

territorium



13

DIAGNÓSTICO DOS FACTORES CONDICIONANTES DA SUSCEPTIBILIDADE FACE AO RISCO DE
INUNDAÇÃO URBANA NO CONCELHO DE MATOSINHOS

António de Sousa Pedrosa

aspedros@letras.up.pt
Faculdade de Letras da Universidade de Porto

Andreia Cristina Amorim Pereira

andreiapereira@fastmail.fm
Curso de Estudos Pós-Graduados
em Gestão de Riscos Naturais - FLUP

RESUMO

O presente artigo centra-se sobre o diagnóstico e explicação dos factores permanentes e desencadeantes das inundações urbanas no concelho de Matosinhos, ambicionando contribuir para o incremento do conhecimento sobre os processos actuantes neste domínio.

A investigação subjacente a este trabalho procurou analisar os padrões espaciais de distribuição dos locais mais susceptíveis a inundações urbanas neste concelho, visando inferir factores condicionantes comuns.

As conclusões extraídas na análise desenvolvida demonstram as consequências negativas da expansão urbana de Matosinhos na desregulação dos processos hidrológicos actuantes.

Palavras-chave: Risco de inundação urbana, urbaniza o, impermeabiliza o do solo, susceptibilidade, precipita es intensas, sistemas de drenagem urbana

ABSTRACT

This paper focus on the assessment and description of the permanent and triggering factors of urban floods in the municipality of Matosinhos, with the objective of contributing to an in-depth understanding of the generating processes in this domain.

The underlying research of this paper analysed the spatial pattern of distribution of flood prone locations in this municipality aiming at inferring the common determining factors.

The conclusions from this analysis prove the negative consequences of urban expansion in Matosinhos as far as deregulation of the generating hydrological processes is concerned.

Keywords: Urban Flood risk, urbanisation, soil waterproofing, susceptibility, heavy precipitation, urban drainage system.

RÉSUMÉ

Cet article est centr  sur le diagnostic et l'explication des facteurs permanents qui sont   l'origine des inondations urbaines dans la municipalité de Matosinhos, ayant en vue contribuer   la connaissance des processus engagés dans ce domaine. La recherche sous-jacente   ce travail a essayée d'analyser les types de distribution des locaux les plus susceptibles aux inondations urbaines dans cette municipalité, en procurant les facteurs qui les conditionnent.

Les conclusions démontrent les conséquences négatives de l'expansion urbaine de la municipalité de Matosinhos dans le dérèglement des processus hydrologiques en présence.

Mots clés: Risque d'inondation urbaine, urbanisation, imperméabilisation du sol, susceptibilité, précipitation intense, système de drainage urbaine

1. Introdução

O objectivo primordial do trabalho de investigação que serviu de base ao presente artigo é a compreensão e sistematização dos principais factores que condicionam a susceptibilidade do território face à ocorrência de inundações urbanas.

A susceptibilidade relativa ao fenómeno das inundações urbanas é condicionada pela conjugação de um conjunto de factores permanentes, que geram condições propícias à sua ocorrência num determinado local (probabilidade espacial de ocorrência), com factores desencadeantes, que influenciam o despoletar do fenómeno num momento específico (probabilidade temporal de ocorrência).

Entre os factores permanentes salientam-se as características geográficas (topografia, morfologia, declive, litologia, tipo de coberto vegetal, usos do solo, taxa de impermeabilização, processos e condicionantes da drenagem natural, características da rede hidrográfica e modificações antrópicas) e as características da Rede de Drenagem de Águas Pluviais (manutenção da rede – limpeza e conservação, dimensionamento dos boeiros e condutas, existência de estrangulamentos na rede).

No que respeita aos factores desencadeantes assumem preponderância as condições meteorológicas (quantidade, duração, intensidade da precipitação, concentração temporal, distribuição espacial na bacia hidrográfica), eventuais intervenções antrópicas, bem como, possíveis falhas técnicas (ruptura de condutas).

Este trabalho incide essencialmente na tentativa de compreensão e sistematização dos factores permanentes que influenciam a probabilidade de ocorrência de inundações urbanas, uma vez que é neste domínio que o ordenamento do território poderá exercer uma valiosa acção preventiva na gestão deste risco natural. No que se refere ao estudo dos factores desencadeantes, não foi possível desenvolver uma análise tão profunda como desejável devido à insuficiência da informação disponível relativamente à precipitação. Quanto à análise da vulnerabilidade da sociedade face a este risco, em virtude da sua complexidade, não consistiu objecto deste estudo.

Visando atingir os objectivos expostos foi seleccionado como caso de estudo o concelho de Matosinhos, em virtude do seu rápido processo de urbanização na segunda metade do século XX e da severidade que o risco de inundações urbanas assume neste município.

A análise do crescimento do número total de edifícios construídos no concelho de Matosinhos, à escala da subsecção estatística (BGRI – Base Geográfica de Referenciação da Informação – 2001)¹, neste período, oferece-nos uma percepção da evolução da área edificada, permitindo constatar a rápida expansão do tecido urbano, principalmente após 1980.

Verifica-se que se em 1945 a densidade urbana na maioria das freguesias do concelho de Matosinhos era relativamente incipiente; em 1980 o núcleo urbano consolidado das freguesias de Matosinhos e de Leça da Palmeira, as freguesias de Guifões, Custóias e São Mamede Infesta, bem como o limite NE de Santa Cruz já apresentavam uma malha urbana significativamente mais densa.

Será, no entanto, na década de oitenta que irá ocorrer o mais rápido e forte crescimento das áreas urbanizadas do concelho de Matosinhos, incidindo especialmente nas freguesias da Senhora da Hora, São Mamede Infesta, a área norte da freguesia de Leça da Palmeira e o extremo SE de Santa Cruz do Bispo.

Já na década de 90, assiste-se a um abrandamento do processo de urbanização deste concelho.

2. A precipitação enquanto principal factor desencadeante do risco de inundações urbanas

A investigação subjacente a este artigo procurou, como já referido, compreender a relação da variabilidade no tempo da probabilidade de ocorrência de inundações urbanas com o comportamento da precipitação enquanto principal factor desencadeante.

A análise da correlação entre os quantitativos de precipitação e os fenómenos das inundações urbanas exige a consideração, de forma integrada, de um conjunto complexo de factores, nomeadamente, a distribuição espacial e temporal da pluviosidade.

De facto, é necessário ter em conta quer o volume de precipitação acumulada nos dias que precedem a ocorrência de inundações urbanas, o grau de intensidade das chuvadas que ocorrem nas horas imediatamente anteriores, bem como, a importância das chuvas localizadas, isto é, valores excepcionais de precipitação que se verificam em áreas espacialmente restritas e curtos períodos de tempo.

¹ Informação publicada pelo INE – Instituto Nacional de Estatística – no Recenseamento Geral da População de 2001

Assume, de igual modo, relevância a distribuição da precipitação na área cuja drenagem converge para os locais afectados pelos processos de inundação.

O volume de escorrência e de escoamento sub-superficial e subterrâneo (fluxo de base) irão depender de várias características topográficas e morfológicas, da litologia, do tipo de solo, do tipo de coberto vegetal e da permeabilidade dos terrenos. Neste contexto, adquire grande significado a ocupação antrópica do espaço, responsável por profundas mutações nos processos de drenagem naturais, através da alteração das formas de relevo, da artificialização do curso natural das linhas de água e da crescente impermeabilização do solo, decorrentes da expansão contínua e desordenada das áreas urbanizadas. Note-se que o grau de impermeabilização, ao condicionar a taxa de infiltração, é um factor decisivo na rapidez da concentração da escorrência nos locais onde, por factores de ordem morfológicas ou outros, a drenagem tende a confluir. A impermeabilização do solo resultante da urbanização conduz, invariavelmente, a um forte decréscimo do desfazamento temporal entre o momento da queda da precipitação e a ocorrência de inundações como resultado da concentração da drenagem.

