

Capítulo IV

*Importante nexo nas paisagens húmidas do
sudoeste de Portugal*



IMPORTANTE NEXO NAS PAISAGENS HÚMIDAS DO SUDOESTE DE PORTUGAL

Manuel João Pinto¹; Maria Conceição Freitas²; Maria do Rosário Carvalho²

¹ Departamentos de Biologia Vegetal e Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal (mjpinto@fc.ul.pt); ² Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências e Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Portugal (cfreitas@fc.ul.pt; mdrcarvalho@fc.ul.pt).

RESUMO

Por todo o mundo, as paisagens com pequenas lagoas isoladas enfrentam ameaças face à galopante capacidade transformadora humana, que tem conduzido a modificações substanciais e frequentemente à sua destruição. Uma parte considerável do território planáltico do Sudoeste de Portugal corresponde a uma destas paisagens húmidas na qual, sob um clima com alargado período seco, pontificam inúmeras lagoas e outras zonas húmidas. Com o desenvolvimento de um projecto agrícola de irrigação de 12000ha, criado no início dos anos 60 do séc. XX, as zonas húmidas sofreram um acentuado declínio devido à artificialização sem precedentes que atingiu o sistema rural preexistente. Neste estudo, a paisagem húmida original anterior ao projecto de irrigação foi reconstituída e caracterizada com base nos primeiros levantamentos aerofotográficos de 1947 e 1958, e com base nos dados espectrais obtidos pelo Landsat 5 TM, em dois momentos do ano de 1987, nas gamas radiométricas do visível, infravermelho-próximo e emissividade, tendo sido calculado o Índice Perpendicular de Humidade do Solo, em combinação com a análise geomorfológica do relevo para determinação das depressões e sua profundidade baseada em dados de um modelo digital de elevação. Esta informação possibilitou a interpretação de zonas de drenagem e recarga, sugestivas do movimento subsuperficial da água. Possibilitou ainda, avaliar a relação estatística entre a profundidade das lagoas e o respectivo grau de hidratação, esclarecer as diferenças entre vales (ou “brejos”) e lagoas, e focar a conectividade hidráulica como elemento de interacção entre os vários elementos hidrológicos. Esta metodologia procurou mitigar a incerteza resultante da elevada permeabilidade dos solos arenosos e do deficitário número de cursos de água de escorrência superficial, procurando explicações para o funcionamento hidrológico. A conectividade hidrológica e suas transformações são discutidas e a sua relevância relacionada com os serviços ambientais prestados em especial na preservação da biodiversidade.

Palavras-chave: Paisagem húmida, solos arenosos, conectividade hidráulica, serviços ambientais.

Important nexus in the southwestern Portuguese wetscapes

ABSTRACT

At a world scale, landscapes with geographic isolated wetlands are threatened due to the overwhelming human transforming capacity, leading to dramatic changes and often its destruction. A considerable extent of the Portuguese Southwest plateau corresponds to one of this wetscapes-type, under which numerous wetlands are found influenced by a dry climatic period. During the 1960s a new implemented 12000ha irrigation project have been leading to a serious wetland decline due to unprecedented scale of change and artificialization of the prevalent rural ecosystem. In this study, wetland boundaries were reconstituted and characterized, based on before-irrigation 1947 and 1958 photo-image interpretation, followed by the calculation of the Perpendicular Soil Moisture Index based on remote sensing analysis of Landsat 5 TM spectral products, which include, visible, near infrared and emissivity spectral data obtained in two climatic moments of 1987. This information in combination with depressional terrain analysis based on DEM data, allowed for the interpretation of draining and recharging areas, suggesting groundwater movement in the soil. The statistical interaction between pond depth and soil moisture loss during the period of analysis was also addressed, focusing the hydraulic connectivity between wetland elements. The different hydrological functionality among ponds and valleys was pointed out statistically. This methodology aims to mitigate the uncertainty due to high permeable sandy terrain, allowing for fast infiltration and drainage, consequently, lacking running surface waters. Wetland connectivity and changes due to irrigation project are discussed, and its relevance linked to the decrease of environmental services provided, namely in the preservation of biodiversity.

Keywords: wetscapes, sandy soils, hydraulic connectivity, environmental services.

INTRODUÇÃO

Por todo o mundo multiplicam-se as regiões cujas zonas húmidas confinadas, designadamente lagoas e charcos, estão sujeitas a alterações significativas como resultado directo da capacidade transformadora humana. A modificação destes ecossistemas atinge uma escala planetária e é foco de preocupações à escala global, veja-se a título de exemplo INDERMUEHLE *et al.* (2008); ZACHARIAS & ZAMPARAS (2010); ANDRESEN & LOUGHEED (2015); HILL *et al.* (2018); RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS (2018). Este tipo de zonas húmidas proporciona funções, valores e serviços relevantes e assim, num quadro de alterações globais do Planeta, torna-se imperativo reavaliar as acções que conduzem à modificação e declínio destes ecossistemas. Por outro lado, no seu conjunto, detêm uma flora e fauna diversas, decisivas para o esforço de conservação biológica.

Em Portugal continental, a região planáltica Sudoeste é um desses casos, onde outrora afluíam inúmeras zonas húmidas num contexto de uso humano condicionado pela drenagem deficiente, prolongado encharcamento dos terrenos e baixa densidade populacional (QUARESMA, 2003). Este contexto irá no entanto alterar-se no início dos anos 60 do século XX, pelo desenvolvimento de um grande projecto estatal de fomento agrícola de cerca de 12000ha, actualmente com a designação de Aproveitamento Hidroagrícola do Mira (AHM), que tem vindo a desencadear o declínio das zonas húmidas em favor da intensificação agrícola que, usando poderosos artificialismos, consegue as transformações necessárias para o cultivo de determinados produtos hortofrutícolas economicamente valorizados no mercado global. Este projecto baseia-se no aumento da capacidade de irrigação através da captação e transporte da água a partir de uma albufeira situada a cerca de 30km da área beneficiada pela irrigação. A grande disponibilidade de água aliada às condições climáticas favoráveis conduziu à intensificação agrícola que procurou e procura ultrapassar através de diversos artificialismos, os condicionalismos naturais da

drenagem deficiente, encharcamento e hidromorfia. Contudo, com o desenvolvimento da consciência ambiental, a região Sudoeste é legalmente classificada no final dos anos 80, sendo reconhecida a sua manifesta relevância para a conservação biológica e preservação ambiental, portuguesa e europeia. Constituiu-se, assim, uma Área Protegida (Decreto-Lei n.º 241/88, de 7 de Julho), com natureza pública, fundação e regulamento legais, que passou a incluir as principais zonas beneficiadas por aquele projecto agrícola. O estatuto desta Área, inicialmente de Paisagem Protegida, e a partir de 11 de Dezembro de 1995 Parque Natural (Decreto Regulamentar n.º 33/95), previa a harmonização dos diferentes interesses, mas na realidade tem surgido conflitualidade, opondo a nova agricultura face aos imperativos conservacionistas.

As paisagens húmidas do Sudoeste planáltico de Portugal não estarão ainda suficientemente valoradas e por isso, neste estudo procura-se conhecer um aspecto negligenciado, a interacção dos vários elementos importantes para o seu funcionamento hidrológico. Em particular, procura-se identificar as zonas de recarga, escoamento e armazenamento e a sua relação com a geomorfologia, num momento temporal de referência, anterior ao maior desenvolvimento do referido projecto agrícola ocorrido sobretudo após 1989. Em síntese, procuram-se compreender as interacções hidrológicas basilares da paisagem húmida do Sudoeste planáltico.

AS ZONAS HÚMIDAS DO PLANALTO SUDOESTE

No sudoeste planáltico de Portugal e em particular na área de estudo deste trabalho mapeada na Figura 1, as zonas húmidas distribuem-se por todo o território, simplificada e representado por uma faixa de largura média de cerca de 6 km (na área de estudo variando de 4 a 9.2km), entre a costa atlântica e os relevos interiores. A superfície aplanada do relevo deste território é caracterizada por um declive geral muito suave de cerca de 2.5° e orientação NW-SE, expondo areias, arenitos, conglomerados e argilitos das coberturas detríticas

plio-pleistocénicas (OLIVEIRA, 1984). Em particular os materiais arenosos, maioritariamente de natureza quartzosa, são bastante permeáveis e propícios à infiltração, percolação, recarga e escoamento subsuperficial e subterrâneo.

As formações cenozóicas de cobertura assentam sobre uma superfície de abrasão marinha talhada em materiais metassedimentares xistosos e xistograuváquicos da série de Flysch carbónica do Sul de Portugal (OLIVEIRA, 1984) caracterizada por baixa permeabilidade. O contacto entre os dois meios é responsável por parte da descarga, nomeadamente em diversas nascentes naturais (MONTEIRO *et al.*, 2019). São também reconhecidos “impermes” de diversas naturezas, isto é zonas de baixa condutividade hidráulica, quer relacionados com a evolução pedológica em solos dependentes da migração simultânea do Al e Fe e sua imobilização, endurecimento e cimentação num horizonte do perfil (PIRES & OLIVEIRA, 1989), quer com a circulação de águas em contextos paleo-ambientais, precipitação, concrecionamento e cimentação por espécies químicas de Fe (ABREU, 1990; PIMENTEL, 1990; SAUER, 2015). Num estudo efectuado num conjunto alargado de lagoas temporárias do Planalto Sudoeste, verificou-se na grande maioria dos casos elevado grau de dependência de águas subterrâneas, pois o seu hidroperíodo é, regra geral, superior ao que corresponderia à simples acumulação de água da chuva em depressões de terrenos pouco permeáveis (SALVADOR *et al.*, 2011).

A área de estudo enquadra-se na Massa de Água Subterrânea Zona Sul-Portuguesa da Bacia do Mira e está associada ao aquífero regional Plio-Quaternário do Litoral Alentejano (ARH-Alentejo, 2011), sob um clima mesotérmico húmido do tipo Csb (classificação de Köppen-Geiger), com alargado período seco durante o Verão (REIS & GONÇALVES, 1987). A temperatura, precipitação e insolação médias anuais são respectivamente de cerca de 18°C, 736 mm, 2024 10kJ·m⁻²·dia⁻¹ (NINYEROLA, 2005), com a média mensal das temperaturas mínimas extremas em torno de 0°C, as quais, ocorrem pontualmente no trimestre de Inverno. O período seco é longo, de cerca de 4.5 meses, coincidente com os meses de maior insolação, desde o final da Primavera ao início do Outono.

