipitação de um determinado mês em relação à precipitação desse mesmo mês para um período de referência).

De modo a conferir uma maior robustez na aferição das vulnerabilidades futuras do sistema EPAL, foi efetuada uma análise estatística das séries temporais relativas de caudais a diferentes escalas temporais (anual, sazonal, mensal e diária) e foram calculados diferentes indicadores:

- 1) Índice de Exploração de Água (Water Exploitation Index - WEI), definido como o rácio entre os volumes de água captados (o consumo atual ou futuro de cada captação) e a disponibilidade de água a longo termo (representada pelos caudais afluentes estimados nos cenários) (EEA, 2012), para as captações superficiais (Castelo do Bode e Valada-Tejo). A interpretação deste índice permite identificar períodos sazonais e anuais de sobreexploração de recursos superficiais do sistema EPAL.
- 2) Índice de Défice Hidrológico (Keyantash e Dracup, 2002), calculado para os diferentes recursos superficiais, que permite detetar e caracterizar períodos futuros de seca hidrológica por comparação com caudais verificados durante um período crítico de referência. Para este estudo o período crítico de referência escolhido foi o ano de 2005, um período de seca histórico.
- 3) "Filling Index", para as diferentes captações subterrâneas EPAL que compara o nível piezométrico verificado durante um determinado período com a diferença entre os níveis máximos e mínimos verificados durante a série temporal de referência. Valores deste índice superiores a 1, entre 0 e 1 e inferiores a 0 identificam, respetivamente, níveis piezométricos futuros superiores, equivalentes e inferiores aos níveis históricos.

No que diz respeito aos consumos EPAL, foi definido como valor de referência a média dos consumos para o período 2005-2009, identificado como o pior cenário ("*worst case scenario*"), tendo em conta as estimativas dos cenários so-

cioeconómicos desenvolvidos neste projeto, que apontam para um decréscimo dos consumos de água. Em relação à produção de energia hidroelétrica na albufeira de Castelo do Bode, foi assumido que se manteria o atual consumo anual de água por parte da EDP, estimado em aproximadamente 1 400 hm³/ano, de acordo com dados fornecidos pela própria empresa - pressuposto necessário face à incerteza relativa a cenários futuros inerente a este tipo de usos da água.

Para o cálculo das vulnerabilidades futuras e tendo em conta a metodologia descrita nesta secção, deve realçar-se que os valores de capacidade adaptativa futura se mantêm inalterados em relação à atual. Isto porque se considera que esta mesma capacidade adaptativa só será alterada caso se implementem as necessárias medidas de adaptação. Para os eventos climáticos extremos não modelados em cenários (por ex., inundações, incêndios florestais) assumiu-se que a vulnerabilidade futura se manterá igual à atual.

Para cada avaliação de vulnerabilidade, atual ou futura, foi feita uma avaliação da confiança associada (IPCC, 2005). A confiança foi avaliada numa escala de 1 (confiança limitada) a 3 (robusta), através da análise conjunta entre:

- 1) **Concordância** - grau de coerência entre as várias fontes utilizadas. No caso das vulnerabilidades atuais, foi avaliada consoante a concordância entre a informação recolhida. No caso das vulnerabilidades futuras, dependeu da coerência entre os cenários A2 e B2 e entre os diferentes indicadores utilizados.
- 2) **Evidência** - grau em que os dados/observações suportam o resultado. No caso das vulnerabilidades atuais, seria elevado para eventos observados e baixo para eventos para os quais não existem observações, não havendo portanto dados que suportem as conclusões. No caso das vulnerabilidades futuras a evidência depende da confiança nos modelos (estrutura do modelo, dados de entrada e adequação para o impacte estudado).

A confiança associada à vulnerabilidade total de cada origem foi calculada como a média das confianças associadas a cada um dos eventos considerados.

3.2 Vulnerabilidades atuais

O estudo de avaliação de vulnerabilidades atuais nos locais da bacia do Tejo onde a EPAL possui pontos de captação permitiu concluir que o estado da qualidade da água é considerado bom para todas as massas de água onde a EPAL capta atualmente, exceto para a zona do Tejo Inferior onde se inclui Valada Tejo. Em relação à disponibilidade de água, a avaliação feita indica um nível bom para todas as massas de água com captações da EPAL. A taxa de exploração atual em Valada-Tejo é inferior a 1% e em Castelo do Bode cerca de 9%. A taxa de exploração dos aquíferos é inferior a 30%, sendo apenas muito elevada nos Aluviões do Tejo (superior a 50%).

No passado, foram observados vários períodos de seca na área de estudo (PGRH RA, 2011). A denominada "seca de 2005" foi, em vários locais, mais intensa do que todas as secas registadas desde 1940. Com efeito, "a análise realizada de severidade da seca, para o período de dezembro de 2002 a setembro de 2006 (46 meses), revela que durante 12 meses, mais de 40% da região hidrográfica esteve em seca extrema e durante 17 meses mais de 40% da região hidrográfica esteve em seca moderada, severa ou extrema" (PGRH RA, 2011).

No que se refere ao registo histórico de cheias, o Tejo apresenta um longo historial, uma vez que é um rio ciclicamente sujeito a este tipo de fenómenos (PGRH RA, 2011). No entanto, estas têm pouco impacte a nível da quantidade de

água disponível para consumo, podendo pontualmente causar danos nas infraestruturas de captação que impossibilitem o seu normal funcionamento.

O resultado final das vulnerabilidades de cada origem a cada tipo de evento climático é apresentado na **Tabela 3**.

VULNERABILIDADES ATUAIS DA EPAL ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	Qualidade de água			Quantidade de água			Vulnerab. Climática Total
	Inundações / cheias	Secas	Incêndios Florestais	Inundações	Secas	Intrusão Salina	
Castelo de Bode	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Baixa	N/A	Média
Valada	Média	Elevada	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Elevada
Furos Valadas	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	N/A	Baixa
Furos Lezírias	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	N/A	Baixa
Furos Ota-Alenquer	Elevada	Baixa	Baixa	Baixa	Média	N/A	Elevada
Nascente Olhos de água	Elevada	Elevada	Baixa	Elevada	Elevada	N/A	Elevada

26

Tabela 3 Resumo das vulnerabilidades climáticas atuais das diferentes origens do sistema EPAL. Para cada evento climático e cada origem indica-se o grau de vulnerabilidade ("Baixa", "Média" ou "Alta") bem como o respetivo grau de confiança ("Robusta" , "Média" ou "Limitada").

No que se refere à vulnerabilidade climática atual, no caso de Castelo do Bode esta foi considerada como "Média", determinada pelo valor mais alto de vulnerabilidade associado a inundações, considerando que já se registou um episódio em que houve uma inundação na estação elevatória de Castelo do Bode, provocada por uma descarga de água da albufeira pelas comportas de superfície, após ter sido atingido o nível máximo de cheia.

Relativamente à origem Valada-Tejo, a vulnerabilidade climática total é "Elevada" devido sobretudo à vulnerabilidade em termos de qualidade de água durante a época estival. Nesta época, a EPAL sente, anualmente, problemas derivados do aumento da temperatura e da maior concentração de contaminantes, uma vez que não só os caudais de estiagem são naturalmente mais reduzidos, como também se verifica uma retenção dos mesmos na parte espanhola da bacia hidrográfica. Estes problemas têm levado ao ajuste da exploração, tanto a nível do tratamento como do caudal captado.

Em relação aos recursos hídricos subterrâneos, apenas os furos de Ota e Alenquer apresentam vulnerabilidade climática "Elevada" a inundações decorrentes de chuvas intensas que podem causar problemas a nível de qualidade da água. Apresentam ainda vulnerabilidade "Média" a secas em termos de quantidade de água (EPAL, 2006).

Finalmente, a nascente dos Olhos de Água não é utilizada desde 2011 para captação devido a problemas de qualidade, apresentado valores elevados de turvação em períodos de maior caudal afluente, e de quantidade, sendo esta reduzida em período estival.

3.3 Vulnerabilidades futuras

Castelo do Bode

De acordo com os resultados de simulação obtidos, os caudais anuais afluentes à albufeira de Castelo do Bode deverão decrescer entre 12 (cenário B2) e 5% (cenário A2) no início do século (2010-2039) e entre 20 (B2) e 34% (A2) no fim do mesmo (2070-2099), em relação ao caudal médio do período de referência (1980-2009, $\approx 1853 \text{ hm}^3/\text{ano}$) (Figura 11). Esses decréscimos concentrar-se-ão maioritariamente no Outono onde, por exemplo, no período 2070-2099 os caudais médios afluentes descem para níveis semelhantes aos meses de verão, seguindo as tendências verificadas para a precipitação. Outra característica das séries futuras de caudais anuais é a tendência para a redução da sua variabilidade.

