

André Filipe de Sousa Oliveira

**Inundações Urbanas no Município do Porto (1974 - 2014): Base de
Dados Geográfica, Distribuição Espacial das Ocorrências e
Modelação Hidráulica do Escoamento Superficial da Rua de
Entrecampos**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território orientada pelo Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Setembro de 2015

Inundações Urbanas no Município do Porto (1974 - 2014):
Base de Dados Geográfica, Distribuição Espacial das
Ocorrências e Modelação Hidráulica do Escoamento
Superficial da Rua de Entrecampos

André Filipe de Sousa Oliveira

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas Informação Geográfica e
Ordenamento do Território orientada pelo Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes

Membros do Júri

Professora Doutora Laura Maria Pinheiro de Machado Soares
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professor Doutor Carlos Valdir de Meneses Bateira
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Classificação obtida: valores

Aos meus pais.

Sumário

Sumário	6
Agradecimentos	8
Resumo	9
Abstract.....	10
Índice de figuras.....	11
Índice de tabelas.....	14
Lista de abreviaturas e siglas	15
Capítulo 1. Introdução	16
1.1. O estudo das Inundações Urbanas em Portugal	16
1.2. Objetivos gerais e específicos do estudo.....	17
1.3. Estrutura de Trabalho.....	17
1.5. Enquadramento da área de estudo.....	18
Capítulo 2. Inundações Urbanas	20
2.1. Contextualização das cheias e inundações urbanas.	20
2.1.1. Distinção entre cheia e Inundação	20
2.1.2. Critérios de classificação e Tipologia das cheias	22
2.1.3. As Inundações em Portugal.....	26
Capítulo 3. Base de Dados Geográfica	28
3.1. Metodologia	28
3.1.1. Aquisição dos Dados.....	29
3.1.2. Georreferenciação das Ocorrências.....	30
3.2. Base de Dados Geográfica	32
3.2.1. Considerações Gerais.....	32
3.2.2. Fases de Construção da Base de Dados	33

3.2.3. Ficha de Inventário de ocorrências	39
Capítulo 4. Distribuição das Ocorrências	41
4.1. Análise estatística dos resultados obtidos através da base de dados	41
4.2. Análise cartográfica dos resultados obtidos através da base de dados.....	51
4.2.1. Distribuição espacial das Inundações Urbanas na cidade do Porto	51
4.2.2. Ilustração das ruas mais afetadas pelas Inundações Urbanas	57
4.2.3. Definição dos locais mais críticos de Inundações urbanas	61
Capítulo 5. Modelação Hidráulica	66
5.1. Considerações Gerais.....	66
5.2. Delimitação do caso de estudo.....	71
5.3. Metodologia	72
5.4. Resultados	82
Capítulo 6. Considerações Finais.....	88
Referências bibliográficas.....	91

Agradecimentos

Na elaboração desta dissertação, considera-se essencial apresentar alguns agradecimentos a algumas pessoas sem as quais esta não se teria tornado uma realidade.

Em primeiro lugar, agradeço ao Professor Doutor Alberto Gomes, pela orientação e pela disponibilidade que sempre demonstrou ao longo do percurso, Assim como, pelos ensinamentos prestados enquanto geógrafo.

À Inês Marafuz, pelo apoio que sempre prestou, sem hesitar quando necessitado, pelos conselhos críticos, pelas palavras de incentivo e pela preciosa ajuda na correção do Modelo Digital de Elevação.

À Joana Fernandes, pela ajuda, que concedeu nos cálculos dos métodos matemáticos assim como na modelação no *software IBER*.

Ao 1º Comandante do BSB, Eng. Manuel Salvador Rebelo de Carvalho, 2º Comandante, Eng. José Manuel Silva e ao BSB Porto, pelo acesso aos dados, prontidão e acolhimento no BSB.

Ao Professor António Coelho (FEUP) pela verificação da consistência da Base de Dados, bem como à Dra. Liliana Freitas (ISEP/LabCarga) pela ajuda que dispensou nos primeiros passos da BD.

Às funcionárias do gabinete Técnico do BSB, pela simpatia e apoio que sempre demonstraram.

Aos meus amigos “Mapotecanos”, a Andreia Sousa, a Diana Sousa, a Mafalda Lopes, a Marlene Costa e o Daniel Sousa, pela amizade, companheirismo e pelos dias passados juntos, que apesar de serem de trabalho, tornaram-se dias alegres e acima de tudo pelo apoio que sempre manifestaram.

Aos meus amigos, pelas vivências passadas, pelos momentos alegres, pelas palavras de incentivo e pela amizade deles.

À Isabel Pereira, um agradecimento especial, pelos momentos partilhados, pelos sucessivos incentivos, pelo carinho demonstrado e pela força prestada nos momentos mais difíceis.

À minha família, principalmente aos meus pais e irmão, pelo apoio e confiança que sempre depositaram em mim.

Resumo

A expansão e consolidação urbana que se tem verificado nas últimas décadas na cidade do Porto, com a consequente impermeabilização do solo contribuem, de forma significativa, para a ocorrência de inundações urbanas.

Com vista a estudar esta temática e tendo como finalidade identificar as áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundações urbanas (IU) na cidade do Porto, construiu-se uma base de dados Geográfica (BD) das ocorrências de inundações urbanas, a partir dos registos do Batalhão Sapadores Bombeiros do Porto e dos jornais locais, incidindo no intervalo temporal de 1974 a 2014.

Após se identificar os locais mais críticos no que concerne às inundações urbanas, elegeu-se um desses locais, nomeadamente, a Rua de Entrecampos. Tendo como propósito, a realização de uma Modelação hidráulica no *software IBER 2.2.*, de forma a determinar o perímetro de inundação e a profundidade da mesma para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Para se obter respostas aos objetivos propostos faseou-se, metodologicamente, a dissertação. Numa primeira instância, realizou-se a construção e validação dos registos, designadamente, a aquisição dos dados; a georreferenciação das ocorrências; a construção da base de dados; e por último, analisou-se e interpretou-se os resultados fornecidos pela BD. De seguida, executou-se a modelação hidráulica, que consistiu em atualizar e corrigir o Modelo Digital de Elevação, determinar os caudais de ponta de cheia, segundo distintos métodos matemáticos e, por fim, a implementação do modelo hidráulico

Desta forma se conclui que os estudos das inundações urbanas são essenciais para o ordenamento do território, pois podem contribuir para identificação e minimização de possíveis danos e ajudar a implementar algumas medidas de prevenção, assim como, perceber a importância das intervenções na morfologia dos canais fluviais e suas consequências na dinâmica fluvial.

Palavras-chave: Inundações Urbanas, Base de Dados, Modelação Hidráulica.

Abstract

The expansion and urban consolidation which has taken place in recent decades in Oporto, with the consequent soil sealing contributed significantly to the occurrence of urban flooding.

In order to study this issue and with the purpose to identify the areas most susceptible to the occurrence of urban flooding (UF) in Oporto, it was built a geographical database (DB) of the occurrences of urban flooding from the record of the Oporto Fire Brigade and local newspapers, focusing on the time frame between 1974 until 2014.

After identifying the most critical locations regarding urban floods, was selected one of these locations in particular: *Entrecampos Street*, with the purpose of making an hydraulic model, using the software IBER 2.2., to determine the flood perimeter and depth of it to return periods of 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years.

To obtain answers to the proposed objectives the method used was divided into different stages. At first, it was carried out the construction and validation of the registers, namely, data acquisition; after that the occurrences were geo-referenced; the database was constructed, and finally, the results provided by the DB were analysed and interpreted. Secondly, it was executed the hydraulic modelling, consisting in updating and correcting the Digital Elevation Model, to determine the full end flows, according to various mathematical methods and, ultimately, the implementation of the hydraulic model.

Therefore, it is proven that urban floods studies are essential for spatial planning, as they may contribute to identify and minimize potential damage and also help to implement some prevention measures. Besides, they help to realize the importance of the interventions in river channels morphology and its consequences on river dynamics.

Keywords: Urban flooding; Database; Hydraulic modelling

Índice de figuras

Figura 1 - Síntese cronológica sobre os estudos das Inundações Urbanas.	16
Figura 2- Enquadramento da área de estudo. (A) a nível Nacional; (B) a nível Distrital; (C) a nível Municipal e topográfico.	19
Figura 3 - Perfil transversal de um rio.	21
Figura 4 - Processo de uma Inundação Urbana.....	24
Figura 5 - Esquema metodológico da base de dados.	28
Figura 6 - Esquema metodológico da aquisição dos dados.....	30
Figura 7 - Esquema metodológico do processo de georreferenciação.	31
Figura 8 - Etapas de construção da base de dados.	33
Figura 9 - Esquema do Modelo Conceptual.....	35
Figura 10 - Modelo Relacional	37
Figura 11 - Modelo Físico.....	38
Figura 12 - Aspeto da base de dados no Microsoft Office Access.	38
Figura 13 - Exemplo do relatório gerado a partir da Base de dados	40
Figura 14 - Número de ocorrências de inundações Urbana na cidade do Porto distribuídas por ano (1974-2014).....	43
Figura 15 - Número de ocorrências de inundações Urbana na cidade do Porto distribuídas por mês (1974-2014).....	44
Figura 16 - Dias em que se registaram um maior número de ocorrências de Inundações Urbanas na cidade do Porto (1974-2014).....	45
Figura 17 - Número de ocorrências de inundações Urbana na cidade do Porto distribuídas por Freguesia (1974-2014).....	46
Figura 18 - Ruas da cidade que registaram 20 ou mais ocorrências de Inundações Urbanas (1974-2014).....	47
Figura 19 - Horário de saída dos bombeiros envolvidos nas ocorrências de inundações urbanas na Cidade do Porto (1974-2014).....	48
Figura 20 - Horário de entrada dos bombeiros envolvidos nas ocorrências de inundações urbanas na Cidade do Porto (1974-2014).....	49

Figura 21 - Duração do socorro às ocorrências de inundações urbanas na Cidade do Porto (1974-2014).....	49
Figura 22 - Numero de bombeiros envolvidos durante as ocorrências de inundações urbanas na Cidade do Porto (1974-2014).	50
Figura 23 - Numero de viaturas dos bombeiros envolvidos durante as ocorrências de inundações urbanas na Cidade do Porto (1974-2014).....	51
Figura 24 - Distribuição das Inundações Urbanas na cidade do Porto (1974-2014).....	54
Figura 25 - Distribuição das Inundações Urbanas na cidade do Porto a 13/10/1986.....	55
Figura 26 - Distribuição das Inundações urbanas na cidade do Porto a 23/10/1989.	56
Figura 27 - Ruas mais afetadas pelas Inundações urbanas na cidade do Porto (1974-2014).	58
Figura 28 - Excerto de uma notícia de Inundação na Avenida Gustavo Eiffel.....	59
Figura 29 - Distribuição de Inundações Urbanas na Av. Gustavo Eiffel (1974-2014).....	60
Figura 30 - Distribuição de Inundações Urbanas na Rua de Entrecampos (1974-2014). .	61
Figura 31 - Densidade de Inundações urbana na cidade do Porto (1974-2014).	63
Figura 32 - Áreas críticas de Inundações urbanas na cidade do Porto (1974-2014).....	64
Figura 33 - Localização da área para a realização da modelação hidráulica.	72
Figura 34 - Etapas Metodológicas da Modelação.....	72
Figura 35 - Modelo Digital de Elevação, com os dados de base.	73
Figura 36 - Esquema metodológico da Correção do Modelo Digital de Elevação.	74
Figura 37 - Esquema da atribuição das cotas de cada elemento do MDE.	75
Figura 38 - Modelo Digital de Elevação corrigido.	75
Figura 39 - Esquema Metodológico dos cálculos das fórmulas matemáticas.....	80
Figura 40 - Esquema Metodológico da modelação no Iber.	81
Figura 41 - Aspeto da malha não estruturada (RTIN) das sub-bacias no software IBER. 81	
Figura 42 - Exemplo de um resultado da modelação no IBER.....	82
Figura 43 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 2 anos.	83
Figura 44 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 5 anos.	84
Figura 45 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 10 anos.	85

Figura 46 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 20 anos.	85
Figura 47 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 50 anos.	86
Figura 48 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 100 anos.	87

Índice de tabelas

Tabela 1 - Critérios de classificação de cheias.	23
Tabela 2 - Quadro síntese da georreferenciação das ocorrências.....	32
Tabela 3 - Numeração das Vias mais afetadas, da figura 32	65
Tabela 4 - Exemplo das fórmulas empíricas mais utilizadas.	67
Tabela 5 - Exemplo das fórmulas cinemáticas mais utilizadas no cálculo do Tempo de Concentração.	68
Tabela 6 - Exemplo das fórmulas cinemáticas mais utilizadas no cálculo do caudal de tempo de cheia.....	69
Tabela 7 - Exemplo da fórmula da distribuição da probabilidade de Gumbel.....	71
Tabela 8 - Grandezas físicas correspondentes as sub-bacias.	76
Tabela 9 - Fórmula do tempo de Concentração e descrição das variáveis.....	76
Tabela 10 – Formula discriminada e resultado do tempo de concentração.....	77
Tabela 11 - Fórmula Cinemática utilizada no caudal de ponta de cheia.....	77
Tabela 12 - Valores de coeficiente de escoamento utilizados para os diferentes períodos de retorno..	78
Tabela 13 - Fórmula da Intensidade de Precipitação e descrição das variáveis.....	78
Tabela 14 - Dados das curvas IDF do Posto Udográfico da Serra do Pilar para diferentes tempos de retorno.....	79
Tabela 15 - Fórmula discriminada do cálculo da Intensidade de Precipitação	79
Tabela 16 - Resultados dos cálculos da Intensidade de Precipitação.....	79
Tabela 17 - Fórmula discriminada do cálculo dos caudais de ponta de cheia.....	80
Tabela 18 - Resultados dos cálculos dos caudais de ponta de cheia.	80

Lista de abreviaturas e siglas

BD – Base de Dados

BDG – Base de dados Geográfica

BSB Porto – Batalhão Sapadores Bombeiro do Porto

CMP – Câmara Municipal do Porto

IU – Inundação Urbana

MDE – Modelo Digital de Elevação

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SGBD – Sistema de Gestão de Base de Dados

VCI – Via de Cintura Interna

Capítulo 1. Introdução

1.1. O estudo das Inundações Urbanas em Portugal

Nos últimos anos o estudo das Inundações Urbanas tem vindo a obter uma certa relevância, sendo que muitos autores investigam esta temática, entre os quais se salienta, Marafuz (2011), Jacinto (2009), Costa (1986), Rebelo (2001), Pedrosa & Pereira (2006), Oliveira (2003), Oliveira & Ramos (2002), Ramos (1994), entre outros.

Para desenvolver uma visão mais aprofundada das Inundações Urbanas, Gomes & Marafuz (2013) estabeleceram uma linha cronológica onde abordam os estudos mais influentes nesta temática (figura 1).

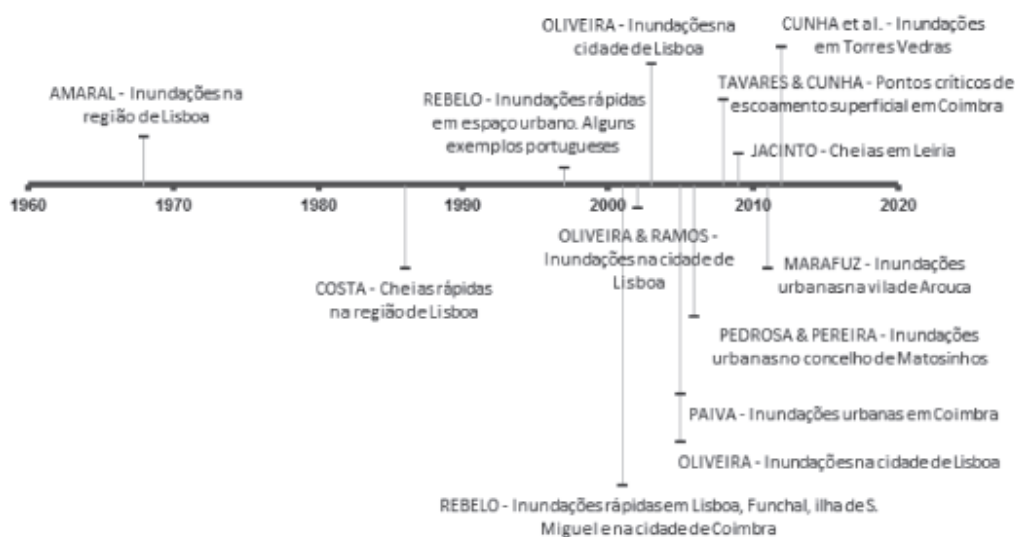


Figura 1 - Síntese cronológica sobre os estudos das Inundações Urbanas. Extraído de (Gomes & Marafuz, 2013).

As cidades encontram-se em constante crescimento, cada vez mais existe uma consolidação da malha urbana, o que acarreta problemas, principalmente, com o aumento da impermeabilização do solo em detrimento do solo permeável. Este revés tem disparado o número de inundações urbanas tornando-se assim, “um problema inevitável em muitas cidades no mundo” (Mark et al., 2004, p. 284).

Portanto, o tema da dissertação debruçou-se no interesse desenvolvido face à hidrologia, especialmente, na área das Inundações e dos SIG. Importa referir que, através de uma parceria

entre a Faculdade de Letras da Universidade do Porto e a Divisão de Proteção Civil da CMP, realizou-se um estudo, no presente ano, de forma a delimitar os locais mais suscetíveis a ocorrências de Inundações urbanas na cidade do Porto. Deste modo, através do estudo referenciado, adotou-se informação para a realização da presente dissertação.

1.2. Objetivos gerais e específicos do estudo.

A presente dissertação apresenta como principais objetivo, Cartografar a distribuição de inundações urbanas na cidade do Porto no espaço temporal compreendido entre 1974 e 2014 e a definição de uma área da cidade afetada por Inundações Urbanas a ser objeto de modelação hidráulica. Deste modo, para concretizar os objetivos gerais elencados, delineou-se objetivos específicos, nomeadamente, a Construção de uma base de dados com as ocorrências de Inundações Urbanas entre 1974 e 2014; Elaboração da cartografia temática alusiva à distribuição das Inundações Urbanas na cidade e por fim referente ao segundo objetivo geral, Modelação da área inundável da Rua de Entrecampos para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Para a execução dos objetivos propostos tornou-se necessário o domínio de diferentes *softwares*, mais concretamente, o *Microsoft Office Access* para a construção da base de dados, o *ArcGis 10.2* para a elaboração cartográfica, e por fim, o *software Iber 2.2* para a execução do modelo hidráulico.