Diferenciam-se os seguintes tipos de zonas húmidas planálticas: lagoas, vales e respectivas

vertentes, planos húmidos e canais. As lagoas são iminentemente depressionárias com origem natural, de fundo tendencialmente horizontal, normalmente distanciadas e de pequena dimensão, podendo surgir agregadas em conjuntos de lagoas à escala sub-regional. O seu enchimento não depende de um fluxo permanente de água, embora algumas lagoas possam localizar-se no fundo de vales. Apresentam um contorno tendencialmente circular (a ovóide), podendo ser também oblongo e frequentemente recurvado sob o eixo maior. No formato oblongo podem surgir variações, sugerindo a combinação de dois destes elementos. São circundadas por terrenos mais elevados com afastamento vertical menor que 7m e separados por vertentes de reduzido pendor. Dada a suavidade da depressão, durante os picos de precipitação pode ocorrer a inundação de uma área envolvente com dimensões variáveis, contribuindo para a sua conectividade superficial. A formação de uma coluna de água nas lagoas relaciona-se com a precipitação, evidenciando uma duração distinta de local para local, variável também à escala da década. Grande parte do ano a sua superfície apresenta-se pouco húmida, e assim esta marcada alternância de uma fase húmida e outra seca suscita a colonização por plantas e animais anfíbios bastante especializados, com distribuição localizada.

Os vales são conhecidos localmente pela designação de ‘brejos’, revelando-se como elementos depressionários com um eixo, de forma longamente-oblonga, normalmente pouco profundos com fundo aplanado, tendencialmente paralelo à superfície geral dos terrenos encaixantes. O fundo dos brejos evidencia inclinação concordante com relevo geral. Concentram e conduzem a escorrência superficial nos picos de precipitação, registando-se na morfologia de alguns, uma incisão variavelmente profunda que pode atingir formações subjacentes impermeáveis. Encaixam-se em alinhamentos contínuos do relevo e em relação à altimetria dos terrenos adjacentes podem afastar-se por distâncias superiores a 7m. As vertentes dos brejos (e também de algumas das lagoas) captam a descarga hidráulica lateral, suscitando a instalação de vegetação higrófitas nas suas margens. Em certos troços podem formar-se ambientes paludosos, sugerindo intensa hidratação durante o ciclo anual. De modo geral, o grau de

desidratação em período meteorológico seco é comparativamente menos intenso que nas lagoas.

Na morfologia dos brejos é distintivo o eixo principal de dimensão pelo menos mais de 5 vezes superior à do eixo transversal. Quando estas duas dimensões se aproximam e a profundidade não é marcada, pode gerar-se ambiguidade na distinção entre lagoas e brejos usando critérios puramente morfológicos. Esta é uma situação frequente na área de estudo e que tende a agudizar-se nas grandes zonas húmidas que por isso correspondem a situações intermédias entre brejos e grandes lagoas. Parece existir um gradiente morfo-hidrológico entre os extremos brejo e lagoa.

Os planos húmidos são outro tipo de zona húmida, aos quais correspondem zonas aplanadas pouco deprimidas, com eixo inclinado ou subplano, e que exibem indicadores de prolongada presença de água próximo da superfície, embora não condicionando o desenvolvimento de vegetação por norma cultivada. Hipoteticamente os planos húmidos correspondem a zonas preferenciais de movimento da água próximo da superfície, em resposta a maior variabilidade das características hidrogeológicas, com destaque para a condutividade hidráulica na zona saturada que pode contribuir para a formação de lenticulas de solo sobre-hidratado, não directamente relacionadas com impermes profundos (LIN, 2012 e, como exemplo em podzois, LUKÁŠ, 2018).

Os canais correspondem a elementos artificiais construídos para promover o enxugo dos terrenos. Ocorrem diversas gerações de canais, desde aqueles que são pouco profundos anteriores a 1947, outros substancialmente mais profundos escavados na sequência da instalação do projecto agrícola nos anos 60, outros ainda recentemente escavados no quadro da nova estratégia e condução agrícola. Os canais ligam zonas altas a baixas (ou podem também instalar-se só em zonas baixas sem seguimento, funcionando como locais de concentração da humidade) e visualizam-se por alinhamentos lineares com centímetros a poucos metros de largura. Ligam também algumas lagoas vizinhas para facilitar a escorrência entre elas. Contrariamente, os canais modernos, rasgando a estrutura interna do meio hidrogeológico, drenam profunda e eficazmente áreas significativas das zonas húmidas.

METODOLOGIA

Mapeamento de zonas húmidas

Foi seleccionada uma área de estudo apresentada na Figura 1, representativa da paisagem húmida do Sudoeste planáltico com uma área de aproximadamente 5800ha. O seu limite interior é estabelecido pela faixa de separação morfológica das bacias de drenagem, sensivelmente acompanhando as cotas altimétricas mais elevadas. A ocidente é limitada pela linha de costa oceânica.

A Figura 1 apresenta também as lagoas e brejos (vales), visualizando-se o seu relacionamento espacial em relação a zonas variavelmente húmidas, caracterizadas no mapa da diferença aritmética entre o índice de humidade do solo IPHS a 10 de Abril e a 28 de Maio de 1987 (v. Metodologia).

Até à entrada da década de 1960, a convivência da agricultura com as zonas húmidas possibilitava a sobrevivência do biota húmido. Assim, a melhor definição destes espaços derivou da análise das imagens aéreas anteriores ao projecto agrícola, concretamente de 1947 e 1958 à escala aproximada de 1/30000. Esta informação em filme de sensibilidade pancromática codificada em 256 tons de cinzento, corresponde aos primeiros levantamentos aéreos globais para o território nacional e procede do arquivo militar português (Instituto Geográfico Militar, IGEOE), tendo sido adquiridos produtos digitalizados a partir dos fotogramas em celuloide, posteriormente geometricamente corrigidos para uma resolução de 1m, registados no *datum* WGS 1984 e integrados num Sistema de Informação Geográfica alojado na plataforma ArcGIS (ESRI Portugal). Numa primeira fase as várias zonas húmidas foram manualmente mapeadas por inspecção visual, procurando-se a melhor definição e contorno dos limites de cada elemento, usando preferencialmente as imagens de ambas as séries temporais. O uso das duas imagens permite mitigar o efeito da perturbação agrícola, aumentando a probabilidade de pelo menos nalguma das imagens serem encontrados indícios das zonas húmidas. Como critérios de delimitação consideram-se os seguintes:

a) o tipo de vegetação (coloração e textura próprios), b) o contraste do solo à escala local (procura de indícios cromáticos de hidromorfia após remoção da vegetação no decurso de actividades agrícolas e florestais), c) padrões agrícolas específicos de proximidade a fontes de humidade e desenvolvimento de canais, d) povoamentos arbóreos (indicador de xericidade).

Posteriormente foram associadas informações decorrentes do mapeamento automático de depressões no relevo, usando um Modelo Digital de Elevação (MDE), ASTER GDEM versão 3, NASA (*EOSDIS Land Processes DAAC*), na forma de um mapa de altitudes em grelha regular de píxeis de resolução espacial de aproximadamente 27m, referenciado ao *datum* WGS1984/EGM96.

O melhoramento na detecção das zonas húmidas decorreu assim da aplicação de dois métodos essenciais: a) o cálculo da Diferença Média à Superfície do Relevo (DMSR) e a Análise Estocástica de Depressões (AED). A DMSR avalia a distância métrica entre a altitude num determinado pixel do MDE e a altitude média estimada através de uma janela móvel em relação à qual aquele pixel é central. Por sua vez, a análise estocástica AED, estima a verossimilhança que uma depressão verdadeira do relevo em face da incerteza característica do MDE possa ser validada e deste modo diferenciada de artefactos próprios da construção do MDE. A AED determina a magnitude das depressões considerando a incerteza própria do MDE devido a erros aleatórios de altitude no que respeita à forma da depressão (LINDSAY & CREED, 2006). No processo de cálculo da AED foram usados dados auxiliares derivados do cálculo multi-escalonar do Desvio Máximo de Altitude (DMA), que produz a assinatura da escala do relevo e determina o modo como uma determinada forma se diferencia das circundantes num processo de amostragem, variando sequencialmente a área de avaliação (LINDSAY *et al.*, 2015). No cálculo do DMA o algoritmo correu sequencialmente com janelas móveis de diâmetro compreendido entre 81 e 675m.

A AED decorre de um algoritmo que promove permutações de Monte Carlo para mapear as depressões, assumindo que cada pixel do MDE é espacialmente autocorrelativo e tem associada uma probabilidade de erro que segue uma distribuição

com média 0 e uma magnitude pré-definida de desvio padrão (magnitude do erro). Este algoritmo foi activado na plataforma *WhiteBoxTools*, através da qual a cada iteração num conjunto de 1000 é estimada a probabilidade de que cada pixel do MDE pertença a uma depressão não artefactual (LINDSAY & CREED, 2006).

