

Barreiras detríticas de Portugal Continental: evolução morfológica da restinga do Cabedelo na foz do rio Douro

Rui José Morais Fernandes up200902906@letras.up.pt

Resumo: Portugal é um país com uma rica diversidade de formações costeiras. As restingas são formações de grande importância na costa portuguesa e o Cabedelo será uma das mais icónicas. Esta restinga, localizada na embocadura do rio Douro, foi durante a década dos 00's alvo de intervenção humana na forma de dois molhes, um a norte e um a sul. Deste modo foi possível fixar o norte da restinga e promover o seu desenvolvimento, resultando num aumento significativo de área relativamente ao período antes da obra. Analisaremos a restinga por sectores de maneira desvendar a movimentação ao longo da última década e tentar perceber como essa evolução poderá decorrer nos anos vindouros.

Palavras-chave: Restinga, Cabedelo, Erosão, DSAS, Planeamento

Abstract: Portugal is a country with a rich diversity in coastal landforms. Spits are landforms of great importance in the portuguese coast and the Cabedelo spit is perhaps one of the most iconic. This spit, localized at the mouth of the Douro river, was during the 00's decade the target of a massive human intervention in the form of the construction of two breakwaters, one north and one south. It was thereafter possible to fixate the north end of the spit and promote it's development, resulting in a substantial increase of its area relatively to the decade before. We shall analyse the spit by sectors, so to discover the way in which it moved during the last decade, and try to determine how that evolution could unfold in the future.

Keywords: Spit, Cabedelo, Erosion, DSAS, Urban Planning

Introdução

Portugal é um país de pequena dimensão. No entanto, devido à sua forma alongada e posicionamento nas latitudes médias (aproximadamente 37° - 42°N), apresenta paisagens muito diversificadas. Esta realidade está também presente na sua costa, de cerca de 845km de comprimento (Morais, 2010). Aqui podemos encontrar costa arenosas e rochosas, altas e baixas. Um dos elementos presentes de forma recorrente na costa portuguesa são as barreiras detríticas (Fig. 1). O DL 124/2019 engloba as ilhas barreira, barreiras soldadas e restingas no grupo das barreiras detríticas.

Aqui não falaremos das barreiras soldadas devido à sua fraca expressão no país.

Restingas em Portugal

Para efeitos legais e de ordenamento do território, o DL 124/2019 considera as restingas como sendo caracterizadas como um cordão de areia ou cascalho destacado de terra, com um extremo a ela fixo, que se eleva acima da linha de máxima baixa-mar de águas vivas equinociais. Esta definição não está muito afastada do que encontramos em publicações científicas. Bird (2008) define restinga como um corpo de areia, acima do nível da maré alta,