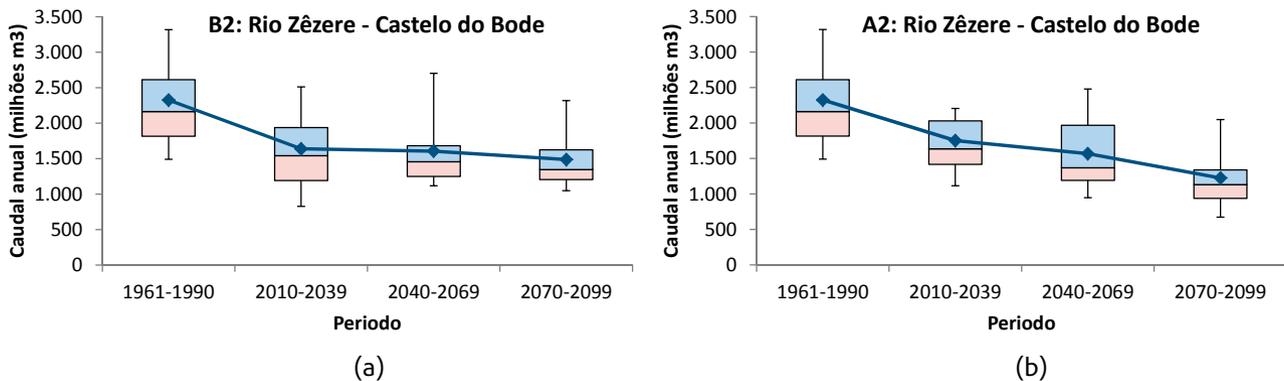


Figura 11 Gráfico de caixas com a variação dos caudais anuais afluentes à barragem de Castelo do Bode segundo as estimativas do modelo SWAT para os cenários B2 (a) e A2 (b). Os pontos representam as médias; o limite inferior de cada uma das caixas corresponde ao limite abaixo do qual se situam apenas 25% dos dados; o limite superior de cada uma das caixas corresponde ao limite abaixo do qual se situam 75% dos dados; os limites dos respetivos bigodes indicam os limites de 10 e 90% dos dados, respetivamente.

Apesar desta tendência de redução da quantidade de água disponível na albufeira, os consumos atuais da EPAL em Castelo do Bode representam apenas 13% dos caudais anuais médios estimados para o período 2070-2099 do cenário mais gravoso. Mesmo em anos de caudal muito reduzido, essa fração apenas aumenta para cerca de 25%.

No entanto, quando são incluídos na modelação os consumos de água atuais relativos à produção hidroelétrica da EDP, os valores do índice de exploração da água (WEI) sobem significativamente para todos os períodos considerados (Figura 12). Os consumos da EPAL e da EDP, que representam atualmente cerca de 85% dos caudais anuais médios afluentes a Castelo do Bode, irão equivaler a cerca de 96% (2010-2039) e 118% (2070-2099) dos mesmos no cenário B2 e 90% a 140% no A2. Isto significará que a partir do meio do século, caso os consumos EDP e EPAL se mantenham inalterados, estes excederão os caudais médios, apontando para a possibilidade de situações crónicas de défice de água na albufeira.

Assim sendo, a manutenção dos níveis de consumo atuais tornar-se-á insustentável, potenciando a médio e longo prazo um conflito de interesses entre diferentes usos de água. Embora a Lei da Água estabeleça que deve ser dada primazia ao abastecimento humano em caso de seca, esta pressão adicional deve ser tida em conta na análise de vulnerabilidades futuras como um fator de acréscimo significativo de risco para a disponibilidade hídrica na albufeira de Castelo do Bode.

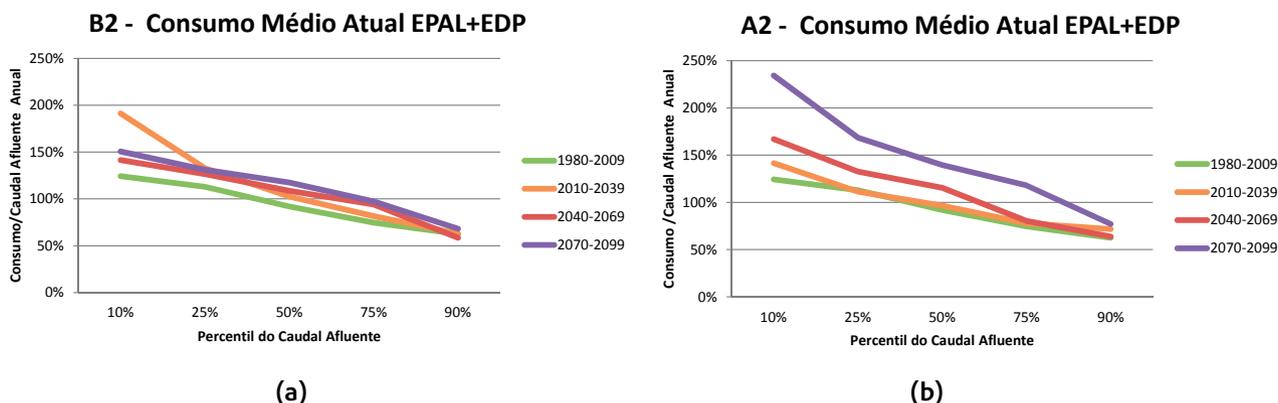


Figura 12 Valores de taxa de exploração da água dados pelo índice WEI, estimados considerando os consumos conjuntos EPAL/EDP para os percentis de caudal afluente e para diferentes períodos dos cenários climáticos (a) B2 e (b) A2.

Paralelamente, a severidade da seca também deverá aumentar substancialmente (Tabela 4). Essa intensificação dos períodos de seca será caracterizada por:

28

- 1) Uma maior frequência de caudais anuais inferiores aos verificados em 2005. Para que se tenha uma ideia da relevância deste potencial impacte, no período mais gravoso, no final do século do cenário A2, o caudal de 2005 corresponderá ao caudal mediano dessa série de 30 anos;
- 2) Uma maior persistência que se confirma pelo ligeiro aumento do número consecutivo de anos com caudal inferior ao de 2005;
- 3) Um aumento da sua intensidade média com caudais entre 23 e 17% inferiores aos de 2005 no cenário B2 e entre 21 e 20% no A2.

		Período			
Cenário	Indicador	1980-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099
A2	Frequência	1	4	6	17
	Persistência	1,00	1,00	6,00	2,83
	Intensidade	0%	-21%	-30%	-20%
B2	Frequência	1	8	5	7
	Persistência	1,00	2,00	1,25	1,17
	Intensidade	0%	-23%	-19%	-17%

Tabela 4 Valores dos diferentes componentes do Índice de Déficit Acumulado de Água para Castelo do Bode nos dois cenários climáticos, tomando como Valor de Referência (VR) o caudal verificado no ano de seca hidrológica de 2005 (1182 hm³). Esses componentes são: a) Frequência - N° de anos abaixo do VR; b) Persistência - N° médio de anos consecutivos abaixo do VR e c) Intensidade Média - % de meses com caudal abaixo do caudal de referência/ano.

Os diferentes indicadores apontam para um aumento significativo do risco climático para o principal recurso hídrico do sistema EPAL, consubstanciado pela diminuição de caudais afluentes ao longo dos diferentes períodos climáticos e consequente diminuição dos níveis hidrométricos médios da barragem, para além de uma intensificação da severidade dos períodos de seca. No entanto, nenhum destes indicadores permite aferir de forma inequívoca a ocorrência de períodos de disrupção no abastecimento de água. Mesmo assim, optou-se por considerar a vulnerabilidade de Castelo do Bode como "Elevada" em cenários de alterações climáticas. O principal fator que levou a esta classificação prende-se com a identificação de situações crónicas de défice de água afluente à albufeira a médio e longo prazo, caso se mantenham os consumos atuais conjugados EPAL e EDP. A confiança associada a este aumento de vulnerabilidade climática foi considerada "Robusta" visto que a maioria dos modelos utilizados se mostraram adequados para a avaliação dos impactos identificados e ambos os cenários são concordantes em relação ao sinal dos mesmos.

Relativamente aos parâmetros de qualidade de água avaliou-se o Fósforo Total (P_{total}), NO_x (nitratos e nitritos) e Sólidos Suspensos Totais (SST) (Tabela 5). De referir que a interpretação destes resultados se deve focar em tendências gerais, em detrimento da análise da magnitude dos valores, embora no caso do NO_x seja dada informação sobre aproximação ao valor legal. Esta limitação, no âmbito da análise, deve-se essencialmente a dificuldades encontradas durante a fase de calibração e validação do modelo de qualidade da água utilizado, associadas a limitações deste em relação à escala temporal de análise (períodos de 30 anos) bem como à insuficiência de dados de campo que permitissem um encadeamento adequado entre o modelo eco-hidrológico e o modelo de qualidade da água, em particular no que se refere ao descritor fósforo total.