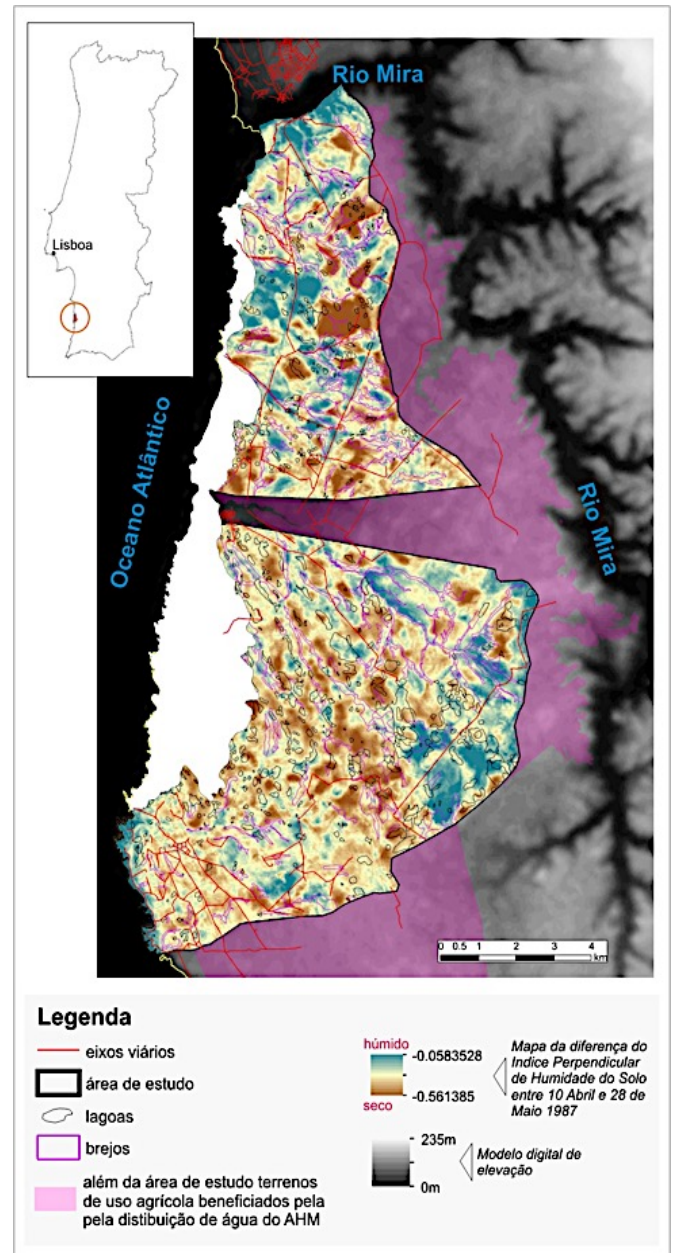


Figura 1. Área de estudo no Planalto Sudoeste, integrada no Aproveitamento Hidroagrícola do Mira (AHM) por sua vez integrado no Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina. Da área de estudo não fazem parte as coberturas eólicas (manchas a branco), representadas por sistemas paleodunares que atingem cotas altimétricas muito mais elevadas que os terrenos planálticos adjacentes, e que deverão corresponder a um distinto ambiente hidrológico

A compreensão final das lagoas foi depois complementada pelo cálculo da DMSR em metros, diferença para a qual foi usada a mesma plataforma atrás indicada, correndo o algoritmo com janelas móveis de dimensão crescente de diâmetro. Cada superfície de DMSR obtida foi depois comparada visualmente com o mapa de lagoas e escolhida aquela cujos valores de magnitude nula na vizinhança das lagoas se aproxima melhor do seu rebordo desenhado manualmente (valores negativos correspondem a espaços no interior das depressões e valores positivos correspondem a espaços no exterior). A superfície de DMSR seleccionada representa um nível ideal de estimação do rebordo das lagoas, a partir do qual estas depressões se configuram como rebaixamentos ou escavações, podendo ser medida a sua profundidade em metros. Foi usada uma janela móvel de cerca de 243m para estimar a DMSR.

A mesma plataforma *WhiteBoxTools* foi usada para calcular a inclinação do rebaixamento das lagoas usando o algoritmo de HORN (1981).

Deteção da humidade do solo – análise espectral

A humidade do solo foi estimada pelo cálculo do Índice Perpendicular de Humidade do Solo (IPHS) (SHAFIAN & MAAS, 2015), com base na informação espectral obtida a partir dos sensores transportados a bordo do satélite Landsat 5 TM, lançado a 1 de Março de 1984. A informação espectral recolhida corresponde ao ano de 1987, em virtude de: a) nesse ano a rega agrícola ter sido comparativamente menor (Figura 2), por isso, putativamente menos influente na hidratação e escorrência naturais; b) a agricultura praticada não ter sofrido ainda acentuadas transformações decorrentes do avultado financiamento resultante da adesão de Portugal à Comunidade Económica Europeia (CEE, actualmente União Europeia), com início formal a 12 de Junho de 1985; c) a informação espectral seleccionada para análise do IPHS ter decorrido em suficientes condições de transparência atmosférica; d) pluviometricamente o ano hidrológico de 1986-87 ter sido normal na região.

Após cerca de 26 anos do projecto de

Aproveitamento Hidroagrícola do Mira (AHM), em 1987, os ecossistemas exibiam ainda em amplas áreas traços originais suficientes para a análise proposta. Acresce ainda que no ano de 1987, a área regada foi sensivelmente mais pequena que nos 3 anos anteriores, após o início da missão do referido satélite (Figura 2a). Nesta figura os dados de área regada anualmente provêm de ASSOCIAÇÃO DE BENEFICIÁRIOS DO MIRA (2019). No que refere a Figura 2b cujos dados provêm do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos [<https://snirh.apambiente.pt/>]), o primeiro momento seleccionado para aquisição da informação espectral ocorre após mais de 2/3 da precipitação do ano ter já caído, enquanto que o segundo momento ocorre em período seco.

Os produtos espectrais analisados neste trabalho cedidos pela *U.S. Geological Survey (USGS) Earth Resources Observation and Science (EROS) Center*, foram obtidos durante as passagens do satélite sobre a área de estudo, respectivamente a 10-04-1987 (10:37 GMT) e 28-05-1987 (10:39 GMT), e foram processados através da versão de *software* LPGS 12.8.3, a 13 e 12-02-2017 incorporando as correcções geodésicas e radiométricas de nível L1TP.

O índice de humidade do solo IPHS baseia-se na conjugação em espaços algébricos normalizados convergentes de, por um lado, a informação espectral nas bandas do vermelho (0.63 - 0.69 μ m, 30 m) e infravermelho próximo (0.76 - 0.90 μ m, 30 m), e por outro, a informação da emissividade terrestre na banda térmica (10.40 - 12.50 μ m, 30m [120m]). Este método com estreita relação com o modelo do trapézio termo-óptico, pode ser aplicado aos dados brutos que constituem as bandas dos produtos espectrais (dados em Valores Digitais, VD). Neste trabalho os dados em VDs das bandas de vermelho e infravermelho foram previamente convertidas para radiância espectral no sensor (W/m². μ m), posteriormente convertidas para reflectância à superfície usando o método convencional da correcção do cosseno do zénite solar (CHAVEZ, 1996). No caso da banda térmica, as correcções atmosféricas procederam do método de subtracção do objecto escuro (MORAN *et al.*, 1992).

Em particular a emissividade, considerada uma importante fonte radiante útil na detecção remota de água (KAPLAN *et al.*, 2019), representa a eficiência na libertação através de radiação térmica (calor), da energia retida pela Terra. Esta grandeza física é mais elevada quando um solo irradiado pelo Sol se apresenta hidratado. Nos solos arenosos a variação de emissividade é particularmente grande devido à aderência da água às partículas constituintes do meio arenoso (MIRA *et al.*, 2010), o que facilita a detecção clara de variações entre zonas húmidas e secas mesmo em pequenas escalas espaciais.

Para conhecer a importância de cada um dos dois factores preditivos, respectivamente, inclinação da base da lagoa e a sua profundidade em relação à

superfície topográfica local, na variação da desidratação dos solos entre Abril e Maio, foi aplicado uma Árvore de Regressão através do algoritmo de BREIMAN *et al.* (1984) activado na plataforma Tanagra (RAKOTOMALALA, 2005), em 138 lagoas extraídas aleatoriamente. Este é um método de inferência estatística de *machine learning*, através do qual são obtidas previsões do número de lagoas em função do índice de humidade do solo, quando o espaço das variáveis preditivas vai sendo sucessivamente dividido em dois, desde conjuntos maiores com grande disponibilidade de informação, até conjuntos mais pequenos menos informativos e influentes e que discriminam situações menos relevantes para análise.

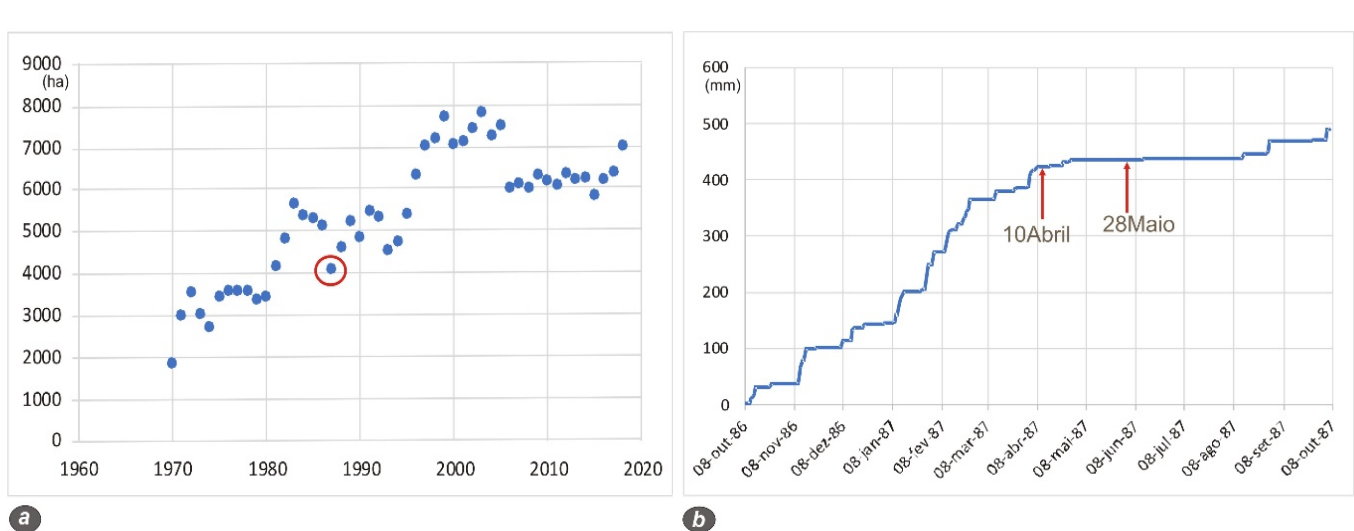


Figura 2. Gráfico a) de variação da área regada desde o início do AHM em 1970 até 2018. Salienta-se com um círculo vermelho o ano de 1987 seleccionado para análise. Gráfico b) da variação pluviométrica acumulada ao longo do ano hidrológico de 1986-87. São assinaladas as datas de aquisição dos produtos espectrais Landsat 5 TM.

