

INTEGRAÇÃO DE UM MODELO HIDROLÓGICO EM FERRAMENTAS DE APOIO À DECISÃO PARA A ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: CASO DE ESTUDO DO ALGARVE

Luís Filipe DIAS¹, João Pedro NUNES², Bruno APARÍCIO³, Inês MORAIS⁴, Ana Lúcia FONSECA⁵, Sérgio INÁCIO⁶; Brandão PIRES⁷; Filipe Duarte SANTOS⁸

1. FCUL-cE3c-CCIAM, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C2, 5º Piso, Sala 1.4.22, Campo Grande 1749-016 Lisboa, lfdias@fc.ul.pt
2. FCUL-cE3c-CCIAM, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C2, 5º Piso, Sala 1.4.22, Campo Grande 1749-016 Lisboa, jpnunes@fc.ul.pt
3. FCUL-cE3c-CCIAM, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C2, 5º Piso, Sala 1.4.22, Campo Grande 1749-016 Lisboa, bmaparicio@fc.ul.pt
4. FCUL-cE3c-CCIAM, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C2, 5º Piso, Sala 1.4.22, Campo Grande 1749-016 Lisboa, inesroquete@hotmail.com
5. FCUL-cE3c-CCIAM, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C2, 5º Piso, Sala 1.4.22, Campo Grande 1749-016 Lisboa, alfonseca@hotmail.com
6. AMAL, Comunidade Intermunicipal do Algarve, R.General Humberto Delgado, 20, 8000-355 Faro, sinacio@amal.pt
7. AMAL, Comunidade Intermunicipal do Algarve, R.General Humberto Delgado, 20, 8000-355 Faro, jpires@amal.pt
8. . FCUL-cE3c-CCIAM, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C2, 5º Piso, Sala 1.4.22, Campo Grande 1749-016 Lisboa, fdsantos@fc.ul.pt

RESUMO

Os recursos hídricos no Algarve, encontram-se em constante pressão devido à sua exploração para consumo agrícola, doméstico e/ou industrial. Projeta-se que esta pressão será agravada como resultado das alterações climáticas, devido ao aumento da temperatura e à diminuição da precipitação.

Este trabalho estuda os impactos atuais e das alterações climáticas nos recursos hídricos da região do Algarve, combinando modelação hidrológica e auscultação das partes interessadas da região (e.g. municípios, associações de agricultores, direção regional de agricultura e pescas, entidades gestoras do setor da água), com o objetivo de definir caminhos de adaptação (Dynamic Adaptive Policy Pathways) que permitam diferentes alternativas para manter a disponibilidade atual dos recursos hídricos, até ao final do século XXI.

Palavras-Chave: Caminhos de adaptação, Alterações Climáticas, Recursos Hídricos, Disponibilidades, Algarve

1. ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

As disponibilidades de água e as necessidades das culturas agrícolas do Algarve para este trabalho, foram obtidas através da aplicação do modelo de balanço hídrico modificado Thornthwaite-Mather (Stigter et al., 2014). O modelo foi calibrado para os principais sistemas do Algarve, nomeadamente o principal aquífero da região (Querença-Silves), quatro sistemas hidrológicos superficiais (Bravura, Odelouca, Funcho-Arade e Odeleite Beliche) e os perímetros de rega associados (de Lagos, de Silves, Lagoa e Portimão e de Tavira).

Após o processo de calibração e validação, procedeu-se à aplicação do modelo de balanço hidrológico com recurso a projeções climáticas entre 1970 e 2100, considerando os cenários RCP4.5 e RCP8.5, provenientes de nove modelos regionais, disponibilizados pelo projeto EURCORDEX (Jacob et al., 2014). Ao longo do século XXI, considerou-se que o consumo doméstico e/ou industrial se mantém aos níveis atuais. Considerou-se ainda, que os usos do solo se mantêm, embora as necessidades de rega sejam alteradas devido ao aumento da evapotranspiração como resultado do aumento da temperatura projetada por cada um dos cenários considerados.

Os resultados obtidos correspondem ao ensemble dos modelos, utilizando-se a carta de ocupação para se extrapolar os resultados para toda a região do Algarve.

As medidas de adaptação para acomodar os efeitos das alterações climáticas resultam da combinação entre a revisão de literatura sobre o tema e propostas concretas sugeridas pelas partes interessadas no processo de adaptação da região. Para o efeito, foram realizados quatro workshops de auscultação dessas partes, sendo o primeiro de apresentação geral do trabalho, o segundo sobre as vulnerabilidades climáticas atuais, o terceiro sobre vulnerabilidades futura e adaptação e o quarto sobre a seleção do caminho de adaptação a implementar, entre as diferentes alternativas disponíveis para manter até ao final do século o nível de disponibilidade hídrica que se verifica no presente.