Parâmetro	Tendência
P_{Total}	Tendência de subida da concentração média dos 0,014 mg/L no período de referência para os 0,035-0,04 mg/L, no final do século para os dois cenários climáticos.
NO_x	Aumento da concentração em cenários climáticos para níveis próximos dos 1,2 mg/L no final do século em relação ao cenário de referência que regista valores inferiores a 1 mg/L. Valores bastantes inferiores ao limite legal estabelecido para nitratos (50 mg/L).
SST	Aumento da concentração que varia entre os 4 mg/L a partir de outubro no período de referência e os 10-12 mg/L nos meses de dezembro/janeiro no final do século.

29

Tabela 5 Tendências dos valores estimados para os diferentes parâmetros de qualidade da água na albufeira de Castelo do Bode, considerando um período de dois anos, representativo das condições médias de cada um dos períodos de 30 anos nos dois cenários climáticos futuros (B2 e A2).

De uma maneira geral, observa-se uma tendência de subida das concentrações para todos os parâmetros analisados que resulta da conjugação de três fatores: a) diminuição do caudal afluente; b) maior concentração temporal dessas afluências (o período mais problemático inicia-se durante as primeiras chuvas do Outono que, devido ao prolongamento do período seco, regista maiores concentrações de poluentes); c) maiores tempos médios de retenção na albufeira (variam em média entre os 160 dias para o período de referência e os 190 dias para o final do século, cenário A2). No entanto, embora os valores estimados sejam indicativos de uma maior necessidade de tratamento, estes podem não vir a ser problemáticos, tendo em conta a capacidade de tratamento atual da ETA da Asseiceira. Por esta razão decidiu-se manter a vulnerabilidade da qualidade da água na albufeira durante períodos de secas como "Baixa". Contudo, a confiança nesta conclusão foi definida apenas como "Média", devido a algumas limitações encontradas na validação do modelo na simulação do fósforo total e, consequentemente, na avaliação dos riscos efetivos de diminuição da qualidade da água devido ao fenómeno de eutrofização.

Valada-Tejo

As estimativas futuras para a captação superficial de Valada-Tejo (Figura 13) sugerem uma diminuição mais acentuada dos caudais em comparação com Castelo do Bode, devido a uma maior dependência de aflúências provenientes de Espanha, que se admitem mais sensíveis a alterações climáticas (Nunes *et al.*, 2013). Os decréscimos de caudal médio variam, ao longo do século, entre 20 e 31% no cenário B2 e entre 16 e 49%, no cenário A2 em relação ao período de referência (1980-2009). Em termos sazonais observa-se um padrão semelhante ao referido para Castelo do Bode: decréscimos mais significativos nos meses de Outono, principalmente no mês de outubro, que registará níveis semelhantes aos meses de Verão, resultando num prolongamento do período seco.

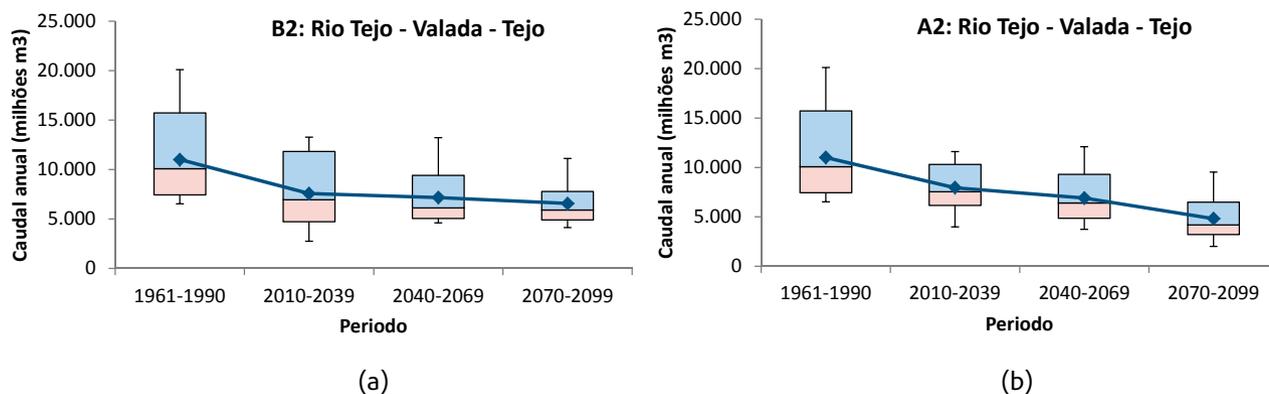


Figura 13 Gráfico de caixas com a variação dos caudais anuais afluentes à captação de Valada-Tejo segundo as estimativas do modelo SWAT para os cenários B2 (a) e A2 (b). Os pontos representam as médias; o limite inferior de cada uma das caixas corresponde ao limite abaixo do qual se situam apenas 25% dos dados; o limite superior de cada uma das caixas corresponde ao limite abaixo do qual se situam 75% dos dados; os limites dos respetivos bigodes indicam os limites de 10 e 90% dos dados, respetivamente.

Apesar destas reduções, as aflúências anuais à captação de Valada-Tejo no final do século ainda serão duas ordens de magnitude superiores às necessidades da EPAL. Mesmo para um caudal mínimo extremo no final do século, as necessidades da EPAL representam valores na ordem dos 2,5% dos caudais anuais.

No entanto, para avaliar mais adequadamente a resiliência deste recurso a alterações climáticas seria necessário avaliar os níveis hidrométricos associados a estes caudais, visto que o nível mínimo da captação é a principal limitação para que se continue a utilizar este recurso. O cálculo do nível hidrométrico verificou-se no entanto inviável por indisponibilidade de uma curva de vazão que permitisse traduzir os caudais estimados em alturas de água, bem como pela impossibilidade de estimativa realista das potenciais futuras alterações morfológicas que possam vir a ocorrer na secção de rio em causa. Para tentar superar parcialmente esta limitação foram analisadas as tendências relativas a caudais diários (Figura 14) tendo-se concluído que os impactes mais severos estão associados aos caudais extremos máximos e médios.

Com efeito, para o cenário B2 os caudais diários máximos e médios apresentam decréscimos ao longo do século entre 18 (2010-2039) e 37% (2070-2099) e entre 34 e 42%, respetivamente. No cenário A2 essas reduções são ainda mais pronunciadas, variando entre 9 e 49% e 28 e 65%. Em relação aos dias de menor caudal (percentil 10) a diminuição é menos acentuada, variando entre 12 e 9% no B2 e 2 e 23% no A2. Para além disso, assiste-se a uma dimi-

nuição significativa da variabilidade de caudais diários, principalmente na segunda metade do período analisado no cenário A2. Embora estas reduções na magnitude e variabilidade dos caudais diários se traduzam num aumento do risco de interrupções da captação de Valada-Tejo, este pode ser parcialmente limitado pelo menor impacto registado nos caudais mínimos.

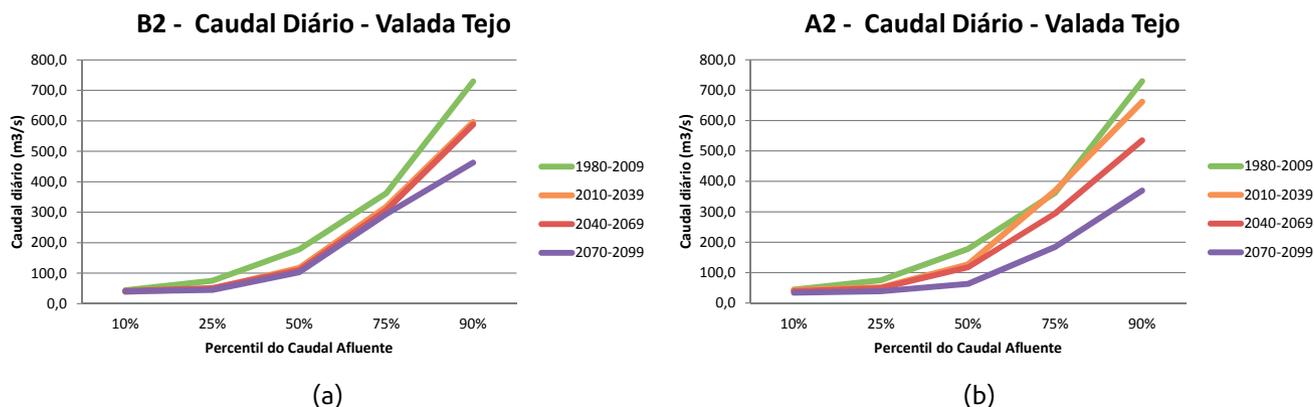


Figura 14 Valores de caudal diário afluente à captação de Valada-Tejo para os diferentes percentis de caudal afluente e períodos dos cenários climáticos (a) B2 e (b) A2.

31

Os períodos de seca hidrológica na zona de influência da captação de Valada-Tejo apresentam características (frequência, persistência e intensidade) muito semelhantes, em termos de distribuição temporal e magnitude, às apresentadas para Castelo do Bode. A análise destes períodos, apresentada na **Tabela 6**, permite concluir em geral que os períodos de seca, por comparação com o de 2005, serão mais frequentes, persistentes e de maior intensidade, contribuindo para um aumento do risco e consequentemente da vulnerabilidade deste recurso a este tipo de fenómenos.