Depreende-se que a explicação dos factores que influenciam o risco de inundação urbana no concelho de Matosinhos deveria englobar um estudo cuidado e de grande escala da taxa urbanização das diversas áreas do mesmo, designadamente, dos perímetros que drenam para os locais afectados pelas inundações, a fim de determinar a importância do incremento da impermeabilização enquanto condicionante deste risco.

Em virtude da dificuldade de avaliar os múltiplos parâmetros que condicionam as taxas de infiltração da água proveniente da precipitação no solo ou da sua transformação em fluxos de escoamento sub-superficial e de base, a análise incidirá no grau de correlação entre os quantitativos de precipitação e a concentração no tempo das inundações urbanas.

Visando avaliar esta correlação é essencial equacionar quais os dados relativos à precipitação que devem ser integrados na análise. A maioria dos especialistas que investigam sobre a temática dos riscos hidrológicos urbanos defende que as inundações urbanas se encontram quase directamente dependentes de precipitações intensas e concentradas, como factor desencadeante com maior preponderância. Seguindo esta linha de pensamento

Fernando Rebelo (1997)² advoga que "ao pensarmos em inundações rápidas (flash floods) temos de considerar, antes de mais, do ponto de vista natural, o risco climático. As inundações rápidas ligam-se quase sempre com a ocorrência de chuvas intensas ..."

A análise correlacionada da distribuição temporal das ocorrências de inundações urbanas verificadas no concelho de Matosinhos entre 1999 e 2005 e dos dados de precipitação disponíveis procurou dar resposta a um conjunto de hipóteses de investigação que a reflexão anteriormente desenvolvida suscitou.

Uma das primeiras questões que se colocou foi a importância da precipitação acumulada em dias anteriores no desencadear do fenómeno de inundações urbanas. Naturalmente, se o solo se encontrar saturado, estando esgotada a sua capacidade de infiltração e retenção de água, quase toda a precipitação será convertida em escorrência. No entanto, terá este aspecto significado em áreas fortemente urbanizadas, nas quais a taxa de impermeabilização é de tal modo elevada que se traduz no anular quase absoluto da infiltração?

Deve igualmente ser tido em linha de conta o período de permanência dos fluxos de escoamento na Rede de Drenagem de Águas Pluviais, visando avaliar o papel das precipitações acumuladas na capacidade de resposta deste sistema face a episódios chuvosos excepcionais que ocorram posteriormente. De forma inversa, a existência de períodos contínuos de precipitações regulares não será um mecanismo natural de limpeza das infra-estruturas da Rede de Drenagem, preparando-a para a recepção de fluxos de escoamento mais intensos e concentrados? Recorde-se a este respeito a elevada incidência de inundações urbanas nos meses de Outono. As primeiras chuvas da estação pluviosa surgem após o período de secura estival típico do clima mediterrânico e são simultâneas à época de queda da folha do ciclo fisiológico das árvores caducifólias, encontrando-se, por isso, as condutas de drenagem bloqueadas por folhas, detritos e lixo.

Assumem também um papel decisivo na avaliação do risco de inundação as características morfométricas da bacia hidrográfica, bem como, a distribuição espacial da precipitação na mesma. Quando se verifica uma distribuição relativamente regular da precipitação em toda a bacia, ou seja

² Fernando Rebelo; "Risco e crise nas inundações rápidas em espaço urbano. Alguns exemplos portugueses analisados a diferentes escalas". *Territorium*, Coimbra, 4, 1997.

excluindo-se o caso das precipitações localizadas, a área da bacia assume grande importância na determinação dos volumes de escoamento que se acumulam do sector terminal de convergência da drenagem. Por outro lado, a forma da bacia influencia a rapidez de concentração da drenagem na parte final da mesma, condicionando o desfasamento temporal entre o momento da queda dos valores mais elevados de precipitação e a ocorrência de inundações. Nas bacias de forma circular a concentração da drenagem tende a ser muito mais rápida do que nas bacias de forma alongada. Acresce ainda que se as precipitações incidirem mais intensamente no sector terminal da bacia, em detrimento das áreas de cabeceira que em condições naturais propiciam os processos de infiltração, a concentração da drenagem tenderá a ser mais célere e os fluxos de escoamento superficial de maior dimensão.

Contudo, a aplicação dos princípios teóricos e metodológicos anteriormente expostos foi limitada pela insuficiente disponibilidade de dados relativos à precipitação, essenciais à concretização deste estudo com o grau de detalhe e rigor desejado³.

Um dos principais obstáculos foi a impossibilidade de aceder a medições de precipitação horária, informação de extrema relevância no estudo da relação entre os factores climáticos e o risco de inundação urbana.

É necessário ainda ter em atenção a relação entre o período de medição da precipitação e a hora de ocorrência das inundações. Sendo a medição da precipitação efectuada, por exemplo, entre as 9h de dois dias consecutivos, qual a precipitação diária que deverá ser considerada no caso de uma ocorrência verificada às 10h da manhã? Esta inundação poderá estar relacionada com a precipitação ocorrida no dia anterior. Por este motivo, a leitura dos gráficos de correlação dos valores de

precipitação diária e acumulada com as ocorrências de inundações por dia, que posteriormente serão apresentados, deverá ter em conta que um elevado volume de precipitação num determinado dia muitas vezes só tem reflexos no dia seguinte. Assim, é frequente existirem desfasamentos entre os dias de valores extremos de precipitação diária e aqueles que evidenciam maior número de ocorrências. Esta discrepância, como já mencionado, poderá também explicar-se em função da quantidade de precipitação acumulada. Só um estudo individual de um vasto número de situações particulares permitiria inferir conclusões e proceder a generalizações.

Deste modo se depreende que a insuficiência dos dados relativos à precipitação dificulta a interpretação da influência do comportamento da precipitação no fenómeno das inundações urbanas, impossibilitando a apresentação de ilações concludentes. Por isso, a análise que seguidamente será apresentada visa essencialmente lançar um conjunto de pistas de investigação e ajudar a definir estratégias de abordagem para futuros esforços de desenvolvimento do estudo desta temática. Ficarão, acima de tudo, colocadas questões que carecem de respostas fundamentadas na interpretação de dados obtidos a uma outra escala de análise, quer espacial, quer temporal.

3. Metodologia de análise da probabilidade espacial de ocorrência de inundações urbanas

A metodologia adoptada para avaliação da probabilidade espacial de ocorrência de inundações urbanas no concelho de Matosinhos consistiu, sucintamente, na realização de um inventário dos locais mais susceptíveis à ocorrência de inundações urbanas, na georeferenciação dos mesmos e na tentativa de diagnóstico e explicação das causas preponderantes no agravamento do grau de risco em cada local.

Não dispondo de elementos que permitissem analisar as características da Rede de Drenagem de Águas Pluviais, a investigação foi centralizada na identificação dos locais mais susceptíveis ao risco de inundações urbanas no concelho de Matosinhos, dando especial relevo à compreensão in loco dos factores permanentes que influenciam a sua ocorrência.

Este processo de diagnóstico assentou nas estratégias seguidamente expostas.

³ É necessário ressaltar de que não foi possível obter a série completa da precipitação diária para o período em análise (1999 - 2005) em nenhuma das estações meteorológicas localizadas na proximidade da área em estudo. A única alternativa viável foi o uso de dados recolhidos em diferentes estações. Os dados de precipitação diária relativos ao período compreendido entre 1999 e 2003 foram obtidos na estação meteorológica da Serra do Pilar, sendo disponibilizados pelo Instituto Geofísico da Universidade do Porto - IGUP. Os dados relativos aos anos de 2004 e 2005 foram recolhidos na estação meteorológica automática de Leça da Palmeira, tendo sido obtidos no sítio on-line do Instituto Nacional da Água - INAG (www.inag.pt). No entanto, uma vez que existiam alguns períodos dos anos de 2004 e 2005 relativamente aos quais não existiam dados na estação de Leça da Palmeira, procurou-se colmatar estas falhas usando dados obtidos na estação meteorológica de Ermesinde, reportando-se concretamente aos dias 11, 12, 13, 18, 19, 20 e 21 de Agosto de 2004; 15 de Outubro a 10 de Novembro de 2004 e 1 a 6 de Março de 2005.