1.3. Estrutura de Trabalho

O projeto apresentado debruça-se em cinco capítulos que de uma forma geral abordam a temática proposta para este estudo, sendo estes, a Introdução (Capítulo 1), as Inundações Urbanas (Capítulo 2), a Base de Dados Geográfica (Capítulo 3), a Distribuição das Ocorrências (Capítulo 4), a Modelação Hidráulica (Capítulo 5) e por fim as Considerações Finais (Capítulo 6). Dito de outro modo, o primeiro capítulo retém um caráter introdutório, explícita a escolha do tema, ilustra os objetivos propostos para este estudo e, ainda enquadra a área de estudo. O segundo capítulo retrata as Inundações Urbanas, através de uma abordagem dos conceitos pertinentes em relação às cheias e às Inundações. O terceiro capítulo alude a base de dados geográfica. Numa primeira parte, explica-se a metodologia adotada na aquisição dos dados e na georreferenciação das ocorrências. Numa fase posterior, aborda-se as considerações teóricas referentes à base de dados e as diferentes fases da sua construção. Explica-se e apresenta-se também, uma ficha de inventário das ocorrências, criada a partir da BD. O capítulo quatro foca-se na apresentação e na análise dos

resultados estatísticos e espaciais da base de dados. O capítulo cinco abrange a modelação hidráulica aplicada neste estudo e apresenta as considerações gerais desta temática. De seguida, exhibe-se um enquadramento à área de estudo, a Rua de Entrecampos. Subsequentemente, descreve-se a metodologia adotada para a concretização da modelação. Por último, apresenta-se os resultados relativos à modelação instaurada. O sexto capítulo aborda as considerações finais, expõem-se, de forma sintetizada, os conhecimentos adquiridos durante a realização desta dissertação, mais concretamente, desde a fase inicial da pesquisa bibliográfica até a fase final da redação da mesma.

1.5. Enquadramento da área de estudo

A área de estudo versa-se no Município do Porto (figura 2). Este “desenvolveu-se frente para o rio Douro, cujas águas correm em direção à sua foz, local onde se juntam com as águas do Oceano Atlântico” (Freitas, 2010, p. 10). Apresenta um perímetro de 33.2 km, ocupando uma área de 40.6 km². Obtém “uma forma grosseiramente oblonga, com o seu maior comprimento, cerca de 11,7 km, no sentido E-W e a sua maior largura, cerca de 4,9 km, no sentido N-S”. (Oliveira, 1973, p. 17)

O Município do Porto (figura 2) localiza-se no Noroeste de Portugal continental, mais concretamente no Distrito do Porto. Para além deste existem mais dezassete municípios, sendo estes, Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Trofa, Santo Tirso, Paços de Ferreira, Lousada, Felgueiras, Amarante, Baião, Marco de Canaveses, Penafiel, Paredes, Valongo, Maia, Matosinhos e Vila Nova de Gaia

Geograficamente, o Município do Porto encontra-se limitado a Norte pelos municípios de Matosinhos e da Maia a Este pelo Município de Gondomar, a Sul limita-se pelo Rio Douro e a Oeste pelo Oceano Atlântico.

O Porto é constituído por quinze freguesias¹, sendo estas, a Freguesia de Nevogilde, Foz do Douro, Aldoar, Ramalde, Lordelo do Ouro, Paranhos, Campanhã, Massarelos, Cedofeita, Santo Ildefonso, Bonfim, Miragaia, Vitória, São Nicolau e Sé.

No que concerne à topografia da cidade, esta varia entre os 0 e os 160 metros de altitude. Caracteriza-se por áreas aplanadas escalonadas por vales, formados pelos afluentes do Rio Douro e por uma escarpa de acentuado declive, esculpida pelo vale do Rio Douro.

¹ Embora à data, da realização deste estudo esteja em vigor uma reorganização administrativa de União de Freguesias, ainda se abordada as designações antigas, devido à data dos dados.

O extremo Oeste da cidade do Porto, designadamente, o litoral representa as áreas aplanadas mais baixas, e à medida que nos deslocamos para Este, a altitude vai aumentando, consideravelmente.

Em contrapartida, a área aplanada mais alta localiza-se a Nordeste da cidade, atingindo o máximo de altitude, os 160 metros. Ladeando estas zonas altas surgem locais com cotas mais baixas. No entanto, lapidadas pelos vales dos afluentes do rio Douro como o caso, do Rio Torto e do Rio Tinto, localizados a Sudeste da cidade na freguesia de Campanhã.

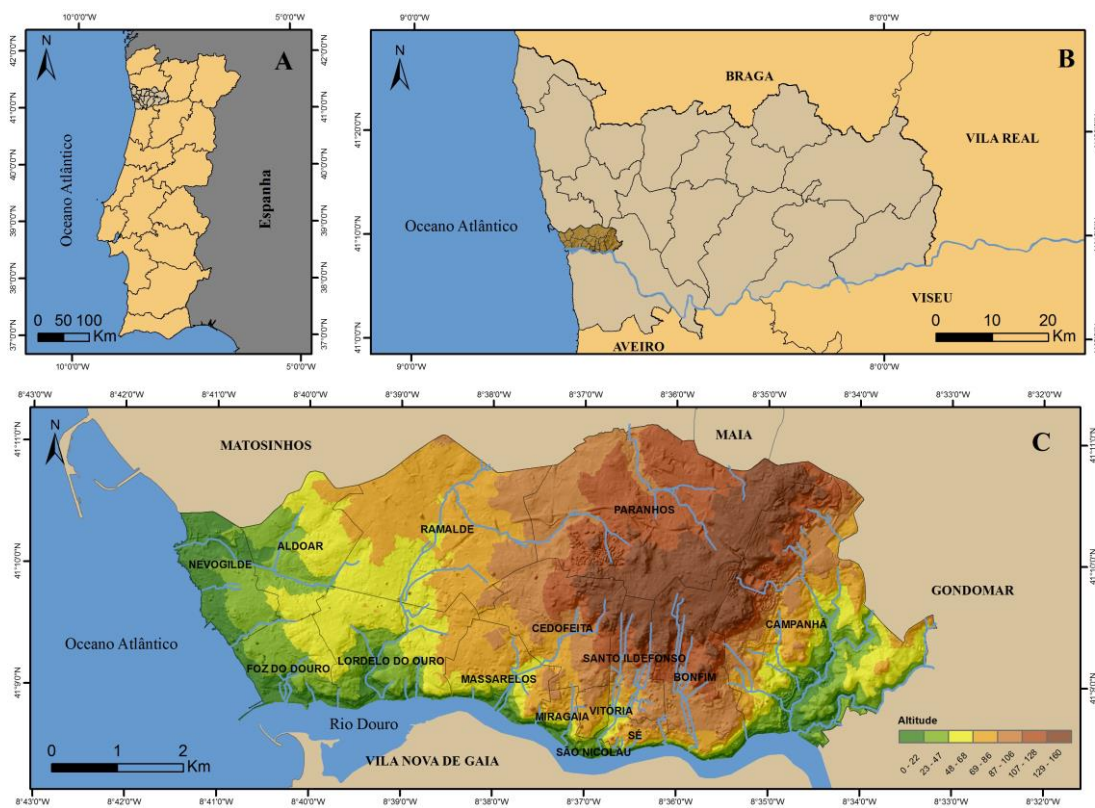


Figura 2- Enquadramento da área de estudo. (A) a nível Nacional; (B) a nível Distrital; (C) a nível Municipal e topográfico.

Capítulo 2. Inundações Urbanas

2.1. Contextualização das cheias e inundações urbanas.

Desde cedo, as civilizações fixaram-se e formaram cidades junto aos cursos de água, devido à “facilidade de transporte ao longo do rio e pela proximidade às melhores terras agrícolas, situadas nas férteis planícies de inundação” (Saraiva & Carvalho, 2009, p. 2). No entanto, a excessiva ocupação destes terrenos implicou, ao longo do tempo, o incremento do risco de inundações, essencialmente em meios urbanos.

Esse risco foi ganhando expressividade, uma vez que nos últimos anos, as cheias e as inundações são dadas como os desastres naturais, com mais frequência no planeta, e um dos mais mortíferos contabilizando um total de mais de 12.000 mortos (Marafuz, 2011; Ramos, 2005). Este aumento acarreta graves consequências como os contínuos danos causados pelas cheias, como as mortes e as doenças, e torna-se uma ameaça constante ao progresso da indústria dos territórios afetados (Chow, 1956).

2.1.1. Distinção entre cheia e Inundação

As cheias e inundações são processos “hidrológicos que não é possível evitar, e que podem ser potencialmente perigosos, dependendo da magnitude atingida (altura da água, caudais), da velocidade com que progridem e da frequência com que ocorrem.” (Ramos 2013, p. 12-13).

Sempre que é abordada a temática das cheias, seja em bibliografia científica, em notícias, ou até mesmo na gíria popular, este conceito é por inúmeras vezes abordado em analogia com o de inundação, sendo tratados como conceitos sinónimos, no entanto, não o são, uma vez que, “Todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são devidas às cheias, (...), existem inundações que não são devidas aos rios”.(Ramos, 2005, p. 71).

Neste sentido, de Autoridade Nacional de Proteção Civil² descreve as cheias como fenómenos, provocados por precipitações moderadas e permanentes ou repentinas e com uma forte intensidade, este excesso de precipitação origina o aumento do caudal dos cursos de água e o transbordo das margens. Zêzere, et al., (2005, p. 9-10) defendem que as cheias são “fenómenos

²<http://www.prociv.pt/RiscosVulnerabilidades/RiscosNaturais/Cheias/Pages/Oquee.aspx>, consultado em Agosto de 2015

naturais extremos e temporários, provocadas por precipitações excessivas que fazem aumentar o caudal dos cursos de água, originando o extravase do leito menor e a inundação das margens e áreas circunvizinhas, que se encontram frequentemente ocupadas por atividades humanas”. Segundo Portela (2008, p. 11) as cheias “apresentam-se como intumescências graduais e progressivas da superfície livre de cursos de água a que correspondem alturas máximas do escoamento que se propagam para jusante”.

Seguindo esta linha de pensamento, Ramos (2005, p. 71) define cheia como “fenómenos hidrológicos extremos devidos à dinâmica fluvial, isto é, existe uma cheia sempre que o rio transborda em relação ao seu leito ordinário. Este é referenciado por Ramos (1994) como o “caudal de margens plenas” e sempre que é ultrapassado, atinge o que se designa por “caudal mínimo de cheia” (figura 3), que nos permite elaborar os diferentes tipos de cheias, detetar os períodos e a frequência de ocorrência, assim como a duração de cada cheia.

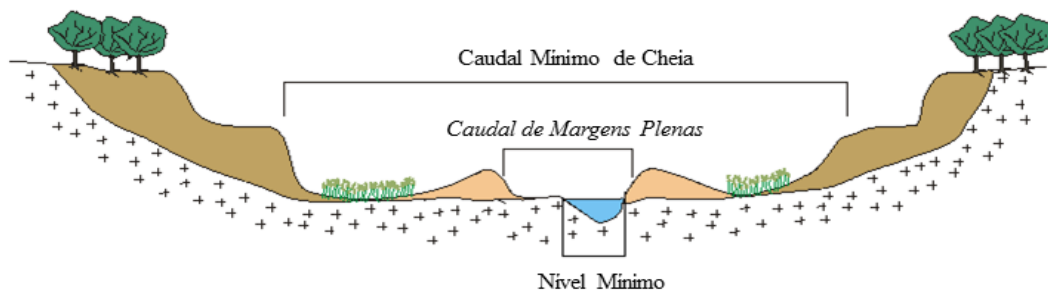


Figura 3 - Perfil transversal de um rio. Adaptado³

Seguindo o mesmo contexto mas abordando o conceito de inundação, Gonçalves (2012, p. 22) define-a como um “evento igualmente hidrológico, de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que compreende a submersão de uma área usualmente emersa”. O estado Português, no Decreto-Lei n.º 115/2010 de 22 de Outubro define Inundação como uma cobertura temporária de água num local fora do leito “provocadas por fenómenos naturais como a precipitação”.

Isto é, o conceito de cheia varia de autor para autor, no entanto, a cheia ocorre quando as bacias hidrográficas são atingidas por precipitações intensas e prolongadas, isto aumentará a sua

³ <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter11.html>, consultado em Julho de 2015.

capacidade normal de retenção de água, uma vez atingindo esse limite, esta transbordará as margens, inundando as zonas contíguas. Porém, existem inundações que não se devem somente ao transbordo do rio, pois podem dever-se a galgamentos oceânicos da linha de costa, aquando da ocorrência de tempestades, (a título de exemplo, o furacão “*Katrina*” que devastou Nova Orleães nos EUA em 2005) ou devido a inundações urbanas.

2.1.2. Critérios de classificação e Tipologia das cheias.

Ramos (2005), apresenta seis critérios de classificação das cheias que segundo a mesma autora, permitem efetuar uma tipologia das cheias (Tabela 1).

Neste seguimento, a autora supracitada estabelece como critério numero um a velocidade de progressão das cheias, classificando-as em cheias rápidas (*flash floods*) e cheias progressivas.

O critério número dois refere-se ao número de pontas de cheia, isto é, o “valor máximo que o caudal atinge durante as cheias” (Ramos, 2005, p. 74), classificando-se em simples, as que correspondem a apenas uma ponta de cheia, ou complexas as que estão associadas a vários tipos de ponta de cheia por exemplo quando são atingidas por sucessivas chuvadas.

Em terceiro, surge o critério do tempo de duração das cheias, o qual, pode variar entre horas e meses. Esta variação leva a “a uma diferente adaptação das atividades humanas” (Ramos, 2005, p. 74), pois nas regiões em que a duração das cheias é de meses as populações locais têm que se adaptar construindo as casas para que a água não atinja as mesmas e adotar o barco como meio de transporte.

Seguidamente, o quarto critério centra-se na frequência de ocorrência. Este critério permite identificar as áreas vulgarmente afetadas, assim como, a época do ano em que este processo mais ocorre.

O quinto critério, a magnitude das cheias, define a potência destas, segundo os respetivos caudais de ponta. A magnitude destes caudais determina a construção de pontes, viadutos, barragens e afins.

Por fim, o sexto critério traduz-se na recorrência das cheias e determina o período de retorno, isto é, a probabilidade de determinados caudais de ponta voltarem a ocorrer.

Tabela 1 -Critérios de classificação de cheias, segundo Ramos (2005)

1	Velocidade de Progressão	Rápidas
		Progressivas
2	Número de pontas de cheia	Simples
		Complexas
3	Tempo de Duração	Horas
		Dias
		Semanas
		Meses
4	Frequência e Época de Ocorrência	Locais e Estações mais afetadas
5	Magnitude	Potência
6	Recorrência	Período de Retorno

De acordo com Costa (1986), em Portugal as cheias podem ser classificadas essencialmente em 3 tipos: Inundações Urbanas, Cheias progressivas e Cheias Rápidas.

As Inundações Urbanas são tão antigas quanto a existência de cidades ou aglomerações urbanas e segundo Ahmad & Simonovic (2013), são consideradas grandes ameaças nas mesmas. De forma a complementar o autor supracitado Soares et al. (2005) afirmam que estas provocam um forte impacto nas atividades comerciais, nos serviços, na interrupção dos transportes e no alagamento das zonas residenciais.

Assim, “este fenômeno natural é causado normalmente pela dinâmica da natureza, sendo intensificados pela intervenção antrópica no ambiente” (Souza & Romualdo, 2009, p. 2), ocorrem durante “períodos chuvosos intensos e concentrados num curto espaço de tempo.”(Gomes & Marafuz, 2013, p. 482). E devem-se, essencialmente, “á impermeabilização das superfícies construídas e a sistemas de águas residuais e pluviais inadequados” (Ramos, 2005, p. 71). De forma a solidificar esta ideia Sá & Vicêncio (2011, p. 228) afirmam que “as alterações hidrológicas provocadas pelo tecido urbanizado apresentam relações de 90 a 100% de escoamento superficial para os 0 a 10% de infiltração”

Segundo o website⁴ (Floodsite), este tipo de inundação ocorre quando o solo, capaz de armazenar a água pluvial é insuficiente, devido á forte construção implementada pelas populações, e aquando das chuvas intensas, o sistema de drenagem das zonas urbanas não consegue drenar um grande volume de água criando uma inundação. (Figura 4)

Boonya-aroonnet et al., (2007) completam que a fase mais crítica deste evento ocorre quando o sistema de drenagem subterrâneo excede o seu limite, o que provoca uma mudança de direção do fluxo surgindo novamente á superfície. No entanto, as inundações urbanas “ocorrem de forma aleatória em função dos processos locais e regionais.” (Tucci & Bertoni, 2003, p. 45).

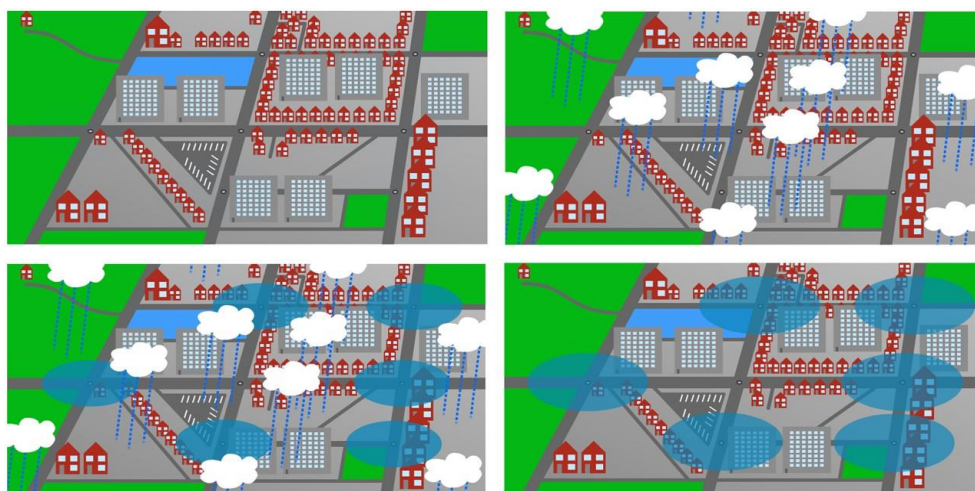


Figura 4 - Processo de uma Inundação Urbana. Adaptado³

Ao invés das inundações urbanas, as cheias progressivas, “podem ser consideradas como um comportamento natural dos rios, lagos, estuários e mar.” (Bruijn et al., 2009, p. 13), encontrando-se associadas a longos períodos de chuva, com a particularidade de terem um tempo de duração que pode atingir varias semanas ou em alguns casos até meses, fruto do “atravessamento sucessivo de sistemas frontais associados a núcleos de baixa pressão” (Sá & Vicêncio, 2011, p. 228). Estas precipitações relacionam-se com a “permanência da circulação zonal de oeste” (Ramos & Reis, 2001, p. 64), e devido ao seu tempo de duração extenso, os solos

⁴<http://www.floodsite.net/juniorfloodsite/html/en/student/thingstoknow/hydrology/urbanfloods.html>, consultado em Agosto de 2015.

saturam a sua capacidade de retenção de água, repondo as reservas subterrâneas, e originando o transbordo do curso de água (Ramos, 2005).