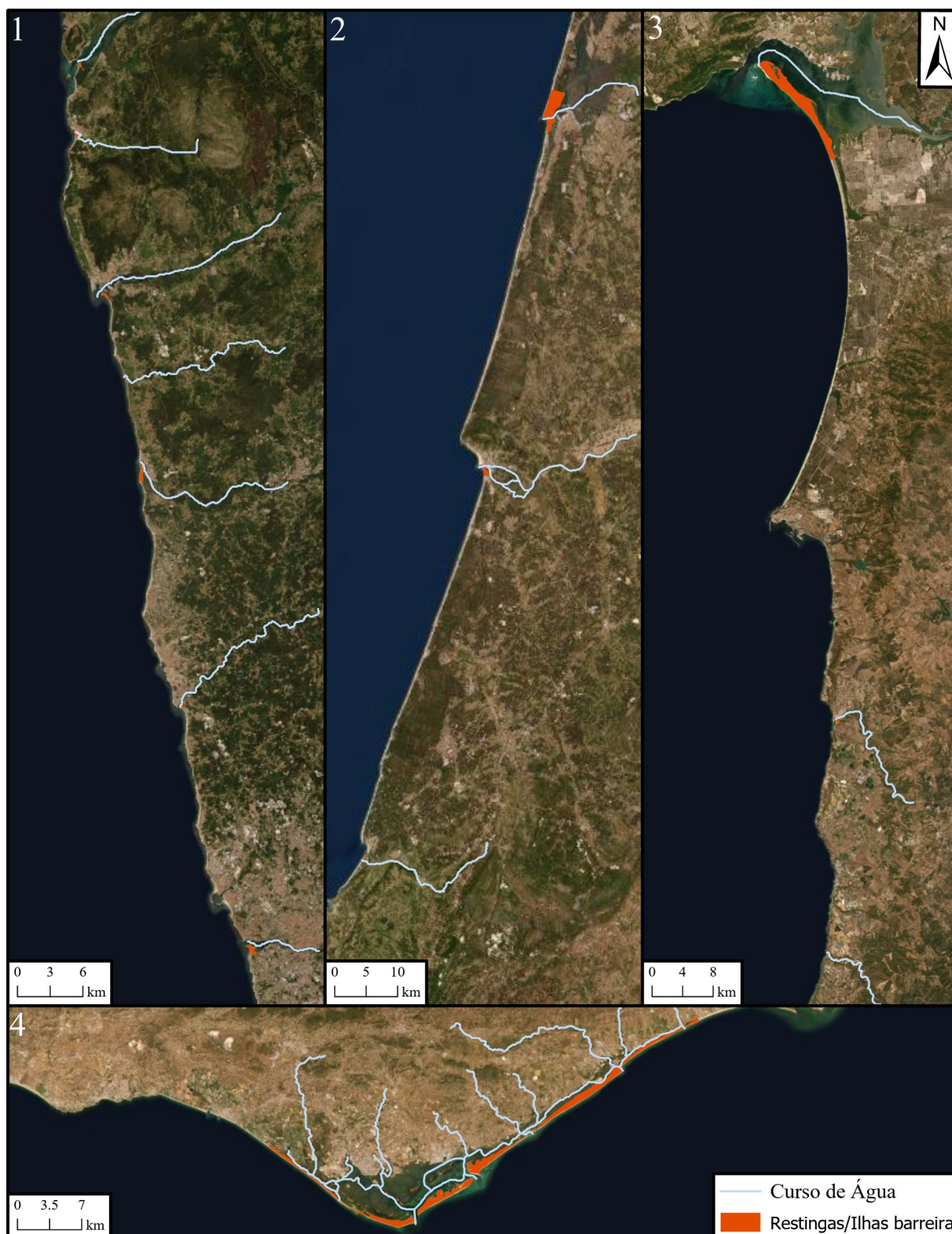


Figura 1 - Principais restingas e ilhas-barreira de Portugal Continental, e os seus respectivos cursos de água: (1) Restingas na costa norte (Caminha - Gaia); (2) Restingas na costa Centro (Aveiro - Nazaré); (3) Restinga na costa alentejana (Setúbal - Odeceixe); (4) Sistema de ilhas-barreira na costa algarvia (Faro - Cabanas)

Figure 1 - Main spits and barrier islands in Continental Portugal, and their respective water courses: (1) Spits in the north coast (Caminha - Gaia); (2) Spits in the center coast (Aveiro - Nazaré); (3) Spits in the Alentejo coast (Setúbal - Odeceixe); (4) Barrier Island system in the Algarve coast (Faro - Cabanas).

que diverge da costa (p.248). As restingas formam-se por deposição de sedimentos. Assim sendo, será necessária uma fonte de sedimentos e um local propício à sua deposição. Em Portugal as mais evidentes restingas localizam-se na embocadura dos principais rios, bloqueando parte da comunicação marino-fluvial. Na Figura 2-A temos a disposição típica de uma restinga em Portugal, tendo por base o Cabedelo na foz do Douro. Tal como todas as restingas no país, esta encontra-se enraizada a sul da saída do estuário, sendo tal da responsabilidade da corrente fluvial. As correntes fluviais em Portugal fazem-se sentir mais fortemente na margem norte dos rios, resultado da força de Coriolis. Esta força desvia, no Hemisfério Norte, corpos em movimento para a sua direita. Desta forma a corrente fluvial não permite a deposição de sedimentos na margem norte dos rios

portugueses. De forma generalista, as maiores e bem definidas restingas do país localizam-se na porção norte do mesmo, sendo também neste sector onde encontramos o maior numero das mesmas. Aqui temos restingas com alguma dimensão em todos os principais rios, do Minho ao Douro (Fig. 1-A). No sector central (Fig. 1-B) não existem tantas restingas, muito devido à falta de grandes rios. Ainda assim, a restinga do Vouga apresenta grande expressão, estando associada a uma laguna de tamanho considerável. A costa alentejana apresenta um cenário semelhante ao centro, contendo algumas pequenas restingas e uma de grande dimensão, associada ao estuário do Sado (Fig. 1-C).

Como já foi referido, as restingas são geralmente compostas por areias, sendo a sua deposição resultado da deriva litoral (Bird, 2008). Existem, no entanto,