Relativamente aos caminhos de adaptação (Dynamic Adaptive Policy Pathways), estes resultam da aplicação de uma metodologia desenvolvida por Haasnoot et al. (2015). Para a sua elaboração foi fundamental a identificação de limiares críticos de cada medida proposta, ou seja, as condições sob as quais uma ação deixa de corresponder aos objetivos especificados (Kwadijk et al., 2010), que neste caso consiste na manutenção da disponibilidade hídrica nos níveis atuais, considerando as projeções climáticas até ao final do século. O momento em que se atinge esse limiar para uma determinada ação, significa que ela deixa de ser eficaz para resolver o problema identificado. Depois de atingir esse limiar, é necessário adotar ações adicionais para cumprir o mesmo objetivo.

2. RESULTADOS

As concentrações normais nas águas doces correspondem a valores entre 0.1 e 10 ppm. Extraordinariamente As projeções dos cenários de alterações climáticas indicam um aumento das temperaturas e, conseqüentemente, da evapotranspiração das plantas, conduzindo ao aumento das necessidades de irrigação (Fig. 1).

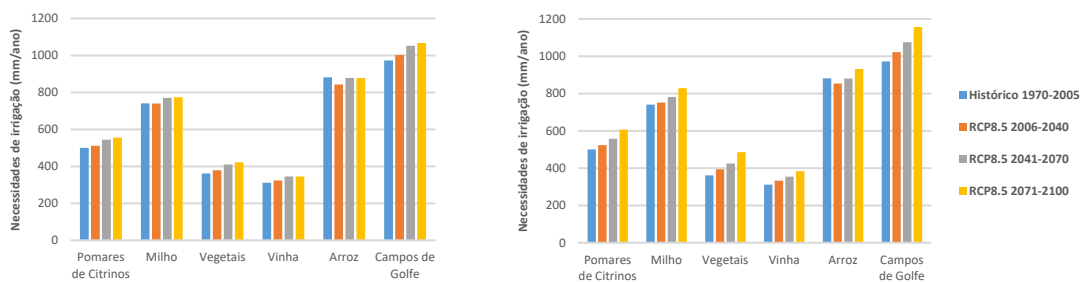


Fig. 1. Resultados médios de todas as zonas modeladas, por uso de solo, para as necessidades de irrigação no cenário RCP4.5 (esquerda) e RCP8.5 (direita)

Projeta-se ainda um declínio acentuado das disponibilidades de água na região do Algarve, no cenário RCP8.5, devido a uma diminuição acentuada na precipitação média anual (Fig. 2).

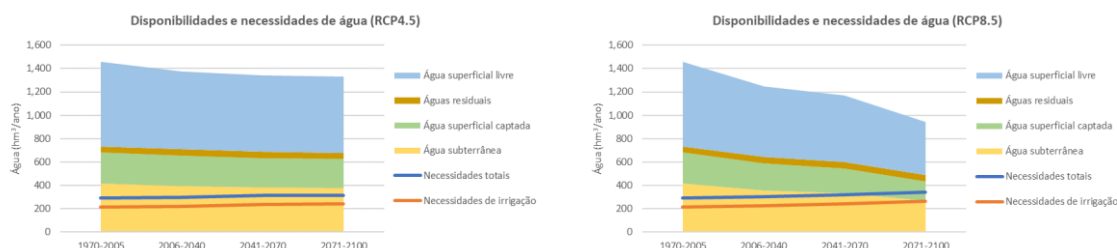


Fig. 2. Resultados agregados de necessidades e disponibilidades de água para o Algarve no cenário RCP4.5 (esquerda) e RCP8.5 (direita)¹

As medidas de adaptação propostas abrangem um grande espectro de ações, resultando de várias interações com as partes interessadas. Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** são sintetizadas as medidas de adaptação, agrupadas por ações. O trabalho de modelação efetuado permitiu a quantificação de água que cada medida permitirá captar/poupar, tendo sido possível proceder a uma estimativa da eficácia de cada medida (em anos).