A variação espacial isotrópica dos gradientes de desidratação foi analisada por técnicas de *Wombling* aplicadas ao mapa de diferença do índice de humidade IPHS. Estas técnicas procuram identificar transições bruscas e mapear fronteiras (FITZPATRICK *et al.*, 2010). Estas fronteiras em relação aos limites das lagoas e dos brejos, sugerem variações assintóticas da humidade, sinalizando diferentes ambientes hidrogeológicos com prováveis diferenças de condutividade hidráulica. Estas fronteiras testemunham que a água se movimentou no solo mais rapidamente num dos lados (do lado do terreno que experimentou desidratação durante o

período de análise) e mais lentamente no lado oposto, no terreno mais húmido. Por oposição, a ausência da indicação destas fronteiras sugere a menor variação da humidade entre terrenos adjacentes durante o período analisado, dependendo-se a existência de maior continuidade na sua constituição. No presente estudo foi utilizado o algoritmo *Wombling (Edge Detection)* integrado na plataforma SAGA-GIS (CONRAD *et al.*, 2015), calculado através de uma janela móvel com cerca de 81m, portanto à escala local, e sensibilidade suficiente para detectar as fronteiras mais proeminentes.

RESULTADOS

Nas imagens de 1947 e 1958 é visível o mosaico de ecossistemas planálticos formado pelo uso agrícola (parcelas de tons claros) e ocupação por vegetação espontânea (tons escuros) (Figura 3a). Nestas imagens a cor escura resulta da maior densidade com que as plantas, fortemente absorventes das componentes vermelha e azul do espectro luminoso, colonizam o espaço. A cor clara resulta da reflexão a partir do solo coberto por vegetação herbácea em fase senescente, ou ainda, com revestimento herbáceo empobrecido após a colheita da produção.

Em estádios de maior integridade dos ecossistemas húmidos, a vegetação escura nas margens era constituída por juncais (espécies de consistência herbácea, marcadamente de *Juncus*) e urzais mistos (constituídos por plantas lenhosas dos géneros *Erica*, *Genista* e *Cistus*). Estas plantas são dotadas de forte enraizamento e persistente regeneração vegetativa e também por semente, cuja remoção seria difícil face aos meios disponíveis à época. No interior dos espaços lagunares a cor escura poderá sugerir relvados com dominância provável da gramínea herbácea *Agrostis stolonifera*. Várias lagoas e brejos exibem faixas de corte da vegetação espontânea, provavelmente para uso na alimentação animal.

Em alguns locais, graças a alguma mecanização, era possível a remoção da vegetação original para fomento de cultivos, sobretudo cerealíferos. Nos brejos, devido à sua maior dimensão, a vegetação com dominância de lenhosas recobria grande parte das áreas.

São também visíveis alguns canais de drenagem sobretudo de construção precária e reduzido comprimento. Com o advento do projecto agrícola do AHM, alguns destes segmentos e também outras linhas naturais de escorrência ocasional foram reorganizados em valas de drenagem superficial, posteriormente mapeados na 2ª edição da série de cartografia militar M888 1/25000 de 1988 sob o item de “linhas de água”.

Foram mapeadas 485 lagoas, das quais 123

apresentavam vegetação espontânea com elevado grau de conservação. Estes valores contrastam com a situação avaliada em 1992 através de um levantamento de terreno, no qual foram registadas 73 lagoas na área de estudo (FARIA *et al.*, 1992), algumas destas já duvidosas por artificialização da sua vegetação ou por alteração da morfologia do terreno.

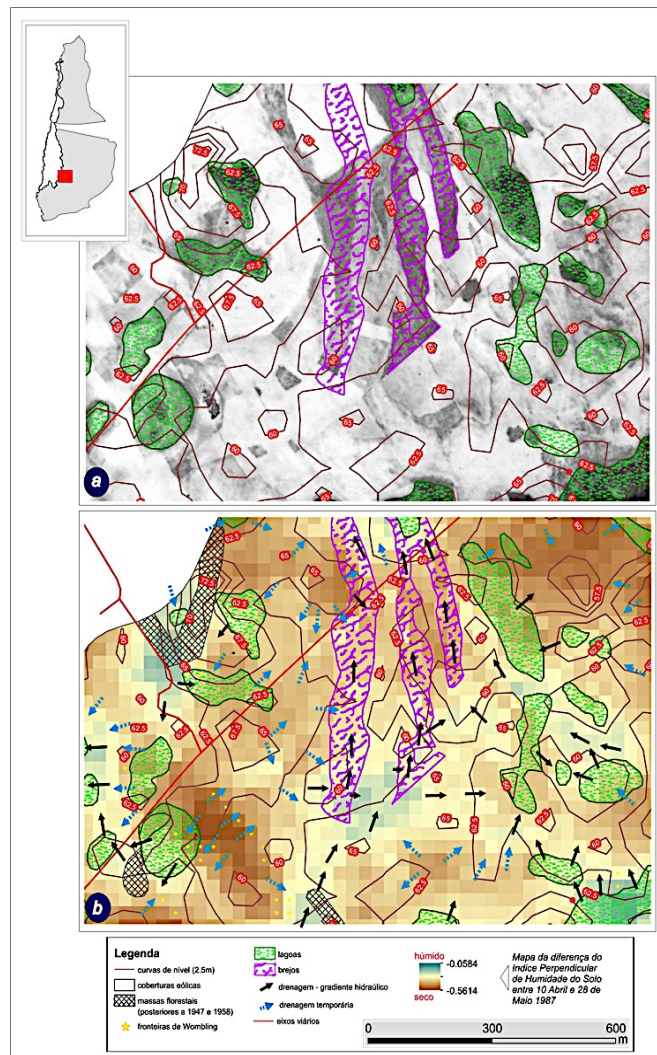


Figura 3. Detalhe de uma pequena zona próxima da aldeia do Cavaleiro no Sul da área de estudo, evidenciando a proximidade e nalguns casos adjacência de lagoas e brejos, contextualizados no relevo através das curvas de nível equidistantes por 2.5m. Em a) evidencia-se a relação das lagoas e brejos com a vegetação à data de 1947 (Primavera). Em b) são indicados os sentidos prováveis da drenagem nas zonas drenantes e o sentido putativo da circulação da água subterrânea, desde locais persistentemente húmidos elevados para locais mais baixos que experimentaram alguma desidratação durante o período em análise. As curvas de nível derivaram dos dados altimétricos não pré-processados do modelo digital de elevação.

Em 2005, um novo levantamento de campo levado a cabo pelo Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina, conduziu ao registo de 61 lagoas, a generalidade já em bastante mau estado de conservação.

Variação do índice de humidade do solo IPHS

Os mapas do índice de humidade de 10 de Abril de 1987 e 28 de Maio do mesmo ano, descrevem dois momentos distintos da drenagem e progressão da evapotranspiração e também no ciclo fenológico da vegetação principalmente a herbácea de ciclo biológico anual e bienal. A humidade do solo vai progressivamente diminuindo, convergentemente com a redução da frequência de episódios de precipitação, aumento da insolação e elevação de temperatura atmosférica. Assim, o mapa da diferença do IPHS evidenciado nas Figuras 1 e 3b revela um mosaico de hidratação, mostrando locais que permaneceram húmidos e locais que agravaram a secura durante o período em análise.

À data de aquisição dos produtos espectrais,

menos de 10% da área era ocupada por maciços florestais não representados na figura, susceptíveis de modificarem os valores de emissividade, sugerindo assim nesses locais menor desidratação.

Da aplicação da Árvore de regressão para conhecimento da influência dos dois factores preditivos, inclinação da base da lagoa e a sua profundidade na variação da desidratação do solos entre Abril e Maio, resultou um dendrograma de itens sequenciados, cujos ramos mais próximos da origem relevam limiares mais abrangentes dos factores seleccionados como importantes. A quantidade de variância explicada pela regressão dos factores apontados sobre a diferença do índice de humidade entre Abril e Maio é no entanto baixa, $R^2=0.1$. Verifica-se que para uma estrutura de 3 ramos do dendrograma, a inclinação da base das lagoas não é globalmente importante não sendo identificada, e assim, a variabilidade da desidratação é discriminada pelos diferentes níveis de profundidade do rebaixamento da superfície do relevo.

Tabela I. Dendrograma descritivo dos três primeiros ramos hierárquicos resultante da aplicação da Árvore de regressão aos dados da diferença do índice de humidade IPHS entre Abril e Maio [média(Abril-Maio)] e o rebaixamento topográfico das lagoas (m). Os valores mais negativos do IPHS indicam maior perda de humidade tendo por referência o valor 0.0000 que corresponde ao equilíbrio entre perdas e ganhos durante o período de análise

Profundidade < -5.38m
Profundidade < -5.43m
Profundidade < -6.96m, então média(Abril-Maio) = -0.0428, prevendo-se 4 lagoas [2.90%]
Profundidade >= -6.96m, então média(Abril-Maio) = -0.0809, prevendo-se 11 lagoas [7.97%]
Profundidade >= -5.43m, então média(Abril-Maio) = -0.1633, prevendo-se 3 lagoas[2.17%]
Profundidade >= -5.38m
Profundidade < -1.97m
Profundidade < -3.14m, então média(Abril-Maio) = -0.0625, prevendo-se 56 lagoas [40.58%]
Profundidade >= -3.14m, então média(Abril-Maio) = -0.0474, prevendo-se 29 lagoas [21.01%]
Profundidade >= -1.97m
Profundidade < -1.90m, então média(Abril-Maio) = -0.1365, prevendo-se 2 lagoas [1.45%]
Profundidade >= -1.90m, então média(Abril-Maio) = -0.0679 prevendo-se 33 lagoas [23.91%]

Na Tabela I observam-se dois limiares importantes no nível de profundidade das lagoas. Um primeiro a -5.38 m e outro a -1.97m. Verifica-se também a ausência de proporcionalidade entre a profundidade e a desidratação decorrida entre Abril e Maio, embora, tendencialmente, níveis mais profundos sejam acompanhados por menor desidratação. No entanto, é particularmente

apetivo o baixo grau de desidratação de -0.0679 registado num conjunto extenso de lagoas pouco profundas.