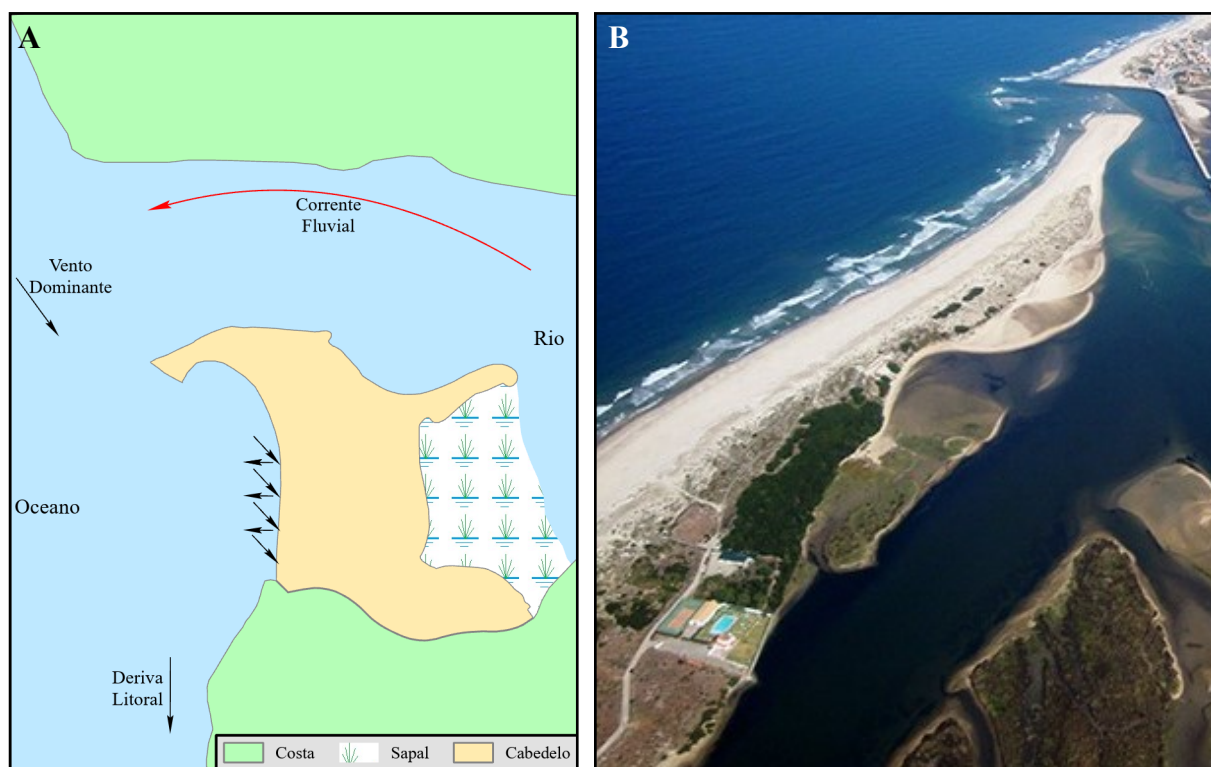


Figura 2 - (A) Representação esquemática dos processos envolvidos na evolução de restingas baseado no Cabedelo, Gaia. (B) Perspectiva aérea da restinga do Cávado, Esposende.

Figure 2 - (A) Schematic representation of the processes present in spit evolution based on the Cabedelo, Gaia. (B) Areal view of the Cávado spit, Esposende.

restingas de cascalho, sobretudo em locais de maior latitude (Orford, 2004). Sendo os estuários locais de contacto entre água doce e salgada, muitas vezes estão presentes sapais na margem fluvial das restingas, protegidos pela mesma da acção directa do oceano. Tal como as restantes formas costeiras arenosas, as restingas estão sujeitas à erosão, sendo assim dotadas de grande mobilidade. Aqui procuraremos analisar a evolução morfológica do Cabedelo, na foz do Douro, a partir da conclusão da construção dos quebra-mares lá presentes.

Ilhas Barreira em Portugal

As ilhas barreira são outra das formas identificadas no DL 124/2019 sob a categoria de barreiras detríticas. Tal como as restingas, o documento define estas formas como um cordão de areia ou cascalho destacado de terra que se eleva acima da linha de máxima baixa-mar de águas vivas

equinociais. A diferença fundamental entre estas formas é simples. A restinga está ancorada à costa, a ilha barreira, tal como o nome indica, está totalmente destacada do continente. Bird (2008) define ilha barreira como “formas costeiras alongadas originadas pela deposição de material sedimentar no mar, ou atravessado na embocadura de enseadas ou baías” (p.235). Estas formas são geralmente paralelas à linha de costa, protegendo-a da acção directa da ondulação. Entre as ilhas e a costa estão presentes zonas húmidas ricas em nutrientes (Davis, 1994; Otvos, 2019). No caso português o sapal, no caso brasileiro temos os manguezais.

A origem destas ilhas é objecto de debate, existindo três teorias importantes desenvolvidas no séc.XIX cujas ideias se mantêm até aos dias de hoje (Davis, 1994). Elie de Beaumont postulou em 1845 que estas ilhas poderiam ter origem no crescimento de barras submarinas, ao ponto destas subirem acima no nível da maré alta.



Figura 3 - Ilha da Culatra, uma das ilhas barreira no sistema da Ria Formosa, e o respectivo sapal entre a mesma e a costa.
Figure 3 - Culatra Island, one of the barrier islands on the Ria Formosa system, and the corresponding wetlands between itself and the shoreline.

G.K. Gilbert colocou quarenta anos mais tarde a hipótese destas resultarem da segmentação de uma restinga, transformando-a numa ilha. Já McGee, em 1890, abre a possibilidade das ilhas barreira serem resultado da subida do nível do mar. Esta subida terá causado uma transgressão marinha sobre as praias já existentes, submergindo-as, mantendo no entanto as unas emersas. Estas dunas seriam as ilhas barreira actuais. Em todo o caso, a ideia das ilhas serem criadas e mantidas por processos relacionados ao oceano e à ondulação é largamente aceite.

Em Portugal o mais proeminente sistema de ilhas barreira localiza-se na costa Algarvia, estendendo-se de Faro a Cacela Velha por cerca de 50km (Fig. 1-D). Este sistema protege a ria Formosa (Fig 3), um importante sapal na região. Devido à sua natureza frágil e às forças a que estão sujeitas, estas formações são facilmente mutáveis, podendo responder a alterações em meros anos, período muito

reduzido em termos geológicos (Davis, 1994). As ilhas podem avançar ou recuar relativamente à costa. O recuo dá-se sobretudo pela acção de tempestades. Se estas forem suficientemente fortes podem causar *overwash* na ilha, transportando sedimentos da sua frente oceânica para a frente continental (Bird, 2008). Isto leva ao recuo da ilha.