Este tipo de cheias, afetam essencialmente as grandes bacias hidrográficas como as do rio Tejo e Douro provocando inundação numa ampla área, (Ramos & Reis, 2001). Em termos de perigosidade, as cheias progressivas não são muito perigosas, uma vez que, o caudal sobe de forma progressiva o que leva a que se tomem medidas de forma a mitigar os danos causados pela cheia, essencialmente a nível de perdas humanas.

As cheias rápidas, também designadas por *Flash Floods* na literatura Inglesa, “são motivadas por episódios de precipitação muito intensa e concentrada em algumas horas, e ocorrem mais frequentemente nas estações de transição, particularmente no Outono.” (Zêzere et al., 2005, p. 10).

De acordo com Sene (2013) a principal causa das cheias rápidas diz respeito às chuvas intensas, combinadas com o curto espaço de tempo em que estas ocorrem. No entanto, o autor apresenta também apresenta como motivos de cheias rápidas as anomalias nas infraestruturas como por exemplo as falhas no escoamento das águas numa barragem ou até mesmo a sua destruição.

Deste modo, Doswell et al., (1996), afirmam que um dos principais desafios relacionados com as cheias rápidas deve-se ao carácter quantitativo da previsão das mesmas, uma vez que não se trata apenas de prever a ocorrência de um evento, que por si só já é complicada mas também de antecipar a magnitude da mesma, de forma a ser possível intervir para minimizar os riscos. Este, é considerado o tipo de cheia mais perigosa, pois como ocorre num curto espaço de tempo, apanha a população desprevenida, tornando-se em muitos casos mortíferas. Neste sentido Ramos (2005) defende que este tipo de cheias, são mais perigosas, quando ocorrem em bacias com cursos de água de regime regular, pois normalmente são locais em que existem vários anos sem a ocorrência de chuvas o que por vezes levam ao “esquecimento” da população para este acontecimento levando a grandes catástrofes.

Em jeito conclusivo, é importante ressaltar que de todos os tipos de terreno, as áreas urbanas são as mais suscetíveis a este tipo de evento, porque existe uma percentagem alta de superfícies impermeáveis, assim como telhados e áreas de estacionamento onde o escoamento superficial ocorre com rapidez. (Jha et al., 2012)

2.1.3. As Inundações em Portugal

As inundações são uma realidade continuamente presente no decurso histórico do país, pois, “desde sempre assolaram vastas áreas de Portugal” (Saraiva & Carvalho, 2009, p. 2).

Em Portugal a principal causa das Inundações são as condições meteorológicas e segundo Ramos (2013) estas devem-se essencialmente a: ;Cheias lentas dos rios; Cheias rápidas dos rios e ribeiras das redes hidrográficas mais pequenas; Subida das águas subterrâneas nos locais topograficamente deprimidos; Inundações devidas á sobrecarga dos sistemas de drenagem em áreas urbanas.

De forma a fortalecer estas ideias, consultou-se a *EM-DAT (Emergency Events Database)*, uma base de dados compilada a partir de várias fontes como as Nações Unidas e agências não-governamentais de todo o mundo, disponibilizando dados essenciais de mais de 18.000 eventos desde 1900 até a atualidade. Neste sentido, realizando-se uma pesquisa mais pormenorizada e focando-se apenas nos eventos ocorridos em Portugal no último século (1915-2015)⁵, pode constatar-se que no top 10 de eventos naturais, relativamente ao número de mortes, as inundações surgem em segundo lugar logo atrás das temperaturas extremas (ondas de calor), registando um total de 573 fatalidades. No entanto, no que concerne ao número total de pessoas afetadas no mesmo período temporal, as inundações ocupam 8 lugares do top 10, registando um total de 52.888 afetados.

O projeto *Disaster*,⁶ é semelhante ao projeto exposto anteriormente, mas com a particularidade de apenas apresentar dados relativos a eventos de origem hidro-geomorfológica com consequências danosas em Portugal. Este tem como objetivo colmatar as falhas que existem na disponibilidade desses mesmos dados, para tal este projeto construiu uma base de dados SIG sobre as cheias e deslizamentos de vertentes ocorridos em Portugal Continental entre o final do século XIX e a 1ª década do século XXI. Esta Base “irá providenciar um suporte confiável para o processo de avaliação do risco e um ponto de partida para a aplicação de medidas de mitigação e redução de desastres.”

Analisando os resultados obtidos pelo projeto *Disaster*, no mesmo espaço temporal que o Em-Data, registou-se um total de 1416 cheias em Portugal Continental, sendo que numero resultou um total de 920 fatalidades.

⁵ http://www.emdat.be/country_profile/index.html, consultado em Agosto de 2015

⁶ http://riskam.ul.pt/disaster/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=4, consultado em Agosto de 2015

Concluindo, de todos os eventos naturais ocorridos em Portugal, as inundações são aquelas que mais prejuízos causam no país, registando altos valores de mortes e de pessoas afetadas, sendo necessário existir fortes medidas de mitigação contra este fenómeno de forma a minimizar estes valores.

Capítulo 3. Base de Dados Geográfica

3.1. Metodologia

Para a construção da base de dados, foram empregues metodologias. Nas alíneas posteriores, descrevem-se em pormenor a metodologia adotada aquando da pesquisa e aquisição dos dados sobre as inundações urbanas, nos bombeiros Sapadores do Porto. A seguir, descreve-se o processo de georreferenciação das ocorrências resultantes da etapa anterior, utilizando o Google Earth. Por fim, esclarece-se os conceitos fundamentais sobre as bases de dados e o seu funcionamento em geral, como também, as diferentes fases a que esta se sujeita para que se torne numa base de dados fidedigna (figura 5).

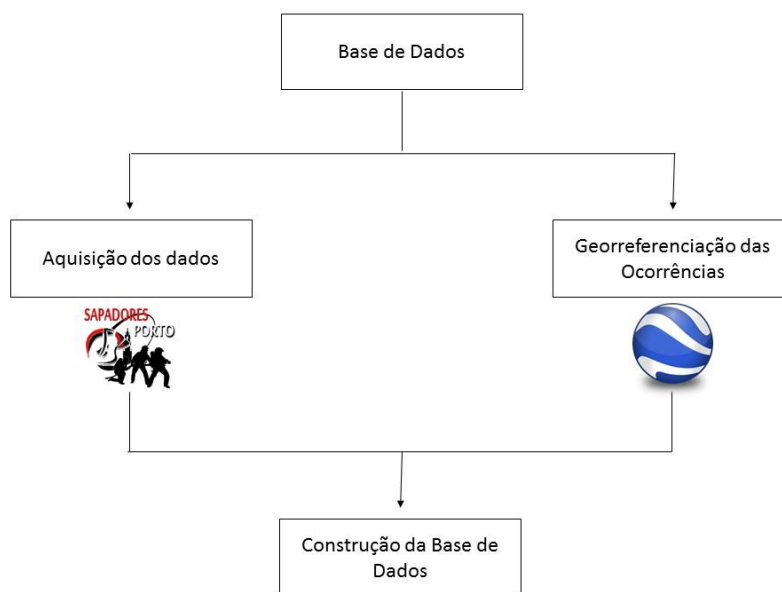


Figura 5 - Esquema metodológico da base de dados.

3.1.1. Aquisição dos Dados

A aquisição dos dados sobre as inundações urbanas teve lugar no Batalhão Sapadores Bombeiros do Porto (BSB Porto) e caracterizou-se como um processo moroso e exaustivo, uma vez que o levantamento das ocorrências foi efetuado de duas formas: a) através da consulta dos relatórios existentes nos registos que os Bombeiros dispõem em formato de papel no intervalo temporal de 1974 a 2007, b) em formato digital para o período de tempo de 2008 a 2014.

Dado que, a informação expressa nos registos dos bombeiros não se encontrava discriminada por tipologia de acontecimentos, (registos onde, separadamente apenas continham informação afeta às inundações, aos fogos ou a acidentes de viação), mas sim ordenada por data de ocorrência, sendo que, se num determinado dia os responsáveis eram chamados para ocorrer um fogo, de seguida uma inundação e mais tarde um acidente, estas ocorrências surgem na mesma ordem e no mesmo registo.

Tendo em consideração a vasta quantidade de informação tornou-se necessário, adotar uma metodologia mais expedita, de forma a diminuir o tempo de consulta, mas que ao mesmo tempo, não existisse perda de informação relevante. Nesse sentido, descartaram-se os dias que apresentavam uma precipitação máxima inferior a 5 mm durante uma hora, ou seja, apenas se utilizaram os que apresentavam valores superiores a 5mm entre os anos de 1974 a 2005, registados na estação meteorológica da Serra do Pilar em Vila Nova de Gaia. Para os restantes anos (2006-2014), a seleção foi auxiliada pela consulta dos valores de precipitação horária dada pelas estações meteorológicas da Câmara Municipal do Porto, localizadas na Muralha Fernandina e no Batalhão Sapadores Bombeiros do Porto (Figura 6).

A pesquisa foi também alicerçada nos códigos utilizados por parte dos bombeiros para designar o tipo de ocorrência, em que os códigos 3331, 6190, 3540 e 5360 dizem respeito a “tirar água/inundação”, 3590, 3560, 3399, 3520 e 3309 são referentes a “desentupir sarjeta”, o 3500 o 3315 e o 3600 referem-se a inundações em geral.

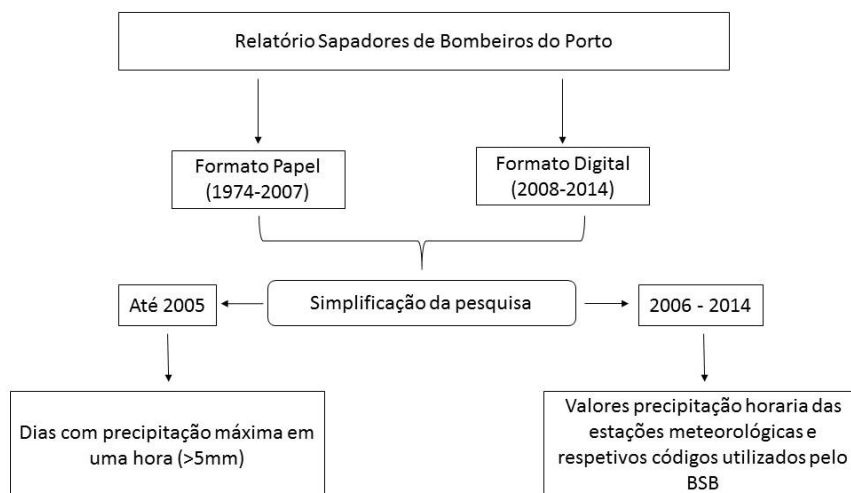


Figura 6 - Esquema metodológico da aquisição dos dados.

É de salientar, que conforme o levantamento dos dados, era automaticamente realizado uma seleção detalhada dos mesmos, de forma a obter, apenas a informação vital ao estudo, e assim descartar, as ocorrências que se considerou não reunirem as condições favoráveis para a formação e criação de uma inundação, como é exemplo das ocorrências referentes à obstrução de caleiras, entupimentos de canos com lixo, entre outras. Também as ocorrências que não se encontravam perceptíveis nos relatórios, a nível de caligrafia, foram descartadas.

3.1.2. Georreferenciação das Ocorrências

Findo o processo de aquisição dos dados, tornou-se pertinente localizar espacialmente cada uma das ocorrências, ou seja, era necessário georreferenciar as ocorrências. Para tal, recorreu-se ao *software* gratuito “*Google Earth*”.

O processo de georreferenciação (figura 7) consistiu, essencialmente, em selecionar o local de cada ocorrência no programa já descrito. Para tal, foi necessário recorrer á morada da ocorrência adquirida aquando do levantamento dos dados. No entanto, para se ser mais preciso quanto ao local recorreu-se ao número de polícia, de forma a dar uma maior precisão à georreferenciação. Para além de identificar espacialmente o local de cada ocorrência, teve também a finalidade de gerar as coordenadas para inserir na base de dados.

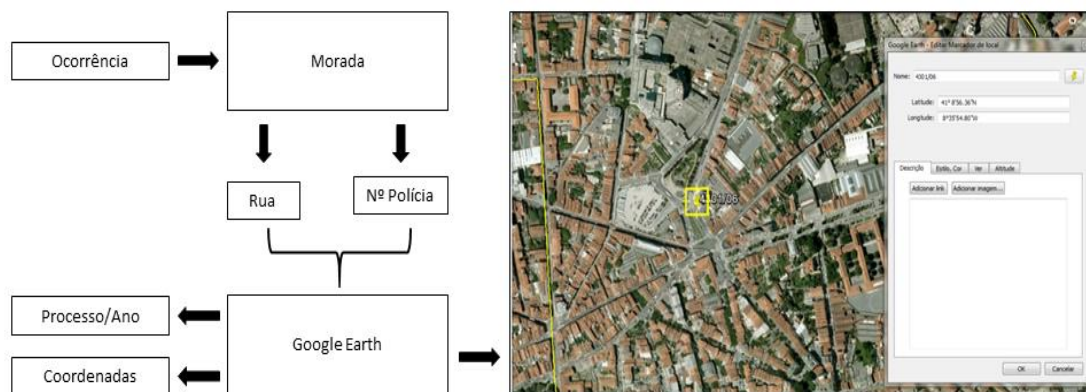


Figura 7 - Esquema metodológico do processo de georreferenciação.

À medida que se identificavam as ocorrências, considerou-se pertinente diferenciar as mesmas. Para isso, utilizou-se o mesmo método que os bombeiros usavam nos seus registos, que consistia em atribuir um nome ao processo, como por exemplo, “401”. Todavia, como se estudou um espaço temporal de 40 anos, existiam ao longo do tempo vários números repetidos, o que resultou no acréscimo do ano em que cada ocorrência se sucedeu, de forma a distingui-los para além do número atribuído, identificando cada ocorrência da seguinte forma: “401/90”.

Com o decorrer do processo, também ele moroso, constatou-se que nem todas as ocorrências iam ficar georreferenciadas, face à escassez de informação para algumas delas, ou seja, nem todas eram compostas pelo número de polícia, pelo que se tornava difícil de precisar o local. A título de exemplo, registam-se inúmeras referências à Via de Cintura Interna, onde apenas é feita alusão à mesma mas não ao local onde ocorre. Tendo em conta a extensão da mesma (21 km), torna-se complicado precisar a área, retirando assim, alguma precisão á localização de algumas ocorrências.

No final da aquisição dos dados e na georreferenciação dos mesmos, registou-se um total de 1533 ocorrências, no entanto, como já explicitado, 126 casos não foram possíveis georreferenciar, contabilizando-se apenas 1407 ocorrências georreferenciadas (tabela 2).

Tabela 2 - Quadro síntese da georreferenciação das ocorrências.

Nº Total de Ocorrências	1533	100%
Georreferenciadas	1407	92%
Não georreferenciadas	126	8%

3.2. Base de Dados Geográfica

3.2.1. Considerações Gerais

Finalizados os processos anteriores, tanto o de aquisição, como o de georreferenciação dos dados, obteve-se uma vasta quantidade de dados, embora, estes consistissem em dados brutos e isolados. Segundo Fargette (1985, p. 21) “Desde que exista pluralidade de informações, torna-se necessário uma certa organização a fim de se obter, através de um tratamento apropriado, outras informações”. Deste modo, sentiu-se a necessidade de os organizar para que se transformassem em informação relevante para o estudo das inundações urbanas na cidade do Porto.

Partindo dessa necessidade, procedeu-se à criação de uma base de dados, isto é, de “um conjunto estruturado de informações agregadas ou elementares, acessíveis por uma comunidade de utilizadores” (Chrisment, 1989, p. 15). Na mesma perspetiva, Dias (2013) defende que uma base de dados é um sistema de armazenamento de dados permanentes, que se torna acessível a um leque variado de utilizadores.

As bases de dados são geridas por um Sistema de Gestão de Bases de Dados (SGBD), designados como uma “aplicação informática que tem como objetivos definir, aceder e gerir os dados que se encontram numa base de dados” (Dias, 2013, p. 24). Partindo das conceções de Pereira (1998), o SGBD, passará a ser a única entidade que controlará a base de dados, tendo em conta todas as solicitações do nível operacional. Assim, pode-se deduzir que uma base de dados apenas armazena os mesmos, contudo, para estes serem aplicáveis é necessário um sistema de gestão de base de dados de forma a geri-los.

Existem SGBD de distintos tamanhos, uns com maior dimensão e outros com uma dimensão mais limitada, pelo que se pode dividir em dois grupos diferenciados, designadamente os de grande dimensão e os de uso doméstico. Relativamente aos primeiros, pautam-se por serem aqueles que ostentam uma maior capacidade de armazenamento de dados e que apresentam uma

maior fidedignidade dos resultados, sendo exemplo programas como o *ORACLE*, *MySQL*, *Microsoft SQL Server*, entre outros. No que concerne ao segundo grupo de SGBD, os de uso doméstico definem-se por não terem uma capacidade de armazenamento tão vasta, e são essencialmente destinados a pessoas não especializadas na área da informática, tendo como exemplos, os programas como o *OpenOffice Base*, o *FoxPro*, o *Microsoft Office Access*, entre outros.

Quando uma base de dados pretende representar dados geográficos, como linhas pontos e polígonos, esta caracteriza-se como uma base de dados geográfica (BDG). A base de dados do estudo representa uma BDG na medida que se pretende representar pontos e polígonos.

3.2.2. Fases de Construção da Base de Dados

Para se obter uma base de dados sólida e funcional, é necessário que esta passe por diferentes fases (figura 8), sendo que, cada etapa desenvolve um papel específico e fundamental. Por conseguinte, a construção da presente base faseou-se nas seguintes períodos:

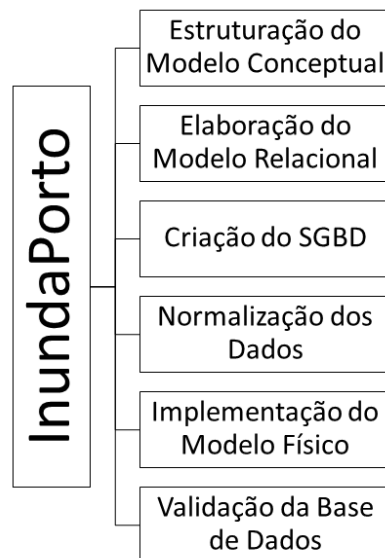


Figura 8 - Etapas de construção da base de dados.

A construção da base de dados inicia-se pela estruturação do Modelo conceptual, ou também muitas vezes designado por Modelo E-R. Este modelo define e descreve objetos

designados por entidades e os relacionamentos que existem entre eles, constituindo assim o ponto de partida para a construção de uma base de dados.

Este modelo tem uma linguagem com um nível de abstração relativamente elevado longe do código da máquina, mas próximo da linguagem humana. Os conceitos foram projetados, para que toda a comunidade compreenda, tornando-se num modelo de compressão fácil.