Tabela 1. Avaliação multicritério das medidas e ações propostas no âmbito dos recursos hídricos

| Ações | Custos | | Eficácia (anos) RCP8.5 | Externalidades | Incerteza | Nº |
|---|---------------|------------|---------------------------|----------------|-----------|------|
| | Investimentos | Manutenção | | | | |
| Implementar uma central de dessalinização | | | | | | |
| - NA | \$\$\$\$ | \$\$\$\$ | NA | ---- | ? | i) |
| Observações: Construção por módulos consoante necessidade. Custos de investimento elevados, mas decrescentes ao longo do século (principalmente relacionado com os progressos expectáveis da tecnologia); externalidades negativas elevadas: setor da energia; biodiversidade; preço da água dessalinizada para agricultura; impactos visuais da construção da central junto à costa. Também é expectável que os efeitos secundários negativos diminuam ao longo do século. Esta medida prevê o estudo de localizações na costa algarvia para descarregamento da salmoura produzida pela central. | | | | | | |
| Melhorar as políticas atuais | | | | | | |
| - Remodelar infraestruturas de rega; - Remodelar sistemas urbanos de abastecimento de água; - Diminuir necessidades de água nos espaços verdes urbanos | \$\$ | \$\$ | 15 - 25 | ++ | ? | ii) |
| Observações: Esforço concertado e continuado na reabilitação e modernização das infraestruturas de rega e para consumo humano, levando à diminuição das perdas de água nessas redes (por ruturas e/ou evapotranspiração). É estimado que esta componente da medida represente uma poupança de entre 59,5 hm ³ /ano e cerca de 68 hm ³ /ano (no final do século para o RCP8.5, devido por exemplo ao aumento da evapotranspiração). Admite também uma diminuição no consumo de água para rega dos espaços públicos, por promover a seleção de vegetação adaptada às condições edafoclimáticas atuais e projetadas em cenários de alterações climáticas para o Algarve, bem como melhorar a eficiência da rega (entre cerca de 1,5 hm ³ /ano e 1 hm ³ /ano no final do século e no RCP8.5). Externalidades positivas associadas à segurança de pessoas e bens e transportes. | | | | | | |
| Construir a barragem de Alportel ou da Foupana | | | | | | |
| - NA | \$\$\$ | \$\$\$ | 35 - 25 | --- | ? | iii) |
| Observações: Considerando a barragem da Foupana, aumento da disponibilidade hídrica entre cerca de 92 hm ³ /ano (atual) e 54 hm ³ /ano (RCP8.5 no final do século XXI); aumento de 14% de água na região do Algarve. | | | | | | |
| Implementar técnicas de retenção de água | | | | | | |
| - Implementar técnicas de retenção de água (paisagens de retenção de água, lagos artificiais permanentes); - Criar bacias de retenção, construção/ reabilitação de açudes e reservatórios | \$\$ | \$\$ | 15 - 5 | ++++ | ????? | iv) |
| Observações: As técnicas de retenção da água da chuva, que incluem lagos artificiais, açudes, bacias de retenção e reservatórios, minimizam inundações e a erosão dos solos, melhoram a qualidade da água e restauram o ciclo hidrológico. A sua eficácia é extremamente elevada para explorações agrícolas pequenas, embora o contributo global para o aumento da disponibilidade dos recursos hídricos seja baixo (estimado através de <i>expert judgment</i> e de forma conservadora, representando 5% da água total livre e variando entre cerca de 19,6 hm ³ /ano e os 13,2 hm ³ /ano no final do século, para o cenário RCP8.5). Externalidades positivas associadas à biodiversidade e saúde humana. | | | | | | |
| Reutilizar águas residuais | | | | | | |
| - Tratar e reutilizar águas residuais para fins agrícolas e menos nobres; - Construção de uma rede dedicada à sua distribuição | \$\$\$\$ | \$\$\$ | 25 - 15 | NA | ??? | v) |
| Observações: A medida representa um aumento de cerca de 54 hm ³ /ano, e inclui a criação de redes específicas de distribuição de águas tratadas e sua manutenção. Custos de investimento elevados e decrescentes ao longo do século (assume-se aqui uma transição progressiva e autónoma para o tratamento terciário ao longo do século). Eficácia moderada (totalidade da água residual tratada cerca de 8% das necessidades atuais). | | | | | | |
| Alterar usos de solo (agricultura)² | | | | | | |
| vi) | | | | | | |

¹ Considerou-se constante, ao longo do século, o consumo doméstico e/ou industrial. Considerou-se ainda que os usos do solo se mantêm, embora as necessidades de rega sejam alteradas devido a uma maior evapotranspiração

² É importante denotar que a medida vi) “diminuir a área agrícola irrigada” foi apresentada apenas no contexto de *workshop*, não sendo uma medida proposta no âmbito da adaptação para aumentar a disponibilidade dos recursos hídricos, exindo outras