Área de Estudo

Para esta análise focar-nos-emos no Cabedelo (Fig. 4). Este localiza-se no estuário do Douro, sendo este o rio com a maior bacia hidrográfica da península (97,682 km²) (Teodoro, 2014). Faz fronteira a Oeste com o Oceano Atlântico e leste e norte com o estuário do Douro. Possui aproximadamente 700m de comprimento e larguras que variam desde os 250m aos 450m. Tem também uma área planar de aproximadamente 305,259m² (medições a Julho de 2019). Tal como to-



Figura 4 - Área de estudo
Figure 4 - Study area.

da a costa ocidental de Portugal, a foz do Douro está sujeita a uma deriva litoral de NW. Esta deriva é largamente resultado dos ventos dominantes de N-NW. A cerca de 18km a montante da foz encontramos a barragem de Crestuma-Lever, responsável pelo controlo das descargas de água doce para o estuário, e possível responsável pe-

estrutura a norte consiste num quebra-mar rectilíneo, 5m acima do nível médio do mar (Bettencourt et al., 2009). Por outro lado a estrutura a sul trata-se de um quebra-mar destacado ligeiramente curvado, a 350m da restinga á data de construção, indirectamente ligado a esta por uma estrutura secundária de 460m, desenvolvendo



Figura 5 - Cabedelo em 2003 (A) e 2020 (B) (Google Earth).
Figure 5 - Cabedelo in 2003 (A) and 2020 (B) (Google Earth).

la retenção de sedimentos proveniente de montante.

Até aos anos 2000 veio-se a assistir a uma redução acentuada da restinga, tendo apenas 276,000m² de área em 2003 (Fig. 5-A). Este encolhimento da restinga reduziu a sua funcionalidade como barreira protectora. Para evitar uma maior redução e até eventual desaparecimento da restinga, iniciou-se em 2004 um projecto de construção de dois quebra-mares na embocadura do rio (Fig. 5-B). Estes tinham três objectivos essenciais: evitar que a margem direita do Douro fosse atingida pela ondas; fomentar o crescimento e consolidação da restinga de modo a restaurar o seu papel protector, em especial em relação ao sapal presente no seu flanco fluvial; facilitar a navegação no estuário, já que historicamente a barra do Douro sempre foi de difícil acesso (Teodoro, 2014). A

do-se transversalmente à praia, “acompanhando de perto o talude arenoso na sua posição futura” (Nemus, 2013) (pág. 6). Como veremos esta estrutura de apoio encontra-se intimamente ligada com a morfologia actual da restinga. As estruturas na porção sul da obra foram mantidas o mais pequenas possíveis de forma a minimizar os impactos paisagísticos na restinga.

Metodologia

Esta análise foi desenvolvida com recurso a software SIG, nomeadamente o Google Earth e ArcGIS. Para atingir o objectivo do trabalho, a medição do movimento do Cabedelo pós molhes, utilizou-se a extensão do ArcGIS denominada de Digital Shoreline Analysis System (DSAS), desenvolvida pela United States Geological

Survey (USGS). Esta ferramenta permitiu realizar as medições entre as linhas de costa do Cabedelo nos anos 2010, 2014, 2015, 2018 e 2019. A ferramenta efectua as medições tendo por base uma linha definida pelo utilizador (*baseline*). Após definida a *baseline*, são criadas linhas perpendiculares à mesma (*transects*), com um espaçamento entre elas definido à priori. Para o caso utilizamos um espaçamento de 20m, tendo em conta as dimensões do Cabedelo. Estes *transects* são o vector pelo qual as medições são realizadas através da simples intersecção do *transect* com as várias linhas de costa definidas. Isto permite saber quanto a restinga variou naquela posição entre 2010 e 2019 através do indicador Net Shoreline Movement (NSM), bem como a sua variação máxima utilizando o indicador Shoreline Change Envelope (SCE), ambos medidos em me-

$$EPR = \frac{NSM}{\text{Tempo entre a costa mais antiga e recente}}$$

tros. Um terceiro indicador usado foi o End Point Rate (EPR). Este é calculado pela seguinte expressão:

Este rácio procura relacionar o movimento experiência naquele local relativamente ao tempo e é expresso em metros por unidade de tempo.

A definição das linhas de costa foi efectuada através do desenho sobre imagens de satélite. Este é geralmente um exercício complicado, sobretudo em situações de grande escala tendo em conta a variabilidade da costa em relação às marés. Desta forma a introdução de algum erro é esperada. Para o caso em questão foi decidido dividir o Cabedelo em quatro secções distintas (Fig. 6). Uma primeira

secção referente à costa voltada para o Atlântico, uma segunda secção correspondendo ao limite norte da restinga, uma terceira secção delimitando a língua de areia que se estende para o interior do estuário, e uma quarta secção marcando o flanco voltado para o estuário, adjacente ao sapal. É de salientar que a análise no sector da língua de areia possui um intervalo temporal de 2014 - 2019, contrariamente ao intervalo de 2010 - 2019 dos restantes sectores. Tal deve-se às condições da imagem de 2010, onde a língua se encontrava em mau estado e sem condições para a análise. A divisão em sectores prende-se com o funcionamento do DSAS e fomenta uma leitura mais clara dos resultados. As *baselines* correspondem a linhas paralelas, a 10m, à linha de costa mais recuada. Com base nos resultados foi realizada uma previsão das linhas costa para os diferentes sectores. Esta operação, realizadas automaticamente pelo DSAS, analisa as variações observadas nos dados disponíveis, e desenha geograficamente a previsão. A língua de areia foi removida deste processo pois a sua configuração e comportamento errático não devolviam resultados significativos através desta metodologia.