		Período			
Cenário	Indicador	1980-2009	2010-2039	2040-2069	2070-2099
A2	Frequência	1	4	4	14
	Persistência	1,00	1,00	1,33	2,80
	Intensidade	-6%	-9%	-26%	-26%
B2	Frequência	1	7	2	3
	Persistência	1,00	2,33	1,00	1,00
	Intensidade	-6%	-27%	-28%	-16%

Tabela 6 Valores dos diferentes componentes do Índice de Défice Acumulado de Água para a captação de Valada-Tejo e para os diferentes períodos dos dois cenários climáticos considerados, tomando como Valor de Referência (VR) o caudal verificado no ano de seca hidrológica de 2005 (4404 hm³).

Combinando a informação dada pelos diferentes indicadores apresentados e a opinião dos elementos da equipa do projeto e da EPAL, decidiu-se aumentar o valor de vulnerabilidade deste recurso a secas de "Média" para "Elevada". Esta avaliação foi feita apesar das limitações em estabelecer com precisão a probabilidade de ocorrência de quebras no abastecimento para os diferentes cenários climáticos, o que levou, no entanto, a uma diminuição da confiança para "Média".

Para caracterizar a evolução da intrusão da cunha salina foram utilizados diferentes cenários simulados com o modelo CE-QUAL-W2. Os pressupostos de cada um dos cenários simulados consideravam: a) diferentes caudais fluviais a montante que variavam desde um caudal mediano em cenários futuros até caudais mínimos extremos; b) aumento sucessivo do nível médio do mar até um máximo de 3,5 m; c) aumento para o dobro de valores de salinidade no estuário do Tejo, a jusante da captação e; d) criação de um canal navegável no rio Tejo. Estes cenários tinham como principal objetivo simular situações extremas que possibilitassem a definição de um limiar a partir do qual o aumento de salinidade na secção da captação de Valada-Tejo pudesse pôr em causa o abastecimento de água a partir deste recurso. Esse limiar pode ser ultrapassado a partir de níveis de salinidade na ordem dos 0,5 ppt, valores indicativos de uma água salobra.

A partir da análise geral dos resultados é possível afirmar que o referencial de salinidade considerado só é atingido em: a) situações de mais de 10 dias consecutivos de caudal fluvial a montante nulo; b) cenários de alteração da batimetria do rio Tejo a jusante da captação de forma a torná-lo navegável, em conjugação com cenários de dupla salinidade e com um caudal fluvial a montante inferior aos níveis mínimos previstos nos cenários climáticos ($10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); c) cenários de subida do nível médio do mar a partir de variações superiores a 1 m (valor acima do previsto em cenários de alterações climáticas).

Estes cenários correspondem a condições com uma probabilidade de ocorrência individual ou conjunta muito diminuta. Como tal, e apesar da baixa capacidade adaptativa desta captação, decidiu-se manter a vulnerabilidade da captação de Valada-Tejo como "Baixa". O grau de confiança foi considerado "Robusto" visto que todos os cenários mais representativos são consistentes.

Origens de água subterrânea

A avaliação das vulnerabilidades para as origens de água subterrânea foi condicionada pelas restrições inerentes à estimativa dos níveis piezométricos que lhes serve de base. Efetivamente, a calibração e validação dos modelos empíricos foram feitas com recurso a séries de valores de piezometria de curta duração (de 4 a 8 anos), podendo por isso não ser representativas da variabilidade de todos os processos que contribuem para a variação da piezometria de uma determinada captação.

Por estas razões, a discussão que se segue dos resultados cinge-se em grande parte à definição de tendências gerais da piezometria de cada uma das captações. Além disso, às classes de vulnerabilidades futuras definidas foram associados baixos valores de confiança, refletindo assim a incerteza associada à escassez de informação.

A análise dos níveis piezométricos estimados para os dois cenários climáticos e dos valores do "Filling Index", que relaciona esses níveis com os máximos e mínimos históricos da série observada, revelam tendências semelhantes para as principais origens de água subterrânea do sistema EPAL, Ota, Alenquer e Lezírias (ver [Figura 15](#) para um furo de Alenquer, a título de exemplo). Verifica-se uma relativa estabilização dos níveis piezométricos para os dois primeiros períodos dos cenários climáticos, com valores de piezometria dentro do intervalo de valores máximos e mínimos históricos e uma tendência de descida significativa no último período.

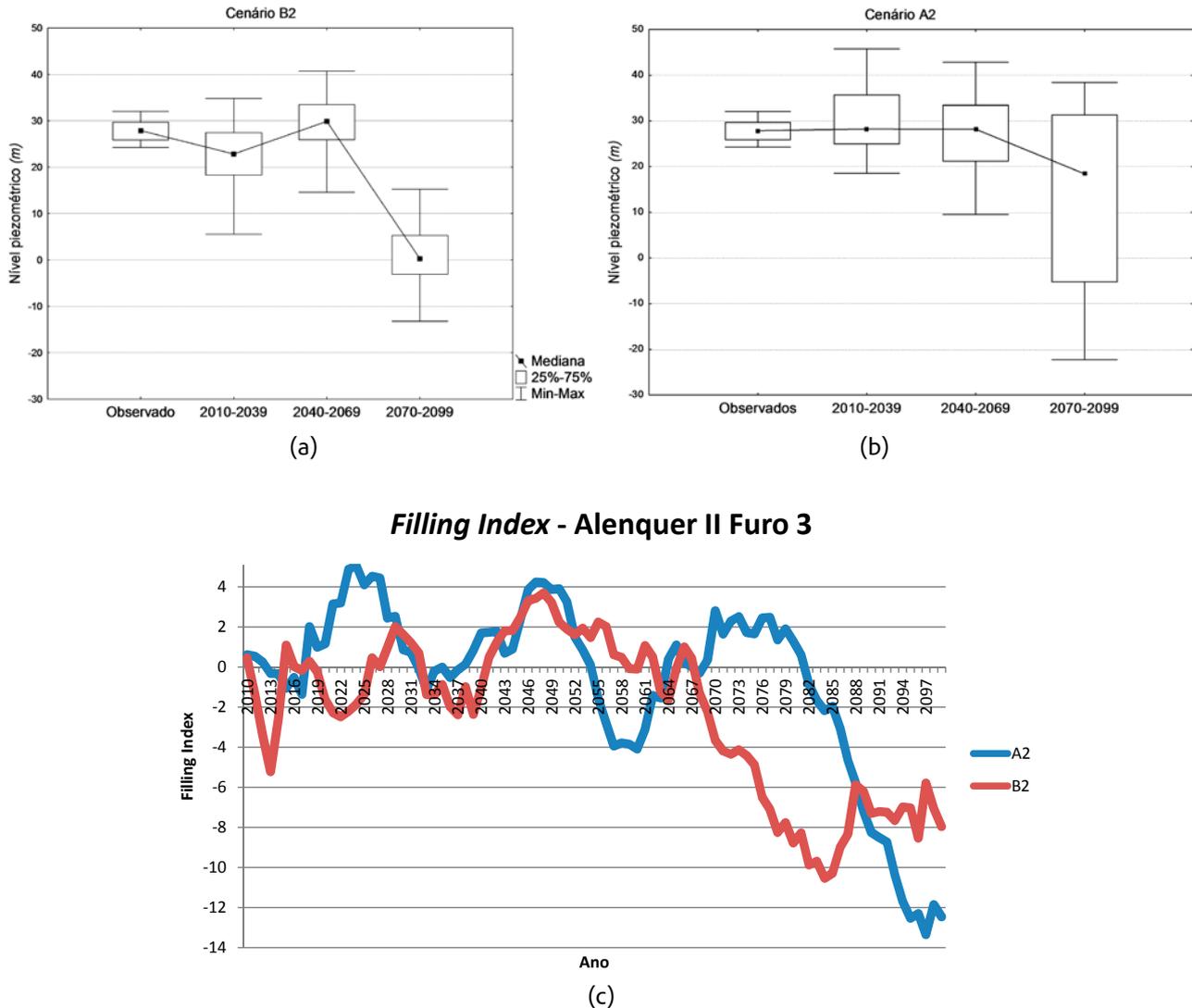


Figura 15 Gráfico de caixas com a variação dos níveis piezométricos na captação de Alenquer II 3 para os diferentes cenários climáticos (a) B2 e (b) A2. Os pontos representam as medianas; o limite inferior de cada uma das caixas corresponde ao limite abaixo do qual se situam apenas 25% dos dados; o limite superior de cada uma das caixas corresponde ao limite abaixo do qual se situam 75% dos dados; os limites dos respetivos bigodes indicam os limites de 10 e 90% dos dados, respetivamente. Na parte de baixo da figura encontra-se (c) a evolução dos valores anuais de "Filling Index" desta captação.

