

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA FISIOGRAFIA DA RESTINGA DO RIO DOURO DESDE 2002 Study of the evolution of the physiography of the river Douro's sandspit since 2002

FERNANDO VELOSO-GOMES ⁽¹⁾, FRANCISCO TAVEIRA-PINTO ⁽²⁾ e GUILHERME MOURA PAREDES ⁽³⁾

⁽¹⁾ Prof. Catedrático, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto, vgomes@fe.up.pt

⁽²⁾ Prof. Associado com Agregação, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto, fpinto@fe.up.pt

⁽³⁾ Bolseiro de Investigação, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto, gparedes@fe.up.pt

Resumo

A erosão a que a restinga do rio Douro está sujeita tem vindo a causar o seu recuo para o interior do estuário e a redução do seu tamanho e volume. A forte agitação que frequentemente se faz sentir na embocadura do rio e o constante assoreamento do canal de acesso tornavam difícil a transposição da barra do rio Douro. Para melhorar as condições de segurança da barra e potenciar a estabilização e recuperação da restinga foram construídos dois quebra-mares. Neste estudo foi comparado o comportamento da restinga antes e depois da construção dos quebra-mares. Os resultados obtidos mostram que, até à data, os quebra-mares estão a ter o resultado desejado de recuperação da restinga e a manutenção das condições do canal de acesso.

Palavras-chave: Erosão; restinga; quebra-mar; rio Douro.

Abstract

The erosion processes acting on the river Douro's sandspit have been pushing it inwards into the estuary and reducing its size and volume. The strong waves that often hit the river mouth and the constant silting up of the access channel make the navigation in this area difficult and dangerous. In order to improve the navigational conditions in the river mouth and stimulate the recovery of the sandspit, two breakwaters were built. This study compared the behavior of the sandspit before and after the construction of the breakwaters. The results obtained show that, up to this date, the breakwaters seem to be generating the desired recovery of the sandspit and preservation of the conditions of the access channel.

Keywords: Erosion, sandspit; breakwater; river Douro.

1. Antecedentes

A barra do rio Douro tem apresentado sérias dificuldades a todos aqueles que têm necessidade de a transpor. Como resultado, há um historial de naufrágios que, mesmo em épocas mais recentes, não deixaram de acontecer (p. e. o naufrágio do navio "Silver Valley", a 15 de Março de 1963, ADPL, 2008). Estas dificuldades devem-se quer à forte agitação que se faz sentir em determinadas épocas do ano, quer à reduzida profundidade do canal de acesso, resultante do seu assoreamento (Impacte, 1996), causado por areias provenientes da restinga (Consulmar, 1995a).

A construção do porto de Leixões (1884-1892), das diferentes barragens do Douro e a extracção de inertes, anularam quase totalmente o fornecimento de areia à restinga (Consulmar, 1995a). Como resultado, o transporte litoral associado à agitação tornou-se dominante face ao processo de deposição associado aos eventos de cheia, verificando-se a diminuição do volume da restinga e o seu recuo para o interior do estuário (Impacte, 1996; Consulmar, 1995a). O recuo da restinga tem aumentado o perímetro do estuário exposto à agitação, com graves consequências para a estabilidade destas zonas e para a população nelas residente.

Para assegurar a navegabilidade da barra foram realizadas diversas dragagens que, não só eram soluções temporárias (o canal voltava a assorear rapidamente) como, ao retirarem sedimentos da barra, contribuíram para a fragilização da restinga (Impacte, 1996).

2. Enquadramento Geral da Obra "Molhes do Douro"

No sentido de se melhorarem as condições de segurança das zonas ribeirinhas e de acesso à barra e impedir, ou até reverter, o processo erosivo (Impacte, 1996, Consulmar, 1995b), foram projectados e construídos dois quebra-mares na foz do rio Douro. Espera-se que estas estruturas tenham dois efeitos fundamentais: que contribuam para a estabilização e recuperação da restinga, permitindo o aumento do seu volume e o seu avanço, (Impacte, 1996); que limitem o transporte sedimentar entre a restinga e o canal de navegação reduzindo, ou eliminando, o seu assoreamento, (Impacte, 1996; Consulmar, 1995b).

Foram construídos pelo consórcio Somague-Irmãos Cavaco dois quebra-mares: um vertical, enraizado na margem Norte, próximo do molhe de Felgueiras e um destacado, na margem Sul, ao largo da restinga, figura 1.

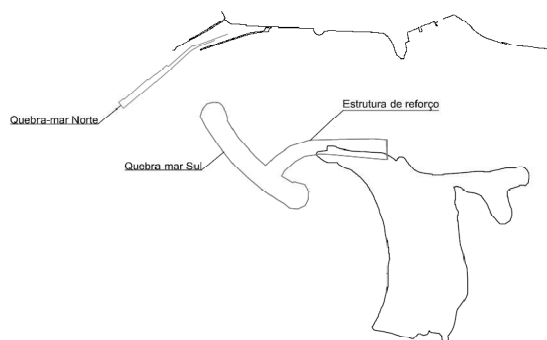


Figura 1. Esquema geral das estruturas construídas na embocadura do rio Douro.

O quebramar Norte é um quebramar enraizado, de paredes verticais, visitável. Situa-se entre o molhe de Felgueiras e o molhe do Touro, orientado a Sudoeste, com 350 m de extensão. É constituído por elementos pré-fabricados (caixotões nas zonas de maior profundidade e aduelas nas zonas de profundidade mais reduzida), solidarizados por uma superestrutura com coroamento à cota + 7 m (Z. H.).

Ao longo de toda a estrutura foram projectados artifícios para reduzir o seu impacto visual e permitir a sua utilização como espaço de lazer, nomeadamente uma galeria interior que permite a visita por parte da população (Ramos *et al.*, 2001). A sua construção ocorreu entre o primeiro semestre de 2005 e o 1º semestre de 2008.

O quebramar Sul é um quebramar de taludes, destacado, não visitável, com cerca de 450 m de extensão. É constituído por um núcleo de enrocamento, coberto por um manto de blocos cúbicos Antifer de betão de alta densidade (SOMAGUE, 2008), com o coroamento à cota + 6 m (Z. H.). Está implantado a cerca de 350 m da restinga (à data de início da construção) e tem, em planta, uma concavidade orientada para Leste, (Ramos *et al.*, 2001). A sua construção ocorreu durante o primeiro semestre de 2005 e o 1º semestre de 2007.

Foi também executada uma terceira estrutura, na margem Sul, aproximadamente perpendicular ao quebramar destacado, entre este e a restinga, com cerca de 460 m de extensão, figura 1, para auxílio no reforço da restinga.

Para facilitar o seu galgamento em caso de cheia, esta estrutura tem um coroamento com cotas que se reduzem gradualmente entre a restinga e o quebramar, sendo que no encontro com a restinga a estrutura está sempre emersa (cota + 6 m (Z.H.)) e no encontro com o quebramar está quase sempre submersa (cota +1 m (Z.H.)), (Ramos *et al.*, 2001). Na figura 2 pode ver-se uma fotografia aérea da barra do Douro, durante a construção dos quebramares.