Resultados

Os resultados mostram que a evolução da restinga não é uniforme, e a sua morfologia variou consideravelmente. A informação obtida pela aplicação do DSAS revela mudanças muito diferenciadas nos diferentes sectores identificados (Fig. 6 e 7). O sector atlântico (azul) mostra uma grande evolução positiva, sendo neste sector onde encontramos a maior

acumulação de sedimentos. O sector norte (vermelho) é directamente influenciado pelo quebra-mar ali presente. A estrutura de apoio falada acima funciona como barreira artificial, fixando a restinga. Daí vermos variações tão reduzidas na parte ocidental desta secção. A parte oriental desta mesma secção, já sem a influência directa da estrutura de apoio, apresenta os maiores níveis de erosão em toda a restinga (Fig. 7). O terceiro sector (amarelo), referente à língua de areia, é facilmente o mais moldável, apresentando variações aparentemente aleatórias ao longo do tempo. Aqui não é possível determinar um padrão espacial de erosão ou acreção, sugerindo que esta área está mais sujeita a

factores locais. Por ultimo temos o sector voltado para o estuário (verde). Este sector espelha de certo modo o atlântico, tendo um comportamento contrário a este. Aqui observamos uma erosão consistente, não existindo grande variabilidade entre os *transects*. Ainda assim, no final do sector, já próximo da costa de V. N. de Gaia, assistimos a alguma acreção.

Na Figura 7 consideramos pertinente exibir o SCE juntamente com o NSM para efeitos comparativos. O SCE é sempre um valor positivo, pois apenas mede uma distância independentemente de se tratar de erosão ou acreção. Não obstante, convertemos os valores deste para negativo quando o NSM no *transect* era também negativo de forma a facilitar a leitura gráfica do processo. Na figura em questão vemos que, de modo geral, o SCE acompanha o NSM ao longo da restinga. Isto é perfeitamente evidente no sector atlântico, onde os indicadores são semelhantes em virtualmente toda a extensão. Esta sobreposição entre os indicadores não é coincidência, e traduz que a variação da linha de costa observada neste período de tempo, o NSM, é igual à variação máxima entre qualquer um dos anos, o SCE. Assim é possível determinar que a

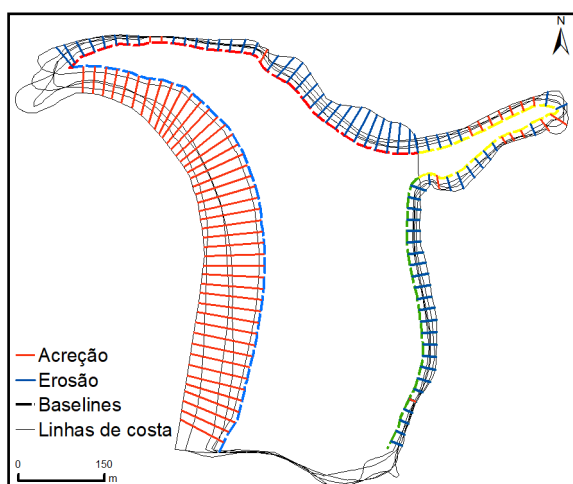


Figura 6 - Geração de *transects*.

Figure 6 - *Transect* generation.

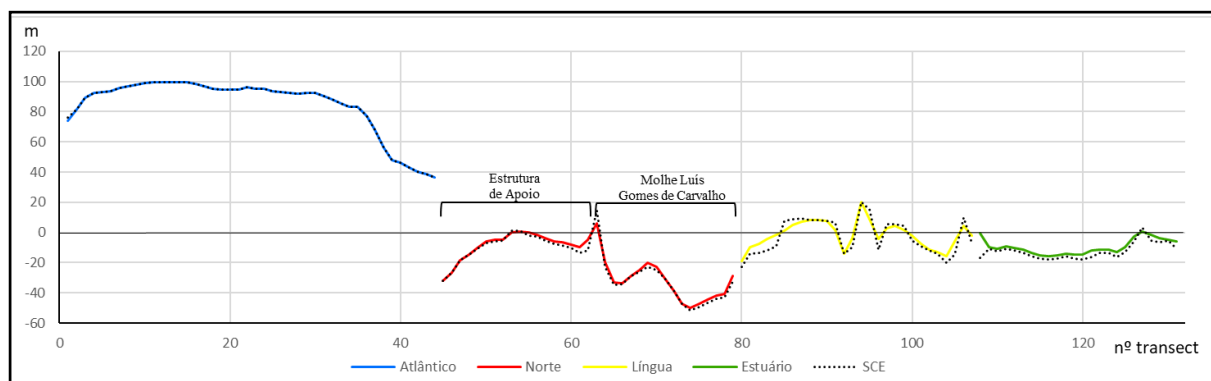


Figura 7 - NSM e SCE dos *transects* ao longo da restinga, dividido por sectores.