A nascente do Alviela é o único recurso que apresenta um comportamento diferente dos restantes recursos subterráneos, com uma menor divergência dos níveis piezométricos em relação aos níveis históricos. No entanto, a partir do meio do século, observa-se uma diminuição desses níveis bem como uma redução da sua variabilidade. Esta aparente menor sensibilidade da nascente do Alviela a variações de precipitação em cenários climáticos parece estar em desacordo com a elevada vulnerabilidade atual a secas de acordo com informação recolhida no PSA e junto da equipa da EPAL.

Perante a incerteza associada aos modelos empíricos desenvolvidos, e seguindo uma lógica de precaucionaridade na definição da vulnerabilidade climática, optou-se por manter para a nascente do Alviela a elevada vulnerabilidade a secas na [Tabela 7](#). Para as restantes origens de água subterrânea, apesar da resiliência observada em anos de seca, sobretudo no sistema aquífero do Tejo-Sado onde estão implementadas as captações das Lezírias, a vulnerabilidade a secas aumentou de "Baixa" para "Média", devido à tendência de descida dos níveis piezométricos identificada para o final do século. No entanto, este aumento de vulnerabilidade deve ser ponderado em conjunto com a confiança limitada associada a estes resultados.

A tentativa de estabelecer uma relação empírica entre os diferentes parâmetros climáticos estimados em cenários climáticos (temperatura e precipitação) e parâmetros de qualidade de água que resultam da interação água-rocha nas diferentes captações subterrâneas foi, na maioria dos casos infrutífera. As baixas correlações encontradas poderão estar relacionadas com a complexidade dos processos hidrogeológicos que influenciam a qualidade da água num aquífero bem como a incerteza associada à simulação das atividades antropogénicas.

Matriz de vulnerabilidades futuras das origens do sistema EPAL

A [Tabela 7](#) apresenta as vulnerabilidades dos diferentes subsistemas EPAL. A sua análise permite identificar um aumento generalizado da vulnerabilidade a secas, determinado por uma diminuição de caudais afluentes ou níveis piezométricos em todas as captações. Esta maior vulnerabilidade é ainda potenciada por um aumento da severidade dos períodos de seca que se tornarão no futuro, e de acordo com ambos os cenários, mais frequentes, persistentes e intensas. De entre as captações afetadas a elevada vulnerabilidade futura a secas, as duas origens superficiais da EPAL, Castelo do Bode e Valada-Tejo, assumem particular relevo visto que representam aproximadamente 90% do total de volume captado do sistema de abastecimento. Por sua vez, e apesar das limitações verificadas na reprodução das concentrações de determinados parâmetros de qualidade da água, nomeadamente nas origens de água subterrânea, não se antevê um aumento da vulnerabilidade das diferentes captações associada a uma diminuição significativa da qualidade da água.

34

VULNERABILIDADES FUTURAS DA EPAL ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	Qualidade de água			Quantidade de água			Vulnerab. Climática Total
	Inundações / cheias	Secas	Incêndios Florestais	Inundações	Secas	Intrusão Salina	
Castelo de Bode	Baixa 	Baixa 	Baixa 	Média 	Elevada 	N/A	Elevada 
Valada	Média 	Elevada 	Baixa 	Baixa 	Elevada 	Baixa 	Elevada 
Furos Valadas	Baixa 	Baixa 	Baixa 	Baixa 	Média 	N/A	Média 
Furos Lezírias	Baixa 	Baixa 	Baixa 	Baixa 	Média 	N/A	Média 
Furos Ota-Alenquer	Elevada 	Baixa 	Baixa 	Baixa 	Média 	N/A	Elevada 
Nascente Olhos de água	Elevada 	Elevada 	Baixa 	Elevada 	Elevada 	N/A	Elevada 

Tabela 7 Resumo das vulnerabilidades climáticas futuras das diferentes origens do sistema EPAL. Para cada evento climático e cada origem indica-se o grau de vulnerabilidade ("Baixa", "Média" ou "Alta") bem como o respetivo grau de confiança ("Robusta" , "Média"  ou "Limitada" ).





4. Projeto Adaptaclima-EPAL – Desafios atuais e futuros

AUTORES: Vanessa Martins, Basílio Martins, Ana Luís, Lília Azevedo, Tiago Capela Lourenço e David Avelar

4.1 Desafios atuais

Conforme exposto no capítulo anterior, o sistema de abastecimento de água da EPAL evidencia, atualmente, uma elevada resiliência a eventos climáticos. A vulnerabilidade atual das diversas origens do sistema em termos de qualidade ou quantidade da água fornecida é, na generalidade dos casos, baixa, para ocorrências de eventos como secas, cheias, incêndios florestais ou intrusão salina.

Nas situações em que a vulnerabilidade foi classificada como "média" ou "elevada", a EPAL realizou já um conjunto de ações que visam melhorar a capacidade adaptativa do sistema, contribuindo assim para reduzir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência.

Castelo do Bode

A única vulnerabilidade atual relevante identificada na captação de Castelo do Bode consiste na possibilidade de inundação da estação elevatória provocada pelo funcionamento dos descarregadores de superfície. As medidas já adotadas passaram pela colocação dos equipamentos num patamar mais alto e fora da zona inundável.

O facto de a vulnerabilidade aos restantes eventos climáticos ser baixa resulta da conjugação das características naturais da albufeira de Castelo do Bode com um leque de ações implementadas pela EPAL nas últimas décadas.

As características da albufeira permitem, de *per si*, o encaixe de um volume de água capaz de fazer face a períodos de seca severa como o que ocorreu em 2005, e proporcionam ainda uma boa qualidade da água junto à torre de captação, uma vez que eventuais contaminantes se vão depositando ao longo do percurso desde a sua entrada na albufeira até à zona da captação. Por outro lado, trata-se de uma albufeira inserida numa bacia hidrográfica não só totalmente localizada em território português – não estando, por isso, dependente das aflúncias de Espanha – mas que apresenta também um conjunto de usos maioritariamente florestais, salvaguardando, assim, a qualidade da água de poluição difusa ou tópica acentuada.

Finalmente, este subsistema apresenta um conjunto de características que reforçam ainda a sua baixa vulnerabilidade: o facto de se poder captar a três níveis de profundidade distintos, na torre de captação; e o facto de toda a água aqui captada ser tratada na Estação de Tratamento da Asseiceira, equipada com processos de tratamento capazes de lidar com uma eventual deterioração da qualidade da água na albufeira.

Valada-Tejo

No caso da captação no rio Tejo, em Valada, a principal vulnerabilidade (identificada como elevada) prende-se com a má qualidade da água bruta em períodos de estiagem, que pode levar à interrupção da captação nesta origem. A medida de adaptação já em curso corresponde à reabilitação e reformulação dos processos de tratamento da ETA de Vale da Pedra, de forma a lidar com o aparecimento de blooms algais, resultantes do processo de eutrofização causado pelos baixos níveis hidrométricos no rio e elevadas temperaturas, associados a descargas de efluentes a montante da captação.

Em termos de quantidade da água, a vulnerabilidade atual foi considerada baixa, não só porque o caudal captado pela EPAL na secção do rio Tejo em Valada representa apenas 1% do volume que passa, mas também porque a EPAL

implementou duas importantes medidas: a construção de um esporão na margem oposta, por forma a contrariar o efeito do assoreamento do rio e o conseqüente desvio do caudal para fora da zona da estação de captação (situação ocorrida no passado); bem como a implantação de um sistema de mastros oscilantes (foto 1), em funcionamento desde 2003, para permitir a captação de água a cotas mais baixas.

Captações subterrâneas dos Olhos de Água, Ota, Alenquer, Valadas e Lezírias

Nos casos das captações de Ota e Alenquer a vulnerabilidade atual foi considerada "elevada" no que respeita à qualidade da água aquando da ocorrência de cheias e "média" no que concerne a quantidade de água em tempo de seca. Estes resultados são suportados pelos dados históricos e por estudos efetuados para o efeito, aquando da elaboração do Plano Diretor da EPAL, em 2006 (EPAL, 2006). No entanto, como medida de adaptação, a resposta da EPAL tem passado por reduzir a contribuição destas origens no cômputo global da água captada no sistema. Esta medida foi levada ao extremo no caso da nascente dos Olhos de Água: dada a sua elevada vulnerabilidade em termos de quantidade e qualidade da água, a opção foi de deixar de explorar esta origem de água.

As captações das Lezírias são as que menor vulnerabilidade apresentam, já que estão a ser exploradas a profundidades de 250 m e 500 m (e, portanto, menos sensíveis à poluição), e que estão localizadas no maior aquífero da Península Ibérica, o aquífero Tejo-Sado.

foto 1 Sistema de mastros oscilantes na Estação de Captação de Valada-Tejo



4.2 Desafios futuros

O estudo dos cenários futuros em termos demográficos, de usos do solo e de alterações climáticas, apresentado nos capítulos anteriores, aponta para um aumento, até ao final do século, da vulnerabilidade da quantidade e qualidade da água das origens da EPAL.