A menor importância da inclinação da base das lagoas nos níveis de hidratação, contrastará com os brejos onde esta variável é importante. Este facto confirma o carácter depressionário das lagoas.

Estes resultados sugerem a não total

proporcionalidade entre a quantidade de humidade preservada e a profundidade. A maior profundidade contribui para o aumento da humidade, mas várias lagoas experimentam nos seus rebaixamentos, equivalentes variações de humidade que aqueles que se observam noutras lagoas cujas bases alcançam profundidades superiores. Estes dois comportamentos podem ser explicados invocando diferentes razões. Por outro lado, afectando eventualmente alguns casos particulares, a entrada de água a partir da rega agrícola em momentos anteriores aos da passagem do satélite, neste caso beneficiando sobretudo as lagoas com menores rebaixamentos que podem beneficiar da escorrência ao longo de horizontes menos profundos.

Outro factor explicativo poderá residir na circulação de água no solo com origem em lagoas e brejos vizinhos altimetricamente mais altos. A existência de níveis de baixa permeabilidade a diferentes profundidades, com extensão variável e inclinação, também podem ser responsáveis por diferentes graus de retenção e armazenamento de água subterrânea.

Todavia, o grande rebaixamento além dos - 3.14m é um factor fulcral na preservação da humidade no solo, permitindo maior proximidade a camadas hidratadas no interior do perfil.

Através da sobreposição dessas fronteiras em relação à variação altimétrica e mapa de variação do índice de humidade (Fig. 3b), verifica-se a sua coincidência frequente com declives topográficos e rupturas de pendor, sugerindo o contacto de terrenos de constituição diferente. Estes terrenos correspondem geralmente a pequenos edifícios alongados, com eixo menor de dimensões na ordem de 100-300m, raramente comportando lagoas que quando ocorrem são quase sempre de pequena dimensão. O diferencial altimétrico destas elevações é até 5m (máximo pontual de 7m). Em redor destes edifícios na sua adjacência, dispõem-se frequentemente as lagoas, admitindo-se por isso que estas elevações possam constituir importantes zonas drenantes da recarga. A altimetria em redor destas zonas é razoavelmente homogénea, sugerindo sectores de um mesmo terreno, portanto com mesma constituição e resposta hidrológica.

No quadro da adjacência atrás referida, as lagoas tendem a assentar em locais que experimentaram uma desidratação intermédia, isto é, não tão acentuada quanto a que se verifica nos edifícios drenantes, nem com regular manutenção da humidade ao longo do tempo como se verifica nos terrenos a jusante. Esta circunstância explicará o carácter temporário da coluna de água no meio lagunar, respondendo ao efeito da recarga e também à pior condutividade hidráulica do ambiente subjacente. Porém, algumas lagoas sobretudo as de formato alongado, localizam-se também nesta zona.

O grau de rebaixamento do fundo das lagoas é variável, notando-se ser mais pronunciado quando estes elementos se localizam na adjacência dos edifícios drenantes, proporcionando níveis de escavação de -2 a -6m. Contudo, ocorrem também lagoas com elevado rebaixamento, mais baixo que - 7.0m, assentes em terrenos hidrologicamente equilibrados. As pequenas lagoas que por vezes ocorrem nestas elevações, tendem a ser pouco escavadas, com rebaixamentos que não vão além de -2m.

Regionalmente o rebaixamento tende a ser gradativo, com valores mais baixos de escavação a norte e maiores a sul. Na zona meridional tende a observar-se um discreto gradiente nos rebaixamentos, mais acentuados a oeste que a leste. Finalmente, as lagoas maiores tendem comparativamente a atingir maiores níveis de escavação.

Os brejos evidenciam um comportamento distinto, alongando-se e progredindo para jusante, essencialmente sobre terrenos que não desidrataram acentuadamente durante o período estudado. Podem atravessar edifícios drenantes mas a maior parte das vezes contornam-nos. As transições com terrenos encaixantes no que respeita o gradiente de desidratação sazonal, decorre suavemente sem o surgimento generalizado de fronteiras identificadas por *Wombling*. Supõe-se assim, que a alimentação dos brejos é essencialmente por captação da escorrência lateral, transversa ao talvegue, ressurgindo na faixa de ruptura do pendor. Para esta escorrência deverão contribuir as lagoas e os planos

húmidos na respectiva envolvência.

Verificou-se que a diferença entre os níveis de desidratação nos brejos e nas lagoas, avaliado através de um número proporcional de pontos de amostragem aleatoriamente dispersos nos dois territórios, é estatisticamente significativa, teste-T de Student bicaudado, assumindo não igualdade de variâncias $P \leq 0.001$. Conclui-se portanto que os brejos preservam significativamente mais humidade que as lagoas, facto que deverá generalizar-se ao ciclo meteorológico anual.

DISCUSSÃO

Nexo hidrológico

O enchimento das lagoas depende da precipitação directa numa primeira fase, mas é a

partir do momento em que o nível freático ultrapassa a cota topográfica da base da lagoa que o armazenamento de água passa a ser mais prolongado, terminando quando os níveis freáticos começam a diminuir e voltam a ser inferiores à cota do fundo (SALVADOR *et al.*, 2016). Embora por vezes efêmero, o hidroperíodo em muitas destas lagoas é mais longo do que seria de esperar pela simples acumulação da água das chuvas, sendo prolongado pela conexão hidráulica a águas subterrâneas (SALVADOR *et al.*, 2017).

As características hidroquímicas das águas, por um lado das lagoas, que correspondem a uma fácies cloretada sódica, por outro da água subterrânea, que varia de cloretada sódica a cloretada bicarbonatada sódica, evidenciam atenuadas diferenças dependendo do grau de interacção água-solo (SALVADOR *et al.*, 2017).



Figura 4. Imagem fotográfica de uma lagoa temporária típica, em Abril de 2014, bem preservada, integrada num ambiente rural, no exterior da área de estudo e também no exterior da área regada afecta ao AHM. Evidenciam-se os diferentes ambientes consistentes com a proximidade vertical ao topo do aquífero. A vegetação herbácea embora espontânea, é mediada pela acção humana tendo sido conduzida a um relvado favorável à alimentação animal (pasto-de-dente). A linha a tracejado demarca a faixa de ruptura do pendor dos terrenos elevados envolventes e nessa faixa a formação de vegetação hidro-higrófito herbácea onde domina/co-doma a gramínea *Agrostis stolonifera*.

O nível freático no aquífero é influenciado pela recarga directa da precipitação, mas também pela infiltração a partir das lagoas, quando se encontra abaixo da cota de base destas. Quando o nível de água no aquífero excede a base das lagoas estas funcionam como elemento drenante. Dada a posição

desnivelada de muitas lagoas vizinhas reunidas em conjuntos, é previsível que algumas contribuam para recarga de outras, através de escoamento subsuperficial na zona não saturada, consistentemente com a dinâmica do nível freático local.

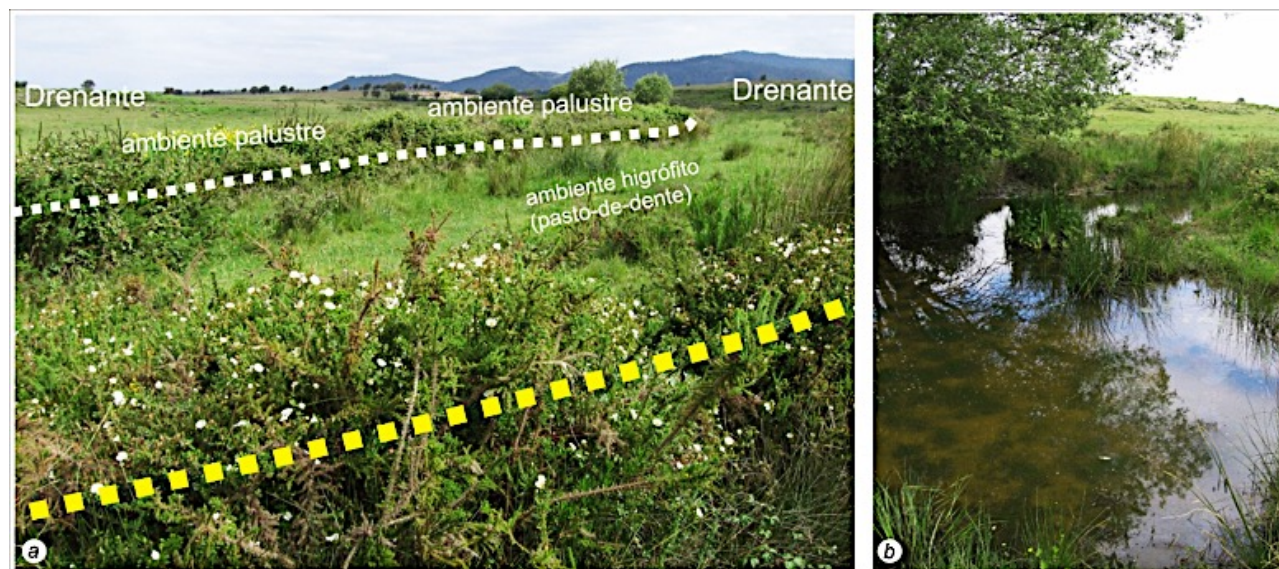


Figura 5. Imagem fotográfica de um brejo em Abril de 2017, integrado num ambiente rural, no exterior da área de estudo e no exterior da área regada afectada ao AHM. Evidenciam-se em a) as duas linhas de vegetação arbustiva higrófito, a amarela a montante, situada na faixa de ruptura de pendor com os terrenos drenantes, a branca a jusante, na faixa de transição para um ambiente permanente hidratado, palustre (ao fundo, oculto pela barreira de vegetação). Embora espontânea, esta vegetação é mediada pela actividade humana no sentido de favorecer relvados frescos úteis na alimentação animal. O mesmo brejo em b) num atravessamento precário de um caminho rural provocando um rebaixamento com a formação de um ambiente lagunar pontual.