Figure 7 - *Transect* NSM and SCE along the spit, divided by sector.

tendência desta área, tendo em conta os dados, é para o aumento constante sem grandes instabilidades. Comparemos este caso com o sector da língua de areia. Aqui temos diversos *transects* apresentando valores dispares de NSM e SCE. Isto é, o movimento observado entre 2010 e 2019 não foi a maior variação encontrada. Tal significa que a linha de costa recuou/avançou relativamente a 2010, sendo posteriormente sujeita ao movimento oposto. É esta mudança de direcção que ultimamente provoca a disparidade entre estes

lanço médio positivo nos indicadores utilizados. Com um avanço médio de 9.65m/ano ao longo do sector, esta secção é responsável por um aumento de área de aproximadamente 72,071.88m².

Por outro lado, o sector norte é autor da erosão mais acentuada presente no Cabedelo, mostrando um valor mínimo de NSM -50.03m e um SCE máximo de 51.45m. A diferença entre os dois demonstra que algures entre 2010 e 2019 que esta linha de costa já esteve 1.42m mais recuada. Neste sector temos um EPR

Tabela 1 - *Transects*, NSM, SCE, EPR e variação de área por sector.
Table 1 - *Transect*, NSM, SCE, EPR and area variation by sector.

Sector	Transect			NSM (m)			SCE (m)			EPR (m/ano)			Var. Área (m ²)
	Nº	Acreção(%)	Erosão (%)	Média	Max.	Min.	Média	Max.	Min.	Média	Max.	Min.	
Atlântico	44	100	0	83.76	99.63	36.71	84.11	99.63	36.71	9.65	11.86	4.18	72,071.88
Norte	35	8.57	91.43	-20.09	5.89	-50.03	22.16	51.45	0.96	-2.28	0.67	-5.69	-14,146.68
Língua	29	44.83	55.17	-1.43	20.22	-18.78	10.85	22.59	4.28	-0.24	4.29	-3.33	-773.81
Estuário	24	4.17	95.83	-7.22	0.5	-15.74	14.44	18.04	3.49	-0.82	0.06	-1.79	-5,117.98
Total	132	46.22	53.78	13.75	-	-	32.89	-	-	1.58	-	-	52,033.41

indicadores, revelando que estes troços de costa não têm uma evolução uniforme num sentido constante (erosão/acrecção). Naturalmente nada garante que não tenham acontecido mudanças de direcção nos anos intermédios no caso dos indicadores possuírem o mesmo valor, mas esta é uma limitação dos cálculos efectuados.

Com isto em mente, observemos a Tabela 1. Aqui temos expressos os resultados numéricos do processamento dos *transects*. De realçar que aqui apresentamos o SCE na sua forma original, sendo os seus valores sempre positivos independentemente do tipo de movimento observado no *transect*. Como já era visível nas Figuras 6 e 7, o sector atlântico exhibe grandes ganhos de sedimentos, sendo mesmo o único dos sectores com um ba-

médio de -2.28m/ano. No entanto, neste sector vemos um máximo de 0.67m/ano em contraste com um mínimo de -5.69m/ano, reforçando a dicotomia deste sector: uma parte relativamente estável devido ao molhe; a outra a sofrer erosão considerável. Esta erosão corresponde à perda de cerca de 14,146.88m² de área da restinga.

No sector da língua de areia, como já vimos na Figura 7, encontramos valores de NSM positivos e negativos, indicando *transects* erosivos e de acreção. Os valores absolutos do máximo e do mínimo são muito próximos (20.22m e 18.78m), apontando para níveis semelhantes de avanço e recuo. Com efeito, as médias de NSM e EPR deste sector são próximas do 0, fruto de uma divisão quase perfeita entre o número de *transects* de acreção e erosão.

Não será surpresa então que este sector apresente a menor variação de área na restinga, perdendo apenas -773.81m^2 .

Por último, o sector estuarino. Aqui temos um sector marcado por uma erosão semelhante ao longo de toda a sua extensão, espelhando de certa forma o flanco atlântico. No entanto, contrariamente a este, os valores de erosão no sector estuarino não se aproximam aos valores de acreção observados no sector atlântico. Este sector destaca-se dos restantes pela relação entre o seu NSM e SCE. Este é o único sector onde temos um SCE com valores mais elevados que o NSM de forma prevalente. Como foi referido acima, isto indica uma mudança de direcção no movimento da linha costa. Uma análise mais detalhada revela que a linha de costa mais recuada não é a de 2019, mas sim a de 2018. Temos então uma situação de recuo entre 2010 e 2018, seguido de um ligeiro avanço de 2.3m (no seu ponto máximo) em 2019. Apesar de 95.83% dos *transects* identificados serem erosivos, o seu EPR é de apenas 0.82m/ano, resultando numa perda de $-5,117.98\text{m}^2$.

Tendo em conta estes comportamentos, foi efectuada uma previsão para o estado da restinga num período de 10 e 20 anos (Figura 8).