O modelo é estruturado através de entidades (retângulos), relacionamentos (losangos), atributos (elipses) e as linhas que dizem respeito à cardinalidade. Esta pode ser classificada em 1:1 (um para um), 1:N (um para muitos) e M:N (muitos para muitos). Num relacionamento de 1:1 a entidade X apenas se relaciona com uma entidade Y ou vice-versa, relativamente ao relacionamento de 1:N, uma entidade X relaciona-se com uma ou mais entidades Y, mas a/as entidade/s Y apenas se relacionam com uma entidade X. Por fim, num relacionamento de N:M uma ou mais entidades X relacionam-se como uma ou mais entidades Y e reciprocamente.

Seguindo esta linha de pensamento, o modelo apresentado para o estudo, reúne um total de quatro entidades, trinta e quatro atributos e três relações. O modelo estrutura-se em torno da entidade Ocorrência, com a qual todas as outras (Freguesia, Município e Distrito), se relacionam. Esta é a entidade principal, apresentando vinte e cinco atributos sendo eles, o ID, Processo, Código, Data, Morada, Nº Policia, Latitude, Longitude, Precipitação (mm), Nº Viaturas, Nº Bombeiros, Nº Km Percorridos, Hora Saída, Hora Entrada, Duração Intervenção, Data Saída, Data Entrada, Material Utilizado, Autoridades Presentes, Danos Humanos, Danos Materiais, Descrição Sumária, Altura coluna Água, Classificação e por último, Mapa. As entidades correspondentes ao Distrito, Município e Freguesia apresentam atributos semelhantes, (ID, Nome e o código), no entanto, o código, varia consoante a entidade pois o código é correspondente à unidade administrativa selecionada. (Figura 9).

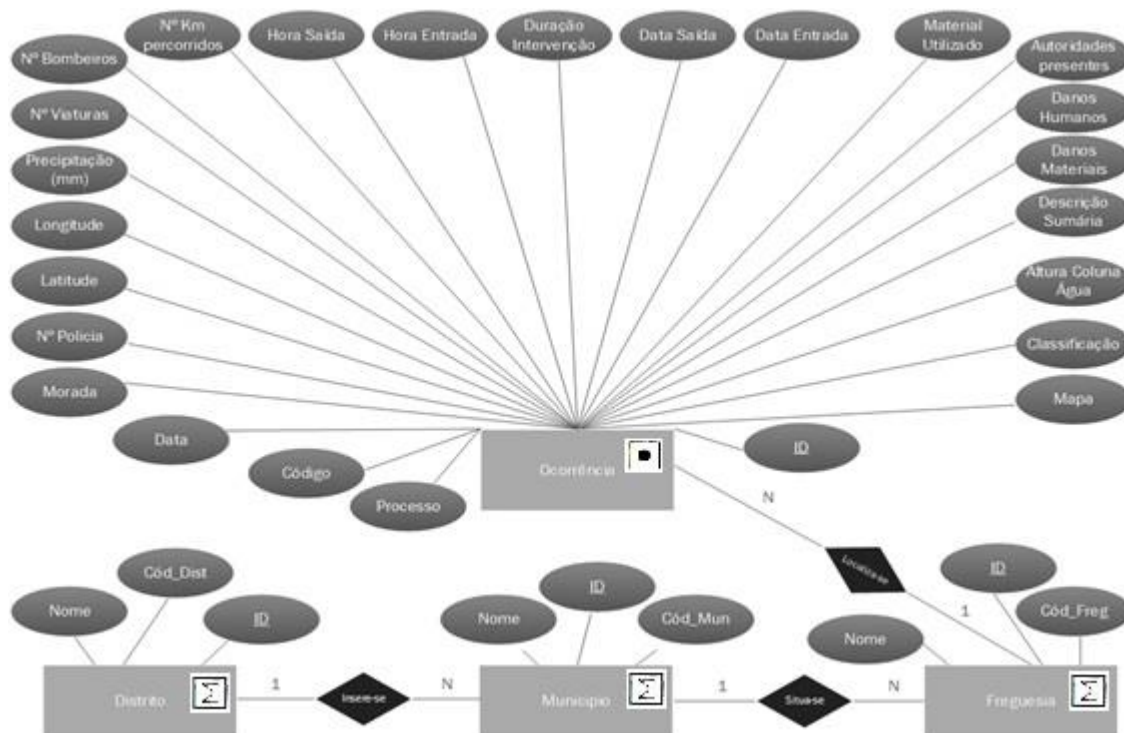


Figura 9 - Esquema do Modelo Conceptual.

Sendo assim, Dias (2013) refere que o modelo relacional é o mais utilizado, de todos os modelos que permitem uma representação de dados. Este foi proposto por Edgar Frank Codd nos anos 70, baseando-se numa teoria matemática de relações. Os dados são expressos em tabelas e de acordo com o autor supracitado é essencial relacionar os dados entre elas com base, em atributos comuns entre as tabelas. Neste sentido, existem dois tipos de atributos especiais, sendo eles, o “Primary Key (PK)”, que representa a chave primária da tabela, e identifica univocamente cada linha da tabela. E a “Foreign Key (FK)”, que diz respeito à chave estrangeira, a qual estabelece a ligação entre os dados de duas tabelas.

Portanto, a transformação do modelo concetual para um modelo Relacional é iniciada através da transformação de cada entidade numa relação, definindo os atributos que são chave e os que não são. Posteriormente, transforma-se cada relacionamento binário (M:N) numa relação, aos que não são binários (1:N e 1:1), adiciona-se a chave de relação que apresenta menor cardinalidade como atributo da que apresenta uma relação de maior cardinalidade.

No presente estudo, na BD “InundaPorto”, todas as relações de cardinalidade não são binarias, deste modo, a transformação do Modelo E-R para o modelo relacional, figura 10,

expressa-se pela adição da chave primária da tabela Freguesia, como chave estrangeira na tabela Ocorrência, e assim sucessivamente

A etapa posterior refere-se à escolha do SGBD. Como já mencionado, este pode ser de grande dimensão ou de uso doméstico, neste caso, utilizou-se um sistema de uso doméstico, pois embora albergue um total de 1533 ocorrências, não se justificaria o uso de *software's* profissionais, como é o caso dos SGBD's de grande dimensão.

Posto isto, a escolha do *software* utilizado para a base de dados recaiu no Microsoft Office Access, pois é um programa simples, de fácil manuseamento e acima de tudo, respondia perfeitamente ao que era pretendido.

Foram criadas quatro tabelas, correspondentes às entidades que a base apresenta, e dentro dessas tabelas os respetivos atributos.

A quarta fase de construção da base versa-se na normalização dos dados, proposta inicialmente por Codd (1970). Esta caracteriza-se por seguir uma serie de regras, designada por formas normais, que têm como objetivo, corrigir a solução inicial, isto é, evitar problemas como a duplicação de dados, a redundância de informação, anomalias de inserção e eliminação de dados, para que o manuseamento dos mesmos seja simplificado.

Dito isto, existem 6 formas normais, sendo que a primeira forma normal (1NF) é válida quando nenhum dos atributos pode ser relacionamento. A segunda forma normal (2NF),

Seguindo esta linha de pensamento, serão apresentadas de seguida as 5 formas normais, sendo estas:

1 Forma Normal - Nenhum dos atributos pode ser relacionamento;

2 Forma Normal - Quando a base de dados está na 1NF e cada atributo não participante na chave primária, for dependente desta;

3 Forma Normal - Quando se encontra na 2NF e cada atributo não participante da chave primária for dependente desta, de forma não transitiva;

Forma Normal de Boyce-Codd - Aplicada quando todos os atributos são dependentes somente da chave;

4 Forma Normal - Permite diminuir a redundância, decompondo os multivalores em outras tabelas;

5 Forma Normal - Está relacionada com as dependências de junção.

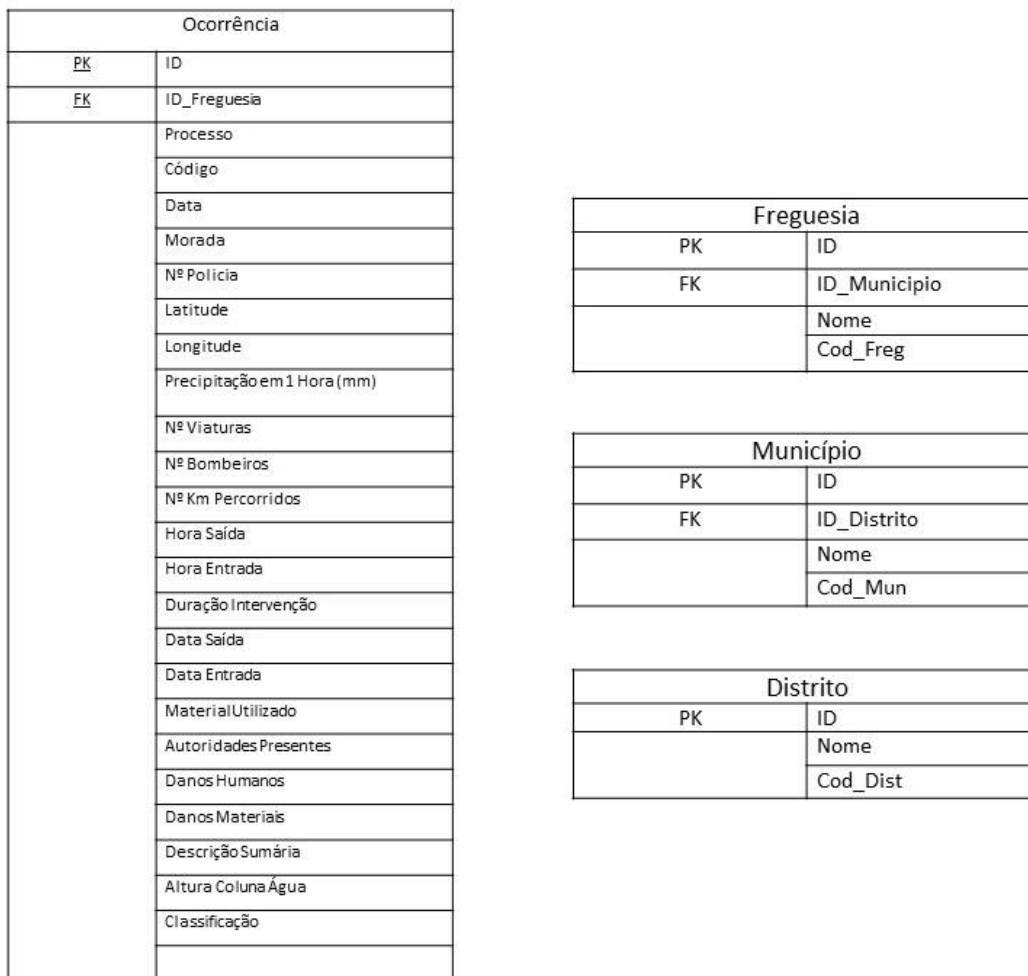


Figura 10 - Modelo Relacional

Uma vez criado o SGDB, e inserido a totalidade de informação, procedeu-se à implementação do Modelo Físico, isto é, criar as relações entre as tabelas e a sua respetiva Cardinalidade. Como é possível verificar na figura 11, todas as relações são de “muitos para um”, assim, depende-se que uma dada inundação apenas ocorre numa freguesia, mas nessa freguesia podem-se registar muitas ocorrências; o mesmo raciocínio é seguido para as restantes relações.

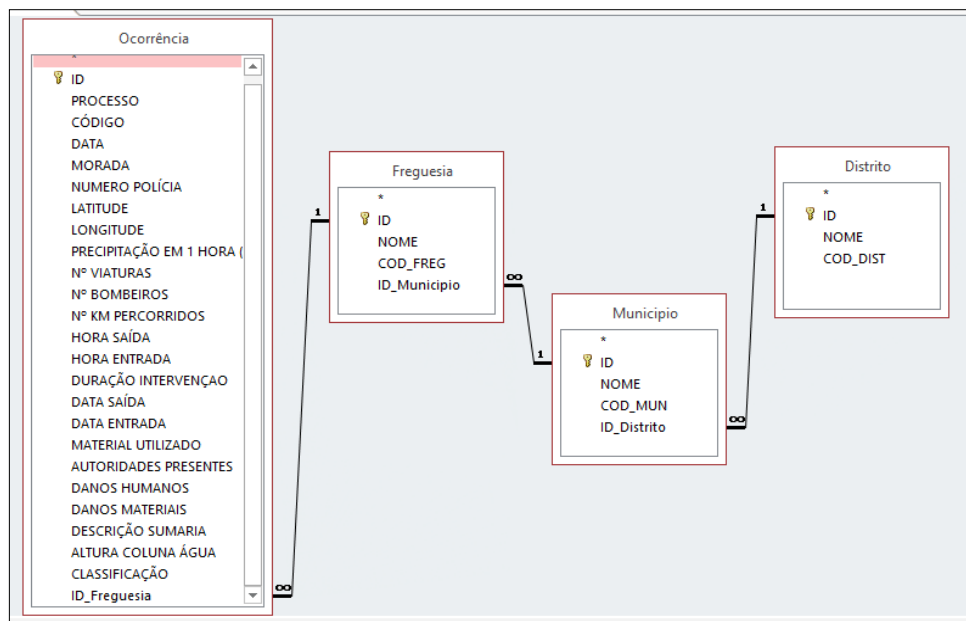


Figura 11 - Modelo Físico

A etapa final de construção de uma base de dados consiste na sua validação. A base considera-se válida quando dá resposta ao que procuramos, desde que se efetue uma pergunta à base e esta dê a resposta correta, assume-se que as ligações estão corretas, assim como as cardinalidades, considerando-se assim, a base de dados válida e funcional.

A figura 12, demonstra o aspeto final da base de dados *InundaPorto*.

ID	PROCESSO	CÓDIGO	DATA	MORADA	NUMERO POLÍCIA	LATITUDE	LONGITUDE	PRECIPITAÇÃO	Nº VIATURA	Nº BOMBEIROS	Nº KM P.
1	23/74	--	23/01/1974	Rua Silva Tapada	Nº 325	41°10'1.37"N	8°39'38.80"W	0,00	1	5	--
2	29/74	--	28/01/1974	Rua Antero de Quental	nº678, 1º esq	41°9'51.05"N	8°36'39.31"W	17,20	1	6	--
3	30/74	--	28/01/1974	Rua do Heroísmo	Nº 37	41°8'49.08"N	8°35'23.09"W	17,20	1	6	--
4	47/74	--	12/02/1974	Avenida Rodrigues de Freitas	--	41°8'44.99"N	8°36'1.24"W	10,20	1	6	--
5	208/74	--	24/06/1974	Rua Monte dos Burgos	Nº 19	41°10'11.02"N	8°37'32.87"W	12,90	1	6	--
6	212/74	--	25/06/1974	Avenida Paiva Couceiro	Nº 314	41°8'39.84"N	8°34'43.66"W	17,50	1	7	--
7	213/74	--	25/06/1974	Rua Cristelo	Nº 57	41°8'45.61"N	8°37'46.99"W	17,50	1	5	--
8	215/74	--	27/06/1974	Rua da Constituição	Nº 969	41°9'44.84"N	8°36'34.98"W	10,20	1	6	--
9	216/74	--	27/06/1974	Rua da Natária	Nº 99	41°10'2.56"N	8°37'25.76"W	10,20	1	5	--
10	217/74	--	27/06/1974	Rua Coronel Almeida Valente	Nº 37	41°10'31.14"N	8°36'28.48"W	10,20	1	6	--
11	218/74	--	27/06/1974	Rua Pinheiro de Campanhã	Nº 399	41°8'56.95"N	8°35'1.74"W	10,20	1	5	--
12	220/74	--	28/06/1974	Rua dos Castelos	Nº 75	41°10'2.56"N	8°37'41.11"W	5,80	1	5	--
13	221/74	--	28/06/1974	Rua Pinheiro de Campanhã	Nº 339	41°8'56.95"N	41°8'56.95"N	5,80	1	5	--
14	223/74	--	29/06/1974	Rua da Natária	Nº 99	41°10'2.56"N	8°37'25.76"W	0,10	1	5	--
15	224/74	--	29/06/1974	Rua da Natária	Nº 107	41°10'2.82"N	8°37'25.62"W	0,10	1	5	--
16	523/74	--	14/11/1974	Rua Professor Mendes Correia	Nº 131, r/c	41°10'2.82"N	8°37'25.62"W	13,30	1	5	--
17	525/74	--	14/11/1974	Rua 15 de Novembro	Nº 47	41°9'32.95"N	8°37'59.44"W	13,30	1	5	--
18	528/74	--	14/11/1974	Rua de Pedro Hispano	Nº 1397	41°9'59.46"N	8°37'37.71"W	13,30	1	5	--
19	530/74	--	14/11/1974	Avenida Fernão de Magalhães	Nº 2508	41°10'15.01"N	8°35'10.01"W	13,30	1	5	--
20	531/74	--	14/11/1974	Rua Dr. Sousa Rosa	Nº 232	41°9'25.84"N	8°40'40.85"W	13,30	1	5	--
21	532/74	--	14/11/1974	Rua Requesende	Nº 588	41°10'31.96"N	8°38'4.29"W	13,30	1	5	--
22	552/74	--	29/11/1974	Avenida Sidónio Pais	Nº 379	41°9'51.86"N	8°38'17.20"W	0,00	1	5	--
23	586/74	--	23/12/1974	Calçada da Corticeira	Fábrica da Louça	41°8'31.68"N	8°36'11.62"W	14,30	1	6	--
24	20/75	--	14/01/1975	Rua de Passos Manuel	Nº 30	41°8'50.11"N	8°36'29.49"W	10,20	1	5	--
25	21/75	--	15/01/1975	Rua do Bonfim	Nº 83	41°8'55.66"N	8°35'52.14"W	5,40	1	5	--

Figura 12 - Aspeto da base de dados no Microsoft Office Access.

3.2.3. Ficha de Inventário de ocorrências

Findado o processo de construção e inserção dos dados, procurou-se obter uma maneira de disponibilizar os mesmos de uma forma mais atrativa e explícita em comparação à forma como se encontravam na base de dados. Deste modo, no próprio *software* em que se construiu a base de dados, gerou-se um relatório (figura 13).

Este relatório é composto por vinte e sete campos, distribuídos num total de cinco grupos. O grupo I designa-se por “processo da ocorrência” e abarca, essencialmente, a informação específica de cada ocorrência. Isto é, a informação burocrática de cada ocorrência, nomeadamente, o número do processo, o código da ocorrência, a data e, por último, a classificação da ocorrência. O grupo II designado por “localização geográfica da ocorrência”, como o próprio nome indica, procura demonstrar a localização de cada ocorrência, através da informação relativa à morada, ao número de polícia, à freguesia, ao concelho, ao distrito, à latitude, à longitude, à bacia hidrográfica e à quantidade de precipitação em uma hora medida em milímetros.