Nesse sentido, e por forma a garantir a resiliência do sistema de abastecimento necessária para assegurar o cumprimento da missão da EPAL, foram analisadas múltiplas medidas de adaptação. Esta análise, elaborada no âmbito do projeto Adaptaclima-EPAL, consistiu em duas fases: (i) estruturação do problema de adaptação; e (ii) avaliação de soluções.

A primeira fase procurou definir os principais objetivos e constrangimentos à adaptação na empresa, providenciar uma avaliação das vulnerabilidades atuais e futuras e identificar, definir e caracterizar um conjunto alargado de potenciais opções e medidas de adaptação disponíveis. Na segunda fase, estas opções e medidas individuais foram avaliadas relativamente aos cenários de alterações climáticas e às principais vulnerabilidades identificadas, tendo sido produzido um conjunto de recomendações de apoio à decisão por parte da EPAL.

As medidas de adaptação às alterações climáticas consideradas relevantes para a EPAL, foram categorizadas por opções gerais de adaptação, nomeadamente:

- a) Alterar a oferta de água;
- b) Alterar a procura de água;
- c) Reforçar processos e competências internas;
- d) Alterar as relações institucionais com outros agentes;
- e) Garantir a qualidade da água;
- f) Garantir a proteção de captações e demais infraestruturas.

39

Castelo do Bode

A maior vulnerabilidade futura da principal origem de água da EPAL é a possibilidade de escassez de água em cenários de seca. As medidas selecionadas para Castelo do Bode enquadram-se nas opções "alterar relações institucionais com outros agentes" e "alterar a oferta de água" (Tabela 8).

TABELA 8 Medidas de adaptação consideradas relevantes para a origem de Castelo do Bode

Opção	Medida	Racional	Situação
Alterar relações institucionais com outros agentes	Promoção de protocolos formais de cooperação na gestão partilhada de recursos e infraestruturas que explicitem os objetivos de adaptação e as necessidades de in-formação climática e não climática.	É de elevada importância o estabelecimento de limites críticos para a utilização da albufeira, através de protocolo com a EDP, como forma de garantir volume de captação, controlo de caudais descarregados e evitar conflitos de uso em períodos de seca.	Em implementação
Alterar a oferta de água	Construção de um sistema de aproveitamento da descarga de fundo da barragem de Castelo do Bode para captação de água. Utilização da infraestrutura de transporte e tratamento já existente.	Garantir a continuidade de captação não só em períodos de seca mas também no caso de rebaixamento do nível da albufeira para manutenção da barragem, servindo com alternativa à torre de captação existente.	Em implementação

Valada-Tejo

As principais vulnerabilidades em Valada-Tejo, são a quantidade e qualidade de água em cenários de secas extremas. As medidas de adaptação selecionadas para esta origem enquadram-se nas opções "garantir a qualidade da água", "alterar a oferta de água" e "alterar relações institucionais com outros agentes" (Tabela 9).

TABELA 9 Medidas de adaptação consideradas relevantes para a origem de Valada-Tejo

Opção	Medida	Racional	Situação
Garantir a qualidade da água	Modificar ou redimensionar as ETA existentes, incluindo alterações nos esquemas de tratamento.	Esta medida responde às vulnerabilidades atuais relacionadas com problemas de qualidade de água em períodos de seca e com capacidade de responder a problemas futuros associados ao agravamento das vulnerabilidades atuais.	Em implementação
Alterar a oferta de água	Ampliação da estrutura do esporão no rio Tejo existente junto à captação de Valada Tejo.	Responder a duas das vulnerabilidades projetadas (redução de caudal de afluente médio anual e agravamento da severidade de eventos de seca). A sua principal vantagem é a de promover uma maior retenção temporária e redirecionamento da água junto à captação.	A implementar
Alterar relações institucionais com outros agentes	Promoção de acordos de cooperação no planeamento e gestão partilhada de recursos (usos do solo, florestas, prevenção de fogos) que influenciem direta ou indiretamente as origens de água e operações da EPAL.	Responder a todas as vulnerabilidades atuais (redução da qualidade da água associada a eventos de seca e escorrências de contaminantes) e vulnerabilidades futuras (redução de caudal afluente médio anual e agravamento da severidade de evento de seca).	A implementar
	Promoção de acordos de cooperação de partilha do conhecimento e informação sobre processos de decisão em situações de eventos extremos (fogos florestais, cheias, secas).	Responder a todas as vulnerabilidades atuais (redução da qualidade da água associada a eventos de seca) e parte das vulnerabilidades futuras (redução de caudal afluente médio anual).	A implementar



Captações subterrâneas

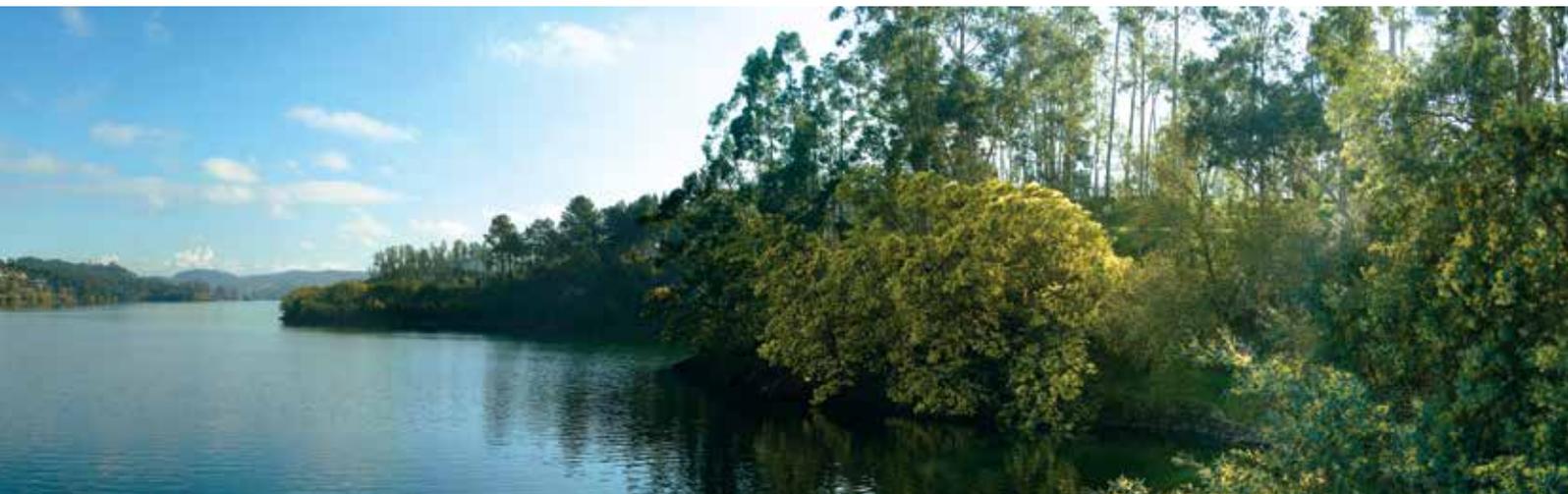
As medidas de adaptação selecionadas para estas origens enquadram-se nas opções "alterar a oferta de água", "garantir a qualidade da água", "alterar a procura de água" e "reforçar processos e competências internas" (Tabela 10).

TABELA 10 Medidas de adaptação consideradas relevantes para as captações subterrâneas

Opção	Medida	Racional	Situação
Alterar a oferta de água	Aumento das possibilidades de transferência de água entre os sub-sistemas da EPAL através da construção de novas infraestruturas de transporte.	Potencial resposta a todas as principais vulnerabilidades atuais e futuras (redução significativa dos níveis piezométricos e problemas de qualidade da água).	Em implementação
Garantir a qualidade da água	Apoio e promoção ao desenvolvimento de legislação e /ou regulamentação que aumente o nível de proteção às origens de água EPAL (perímetros de proteção, usos do solo, fontes de poluição).	Reforçar o efetivo cumprimento da lei vigente.	A implementar
Alterar a procura de água	Medidas que reduzam o atual nível mínimo de perdas de água no sistema da EPAL.	Resposta à vulnerabilidade atual e futura relacionada com a necessidade de redução de perdas em Alta, tal como já se conseguiu em relação à Baixa.	A implementar
Reforçar processos e competências internas	Investimento em estudos e projetos de ciência aplicada que permitam preencher lacunas específicas e aumentar o conhecimento sobre adaptação e mitigação das alterações climáticas.	Responder à vulnerabilidade atual e futura relacionada com a redução significativa dos níveis piezométricos. A principal vantagem é a melhoria do conhecimento sobre os aquíferos em causa, bem como a modelação da sua evolução em cenários de alterações climáticas.	A implementar

41

Como referido anteriormente, algumas das medidas de adaptação já se encontram atualmente em curso. Para as restantes medidas identificadas, a estratégia preconizada foi a de avançar com a respetiva implementação à medida que estas se tornem necessárias ou oportunas, ao invés da definição, *a priori*, de um cronograma de implementação rígido.