Segundo este método, espera-se um grande aumento na frente atlântica, resultado de um crescimento considerável na última década. O sector norte manter-se-á estável no troço ocidental, fruto da estrutura auxiliar do molhe, e continuará a erodir no troço oriental. Relativamente ao estuário, espera-se uma erosão gradual e lenta da linha de costa. Estes processos resultariam numa deslocação da restinga para Oeste, sendo este efeito mais visível

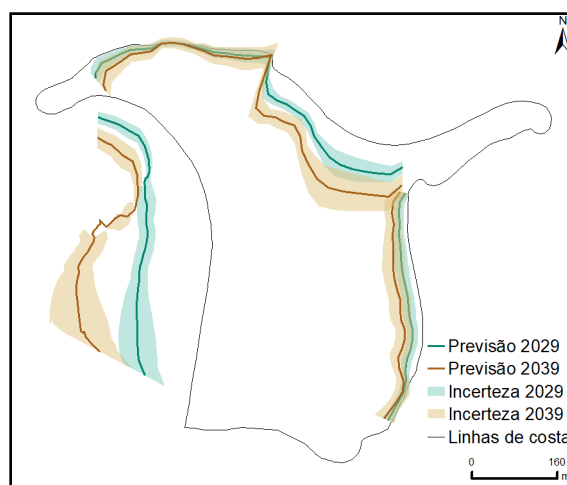


Figura 8 - Previsão e zona incerteza da linha de costa em 2029 e 2039 .
Figure 8 - Costaline prediction and uncertainty band in 2029 and 2039.

no flanco atlântico.

Naturalmente estas previsões não passam de um modelo, e estão seriamente limitadas na sua utilidade. Nenhum factor exterior é tido em consideração nas previsões. É altamente duvidável que o sector atlântico consiga expandir a distância aqui calculada, sendo o factor mais limitante a queda de profundidade que se verifica neste flanco. Por outro lado, no sector norte a previsão é mais realista. Se nenhum evento exterior intervir, a estrutura de apoio manterá a restinga fixa, e nada parece abrandar a erosão presente no troço oriental. A linha de costa adjacente à baía de São Paio, tendo tido uma evolução uniforme ao longo da década, poderá também atingir o recuo esperado neste modelo. Novamente, este é apenas um modelo especulativo que não incorpora como variáveis factores externos, físicos ou humanos, no seu cálculo, devendo ser interpretado com as suas limitações em mente.

Discussão

A restinga do Cabedelo cresceu ao longo da última década, fruto da construção dos

dois molhes na embocadura do Douro, em particular o quebra-mar sul e a sua estrutura de apoio. Em termos de jurisdição, o estuário do Douro encontra-se sobre a alçada a Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, tendo sido decretada a criação de um Plano de Ordenamento do Estuário do Rio Douro (POE Douro) através do Despacho do Ministro do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, datado de 15 de Setembro de 2009, publicado na 2.^a Série do Diário da República, n.º 189, datada de 29 de Setembro de 2009, com o n.º 21761/2009. Sendo o POE do Douro posterior à construção dos molhes, os planos em consideração durante o planeamento e execução da obra foram os seguintes: i) Plano Director Municipal do Porto; ii) Plano Director Municipal de Vila Nova de Gaia; iii) Plano de Ordenamento da Orla Costeira Caminha - Espinho; iv) Polis de Gaia; v) Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro (Nemos LDA., 2003). Tendo em conta o número de IGT's e de entidades envolvidas no processo, este revelou-se longo e árduo. No entanto, a solução concordada e implementada no final revelou-se eficaz naquilo que propunha fazer.

Veramente, a construção do quebra-mar destacado ao largo da restinga do Cabedelo foi capaz de fomentar o aumento da mesma e, juntamente com o molhe norte, fixar a barra do Douro para mais fácil acesso entre o mar e o rio. Como discutido por Teodoro (2014), o Cabedelo sofreu uma redução entre os anos de 2002 e 2007, período anterior à obra. A finalização dos molhes precisamente em 2007 reverteu a situação. A frente oceânica da restinga foi alvo de uma expansão signifi-

cante, atingindo a sua configuração ligeiramente parabólica devido à movimentação marítima local causada pelo quebra-mar sul (Santos et al., 2010). Bettencourt et al. Estipula em 2009 que a evolução da faixa oceânica da restinga sofrerá erosão no troço Sul e uma maior acumulação no troço Norte, mais próximo do quebra-mar. esta hipótese poderá ter sido factual à data, no entanto, o que vemos hoje é um maior avanço no troço Sul da restinga, correspondente aos *transects* de ordem 1 - 30. Certamente que existe acumulação no troço mais a norte desta faixa, mas não à custa da erosão do Sul.

Na secção norte assistimos à dualidade do troço ocidental sujeito ao efeito da estrutura de apoio e o troço oriental sob o efeito do antigo molhe Luís Gomes de Carvalho. O anterior encontra-se relativamente estabilizado, sendo registadas apenas algumas pequenas instâncias de erosão, que podem eventualmente ser atribuídas à incerteza inerentemente presente na delimitação da linha de costa. O posterior sofre grande erosão, podendo essa erosão ser fruto do molhe submerso. Este molhe parece abranger a baía ali criada pela erosão, desde o ponto onde contacta a estrutura de apoio mais recente até à extremidade da língua de areia, e poderá estar relacionado de alguma forma com o processo. Certamente o término da estrutura de apoio remove a protecção que o troço ocidental usufrui, potenciando a erosão a oriente.

