

## ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO SOBRE INTERVENÇÕES COSTEIRAS – APLICAÇÃO SIG

Bruno Luis<sup>1</sup>, António Trigo Teixeira<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Pós-Graduado em Sistemas de Informação Geográfica, Licenciado em Engenharia do Território, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais nº 1, 1049-001 LISBOA

e-mail: [brunocharola@netcabo.pt](mailto:brunocharola@netcabo.pt)

<sup>2</sup> D. Sc. em Eng<sup>a</sup> Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade - Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais nº 1, 1049-001 LISBOA- e-mail: [trigo.teixeira@civil.ist.utl.pt](mailto:trigo.teixeira@civil.ist.utl.pt)

### RESUMO

Ao longo dos últimos anos, o fenómeno de erosão da orla costeira portuguesa tem-se tornado cada vez mais evidente. Estima-se que, em zonas de maior incidência, a costa nacional perde cerca de 10 metros por ano. Esta perda é irreversível. Este trabalho procura contribuir para o estudo deste fenómeno sob um outro prisma: o da análise custo-benefício sobre intervenções costeiras, com a aplicação de fundamentos económicos e financeiros. Para tal, foi definida uma zona de estudo específica, no trecho entre Torreira e Furadouro, no distrito de Aveiro. Por forma a avaliar valores descontados de propriedades e bens perdidos de maneira eficaz e imediata, foi utilizado um Sistema de Informação Geográfica integrado numa aplicação, permitindo a manipulação de elementos de análise espacial.

### ABSTRACT

In recent years, the phenomenon of erosion in the portuguese coastal seafront has become even more obvious. It is estimated that, in areas of larger incidence, the erosion rate on the portuguese coast is about 10 meters per year. This loss is irreversible. The aim of this work is to study this phenomenon under a new point of view: the benefit-cost analysis applied to coastal interventions, introducing the use of financial and economic grounds. For that purpose, a specific case study area was selected, between Torreira and Furadouro, in the north of Portugal. In order to calculate discounted values of properties in an effective and immediate way, a Geographic Information System was implemented, as the base of an application, allowing the manipulation of spatial analysis elements.

Palavras-Chave: GIS, análise espacial, orla costeira, erosão, análise custo-benefício, taxa de desconto

Keywords: GIS, spatial analysis, coastal seafront, erosion, cost-benefit analysis, discount rate

### 1. INTRODUÇÃO

Os problemas decorrentes do fenómeno de erosão costeira têm sido alvo de diversos estudos desde tempos remotos. A questão mais dramática prende-se com a perda de propriedades adjacentes à costa, criando desequilíbrios e problemas sociais que importa evitar. A perda de terreno por erosão costeira é irreversível.

Este trabalho tem três fortes componentes, que o caracterizam: a componente económico-financeira (associada à análise custo-benefício), a componente de estudo da dinâmica costeira (associada a dados sobre evolução costeira em termos de erosão), e, por fim, a componente de Sistemas de Informação Geográfica, que se torna fundamental na agregação eficiente de todos os dados relevantes. Além disso, o SIG permite uma análise de sensibilidade, ao tornar possível a modificação do valor dos parâmetros essenciais da análise e a sua fácil visualização.

Pretende-se definir uma metodologia global de aplicação, que possa ser utilizada em qualquer zona costeira. Esta metodologia será posteriormente operacionalizada através do SIG, manipulado através de uma aplicação que servirá de interface entre o utilizador e as operações de análise espacial. O objectivo é o de permitir a sua utilização para qualquer utilizador, conhecedor ou não de fundamentos de SIG ou da dinâmica costeira na zona.

### 2. A ORLA COSTEIRA

A orla costeira é uma das zonas de estudo mais delicadas e complexas, já que envolve diversos factores que podem alterar o seu equilíbrio. A desagregação destes factores não é uma tarefa simples.

Actualmente, cerca de 80% da população mundial vive numa faixa de 100 Km da linha de costa, provocando uma desagregação e deterioração dos ambientes costeiros [Barbosa e Taveira-Pinto, 1998].