Em primeiro lugar, procedeu-se à consulta do inventário dos registos de ocorrências relativas a inundações urbanas no concelho de Matosinhos, entre 1999 e 2005, junto do CDOS – Centro Distrital de Operações de Socorro do Porto (Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil).

A análise dos dados estatísticos acima mencionados permitiu identificar períodos temporais e locais de maior incidência do fenómeno das inundações urbanas.

Esta análise estatística serviu de base à selecção de casos de estudo em função da recorrência das inundações (superior a seis vezes no período entre 1999 e 2005, como é visível na figura 1).

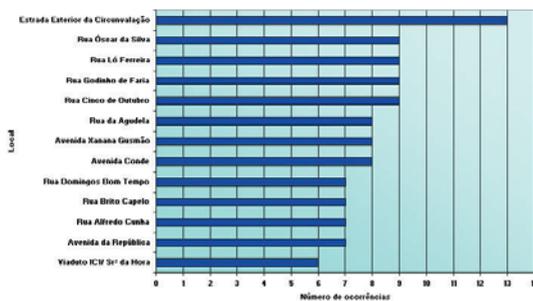


Figura 1 - Casos de estudo seleccionados para análise em função do número de ocorrências de inundações urbanas verificadas entre 1999 e 2005 (seis ou mais ocorrências).

Todavia, a selecção de casos de estudo não se fundamentou somente no significado estatístico da recorrência das inundações nos diversos locais, mas também em informações recolhidas junto das diversas corporações de bombeiros de Matosinhos, que sugeriram a integração de casos adicionais relevantes na análise.

A realização de saídas de campo, frequentemente acompanhada por membros das corporações de bombeiros de Matosinhos, foi uma das etapas mais decisivas deste trabalho, tendo-se revelado essencial quer para a georeferenciação dos locais mais susceptíveis ao risco de inundações urbanas, quer à compreensão das causas dessa elevada susceptibilidade.

Saliente-se que os casos seleccionados para análise, em função do número de ocorrências constante das estatísticas do CDOS, representam apenas cerca de 5% do total de locais já afectados por inundações urbanas no concelho de Matosinhos.

Uma vez identificados alguns dos pontos mais críticos do concelho de Matosinhos (22 no total) quanto ao risco de inundações urbanas, foi efectuada a sua georeferenciação num Sistema de Informação Geográfica (SIG).

O processo de georeferenciação foi complementado pela elaboração de cartografia de caracterização física das áreas afectadas, como instrumento de apoio à análise dos diversos tipos de causas que permitissem auxiliar na compreensão da ocorrência das inundações inventariadas.

A observação da figura 2, respeitante à localização dos casos de inundações urbanas seleccionados para análise no concelho de Matosinhos, permite abstrair as áreas de maior susceptibilidade quanto à ocorrência de inundações urbanas.

É possível constatar que o risco de inundações urbanas é particularmente grave nas áreas fortemente impermeabilizadas; com grande densidade do tecido edificado e de expansão urbana mais recente (sobretudo a partir dos anos oitenta do século XX) ou ocupadas por grandes infra-estruturas rodoviárias. As freguesias de São Mamede Infesta (onde se localiza a bacia do Ribeiro de Picoutos e a área vulgarmente designada por "caulinos"⁴), da Senhora da Hora (que compreende parte das bacias das Ribeiras de Carcavelos e Riguinha), bem como, parte da freguesia de Leça do Balio (onde se integra a Ribeira das Avessas) possuem um elevado número de locais afectados pelo fenómeno das inundações urbanas. Os locais com um maior grau de exposição ao risco correspondem frequentemente a situações de canalização de ribeiros e construção sobre linhas de água, quer seja de edifícios ou de vias de comunicação.

Identificam-se também vários locais de elevado risco de inundações no seio do núcleo urbano consolidado de Matosinhos, onde a impermeabilização do solo, a artificialização dos processos de drenagem, a insuficiente dimensão das condutas da rede de drenagem subterrânea, bem como, a falta de operações de limpeza das sarjetas emergem enquanto causas primordiais do agravamento do risco de inundações urbanas.

Por último, é importante referir que mesmo em locais inseridos em áreas de baixa densidade urbana podem ocorrer problemas de inundações, como se verifica, a título exemplificativo, nos pontos onde o Ribeiro do

⁴ A designação de "caulinos" advém da importância da caulinite no substrato litológico desta área, onde se verificou, no passado, exploração deste mineral.

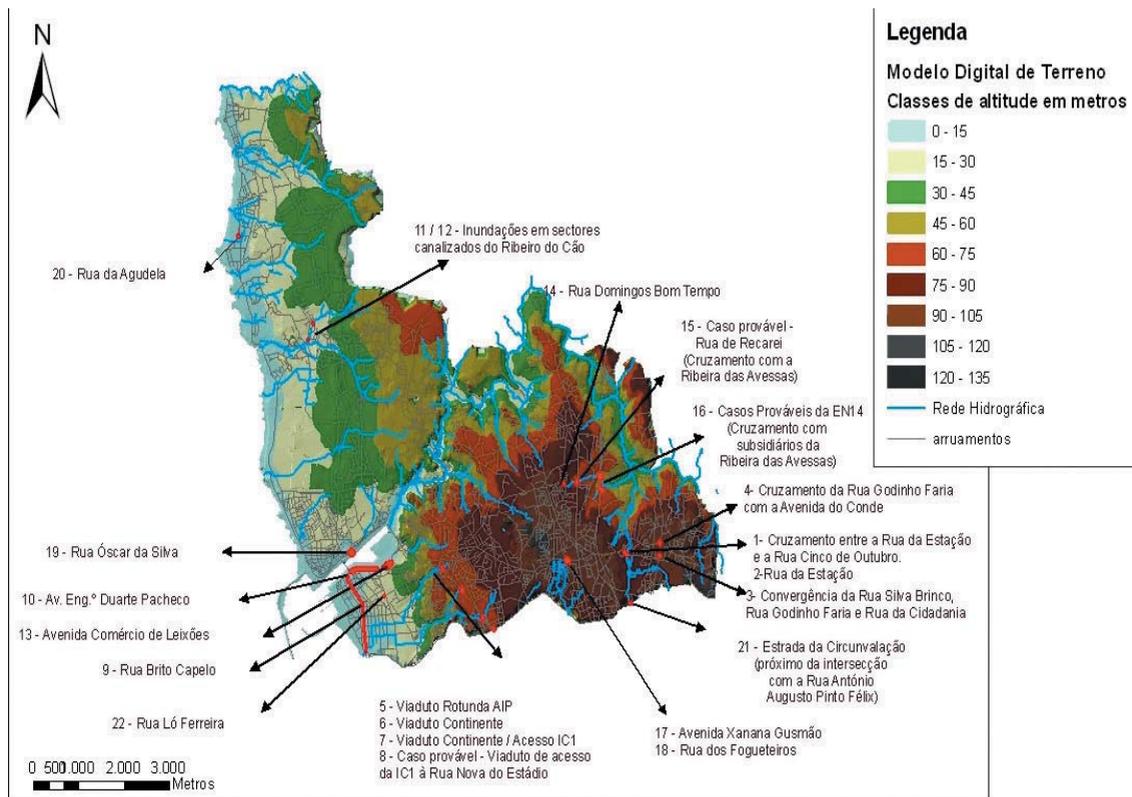


Figura 2 - Locais de maior suscetibilidade a inundações urbanas no concelho de Matosinhos.

Cão (situado na freguesia de Perafita) se encontra canalizado.

Sendo inviável apresentar todos os casos analisados, foi realizada uma selecção de alguns dos exemplos que melhor ilustram como um ineficaz ordenamento do território contribui significativamente para o agravamento do risco de inundação.