Partindo da informação adquirida aquando do trabalho de campo no BSB Porto, procurou-se incluir também informação que os bombeiros utilizavam na prestação do socorro à ocorrência. Neste sentido o grupo III, intitula-se de “meios do BSB que intervieram na ocorrência”, e como já explicado, procura demonstrar de certa forma os meios disponibilizados que ajudaram no combate à inundação, como o número de bombeiros utilizado, o número de viaturas, o número total de quilómetros utilizados, a hora de entrada, a hora de saída, a duração da intervenção, a data de entrada e a data de saída, o material utilizado e, por fim, as autoridades presentes no local para além dos bombeiros.

No que concerne ao grupo IV, designado por “danos provenientes”, este corresponde aos danos que a inundação possa ter causado, ou não, tanto a nível humano como a nível material. Assim sendo, utilizou-se os campos referentes aos danos humanos e outros aos danos materiais.

Por fim, o grupo V, apelidado de “descrição da ocorrência”, como o nome indica a descrição sumária da ocorrência, onde se relata o motivo da ocorrência.



Faculdade de Letras
Universidade do Porto

FLUP

Ficha Inventário de Ocorrências

I - PROCESSO DA OCORRÊNCIA

Nº PROCESSO 4301/06 | DATA 24-11-2006
CÓDIGO OCORRÊNCIA 3500
CLASSIFICAÇÃO OCORRÊNCIA Infraestruturas e Vias de Comunicação/Inundação (Infiltração)

II - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA OCORRÊNCIA

MORADA Campo 24 de Agosto
NÚMERO POLÍCIA Estação Metro Mapa
FREGUESIA Bonfim
CONCELHO Porto
DISTRITO Porto
LATITUDE 41° 8'56.36"N
LONGITUDE 8°35'54.80"W
BACIA HIDROGRÁFICA
PRECIPITAÇÃO EM 1 HORA (mm) 0,00



III - Meios do BSB que intervieram na Ocorrência

Nº BOMBEIROS 3 | HORA ENTRADA 18:10
Nº VIATURAS 1 | HORA SAÍDA 17:45
Nº TOTAL KM 4 | DURAÇÃO INTERVENÇÃO 00:24
DATA SAÍDA 24-11-2006 | DATA ENTRADA 24-11-2006

MATERIAL UTILIZADO Sem material
AUTORIDADES PRESENTES Não esteve presente qualquer autoridade

IV - Danos provenientes

DANOS HUMANOS Sem danos
DANOS MATERIAIS Sem danos

V - Descrição Ocorrência

DESCRIÇÃO SUMÁRIA Retirada de águas pluviais da estação de metro "Campo 24 de Agosto".

Figura 13 - Exemplo do relatório gerado a partir da Base de dados

Capítulo 4. Distribuição das Ocorrências

Para se construir a base de dados estabeleceu-se como finalidade armazenar, num único local, toda a informação disponível sobre as ocorrências das Inundações Urbanas na cidade do Porto. O processo de trabalhar os dados, revelou-se essencial para o estudo, pois permitiu conceber a informação pertinente para compreender o evento das IU retratado de uma forma que antes não seria possível.

Nas alíneas que se seguem, apresenta-se os dados obtidos pela BD, tanto a nível estatístico, através da interpretação dos gráficos, como a nível espacial, a partir da espacialização das ocorrências.

Reforça-se que, os resultados obtidos são fruto de um trabalho de campo realizado no Batalhão Sapadores Bombeiros do Porto, que consistiu no levantamento dos dados disponibilizados pelos mesmos nos seus arquivos, no espaço temporal de 1974 a 2014.

4.1. Análise estatística dos resultados obtidos através da base de dados

A base de dados deteve um total de 1533 ocorrências de Inundações Urbanas, distribuídas ao longo de 40 anos. Por isso, procurou-se cruzar essas ocorrências com a restante informação presente na BD, como o ano, o mês, a morada, entre outros. Gerando assim, um total de dez gráficos, sendo estes, o número de ocorrências por ano, o número de ocorrências por mês, o número de ocorrência por dia, o número de ocorrências por freguesia, o número de ocorrência por rua, o número de ocorrências por hora de saída, o número de ocorrências por hora de entrada, o número de bombeiros que prestaram socorro por ocorrência, o número de viaturas utilizadas por ocorrência, bem como a duração que cada ocorrência obteve.

A figura 15, caracteriza o número de ocorrências que se sucederam por ano. Realizada uma análise geral da mesma, é notória a existência de uma certa oscilação no número de ocorrências. Pois, não se registam valores similares, com a exceção dos anos de 2004 e 2005 em que ambos apresentam 25 ocorrências. Apesar dessa oscilação retratada existem valores próximos, como é o caso de alguns anos da década de 80, nomeadamente, entre 1982 e 1984. É também perceptível o destaque dos anos 1989, 1997, 2001, 2002 e 2009, visto que apresentam valores de IU elevados, obtendo valores de 80 ou mais ocorrências.

Para se obter uma análise mais detalhada, discriminou-se as ocorrências por década, sendo conclusivo que a década de 2000 fora a mais afetada pelas IU. Esta apresenta valores elevados nos primeiros anos, até 2002. No entanto, verifica-se um decréscimo até ao ano de 2008, onde volta a regista-se uma subida exponencial das ocorrências no final da década.

É de salientar que, na década de 2000 localiza-se os três anos mais afetados, nomeadamente, 2001, 2002 e 2009. Englobando assim, 290 ocorrências num total de 495 que regista a década no total.

A década de 90, ao invés da anterior, apresenta valores menos díspares. Sendo que todos os valores surgem acima das 20 ocorrências, existindo assim, alguns que ultrapassam as 40 ocorrências. Note-se que, o ano mais significativo nesta época surge em 1997 apresentando valores de 80 ocorrências, num total de 469.

A década de 80, na sua generalidade, apresenta valores baixos. Todavia, os anos 1981, 1986 e 1989 destacam-se por apresentarem valores elevados, designadamente, 42, 61 e 87 ocorrências, respetivamente. Na nossa ótica, os baixos valores apresentados neste espaço temporal dos anos 80 encontram-se associados à seca que assolou Portugal nestes anos.⁷

No que diz respeito aos anos, 1974 a 1979 e 2010 a 2014, considera-se que a análise não pode ser efetuada por década, uma vez que somente apresentam dados relativos a alguns anos. Deste modo, os anos intrínsecos na década de 70 apresentam valores superiores a 20 ocorrências, exceto o ano de 1975 que, unicamente, apresenta 9 ocorrências.

Para completar a análise detalhada dos anos, o espaço temporal de 2010 a 2014, apresentam valores na ordem das 40 ocorrências com a exceção dos anos de 2011 e 2012 que exibem valores abaixo das 20 ocorrências.

Sintetizando, considera-se que existe uma grande concentração de Inundações Urbanas, mais concretamente, de 1989 até ao ano de 2002. Desde de 2010, à atualidade, o número de Inundações Urbanas revelou-se reduzido, o que poderá advir de uma melhor adaptação da cidade face à questão apresentada. Por outras palavras, a sociedade ao longo das décadas precaveu-se com medidas de forma a mitigar as Inundações Urbanas.

7

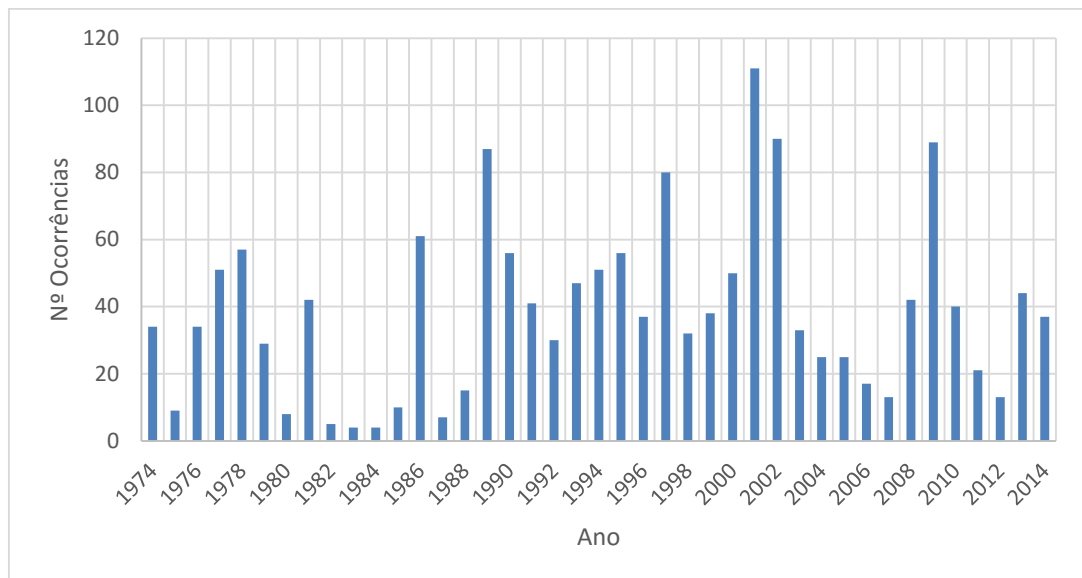


Figura 14 - Número de ocorrências de inundações Urbana na cidade do Porto distribuídas por ano (1974-2014).

A figura 15 representa a distribuição das Inundações Urbanas por mês. Numa primeira instância, esta distribuição não apresenta valores inesperados, pois os valores mais altos coincidem com os meses que, teoricamente, se considera que exista uma maior probabilidade de precipitação.

Numa análise mais detalhada, elaborou-se uma divisão do gráfico em três grupos distintos, nomeadamente, de Janeiro a Março, de Abril a Agosto e, por último, de Setembro a Dezembro. No que concerne ao primeiro grupo, o mês de Janeiro é o que mais se destaca, pois contabiliza um total de 147 ocorrências. Seguindo-se o mês de Março que regista 147 ocorrências, e por fim, o mês de Fevereiro como 101 ocorrências. Note-se que, apesar de este grupo abarcar os meses de Inverno, os valores não se apresentam como os mais elevados. Relativamente ao segundo grupo, este remete para os meses alusivos à Primavera e ao Verão, sendo que estes exibem probabilidades de precipitação mais baixas. Deste modo, como é possível verificar na figura 16 o mês de Maio surge como o mais afetado, contabilizando 59 ocorrências. No entanto, este grupo contém os meses em que se registam um menor número de ocorrências, tal como se pode verificar no mês de Julho. Quanto ao grupo três considera-se que este é de todos o mais afetado pelas IU. Pois o mês de Outubro e Dezembro evidenciam ambos 307 ocorrências e o mês de Novembro 207.

Contudo, o mês de Setembro apresenta valores similares aos meses inseridos no grupo um. Distanciando-se assim, dos meses deste grupo que apresentam valores elevados de inundações.

Em síntese, através desta análise verifica-se que os meses de Inverno são os mais afetados do que os de verão. Realça-se que, os meses de Outubro e de Dezembro, são os mais afetados com a particularidade de apresentarem o mesmo valor. Em contrapartida, o mês de Julho é o que apresenta valores mais baixos de inundações.

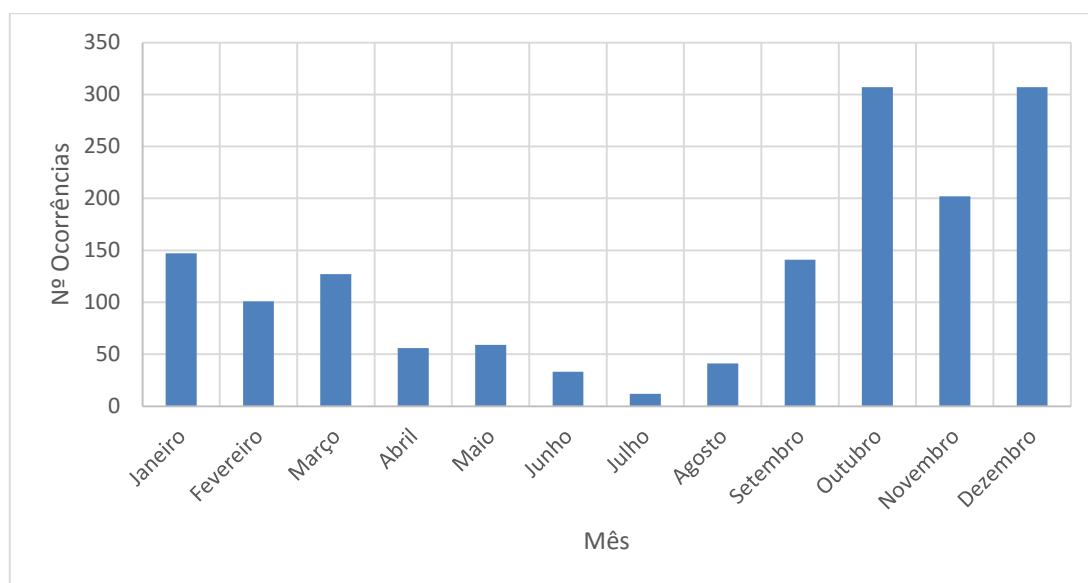


Figura 15 - Número de ocorrências de inundações Urbana na cidade do Porto distribuídas por mês (1974-2014).

Seguidamente a figura 16, representa os 20 dias que apresentam um maior número de ocorrências de Inundações Urbanas na cidade do Porto. Este gráfico serve, essencialmente, para demonstrar, os dias mais afetados. Deste modo, o dia 13 de Setembro de 1986 destaca-se dos restantes, uma vez que surge como o mais afetado, contabilizando 20 ocorrências. Posteriormente, emerge com 18 ocorrências os dias, 23 de Setembro de 1989 e 22 de Dezembro de 2009. Acima das 10 ocorrências diárias surgem os restantes dias de 23 de Novembro de 1996, 14 de Outubro de 1990, 15 de Novembro de 1995, 7 de Outubro de 1993, 21 de Dezembro de 1989 e por último, o dia 24 de dezembro de 2002. As restantes datas obtiveram um valor de 10 ocorrências ou inferior a este.

É de ressaltar o ano de 1989, devido ao número de ocorrências assinaladas, visto que em vinte registra cinco, o que confrontando com a figura 15, vai ao encontro dos dados, onde o ano de 1989 surge como um dos mais críticos. Ademais, os dias mais afetados correspondem com os dados obtidos na figura 16, onde mês de Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro surgem com níveis de ocorrências mais elevados.

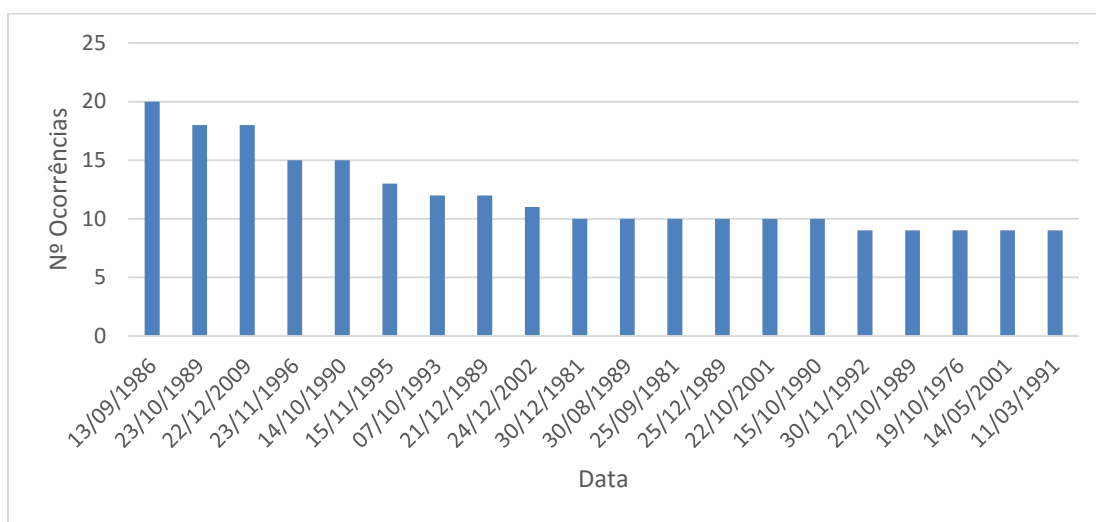


Figura 16 - Dias em que se registaram um maior número de ocorrências de Inundações Urbanas na cidade do Porto (1974-2014).

A figura 17 evidencia a distribuição das Inundações Urbanas por freguesia na cidade do Porto. Embora se encontre em vigor uma recente reorganização administrativa instaurada pelo Decreto-Lei nº 22/2012 de 30 de Maio, neste projeto, os dados são apresentados com as freguesias antes desta reorganização administrativa.

Observando a figura 18, contata-se que existem 4 freguesias que se destacam das restantes, nomeadamente, as freguesias de Campanhã, Cedofeita, Paranhos e Ramalde. Deste conjunto, a freguesia de Paranhos é a que apresenta valores maiores de inundações, assinalando 277 ocorrências em 40 anos, seguida da freguesia de Ramalde com 214 ocorrências. Quanto às freguesias de Campanhã e Cedofeita estas apresentam 201 e 200 ocorrências, respetivamente.

Acima das 50 ocorrências surgem as freguesias do Bomfim, da Foz do Douro, de Massarelos e a de Santo Ildefonso. As restantes freguesias ostentam valores inferiores a 50 ocorrências. Apresentando-se assim, como as freguesias menos afetadas por este fenómeno.

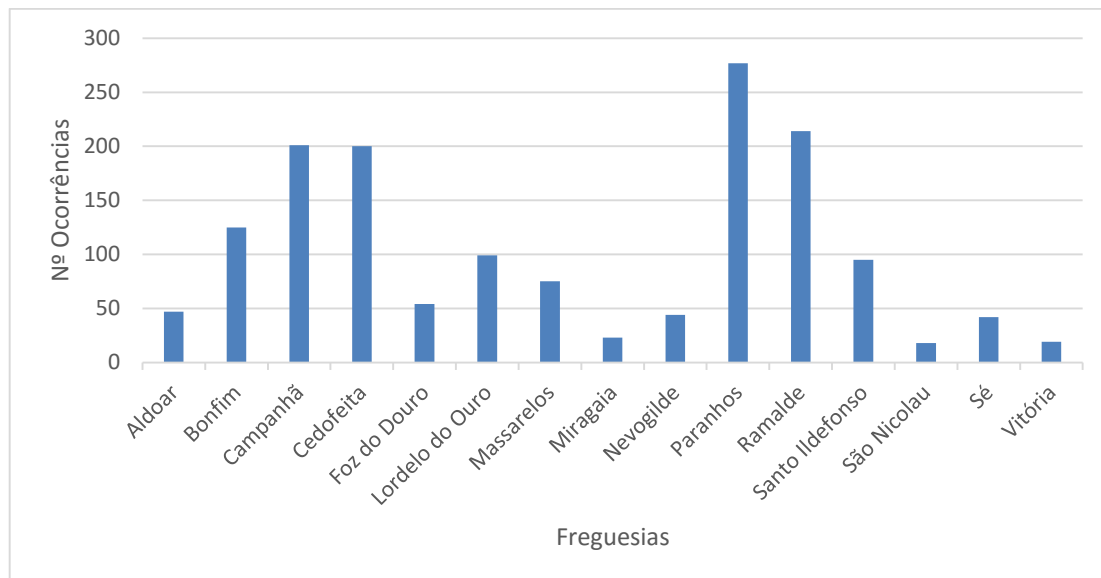


Figura 17 - Número de ocorrências de inundações Urbana na cidade do Porto distribuídas por Freguesia (1974-2014).