O quebramar Norte tem como finalidade abrigar o canal de acesso e o estuário da agitação, que é proveniente praticamente apenas do quadrante Noroeste (efeito de barreira física).

As estruturas a Sul têm como finalidades o reforço da restinga (o quebramar destacado criaria um efeito de tómbolo, com acumulação de areias no seu tardo, a Sul da estrutura de reforço (Ramos *et al.*, 2001)) e limitar o assoreamento do canal, ao cortar o transporte de sedimentos da restinga para o canal.



Figura 2. Fotografia aérea da barra do Douro durante a construção dos quebramares. Google Earth, 2008.

3. Descrição dos Procedimentos Utilizados

Neste trabalho foram utilizados os registos de agitação ao largo de Leixões entre Novembro de 2002 e Dezembro de 2007, os valores dos caudais médios diários efluentes no aproveitamento de Crestuma, entre Janeiro de 2002 e Maio de 2009 e os levantamentos topográficos da restinga do Douro, realizados pelo Observatório Astronómico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, entre Dezembro de 2002 e Dezembro de 2008, num total de vinte e seis (ADFCUP, 2002 a 2008).

Foram gerados modelos tridimensionais da restinga com recurso à aplicação informática *ArcMap*. Estes modelos foram utilizados para o cálculo do volume total da restinga à data de cada levantamento

Foram calculadas as variações da posição (médias, máximas, mínimas, no enraizamento e na zona de encontro com o quebramar) da linha de água na frente Oeste da restinga, no trecho entre a zona de implantação do quebramar e o enraizamento, relativamente à linha de água em Dezembro de 2002, para cada levantamento.

4. Posição de referência

Neste artigo utilizam-se os termos avanço e recuo para descrever o comportamento da frente Oeste da restinga. Estes termos estão sempre relacionados com a linha de água em Dezembro de 2002:

- Avanço – deslocamento da frente para Oeste;
- Recuo – deslocamento da frente para Leste.

São também utilizados termos como frente Oeste, frente Norte, Corpo da Restinga, Zona do Encontro e Zona Central. Estes termos referem-se às localizações indicadas na figura 3.

Foi utilizada como referência a linha de água da frente Oeste em Dezembro de 2002, entre o enraizamento e o encontro com o quebramar, por três razões:

- é a referência utilizada nos levantamentos recolhidos;
- é, em princípio, a porção mais afectada e, portanto, aquela que melhor permite estudar os efeitos do quebramar. É a frente Oeste que determina se o processo erosivo e de recuo continua, acelera, abranda, se inverte, etc.;

- é a porção da frente que se mantém após a construção do quebramar (a porção a Norte do quebramar é eliminada) e, portanto, a única que permite efectuar comparações.

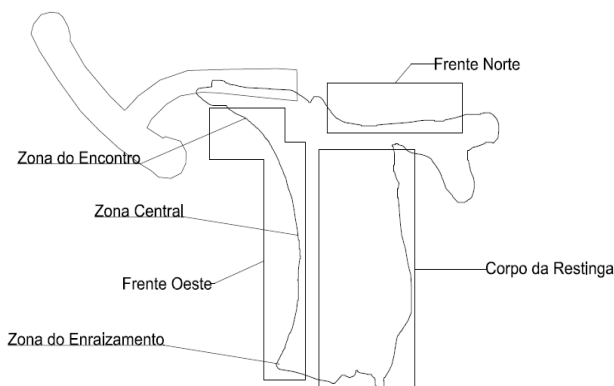


Figura 3. Nomenclatura utilizada na análise efectuada.

5. Análise Geral dos Volumes

Na figura 4 está representada a evolução temporal do volume da restinga acima do Zero Hidrográfico (Z. H.).

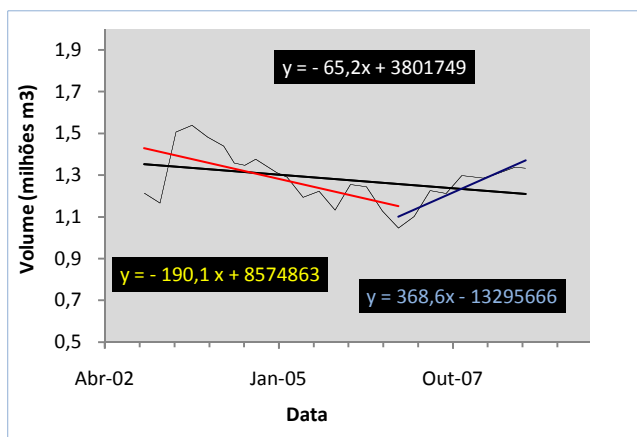


Figura 4. Evolução temporal do volume da restinga do rio Douro acima do Z.H.

Até Dezembro de 2006 o volume apresenta uma tendência decrescente.

A partir de Dezembro de 2006 (a construção do quebramar iniciou-se no primeiro semestre de 2005) a tendência inverte-se, tornando-se crescente.

O período em que há assoreamento é demasiado curto para se poder excluir a possibilidade de ser apenas uma flutuação do valor, ou fenómeno transitório, resultante da construção do quebramar.

Logo no início da curva ocorre um grande crescimento (Inverno de 2002-2003). Isto não está relacionado com nenhum fenómeno de recuperação da restinga, sendo resultado de uma situação excepcional que vai ser explicada em 7. A restinga continua em erosão, como se pode ver pelo facto de tanto antes, como logo a seguir ao crescimento súbito, o volume ter tendência decrescente.

Na figura 4, além do volume da restinga ao longo do tempo, estão também representadas três rectas, ajustadas aos registos pelo método dos mínimos quadrados.

A recta a vermelho foi ajustada aos registos entre Dezembro de 2002 e Dezembro de 2006 e mostra a tendência de decrescimento inicial.

A recta a azul foi ajustada aos registos entre Dezembro de 2006 e Dezembro de 2008 e mostra a tendência de crescimento no período final.

A recta a preto foi ajustada ao conjunto de todos os registos. Esta recta mostra, também, uma tendência decrescente global, apesar do crescimento no trecho final do gráfico, o que leva a questionar a tendência de crescimento mais recente. Mas o período de crescimento no trecho final é muito curto, sendo necessários mais levantamentos para se poderem tirar conclusões mais válidas.

6. Análise Geral da Variação da Posição da Linha de Água

Na figura 5 está representada a evolução da variação mínima, média, máxima, no encontro e no enraizamento da posição da linha de água da restinga.

De uma forma geral todas as curvas mostram um crescimento abruço inicial, seguidas de uma fase com tendência de decrescimento (reco) e terminam numa fase com tendência de crescimento (avanço).

Os valores mínimos, médios e do enraizamento variam de forma mais ou menos aleatória até cerca de Setembro de 2004, mas com tendência geral de diminuição.

A partir de Setembro de 2004 a tendência é claramente decrescente, até Setembro/Dezembro de 2005, para o valor médio e Dezembro de 2006 para o valor mínimo e no enraizamento. A partir desta altura inicia-se a tendência de crescimento destes valores. Repare-se que a construção do quebramar foi iniciada em 2005.

O valor mínimo e o valor no enraizamento são muito próximos donde se conclui que a secção de valor mínimo está próxima do enraizamento (há casos pontuais em que tal não acontece, como por exemplo, Setembro de 2007).

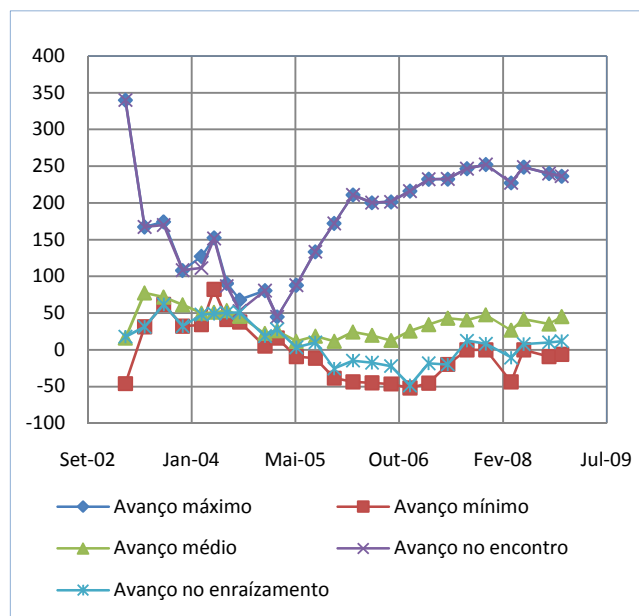


Figura 5. Evolução temporal da variação média, mínima, máxima, no encontro e no enraizamento da posição da linha de água na frente Oeste da restinga do rio Douro.

Os valores máximo e no encontro são quase sempre iguais, de onde se pode concluir que a secção de variação máxima está no encontro, ou muito próxima deste.

Estes valores têm, até Março de 2005, uma tendência decrescente e, a partir daqui, uma tendência de crescimento. De relembrar, mais uma vez, que a construção do quebramar começou em 2005.

Repare-se que os valores mínimo e médio, até Setembro de 2005, são muito próximos, o que quer dizer que o grande recuo da posição da linha de água na zona do encontro, entre Março de 2003 e Março de 2005, é feita quase exclusivamente à custa de erosão nesta zona, e não de uma erosão generalizada na frente Oeste. O mesmo se passa, mas com sentido inverso, entre Março/Setembro de 2005 e Dezembro de 2008.

Após o início da construção do quebramar iniciam-se também as tendências de avanço. No encontro, a tendência de avanço inicia-se imediatamente após o começo da construção, enquanto que na zona do enraizamento parece que, nos instantes seguintes a erosão é ainda acelerada e só depois se inicia a recuperação. Isto deve-se ao fenómeno de, após o início da construção do quebramar, a acreção no encontro ser feita à custa de erosões na zona do enraizamento, (Impacte, 1996). Quando o avanço na zona do encontro começa a estabilizar (quando termina a acreção na zona do encontro), é quando começa também o avanço na zona do enraizamento, figura 5.

Tendo em conta os pontos anteriores, verifica-se que, após a construção do quebramar, se inicia uma tendência de avanço com elevada acumulação de sedimentos na zona do encontro e uma erosão/regressão no enraizamento que agora parece estar a recuperar, tendo sido um efeito transitório.

7. Comparação da Evolução do Volume da Restinga com o Caudal no Rio Douro

Tão importante quanto saber o que estava a acontecer antes e após a construção dos quebramares é saber quais as suas causas. Se os efeitos não forem devidos aos quebramares podem ser efeitos transitórios ou temporários e não a recuperação que se espera que ocorra na restinga. Os factores que mais influência têm sobre a restinga são o caudal no rio e a agitação marítima.

Na figura 6 além da variação do volume já apresentado, está também representado o caudal efluente em Crestuma (último aproveitamento hidroeléctrico antes da foz do rio Douro). Logo no início há um grande pico de caudal (Inverno de 2002-2003) após o qual há um aumento súbito de volume. Após a construção das diversas barragens do rio Douro, o caudal de sedimentos transportado pelo rio tornou-se bastante reduzido.

No Inverno de 2002-2003 ocorreram várias cheias (com caudais e duração excepcionalmente elevados), havendo necessidade de, em diversas barragens, dar resposta ao caudal escoado no rio. Assim, alguns sedimentos retidos nas albufeiras, podem ter sido arrastados e depositados na restinga, dando origem ao aumento do seu volume nesse período.

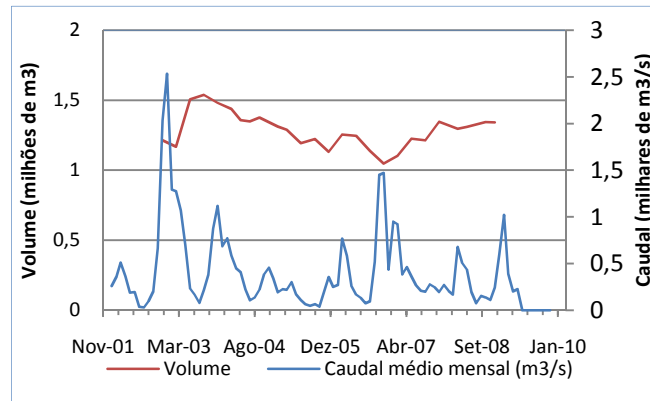


Figura 6. Comparação da evolução do volume da restinga com o caudal efluente em Crestuma.

Fica-se, então com a ideia de haver uma forte relação entre os dois parâmetros.

As cheias não são fenómenos permanentes, mas sim ocasionais e portanto, após a ocorrência de uma cheia, reduz-se bastante o caudal no rio. Ao mesmo tempo, corta-se o transporte excepcional de sedimentos, cessando a alimentação da restinga. Apesar da forte redução do caudal não se verifica um forte recuo volume da restinga. O que acontece é que os sedimentos acumulados são lentamente erodidos nos meses seguintes quer por acção do escoamento habitual do rio (que devido à pequena quantidade de sedimentos transportada tem principalmente acção erosiva), quer devido à agitação. Não há uma relação simples entre o caudal no rio e o volume da restinga. Há mais picos de caudal além do inicial, mas não há mais aumentos súbitos de volume. Exceptuando situações de cheias excepcionais o caudal parece ter muito pouca influência sobre a restinga. O principal agente de erosão da restinga é a agitação, como se verá mais à frente.

Depois do início da construção do quebramar inicia-se uma tendência de crescimento. Por muito elevado ou reduzido que seja o caudal, esta tendência mantém-se até ao último levantamento disponível.

8. Comparação da Evolução do Volume da Restinga com a Agitação ao Largo de Leixões

Na figura 7 está representada a evolução do volume da restinga e da altura da onda significativa média mensal ao largo do porto de Leixões.

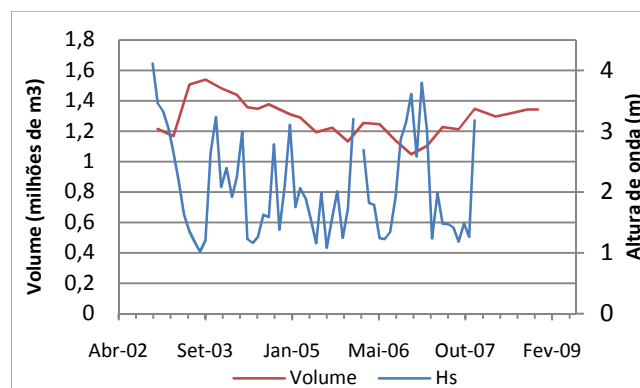


Figura 7. Comparação da evolução do volume da restinga e a altura de onda significativa média mensal.

No início observa-se, na curva de variação do volume, um crescimento súbito, ao mesmo tempo que a altura de onda baixa para valores relativamente pequenos.

Logo a seguir a altura de onda começa a crescer e o volume começa a reduzir-se. Depois a altura de onda volta a descer e volume mantém-se aproximadamente constante e depois, mais uma vez, a altura de onda volta a subir e o volume a descer. Tudo isto antes do início da construção dos quebra-mares (Março de 2005).

Ou seja, alturas de onda elevadas conduzem a perdas de volume e alturas de onda reduzidas permitem que a restinga mantenha o seu volume. A relação entre o volume da restinga e a agitação é forte e não linear.

A agitação é o principal factor de erosão e assim, quando a altura de onda aumenta, acentua-se a perda de volume. No entanto, dado que a alimentação de sedimentos à restinga é diminuta, a redução da altura de onda não origina ganhos de volume. Trata-se de um processo em que apenas é possível perder sedimentos.

A melhor situação, relativamente a esta tendência, com excepção das situações de cheias excepcionais, é que a restinga consiga manter o seu volume.

Após a construção inicia-se a tendência de crescimento do volume. A partir desta altura a agitação passa a ter uma influência muito reduzida sobre a restinga: a tendência de crescimento inicia-se e mantém-se por muito elevada ou reduzida que seja a altura de onda.

9. Comparação da Variação da Posição da Linha de Água da Restinga com o Caudal no Rio Douro

Em todos os gráficos, figuras 8 a 12, parece haver, na fase inicial (até cerca de Março de 2005 - Dezembro de 2006, conforme o parâmetro analisado), uma forte relação entre o valor do caudal e a posição da linha de água da restinga. No entanto, tal como já foi explicado em 7, a influência do caudal na restinga é muito fraca e só se manifesta de forma intensa em situações excepcionais.

A secção do encontro, figura 11, por estar mais perto do escoamento do rio (e também a secção de variação máxima, que anda sempre muito perto do encontro), apresenta ser mais influenciada pelo valor do caudal do que o resto da restinga.

Além disso, para todas as secções, após o grande crescimento inicial no Inverno de 2002-2003, a relação entre o caudal no rio e o avanço é cada vez mais ténue.

Por exemplo, os picos de caudal do Inverno de 2004-2005 têm aproximadamente o dobro do valor máximo dos de 2005-2006; no entanto, geram avanços da mesma ordem de grandeza.

A fraca relação entre estes dois parâmetros existe quando as barragens a montante estão em condições normais de funcionamento.

Após o período de Março de 2005-Dezembro de 2006 fica clara a fraca relação entre a posição da linha de água e o caudal no rio: todos os parâmetros crescem independentemente do valor do caudal.

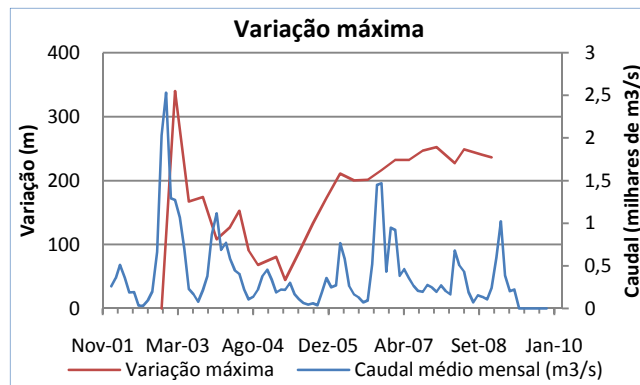


Figura 8. Comparação da variação máxima da posição da linha de água da restinga com o caudal efluente em Crestuma.

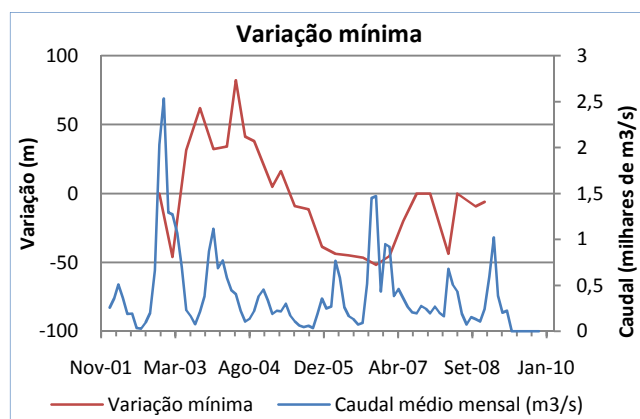


Figura 9. Comparação da variação mínima da posição da linha de água da restinga com o caudal efluente em Crestuma.

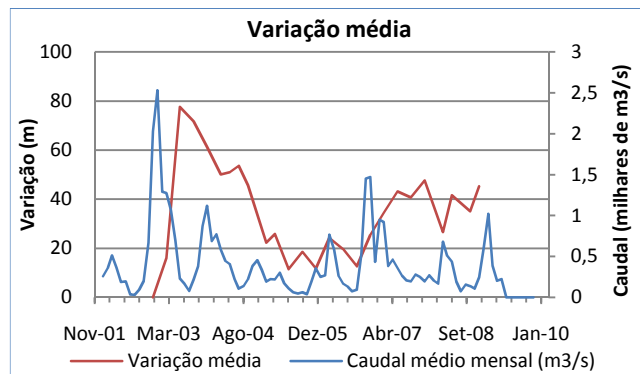


Figura 10. Comparação da variação média da posição da linha de água da restinga com o caudal efluente em Crestuma.

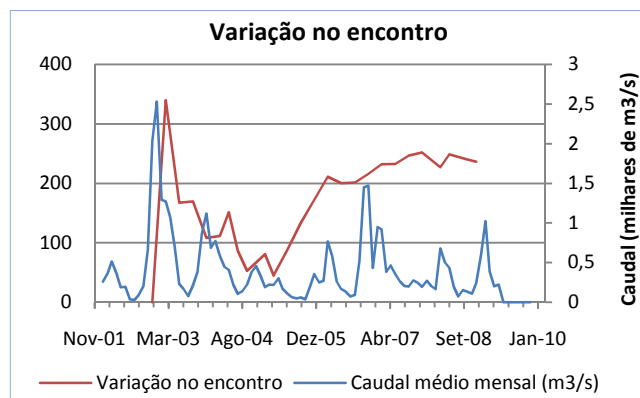


Figura 11. Comparação da variação da posição da linha de água da restinga no encontro com o caudal efluente em Crestuma.

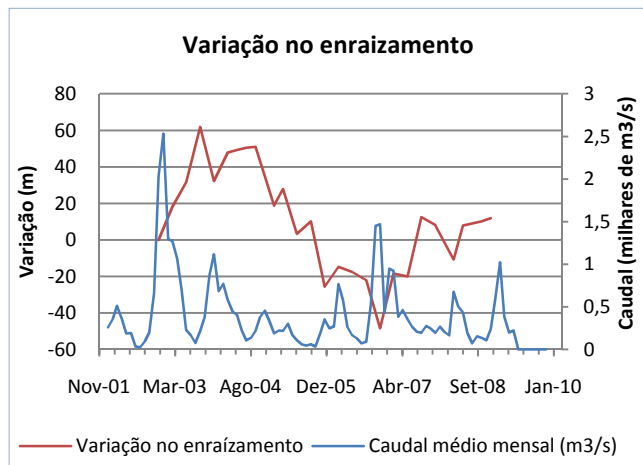


Figura 12. Comparação da variação da posição da linha de água da restinga no enraizamento com o caudal efluente em Crestuma.

10. Comparação da Variação da Posição da Linha de Água da Restinga com a Agitação ao Largo de Leixões

Como já foi referido, a agitação é o principal modelador da restinga. Nas figuras 13 a 17, à excepção de um pormenor que será explicado mais adiante, verifica-se que ocorre o mesmo que com o volume. Antes da construção do quebramar, quando a altura de onda sobe, a restinga começa a recuar. Quando a altura de onda desce, a posição da restinga mantém-se ou recupera.

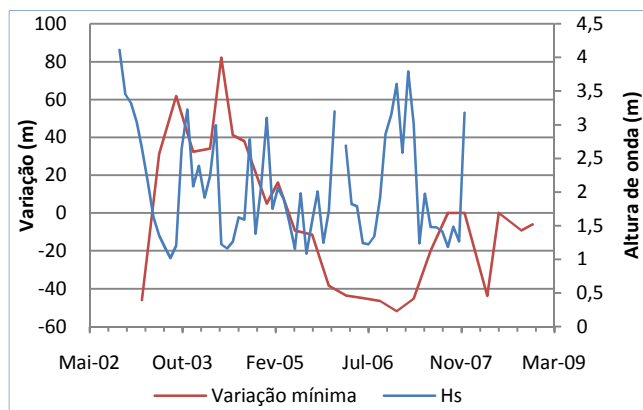


Figura 13. Comparação da variação mínima da posição da linha de água da restinga com a altura de onda significativa média mensal.

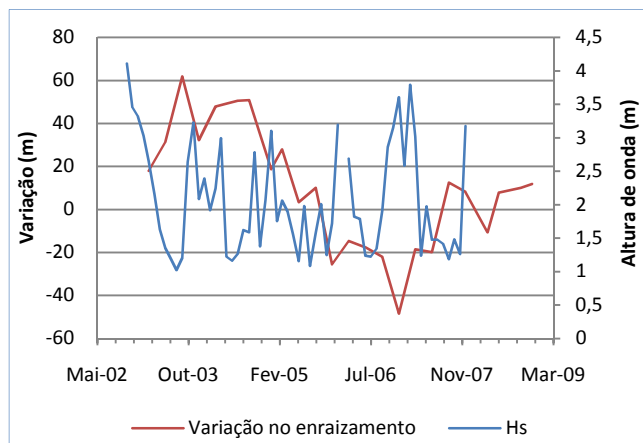


Figura 14. Comparação da variação da posição da linha de água da restinga no enraizamento e a altura de onda significativa média mensal.

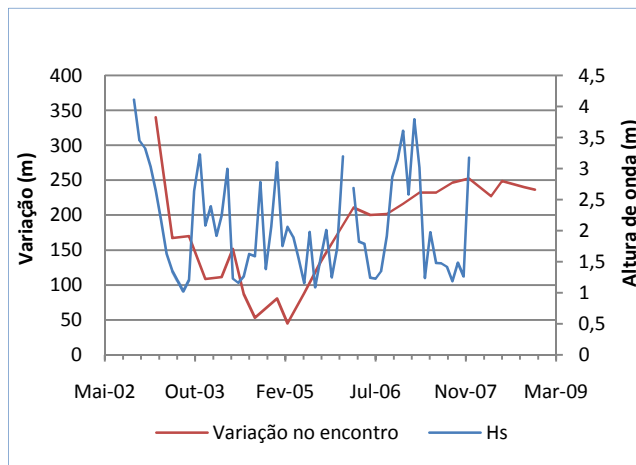


Figura 15. Comparação da variação da posição da linha de água da restinga no encontro e a altura de onda significativa média mensal.

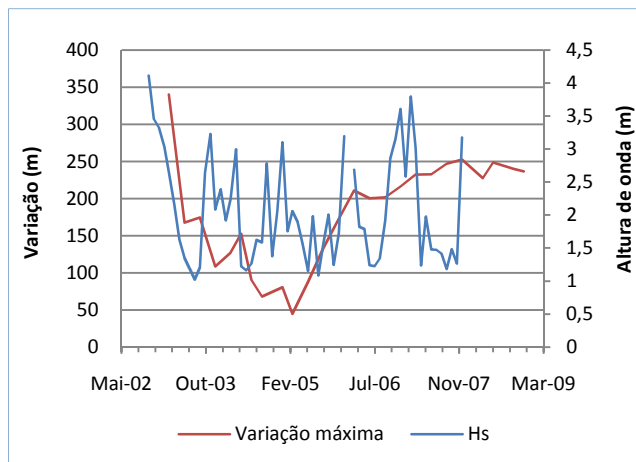


Figura 16. Comparação da variação máxima da posição da linha de água da restinga e a altura de onda significativa média mensal.

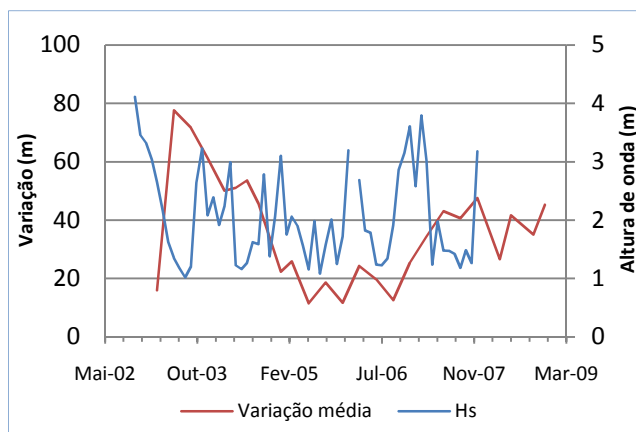


Figura 17. Comparação da variação da posição média da linha de água da restinga e a altura de onda significativa média mensal.

A excepção a este comportamento ocorre para a variação da posição no encontro e a variação de posição máxima (figuras 15 a 16) logo no início. Por se referirem praticamente sempre à mesma zona têm a mesma explicação. No início dos gráficos é aparente o seguinte:

- a restinga no encontro está bastante mais avançada do que nas restantes zonas e o avanço ocorreu mais cedo;
- o avanço elevado no encontro ocorre antes do aumento súbito de volume (figuras 4 e 15);

- parece que o avanço no encontro diminui à medida que a altura de onda desce e não o contrário, como no caso do enraizamento, em que vai subindo.

A zona do encontro é a que está mais próxima do rio e, por isso, é a primeira a sentir os efeitos do aumento do transporte de sedimentos devido às cheias (começa a avançar mais cedo do que o resto da restinga).

Observando as figuras 18 e 19, verifica-se também que em Março de 2003 o avanço da restinga no encontro ocorre de forma muito acentuada (avanço elevado) e muito localizada (apenas numa extensão muito curta e próxima da extremidade da restinga). Isto explica os pequenos valores de avanço nas outras zonas da restinga.

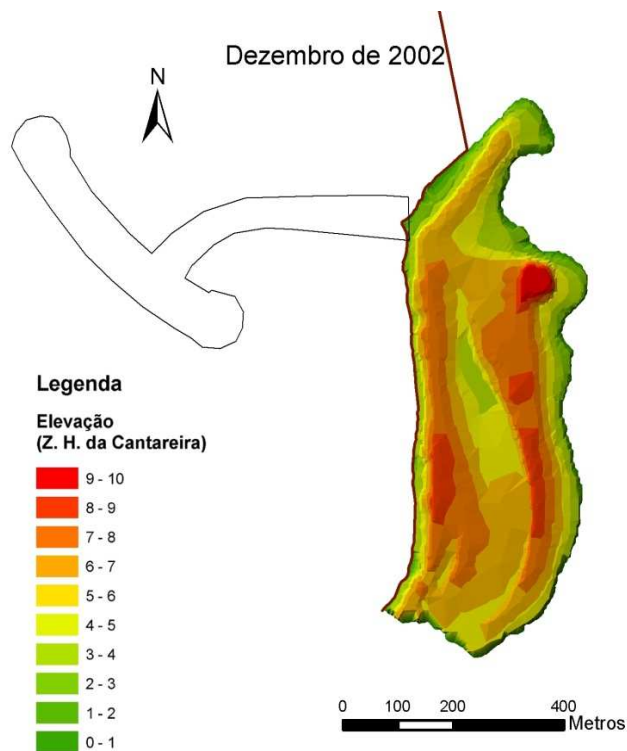


Figura 18. Levantamento topográfico da restinga do Rio Douro de Dezembro de 2002

A isto acresce o facto de os sedimentos depositados em Março, além de ocuparem uma área em planta muito pequena, também estarem a cotas muito baixas, ou seja, ocupam um volume muito pequeno e daí o aumento súbito de volume não coincidir com o elevado avanço no encontro.

Nos períodos seguintes, a agitação, actuando sobre o frágil prolongamento na zona do encontro, vai modelando-o causando o seu recuo. A ocorrência de eventuais dragagens para libertar o canal de navegação pode também justificar este recuo. A continuação da alimentação da restinga, associada à redução do tamanho da altura de onda, permite que os sedimentos cheguem de forma continuada a toda a frente. Aparecem então os avanços na restante frente Oeste e o aumento súbito de volume pois, neste caso, a acumulação de sedimentos é consideravelmente maior, dada a maior extensão onde ocorre. Assim se explica que, no encontro, no início, ao contrário do que se passava na restante frente Oeste, as alturas de onda reduzidas pareçam contribuir para o recuo da restinga.

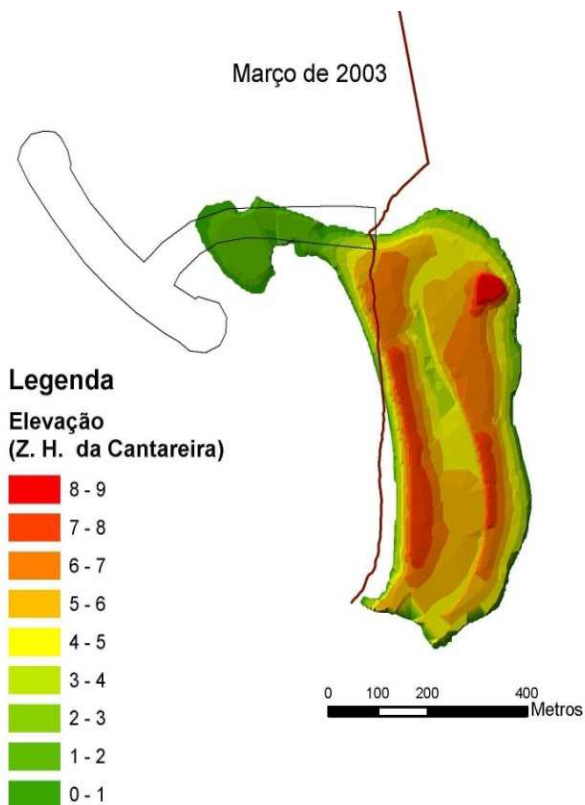


Figura 19. Levantamento topográfico da restinga do rio Douro de Março de 2003.

Depois do início da construção dos quebramares (Março de 2005), iniciam-se as tendências de avanço e a agitação passa a ter muito pouca influência sobre a restinga.

Por muito que a altura de onda cresça, ao contrário do que acontecia anteriormente, a tendência de crescimento inicia-se e mantém-se.

Apenas existe uma certa diferença de tempo entre a data de início do avanço conforme a zona estudada. A acreção no encontro começa mais cedo tal como foi já referido, à custa das erosões no enraizamento. Conforme a zona analisada, há mais, ou menos, influência da agitação no comportamento da restinga.

A variação da posição máxima e na zona do encontro só se mostra dependente da agitação até ao início da construção do quebramar. A partir dessa data tem sempre tendência de crescimento.

Os valores mínimo e no enraizamento apresentam-se mais ou menos dependentes da agitação em todo o registo, mas com dois aspectos interessantes: a partir da data de início da construção (cerca de Março de 2005) ambos mostram uma tendência decrescente, até cerca de Setembro/Dezembro de 2006, que é mais forte, ou mais fraca (havendo mesmo curtos períodos em que se inverte), conforme a agitação é mais, ou menos, intensa.

Esta tendência geral de decrescimento será devida aos efeitos iniciais de erosão no enraizamento causada pelo quebramar.

A partir de Setembro/Dezembro de 2006, os valores mínimos e no enraizamento apresentam uma tendência geralmente crescente.

Isto poderá ser uma prova do efeito de protecção do quebramar sobre a restinga: assim que o crescimento no encontro começa a estagnar e as erosões induzidas pelo quebramar no enraizamento começam a anular-se, mesmo sob acção da agitação, a zona de enraizamento começa a ser reforçada.

A única excepção ocorre em Abril de 2008, com um decréscimo, coincidente com um elevado crescimento da agitação, que é parcialmente recuperado logo em Junho de 2008.

O valor médio apresenta-se fortemente dependente da agitação até cerca de Janeiro/Março de 2005, altura de início da construção. A partir de então, mostra-se muito pouco relacionado com esta, começando a aumentar a partir de Setembro/Dezembro de 2006, mesmo apesar do crescimento da altura de onda. A única excepção ocorre em Abril de 2008, em que se regista uma acentuada descida, coincidente com o crescimento da altura de onda.

11. Evolução do Volume da Restinga a Diferentes Cotas

A análise da evolução do volume da restinga compreendido entre diferentes cotas é necessária para se conhecerem as condições de segurança da barra em caso de cheia.

Em condições normais o rio escoar sem problemas pela secção relativamente estreita entre a extremidade da restinga e a margem norte do rio (embocadura). Em condições de cheia o caudal no rio aumenta consideravelmente e esta secção não é suficiente para dar vazão ao caudal sem ocorrer subida do nível do rio.

Se apenas for possível escoar o caudal por esta secção, o nível pode subir de tal modo que inunde a envoltória das suas margens, colocando em risco populações e património.

No entanto se, ao subir de nível, for possível que uma porção do caudal seja escoada através da restinga, submergindo-a localmente, consegue dar-se vazão a mais caudal sem que para isso o nível de água atinja alturas perigosas.

Para que isto seja possível é necessário que não só os sedimentos da restinga não atinjam cotas elevadas (barreira ao escoamento), como também o volume de sedimentos a cotas mais altas não seja demasiado elevado que impeça o rio de romper a restinga, quando necessário. Observando a figura 20 verifica-se o seguinte:

- de uma forma geral as curvas de variação de volumes entre duas cotas sofrem a mesma evolução que a curva de volume total, o que é natural uma vez que se referem à mesma grandeza;
- quanto mais alta for a cota estudada, mais constante é a curva ao longo do tempo. Por um lado as cotas mais baixas são mais afectadas pela agitação e pelo caudal no rio, sendo mais variáveis; por outro lado as cotas mais baixas contêm uma maior percentagem do volume total da restinga e por isso a sua variação tem mais influência na variação do volume total da restinga.

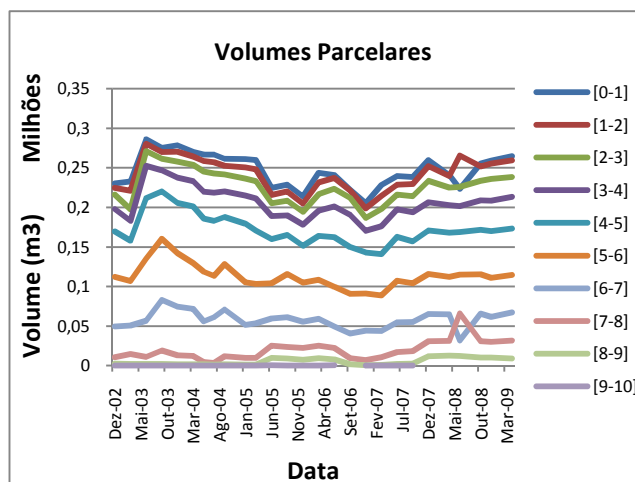


Figura 20. Evolução temporal do volume contido entre duas cotas, referidas ao Z. H.

O facto de as cotas mais altas, aquelas que causam mais dificuldade ao escoamento sobre a restinga em caso de cheia, se mostrarem praticamente constantes indica que os quebramares não tiveram uma influência significativa sobre este aspecto. Ou seja, não houve, até agora, um agravamento significativo das condições de segurança em caso de cheia devido à construção dos quebramares.

O volume total da restinga acima de determinada cota, não é, por si só, um factor de segurança, ou risco em caso de cheia. O volume a cotas mais altas pode ser muito elevado, ou estar a aumentar, mas ser apenas devido a uma pequena área da restinga que albergue grande volume. Mas mesmo que o volume esteja bem distribuído sobre toda a restinga, não há necessariamente um risco.

Se houver uma secção da restinga mais fragilizada/rebaixada (intencional ou naturalmente) que permita um pequeno escoamento em caso de cheia, o problema da segurança à cheia fica bastante atenuado. Nesta situação, o caudal será tão intenso que o escoamento sobre a restinga arrastará rapidamente os sedimentos à sua volta, aumentando progressivamente a secção de escoamento.

Assim, mais importante do que garantir que não há grandes volumes a cotas elevadas é garantir que existe pelo menos uma secção da restinga que ceda prematuramente, permitindo a cedência em cadeia das restantes secções (efeito fusível). É o que se passa na zona do encontro com o quebramar.

Em 2 foi referido que a estrutura de reforço tem cotas reduzidas para permitir o galgamento em caso de cheia e o mesmo acontece com a restinga nesta zona. Um dos requisitos das obras de era a manutenção/criação de uma faixa na restinga com 300 m de extensão em que a cota máxima não ultrapassasse os 5 m (Z. H.) (IND, 1999). Na figura 18 está representado mais recente levantamento topográfico da restinga, em que se vê que na zona do encontro existe ainda uma faixa rebaixada a 5 m (Z. H.). Apesar de ser o mais recente disponível, este levantamento, no entanto, está ainda demasiado próximo da conclusão da obra para se poder concluir que o quebramar não terá efeitos de obstrução desta faixa.

12. Análise Visual – Antes e Depois

Nas figuras 18 e Figura estão representados dois levantamentos da restinga, para Dezembro de 2002 e Dezembro de 2008, respectivamente o mais antigo e o mais recente levantamento utilizado no estudo. Apesar de estar representado no levantamento de 2002, o quebramar nesta altura ainda não existia, estando representado apenas para facilitar a comparação.

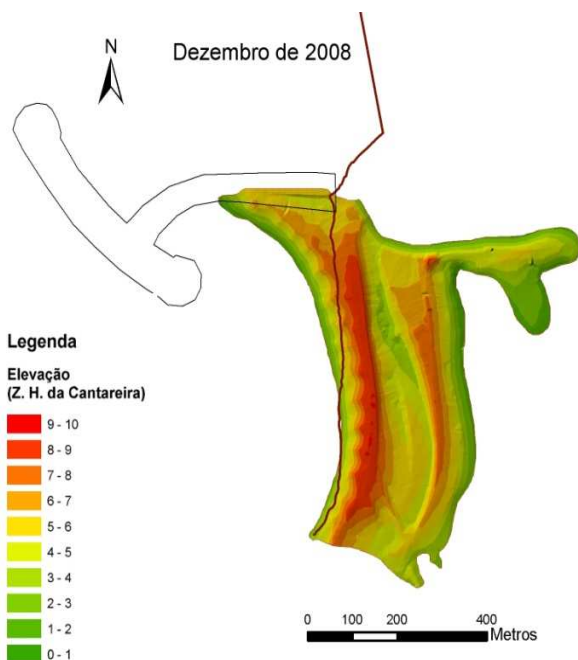


Figura 21. Levantamento topográfico da restinga do Rio Douro para Dezembro de 2008.

As diferenças entre os dois levantamentos são claras. Na frente Oeste é notória a elevada acumulação de sedimentos na zona do encontro. A restante frente não tem uma evolução tão evidente, estando mais ou menos na mesma situação nos dois levantamentos. Isto não é um sinal de que esta zona não evoluiu positivamente: como se vê na figura 5 depois de Dezembro de 2002 estas zonas sofreram um recuo acentuado, iniciando-se por volta de Março de 2005-Dezembro de 2006 a recuperação. Por acaso, o processo de recuperação determinou que em Dezembro de 2008 a situação seria semelhante à de Dezembro de 2002.

Na frente Norte verifica-se a eliminação do prolongamento da restinga que assoreava e estreitava o canal de acesso, deduzindo-se que isto significará uma melhoria nas condições de navegabilidade. As condições do canal de acesso são determinadas sobretudo pelas cotas dos fundos e, não estando disponíveis informações de batimetria, apenas se pode especular que a eliminação do prolongamento indique melhorias no canal.

13. Conclusões

Antes do início da construção do quebramar havia um comportamento um pouco aleatório da restinga. Apesar disso, a tendência geral era para o recuo da posição linha de água (Impacte, 1996; Consulmar, 1995a) e diminuição do volume.

Após a construção do quebramar, a tendência de recuo alterou-se. Na zona de encontro com o quebramar, passou a verificar-se um avanço a grande ritmo, que agora parece começar a estagnar. Na zona central e de enraizamento da frente Oeste verificou-se, no início, uma erosão acentuada e depois um avanço, mais ou menos coincidente com a estabilização da zona do encontro. Isto está de acordo com o facto de a acreção no encontro ser conseguida à custa de uma erosão inicial no enraizamento (Impacte, 1996).

Há tendências que, no entanto, não podem ser tomadas como certas, devido às elevadas oscilações dos parâmetros considerados no período analisado e ao reduzido período disponível para análise, podendo tratar-se apenas de oscilações/flutuações. É o caso do aumento do volume a partir de Dezembro de 2006, ou a inversão do fenómeno de erosão na zona central e de enraizamento da frente Oeste.

Após o início da construção e da realização das primeiras dragagens, não se verificaram assoreamentos significativos no canal de navegação, ao contrário do que acontecia no passado, em que era necessário recorrer a dragagens frequentes (Consulmar, 1995a). Pode concluir-se que o efeito de corte do transporte sedimentar referido em (Impacte, 1996) e (Consulma, 1995b) está a resultar. É, no entanto, necessário realizar mais levantamentos para confirmar este facto e verificar se isto não é apenas um fenómeno transitório, resultante das dragagens, estando o canal ainda sujeito ao processo de assoreamento.

No corpo da restinga, não foram detectadas alterações significativas em resultado da construção do quebramar, a não ser o alteamento de uma faixa para acesso de veículos durante a construção. Isto é uma necessidade construtiva e não um efeito do quebrmar.

Quando os aproveitamentos no rio Douro estão em funcionamento não há uma relação evidente entre a evolução da restinga e o caudal do rio. A única excepção ocorreu para uma situação de cheia (que não é uma situação habitual) em que, resultado da necessidade de dar vazão ao elevado caudal que do rio, os sedimentos foram arrastados e depositados na restinga.

Os efeitos mais significativos sobre a restinga parecem ser devidos à construção do quebramar, sendo as zonas mais afectadas, a frente Norte onde ocorre um efeito de corte do transporte sedimentar e a frente Oeste, onde se verifica a inversão do processo erosivo e o avanço da posição da linha de água.

Apesar de serem necessários mais levantamentos para confirmar as tendências descritas e de não serem conhecidos de forma completa os dados relativos às dragagens, o facto de as tendências de erosão, de uma forma geral, se invertem a partir de Março de 2005 (em praticamente todos os parâmetros analisados) não pode ser apenas uma coincidência, nem explicado por uma sucessão de quatro anos de condições favoráveis.

Em resumo, pode concluir-se o seguinte: após a construção do quebramar, a tendência de enfraquecimento inverteu-se, a linha de água começou a avançar e o volume a aumentar. Como não há alimentação de sedimentos à restinga, o material perdido não é recuperado.

Assim, alturas de onda elevadas retiram material e diminuem o volume e alturas de onda reduzidas permitem que a restinga se conserve. Como o regime de agitação se mantém inalterado antes e depois da construção dos quebramares, isto é, as alturas de onda antes e depois da construção são semelhantes, não ocorreu nenhum período especialmente favorável que justifique a recuperação da restinga. A nova tendência de crescimento só pode, portanto, ser explicada à luz da existência do quebramar.

Referências

- ADFCUP - Associação para o Desenvolvimento da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. (Dezembro de 2002 a Dezembro de 2008). *Relatório – Monitorização da Restinga do Rio Douro usando técnicas DGPS*, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- APDL, <https://www.apdl.pt/gca/index.php?id=340> 5 de Novembro de 2008.
- Consulmar, Projectistas e Consultores, Lda (1995a). *Estudo das Obras Necessárias à Melhoria da Acessibilidade e das Condições de Segurança na Barra do Douro – 1ª Fase – Estudo de Soluções Alternativas – Volume 1 – Memória Geral Tomo 1*, Lisboa.
- Consulmar, Projectistas e Consultores, Lda (1995b). *Estudo das Obras Necessárias à Melhoria da Acessibilidade e das Condições de Segurança na Barra do Douro – 1ª Fase – Estudo de Soluções Alternativas – Volume 1 – Memória Geral Tomo 2*, Lisboa.
- Impacte, Ambiente e Desenvolvimento Limitada (1996). *Estudo das Obras Necessárias à Melhoria da Acessibilidade e das Condições de Segurança na Barra do Douro*.
- IND - Instituto de Navegabilidade do Douro (1999). *Concurso Público no Âmbito da UE para Adjudicação da Empreitada de Concepção/Projecto e Construção das Obras Necessárias à Melhoria das Acessibilidades e das Condições de Segurança da Barra do Douro – Volume II – Caderno de Encargos*, Instituto de Navegabilidade do Douro, Peso da Régua, 220 páginas.
- Ramos, F. Silveira; Oliveira, J. M. Morim de; Prata, Carlos (2001). *Criatividade e Inovações Técnicas na Fixação da Embocadura do Douro*.
- SOMAGUE, <http://www.somague.pt/> 5 de Novembro de 2008.