Os brejos contribuem também para a circulação da água acrescentando a função de drenagem superficial, que deverá ser accionada regularmente logo após os períodos de precipitação intensa. A hidratação mais prolongada dos brejos é tangível, por exemplo, nas linhas de ruptura de pendor pela passagem e atravessamento dos caminhos precários rurais (Figura 5b), onde se formam ambientes lagunares com hidroperíodo que persiste durante quase todo o ano, ou que, no máximo de desidratação tardi-estival, transita para a formação de ambientes paludosos de curta duração, até ao reinício do ciclo seguinte de chuvas. Também nas grandes lagoas se tendem a formar estes ambientes paludosos, e assim, o final do hidroperíodo (momento a partir do qual é interrompida a mensuração da altura da coluna de água), não estabelece uma rigorosa transição para a fase seca. A

duração do ambiente paludoso e as suas repercussões no biota não têm tido suficiente análise na literatura, embora sejam um aspecto marcante da hidrobiologia do território. Na Figura 4 apresenta-se uma lagoa temporária típica, com pronunciada assimetria no efeito de margem e desenvolvimento de hidro e higromorfia, e formação de um gradiente espaço-temporal de habitats colonizados por diferentes plantas.

Na Figura 5 apresentam-se dois trechos de um mesmo brejo, em a) numa fâcies seca à superfície formando um gradiente de habitats hidrológicos adequados a diversas espécies vegetais; em b) uma fâcies mais húmida resultante da ruptura de pendor e rebaixamento pelo atravessamento de um caminho rural precário.

Embora distanciadas entre si, as lagoas evidenciam conexão hidrológica, participando na

circulação subterrânea da água, na recarga de outras lagoas e brejos em função da sua posição na altimetria, continuidade da condutividade hidráulica e possivelmente inclinação dos impermeáveis. Durante os picos extremos de precipitação, após extravasamento das águas armazenadas, pode ocorrer em certos locais a coalescência dos espelhos de água e assim também a conectividade superficial momentânea de algumas destas lagoas.

O grau de conectividade hidráulica dependerá também da dinâmica do nível freático e assim, as lagoas serão tanto mais conexas quanto mais elevado estiver o topo da zona saturada no solo. Uma vez conexas, a persistência do hidroperíodo dependerá também das contribuições das várias lagoas vizinhas e dos brejos em posição elevada. A duração e início do hidroperíodo deverão relacionar-se com a dinâmica do aquífero, por sua vez dependente dos vários elementos nele integrados.

Com respeito ao movimento da água no solo, a paisagem húmida da área de estudo pode ser conceptualizada e entendida por recurso à organização das Unidades Fundamentais da Paisagem Hidrológica (UFPH), conceito reavaliado e ampliado por NEFF *et al.* (2020). Sumariamente, este conceito possibilita, mediante diagnose em face dos dados de terreno, a expectativa de um funcionamento hidrológico associado a cada tipo de Unidade, no que respeitam os montantes percentuais de fluxos subterrâneos, as posições no relevo para a descarga, a influência das lagoas depressionárias na captação dos fluxos, a conectividade das lagoas e sua interacção hidrológica subterrânea e superficial. A unidade de paisagem hidrológica (UFPH) que se ajusta à área de estudo, é a do Território Costeiro (*Coastal Terrain*, NEFF *et al.*, 2020, p.15), sugerindo fluxos subterrâneos que se mantêm pouco alterados na sua componente mais profunda, garantindo descarga significativa no vale terminal e assegurando a contínua captação em terrenos elevados e descarga nas várias lagoas que se vão sucedendo no gradiente hidrológico.

O vale terminal reportado no modelo, poderá associar-se aos brejos sobretudo os troços que atravessam as altimetrias mais baixas, já que aqueles que ocorrem em altimetrias mais elevadas deverão

assumir um comportamento ambíguo entre lagoa e brejo. Por outro lado, várias lagoas localizam-se na bordadura dos edifícios drenantes prevendo-se, de acordo com o modelo, a manutenção da vegetação das margens, aspecto que é correspondido pela situação de terreno.

Importância na conservação da biodiversidade

O conhecimento detalhado da conectividade tem sido considerado fundamental para a integração dos vários elementos hidrológicos na gestão dos territórios (GOLDEN *et al.*, 2017). Assim, será de esperar que o mesmo tipo de conectividade com referência à área de estudo e ao território planáltico, seja também importante para sua gestão, aspecto que no entanto tem sido negligenciado.

A partir de 1992 as lagoas temporárias são consideradas biótopos protegidos prioritários no quadro das directrizes político-administrativas europeias, transcritas para o direito jurídico de cada país membro da União Europeia. Esta disposição reforçou o enfoque no estudo e aprofundamento do conhecimento sobre o seu funcionamento e interacção com o biota, destacando-se sobretudo aquelas com marcado hidroperíodo e diferenciação de uma fase seca.

O hidroperíodo é essencial para um conjunto de organismos, incluindo anfíbios (ALCAZAR & BEJA, 1997, FONSECA *et al.*, 2008, FERREIRA & BEJA, 2013), plantas (PINTO-CRUZ, 2010) e ainda os vertebrados que nas lagoas e brejos encontram a uma componente do seu habitat, com destaque para a trófica. O hidroperíodo e a altura da coluna de água de inundação são variáveis, esperando-se responderem à combinação de factores apresentada. Em especial para a flora especializada que coloniza as lagoas, esta variável ambiental é considerada fundamental (PINTO-CRUZ, 2010), no quadro de uma área de amostragem superior à presente área de estudo.

No que respeita a distribuição da fauna de invertebrados, estas duas variáveis têm maior influência que outras quando são comparadas.

Tabela II. Lista comentada das espécies vegetais raras e ameaçadas.

Espécie	Estatuto nacional de conservação (*)	Habitat	Comentário
<i>Allium ericetorum</i> Thore	Vulnerável	Brejos (extinto nas lagoas)	b)
<i>Apium repens</i> (Jacq.) Lag.	Em perigo	Planos húmidos, brejos e lagoas	a), c)
<i>Armeria arcuata</i> Welw. ex Boiss. & Reut.	Extinta	Possivelmente lagoas e planos húmidos	Possivelmente já extinta no mundo, intensamente procurada no princípio dos anos 90.
<i>Arnica montana</i> subsp. <i>atlantica</i> A. Bolòs	Quase ameaçada	Brejos	b)
<i>Campanula primulifolia</i> Desf.	Vulnerável	Parte vestibular de brejos profundamente escavados	b)
<i>Centaurea exarata</i> Coss.	Vulnerável	Lagoas	Possivelmente já extinta no planalto Sudoeste, avistada no princípio do século XX.
<i>Cheirolophus uliginosus</i> (Brot.) Dostál		Brejos	a)
<i>Cirsium welwitschii</i> Coss.	Em perigo. Endémica de Portugal	Brejos (extinta nas lagoas)	b)
<i>Dactylorhiza elata</i> (Poir.) Soó	Quase ameaçada	Brejos	b)
<i>Erica erigena</i> R. Ross		Brejos e canais antigos	a)
<i>Euphorbia uliginosa</i> Welw. ex Boiss.		Brejos	a)
<i>Exaculum pusillum</i> (Lam.) Caruel in Parl.		Lagoas	b)
<i>Genista ancistrocarpa</i> Spach	Quase ameaçada	Brejos (criticamente em perigo nalgumas raras lagoas, extinta nos canais)	a)
<i>Geranium sanguinum</i> L.		Brejos	a)
<i>Hyacinthoides vicentina</i> (Hoffmanns. & Link) Rothm.	Pouco preocupante. Endémica de Portugal.	Brejos, lagoas, planos húmidos	c)
<i>Isoetes</i> spp.		Lagoas	a)
<i>Isolepis fluitans</i> (L.) R.Br.		Lagoas	a)
<i>Juncus emmanuelis</i> A. Fern. & J.G. Garcia	Vulnerável	Lagoas, planos húmidos	a)
<i>Juncus fontanesii</i> subsp. <i>fontanesii</i>		Lagoas	a)
<i>Lathyrus nudicaulis</i> (Willk.) Amo	Vulnerável	Brejos	b)
<i>Linum maritimum</i> L.	Criticamente em perigo	Lagoas	Possivelmente já extinta a única população observada no princípio dos anos 90.
<i>Littorella uniflora</i> (L.) Asch.	Vulnerável	Lagoas	a)
<i>Myrica gale</i> L.		Brejos	b)
<i>Narcissus bulbocodium</i> L.	Pouco preocupante	Brejos	a), c)
<i>Ononis hackelii</i> Lange	Vulnerável	Planos húmidos e terrenos moderadamente húmidos	c)
<i>Peucedanum officinalis</i> subsp. <i>officinalis</i>	Quase ameaçada	Brejos	b)
<i>Salix salviifolia</i> subsp. <i>australis</i>	Pouco preocupante	Brejos	c)
<i>Scilla ramburei</i> Boiss.	Pouco preocupante	Brejos (extinta nas lagoas)	b)
<i>Scorzonera humilis</i> L.		Brejos	b)
<i>Serratula tinctoria</i> subsp. <i>seoanei</i> (Willk.) M. Lainz		Brejos	b)
<i>Thelypteris palustris</i> Schott		Brejos	a)

a) Rápido declínio nos últimos 20 anos, actualmente restam poucas e pequenas populações disjuntas; b) Resta uma única (ou muito poucas) população em condição crítica; c) Estatuto de conservação definido pelo Decreto-Lei n.º 140/99, de 24 de Abril (relação com a Directiva Europeia Habitats e Anexo I da Convenção sobre a Vida Selvagem e os Habitats Naturais na Europa).

(*) Lista Vermelha da Flora Vasculare de Portugal Continental (Carapeto *et al.* (no prelo), aplicando as directrizes da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN).

Os limites na variação do hidroperíodo é um factor decisivo para determinadas espécies de invertebrados aquáticos sublinhando a sua sensibilidade (FONSECA *et al.*, 2008), concluindo-se assim a necessidade desses habitats prevalecerem num conjunto alargado de habitats húmidos. Dadas as pequenas dimensões do habitat, destaca-se a própria distribuição geográfica disjunta de zonas húmidas como factor relevante na diferenciação do gradiente ambiental, onde em cada local se jogam as combinações ecológicas favoráveis às diversas espécies. Por exemplo, o invertebrado aquático *Lepidurus apus* considerada a mais rara espécie deste grupo em Portugal, é conhecido em uma localidade, um pequeno charco com condições particulares (MACHADO *et al.*, 2017).

Brejos e lagoas apresentam diferenças que se projectam nos diversos habitats e ecossistemas que os suportam. A maior hidratação dos brejos reflecte-se no serviço ambiental de conservação de espécies vegetais raras ou muito ameaçadas, face ao declínio dos habitats naturais. Integram-se numa vegetação de urzal que deverá ter origem no Pleistocénico por expansão das suas áreas de distribuição, acompanhando os ciclos glaciares que afectaram a Europa e as zonas elevadas da Península Ibérica. Com referência à amostragem paleo-polinica em sedimentos actualmente submersos pelo Atlântico, em frente à costa galega em Espanha, há cerca de 300000 anos durante um interglacial após o estádio MIS 9e, ter-se-á iniciado a expansão do tipo de vegetação de urzal (DESPRAT *et al.*, 2009). Essa vegetação terá colonizado sobretudo os terrenos detriticos siliciosos húmidos e subhúmidos, substituindo outra vegetação em desequilíbrio com a evolução climática sequente.

Em particular durante o Último Máximo Glaciar (UMG) e durante o Holocénico, ocorreram períodos climáticos muito húmidos cujos testemunhos foram preservados na sedimentação vestíbulo-estuarina na zona da foz do Rio Mira, no limite Norte da área de estudo, (ALDAY *et al.*, 2004), e também noutros locais litorais próximos da área de estudo (FREITAS *et al.*, 2003). Este regime terá sido bastante vantajoso para a consolidação deste tipo de vegetação nas zonas baixas (MATEUS, 1992) durante parte do Holocénico até à expansão da agricultura e uso generalizado do fogo para

conversão de ecossistemas.

Esta vegetação é formada por urzais higrófitos onde as espécies de *Erica* podem ser dominantes, associando-se outras plantas com micro-habitats estabelecidos no gradiente de hidratação, por exemplo as lenhosas arbustivas, *Myrica gale* e *Salix* spp. em locais paludosos com prolongado afloramento do espelho de água, *Genista*, *Calluna* e *Ulex*, e no limite montante do gradiente também *Cistus*, em locais com pronunciada oscilação da humidade, havendo lugar a um período de hidratação por capilaridade. Trata-se de uma vegetação especializada que na região não coloniza outros habitats mais secos, ou, alternativamente, também húmidos mas com maior alcalinidade e disponibilidade de aniões relevantes na nutrição mineral. Assim, a artificialização e o declínio dos habitats originais dos brejos contribuem directamente para a perda de populações e por fim extinção daquelas espécies. Na Tabela II lista-se um conjunto de plantas ocorrentes na faixa planáltica do Sudoeste, em zonas com influência de brejos e lagoas, com origem geográfica a norte a cerca de 80km da área de estudo, e a sul a cerca de 70km no extremo meridional de Portugal.

Os impactes da nova agricultura

Um dos factores determinantes do funcionamento da paisagem húmida do Sudoeste resulta, como tem sido revelado, da conectividade hidrológica das várias zonas húmidas. Este nexu global é impactado negativamente pela intensificação agrícola proporcionada pela irrigação no âmbito do AHM, afectando consequentemente importantes funções e serviços prestados pelos ecossistemas de brejos e lagoas planálticos. Para uma síntese dos serviços prestados por este tipo de ecossistemas veja-se, por exemplo COHEN *et al.* (2015). SALVADOR *et al.* (2017) enumeram com particular precisão o extenso conjunto de impactes negativos na área beneficiada pela irrigação. Destacam-se no presente estudo, a remoção dos impermes por desenterramento e a instalação de sistemas de enxugo. Na Figura 6 mostram-se dois exemplos.

Afectam funções vitais como a velocidade da drenagem e a retenção da água no solo,

armazenamento e oscilação dos níveis freáticos, repercutindo-se sobre a hidratação das lagoas, a persistência do hidroperíodo, e finalmente, a hidratação dos brejos. No arranque do AHM em 1970, já tinha sido construída uma rede de enxugo com uma extensão métrica de cerca de 100km (ANÓNIMO, 1970). Com o desenvolvimento do projecto agrícola, outras valas e sistemas de enxugo foram-se acrescentando, contribuindo para o aumento da secura do solo, tornando-o assim favorável para

algumas culturas. Estes drenos captando a drenagem subsuperficial e subterrânea, interferem com a rede de conexões hidráulicas naturais, redireccionando e concentrando os fluxos em valas, impedindo funções ecossistémicas relevantes. Esta conduta de artificialização na escala a que se propagou, é contrária aquela que deveria ser seguida em face das alterações climáticas globais, designadamente, conduzindo à preservação da água, da sua qualidade e funcionalidade nos ecossistemas.



Figura 6. Em a) plano húmido com vegetação herbácea verde e hidratada contrastando com a vegetação de solos secos adjacentes em tons amarelados. Observa-se uma vala do lado esquerdo que eficazmente capta os fluxos sub-superficiais. Em b) acumulação de blocos de um imperme desenterrado por maquinaria para favorecer a percolação nos locais de cultivo. Imagens obtidas a 4 de Junho de 2017, a norte da povoação de Odeceixe, num local fora da área de estudo do presente trabalho, na área beneficiada pela irrigação do AHM.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Margarida Machado e Luís Cancela da Fonseca pelos importantes comentários que decisivamente ajudaram a melhorar as análises expostas. Agradecem também aos árbitros editoriais que pela sua crítica contribuíram para melhorar a consistência do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.M. 1990. Ferruginous pisolites from South of Portugal: paleoenvironmental Quaternary relics. *Sciences Géologiques, Bulletin*, 43(2-4): 95-102.

ALDAY, M.; CEARRETA, A.; CACHÃO, M. & FREITAS, M.C. 2004. Micropalaeontological record of Holocene estuarine and marine stages in the Corgo do Porto rivulet (Mira River, SW Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 532-543. (doi: 10.1016/j.ecss.2005.10.010).

ANÓNIMO 1969. Obra de Rega dos Campos do Mira. Ministério das Obras Públicas. Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos. Direcção dos Serviços de Aproveitamentos Hidráulicos. 77p. Empresa Editorial Electrotécnica Edel, Lda. Lisboa.

ARH-ALENTEJO. 2011. Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas Integradas na Região Hidrográfica 6 - Parte 2. Ambiente e Ordenamento do Território, Alentejo, Portugal. (disponível em <https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/>).

- ASSOCIAÇÃO DE BENEFICIÁRIOS DO MIRA 2019. Aproveitamento Hidroagrícola do Mira: passado, presente e futuro. XII Jornadas FENAREG e 50 anos 1969-2019 do Aproveitamento Hidroagrícola do Mira, 6 e 7 de Novembro. Desenvolvimento Rural e Planeamento do Território. Odemira. (disponível em <http://www.fenareg.pt/encontro-regadio-2019-xii-jornadas-fenareg-e-50-anos-do-aproveitamento-hidroagricola-do-mira-6-e-7-de-novembro/> consultado em Janeiro 2020).
- ANDRESEN, C.G. & LOUGHEED, V.L. 2015. Disappearing arctic tundra ponds: fine - scale analysis of surface hydrology in drained thaw lake basins over a 65year period (1948-2013). *Journal of Geophysical Research - Biogeosciences*, 120: 466-479. (doi.org/10.1002/2014JG002778).
- BEJA, P. & ALCAZAR, R. 2003. Conservation of Mediterranean temporary ponds under agricultural intensification: an evaluation using amphibians. *Biological Conservation*, 114: 317-326. (doi: 10.1016/S0006-3207(03)00051-X).
- BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.; OLSHEN, R. & STONE, C. 1984. *Classification and Regression Trees*. Pacific Grove, CA, Wadsworth. (doi: 10.1002/widm.8.).
- CARAPETO A.; FRANCISCO, A.; PEREIRA P. & PORTO M. (Eds.) (no prelo). *Lista Vermelha da Flora Vasculare de Portugal Continental*. Sociedade Portuguesa de Botânica, Associação Portuguesa de Ciência da Vegetação – PHYTOS e Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.
- CHAVEZ, P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62(9): 1025-1036.
- COHEN, M.J.; CREED, I.F.; ALEXANDER, L.; BASU, N.B.; CALHOUN, A.J.K.; CRAFT, C.; D'AMICO, E.; DEKEYSER, E.; FOWLER, L.; GOLDEN, H.E.; JAWITS, J.; KALLA, P.; KIRKMAN, L.K.; LANE, C.R.; LANG, M.; LEIBOWITZ, S.G.; LEWIS, D.B.; MARTON, J.; MCLAUGHLIN, D.L.; MUSHET, D.M.; RAANAN-KIPERWAS, H.; RAINS, M.C.; SMITH, L. & WALLS, S.C. 2015. Do geographically isolated wetlands influence landscape functions? *PNAS*, 113(8): 1978-1986. (doi:10.1073/pnas.1512650113).
- CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V. & BÖHNER, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, *Geoscientific Model Development*, 8:1991-2007. (doi:10.5194/gmd-8-1991-2015. Download.).
- DESPRAT, S.; SANCHEZ-GOÑI, M.F.; NAUGHTON, F.; TURON, J.-L.; DUPRAT, J.; MALAIZÉ, B.; CORTIJO, E. & PEYPOUQUET, J.-P. 2009. Climate Variability of the Last Five Isotopic Interglacials: Direct Land-Sea-Ice Correlation from the Multiproxy Analysis of North-Western Iberian Margin Deep-Sea Cores. In: SIROCKO, F., CLAUSSEN, M., LITT, T. & SANCHEZ-GOÑI M.F. (Eds.). *The Climate of Past Interglacials*, pp. 375-386, Elsevier. (doi: 10.1016/S1571-0866(07)80050-9).
- FARIA, F.; CABRITA, P. & PINTO, M.J. 1992. Cartografia de Lagoas Temporárias da Área de Paisagem Protegida do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina (APPSACV). Relatório interno não publicado da APPSACV (Instituto da Conservação da Natureza).
- FERREIRA, M. & BEJA, P. 2013. Mediterranean amphibians and the loss of temporary ponds: are there alternative breeding habitats? *Biological Conservation*, 165: 179-186. (doi: 10.1016/j.biocon.2013.05.029).
- FONSECA, L.C.; CRISTO, M.; MACHADO, M.M.; SALA, J.; REIS, J.; ALCAZAR, R. & BEJA, P. 2008. Mediterranean temporary ponds in Southern Portugal: key faunal groups as management tools? *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 3(3): 304-320.
- FREITAS, M.C.; ANDRADE, C.; ROCHA, F.; TASSINARI, C.; MUNHA, J.M.; CRUCES, A.; VIDINHA, J. & MARQUES DA SILVA, C. 2003. Lateglacial and Holocene environmental changes in Portuguese coastal lagoons 1: the sedimentological and geochemical records of the Santo André coastal area. *The Holocene*, 13(3): 433-446. (doi: 10.1191/0959683603hl636rp).