Analisando o número de ocorrências que se registaram por ruas na cidade do Porto, (Figura 18), a Via de Cintura Interna (VCI) é a rua mais afetada registando um total de 66 ocorrências. No entanto, este número elevado de inundações deve-se, fundamentalmente, ao comprimento da via em questão, visto que esta se estende por 10 quilómetros. Esta dimensão reflete-se numa maior probabilidade de abarcar um maior número de ocorrências. Porém, apesar da via registar um vasto comprimento, as inundações confinam-se a locais precisos, como por exemplo, adjacente à urbanização do foco.

Continuamente, ainda acima das 30 ocorrências assinalam-se a Avenida da Boavista; a Avenida Gustavo Eiffel; a Rua Justino Teixeira; e, por último, a Rua de Entrecampos, muitas vezes, designada por equívoco, como Via Panorâmica. Entre as 20 e as 30 ocorrências, ocorrem a Estrada da Circunvalação, a Rua Barão de Forrester e a Praça Nove de Abril, também conhecida como Jardim de Arca d'Água. Por fim, com 20 ocorrências cada, apresentam-se a Avenida Fernão Magalhães e a Rua de Santa Catarina.

Convém referir que, as vias apresentadas são as mais problemáticas da cidade do Porto nos anos de 1974 a 2014. No entanto, como o espaço temporal do estudo é longínquo, atualmente, algumas destas ruas já sofreram remodelações, o que atenuou o problema ou até mesmo erradicou-o, como é o caso da Rua Justino Teixeira. Este problema resolveu-se aquando das obras do metro

do Porto e a Rua Barão de Forrester. Importa evidenciar ainda que, este número elevado de inundações nem sempre surge de problemas da via. Pois, constata-se que estas ocorrem, principalmente, através da escassez de limpeza das bocas de lobo. Aquando de chuvas intensas, as bocas de lobo não suportam a grande quantidade de água e transbordam, inundando a via.

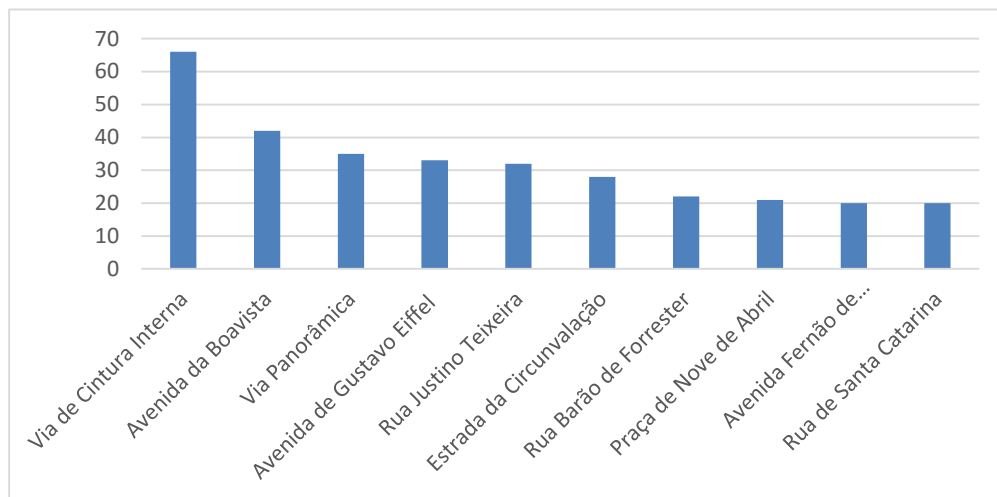


Figura 18 - Ruas da cidade que registaram 20 ou mais ocorrências de Inundações Urbanas (1974-2014).

Partindo dos dados, adquiridos nos Bombeiros Sapadores do Porto, inclui-se na base de dados, informação direcionada para representara magnitude das ocorrências, como por exemplo, o número de bombeiros envolvidos.

A figura 19 expressa, claramente, o horário de saída dos bombeiros. Mais concretamente, as horas em que os bombeiros são convocados, através de uma chamada telefónica, para uma ocorrência de várias problemáticas, dentro destas as inundações urbanas. Note-se que, a deslocação deste para o respetivo local ocorre de forma célere.

Assim sendo, existe três picos horários, o primeiro sucede-se por volta das 11 horas, o segundo por volta das 14 horas e o terceiro por volta das 16 horas. Para além destes três picos, verificou-se que desde as 7 horas às 23 horas o número de chamadas telefónicas é superior. Em contrapartida, das 24 horas até as 7 horas, constatou-se a existência dos valores mais baixos. Estes valores podem ser explicados pelo facto das horas tardias a que se verificam.

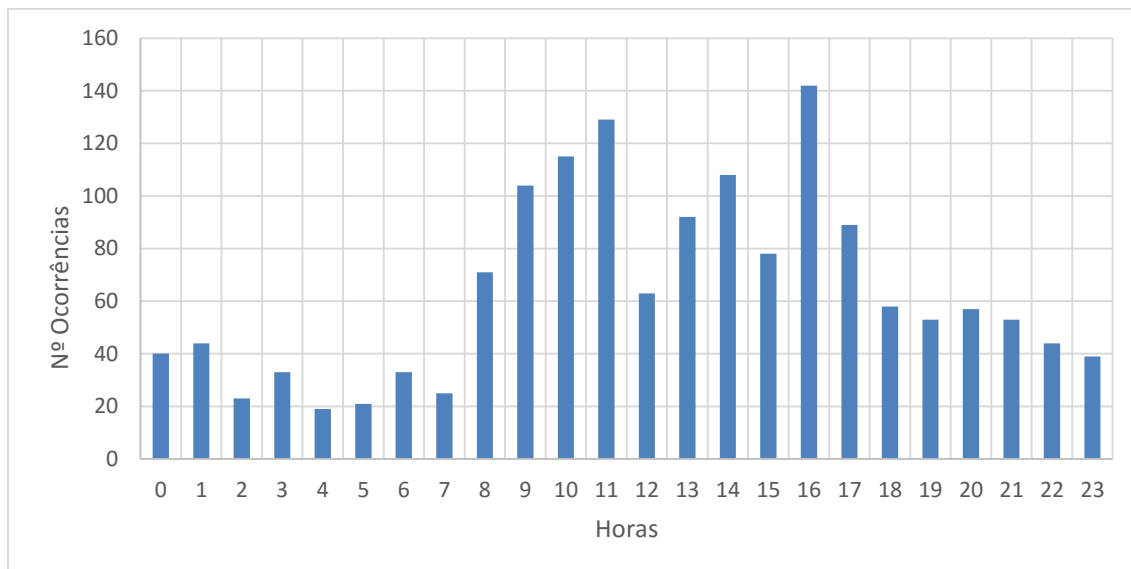


Figura 19 - Horário de saída dos bombeiros envolvidos nas ocorrências de inundações urbanas na Cidade do Porto (1974-2014).

Em contrapartida, o horário de entrada dos bombeiros consiste na entrada destes no quartel simbolizando o fim da prestação à ocorrência ou em alguns casos da mudança de turno, quando a ocorrência assim o exige, devido à sua magnitude (figura 20).

De tal forma, é possível verificar que neste caso os maiores picos horários centram-se nas 12 horas, nas 15 horas e nas 18 horas, o que nos leva a confrontar com os resultados da figura 20. Dado que, os picos horários, em média ocorrem uma hora antes, mais concretamente, às 11 horas, às 14 horas e às 17 horas.

Resumidamente, os dados intrínsecos na figura 19 e na figura 20 complementam-se. Visto que, quando uma das figuras regista valores mais altos a outra atinge-os também. Contudo, apresentam a particularidade do tempo em que os bombeiros se encontram no terreno a prestar auxílio à referente inundação ser distinto.

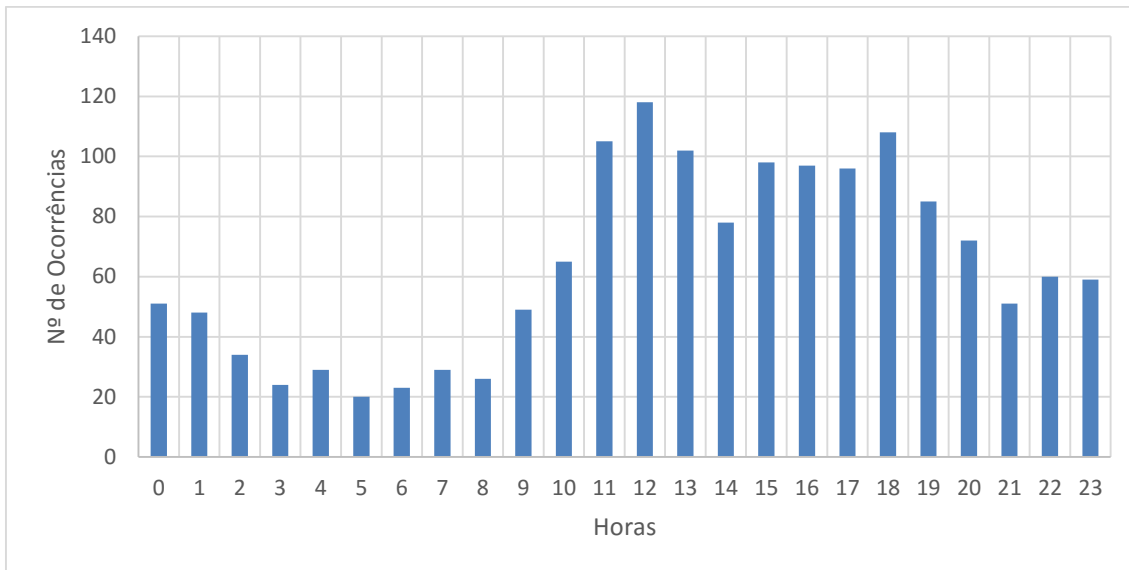


Figura 20 - Horário de entrada dos bombeiros envolvidos nas ocorrências de inundações urbanas na Cidade do Porto (1974-2014).

A figura 21, caracteriza-se pela duração em que ocorre a prestação do socorro. Ao analisar o evidencia-se que na maioria dos casos é necessária uma hora para o socorro a uma determinada ocorrência. Existem algumas situações em que a resposta é mais rápida (30 minutos) ou mais demorada, não havendo registo, no período em análise, da duração ter excedido as 13h e 30m.

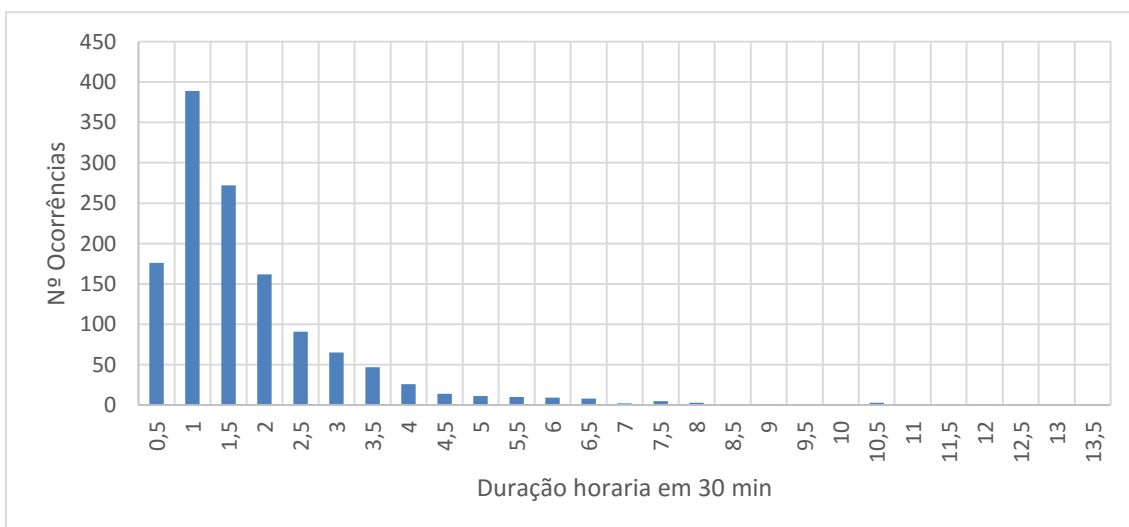


Figura 21 - Duração do socorro às ocorrências de inundações urbanas na Cidade do Porto (1974-2014).

Note-se que, em cerca de 700 ocorrências foi necessário a intervenção de quatro bombeiros, tal como ilustrado pela figura 22. Além disso, averigua-se que o número de ocorrências que exigiu a intervenção de três ou cinco bombeiros foi elevado. Ressalta-se que apenas foi necessária a intervenção de um único bombeiro numa ocorrência.

Ademais, a existência de queda de chuvas intensas, no dia vinte de Dezembro de 1983, na Rua da Torrinha, necessitou da intervenção de trinta e oito bombeiros. Esta ocorrência provocou várias derrocadas, acabando por se registar a perda de uma vida humana.

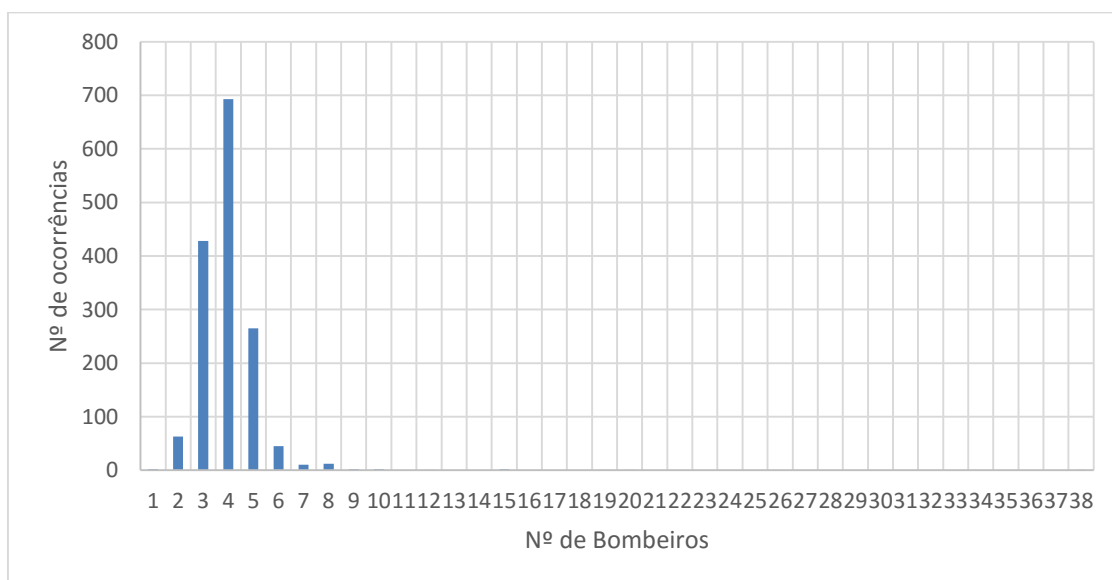


Figura 22 - Numero de bombeiros envolvidos durante as ocorrências de inundações urbanas na Cidade do Porto (1974-2014).

A figura 23, é representativa do número de veículos que apoiam os bombeiros aquando do socorro às ocorrências. De uma forma geral, os bombeiros auxiliam-se por um veículo que em média transporta quatro a cinco bombeiros. Verificando-se um valor elevado expresso figura 24. A utilização de dois veículos também são frequentes o que provavelmente representa as ocorrências em que o número de bombeiros é mais elevado.

Salvo estes valores já referenciados, são também utilizados três ou quatro veículos para algumas ocorrências, embora apresentem valores reduzidos face aos outros mencionados.

Tal como, na figura anterior, a ocorrência na Rua da Torrinha, ganha destaque, pois foi necessária a utilização de treze viaturas, como é observável na figura abaixo.

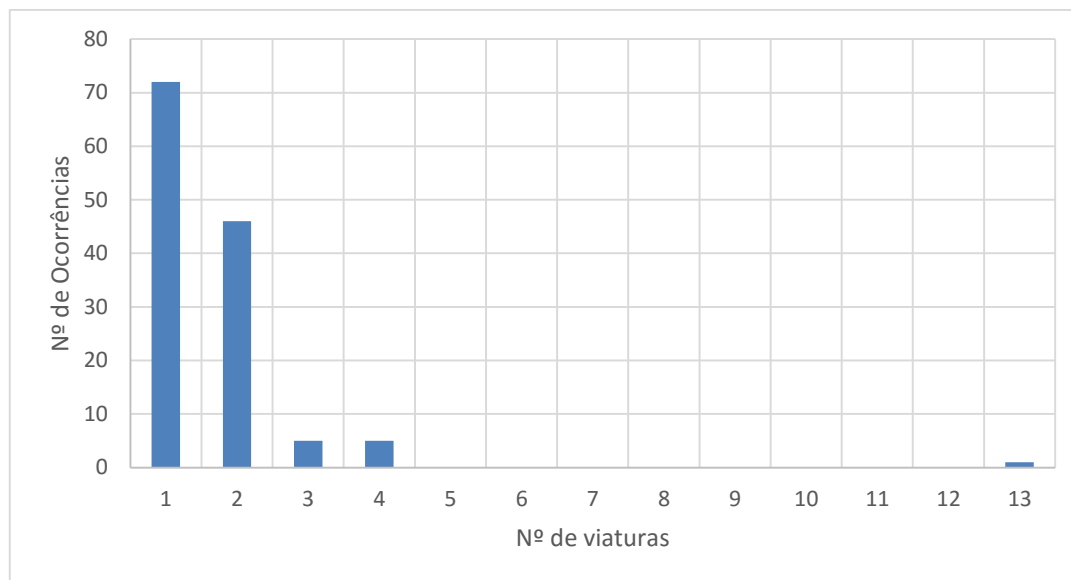


Figura 23 - Numero de viaturas dos bombeiros envolvidos durante as ocorrências de inundações urbanas na Cidade do Porto (1974-2014).

4.2. Análise cartográfica dos resultados obtidos através da base de dados

Tal como explicitado no capítulo anterior, os dados foram adquiridos no BSB do Porto com o consentimento do Departamento da Autoridade Nacional de Proteção civil do Porto e através da consulta de alguns jornais nacionais, nomeadamente, o Jornal de Notícias, o Diário de Notícias o Expresso e o Público. De seguida, converteu-se os dados georreferenciados do *Google Earth* em (*kmz*) para *shapefile (shp)*, de forma a representar cartograficamente os dados no *software ArcGis10.2*.