A reflexão sobre os factores que explicam a elevada susceptibilidade destes locais relativamente ao fenómeno das inundações urbanas será realizada de forma integrada com a análise do impacto de episódios de precipitações extremas.

Assim, procurar-se-á explicar sumariamente a conjugação de factores (permanentes e desencadeantes) que condicionam a ocorrência de inundações urbanas em quatro casos exemplificativos. A apresentação destes casos de estudos irá englobar elementos cartográficos, fotografias relevantes, bem como, informação relativa aos quantitativos de precipitação diária e acumulada que desencadearam algumas das situações de inundação nestes locais entre 1999 e 2005. A fim de facilitar a identificação pelo leitor do enquadramento territorial dos casos apresentados será mantida a numeração definida na figura 2.

Na maioria das circunstâncias, revelou-se essencial para a compreensão dos processos hidrológicos actuantes a sua análise no âmbito das bacias hidrográficas respectivas.

4. Apresentação dos casos de estudo localizados no lanço do ICI próximo ao centro comercial Norte Shopping – freguesia da Senhora da Hora (fig.3)

A análise dos factores que condicionam o risco de inundação nos viadutos que interceptam o ICI na proximidade do centro comercial Norte Shopping (freguesia da Senhora da Hora) tem como objectivo demonstrar o impacto da construção destas infra-estruturas sobre os processos hidrológicos naturais, em resultado das transformações morfológicas e dos sistemas de drenagem.

Esta área, que se situa nas cabeceiras da bacia dos ribeiros de Carcavelos e Riguinha, é caracterizada pela forte impermeabilização provocada pela recente construção de infra-estruturas de transporte e grandes complexos comerciais.

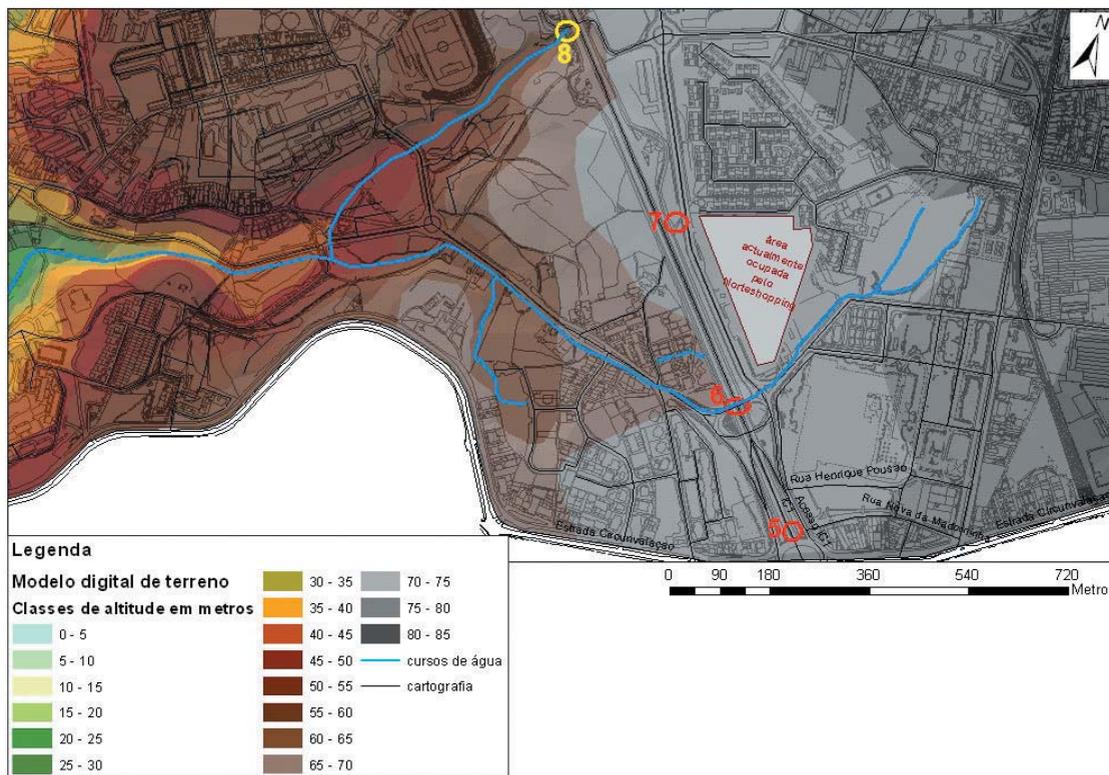


Figura 3 - Locais de maior susceptibilidade a inundações urbanas no lanço do ICL próximo ao centro comercial Norte Shopping.

4.1 Principais factores permanentes que condicionam a probabilidade de ocorrência de inundações urbanas nos locais indicados.

Local 5 - Viaduto Rotunda AIP (antiga Rotunda dos Produtos Estrela) (Fig. 4)

O túnel localizado sob o viaduto encontra-se a uma altitude inferior ao nível freático, pelo que a área inundada no sector de menor altitude localizado sob o viaduto chega a atingir cerca de 40 metros de extensão.

A intervenção dos bombeiros na ocorrência de inundações neste local é direccionada para a limpeza das sarjetas, frequentemente bloqueadas com detritos, e para a extracção da água mediante o uso de carros equipados com bombas de grande capacidade.

Local 6 - Viaduto do Continente (na proximidade da saída do Continente para o ICL) (Fig. 5)

Este viaduto situa-se numa área de fundo de vale (no sopé de duas pequenas vertentes), localizando-se exactamente sobre o leito de um pequeno ribeiro. Em situação de inundação, a água chega a atingir entre 1,5 e 2 metros de altura no sector de menor altitude, localizado sob o viaduto.

Também neste caso se coloca problema da insuficiência do número de sarjetas, bem como o seu entupimento.

Local 7 - Viaduto ICL (localizado dentro da área do próprio Continente na saída do parque de estacionamento para as bombas de gasolina)

O principal factor propício a inundações que podemos observar no local, para além da fortíssima impermeabilização das áreas envolventes, é o forte declive de ambos os lados do viaduto. Assim, será um erro de engenharia na concepção da forma do viaduto que se encontra na origem das inundações verificadas.

Local 8 - "Viaduto de acesso do ICL à Rua Nova do Estádio"

A concepção do Viaduto aproveitou, mais uma vez, a topografia natural, encontrando-se sobre o leito de um pequeno ribeiro.

As causas do risco de inundação urbana nesta área envolvente ao lanço do ICL compreendido na freguesia da Senhora da Hora merecem a nossa especial atenção, até porque a intervenção antrópica sobre este território ocorreu recentemente, num período em que o progresso dos conhecimentos científicos e a própria experiência permitem uma maior compreensão face aos processos naturais.



Figura 4 - Viaduto situado sob a Rotunda AIP. Fotografia de Andreia Pereira



Figura 5 - Viaduto Continente, acesso ao ICI. Fotografia de Andreia Pereira

No entanto, as evidências revelam que continuamos a alterar profundamente a morfologia e os processos de drenagem naturais, esquecendo as implicações que estas intervenções têm sobre o agravamento dos riscos naturais, nomeadamente sobre o risco de inundação.

Como demonstrado, são múltiplos os casos onde é possível constatar a construção de viadutos sobre o leito de pequenas linhas de água, esquecendo que em situações de precipitação excepcionais estas podem adquirir caudais significativos, mesmo sendo cursos de água esporádicos.

5. Apresentação dos casos de estudo localizados na área central da freguesia de Perafita (na proximidade dos lugares de Vinha da Bouça, Caçadores e Alto do Cão) (fig.6)

Esta área possui uma densidade urbana média a reduzida comparativamente com o restante

território concelhio, remontando a sua urbanização fundamentalmente às duas últimas décadas do século XX encontra-se inserida numa área pouco edificada.

A análise dos factores condicionantes do risco de inundação nesta área visa demonstrar que mesmo em locais de edificação recente, onde a impermeabilização não é tão expressiva, a projecção dos sistemas de drenagem continua a não ser eficaz, negligenciando o respeito pelos processos hidrológicos naturais. Neste caso, a canalização do ribeiro do Cão, o sub dimensionamento da conduta concebida para o efeito e falta de operações de limpeza emergem como os factores mais relevantes.

5.1 Principais factores permanentes que condicionam a probabilidade de ocorrência de inundações urbanas nos locais indicados.

Local 11 - Convergência da Travessa do Goivo com a Rua dos Malmequeres, a Rua dos Lírios e a Rua das Violetas.

Local 12 - Cruzamento da Rua das Violetas com a Rua das Rosas.

Os dois locais afectados pelas inundações correspondem ao ponto a partir do qual o Ribeiro é entubado (caso de estudo n.º 11), e a um ponto a jusante onde o Ribeiro é forçado a fazer um meandro artificial, no cruzamento da Rua das Violetas com a Rua das Rosas (caso de estudo n.º 12). A observação do mapa de localização destes pontos de inundação permite-nos verificar que parte do curso do Ribeiro do Cão acompanha o traçado da Rua das Violetas.

O primeiro local mencionado (fig.7) corresponde a uma área de confluência da drenagem superficial por razões morfológicas: todas as ruas que aí convergem apresentam declive, possuindo uma inclinação descendente no sentido do ponto de convergência. Acresce a existência de um muro que delimita um campo marginal à Travessa do Goivo, impedindo a passagem da água.

Recentemente, foi construída uma conduta de grandes proporções, com cerca de 2 m largura por 2 m de altura, ampliando significativamente a dimensão da anterior, visando dar escoamento à drenagem.

Em situações de precipitações extremas, o fluxo de escorrência consegue inicialmente escoar através da Travessa do Goivo.

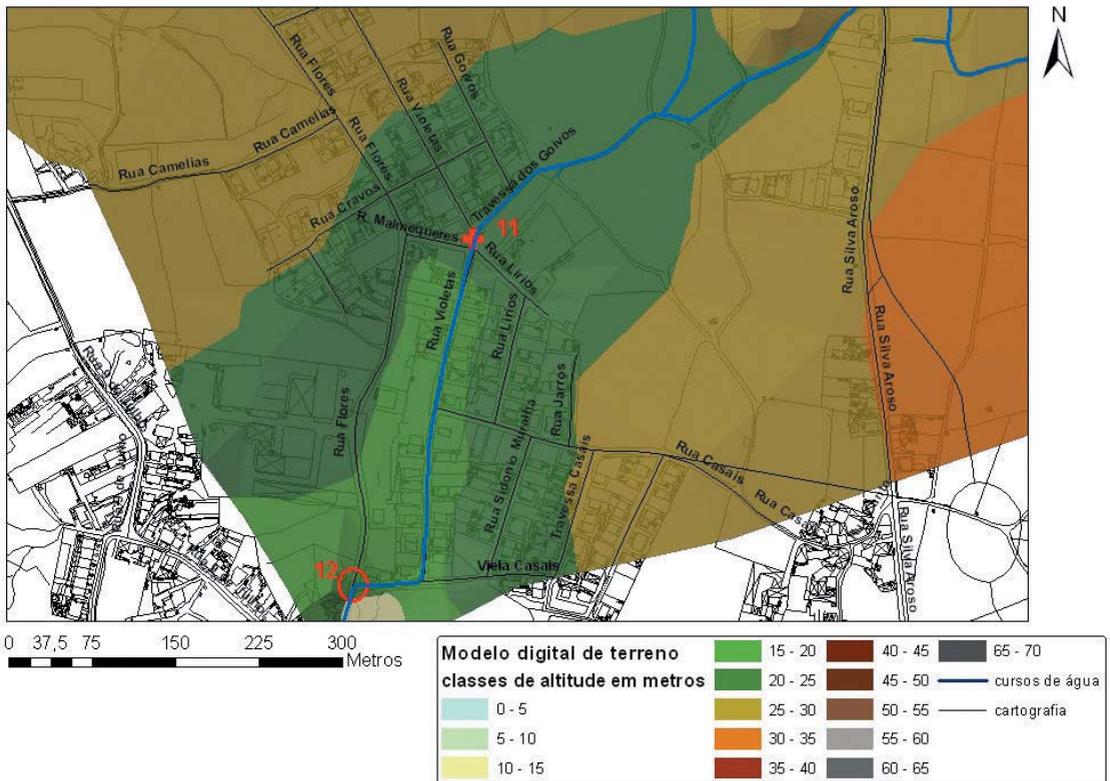


Figura 6 - Localização dos casos de estudo na área central da freguesia de Perafita



Fig. 7 Altura atingida pela água no caso de estudo n.º 11.

Contudo, a acumulação da água atrás do muro chegou, no passado, a atingir um volume capaz de exercer pressão suficiente para demorar esta barreira.

No entanto, verificamos que a rede que veda a entrada desta conduta já se encontra parcialmente

obstruída com lixo (fig.8), num Inverno com índices de pluviosidade extremamente reduzidos. Questionamos se a passagem da água não seria totalmente impedida pela acumulação de lixo e detritos contra a grelha num Inverno com precipitações fortes em que a capacidade de transporte dos caudais dos ribeiros é muito maior? Alertamos que não basta construir as infra-estruturas, é necessário zelar pela sua conservação e limpeza.



Fig. 8 Local onde o Ribeiro do Cão começa a ser canalizado.



Figura 10 - Perspectiva da Avenida Xanana Gusmão. Fotografia de Andreia Pereira



Figura 11 - Altura atingida pela água na Avenida Xanana Gusmão, em Dezembro de 2002 (acima da área verde). Fotografia de Andreia Pereira



Figura 12 - Altura da água nas caves dos edifícios inundados na Rua dos Fogueteiros. Fotografia de Andreia Pereira

A extracção da água acumulada nas caves dos edifícios da Rua dos Fogueteiros exigiu, em todas as situações, o recurso a moto-bombas de grande capacidade que procederam durante períodos de várias horas à bombagem da água. Cite-se, a título de exemplo, as ocorrências do dia 20 de Outubro de 2004 nas quais foram utilizadas um total de 10 moto-

bombas, chegando duas delas a estar em funcionamento entre 8 a 10 horas. Esta informação, constante dos Relatórios de Ocorrências da Corporação de Bombeiros de São Mamede Infesta permite-nos ter uma percepção aproximada da quantidade de água acumulada nas caves.

As inundações nas caves deste conjunto de edifícios estavam também relacionadas com a má construção das sarjetas no passeio adjacente, segundo informação dos bombeiros locais. Como as sarjetas se encontravam mal vedadas no fundo, a água do escoamento superficial que para lá convergia acabava por ir ter ao interior das caves. Este problema de má vedação das sarjetas já foi alvo de reparação, mas as inundações continuaram a verificar-se.

Conclui-se que os factores que determinam a ocorrência de inundações urbanas na área dos "caulinos" são:

- A convergência da drenagem potenciada pelas características topográficas naturais;
- As alterações à morfologia natural, a impermeabilização do solo e a construção de arruamentos conduzindo ao decréscimo da infiltração.
- A construção sobre o leito de pequenas linhas de água, possível devido ao ainda insuficiente conhecimento que autoridades responsáveis pela licitação de obras têm do território sob sua administração.

Este facto deve alertar-nos para a urgência de proceder à recolha e sistematização de vários níveis de informação relativos às características físicas do território e à ocupação antrópica do mesmo, assegurando a aplicabilidade prática deste conhecimento à gestão do espaço concelhio, bem como a sua permanente actualização, por meio do aperfeiçoamento e de um uso mais eficaz dos Sistemas de Informação Geográfica. Neste âmbito é especialmente premente a georeferenciação de todas as linhas de água do concelho, de modo a garantir a não ocupação do seu leito, normal e de inundações, na construção de futuras edificações ou intervenções urbanísticas.