De facto, tendo presente os investimentos associados à implementação da maioria das medidas de adaptação, a realização das mesmas só se justificará à medida que as alterações no clima se vão tornando mais gravosas. Por outro lado, as medidas que a empresa venha a adotar e incorporar nos seus processos de planeamento devem responder a outros requisitos de melhoria do sistema (e.g. gestão do risco), nos quais a segurança de abastecimento e aumento da resiliência às alterações climáticas são apenas mais um aspeto a considerar. Por último, o esforço conjugado de diversas entidades e agentes da bacia do Tejo com vista à adaptação às alterações climáticas representa evidentes ganhos de escala e um melhor resultado final.

Assim, a estratégia da EPAL para desenvolvimento de ações futuras de adaptação às alterações climáticas passa por definir e monitorizar indicadores que permitam implementar as ações de modo faseado ou modular, à medida que os potenciais efeitos das alterações climáticas se vão tornando mais gravosos e se aproximem de limiares de vulnerabilidade identificados como inaceitáveis.

4.3 Indicadores e momentos de tomada de decisão

O conjunto de indicadores identificados inclui variáveis para todas as captações do sistema EPAL e referentes tanto a quantidade como a qualidade da água. A [tabela 11](#) apresenta exemplos de indicadores aplicáveis à captação de Castelo do Bode:

TABELA 11 Exemplos de indicadores de monitorização de alterações climáticas para a captação de Castelo do Bode

Indicador	Âmbito de aplicação
SPI 12 meses	Fornece informação sobre a evolução dos episódios de seca hidrológica com impacte nos níveis hidrométricos dos grandes reservatórios. É produzido com base nos valores de precipitação observados durante o período temporal considerado. Valores deste indicador para a região de Lisboa e Vale do Tejo estão disponíveis no site do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA - www.ipma.pt). Com base neste indicador também pode ser retirada informação sobre a duração e magnitude das secas.
Déficit acumulado de água	Analisa o i) N° de anos abaixo do valor de caudal anual, ii) N° médio de anos consecutivos abaixo do caudal anual e a iii) Intensidade média (% abaixo do caudal anual). Fornece informações sobre como estão a evoluir as situações extremas de seca em termos de duração, persistência e magnitude ao comparar os caudais afluentes a uma determinada escala temporal com os caudais para a mesma escala temporal durante um ano de referência (tipicamente um ano de seca histórico).
Níveis hidrométricos médios e mínimos da captação	Indicador direto quer da sustentabilidade a curto, médio e longo prazo dos níveis da captação quer das consequências de eventos extremos de secas sobre as diferentes captações. Incorpora informação sobre consumos e afluências.

4.4 Relação com as partes interessadas

Igualmente relevante para uma adaptação de sucesso da EPAL é a articulação e cooperação com as várias partes interessadas (*stakeholders*) e o potencial para a criação de sinergias através da cooperação.

O grande número e a complexidade de relacionamentos ao nível das partes interessadas foram considerados no projeto Adaptaclima-EPAL numa perspectiva de conjugação de esforços, no sentido da obtenção e partilha de conhecimento e informação, da gestão de ativos e realização de investimentos integrados - com evidentes vantagens e possibilidade de co-benefícios resultantes de sinergias e ganhos de escala; e da regulação, controlo e coordenação de atividades, da antecipação ou gestão de potenciais crises e mediação das mesmas ou até no sentido de influenciar políticas públicas mais consentâneas com os requisitos da adaptação às alterações climáticas. Entre as várias partes interessadas integradas no projeto através das várias reuniões e *workshops*, encontram-se, entre outros, municípios a montante e a jusante do sistema da EPAL, a Agência Portuguesa do Ambiente, a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, a Direção Geral de Saúde e a EDP-Energias de Portugal.

De um modo geral, todas as entidades mostraram grande interesse no estudo e salientaram os benefícios potenciais da partilha do conhecimento adquirido, tendo mesmo surgido uma medida de adaptação importante, que consiste na formalização, em protocolo, do modo de gestão partilhada da albufeira de Castelo do Bode entre a EPAL e a EDP-Energias de Portugal.

Destaca-se que 80% das medidas de adaptação selecionadas no projeto requerem a intervenção de pelo menos mais um agente externo à EPAL. Este resultado reflete o elevado nível de complexidade inerente ao processo de adaptação às alterações climáticas, e evidencia a necessidade de articulação entre os diversos agentes externos.

Em consonância com a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas, o projeto Adaptaclima-EPAL representa, assim, um exemplo de partilha de informação e de criação de sinergias entre diversas entidades, o qual assume especial importância num contexto de racionalização de recursos financeiros e de necessidade de conjugação de medidas para que não se verifiquem antagonismos, ambiguidades ou sobreposições nas opções tomadas.



5. Projeto Adaptaclima-EPAL: o que diz a Equipa

O projeto Adaptaclima-EPAL teve como principais objetivos desenvolver modelos para avaliar os potenciais impactos das alterações climáticas no sistema EPAL, de modo a reduzir a sua vulnerabilidade futura e identificar potenciais oportunidades. Este projeto envolveu vários desafios para a equipa científica, nomeadamente a nível da integração sequencial de modelos com diferentes escalas espaciais e temporais, a nível da criação de indicadores úteis que pudessem ser incorporados e monitorizados pela EPAL e na elaboração de uma estratégia de adaptação que possa ser efetivamente aplicada nos processos da EPAL. Deste modo, o projeto permitiu aos investigadores envolvidos desenvolver conhecimento científico inovador num contexto altamente aplicado, tendo-se revelado numa experiência muito gratificante para todos os envolvidos. [\[Equipa de investigação\]](#)

Quando o GAC (Grupo de Alterações Climáticas) foi constituído na EPAL, aceitámos com entusiasmo o desafio de acompanhar e internalizar na empresa o conhecimento gerado em estudos relativos às alterações climáticas, nomeadamente o Adaptaclima-EPAL. Passo a passo, tarefa a tarefa, de workshop em workshop, o contacto com as múltiplas equipas de investigação envolvidas permitiu aos membros do GAC adquirir novos conhecimentos na temática das alterações climáticas, mas também partilhar e dar a conhecer àquelas equipas a realidade concreta de uma empresa de abastecimento de água da dimensão da EPAL, o que se veio a revelar particularmente crucial nas tarefas "Avaliação de Vulnerabilidades" e "Adaptação". O projeto Adaptaclima-EPAL chegou ao fim, culminando na realização da Conferência Final do projeto em julho de 2013. No entanto, este "fim" representa o início de um novo ciclo, no qual as alterações climáticas passam a ter um papel de destaque nas decisões referentes ao planeamento do sistema de abastecimento da EPAL. [\[GAC\]](#)



FILIPE DUARTE SANTOS A EPAL demonstrou uma grande liderança em Portugal ao ser uma das grandes empresas de serviço público que decidiu dotar-se de uma estratégia de adaptação às alterações climáticas de médio e longo prazo. Importa agora implementar a estratégia tendo presente que a adaptação é um processo sujeito a uma contínua avaliação e renovação.



MARIA JOÃO CRUZ O projeto Adaptaclima-EPAL revestiu-se de um carácter simultaneamente inovador e aplicado ao cruzar o conhecimento científico dos mais conceituados grupos de investigação em alterações climáticas em Portugal, com o conhecimento técnico das necessidades e funcionamento da EPAL. A criação de mecanismos para potenciar o diálogo entre investigadores e a EPAL, tanto através da criação do GAC e da Comissão de Acompanhamento do projeto, como através de workshops com uma comunidade mais vasta de colaboradores da EPAL revelou-se fundamental para produzir resultados científicos relevantes e aplicáveis no contexto desta empresa. Exemplos desses resultados são a definição de medidas de adaptação concretas e de indicadores que permitam monitorizar os efeitos das alterações climáticas no sistema EPAL e identificar momentos de ação.



ANTÓNIO CARMONA RODRIGUES Num mundo em que a incerteza e a gestão do risco estão cada vez mais presentes na gestão dos recursos hídricos, o projeto Adaptaclima-EPAL é seguramente um dos estudos mais aprofundados realizados em território nacional e um dos mais interessantes em que participei, tendo estado particularmente envolvido no estudo da intrusão salina no troço de jusante do rio Tejo, em consequência dos cenários de subida do nível da água do mar. Creio que não é de mais enfatizar o elevado sentido de responsabilidade desta iniciativa da EPAL ao promover este estudo, revelando que continua a estar na primeira linha das empresas mundiais que não só presta

um serviço de excelência, mas que se preocupa também em estar na vanguarda da preparação para os desafios do futuro.



