

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS ECOSISTEMAS DE SAPAL Spatial and Temporal Analysis of Salt Marsh Ecosystems

FRANCISCO GUTIERRES ⁽¹⁾, CARLOS NETO ⁽²⁾, EUSÉBIO REIS ⁽³⁾, DIANA ALMEIDA ⁽⁴⁾,
JOSÉ CARLOS COSTA ⁽⁵⁾ & PAULO GODINHO-FERREIRA ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Investigador/Doutorando FCT, ⁽²⁾ Professor Associado com Agregação, ⁽³⁾ Professor Auxiliar, ⁽⁴⁾ Investigador/Doutorando FCT
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Alameda da Universidade. 1600-214 Lisboa
franciscogutierrez@campus.ul.pt; cneto@campus.ul.pt; eusebioreis@campus.ul.pt; dianaalmeida@campus.ul.pt

⁽⁵⁾ Professor Associado, Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa
jccosta@isa.utl.pt

⁽⁶⁾ Investigador Auxiliar, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária,
Quinta do Marquês, Av. da República, 2784-505 Oeiras
paulo.godinho@inrb.pt

Resumo

Este estudo teve por objectivo a análise da dinâmica espaço-temporal dos ecossistemas de sapal da Reserva Natural do Estuário do Sado. O Estuário do Sado é uma das áreas costeiras onde se antevê que as alterações climáticas possam motivar uma subida significativa do nível do mar. Foram seleccionados sectores com uma maior e menor exposição à ondulação lagunar dominante do Estuário do Sado ('lagoon seiche'). A análise de diferentes coberturas de fotografias aéreas e ortofotomapas, entre 1958 e 2007, com recurso a Tecnologias de Informação Geográfica e Geosimulação (Cadeias de Markov e Autómatos Celulares), permitiu a determinação das taxas de erosão e acreção para os sectores abrigados e expostos à ondulação dominante. Procedeu-se ainda à quantificação e à previsão das alterações ao uso e ocupação do solo, com ênfase nos habitats de sapal baixo e alto. Este trabalho demonstrou que a dinâmica de recuo e as alterações de uso e ocupação do solo são dominantes nos ecossistemas de sapal do Estuário do Sado. Apesar do fenómeno de recuo acelerado dos sapais em todo o Estuário do Sado estar correlacionado com a subida do nível do mar, deve ainda ser considerado o efeito induzido pela ocupação antrópica das margens do Estuário. A abordagem desenvolvida poderá assumir um papel relevante na interpretação das dinâmicas espaciais e temporais dos ecossistemas de sapal, e para a simulação da evolução e reacção do território.

Palavras-chave: Estuário do Sado, Erosão, Acreção, Uso e Ocupação do Solo, Cadeias de Markov e Autómatos Celulares.

Abstract

The aim of this study is the analysis of the salt marsh ecosystems dynamics of the Sado Estuary Nature Reserve. The River Sado Estuary is one of the Portuguese coastal areas where the climate changes might motivate a significant sea rise level. Sampled sectors were selected based on high and low exposure to the lagoon waves ('lagoon seiche'). The analysis of different aerial photographs and orthophotomaps, between 1958 and 2007, using Geographic Information Technology and Modeling (Markov Chains and Cellular Automata), allowed the determination of erosion and accretion rates in the sheltered and exposed sectors. We also proceeded to the quantification and forecast of the land cover changes, with the main focus on the high and low salt marshes habitats. This work revealed that the erosion processes and land cover shifts are dominant in almost salt marshes ecosystems of the Sado Estuary. Although the salt marsh retreat is caused mostly by the sea level rise, the effect induced by the anthropic occupation of the estuary shores should be considered. This approach could play a leading role to a deeper understanding of the spatial and temporal dynamics, and for simulating the evolution and reaction of the territory.

Keywords: Sado Estuary, Erosion, Accretion, Land Use and Land Cover, Markov Chains and Cellular Automata.

1. Introdução

A subida do nível do mar, em consequência do aquecimento global, tem vindo a ser apontado como um dos principais impactos para os ecossistemas do litoral (praias, dunas, arribas e sapais) (Moreira, 1992; Eliot *et al.*, 1999; Miller *et al.*, 2001; van Wijnen & Bakker, 2001; Wu *et al.*, 2002; Kumar, 2006; Cahoon *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2008; Vafeidis *et al.*, 2008; Marfai & King, 2008).

Neste particular, os estuários (*e.g.* Tejo e Sado) e as lagunas costeiras (*e.g.* Aveiro e da Ria Formosa) são os ecossistemas

que apresentam uma maior vulnerabilidade face aos efeitos da subida do nível do mar, e onde os aspectos sócio-económicos negativos decorrentes poderão adquirir maior expressão nas próximas décadas (IPCC, 2007; Ferreira *et al.*, 2008). A investigação desenvolvida nesta temática, tem vindo a demonstrar as efectivas variações do nível do mar motivadas pelas alterações climáticas.

De acordo com o IPCC (2007), uma subida de 3°C na temperatura média, acima da média observada entre 1980-1999, poderá significar uma perda de cerca de 30% das áreas húmidas costeiras mundiais (lagunas, sapais,

mangais, e planícies fluvio-marinhas subsidentes). Segundo Bindoff *et al.* (2007), durante o século XX verificou-se uma subida global do nível do mar de 1.7 ± 0.5 mm/ano, enquanto a temperatura da superfície dos oceanos subiu 0.6°C desde 1950, associada ao aquecimento da atmosfera nas áreas costeiras.

Dias e Taborde (1992), com base em 104 anos de registos da estação de Cascais e mediante a aplicação de um modelo de regressão linear, demonstrou a tendência de alteração do nível do mar de 1.3 ± 0.1 mm/ano.