4.2.1. Distribuição espacial das Inundações Urbanas na cidade do Porto

Ao efetuar-se uma análise detalhada da figura 24 observa-se a distribuição espacial das Inundações Urbanas na cidade do Porto ao longo do espaço temporal, compreendido entre 1974 e o ano transato de 2014. Deste modo, torna-se evidente que as IU encontram-se distribuídas pela

área de estudo. Porém, apesar desta vasta distribuição, existe uma maior concentração de ocorrências no centro do município. Estas podem ser motivadas pelo facto de a aglomeração se localizar na zona mais antiga da cidade, a designada, zona histórica. Visto que, esta apresenta uma maior longevidade e uma qualidade de construção e de infraestruturas à partida mais deficitárias, o que pode conduzir ao aglomerado observado na figura 24. Para além do fatores elencados, realça-se também a concentração do edificado ser mais acentuada nesta área da cidade comparativamente com os limites do concelho, bem como a sua topografia. Note-se que, atribui-se a esta concentração um menor número de espaços verdes, uma vez que a mesma evidencia um maior espaço urbanizados. Por outras palavras, existe uma maior percentagem de áreas impermeáveis do que áreas permeáveis.

A zona histórica do Porto é dotada de algumas vias que apresentam um declive considerado, o que leva em alguns pontos a uma grande acumulação de água. Além disso, o declive e os cursos de água, maioritariamente encanados, contribuem também para esta aglomeração.

Relativamente, à zona litoral do concelho constata-se que existe também uma aglomeração de Inundações Urbanas, embora de dimensões reduzidas, uma vez que esta zona também é considerada uma zona antiga e histórica da cidade, designadamente, a Foz Velha.

A figura 25, evidencia as Inundações Urbanas registadas no dia 13 de Setembro de 1986. Realça-se que, a escolha da data deveu-se ao facto deste evento dentro do período de análise corresponder ao dia mais afetado pelas Inundações, sendo contabilizadas um total de 20 ocorrências, tal como consta nos dados apresentados na Base de dados.

Analisando com rigor, a distribuição verifica-se através de dois polos que se destacam como os mais afetados pelas Inundações Urbanas, um localizado no centro da cidade do Porto e outro localizado na parte ocidental da cidade. Apesar da existência destes dois polos, é no centro da cidade que se confirma a maior concentração de ocorrências. Por sua vez, a parte ocidental da cidade apresenta as ocorrências mais dispersas, nomeadamente, em locais isolados uns dos outros. Um aspeto curioso é o facto de na parte Oriental da cidade somente se ter registado uma ocorrência. Destaca-se que, este dia teve uma precipitação máxima horária de 15,1 mm, segundo os dados da estação meteorológica da serra do Pilar.

Assim sendo, o dia 13 de Setembro de 1986 foi o dia que se registou o maior número de ocorrência, tal como explicita a figura 26. Relativamente, ao dia 23 de Outubro de 1989, este contabiliza um total de 18 ocorrências, caracterizando-se assim, como o segundo dia mais crítico

no que concerne ao fenómeno das IU, figura 26. Neste dia a precipitação máxima horária foi também de 15,1 mm. Contrariamente, ao dia com mais ocorrências, onde se verificou uma dispersão. Este dia deteve as ocorrências concentradas no centro da cidade, salvo duas ocorrências que se verificaram mais dispersas, nomeadamente, uma na parte Oriental e outra na parte Ocidental.

Esta concentração de ocorrências no centro da cidade reforça a ideia da intensa utilização do solo, através da urbanização, o que torna o solo impermeável. Concebendo assim, uma maior probabilidade de ocorrência de Inundações Urbanas.

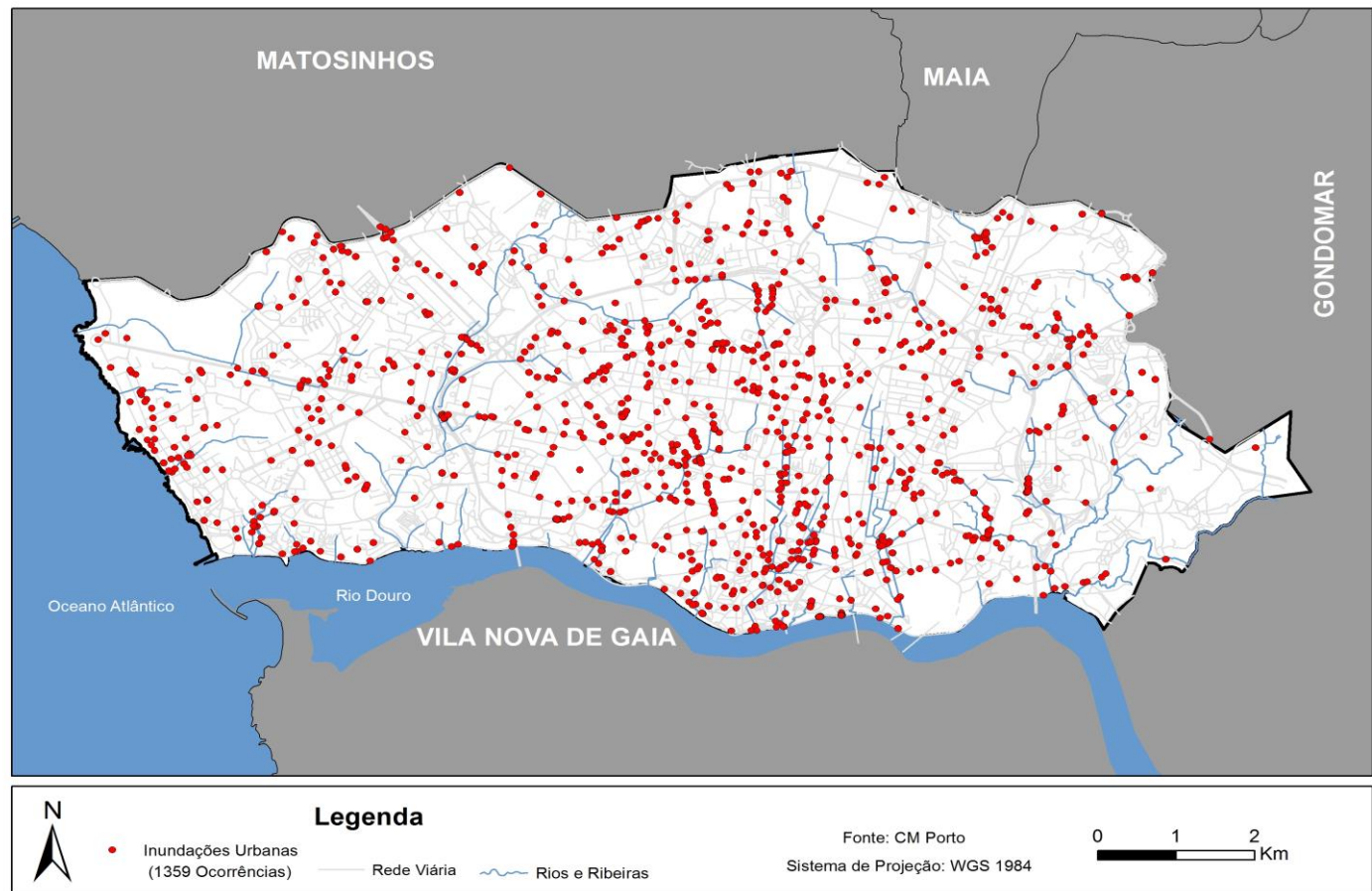


Figura 24 - Distribuição das Inundações Urbanas na cidade do Porto (1974-2014).

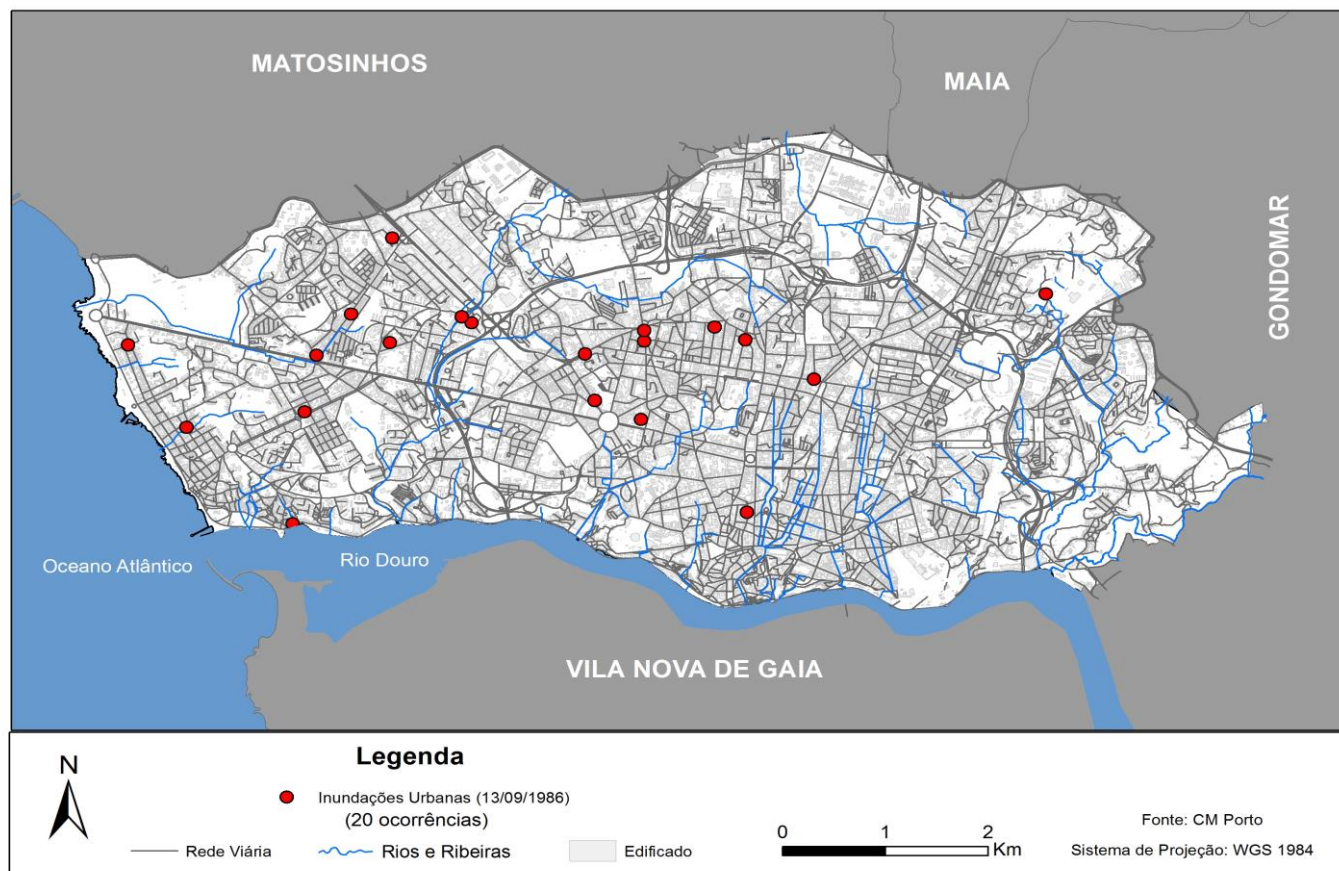


Figura 25 - Distribuição das Inundações Urbanas na cidade do Porto a 13/10/1986.

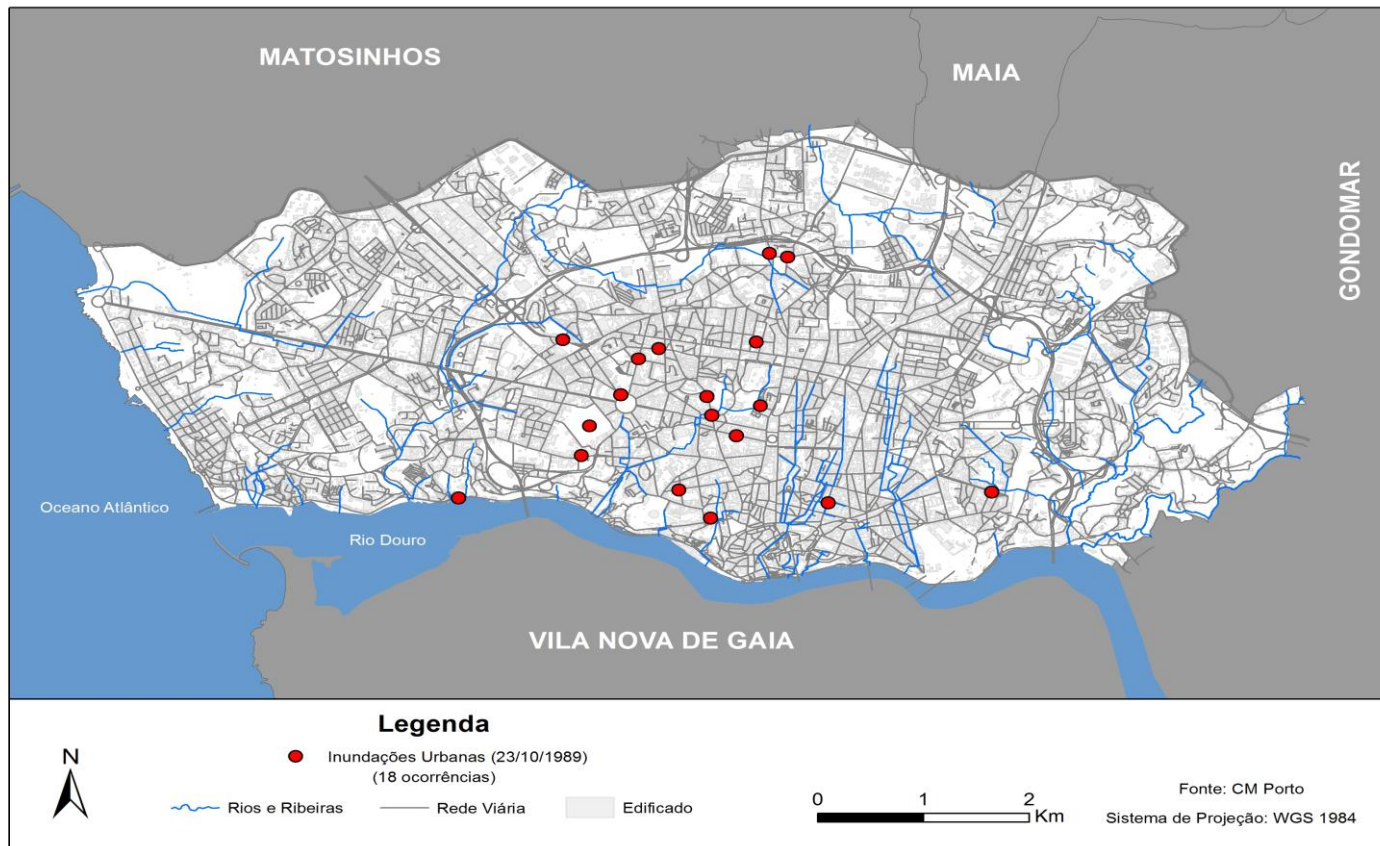


Figura 26 - Distribuição das Inundações urbanas na cidade do Porto a 23/10/1989.

4.2.2. Ilustração das ruas mais afetadas pelas Inundações Urbanas

Após a distribuição das ocorrências de Inundações Urbanas na cidade do Porto, figura 24, identificou-se os dois dias mais críticos no espaço temporal deste estudo. (Figura 25 e 26) Posteriormente, procedeu-se à ilustração das ruas mais afetadas pelas Inundações Urbanas, com o propósito de representar as vias mais afetadas pelas IU, a figura 27.

Metodologicamente, dividiu-se as ruas em três classes distintas, definindo como critério principal o número de inundações por rua. Realça-se que, as ruas identificadas a amarelo foram inundadas entre dez a vinte vezes nos 40 anos de estudo, as identificadas a cor-de-laranja foram inundadas entre vinte a trinta vezes e, por último, a vermelho as ruas inundadas entre trinta e quarenta vezes.

Descriminando classe a classe, a primeira classe identificada a amarelo, representa várias ruas, nomeadamente, a Avenida da Associações Empresarial do Porto, a Avenida de França, Largo do Priorado, Rua da Areosa, a Rua da Constituição, a Rua de Avelino Ribeiro, a Rua de Pedro Hispano, a Rua de Santa Catarina, a Rua Direita de Francos e por último a Rua do Marechal Saldanha. No que diz respeito à segunda classe, a cor-de-laranja, esta representa a Avenida de Fernão Magalhães, a Estrada da Circunvalação, a Praça de Nove de Abril e a Rua do Barão de Forrester. Em relação à terceira e última classe, colorida a vermelho, identifica as ruas mais afetadas, sendo estas, a Avenida da Boavista, a Avenida de Gustavo Eiffel, a Rua de Justino Teixeira, a Rua de Entrecampos e, por fim, a Via de Cintura Interna.

Analisando os resultados conclui-se que, vão de encontro aos obtidos na figura 18, pois a Via de Cintura Interna surge como a mais afetada, contabilizando 66 ocorrências de Inundações Urbanas. Todavia, importa ressaltar que, a VCI no mapa surge na classe entre 30 a 40 ocorrências. Esta discrepância de dados, resulta da impossibilidade de Georreferenciar todas as ocorrências, fruto da imprecisão do local. Assim, surgem ruas em que não são contabilizadas todas as Inundações como explicitado no capítulo “3.1.2. Georreferenciação das ocorrências”.

Portanto, a VCI, a Avenida da Boavista e a Rua de Entrecampos surgem como as mais afetadas. A VCI devido ao seu extenso tamanho que ocupa uma área considerável da cidade. A Avenida da Boavista, possivelmente, apresenta o mesmo motivo. Por fim, a Rua Entrecampos, justifica as IU através da intervenção antrópica aquando da construção da mesma, uma vez que se criou uma área deprimida. Pois, quando a precipitação é mais intensa, a água acumula nas cotas

mais baixas origina uma inundação. Embora detenha um número considerável de bocas de lobo, estas não são suficientes e encontram-se, muitas vezes, obstruídas com lixo, tal como observável no trabalho de campo.

Com regessos de inundações inferiores, surge a estrada da circunvalação, que também se pensa ser devido ao seu tamanho e a Rua Barão de Forrester entretanto foi resolvida.