A área seleccionada para a aplicação do presente estudo situa-se na costa oeste portuguesa, no trecho entre Espinho e o Cabo Mondego, considerada a zona onde a erosão costeira se faz sentir de forma mais acentuada. De facto, em certos trechos, existem zonas de erosão máxima que chegam a atingir 10 m/ano.

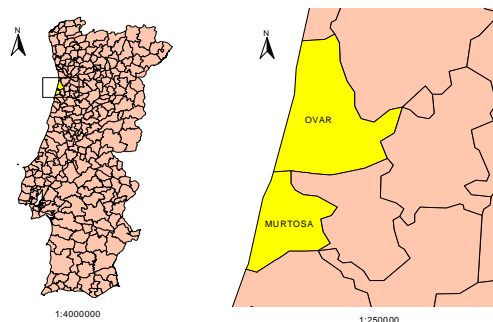


Figura 1 – Enquadramento geográfico

Este trecho costeiro contrasta em termos geológicos com as áreas mais a norte, que apresentam formações essencialmente rochosas. De facto, a partir de Espinho e até ao Cabo Mondego, a costa apresenta uma constituição arenosa, propícia a uma erosão mais acentuada [Teixeira, 2001].

A razão pela qual se torna mais acentuada a erosão neste trecho prende-se com a existência de um défice de alimentação aluvionar [Teixeira, 2001], que faz com que a capacidade de transporte de onda seja superior ao valor recebido de barlamar. Este défice justifica-se por uma diminuição da produção de sedimentos na bacia do Douro e pelo facto da construção do Porto de Leixões ter diminuído a quantidade de sedimentos transportados de norte.

A zona em estudo compreende a costa entre os aglomerados urbanos do Furadouro e da Torreira. Esta escolha justifica-se pelo facto de, em cada um destes aglomerados urbanos, existirem obras de protecção costeira, neste caso esporões, sendo assim um trecho de estudo por excelência do comportamento da costa entre eles. Além disso, este trecho compreende dois aglomerados urbanos, com diferentes tipologias e infra-estruturas, e uma área de pinhal entre eles, sendo assim o uso de solo bastante diversificado, e por consequência ideal para a aplicação da metodologia.

O modelo utilizado na determinação de linhas de erosão futuras tem como base o estudo de dados no passado, nomeadamente levantamentos da década de 70 realizados pelo Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), à escala 1:25000, e levantamentos de 1996 realizados pelo Instituto da Água (INAG) à escala 1:2000. Tomou-se a linha de costa como a linha definida pela batimétrica +2,00 ZH, que corresponde ao Zero Topográfico.

A existência de esporões ao longo da costa cria pontos fixos artificiais, constituídos pelos próprios esporões, o que provoca uma rotação da costa a norte em torno deles. Esta rotação dar-se-á até que se atinja, no limite, a posição de equilíbrio estático.

O equilíbrio estático é a situação que corresponde à exaustão completa da alimentação aluvionar do trecho costeiro [Teixeira, 2001], em que as cristas das ondas da agitação dominante tendem a ser paralelas à linha de costa. A posição de equilíbrio estático foi definida em estudos anteriores [POOC – INAG, 1998].

Por forma a atingir o equilíbrio estático, a costa terá que rodar em torno do esporão da Torreira até atingir o azimute de 21°. Tendo em conta que o equilíbrio estático, com a evolução natural da linha de costa, se encontra cada vez mais próximo, considera-se que não faz sentido prever uma evolução a um ritmo constante de erosão da mesma, já que o ritmo erosivo perde assintoticamente intensidade [POOC – INAG, 1998]. De facto, trata-se de um processo assintótico, o que dificulta a utilização de previsões usando as taxas de evolução do presente [Teixeira, 2001].