- FITZPATRICK, M.C.; PREISSER, E.L.; PORTER, A.; ELKINTON, J.; WALLER, L.A.; CARLIN, B.P. & ELLISON, A.M. 2010. Ecological boundary detection using Bayesian areal wombling. *Ecology*, 91(12): 3448-3455. (doi: 10.1890/10-0807.1).
- GOLDEN, H.E.; CREED, I.F.; ALI, G.; BASU, N.B.; NEFF, B.P.; RAINS, M.C.; MCLAUGHLIN, D.L.; ALEXANDER, L.C.; AMELI, A.A.; CHRISTENSEN, J.R.; EVENSON, G.R.; JONES, C.N.; LANE, C.R. & LANG, M. 2017. Integrating geographically isolated wetlands into land management decisions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(6): 319–327. (doi: 10.1002/fee.1504).
- HILL, M.J.; HASSALL, C.; OERTLI, B.; FAHRIG, L.; ROBSON, B.J.; BIGGS, J.; SAMWAYS, M.J.; USIO, N.; TAKAMURA, N.; KRISHNASWAMY, J. & WOOD, P.J. 2018. New policy directions for global pond conservation. *Conservation Letters*, 11(5): 1-8. (doi: 10.1111/conl.12447).
- HORN, B.K.P. 1981. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, 69(1): 14–47. (doi: 10.1109/PROC.1981.11918).
- INDERMUEHLE, N.; OERTLI, B.; BIGGS, J.; CÉRÉGHINO, R.; GRILLAS, P.; HULL, A.; NICOLET, P. & SCHER, O. 2008. The European Pond Conservation Network. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 30(3): 446-448.
- KAPLAN, G.; AVDAN, Z.Y. & AVDAN, U. 2019. Mapping and Monitoring Wetland Dynamics Using Thermal, Optical, and SAR. In: GÖKÇE, D. (Ed.), *Wetlands Management - Assessing Risk and Sustainable Solutions*, pp. 87-107, IntechOpen. (doi: 10.5772/intechopen.80264).
- LINDSEY, J. 2017. WhiteboxTools, advanced geospatial data analysis. University of Guelph's Geomorphometry and Hydrogeomatics Research Group (GHRG) [<https://jblindsay.github.io/ghrg/WhiteboxTools/index.html>].
- LINDSAY, J.B.; COCKBURN, J.M.H. & RUSSELL, H.A.J. 2015. An integral image approach to performing multi-scale topographic position analysis. *Geomorphology*, 24: 51–61. (doi: 10.1016/j.geomorph.2015.05.025).
- LINDSAY, J.B. & CREED, I.F. 2006. Distinguishing actual and artefact depressions in digital elevation data. *Computers & Geosciences*, 32:1192–1204. (doi: 10.1016/j.cageo.2005.11.002).
- LIN, H. 2012. *Hydropedology: Synergistic Integration of Soil Science and Hydrology in the Critical Zone*. 833p, Elsevier. (doi: 10.1002/hyp.10686).
- LUKÁŠ, P.; KALIBOVÁ, J.; BAŠTA, P.; KOVÁŘ, M. & KURÁŽ, V. 2018. The layering of a mountain podzol can strongly affect the distribution of infiltrated water in the soil profile. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 66(3):348–356. (doi: 10.2478/johh-2018-0014).
- MACHADO, M.M.; FONSECA, L.C. & CRISTO, M. 2017. Freshwater large branchiopods in Portugal: an update of their distribution. *Limnetica*, 36 (2): 567-584. (doi: 10.23818/limn.36.22).
- MATEUS, J. 1992. *Holocene and Present-Day Ecosystems of the Carvalhal Region, Southwest Portugal*. PhD Thesis, Univ. Utrecht, The Netherlands. 184pp. (ISBN: 90-393-0432-7).
- MIRA, M.; VALOR, E.; CASELLES, V.; RUBIO, E.; COLL, C.; GALVE, J.M.; NICLÒS, R.; SÁNCHEZ, J.M. & BOLUDA, R. 2010. Soil moisture effect on thermal infrared (8–13- μm) emissivity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(5):2251-2260. (doi: 10.1109/TGRS.2009.2039143).
- MONTEIRO, J.P.; COSTA, L. & HUGMAN, R. 2019. Hydrogeology of the Sands, Sandstones and Gravels of the Litoral Alentejo (Portugal). 46th Congress of the International Association of Hydrogeologists. “Groundwater Management and Governance, coping with water scarcity”. Málaga, Espanha. Doc-electronic PDF. (dropbox.com/s/hjzs5qii2i5c4l3/IAH_2019_PROCEEDINGS.pdf?dl=1).
- MORAN, M.S.; JACKSON, R.D.; SLATER, P.N. & TEILLET, P.M. 1992. Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing Environment*, 41:169-184. (doi: 10.1016/0034-4257(92)90076-v).
- NASA/METI/AIST/JAPAN SPACESYSTEMS, AND U.S./JAPAN ASTER SCIENCE TEAM. ASTER GLOBAL DIGITAL ELEVATION MODEL V003. 2018. Distributed by NASA EOSDIS

- Land Processes DAAC. (doi: 10.5067/ASTER/ASTGTM.003)
- OLIVEIRA, J.T. (Ed.) 1984. *Carta Geológica de Portugal na Escala 1/200000. Notícia Explicativa da Folha 7*, 77p. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- PINTO-CRUZ, C. 2010. *Temporary ponds vegetation and dynamics: southwest Portugal*. PhD Thesis, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. 118p.
- NEFF, B.P.; ROSENBERRY, D.O.; SCOTT G.; LEIBOWITZ, S.G.; MUSHET, D.M.; GOLDEN, H.E.; RAINS, M.C.; BROOKS, J.R. & LANE, C.R. 2020. A Hydrologic landscapes perspective on groundwater connectivity of depressional wetlands. *Water*, 12(50):1-29. (doi:10.3390/w12010050).
- NINYEROLA M.; PONS, X. & ROURE, J.M. 2005. *Atlas Climático Digital de la Península Ibérica: Metodología y Aplicaciones en Bioclimatología y Geobotánica*. 44p. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, España. (ISBN: 932860-8-7).
- PIMENTEL, N. & AZEREDO, M.T. 1990. Os depósitos de raña no sudoeste ibérico (Baixo-Alentejo ocidental, Portugal). In: PINILLA, A. (Ed). *La Raña en España y Portugal*, pp. 59-70, Centro de Ciencias Medioambientales. Monografías 2, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- PIRES, F.P. & OLIVEIRA, A.V. 1989. Cartografia de pormenor de solos da Herdade da Fataca. *Pedologia*, 24:1-64.
- QUARESMA, A. 2003. *Vila Nova de Milfontes – História*. 244p., Junta de Freguesia de Vila Nova de Milfontes. (ISBN: 978-989-8263-14-8).
- RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS 2018. The Global Wetland Outlook - Status and Trends 2018. The Ramsar Convention Secretariat. Switzerland. (disponível em <https://www.global-wetland-outlook.ramsar.org/outlook>).
- REIS, R.M.M. & GONÇALVES, M.Z. 1987. *O clima de Portugal. Fascículo XXXIV. Caracterização Climática da Região Agrícola do Alentejo*. 226p., Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa, Portugal.
- RAKOTOMALALA, R. 2005. TANAGRA, un logiciel gratuit pour l'enseignement et la recherche. *Actes de EGC'2005, RNTI-E-3*, 2:697-702.
- SALVADOR, N.; FONSECA, L.C.; MACHADO, M.M. & MONTEIRO, J.P. 2011. Identificação de lagoas temporárias mediterrânicas em Portugal: Uma contribuição para a caracterização dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas na Península Ibérica. In: Rios Ibéricos +10: Mirando al futuro tras 10 años de DMA, 2011, Talavera de la Reina, España. Proceedings VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua. Toledo: FNCA, 2011. p. 1-6.
- SALVADOR, N. & MONTEIRO, J.P. 2016. Caracterização de charcos temporários mediterrânicos como ecossistemas dependentes de águas subterrâneas na costa oeste do Alentejo. Congreso hispano-luso. Comunicaciones libres, AIH-GE, pp.345-351, Las águas subterrâneas y la planificación hidrológica. Madrid.
- SALVADOR, N.; MONTEIRO, J.P.; SILVA, M.M., & CARVALHO, M.R. 2017. Hydrochemistry of Mediterranean Temporary Ponds and associated groundwater in SW Portugal. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17:893–896. (doi: 10.1016/j.proeps. 2017.01.010).
- SAUER, D.; STEIN, C.; GLATZEL, S.; KÜHN, J.; ZAREI, M. & STAHR, K. 2015. Duricrusts in soils of the Alentejo (southern Portugal)—types, distribution, genesis and time of their formation. *Journal of Soils and Sediments*, 15:1437–1453. (doi: 10.1007/s11368-015-1066-x).
- SHAFIAN, S. & MAAS, S.J. 2015. Index of Soil Moisture Using Raw Landsat Image Digital Count Data in Texas High Plains. *Remote Sensing*, 7(3): 2352-2372. (doi:10.3390/rs70302352).
- ZACHARIAS, I. & ZAMPARAS, M. 2010. Mediterranean temporary ponds. A disappearing ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 19(14): 3827-3834. (doi: 10.1007/s10531-010-9933-7).