7. Apresentação do caso de estudo localizado no núcleo consolidado da cidade de Matosinhos: o cruzamento da rua Ló Ferreira com a rua Alfredo Cunha (fig. 13)

Este ponto crítico quanto ao risco de inundações urbanas situa-se na base de uma vertente de forte declive e quase absolutamente impermeabilizada. Encontramo-

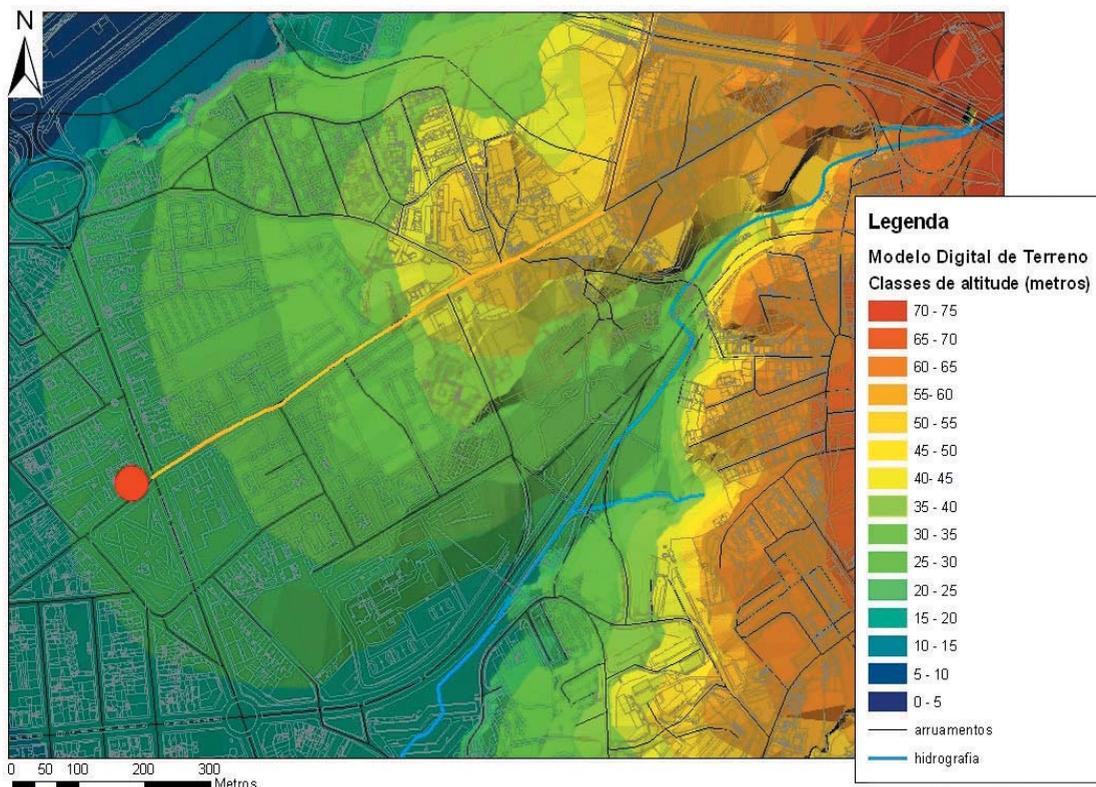


Figura 13 - Local de elevada susceptibilidade no núcleo consolidado da cidade de Matosinhos: o cruzamento da rua L6 Ferreira com a rua Alfredo Cunha

nos dentro da área urbana consolidada do concelho de Matosinhos onde, para além dos jardins e parques urbanos, quase não existem áreas não edificadas onde a infiltração possa decorrer em condições naturais.

As condutas da rede de drenagem de águas pluviais apresentam neste local uma dimensão insuficiente para dar resposta ao volume de escoamento superficial que recebem. Note-se que quando estas condutas foram projectadas os volumes de escoamento existentes seriam certamente inferiores aos actuais, fortemente incrementados pela contínua expansão dos espaços urbanos.

Estes factores condicionam a inundação de um conjunto de habita es situado a uma cota inferior ao pavimento da rua.

Uma vez mais observamos a insuficiência do número de boeiros e o seu mau estado de limpeza e conserva o, tendo sido possível verificar que um deles se encontra inoperacionalizado com cimento (fig. 14).

Neste local, o socorro em caso de inunda o   prestado pelos Serviços Municipalizados de água e Saneamento (SMAS) que procedem   abertura das tampas de saneamento, como os próprios

relatórios indiciam: "Limparamos as sarjetas e a água deixou de entrar na casa", (Dia 15 de Novembro de 2002, C.B. Leixões); "Limparamos os boeiros e a água começou a escoar", (Dia 20 de Outubro de 2003, C.B. Leixões); "Desentupiu-se as sarjetas e fez-se o escoamento da  gua", (Dia 9 de Agosto de 2004, C.B. Leixões).

A ocorrência de inunda es neste local tem uma incidência anual, podendo uma hora de chuva excepcionalmente intensa para originar problemas.



Fig. 14 Sarjeta inoperacionalizada por cimento na Rua L6 Ferreira

8. Síntese dos principais factores permanentes de ocorrência do risco de inundação urbana no concelho de Matosinhos

O esforço de compreensão das causas explicativas das inundações verificadas nos múltiplos locais analisados possibilitou inferir que os principais factores permanentes de ocorrência do risco de inundação urbana no concelho de Matosinhos se relacionam fundamentalmente com os seguintes aspectos:

- Convergência da drenagem por factores topográficos naturais e devido às modificações antrópicas da morfologia;
- Avanço do processo de urbanização e crescente impermeabilização do solo, resultando num decréscimo acentuado da infiltração e intensificação dos processos de escoamento superficial;
- Construção de edifícios e infra-estruturas rodoviárias sobre o leito de pequenas linhas de água;
- Artificialização e canalização de cursos de água, sem um adequado dimensionamento das infra-estruturas;
- Falta de operações regulares de conservação e limpeza de boeiros e sarjetas, tendo sido detectada a sua quase ausência em locais críticos;
- Insuficiente dimensão das condutas da drenagem de águas pluviais, que não têm capacidade de vazão para caudais originados por condições de precipitação excepcionais.

9. Relação entre o comportamento da precipitação e as inundações urbanas

Neste ponto procurar-se-á analisar a comportamento da precipitação no período compreendido entre 1999 e 2005, procurando avaliar o seu papel no desencadeamento de inundações urbanas. Para esse efeito, além de ser desenvolvida uma análise global dos anos hidrológicos incluídos no período, será realizada uma descrição mais pomenorizada dos anos hidrológicos com valores de precipitação excepcionais. Descendo a um nível de análise com um grau de detalhe ainda maior, referindo-se a um período temporal de alguns dias, será apresentado um conjunto de episódios de precipitação, seleccionados em função da sua influência sobre

a ocorrência de inundações urbanas nos casos de estudo anteriormente expostos.

A análise da distribuição da precipitação diária no concelho de Matosinhos entre 1999 e 2005 (fig. 15), permite identificar vários meses que se destacam pelos valores de pluviosidade registrados. Evidencia-se, antes de mais, que as estações pluviosas dos anos de 2001 e 2003 apresentam quantitativos de precipitação claramente superiores aos demais anos representados. Fica também patente, uma clara concentração da precipitação entre os meses de Novembro e Março/Abril, como é aliás característica do clima mediterrânico. É igualmente de realçar a forte variabilidade inter-anual da precipitação referente a meses homólogos.

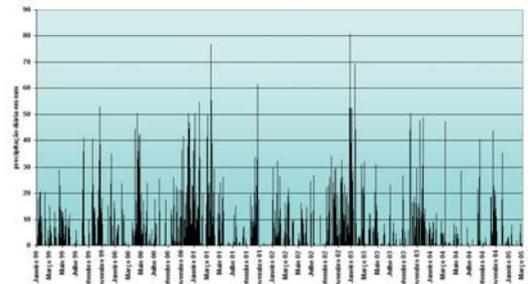


Figura 15 - Precipitação diária no período compreendido entre 1999 e 2005.

Comparando a distribuição temporal dos períodos de maior intensidade diária da precipitação com os períodos de maior concentração de ocorrências de inundações verificadas, em primeiro lugar, que o grau de correlação existente está longe de ser directo (fig. 16), o que se explica por todos os factores que interferem nos processos de drenagem anteriormente explanados.

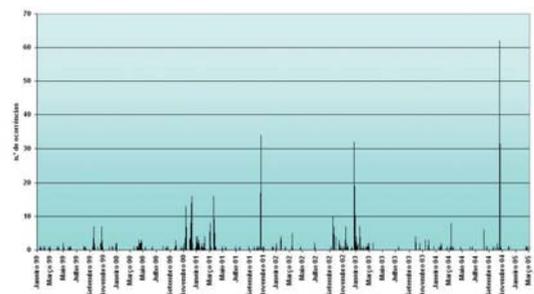


Figura 16 - Número de inundações urbanas verificadas por dia no concelho de Matosinhos entre 1999 e 2005.

A avaliação deste grau de correlação foi efectuada com maior precisão para a globalidade do

período em estudo, através da análise individual de cada ano hidrológico⁵. Contudo, no âmbito deste artigo optou-se por apresentar como exemplo somente os anos hidrológicos de 2000-2001 e 2002-2003, uma vez que os quantitativos de precipitação ultrapassaram frequentemente os parâmetros das normais climatológicas, sendo que a precipitação diária registrada atingiu, em várias situações, valores excepcionais.

No ano hidrológico de 2000-2001 os valores de precipitação diária chegaram a aproximar-se dos 80 mm.

No que diz respeito à concentração de dias com elevados volumes de precipitação individualizam-se três períodos: desde finais de Setembro a princípios de Dezembro de 2000 e o mês de Janeiro de 2001, onde os valores de precipitação diária mais elevados oscilam entre os 40 e os 50 mm, e por último, o mês de Março de 2001 no qual os máximos de precipitação diária oscilam entre os 60 e os 80 mm.

Salientam-se os dias 5, 7 e 10 de Dezembro de 2000 com volumes de precipitação entre os 45 e os 50 mm e um número de ocorrências de inundações de 7, 14 e 16 respectivamente. Este período foi marcado por uma sequência de dias consecutivos de precipitações elevadas.

O período compreendido entre os dias 15 e 29 de Março de 2003 salienta-se por apresentar valores de precipitação diária e acumulados extraordinários (fig. 17).

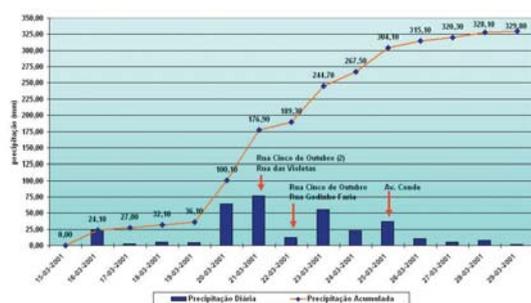


Figura 17 - Precipitação diária e acumulada entre 15-3-2001 e 29-3-2001 e seu impacto nas áreas de maior susceptibilidade a inundações.

Deste modo, as 3 inundações ocorridas dia 21 prendem-se não só com uma precipitação diária extremamente elevada, 77 mm, mas também com uma importante precipitação acumulada, 176 mm, sendo que no dia anterior o quantitativo de precipitação tinha já atingido os 64 mm.

Quanto às ocorrências verificadas no dia 22 é difícil estabelecer a correlação com os episódios chuvosos que terão estado na sua gênese. Neste dia a precipitação diária foi reduzida, apenas 12,4 mm, mas tanto anterior como posteriormente encontramos quantitativos de precipitação relevantes.

Já no dia 25 parece provável que o papel da precipitação acumulada, 304 mm, seja preponderante, visto que a precipitação diária não é muito elevada, 36 mm.

Ainda no mesmo ano hidrológico, é importante referir que nos dias 5 e 26 de Janeiro de 2001 quantitativos de precipitação superiores aos 50 mm deram origem a um número de inundações reduzido, não ultrapassando as duas ocorrências. Este facto pode explicar-se por uma equilibrada repartição da precipitação no espaço e no tempo.

O ano hidrológico de 2002 - 2003 também apresentou valores de precipitação muito significativos, ultrapassando valores máximos diários de 80 mm.

No fim do mês de Setembro de 2002 ocorrem os primeiros casos de inundações (fig. 18).

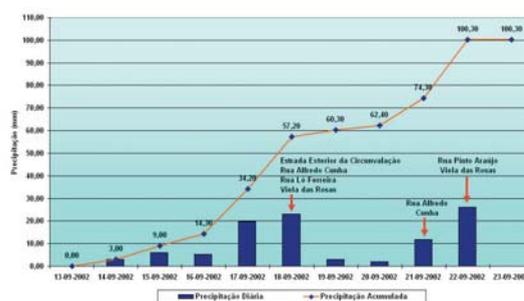


Figura 18 - Precipitação diária e acumulada entre 13-9-2002 e 23-9-2002 e seu impacto nas áreas de maior susceptibilidade a inundações

As ocorrências verificadas nos dias 18, 21 e 22 de Setembro de 2002 estão provavelmente intimamente ligados com os valores de precipitação acumulada desde o dia 13, tendo em conta que os níveis de precipitação diária não são suficientemente elevados. Assim, as quatro ocorrências do dia 18 dever-se-ão a uma precipitação acumulada de 57 mm. Este volume sofre um incremento para 74 mm no dia 21 e 100 mm

⁵ Pereira, Andreia; *O Risco de Inundação Urbana no Concelho de Matosinhos: Contributo para a avaliação da susceptibilidade e para o diagnóstico dos factores condicionantes*; FLUP Licenciatura de Geografia - Especialização em Ordenamento do Território; trabalho de estágio apresentado à Câmara Municipal de Matosinhos, Porto, 2005, 218pp.

no dia 22, nos quais se registraram 1 e 2 ocorrências respectivamente.

É importante também não esquecer que estas são as primeiras chuvas do ano hidrológico 2002-2003, dando início à estação pluviosa, pelo que a existência de folhas e detritos nos boeiros e nas condutas da rede de drenagem poderá justificar o facto de volumes de precipitação relativamente reduzidos originarem problemas de inundações urbanas.

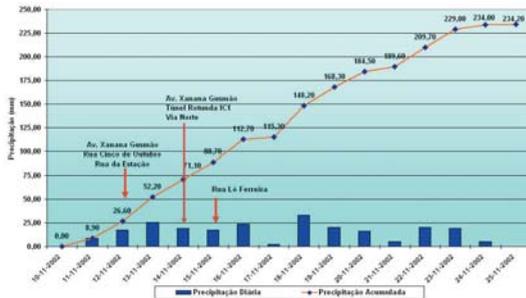


Figura 19 - Precipitação diária e acumulada entre 10-11-2002 e 25-11-2002 e seu impacto nas áreas de maior susceptibilidade a inundações.

No período compreendido entre 10 e 25 de Novembro de 2002 os valores de precipitação diária foram bastante reduzidos, sendo que as quantidades máximas raramente ultrapassaram os 25 mm de precipitação.

Equaciona-se, portanto, duas hipóteses explicativas das inundações ocorridas nos dias 12, 14 e 15: precipitações fortemente concentradas em termos espaço-temporais ou o papel da precipitação acumulada. No entanto, nestes dias a precipitação acumulada não é muito significativa, atingindo 86 mm no dia 15.

Outra questão que se coloca é motivo pelo qual o crescimento contínuo da precipitação acumulada não originou posteriormente inundações, em dias cujos valores de precipitação diários foram superiores aos verificados nos dias 12, 14 e 15. Cite-se a situação do dia 18, no qual tendo-se verificado 32 mm de precipitação diária e 148 mm de precipitação acumulada não houve qualquer ocorrência.