As diversas projecções disponíveis consideram ainda as pressões induzidas pela acção antrópica sobre as áreas costeiras, como consequências adicionais para a estimada subida do nível do mar.

Contudo, em muitos casos é complicado desagregar o efeito da elevação do nível do mar, do efeito de subsidência que caracteriza as áreas estuarinas (Moreira, 1992; Ferreira *et al.*, 2008).

No caso do Estuário do Sado, esta dificuldade em separar a contribuição dos vários factores que intervêm na erosão das áreas costeiras (subida do nível do mar, fenómenos de subsidência ou outros impactos antrópicos como alterações de uso e ocupação do solo e a exploração dos recursos marinhos) poderá dificultar a compreensão do real contributo da subida do nível do mar.

Contudo, Moreira (1992) identifica estes factores como responsáveis pelas taxas de erosão verificados nos ecossistemas de sapal.

Outro factor que vem potenciar o efeito da subida do nível do mar é o da ondulação lagunar (*lagoonal seich*), que apresenta maior expressão no Verão sob o efeito da Nortada (Carvalho e Barceló, 1966), gerando ondas baixas (até 1 m de altura).

Esta ondulação (predominantemente de norte) é comandada pela canalização dos ventos de NW (nortada) durante o Verão, promovida pelo canal da Marateca e vai incidir no sector norte e noroeste da Ilha do Cavalo e nos ecossistemas de sapal entre a Carrasqueira e as Moitinhas.

Segundo Neto (2000), verifica-se igualmente a canalização da Nortada pela depressão entre o morro de Palmela e a Serra do Louro.

No entanto, este fluxo, embora forte, não tem um efeito tão evidente na ondulação e na erosão do sapal como o fluxo canalizado pelo canal da Marateca e afecta fundamentalmente a parte mais ocidental do Estuário.

Apesar da forte actuação dos diversos factores erosivos nos ecossistemas de sapal, a existência de uma situação de equilíbrio (designada como progressão vertical do sapal) possibilita uma situação de equilíbrio entre a subida do nível do mar e o incremento da elevação por deposição de sedimentos inorgânicos e matéria orgânica produzida *in situ* (Lynch *et al.*, 1989; Rooth *et al.*, 2003; Cahoon e Turner, 1989; Boumans e Day, 1993; Cahoon *et al.*, 2002).

Segundo Moreira (1992) para o Estuário do Sado as taxas de acreção vertical apresentam valores de 0.8 e 106 mm/ano com uma média de 1.9 mm/ano no período 1978-1989. Esta taxa de acreção revela-se um contributo fundamental para a referida situação de equilíbrio.

A situação preocupante revela-se na taxa de recuo da escarpa de erosão do sapal a qual é particularmente elevada (17 cm/ano de média no período 1978-89 e 1983-89).

Em virtude desta e de outras problemáticas, tem-se verificado um crescente desenvolvimento de modelos geoespaciais dinâmicos para a criação de cenários múltiplos de apoio à decisão no domínio do planeamento e ordenamento do território, que permitam antecipar cenários, minimizar problemas e maximizar ganhos.

Neste contexto, este estudo procura analisar os processos de dinâmica associados aos ecossistemas de sapal no Estuário do Sado, com ênfase nas áreas com maior susceptibilidade à erosão, com o auxílio de Tecnologias de Informação Geográfica (Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Detecção Remota (DR)) e Geosimulação (Cadeias de Markov e Autómatos Celulares).

2. Área de Estudo

A área de estudo integra a área da Reserva Natural do Estuário do Sado (RNES), e uma zona de alargamento que inclui o Sítio 'Estuário do Sado' (PTCON0011), a ZPE 'Estuário do Sado' (PTZPE0011) e o Sítio Ramsar 'Estuário do Sado' (Figura 1).

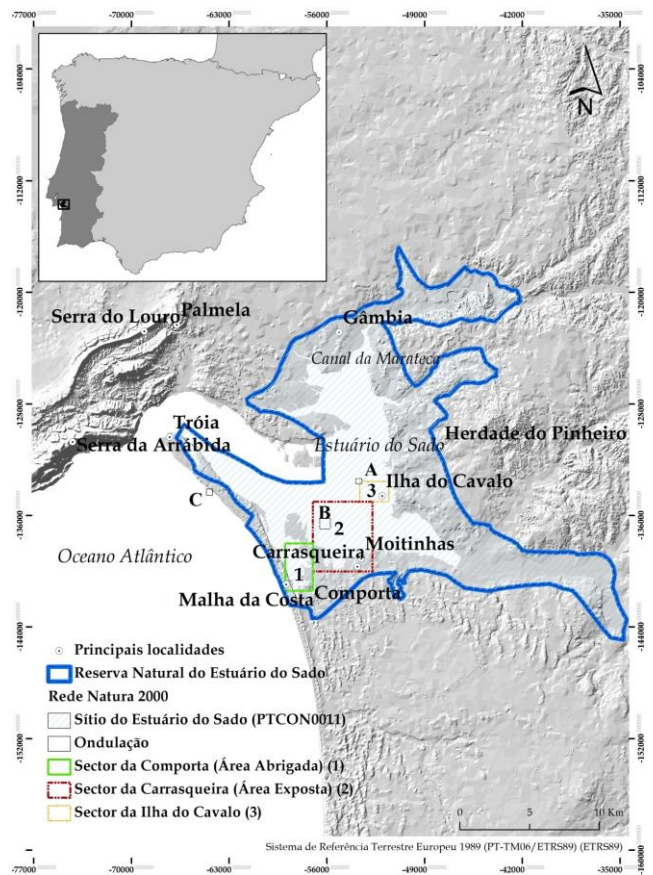


Figura 1. Localização da Reserva Natural do Estuário do Sado.