A erosão acentuada no sector norte da restinga é consequência da obra efectuada, não sendo totalmente claro se é intencional ou não. Também fruto dos novos molhes é a língua de areia que se estende para o interior do estuário, abrigando o

sapal presente na baía de São Paio. Uma hipótese para o aparecimento desta língua de areia prende-se com a erosão vista anteriormente. Os sedimentos retirados do sector norte poderão ser arrastados brevemente para leste, espalhando-se ao longo desta língua, que tem o seu término consistentemente na extremidade leste do molhe Luís Gomes de Carvalho, podendo também existir uma relação entre ambos. Não obstante, este sector em termos de balanço sedimentar tem pouco peso, visto ser o mais próximo de um balanço neutro (Tabela 1). É também um sector ausente em trabalhos incidentes em períodos temporais anteriores a 2010, como o caso de Teodoro (2014) e Santos (2010).

O sector estuarino encontra-se relativamente estável, sendo no entanto vulnerável a uma lenta erosão. É um sector menosprezado em trabalhos de outros autores, não sendo tão importante na função protectora da restinga, comparativamente ao flanco oceânico. Ainda assim, consideramos importante analisar o seu comportamento para poder ter uma visão geral da evolução da restinga.

Uma das diferenças fundamentais entre a metodologia aqui utilizada e outros trabalhos realizados nesta área de estudo foi a delimitação da *baseline*. Estudos apenas focados na frente oceânico, sobretudo antes/durante a construção dos molhes, quando a configuração morfológica da restinga era mais uniforme segundo um eixo N-S, as *baselines* que encontramos tendem a ser geográfica, também elas orientadas segundo o eixo N-S. No caso desta análise não consideramos essa abordagem pertinente, optando desenhar as *baselines* intimamente paralelas à linha de costa, acompanhando os seus contornos.

Creemos que esta abordagem melhora os resultados obtidos, sobretudo tendo em conta a grande escala da análise, e permite a aplicação do DSAS em costas com mais saliências e reentrâncias.

Conclusão

A restinga do Cabedelo é uma estrutura essencial no estuário do Douro, protegendo-o da influência marítima e da devastação causada por tempestades. Esta protecção aplica-se à biodiversidade aqui encontrada, bem como aos elementos humanos (infra-estruturas e povoamentos). Felizmente após a construção dos molhes na década de 00, e mantendo-se as condições actuais na área de estudo, a restinga não corre o risco de desaparecer. Bem pelo contrário, esta encontra-se em expansão. Como vimos, a expansão ocorrida no sector atlântico negou as perdas dos outros sectores, levando a um balanço sedimentar total positivo. No entanto é necessário ter em atenção que tal expansão não será permanente, existindo factores a limitam em direcção a Oeste. Se tal barreira ao crescimento se levantar e a erosão nos outros sectores não estabilizar, poderemos ser confrontados com a possibilidade da restinga ser destruída de “dentro para fora”. Seria pertinente um estudo concreto para apurar as causas ao certo da erosão relativamente acelerada no sector norte após o término da estrutura auxiliar, e potenciais formas de travar ou amenizar este processo. Propomos também uma monitorização próxima da língua de areia, visto esta ser uma porção especialmente moldável da restinga, tendo já sido rompida do restante corpo da restinga pelo menos uma vez (Figura 9).



Figura 9 - Separação temporária da língua de areia da restinga, 2010.
Figure 9 - Breakaway of the sand tongue from the spit, 2010.

Santos, I. N. Ê. S., Teodoro, A., & Taveira-Pinto, F. (2010). Análise da evolução morfológica da restinga do rio Douro. *5as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*, 2010, 14.

Teodoro, A. C., Taveira-Pinto, F., & Santos, I. (2014). Morphological and statistical analysis of the impact of breakwaters under construction on a sand spit area (Douro River estuary). *Journal of Coastal Conservation*, 18(3), 177-191.

Referências

Bettencourt, P., Alcobia, S., & Silva, N. (2009, May). Environmental impact assessment of the Douro Jetties: a success case. In *Proceedings of 29th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment (Accra, Ghana)*.

Bird, E. C. (2008). *Coastal geomorphology: an introduction*. John Wiley & Sons.

Bird, E. (Ed.). (2010). *Encyclopedia of the world's coastal landforms*. Springer Science & Business Media.

Davis, R. A. (1994). Barrier island systems—a geologic overview. In *Geology of Holocene barrier island systems* (pp. 1-46). Springer, Berlin, Heidelberg.

Finkl, C. W., & Makowski, C. (Eds.). (2019). *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer International Publishing.

Goudie, A. G. (2004). *Encyclopedia of geomorphology* (Vol. 1). London ; New York : Routledge : International Association of Geomorphologists.

Nemus, Lda (2013). Estudo de impacto ambiental das obras de melhoria de acessibilidade e segurança da barra do Douro - Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos.