



# PAPEL DA DINÂMICA DE PROPAGAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO NA FORMA DO HIDROGRAMA E NO PICO DA CHEIA OCORRIDA EM ALBUFEIRA A 1/11/2015, E SUA RELEVÂNCIA PARA A SUSTENTABILIDADE DAS SOLUÇÕES DE DRENAGEM

Rui, RODRIGUES<sup>1</sup>

1 – Engº Civil, Investigador Auxiliar, LNEC, AV. Brasil 101, 1700-066 Lisboa, [rjrodrigues@lnec.pt](mailto:rjrodrigues@lnec.pt), 218443786

### Resumo

O episódio pluvioso que incidiu sobre o Barlavento Algarvio na manhã do dia 1 de novembro de 2015, com maior intensidade entre as 10:00 e as 14:00 horas, provocou inundações com grande impacto na cidade de Albufeira. O sistema de drenagem foi insuficiente para escoar a cheia tendo-se processado grande parte do escoamento sobre o pavimento da estrada de acesso ao centro da cidade, que ficou por sua vez totalmente alagado.

A precipitação ponderada de cerca de 105 mm caída na bacia drenante durante seis horas e meia distribuiu-se temporalmente num hietograma negativamente assimétrico com máximos no último quinto de duração da chuvada. Esta situação, favorável ao desenvolvimento de picos de cheia de maior magnitude, foi ainda assim atenuada pela cinemática da propagação da perturbação meteorológica – com o atravessamento transversal da bacia no sentido Este para Oeste durante 4/5 do tempo e (já na fase final) de Sul para Norte. Desta feita proporcionou-se a desfasagem dos volumes escoados com a antecipação de parte significativa do escoamento na bacia junto à foz.

A mobilização desfasada de incrementos de drenagem da bacia – importantes, apesar da pequena dimensão espacial desta – foi assegurada na modelação hidrológica, após análise dos padrões de drenagem, mediante a incorporação da discretização da área total em três sub-bacias e do recurso à integração dos hietogramas transladados até à foz.

Dada a escassez de dados udográficos “oficiais” das agências estatais, complementou-se a informação pluviométrica com o recurso a estações meteorológicas de particulares, e na falta de elementos hidrométricos, recorreu-se ao hidrograma sintético do SCS, utilizando a formulação do número de escoamento (CN) para o cálculo de perdas.

A análise dos dados de precipitação revela que, para as durações críticas de concentração de caudais nas sub-bacias (80 a 100 min.) e na totalidade da bacia (~ 2 hr), sugere que a excecionalidade do fenómeno meteorológico se situou entre os 10 e os 20 anos, expondo assim a fragilidade da corrente solução de drenagem da região. Este facto direciona as prioridades da sustentabilidade a longo prazo do modelo de desenvolvimento para o redimensionamento dos sistemas de drenagem, enquadrando-os num projeto coordenado de planeamento de recursos hídricos e de ordenamento do território.

Quando se debatem os acréscimos de capacidade de drenagem necessários para contemplar a adaptação a eventuais alterações climáticas urge assegurar, primeiro, a elementar adequação dessa capacidade de drenagem para o atual clima.

## 13.º Congresso da Água

Para as áreas drenantes próximas de Albufeira, mas de maior envergadura, como as ribeiras de Quarteira e Alcantarilha (com maiores tempos de concentração), os valores acumulados até 7 horas oscilaram entre os 20 e os 50 anos de excecionalidade em termos de período de retorno. Para essas bacias da região com maior dimensão não foram, contudo, sentidos efeitos tão desastrosos como em Albufeira.

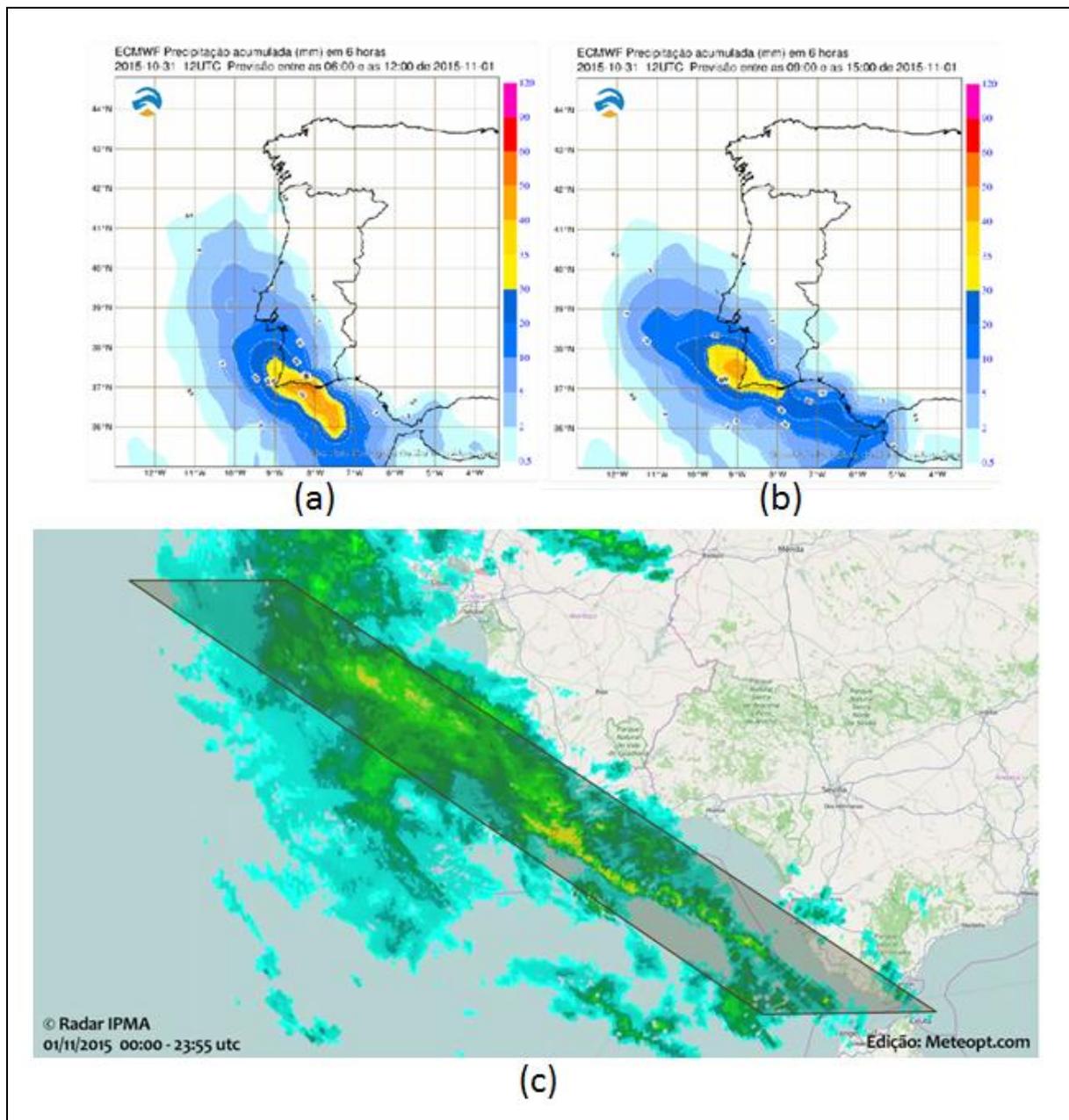
O caudal de ponta de cheia em Albufeira, estimado entre os 120 e os 140 m<sup>3</sup>/s, terá ocorrido às 14:30. Este valor poderia ter sido 25% superior se a propagação da perturbação meteorológica se tivesse processado de forma inversa, isto é, inicialmente de Oeste para Este e, na fase final, de Norte para Sul. É para estas condições extremas (e para um período de retorno centenário, que as futuras soluções de drenagem devem ser procuradas

**Palavras-chave:** Cinemática da precipitação, Hidrograma de cheia, Curvas P-D-F e I-D-F, Duração crítica de chuvadas.

**Tema:** 6) Dimensionamento, beneficiação e operação de sistemas de abastecimento, drenagem e tratamento de águas.

## 1. DA GÉNESE À CHEIA

O fenómeno meteorológico que ocorreu na manhã do dia 1 de novembro de 2015 foi devidamente antecipado (Fig. 1). Apesar da maior incerteza associada à estimativa dos valores de precipitação, as previsões estavam suficientemente apuradas quer quanto à zona de maior impacto da massa de ar, quer quanto à sua deslocação predominante SE-NW.



**Figura 1.** Previsões para o dia 01-11-15 da precipitação acumulada em 6 horas (a) – das 6:00 às 12:00, (b) – das 9:00 às 15:00, e (c) imagem de radar da fase de maior atividade pluviosa junto à bacia da ribeira de Albufeira, assinalada a vermelho (dados IPMA para Meteopt).

## 13.º Congresso da Água

Já as imagens de radar disponibilizadas no MeteoPT para o próprio dia do evento pluvioso apresentavam valores de precipitação totalizados para 1 hora 55% inferiores aos volumes recolhidos no solo pelos udómetros. Para que a consulta dessas imagens possibilite a reconstituição não só da variabilidade espacial da precipitação mas também da sua efetiva magnitude torna-se necessário correlacionar a informação da refletividade vinda do radar com a pluviometria medida no solo, o que implica ter-se disponível uma rede de pontos de medição com maior densidade do que aquela correntemente disponível na rede sinótica. Não sendo o número de postos das agências oficiais (IPMA, APA, DRAP) suficiente para a cobertura representativa de uma área de reduzida dimensão — como a da bacia da ribeira de Albufeira, com cerca de 27 km<sup>2</sup>, bem como de outras bacias costeiras similares (Fig. 2) — há que recorrer a uma rede que reproduza as variações meteorológicas regionais. No nosso País tem vindo a crescer nos últimos anos o número de postos particulares inscritos na Weather Underground, o que os potencia para o apoio à calibração de radares e, também, para o controlo em tempo real de cheias.

Na área mais próxima a Albufeira, durante o dia 1 de novembro, apenas estiveram acessíveis on-line para o público em geral os dados udométricos de cinco postos particulares da rede Weather Underground (Fig.2).



**Figura 2.** Postos das redes meteorológicas na envolvente da bacia hidrográfica da ribeira de Albufeira com dados (em tempo real e em diferido) para o dia 01/11/2015

A precipitação intensa provocou inundações com grande impacto na cidade de Albufeira. O sistema de drenagem foi insuficiente para escoar a cheia, tendo-se processado grande parte do escoamento sobre o pavimento da estrada de acesso ao centro da cidade, que ficou por sua vez totalmente alagado.

## 2. EXCEPCIONALIDADE: ESPECULAÇÃO A PARTIR DO IMPACTO

Uma vez que o evento pluvioso se esgotou praticamente às 15:00, ainda no próprio dia surgiram reações à excepcionalidade do fenómeno com base nos valores de precipitação conhecidos. Nos dias subsequentes ao evento pluvioso foi assumido oficialmente pelo Secretário de Estado do Ambiente que se tratava de uma cheia centenária, contra a qual

pouco se poderia ter feito. Outro elemento do governo falou em “força da Natureza” e “fúria demoníaca”. Nos meios de comunicação regionais, a estas opiniões catastrofistas e resignadas contrapuseram-se notícias sobre a habitual recorrência de “cheias violentas” em Albufeira, como as de 23/12/1948, 29/11/1949 e 15/01/1956.

As inferências empíricas estenderam-se às causas e agravantes da cheia, tendo sido destacadas as falhas de ordenamento do território por excessiva impermeabilização dos solos e os efeitos já manifestos e tendencialmente crescentes das mudanças climáticas.

### 3. EXCECIONALIDADE: MÉTODO DOS CASOS CRÍTICOS

Apesar da cheia ocorrida em novembro de 1949 ter sido a maior registada no período instrumental, a leitura comparada ou o “ranking” dos vários fenómenos não chega a ser propriamente um método científico. A comparação da cheia de novembro de 2015 com os fenómenos de cheia anteriores contribui apenas para a noção de uma ordem de grandeza regional para as amplitudes dos valores.

Contudo há uma comparação que convém fazer: em 3 de dezembro de 1989 ocorreu uma situação semelhante à de novembro-último em Albufeira, mas com incidência sobre o Sotavento algarvio. Na altura também se comunicou oficialmente que o período de retorno das cheias havia atingido um valor centenário, talvez como forma de complacência face à rotura de uma parte significativa das infraestruturas rodoviárias da região. No entanto, um estudo estatístico dos episódios pluviosos de dezembro de 1989 para durações de chuvada horárias revelou excecionalidades entre os 10 e os 50 anos apenas (Rodrigues, 1990).

O citado estudo de frequência de máximos de precipitação sobre o Sotavento Algarvio surgiu como proposta de apoio ao dimensionamento de obras de drenagem na região, através do zonamento de áreas de afinidade das relações entre as quantidades críticas de precipitação, as suas durações (de horárias a diárias) e a sua frequência, apoiado por equações (P-D-F) para projeto (Rodrigues, 1990). A viabilidade do prolongamento até à bacia da ribeira de Albufeira do zonamento então efetuado – interrompido, a Oeste, na ribeira de Quarteira – foi agora corroborada para o zonamento diário (após complementação da amostra com os dados de três postos do Barlavento) e foi expandida por analogia ao zonamento horário, excluindo-se a estreita faixa litoral por falta de dados.

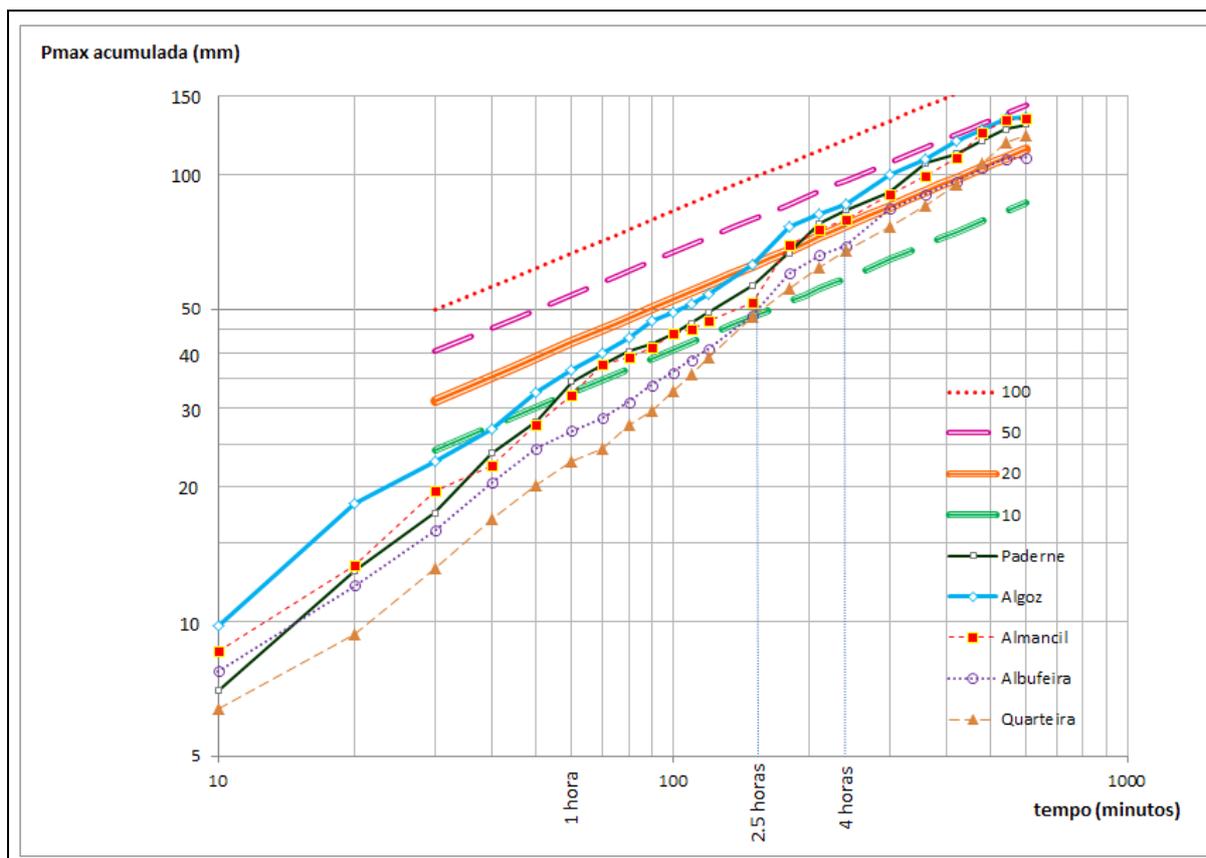
Através deste procedimento foi possível estabelecer as curvas P-D-F regionais de referência para o dia 1/11/2015 que enquadraram a excecionalidade dos volumes de precipitação acumulados ao longo do tempo em cada um dos postos de medição. Na Figura 3 estão representadas, em escala logarítmica, apenas as curvas PDF deduzidas para a zona de encosta contígua ao litoral, que engloba, no entanto, a maioria da bacia da ribeira de Albufeira. Nelas os valores dos postos da franja litoral aparecem ligeiramente sub-avaliados, sendo lícito intuir que apresentaram excecionalidades semelhantes aos demais.

As expressões de cálculo PDF são do tipo

$$P = at^b \quad (1)$$

onde  $P$  é a precipitação em mm, totalizada durante o tempo  $t$  em horas, e  $a$  e  $b$  são constantes para cada período de retorno  $T$ . No caso de  $T=20$  anos, os valores de  $a$  e  $b$  são, respetivamente, 42.177 e 0.4329.

A análise da Figura 3 revela que, para durações de chuvada críticas inferiores a 2 horas (valor do tempo de concentração das cheias na bacia de Albufeira), a excecionalidade do fenómeno meteorológico se situou entre os 10 e os 20 anos, expondo assim a fragilidade da corrente solução de drenagem existente na região. Para as áreas drenantes próximas de Albufeira, mas de maior envergadura, como as das ribeiras de Quarteira e de Alcantarilha (com maiores tempos de concentração), os valores acumulados até 7 horas oscilaram entre os 20 e os 50 anos de excecionalidade em termos de período de retorno. Para essas bacias da região com maior dimensão não foram, contudo, sentidos efeitos tão desastrosos como em Albufeira.



**Figura 3.** Sobreposição dos máximos de precipitação observados no dia 1/11/2015 sobre as curvas PDF (para T= 10; 20; 50; 100 anos) definidas para a zona de encosta contígua ao litoral.

## 4. INFERÊNCIA SOBRE CAUDAIS

A excecionalidade da ocorrência meteorológica pode não coincidir com a excecionalidade dos caudais de pico de cheia ou mesmo com a excecionalidade atingida pelos níveis de alagamento, principalmente quando se tratam de períodos de retorno de poucas dezenas de anos.

No caso dos caudais de cheia, o motivo do afastamento entre os períodos de retorno destes face aos dos valores de precipitação tem a ver com a parte não linear do ciclo hidrológico,

## 13.º Congresso da Água

nomeadamente: os diferentes estados de humidade antecedente do solo (afetando diferencialmente as perdas por infiltração); as modificações na ocupação do solo e do coberto vegetal (alterando as perdas por interceção); as modificações de regime introduzidas pelo Homem, ou; o deslocamento diferencial da perturbação meteorológica sobre a bacia (ponto que irá ser abordado).

Quanto à utilização dos níveis máximos de cheia para determinação dos períodos de recorrência das cheias, é das alternativas a menos recomendável pois raramente os níveis hidrométricos constituem séries estacionárias devido às alterações morfológicas frequentes do leito (como assoreamentos, erosões ou estrangulamentos — naturais ou antropicamente induzidos).

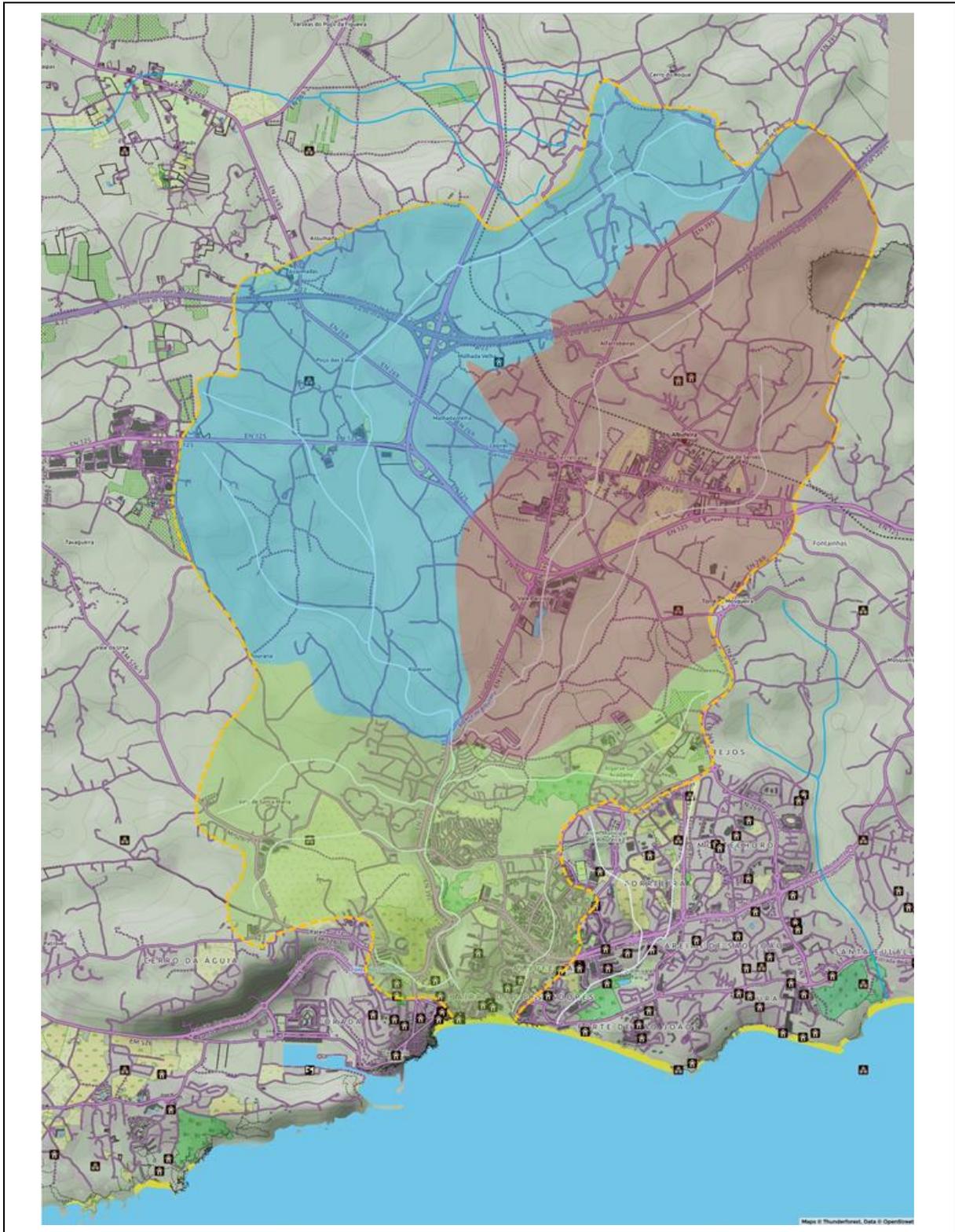
Nunca existiu uma estação hidrométrica com apoio de medição de caudais na bacia hidrográfica da ribeira de Albufeira. Para as bacias contíguas há alguma informação mas as áreas drenadas são 112.8 km<sup>2</sup> na ribeira de Alcantarilha e 324.7 km<sup>2</sup> na ribeira de Quarteira, ou seja, áreas 4 a 12 vezes superiores à da bacia de Albufeira, que têm componentes do escoamento de base muito diferentes e configurações de hidrogramas menos angulosos junto ao pico. Para além disso as curvas de vazão desses pontos têm por base valores muito baixos de caudal, acrescentando mais incerteza às extrapolações em cheia.

Com as limitações hidrométricas relatadas houve que recorrer à determinação indireta do caudal através da precipitação. Basicamente o que se pretendia era representar de forma simples os ramos ascendente e de recessão da cheia crítica, de forma a reproduzir, por defasagem e adição de hidrogramas, o efeito de 7 horas de precipitação. Adicionalmente, poder-se-ia simular o efeito de diferentes propagações convectivas sobre a bacia desde que esta estivesse decomposta em sub-bacias. Após o estudo geomorfológico da bacia hidrográfica foi decidido subdividi-la em 3 partes: duas nas cabeceiras e uma, intermédia até à foz, após a confluência das anteriores a montante do Parque de Campismo. Geograficamente estão assim dispostas:

- A Oeste — a sub-bacia do ribeiro de Ataboeira (Sub-W);
- A Este — a sub-bacia da rib<sup>a</sup> de Albufeira/Ferreiras e o ribeiro do Vale de Paraíso (Sub-E);
- A Sul — a sub-bacia da ribeira de Albufeira (Sub-S);

A Figura 4 apresenta a discretização acima enunciada sobreposta às manchas de impermeabilização elevada na região. A informação nela contida desdiz a intuição geral quanto à ocupação do solo já que a efetiva urbanização intensiva junto ao litoral tem fraca expressão para o interior: A sub-bacia de Ataboeira está praticamente pristina (à parte as vias de comunicação e suas passagens hidráulicas); a sub-bacia de Ferreira tem apenas uma pequena parcela urbanizada colocada transversalmente (seguindo os eixos viários) ao desenvolvimento longitudinal do curso de água principal; a sub-bacia da zona do Parque de Campismo até à foz é aquela fortemente urbanizada mas mais nos afluentes da margem esquerda.

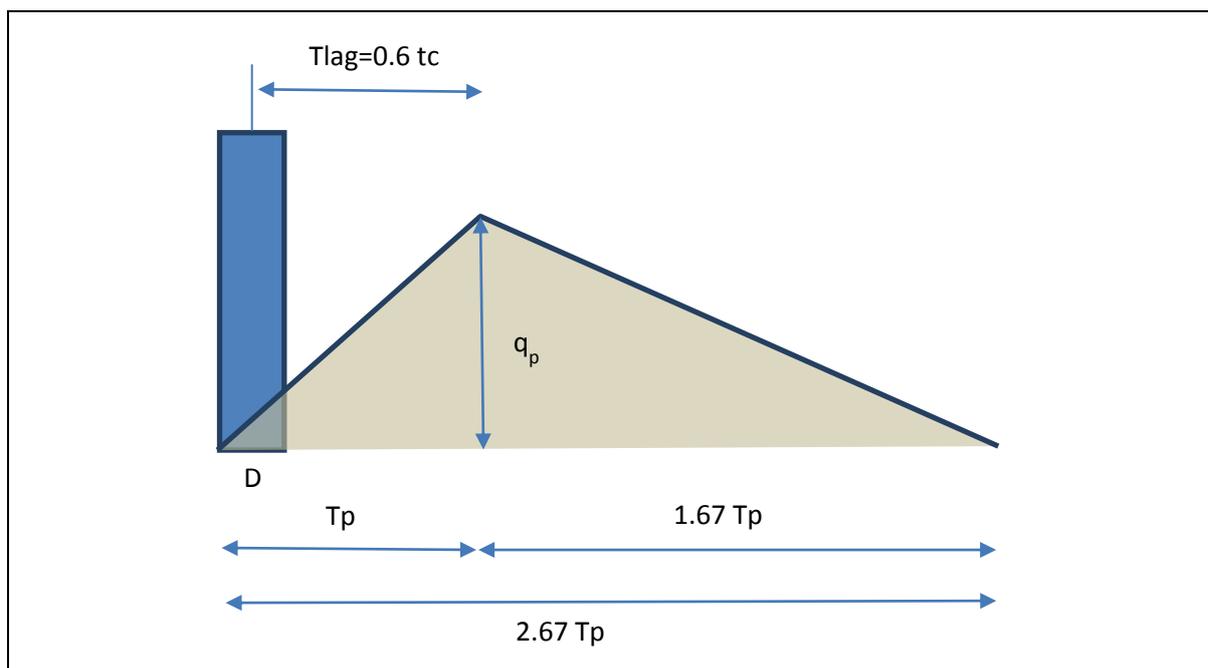
Apesar de terem áreas semelhantes, a bacia Sub-W é 1½ vezes menos declivosa do que a bacia Sub-E e tem um curso de água principal cerca de 1 km mais extenso. Cinematicamente isto tem importância, fazendo com que o tempo de concentração da bacia Sub-W seja 20 minutos superior ao da Sub-E. A bacia Sub-S é, também, 1½ vezes menos declivosa do que a bacia Sub-E, mas, ao possuir um curso de água principal que é apenas 60% do correspondente na Sub-E, acaba por ter o mesmo valor cinemático — ambas as bacias (Sub-E e Sub-S) têm tempos de concentração da ordem dos 80 minutos.



**Figura 4.** Subdivisões na bacia da rib<sup>a</sup> de Albufeira para apoio ao estudo dos hidrogramas de cheia.

## 13.º Congresso da Água

Para o cálculo do hidrograma de cheia foi utilizado o método triangular do SCS cujas variáveis se encontram representadas na Figura 5.



**Figura 5.** Hidrograma triangular do SCS para o escoamento superficial.

Nela o caudal do pico,  $q_p$  em  $m^3/s$ , é dado pela expressão

$$q_p = \frac{0.208 \times A \times Q_u}{0.5 \times D + 0.6 \times t_c} \quad (2)$$

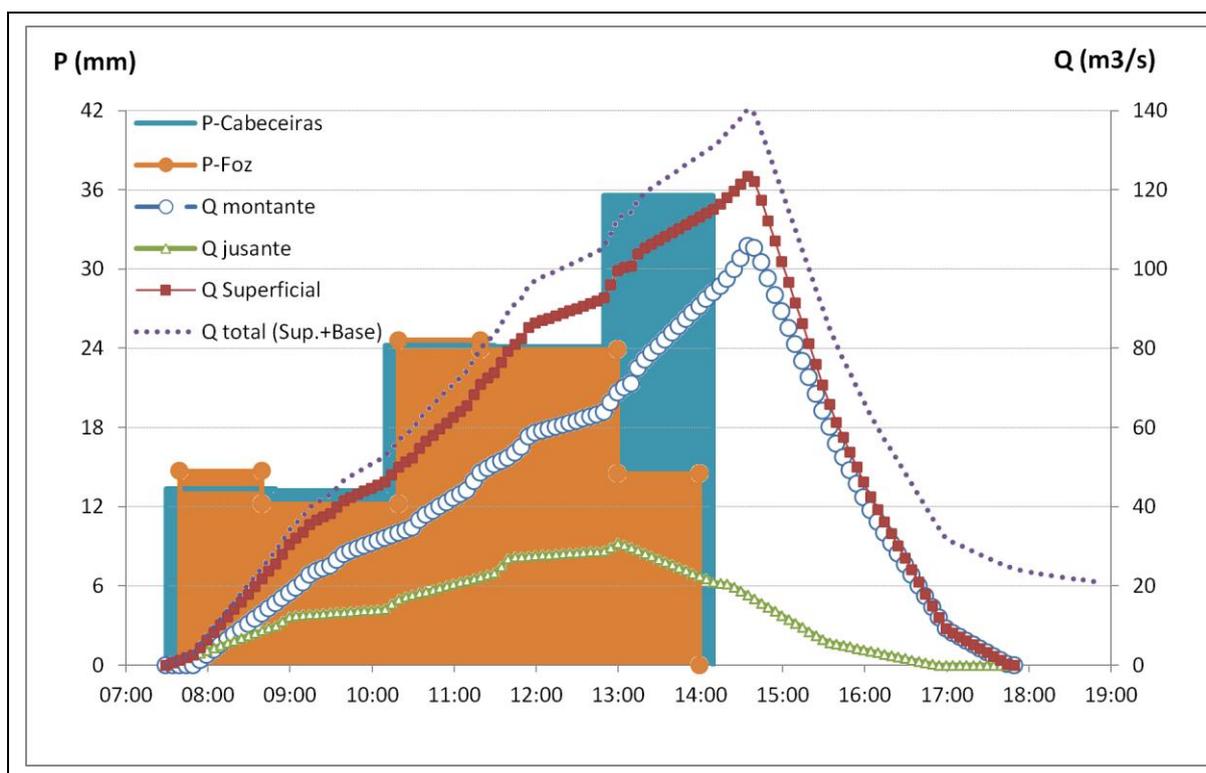
onde  $A$  é a área da bacia, em  $km^2$ ,  $Q_u$  é a precipitação útil, em  $mm$ , definida pelo SCS (Maidment, 1993),  $D$  é a duração da chuvada em horas e  $t_c$  é o tempo de concentração da bacia, em horas.