A área de estudo abrange parcialmente os concelhos de Setúbal (freguesias de Gâmbia-Pontes, Alto da Guerra e Sado), Palmela (freguesia da Marateca), Alcácer do Sal (freguesias de Santa Maria do Castelo e Comporta), Grândola (freguesia do Carvalho), e com menor

representatividade o concelho de Vendas Novas (freguesia da Landeira).

A área da RNES tem uma flora variada e biótopos próprios, consequência essencialmente das suas características litológicas e da sua posição topográfica, na zona de contacto do Rio Sado com o Mar (Neto, 2002).

Tendo em consideração os objectivos deste estudo, foram seleccionados sectores com maior e menor exposição à ondulação lagunar do Estuário do Sado:

1. Sector da Comporta (área abrigada com um total de 679 ha);
2. Sector da Carrasqueira (área exposta com um total de 2127 ha), e
3. Sector da Ilha do Cavalo (área sujeita a diferentes regimes de ondulação consoante o quadrante considerado, com um total de 300 ha).

3. Metodologia

Em termos metodológicos o estudo é constituído por 2 níveis de análise:

1. Análise de diversas coberturas de fotografias áreas e ortofotomapas para os anos de 1958 (fotografia área a preto e branco da Força Aérea dos EUA (USAF)), 1978 (fotografia área a preto e branco do Instituto Geográfico Português (IGP)), 1995 (Orto-imagem do ex-CNIG), 2001 (Ortofotomapas RGB do Instituto Nacional de Intervenção e Garantia Agrícola (INGA)) e 2007 (Ortofotomapas RGB e Infravermelho Próximo do IGP) com recurso a técnicas SIG e DR.

Os procedimentos SIG foram desenvolvidos no software ArcGIS 10 (ESRI, 2011). No que respeita ao processamento de imagem, baseado na Análise de Imagem Baseada em Objecto (OBIA) (Blaschke, 2010; Lucieer, 2008; Baatz e Schape, 2000), foi desenvolvido no software *E-Cognition Developer 8.7.2* (Trimble, 2012). Deste modo, foram determinadas as taxas de erosão, acreção e conversão de sapal baixo e alto para os sectores abrigados e expostos do Estuário do Sado (Figura 2).

2. Aplicação do modelo de Cadeias de Markov e Autómatos Celulares no Land Change Modeler do software IDRISI Taiga (Eastman, 2009) (De Raaf *et al.*, 1965; Miall, 1973; Powers e Easterling, 1982; Harper, 1984; Godinho-Ferreira *et al.*, 2004; Rocha, 2012; Rocha *et al.*, 2004), de forma a analisar as alterações de uso e ocupação do solo entre 2001-2007, e a definir cenários de ocupação futura (para os anos de 2013, 2019 e 2025) em dois dos sectores seleccionados (Sector 1 e 2) (Figura 3).

Os mapas de uso e de ocupação do solo para os anos de 2001 e 2007 foram produzidos com base em procedimentos SIG e DR semelhantes aos descritos no primeiro nível de análise.

A nomenclatura 'Corine Land Cover' Nível 5 (Guiomar *et al.*, 2009) foi adaptada à área de estudo (Quadro 1).

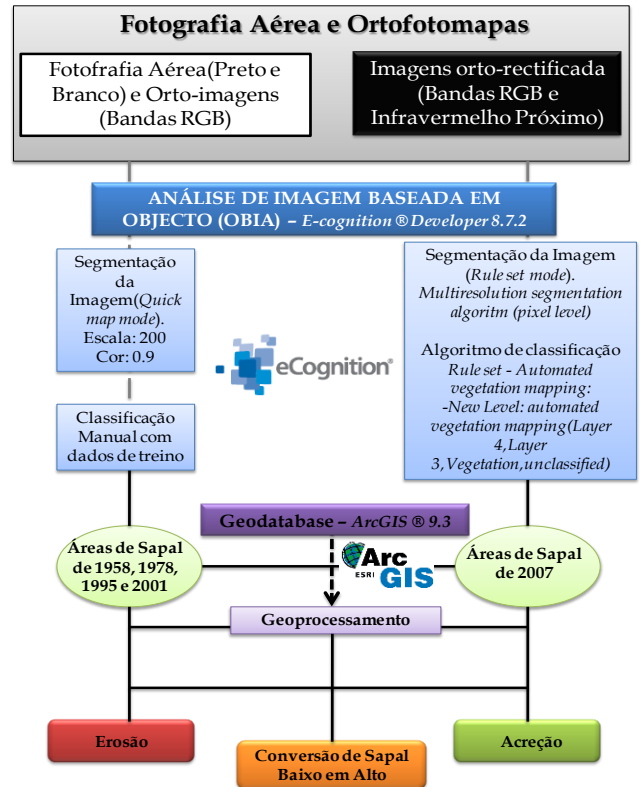


Figura 2. Abordagem metodológica para a determinação das taxas de erosão, acreção e conversão dos ecossistemas de sapal.