PAULO ALEXANDRE DIOGO As evidências cada vez maiores sobre a evolução e impactes das alterações climáticas ao nível dos recursos hídricos são por si só relevadoras da importância do projeto Adaptaclima-EPAL, sem dúvida um dos mais aliciantes projetos em que já participei. Tendo estado particularmente envolvido no estudo da evolução da intrusão salina no rio Tejo e da qualidade e disponibilidade hídrica na albufeira de Castelo do Bode, o trabalho desenvolvido constituiu uma excelente oportunidade de associação de uma equipa de trabalho multidisciplinar, que resultou numa efetiva aplicação da investigação e conhecimento científico às necessidades de tomada de decisão da

EPAL. Pela abordagem e pela forma como o projeto foi conduzido, a iniciativa desenvolvida pela EPAL representa certamente um marco na investigação científica aplicada à gestão de recursos hídricos, não só em termos nacionais mas também ao nível internacional.



TIAGO CAPELA LOURENÇO (...) O conhecimento adquirido ao longo do projeto Adaptaclima-EPAL, numa cooperação ativa com algumas das mais experientes universidades portuguesas nesta área, forneceu à EPAL um conjunto de cenários, opções e medidas de adaptação que permitirão à empresa uma tomada de decisão mais robusta e preparada para os desafios atuais e futuros das alterações climáticas. Este projeto, além de inovador em Portugal, coloca a EPAL numa restrita lista de empresas europeias de abastecimento de água que possuem este tipo de conhecimento e que passaram a incluir esta nova perspetiva no seu planeamento. A relevância científica e prática deste projeto,

bem como os potenciais contributos para a EPAL e para as populações por ela servidas, foram uma enorme motivação para quem investiga a problemática das alterações climáticas.



JOÃO PEDRO NUNES O projeto Adaptaclima-EPAL foi para mim uma excelente oportunidade para agarrar nas metodologias e conhecimentos desenvolvidos no âmbito da investigação fundamental em hidrologia, e aplicá-los na resolução de um problema concreto posto pela EPAL. O projeto permitiu-me também entender melhor quais as áreas em que a hidrologia não é ainda capaz de responder totalmente às questões postas pela EPAL, o que teve um papel importante no delinear das minhas prioridades de investigação fundamental para os próximos anos.



LUÍS RIBEIRO As águas subterrâneas possuem uma capacidade de resiliência que as torna uma componente fundamental no quadro da estratégia de adaptação às alterações climáticas. Este estudo mostrou que os aquíferos que a EPAL explora devem ser geridos de uma forma integrada com os recursos superficiais, de modo que prováveis reduções de recarga sejam acompanhadas por uma exploração otimizada dos recursos hídricos subterrâneos, principalmente nos períodos onde a água de origem superficial escasseia.



ANA MARGARIDA LUÍS As alterações climáticas são uma preocupação a que uma empresa como a EPAL não pode estar alheia. Os resultados do projeto Adaptaclima-EPAL, nomeadamente a indicação dos cenários futuros e respetivos impactes potenciais na qualidade e quantidade da água das origens da EPAL, constituem importantes *inputs* para o planeamento estratégico de longo prazo da empresa, contribuindo assim para a sustentabilidade do cumprimento da sua missão. Mas o caminho que se percorreu ao longo de sensivelmente três anos, numa estreita interação entre ciência e indústria é, a meu ver, tão ou mais importante que os resultados obtidos, uma vez que todo o conhecimento gerado,

partilhado e internalizado nos membros do GAC – Grupo das Alterações Climáticas da EPAL que acompanharam este projeto permitiu o desenvolvimento de capacidades e sentido crítico que irão perdurar no futuro.



EQUIPA GAC (da esquerda para direita) **Lília Azevedo, Alexandre Rodrigues, Vanessa Martins, Ana Luís, Basílio Martins e Paula Aprisco**

REFERÊNCIAS e BIBLIOGRAFIA

- Alcamo, J. , Florke, M. and Marker, M. 2007. Future longterm changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52: 247— 275. <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.52.2.247>.
- CIESIN, 2002. Country-level Population and Downscaled Projections. Center for International Earth Science Information Network <http://www.ciesin.columbia.edu/datasets/downscaled>.
- Chandler, R. 2010. GLIMCLIM - Generalized linear modelling for daily climate time series, User Guide. London: University College London.
- Cole, T.M. and Wells, S. A. 2008. CE-Qual-W2: A two-dimensional, laterally averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.6," Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, OR.
- Collins, M., Booth, B. B. B., Harris, G. R., Murphy, J. M., Sexton, D. M. H., and Webb, M. J. 2006. Towards quantifying uncertainty in transient climate change. *Climate Dynamics*, 27(2-3), 127-147. doi:10.1007/s00382-006-0121-0
- EPAL, 2006. Revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento do Sistema de Produção e Transporte da EPAL. Consórcio ENGIDRO, Estudos de Engenharia, Lda. / ProSistemas, Consultores de Engenharia, S.A. / ProceSl - Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda.
- EEA, 2012. Towards efficient use of water resources in Europe. European Environmental Agency, Agencia Europeia do Ambiente , Copenhagen, Denmark.
- IPCC, 2005: Guidance Notes for Lead Authors of the IPCC Fourth Assessment Report on Addressing Uncertainties. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland.
- IPCC, 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 Parry, M.L., Canziani O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. and Hanson, C.E. (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 976 pp
- IPCC, 2014. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Working Group II - Impacts, Adaptation, and Vulnerability (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>).
- Jacinto, R., Cruz, M.J and Santos, F.D. 2012. Water use scenarios as a tool for adaptation to climate change of a water supply company. *Drinking Water Engineering and Science*, 5, pp. 265-289. doi:10.5194/dwescd-5-265-2012.
- Keyantash, J. and Dracup, J. A. 2002. The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, pp. 1167-1180.
- Kok, K., Vliet, M., Barlund, I., Sendzimir, J. and Dubel, A. 2009. First ("first-order") draft of pan-European storylines - results from the second pan-European stakeholder workshop. SCENES Deliverable 2.6. Wageningen University, Wageningen.
- Neitsch, S. L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R. 2011. Soil and Water Assessment Tool, theoretical documentation, version 2009. Texas Water Research Institute Technical Report No. 406. Texas A&M University System, College Station, Texas, U.S.A

- Nunes, J. P., Seixas, J. and Pacheco, N. 2008. Vulnerability of water resources, vegetation productivity and soil erosion to climate change in Mediterranean watersheds. *Hydrol. Process.*, 22(16),3115 - 3134.
- Nunes, J. P. and Seixas, J. 2011. Modelling the impacts of climate change on water balance and agricultural and forestry productivity in southern Portugal using SWAT. In Shukla, M. K.(ed.): *Soil Hydrology, Land-Use and Agriculture. Measurement and Modelling*. CABI, Wallingford, U.K. pp. 366 - 383.
- Nunes J.P., Diogo P.A., Ribeiro L., Grosso N. and Cruz M.J. 2013. A multicompartiment modeling frame-work to study the impacts of climate change on the Lisbon water supplies. In: Roebeling PC, Rocha J (eds) *TWAM2013 International Conference & Workshops Proceedings*. University of Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Nunes, J. P., Seixas, J. and Keizer, J. J. 2013. Modeling the response of within-storm runoff and erosion dynamics to climate change in two Mediterranean watersheds: a multi-model, multi-scale approach to scenario design and analysis. *Catena*, 102, pp. 27-39.
- PGRH RA, 2011. Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo, Avaliação Ambiental Estratégica - Relatório Ambiental. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território, Lisboa. 359pp.
- Pires, V., Silva, A and Mendes, L. 2010. Risco de Secas em Portugal Continental. *Territorium* 17, pp. 27-34.
- Pulquerio, M., Garrett, P., Santos, F. D. and Cruz, M. J. 2014. On using a Generalized Linear Model to downscale daily precipitation for the center of Portugal: an analysis of trends and extremes. *Theoretical and Applied Climatology*. DOI 10.1007/s00704-014-1156-5.
- Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araujo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.I, Kankaanpaa, S., Leemans, R., Metzger, M.J., Schmit, C., Smith, P. and Tuck, G. 2006. A coherent set of future land use change scenarios for Europe, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 114, Issue 1, Scenario-Based Studies of Future Land Use in Europe, May 2006, Pages 57-68,ISSN 0167-8809, DOI: 10.1016/j.agee.2005.11.027.
- Santos, F.D. 2012. Alterações Globais, desafios e riscos presentes e futuros. *Fundação Francisco Manuel dos Santos, Lisboa*.
- SIAM, 2002. *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Projet*. Santos, F., K. Forbes and R. Moita (editors). Gradiva, Lisboa, 401 pp.
- SIAM, 2006. *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactes e Medidas de Adaptação*. Project SIAM II. Santos, F. and P. Miranda (editores). Gradiva, Lisboa, 506 pp.
- Vuuren, D.P. van, Smith, S. J. and Keuwan, R. 2010. Downscaling socioeconomic and emissions scenarios for global environmental change research: a review. *John Wiley & Sons, Ltd*, volume 1, pp.393-404. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.50/abstract>.
- Wilby, R. L., Charles, S. P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L. O. 2004. Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods (pp. 1-27).



1



4



5



7