Foi utilizado para cálculo de  $t_c$  a fórmula de Kirpich (Maidment, 1993).

Com base na formulação descrita foi selecionada a precipitação sobre cada sub-bacia e desencadeado o cálculo do hidrograma para cada duração crítica de chuvada até se perfazer todo o episódio pluvioso. Os diversos hidrogramas desfasados foram sendo adicionados obtendo-se um caudal de pico de cheia de  $123.4 m^3/s$  às 14:35. Como o hidrograma triangular do SCS calcula apenas a componente superficial do escoamento, e dada a persistência de precipitação significativa no dia 1 de novembro de 2015, foi considerada uma componente triangular de escoamento de base, para adicionar à componente superficial, com uma ponta de 20% do valor do pico a ocorrer às 17:50 (quando o escoamento superficial se anula). Desta feita o caudal de pico conjugando o escoamento superficial e de base assume o valor de  $139.2 m^3/s$  a ocorrer às 14:40 (Fig.6).

Como se constata na Figura 6, a precipitação foi relativamente uniforme entre as 7:30 e as 13:00 horas. Só após esse momento é que o valor precipitado junto à foz fica reduzido em

relação ao das duas sub-bacias nas cabeceiras, indicando o deslocamento das células convectivas para Norte. A precipitação ponderada de cerca de 105 mm caída na bacia drenante durante seis horas e meia distribuiu-se temporalmente num hietograma negativamente assimétrico com máximos no último quinto de duração da chuvada. Esta situação, favorável ao desenvolvimento de picos de cheia de maior magnitude, foi ainda assim atenuada pela cinemática da propagação da perturbação meteorológica – com o atravessamento transversal da bacia no sentido Este para Oeste durante 4/5 do tempo e (já na fase final) de Sul para Norte. Desta feita proporcionou-se a defasagem dos volumes escoados com a antecipação de parte significativa do escoamento na bacia junto à foz.

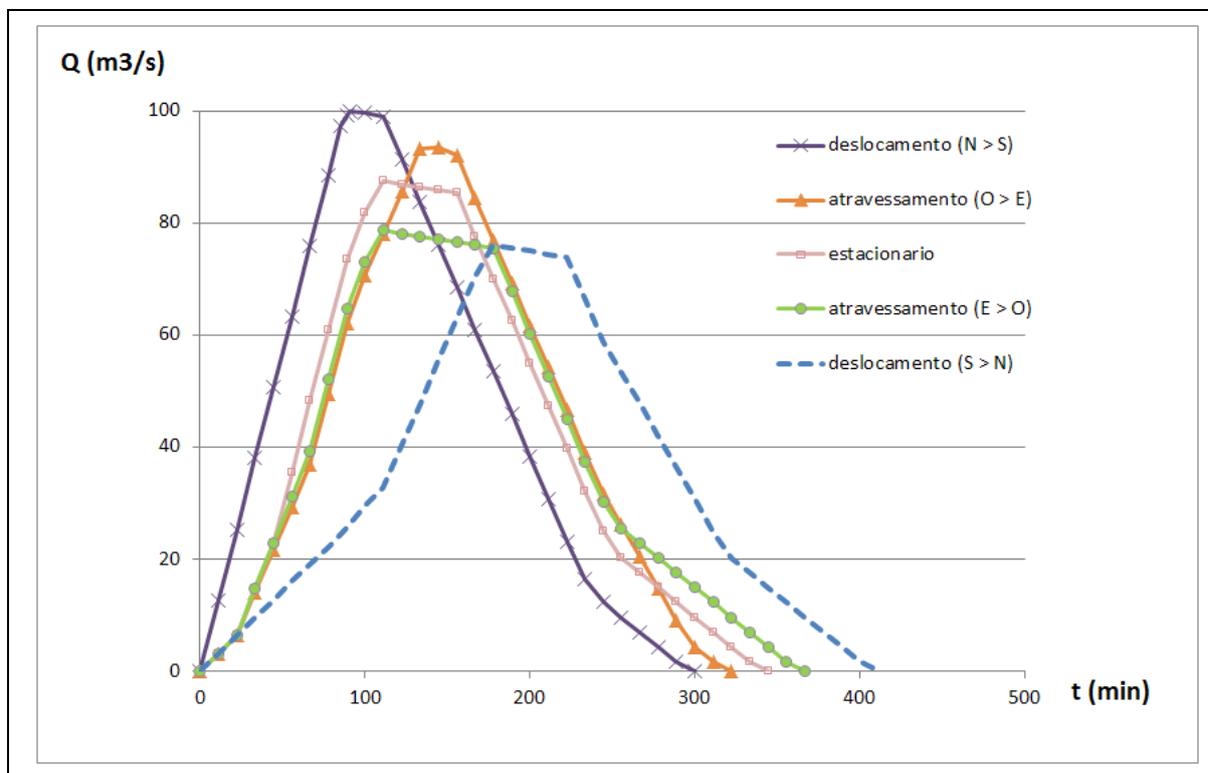


**Figura 6.** Hietogramas (a cheio) influentes na parte de montante e na de jusante da bacia e hidrogramas de cheia correspondentes ao escoamento nas sub-bacias e na bacia total.

A construção do hidrograma de cheia *a posteriori* facilita a incorporação do efeito de propagação espacial da precipitação uma vez que as totalizações pluviométricas feitas no solo para vários tempos de integração já refletem essa condição (reveja-se o último quinto da chuvada do dia 1/11/2015). Quando se está na fase de projeto, tudo o que se possui é apenas um hietograma que pode ser ponderado para toda a bacia ou repartido por sub-bacias. Há que fazer, portanto, análises de sensibilidade com diferentes trajetórias e velocidades para as superfícies pluviométricas – que deverão preferencialmente ser apoiadas em características dos sistemas de circulação locais – de forma a escolher as situações possíveis mais desfavoráveis.

Seguidamente apresenta-se o resultado de uma das análises de sensibilidade efetuadas (Fig. 7), onde se utilizou como condições de entrada as precipitações máximas observadas em cada sub-bacia nos respectivos tempos de concentração. O processo de simulação

contemplou quatro trajetórias de atravessamento (correspondentes aos dois sentidos de duas direções: Norte↔Sul; Oeste↔Este) e uma situação de sistema convectivo estacionário.



**Figura 7.** Hidrogramas de cheia correspondentes à combinação dos escoamento nas sub-bacias para diferentes trajetórias de atravessamento das superfícies pluviométricas.

Da análise da Figura 7 sobressai como a situação mais gravosa aquela associada ao deslocamento das superfície convectiva de Norte para Sul, quer pela magnitude, quer pela rapidez da subida para o pico de cheia. Contudo esta situação poderá não ser recriado pela realidade por ausência ou insignificância do potencial convectivo das massas de ar que se desloquem nesse sentido; a tipificação dos sistemas de circulação associados aos máximos históricos é um auxiliar precioso neste processo de seleção de cenários. Por outro lado, caso se possuísse um sistema de vigilância e alerta de cheias esta seria a situação em que haveria mais tempo para o aviso à população.

As trajetórias vindas de Este ou de Sul, que acabaram por se conjugar no dia 1/11/2015, são aquelas de menor impacto.

A situação de deslocamento da superfície pluviosa de Oeste para Este, que tem alguma representatividade física com o avanço das superfícies frontais vindas de NW, é um cenário a ter em consideração e a detalhar.

### 5. CONCLUSÕES

Foi estudado o efeito da propagação de um campo de precipitação sobre uma bacia usando a situação ocorrida em Albufeira no dia 1/11/2015. Os problemas hidráulicos da situação real, que envolveram alagamentos e roturas, não foram contemplados. Aliás, não existe disponível para o público em geral qualquer informação sobre a configuração do sistema de drenagem. Foi apenas possível constatar que aquilo que aparenta ser umas bacias de retenção junto ao centro de saúde são irrisórias face aos volumes de escoamento.

A fragilidade da corrente solução de drenagem da região direciona as prioridades da sustentabilidade a longo prazo do modelo de desenvolvimento para o redimensionamento dos sistemas de drenagem, enquadrando-os num projeto coordenado de planeamento de recursos hídricos e de ordenamento do território. Se os princípios de dimensionamento aqui enunciados forem seguidos, e se os valores de projeto adotados forem realistas, as situações agora presenciadas não se repetirão para as mesmas magnitudes.

As análises de sensibilidade efetuadas sobre as trajetórias e efeitos foram promissoras para o aprofundamento do problema da dinâmica das perturbações meteorológicas combinada com as características geomorfológicas das bacias drenantes. Há um campo de desenvolvimento interessante se se combinar a tipificação das situações meteorológicas na génese dos fenómenos pluviosos extremos com os cálculos hidrológicos que, por sua vez, poderão ser tornados menos expeditos se se implementar alguma monitorização hidrométrica na bacia. Poderá ser que brevemente sejam os próprios residentes a promover uma rede hidrométrica de alerta de cheias, semelhante à Weather Underground, colmatando assim um vazio das autoridades oficiais.

### AGRADECIMENTOS

Talvez se encaixe neste espaço a referência ao facto do pequeno estudo aqui apresentado não ter correspondido a nenhum projeto com financiamento externo ao LNEC mas ter sido assumido porque enquadrável num projeto internos ao LNEC (Proc 0605/3212/06053212) de melhoria do conhecimento para beneficiação dos cidadãos, possibilitando custear algumas das horas de trabalho.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Maidment D. (1993). Handbook of Hydrology. 1st Ed. McGraw-Hill, Inc. New York, USA.
- Rodrigues R. (1990). Caracterização de episódios meteorológicos extremos: o Sotavento algarvio. Publicação nº 10/90, DGRN. Lisboa.