Os meses de Dezembro de 2002 e Janeiro de 2003 evidenciam-se como os períodos mais pluviosos e que concentram um maior número de inundações urbanas.

O fim do mês de Dezembro de 2002, sobretudo no período compreendido entre os dias 22 e 28, caracterizou-se por níveis moderados de precipitação diária, oscilando entre os 15 e os 23 mm, dos quais

ressaltam os valores excepcionalmente elevados dos dias 24 e 26 de Dezembro, em que se verificaram 52 e 80 mm de precipitação, respectivamente (fig.20).

Nestes dias concentrou-se um forte número de inundações urbanas. No entanto, o número de ocorrências do dia 24, nove, mais do que duplica o número de casos registrados no dia 26 (quatro ocorrências), ainda que este último dia apresente valores de precipitação diária e acumulada notoriamente superiores, 80 e 162 mm, respectivamente. Este facto pode decorrer de duas situações:

-Por um lado, a precipitação do dia 24 poderá ter sido fortemente concentrada (sobretudo no fim do dia) enquanto que a do dia 26 se repartiria de forma mais uniforme ao longo do dia;

-Por outro lado, o desentupimento de boeiros e condutas pela intensa precipitação do dia 24 poderá ter contribuído para incrementar a capacidade de escoamento dos sistemas de drenagem naturais e artificiais.

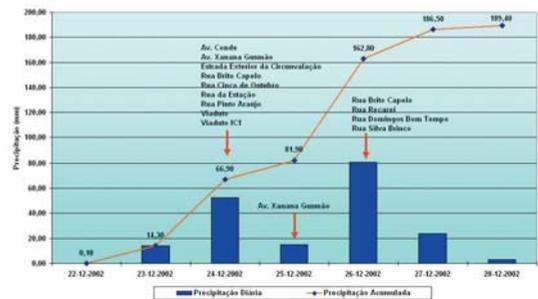


Figura 20 - Precipitação diária e acumulada entre 22-12-2002 e 28-12-2002 e seu impacto nas áreas de maior susceptibilidade a inundações

O ano hidrológico de 2003 - 2004 caracterizou-se por níveis de pluviosidade mais reduzidos, o que se traduziu num número de inundações urbanas menos expressivo. Os máximos de precipitação diária em situação alguma ultrapassaram os 50 mm de precipitação.

Contudo, no dia 20 de Outubro de 2004 verificaram-se múltiplos problemas de inundações urbanas não só no concelho de Matosinhos mas também em toda a área do Grande Porto. Na verdade, entre 1999 e 2005, este foi o episódio chuvoso que originou um maior número de casos de inundações urbanas, sendo a sua ocorrência disseminada por todo o concelho (fig.21).

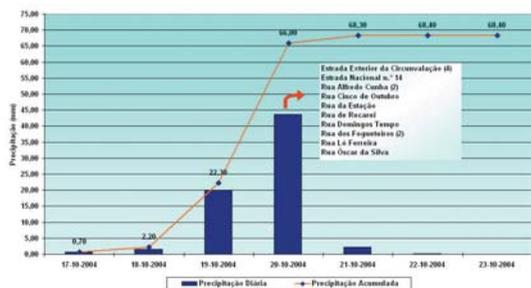


Figura 21 - Precipitação diária e acumulada entre 17-10-2004 e 23-10-2004 e seu impacto nas áreas de maior susceptibilidade a inundações

Neste dia registou-se uma precipitação diária de aproximadamente 43 mm, sendo o valor de precipitação acumulada próximo de 66 mm. Ainda que estes quantitativos de precipitação não sejam muito superiores a valores já observados ao longo desta análise, é necessário ter atenção aos aspectos: por um lado, surgem após uma estação seca bastante prolongada, por outro, ainda que não disponha dos valores da precipitação horária, o conhecimento empírico desta situação permite-nos afirmar que o grau de concentração temporal da precipitação foi extremamente elevado.

10. Conclusão

A análise dos numerosos casos de inundações urbanas estudados veio comprovar um facto relativamente ao qual é praticamente consensual a opinião de todos os especialistas em hidrologia: a expansão das áreas urbanas tem contribuído para o agravamento do risco de inundação nas mesmas.

As consequências da urbanização sobre os processos de drenagem prendem-se acima de tudo com a impermeabilização do solo, as modificações antrópicas da morfologia; a construção sobre linhas de água; a artificialização e canalização de cursos de água, sem um adequado dimensionamento das condutas, a falta de uma regular limpeza das sarjetas e a insuficiente dimensão das condutas da drenagem de águas pluviais.

Tendo em conta as causas de agravamento do risco de inundação urbana atrás expostas, percebemos que uma postura diferente do Homem perante a dinâmica do meio físico poderia contribuir para uma redução significativa deste risco. Assim, são vários os princípios de actuação na gestão do território urbano que devem integrar a estratégia de mitigação do risco de inundação urbana, salientando-se:

- O respeito pelo leito dos rios e ribeiros;

- A procura de preservação de áreas verdes no seio dos aglomerados urbanos de forma a permitir a infiltração de parte das águas pluviais;

- O esforço por projectar (ou se necessário e possível corrigir) redes de drenagem dimensionadas para fluxos de ocorrência excepcionais,

- A preocupação com a vigilância do estado de conservação e limpeza da Rede de Drenagem de Águas Pluviais.

Salienta-se ainda a necessidade de um conhecimento pormenorizado desta rede, bem como, a criação de um SIG para a sua gestão e o imperativo de regular a presença humana no espaço, através do Ordenamento do Território.

Bibliografia

ABREU, Maria Rafaela Pinto (1983) – *Contribuição para o estudo da drenagem de águas pluviais em zonas urbanas*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Vol. I, Lisboa.

CARY, Eduardo; SALSINHA J. – Rede de drenagem de águas pluviais em zonas urbanas. O método do volume de armazenamento *in*: ABREU, Maria Rafaela Pinto (coord.) (1983) – *Contribuição para o estudo da drenagem de águas pluviais em zonas urbanas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Vol. I, Lisboa.

GARDINER, John, et al (1995) – *Defence from floods and floodplain managemem*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

PEREIRA, Andreia (2005) – *O Risco de Inundação Urbana no Concelho de Matosinhos: Contributo para a avaliação da susceptibilidade e para o diagnóstico dos factores condicionantes*. FLUP Licenciatura de Geografia – Especialização em Ordenamento do Território, trabalho de estágio apresentado à Câmara Municipal de Matosinhos, Porto, 218p (policopiado).

REBELO, Fernando (1997) – Risco e crise nas inundações rápidas em espaço urbano. Alguns exemplos portugueses analisados a diferentes escalas. *Territorium*, Minerva, Coimbra.

REBELO, Fernando (2001) – *Riscos Naturais e Acção Antrópica. Estudos e Reflexões* Coimbra, Imprensa da Universidade.

ROCHA, João Soromenho (1994) – Prevenção de inundações e reabilitação de edifícios em zonas inundáveis. *Territorium*, Minerva, Coimbra.

SMITH, Keith (2000) – *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. London, Routledge.

TUCCI, Carlos, E. M., et al (2001) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre, Editora ABRH.

VELHAS, Edite Marina F. Santos (1991) – *A bacia hidrográfica do rio Leça: estudo hidroclimático*. Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica apresentadas à FLUP.

VELHAS, Edite Marina F. Santos (1996) – *As cheias na área urbana do Porto, percepção e ajustamentos*. *Territorium*, Minerva, Coimbra.

VILLANUEVA, A. O. N.; TUCCI, C. E. M. (2001) – *Simulação de alternativas de controlo para Planos Directores de drenagem urbana*. Porto Alegre, Ed. ABRH.

WISNER, Benjamin, et al (2004) – *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Londres, Routledge.