15º Congresso da Água

| Ações | Custos | | Eficácia (anos) RCP8.5 | Externalidades | Incerteza | Nº |
|--|---------------|------------|---------------------------|----------------|-----------|----|
| | Investimentos | Manutenção | | | | |
| - Diminuição progressiva de áreas agrícolas irrigadas | \$\$ | \$\$ | ≥ 100 | ---- | ????? | |
| Observações: Substituição das culturas agrícolas existentes por outras que estejam adaptadas ao clima atual e projetado para a região. Custos de implementação e manutenção decrescentes no último período do século, assumindo um aumento da consciencialização por parte do setor agrícola. Externalidades negativas associadas ao impacto social e económico desta medida. | | | | | | |

| | | | |
|-----------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Legenda: | \$ Custo Reduzido | ---- Externalidades Negativas | ? Pouca Incerteza |
| | \$\$\$\$ Custo Elevado | ++++ Externalidades Positivas | ????? Muita Incerteza |

Com base nesta informação, foram criados os caminhos de adaptação propriamente ditos, consistindo numa ferramenta de apoio à decisão que permite selecionar diferentes alternativas para resolver o deficit de recursos hídricos projetados até ao final do século (Fig. 3). É de particular relevância que, no final do século e para o cenário RCP8.5, apenas as medidas “Implementar central de dessalinização” ou “Diminuir a área agrícola irrigada” fornecem soluções para sustentar os consumos atuais.

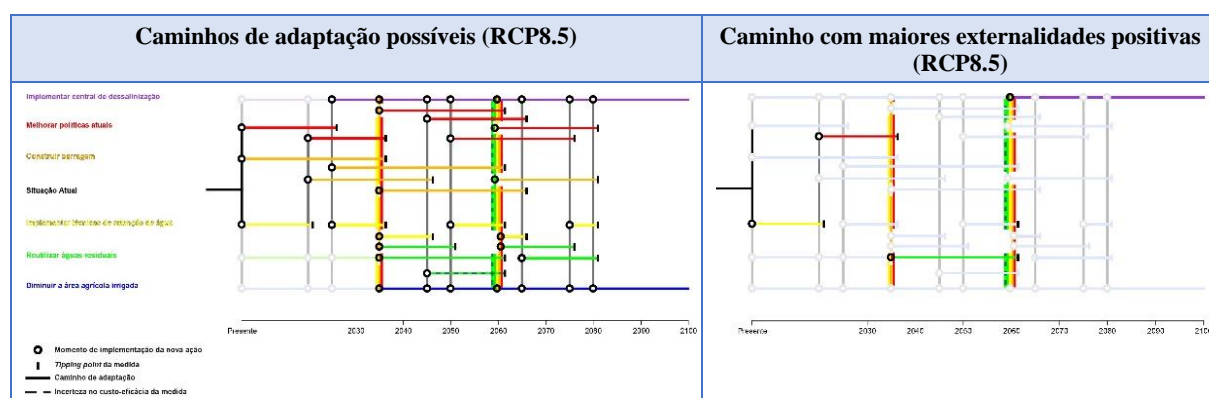


Fig. 3. Representação dos caminhos de adaptação possíveis e caminho com maiores externalidades positivas, considerando as medidas de adaptação propostas a as projeções do cenário climático RCP8.5. Cada medida está representada por uma cor distinta³

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Reg. Environ. Chang. 14, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Kwadijk, J.C.J., Haasnoot, M., Mulder, J.P.M., Hoogvliet, M.M.C., Jeuken, A.B.M., van der Krogt, R.A.A., van Oostrom, N.G.C., Schelfhout, H.A., van Velzen, E.H., van Waveren, H., de Wit, M.J.M., 2010. Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands. Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang. 1, 729–740. <https://doi.org/10.1002/wcc.64>

medidas desenvolvidas no âmbito deste estudo, que pretendem contribuir para minimizar as consequências da escassez de água, através de ações que diminuam as necessidades no setor agrícola

³ Na leitura dos caminhos de adaptação, é importante ter em conta que uma determinada medida pode ser menos eficaz ao longo do tempo. Por exemplo, a construção de uma barragem terá uma diminuição progressiva na capacidade de disponibilizar água para o sistema, devido à menor precipitação projetada ao longo do século XXI

15º Congresso da Água

- Kwakkel, J.H., Haasnoot, M., Walker, W.E., 2015. Developing dynamic adaptive policy pathways: a computer-assisted approach for developing adaptive strategies for a deeply uncertain world. *Clim. Change* 132, 373–386. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1210-4>
- Stigter, T.Y., Nunes, J.P., Pisani, B., Fakir, Y., Hugman, R., Li, Y., Tom, S., Ribeiro, L., Samper, J., Oliveira, R., Monteiro, J.P., Silva, A., Tavares, P.C.F., Shapouri, M., Cancela da Fonseca, L., El Himer, H., 2014. Comparative assessment of climate change and its impacts on three coastal aquifers in the Mediterranean. *Reg. Environ. Chang.* 14, 41–56. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0377-3>