Assim, como hipótese de trabalho, propõe-se a utilização da seguinte equação de aproximação:

$$r = r_0 \left( 1 - \frac{t}{T} \right)$$

sendo

r =	ritmo de recuo da linha de costa	(m/ano)
r <sub>0</sub> =	ritmo inicial de recuo da linha de costa	(m/ano)
t =	tempo	(anos)
T =	tempo em que o equilíbrio estático é atingido	(anos)

Assim, o recuo da linha de costa será decrescente à medida que se avança no tempo, tornando-se (por hipótese) nula no ano em que o equilíbrio estático é atingido.

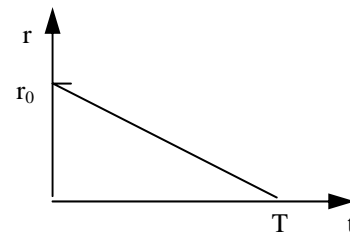


Figura 2 – Evolução da taxa de recuo da linha de costa

O modelo de evolução proposto prevê que o recuo da linha de costa se dê sob a forma de onda erosiva, que se propaga de norte para sul [Teixeira, 2001]. Assim, os trechos a sul são alimentados pelos trechos mais a norte, que entretanto vão sofrendo erosão. Logo, a tendência será para uma erosão mais acentuada a norte do trecho seleccionado. Só quando o equilíbrio estático for atingido nestes trechos, é que o mesmo se passará no trecho da zona de estudo [POOC – INAG, 1998].

Tendo em conta estas considerações, o equilíbrio estático será atingido daqui a 140 anos (T) [POOC – INAG, 1998]. Este valor foi obtido tendo em conta o volume sedimentar a mobilizar e o caudal médio registado no período 1970-71 a 1996.

Em rigor, este valor deveria ser encarado como um limite inferior, já que é sabido que o ritmo erosivo vai perdendo assintoticamente intensidade. Assim, deverá considerar-se que

$$\Delta t \geq 140 \text{ anos [POOC – INAG, 1998]}$$

é o intervalo mínimo de anos em que se atingirá o equilíbrio estático neste trecho.

## 1. FUNDAMENTOS DE ANÁLISE ECONÓMICA E FINANCEIRA

Tanto a análise económica como a financeira chegam a um valor monetário, tornando-se assim essencial definir a diferença entre ambas [Penning-Rowsell, 1992]. A análise económica considera o ponto de vista nacional, tendo como objectivo escolher o que é melhor para a nação como um todo. A análise financeira tenta determinar a melhor opção de investimento para uma determinada organização

[Myers e Brealey, 1992]. O gestor financeiro procura maximizar a utilidade da sua empresa.

A análise custo-benefício tem como função avaliar os impactos ‘tangíveis’, deixando de lado os de impossível medição. Neste estudo, a análise custo-benefício será realizada de uma forma diferente do habitual: pretende-se, numa primeira análise, calcular o benefício que advirá da implementação de um projecto para a protecção da orla costeira. Esse benefício é calculado através da diferença entre o resultado da erosão costeira sem a existência de uma obra de protecção costeira subtraído do resultado dessa mesma erosão com protecção costeira. O benefício calculado equivalerá ao limite máximo de custo de implementação de uma obra costeira, sendo o objectivo final desta análise. Torna-se indispensável a utilização de um método de padronização de valores para uma data temporal comum, tendo em conta que a evolução da orla costeira desenvolve-se ao longo de vários anos. De facto, uma propriedade, considerando preços constantes, seria mais valiosa hoje do que daqui a, suponhamos, dez anos. Assim, o valor real da habitação decresce à medida que aumenta o tempo, já que para o proprietário é mais valioso ter “um euro disponível hoje do que um euro disponível amanhã” [Myers e Brealey, 1992]. A fórmula utilizada na análise financeira para explicitar esta teoria é a seguinte:

$$PV = \sum_{t=1}^{t=T} \frac{X_t}{(1+r)^t}$$

PV = valor presente do benefício ou custo a ocorrer num ano futuro (€)

r = taxa de desconto

t = tempo parcial (anos)

X<sub>t</sub> = o benefício ou custo no ano t (€)

T = tempo total (anos)

Na Economia social, considera-se que o bem-estar social tem duas vertentes – a eficiência económica e a justiça distribucional [Sugden e Williams, 1985].

A eficiência económica ocupa-se com a dimensão da riqueza de toda a comunidade, enquanto que a justiça distribucional ocupa-se da forma de divisão dessa riqueza entre os seus membros.

O critério de aperfeiçoamento potencial de Pareto tem como função detectar mudanças na eficiência económica; quando uma mudança tem como efeito o aumento da eficiência económica, ela produz um aperfeiçoamento potencial de Pareto. Trata-se de uma mera questão de nomenclatura: “aperfeiçoamento potencial de Pareto” e “aumento na eficiência económica” significam exactamente o mesmo.

O problema da justiça distribucional é de difícil análise, já que envolve juízos de valor sobre o que é “bem-estar social” e sobre a utilidade individual para cada pessoa. Alguns escritores argumentam que dimensões diferentes no bem-estar social são inerentemente incomensuráveis [Mishan, 1982].

Assim, assume-se como juízo de valor essencial, que serve de base à aproximação paretiana, que se as coisas ficarem iguais, um aumento na eficiência económica é uma coisa boa [Sugden e Williams, 1985]. Logo, considerando que as duas dimensões para o bem-estar social são a eficiência económica e a justiça distribucional, se a eficiência económica aumentar sem provocar um decréscimo de justiça distribucional, estaremos perante um aperfeiçoamento potencial de Pareto. Assim, se a análise custo-benefício é basicamente a avaliação de projectos tendo em conta o aperfeiçoamento potencial de Pareto, ocupa-se em parte com a identificação de aumentos no bem-estar social. Devemos salientar que muitas vezes a análise custo-benefício pouco difere da análise financeira tradicional [Sugden e Williams, 1985].

## 2. METODOLOGIA

Este ponto tem como objectivo definir a metodologia da análise custo-benefício a aplicar ao caso específico de zonas costeiras em risco de erosão acentuada, por forma a determinar os potenciais benefícios de investimentos em protecções costeiras. A metodologia foi determinada através da criação de procedimentos e técnicas a seguir, com o objectivo de simplificar e harmonizar todo o processo. A fórmula principal determina factores de extensão de vida (FEV) que são utilizados para calcular o valor presente (VP) dos benefícios do adiamento da erosão, através dos valores actuais. São necessárias estimativas do ano em que a propriedade seria perdida caso não existisse protecção; o seu valor de mercado actual; uma estimativa do tempo de vida de um eventual projecto de protecção; e a taxa de desconto.

O benefício causado pelo trabalho de protecção costeira não é mais do que uma extensão do tempo de vida de terrenos e propriedades que se encontram sob risco iminente de erosão. De facto, caso se preveja a perda de uma propriedade daqui a 20 anos sem protecção, ela apenas será perdida, no caso de uma protecção costeira com 50 anos de vida útil, daqui a 70 anos. O benefício consiste nesta diferença. No caso de terrenos agrícolas, o procedimento é semelhante, sendo necessários valores marginais líquidos de lucro de produção para a extensão de vida do projecto. No caso de infra-estruturas, o problema torna-se mais complexo; de facto, é necessário determinar não só a perda da infra-estrutura em si, mas também a sua relação entre si e com as propriedades que servem.

Em relação às propriedades, torna-se necessário criar um método que devolva um valor económico adequado. A metodologia definida passa por encontrar os valores (de mercado) económicos para o terreno ou propriedade caso não estivessem sob risco de erosão, e calcular o benefício da protecção costeira, calculando a diferença entre valores descontados da perda com ou sem erosão.

A fórmula definida neste ponto pode ser aplicada a qualquer perda por erosão costeira, e apresenta o factor de extensão de vida (FEV), ao qual é multiplicado o valor real presente da propriedade:

$$VPB = VM \cdot \left[ \frac{1}{(1+r)^p} - \frac{1}{(1+r)^{p+s}} \right]$$

$$= VM \cdot FEV_{p+s}$$

onde:

VPB	=	Valor Presente dos Benefícios
VM	=	O Valor de Mercado da propriedade “livre de erosão” a preços reais na data base
r	=	A Taxa de Desconto
p	=	A esperança de vida (em anos) da propriedade sem projecto de protecção costeira
s	=	Tempo de vida útil (em anos) do projecto de protecção costeira
FEV <sub>p+s</sub>	=	O Factor de Extensão de Vida para a propriedade p anos a partir da linha de costa actual e um projecto de protecção com s anos de vida.

A fórmula é definida como o somatório da diferença entre o valor descontado da perda da propriedade sem protecção costeira e o valor descontado da mesma perda da propriedade com protecção costeira. O valor devolvido pela fórmula terá um valor positivo, já que perdas no ano (p+s) são sempre descontadas de forma mais acentuada do que perdas no ano (p).

Uma questão que se coloca tem a ver com o facto de o preço de uma propriedade decrescer à medida que aumenta o seu risco de erosão. Contudo, o mercado imobiliário não se comporta de acordo, já que apenas a partir do momento em que se torna iminente a destruição da habitação é que ela perde o seu valor económico. Não é possível aferir de forma precisa o momento em que este facto ocorre, já que implica critérios pessoais de juízos de valor. Por exemplo, um eventual interessado numa propriedade não deixará de a adquirir se ela estiver em risco de destruição num horizonte de 30 anos (podendo até desconhecer esse facto). Aliás, não é essa a forma habitual de comportamento do mercado. Neste caso, a propriedade mantém o seu valor integral. No entanto, caso a erosão seja claramente visível, o valor da propriedade torna-se praticamente nulo. Assim, como forma de uniformizar o estudo, assumem-se valores reais admitindo que a habitação não se encontra sob risco de perda por erosão. Considera-se este valor como o preço praticado pelo mercado imobiliário.

Assume-se que o valor real da propriedade não varia com a sua idade; esta suposição poderá ser discutível, já que é conhecida em Portugal a evolução tendente ao crescimento do valor real das propriedades. Poderíamos ter optado por adoptar uma taxa de crescimento constante tendo em conta valores de evolução no passado [Penning-Rowell, 1992]. Contudo, esta evolução é muito variável na realidade, dependendo de inúmeros factores (situação económica do país, factores externos de influência, etc.). Além disso, admitir uma taxa de crescimento constante para todas as propriedades em causa seria uma hipótese redutora, já que cada caso é um caso, e cada habitação tem a sua própria taxa de crescimento (ou não

crescimento), dependendo de vários factores (localização, proximidade a serviços e infra-estruturas, especificidades próprias, etc.). É certo, também, que o crescimento do valor da casa é diminuído pelo aumento da sua idade, que está geralmente correlacionado com o seu estado de reparação.

## 5.APLICAÇÃO A UM SIG

A utilização de um Sistema de Informação Geográfica é ideal como forma de agregação de informação, permitindo a realização de cálculos extensos e complexos de acordo com as necessidades do utilizador, bem como uma análise de sensibilidade em relação a diversos factores.

A aplicação proposta nesta dissertação foi levada a cabo através da utilização da linguagem Visual Basic<sup>®</sup> da Microsoft, com a inclusão de um componente ActiveX, o MapObjects<sup>™</sup> da ESRI.

O primeiro objectivo definido foi permitir a evolução da linha de costa no tempo. Para isso, optou-se por seleccionar 106 pontos ao longo da linha de costa actual (que compreende sensivelmente 12 km), seleccionados como forma de aproximação à linha original. Estes são considerados pontos notáveis, que demarcam as características da linha de costa, e não têm uma distância ao longo da linha constante entre si.

Após a realização deste processo, o passo seguinte consistiu em colocar a posição em x e y de cada ponto numa base de dados em formato .dbf, dentro de um ficheiro .shp. Em seguida, mantendo a coordenada y constante para cada ponto, calculou-se a coordenada em x correspondente ao mesmo ponto na linha em equilíbrio estático, criando assim um novo ponto. No fundo, traçaram-se linhas horizontais com início em cada um dos pontos da linha de costa actual, e obtiveram-se as intersecções destas linhas com a linha de costa futura.

Após a determinação da linha de costa para um ano definido pelo utilizador, tornou-se necessário criar condições para a detecção de intersecções entre os polígonos das propriedades e a linha de costa. Para esse efeito, e tendo em conta o facto de apenas estarem disponíveis dados do cadastro predial em ficheiros .dwg, sem qualquer valor associado, foi necessário converter este ficheiro para o formato .shp, sendo assim possível alterar os valores na base de dados para cada polígono. Assim, após a conversão para o formato .shp, foram definidos 388 polígonos, correspondentes às propriedades existentes na zona em estudo. O ficheiro foi introduzido no controlo ActiveX, sendo possível por “recordset” manipular cada um dos polígonos, através da chave primária definida na base de dados.

Outro facto importante decorria da necessidade de determinar uma margem de tolerância para cada polígono, já que a propriedade não perde o seu valor aquando da intersecção com os seus limites; tal como descrito em capítulo anterior, esse valor é perdido antes, na intersecção da margem de tolerância com a linha de costa. A margem de tolerância não é mais do que um buffer, definido à volta da propriedade, e o seu valor é definido pelo utilizador.

O algoritmo define a linha de erosão para cada ano, e detecta a intersecção dessa linha para cada um dos polígonos. Em seguida, já com os valores dos anos de intersecção para cada propriedade, o algoritmo procede ao cálculo do valor descontado da propriedade. Em primeiro lugar, determina o valor descontado caso não existisse protecção costeira e, em seguida, calcula o valor descontado caso existisse protecção costeira com um tempo de vida útil definido pelo utilizador. Após a realização destes cálculos, o algoritmo calcula a diferença entre estes dois valores, e tendo em conta que o valor das propriedades em questão é um valor médio, calcula o valor para cada propriedade, ao multiplicar o seu valor descontado pela sua área.

O valor do benefício total para a nação gerado pela existência de uma protecção costeira, de acordo com os parâmetros definidos pelo utilizador, é depositado numa variável total.

Em seguida, apresentam-se algumas imagens da aplicação final:



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Barbosa e Taveira-Pinto, 1998] J. Pais Barbosa e F. Taveira-Pinto, *Aplicação dos sistemas de informação geográfica na zona costeira dos concelhos de Espinho – Ovar*, Recursos Hídricos – Revista da APRH – Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 1998
- [Mishan, 1982] Mishan, Ezra J., *Cost-benefit analysis: an informal introduction*, 3ª ed., London, George Allen & Unwin, 1982

[Myers e Brealey, 1992] Richard A. Brealey e Stewart C. Myers, *Princípios de finanças empresariais* / trad. H. Caldeira Menezes, J. C. Rodrigues da Costa. 3ª ed, McGraw-Hill, 1992

[Penning-Rowsell, 1992] Penning-Rowsell, E.C., Green, C.H., Thompson, P.M., Coker, A.M., Tunstall, S.M., Richards, C. e Parker, D.J., *The Economics of Coastal Management: A Manual of Benefits Assessment Techniques (the Yellow Manual)*, Belhaven Press, London, 1992

[POOC - INAG, 1998] INAG, *Plano de Ordenamento da Orla Costeira Ovar – Marinha Grande – Estudo Prévio de Ordenamento Vol.1 – Hidrotécnica Portuguesa*, INAG, 1998

[Sugden e Williams, 1985] R. Sugden e Alan Williams, *Análise de projectos: determinação do custo-benefício* / trad. Anabela Cudell, Rés Editorial, 1985

[Teixeira, 2001] A. Trigo Teixeira, *Evolução recente da Costa Oeste Portuguesa entre Espinho e o Cabo Mondego*, I Congresso sobre Planeamento e Gestão do Litoral dos Países de Expressão Portuguesa – Problemas Actuais e Perspectivas Futuras, 2001