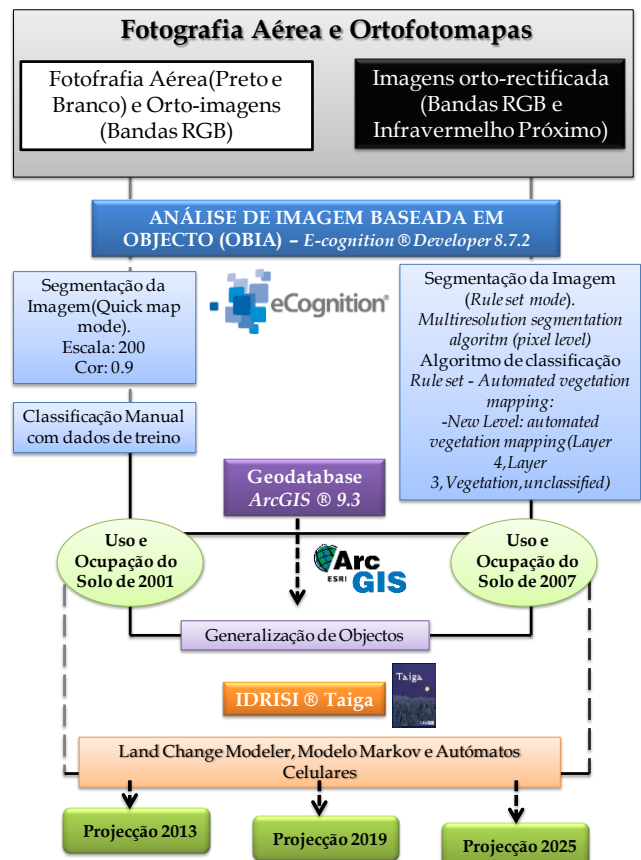


Figura 3. Abordagem metodológica para a determinação das alterações de uso e ocupação do solo no período 2001-2007 e de projecções futuras (2013, 2019 e 2025).

Quadro 1. Nomenclatura 'Corine Land Cover' Nível 5 (adaptado de Guiomar *et al.*, 2009).

	CLC NÍVEL 5	DESCRIÇÃO
CLASSE 001	1.1.2.2	Edificações rurais
CLASSE 002	2.1.2.2.1	Culturas hortícolas ao ar livre
CLASSE 003	2.1.3.1	Arrozais em exploração
CLASSE 004	2.1.3.2	Arrozais abandonados
CLASSE 005	2.3.1.4	Prados xerofílicos
CLASSE 006	3.1.2.1.1	Povoamentos puros de Pinheiro-bravo
CLASSE 007	3.2.2.3	Tojais de <i>Stauracanthus genistoides</i>
CLASSE 008	3.2.2.7	Zimbrais de baixo porte de <i>Juniperus turbinata</i>
CLASSE 009	3.2.2.8	Camarinhas (<i>Corema album</i>)
CLASSE 010	3.2.3.17	Matagais exóticos de <i>Acacia saligna</i>
CLASSE 011	3.3.1.3.2	Sistema de dunas sub-frontais com predomínio de espécies subarbusivas
CLASSE 012	3.3.3	Zonas de vegetação esparsa
CLASSE 013	4.1.1.1	Juncais
CLASSE 014	4.2.1.1.2	Sapal Baixo - Marroçais (<i>Spartina maritima</i>)
CLASSE 015	4.2.1.2.2	Sapais Altos subarbusivos e arbustivos
CLASSE 016	4.2.2.2	Salinas abandonadas
CLASSE 017	5.2.2	Estuários

4. Resultados e Discussão

4.1. Dinâmica Espaço-Temporal dos Ecossistemas de Sapal

Para o período compreendido entre 1958 e 2007, pode-se observar uma clara dinâmica de erosão e recuo nos ecossistemas de sapal (baixo e alto) dos 3 sectores analisados (Quadro 2).

Relativamente às áreas de acreção e conversão de sapal baixo para alto apresentam uma tendência globalmente decrescente (com excepção para o sector da Ilha do Cavalo no período compreendido entre 2001 e 2007).

No sector da Comporta (sector 1), devido ao seu carácter abrigado face à ondulação lagunar dominante, os ecossistemas de sapal apresentam menores taxas de erosão (*e.g.* 11% para sapal alto e 72% para sapal baixo para o período compreendido entre 1995 e 2001) face ao sector com maior exposição (sector 2).

Deste modo, o sector da Carrasqueira exhibe valores de erosão mais elevados para sapal alto (*e.g.* 38% para o período compreendido entre 1995 e 2001) (Figura 4) e sapal baixo (*e.g.* 99% para o período compreendido entre 1958 e 1995).

O sector correspondente à Ilha do Cavalo revela uma dinâmica distinta, em função das zonas com maior ou menor exposição aos regimes de ondulação.

Deste modo, os quadrantes norte, noroeste e oeste da ilha apresentam taxas de erosão mais elevadas (*e.g.* 83% para sapal alto e 30% para sapal baixo, entre 1978 e 1995).

Ao invés, nos quadrantes Este, Sudeste e Sul observa-se um aumento de 30% de sapal baixo e 60% de conversão de sapal baixo para alto, principalmente durante o período compreendido entre 1978 e 1995.

O fenómeno de progressão do sapal baixo (populações mono-específicas de *Spartina maritima*) resulta da acumulação de sedimentos transportados pelo canal da Ilha do Cavalo (entre a Ilha do Cavalo e a Herdade do Pinheiro) e pelo canal principal (Sado) (Figura 1).

Convém ainda destacar, o efeito causado pela abertura do dique da Ilha do Cavalo (situado a Nordeste) na expansão do sapal baixo para o seu interior, reflectindo-se em elevadas taxas de acreção no ano de 2001. Consequentemente, entre 2001 e 2007, verificou-se um aumento significativo das áreas de sapal alto, resultantes da conversão de sapal baixo (Figura 5).

Quadro 2. Dinâmica espaço-temporal dos ecossistemas de sapal (alto e baixo) no período 1958-2007.

		Sapal Alto					Sapal Baixo				
		1958	1978	1995	2001	2007	1958	1978	1995	2001	2007
Comporta (Sector Abrigado) (1)	Área (ha)*	124	-	79	70	41	19	-	36	10	9
	Acreção (ha)**	0	-	15	19	3	0	-	34	6	5
	Erosão (ha)**	0	-	60	28	32	0	-	13	24	6
	Conversão de Sapal Baixo em Sapal Alto (ha)**	0	-	3	8	1	-	-	-	-	-
Carrasqueira (Sector Exposto) (2)	Área (ha)*	850	-	136	84	76	215	-	1	1	6
	Acreção (ha)**	0	-	64	26	12	0	-	1	1	5
	Erosão (ha)**	0	-	777	78	20	0	-	162	1	0.4
	Conversão de Sapal Baixo em Sapal Alto (ha)**	0	-	53	0	0.3	-	-	-	-	-
Ilha do Cavalo (3)	Área (ha)*	59	41	32	26	98	12	10	5	32	4
	Acreção (ha)**	0	14	9	4	75	0	8	3	30	2
	Erosão (ha)**	0	32	18	10	3	0	6	2	1	4
	Conversão de Sapal Baixo em Sapal Alto (ha)**	0	5	5	2	26	-	-	-	-	-

* de acordo com a área total de cada sector.

** de acordo com as áreas de sapal (alto e baixo) para cada período analisado (1958-1995; 1958-1978; 1995-2001 e 2001-2007).

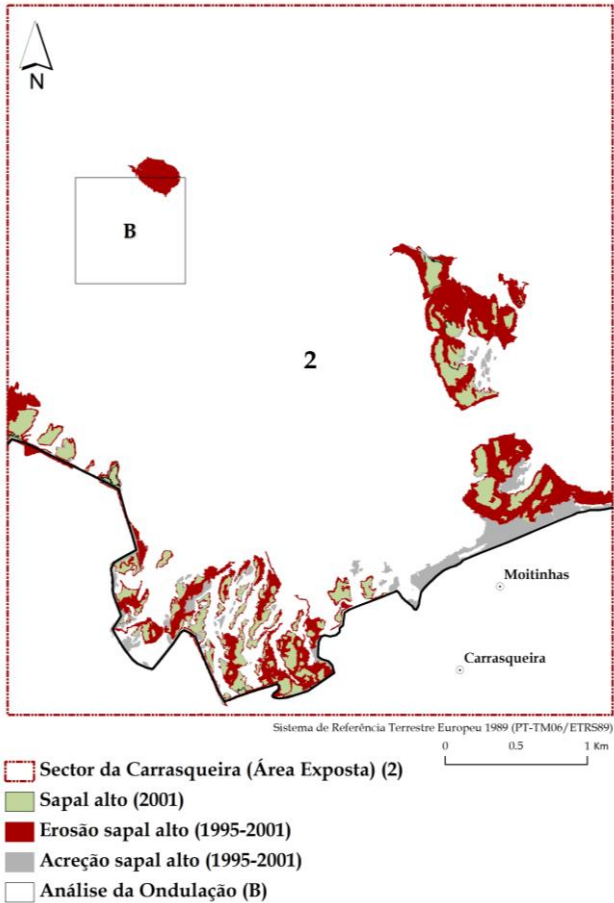


Figura 4. Dinâmica do Sapal Alto no período 1995-2001 na Carrasqueira (Sector 2).

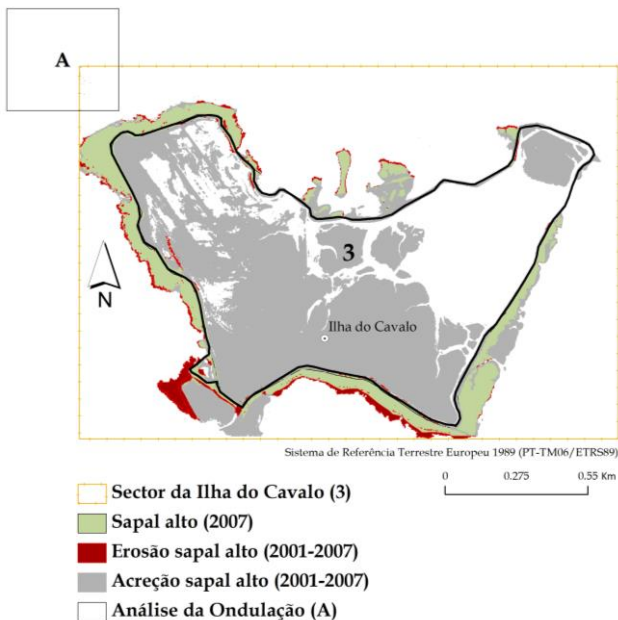


Figura 5. Dinâmica do Sapal Alto no período 2001-2007 na Ilha do Cavallo (Sector 3).

4.2. Dinâmica de Uso e Ocupação do Solo no Período 2001-2007

As alterações de uso e ocupação mais significativas verificam-se nos sectores abrigado (Comporta) (Figura 6) e exposto (Carrasqueira) (Figura 7). Deste modo, entre 2001 e 2007, no sector da Comporta verifica-se um processo de erosão e acreção nos ecossistemas de sapal.

No caso do sapal baixo (classe 014) observa-se uma redução de 6 ha em virtude da expansão das áreas de sapal alto (classe 015), e um aumento de 5 ha pela ocupação de áreas de salinas abandonadas (classe 016). Relativamente ao sapal alto, revela a tendência de erosão com uma redução de 32 ha.

Também se pode observar a recuperação de área (5 ha) dos Tojais de *Stauracanthus genistoides* - *Stauracanthus genistoides* - *Thymo-Stauracanthetum genistoides* (classe 007), resultado de uma dinâmica progressiva nas zonas de vegetação esparsa (comunidades terófiticas e psamófilas da aliança *Malcolmion*) (classe 012). A invasão de *Acacia saligna* (classe 010) tem aumentado significativamente durante as últimas décadas. Para o período em análise, verificou-se a expansão da sua área nos ecossistemas dunares (mais 4 ha), e alguma regressão do Camarinhal - *Rubio-Coremetum albi* (classe 009). Do mesmo modo, observou-se a progressão do Camarinhal (mais 4 ha) para o Sistema de dunas sub-frontais (*Thymus carnosus* e comunidade de *Armeria pungens*) (classe 011) (Figura 10).

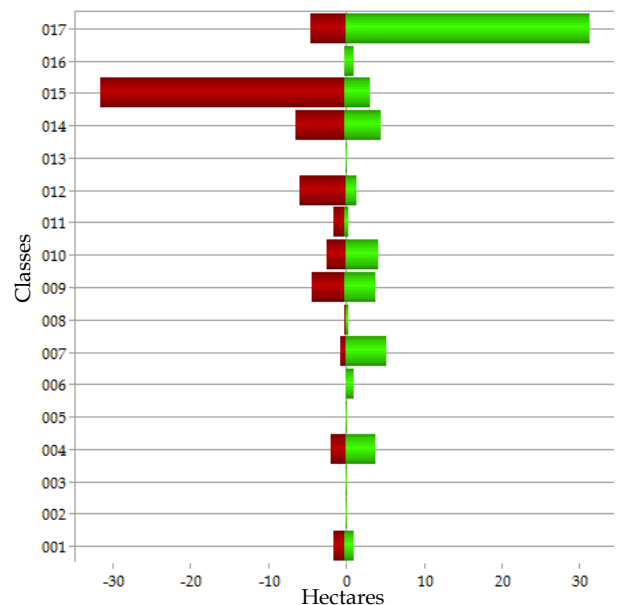


Figura 6. Alterações de uso e ocupação do solo no período 2001-2007 no sector da Comporta (1). Cor vermelha indica redução de área e Cor verde indica aumento de área.

Relativamente ao sector da Carrasqueira, verifica-se uma acentuada redução da área ocupada pelo sapal alto. De facto, tanto a subida do nível do mar como a acção antrópica, tem vindo a contribuir para a actual taxa de erosão (20 ha). No entanto, os aumentos significativos das áreas de sapal alto (13 ha) e sapal baixo (5 ha), reflectem interessantes processos de alteração de uso e ocupação nas margens do Estuário do Sado. Assim, verifica-se uma dinâmica sucessional dos ecossistemas de sapal para o interior do continente através da ocupação de Arrozaais abandonados (classe 004) e Juncais (*Juncus maritimus*, *Polygonum equisetiforme* e *Juncus acutus*) (classe 13). Tal como no sector da Comporta, podemos observar uma recuperação de área (14 ha) dos Tojais de *Stauracanthus genistoides* - *Stauracanthus genistoides* - *Thymo-Stauracanthetum genistoides* (classe 007), principalmente nas zonas de vegetação esparsa (comunidades terófiticas e psamófilas da aliança *Malcolmion*) (classe 012).

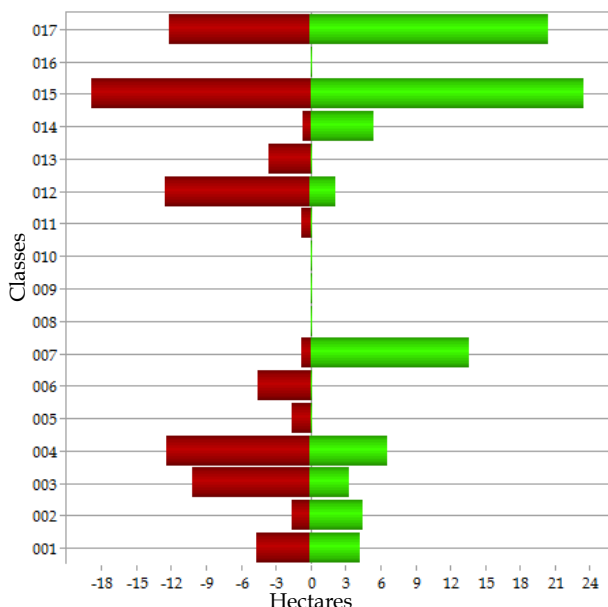


Figura 7. Alterações de uso e ocupação do solo no período 2001-2007 no sector da Carrasqueira (2). Cor vermelha indica redução de área e Cor verde indica aumento de área.

4.3. Projecções de Uso e Ocupação do Solo no Período 2013-2025

A simulação com cadeias de Markov e cadeias de Markov acopladas a um algoritmo de autómatos celulares até ao ano de 2025 permitiram modelar a dinâmica da paisagem e identificar as principais iterações entre os usos e ocupação do solo a partir de uma matriz de transição. Os dois sectores analisados apresentam históricos de uso e ocupação do solo ligeiramente contrastantes. Por um lado, na Comporta (sector 1), o turismo tem vindo a incrementar o processo de urbanização em torno das edificações rurais e nos ecossistemas dunares (principalmente ao nível das dunas penestabilizadas e dunas interiores) (Figura 8).

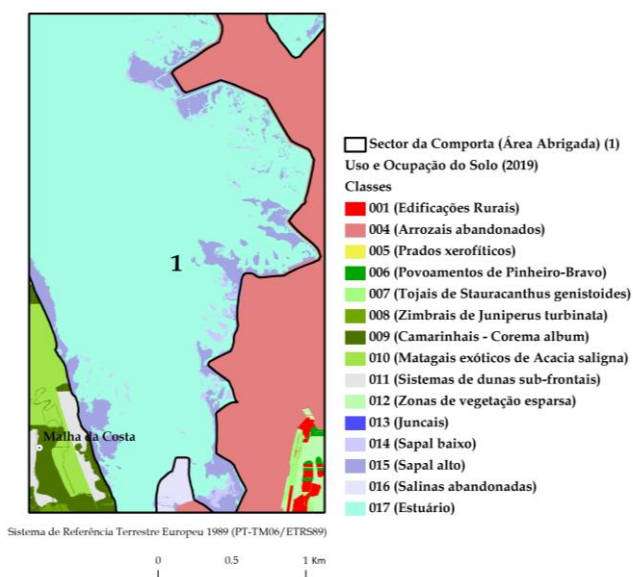


Figura 8. Mapa de uso e ocupação do solo (2019) do sector da Comporta (1).

Por outro lado, em alguns locais da Carrasqueira (sector 2) o abandono dos arrozais e algumas áreas agrícolas, tem vindo a conduzir à recuperação dos ecossistemas de sapal.

Nos sectores analisados, as projecções (2013, 2019 e 2025) derivadas dos autómatos celulares de Markov, indicam que a estabilidade das áreas dos ecossistemas de sapal seja atingida em 2025 (Quadro 3).

Quadro 3. Dinâmica dos Ecossistemas de Sapal no período 2007-2025.

Sector	Área (ha)*	Sapal Alto				Sapal Baixo			
		2007	2013	2019	2025	2007	2013	2019	2025
Sector 1	41	54	45	40	9	9	8	8	
Sector 2	76	69	68	67	6	3	3	4	

* de acordo com a área total de cada sector.

Pode-se observar no Quadro 3, que em ambos os sectores, as áreas de sapal alto e baixo reflectem uma clara dinâmica de recuo (principalmente até 2019). Para esta situação, muito tem vindo a contribuir a referida subida do nível do mar.

De referir, que o sector da Carrasqueira em virtude da sua maior exposição à ondulação dominante, apresenta uma tendência de erosão superior ao sector da Comporta.

A esta situação acresce o efeito induzido pela ocupação antrópica das margens do estuário. Contudo, nas zonas de contacto Terra-Mar da Carrasqueira, as iterações de uso e ocupação do solo relacionadas com os ecossistemas de sapal reflectem a importância dos Arrozais abandonados e Juncais como áreas de re-colonização (Figura 9).

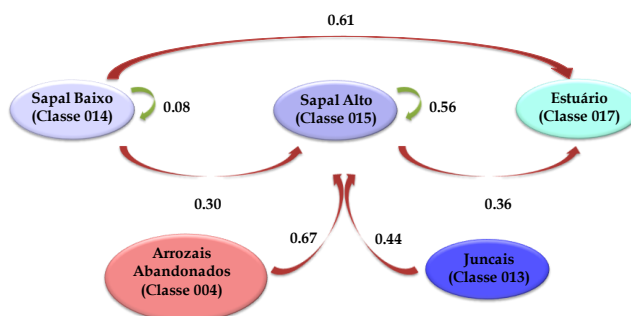


Figura 9. Iterações de uso e ocupação do solo de transição para o ano 2019 no sector da Carrasqueira (2). Os valores apresentados referem-se às probabilidades de transição.

5. Considerações Finais

Ficou comprovado que no Estuário do Sado domina a dinâmica de recuo tanto do sapal alto como de sapal baixo, com diminuição da sua área de ocupação, e só de forma muito marginal e limitada, se verifica um aumento na área ocupada pelo sapal baixo.

Embora se confirme que o fenómeno de recuo acelerado dos sapais em todo o Estuário do Sado, correlacionado com a subida do nível do mar, é um fenómeno recorrente, existe no actual processo um dado novo que é toda a ocupação antrópica das margens do estuário que não facilita o fornecimento de sedimentos e consequente expansão dos sapais para o interior do continente.

Desta forma, as elevadas taxas de recuo do sapal verificadas neste estudo fazem crer que muitas das comunidades de sapal poderão desaparecer nas próximas décadas.

Sendo os sapais do Estuário do Sado um dos habitats com maior biodiversidade e de extrema importância para diversos animais marinhos e estuarinos (e.g. garça-branca-pequena, gaivota-de-patas-amarela, íbis-preta, colhereiro, entre outras), revela-se decisiva a articulação com algumas actividades humanas (Salicultura, Agricultura e Pescas sustentáveis), de forma a contribuir para o equilíbrio deste ecossistema.

De facto, os sapais encontram-se entre os habitats em perigo, devido ao crescimento urbano, agrícola e industrial, sendo actualmente um espaço bastante mais reduzido do que foi no passado, devendo por isso ser protegido.

Neste sentido, apesar de algumas limitações provocadas pela indisponibilidade de amostragens pormenorizadas e de conjuntos de dados geográficos de resolução elevada, referentes ao regime de ondulação, velocidade e direcção do vento, balanço sedimentar, entre outros, este trabalho trouxe resultados bastante estimulantes, já que permitiu a percepção das tendências dos ecossistemas de sapal alto e baixo.

Ao demonstrar essas tendências, este tipo de abordagem pode constituir uma importante ferramenta no apoio à decisão, e conseqüentemente, poderá auxiliar os gestores do território numa melhor definição de Instrumentos de Gestão Territorial, na concepção e aprovação de futuras áreas de mitigação, prevenção e protecção.

Conclui-se que a combinação de metodologias SIG e DR com outras emergentes, como a modelação com autómatos celulares, assumem um papel relevante no contributo para a leitura e interpretação das dinâmicas espaciais, permitindo modelar e simular a evolução e reacção dos territórios.

Deste modo, pode constituir uma ferramenta crucial para o apuramento das interpretações, explicações e prospecções territoriais.

Agradecimentos

À Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT) pelo apoio financeiro através da concessão da bolsa de Doutoramento (Referência SFRH / BD / 45147 / 2008).

Expresso também os meus agradecimentos à empresa Trimble por disponibilizar o software *eCognition Developer* sob a forma de uma licença académica no qual foi implementada a Análise de Imagem Baseada em Objectos (OBIA).

Por último, agradeço ao recém-extinto Instituto Geográfico Português (IGP) pela cedência dos dados ao abrigo do Programa FIGGIE, pois sem eles, não seria possível a realização deste trabalho.

Referências

- Bindoff, N.; Willebrand, J.; Artale, V.; Cazenave, A.; Gregory, J.; Gulev, S.; Hanawa, K.; Lequeré, C. e Co-authors. (2007). Observations: Oceanic climate change and sea level. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 996 pp.
- Baatz, M. e Schape, A. (2000). *Multiresolution Segmentation - An Optimization Approach for High Quality Multi-Scale Image Segmentation*, *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*, XII, Ed. J. Strobl et al, AGIT Symposium, Salzburg, 12-23.
- Blaschke, T.; Lang, S. e Hay, G.J. (Eds.) (2008). *Object-Based Image Analysis: Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*, Springer, Berlin, Heidelberg, 817 pp.
- Boumans, R.M. e Day JR, J.W. (1993). *High precision measurements of sediment elevation in shallow coastal areas using a sedimentation-erosion table*. *Estuaries*, 16, 375-380.
- Cahoon, D.R.; Lynch, J.C.; Perez, B.C.; Segura, B.; Holland, R.D.; Stelly, C.; Stephenson, G. e Hensel, P. (2002). *High-precision measurements of wetland sediment elevation: II. The Rod Surface Elevation Table*. *Journal of Sedimentary Research*, 72, 5, 734-739.
- Cahoon, D.R. e Turner, R.E. (1989). *Accretion and canal impacts in a rapidly subsiding wetland. II. Feldspar marker horizon technique*, *Estuaries*, 12, 4, 260-268.
- Carvalho, J.R. e Barceló, J.P. (1966). *Agitação marítima na costa W de Portugal metropolitano*, *Memórias do L.N.E.C*, 290.
- De Raaf, J.F.M.; Reading, H.G. e Walker, R.G. (1965). *Cyclic sedimentation in the Lower Westphalian of North Devon, England*, *Sedimentology*, 4, 1-52.
- Dias, J.A. e Taborda, R. (1992). *Tide-gauge data in deducing secular trends of relative sea level and crustal movements in Portugal*, *Journal of Coastal Research*, 8, 655-659.
- ESRI (2011). *ArcGIS Desktop: Release 10*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Eastman, J.R. (2009). *IDRISI Taiga*. Worcester, MA: Clark University.
- Ferreira, O.; Dias, J.A. e Taborda, R. (2008). *Implications of Sea-Level Rise for Continental Portugal*, *Journal of Coastal Research*, 24, 2, 317-324.
- Godinho-Ferreira, P.; Almeida, M.; Fernandes, A.; Codipietro, P. e Castro Rego, F. (2004). *Landscape Dynamics in the Area of Serra da Arrábida and the Sado River Estuary*. In Mazzoleni S.; di Pasquale G.; Mulligan, M.; di Martino, P. & Rego, F. (ed). *Recent Dynamics of the Mediterranean Vegetation and Landscape*, John Wiley and Sons, Chichester, 306 pp.
- Guiomar, N.; Batista, T.; Fernandes, J.P. e Cruz, C.S. (2009).

- Corine Land Cover Nível 5 - Contribuição para a Carta de Uso do Solo em Portugal Continental*, Associação de Municípios do Distrito de Évora, 226 pp.
- Harper, C.H. (1984). Improved Method of Facies Sequences Analysis. In Walker, R. G. (ed), *Facies Models*, Geoscience Canada, Reprint Series, 317 pp.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Full report, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lucieer, V.L. (2008). *Object-oriented classification of sidescan sonar data for mapping benthic marine habitats*, International Journal of Remote Sensing, 29, 3, 905-921.
- Lynch, J.C.; Omeriwether, J.R.; Mckee, B.A.; Vera-Herrera, F. e Twilley, R. R. (1989). *Recent accretion in mangrove ecosystems based on¹³⁷Cs and²¹⁰Pb*, Estuaries, 12, 284-299.
- Miall, A.D. (1973). *Markov chain analysis applied to an ancient alluvial plain succession*, Sedimentology, 20, 347-364.
- Moreira, E. (1992). *Recent Salt Marsh Changes and Sedimentation Rates in the Sado Estuary*, Journal of Coastal Research, 8, 3, 631-640.
- Neto, C. (2000). *Circulação do ar na Península de Tróia e Costa de Galé*, Finisterra, 35, 70, 41-55.
- Neto, C. (2002). *A Flora e a Vegetação do superdistrito Sadense (Portugal)*, Guineana, 8, 1-269.
- Powers, D.W. e Easterling, R.G. (1982). *Improved methodology for using embedded Markov chains to describe cyclical sediments*, Journal of Sedimentary Petrology, 52, 3, 913-923.
- Rocha, J. (2012). *Sistemas Complexos, Modelação e Geosimulação da Evolução de Padrões de Uso e Ocupação do Solo*, Tese de doutoramento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, 954 pp.
- Rocha, J.; Tenedório, J.A.; Encarnação, S. e Saudade, P. (2004). *Integração de autómatos celulares e redes neuronais em ambiente SIG para previsão de alterações nos padrões de uso e ocupação do solo*, CD-Rom Proceedings da 8ª Conferência Nacional do Ambiente, DCEA-FCT-UNL, Lisboa.
- Rooth, J.E.; Stevenson, J.C. e Cornwell, J.C. (2003). *Increased sediment accretion rates following evasion by Phragmites australis: The role of litter*, Estuaries. 26, 2B, 475-483.
- Trimble (2012). *eCognition Developer 8.7.2*. Trimble Germany GmbH, Trappentreustr. 1, D-80339 München, Germany.