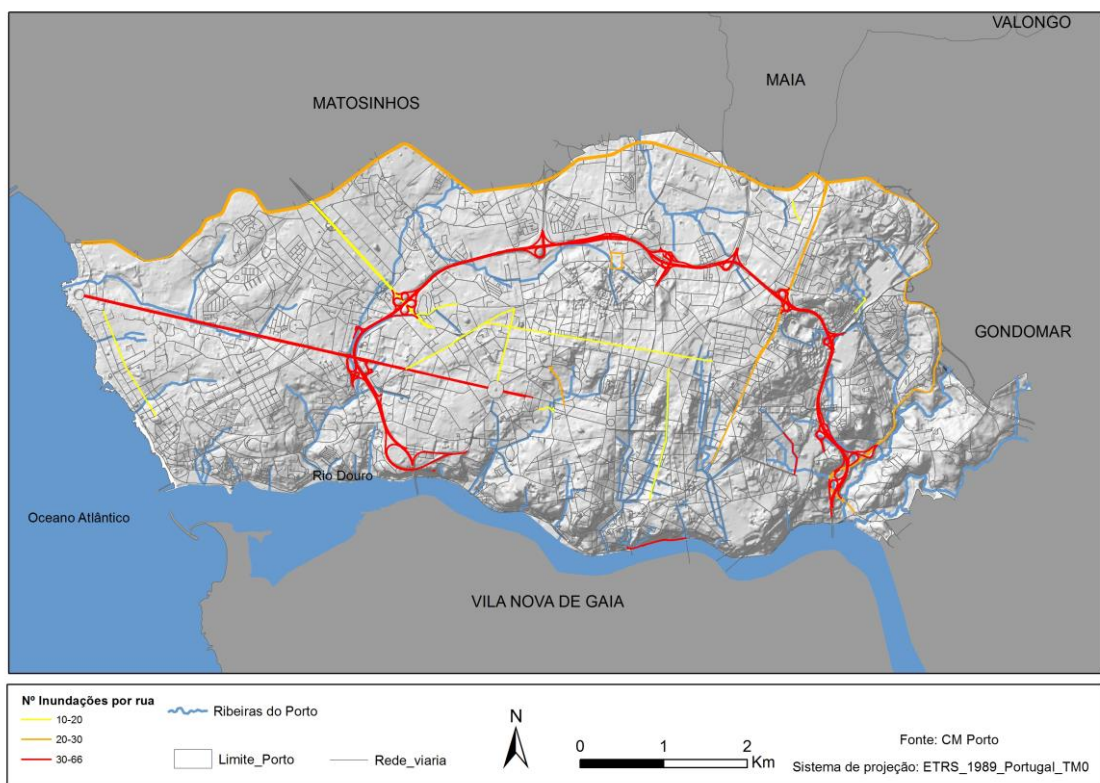


Figura 27 - Ruas mais afetadas pelas Inundações urbanas na cidade do Porto (1974-2014).

Após realizada a análise às ruas da cidade selecionou-se as duas ruas mais afetadas pelas Inundações urbanas, tendo como propósito analisar detalhadamente cada uma. Deste modo, a primeira escolha recaiu na Avenida Gustavo Eiffel, que registou entre 1974 a 2014 um total de 33 ocorrências de IU. Contudo, importa referir que assim como houve problemas de georreferenciação com a via de Cintura Interna, explicado anteriormente, a Avenida Gustavo Eiffel, também se tornou uma via complicada de georreferenciar as ocorrências. Apesar de se ter georreferenciado todas, foi necessário uma visita ao terreno para se perceber a morfologia desta

via, sendo possível identificar três áreas diferentes (figura 29), nomeadamente, junto ao túnel da ribeira, no centro da via adjacente à escarpa das fontainhas e contíguo à ponte do Infante.

Como se tornou possível observar aquando da visita ao campo, o problema maior desta via, incide nas suas bocas de lobo, devido a dois fatores distintos, nomeadamente, o insuficiente número de bocas de lobo que esta via dispõe e a insuficiência destas mesmas, que apesar de serem poucas encontravam-se entupidas. Impossibilitando assim, a rápida e eficiente drenagem das águas pluviais.

Um fator de impacto para a ocorrência de inundações nesta via prende-se com a escarpa das fontainhas, (figura 28) também conhecida por escarpa dos guindais. Em nos dias de precipitações intensas, a água escorre pela mesma, originando o corte de trânsito e desabamento de terras e de muros⁸.



PORTO ÁGUA A CAIR NA ESCARPA AFETA TRÂNSITO A situação não é inédita, mas assusta e bem quem circula na Avenida de Gustavo Eiffel, junto à escarpa dos Guindais, em momentos de muita chuva, como ao fim da tarde de ontem.

Figura 28 - Excerto de uma notícia de Inundação na Avenida Gustavo Eiffel. (Fonte: Jornal de Notícias)

Todavia, em 2015, a via em questão enfrentou obras de requalificação. Na qual se procedeu a uma melhoria do pavimento e também à consolidação e fortificação da escarpa. Apesar de as obras, podem vir a melhorar ou atenuar o número de inundações. Destaca-se que, estas existirão sempre devido ao número de nascentes presentes na escarpa e pelo facto de não ter-se visto nenhuma intervenção subterrânea, com vista a melhorar o sistema de drenagem desta via.

⁸ <http://www.publico.pt/sociedade/noticia/inundacoes-fazem-desalojados-no-porto-9982> acessido em Setembro de 2015

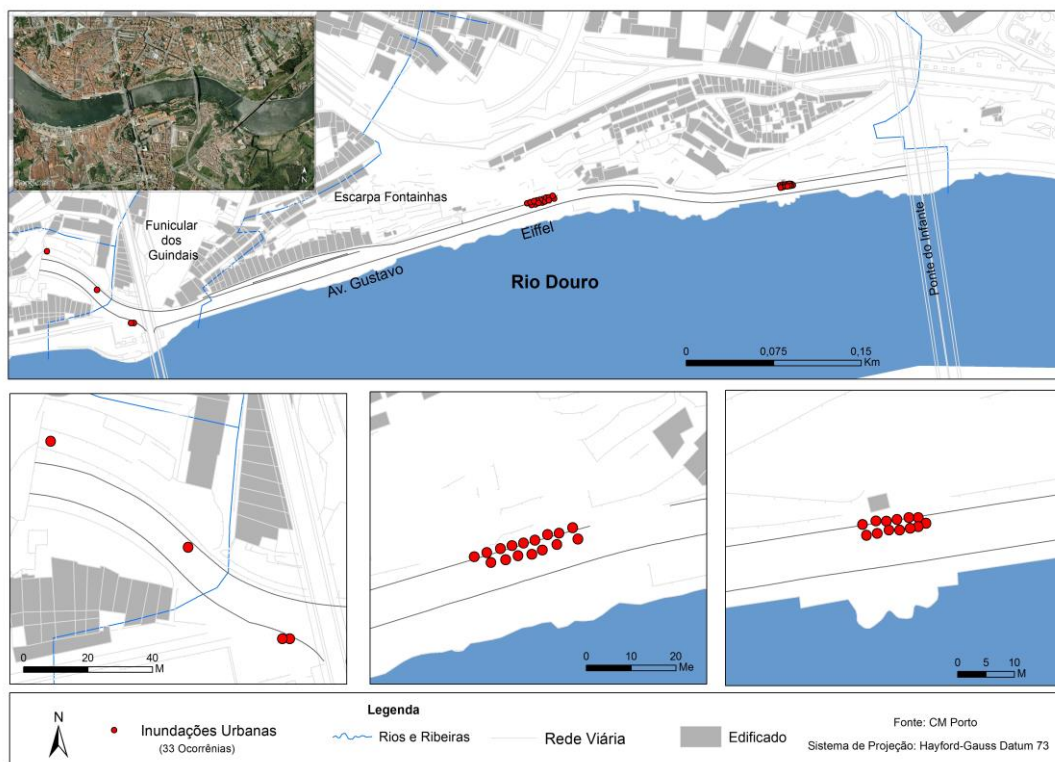


Figura 29 - Distribuição de Inundações Urbanas na Av. Gustavo Eiffel (1974-2014).

A segunda escolha recaiu na Rua de Entrecampo, que também é uma das ruas mais afetadas pelas IU, com 37 ocorrências contabilizadas. (figura 30). Morfológicamente, este local em questão é uma área deprimida resultante da intervenção humana aquando da construção da via. Pois, funciona como ponto de concentração e reservatório de águas pluviais, quando ocorre, episódios de precipitação intensa.

A Avenida Gustavo Eiffel, a Rua Entrecampos e as bocas de lobo também evidenciam um problema na prevenção das IU, não pelo facto de serem poucas, porque até se apresenta um número elevado de bocas de lobo, mas apesar desta diversidade estas encontram-se, constantemente, obstruídas, o que impossibilita a drenagem da água para o sistema subterrâneo.

À semelhança da via apresentada anteriormente, este local é também atravessado por nascentes de água. Considera-se que aliado às condutas com o tamanho inapropriado tornam-se incapacitadas de drenas com eficácia as águas pluviais.

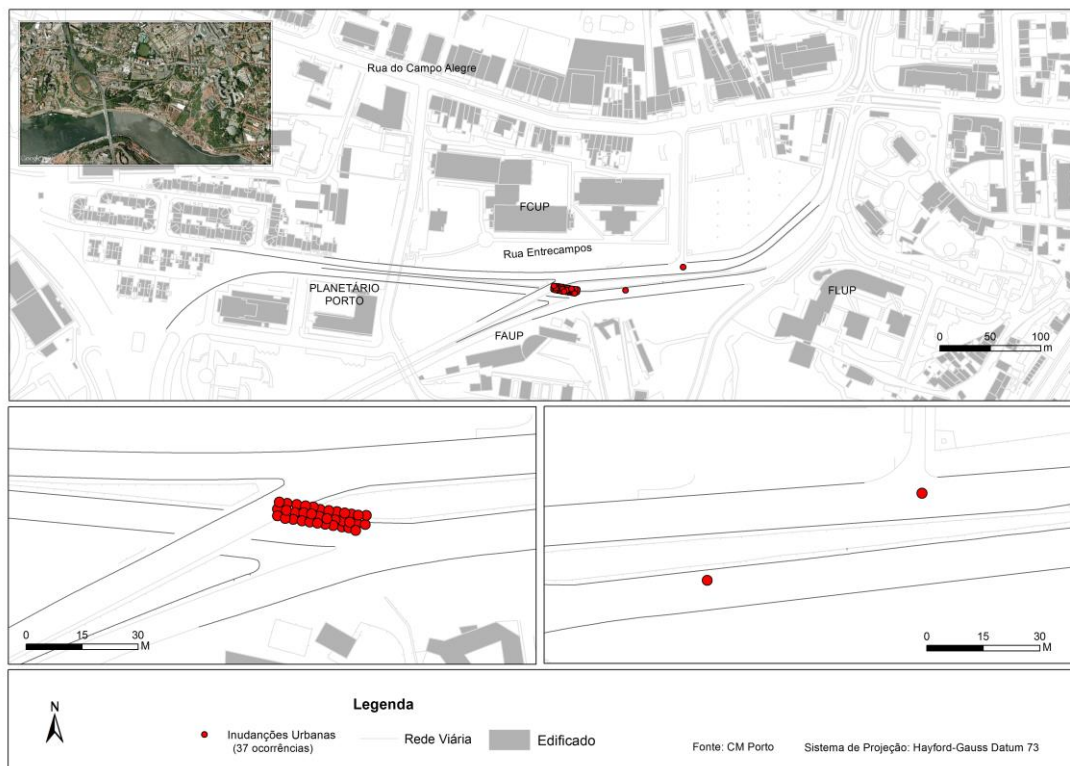


Figura 30 - Distribuição de Inundações Urbanas na Rua de Entrecampos (1974-2014).

4.2.3. Definição dos locais mais críticos de Inundações urbanas

A figura 31 evidencia a densidade de ocorrências de IU, na cidade do Porto. Para a concretização deste mapa foi empregue a aplicação do estimador de densidades *Kernel*. Segundo Seaman (1996) esta fórmula determina a densidade de pontos que existem a partir de um ponto central e segundo um raio de influência.

Posto isto, foi aplicado um tamanho de célula de 10 metros e foram realizadas algumas experiências, no que concerne ao tamanho do raio para determinar o que melhor se adapta à função pretendida. Desta forma, foram experimentados três diferentes tamanhos de raios, nomeadamente, 1000 metros, 500 metros e 250 metros.

Depois de analisados os três resultados, determinou-se que o tamanho que se adaptava melhor era o raio de 250 metros, uma vez que definia de forma mais explícita os setores representativos dos locais mais críticos de IU.

Definidos o tamanho e o raio da célula, tornou-se possível elaborar o mapa da densidade de ocorrências. Para isso, estabeleceu-se seis diferentes classes, sendo que, a primeira representa uma densidade baixa, a segunda uma densidade média-baixa, a terceira uma densidade média, a quarta uma densidade média-alta, a quinta uma densidade alta e, por fim, a sexta uma densidade muito alta.

Como já se concluiu, anteriormente, na figura 25, a densidade de ocorrências é mais vinculada no centro da cidade, uma vez que é o local onde se registou um número maior de ocorrências, devido à escassez de espaços verdes, o que torna o espaço mais impermeável.

Um dos motivos desta concentração, pode ter haver com o facto de ser uma área antiga e as bocas de lobo não serem, suficientemente, largas e grandes para dar vazão à água pluvial que atinge a cidade. O sistema de esgotos, instaurado na cidade, pode não ser o suficiente para drenar eficazmente a águas. No entanto, é importante realçar que estas conclusões baseiam-se em suspeitas, adquiridas com o trabalho de campo realizado ao longo do ano, carecendo de estudos científicos que as comprovem.

Efetuada uma abordagem mais detalhada da figura 31, ressaltam-se quatro pontos que apresentam uma densidade alta ou muito alta como é o caso da Rua Justino Teixeira, da Avenida Gustavi Eiffel, da Rua de Entrecampos e da Avenida de França.

A zona ocidental da cidade apresenta ainda algumas áreas classificadas como uma densidade média e alguns pontos em que apresenta uma densidade média-altas. No setor nordeste do município, apresenta densidades mais elevadas classificadas em média-alta e alta. O restante território do município ostenta valores classificados como baixos e muito baixos não tendo muito impacto na cidade.

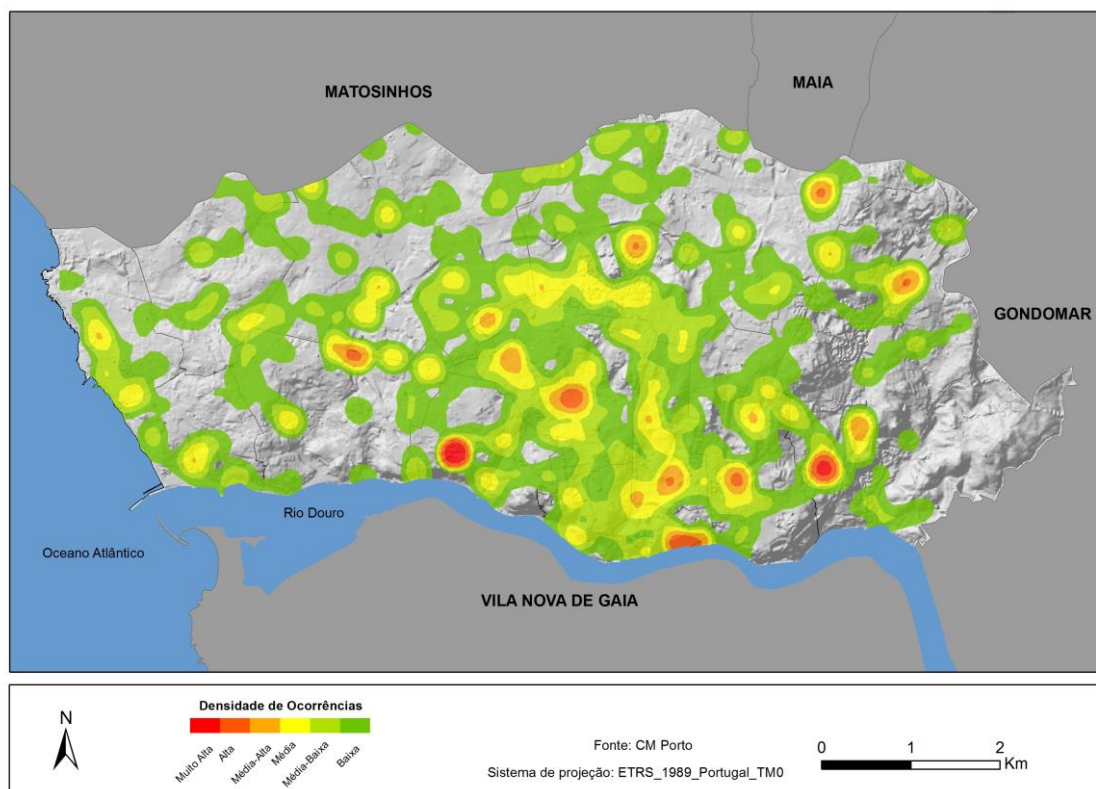


Figura 31 - Densidade de Inundações urbana na cidade do Porto (1974-2014).

A figura 32, representa as áreas mais críticas da cidade do porto no que concerne às ocorrências de inundações urbanas na cidade do Porto.

A metodologia aplicada no mapa resultou na mesma aplicada no das densidades de ocorrências (figura 31), contudo, apenas se usaram as áreas assinaladas com as classes média e acima destas, uma vez que, o que se pretende ilustrar é as áreas mais críticas e não todas.

Uma vez reunida e aplicada a metodologia, identificou-se os locais mais críticos da cidade do Porto, afeto às inundações urbanas. Pela análise da figura 32, reforçada com a tabela 3 identificam-se dois locais que apresentam uma densidade de ocorrências muito alta, como é o caso da Rua de Entrecampos e a Rua Justino Teixeira, com uma densidade mais reduzida, embora ainda classificada como elevada, surge a Via de Cintra Interna, junto á urbanização do Foco, a Avenida Gustavo Eiffel, o Campo 24 de Agosto, a Praça 9 de Abril, Rua Areosa, a Rua Avelino Teixeira, Rua de Santa Catarina, e a Rua Barão de Forrester, com uma classificação Média-Alta, surge a Rotunda da Bonjóia, a Avenida de França, a Rua Pedro Hispano, a Praça da Liberdade, a Rua Marechal Saldanha, a Avenida Fernão Magalhães e por fim, a Rua de Camões.

Convém referir que, as ocorrências assinaladas resultam desde o ano de 1974, o que permitiu que certos locais com o decorrer dos anos se tenham sido resolvidos, através da elaboração de possíveis obras na via. Destaca-se vários exemplos, tais como, a Rua Justino Teixeira, uma das mais afetadas, que aquando das obras da construção do metro em Campanhã deixou de registar ocorrências; a Avenida de França, que antigamente registava significativas ocorrências adjacentes à ponte ferroviária, existente na altura. Porém, deixaram de existir devido à reformulação que esta via sofreu aquando da construção da estação do metro da Casa da Música; e, por último, a Rua Avelino Ribeiro e a Rua Barão de Forrester que registavam ocorrências constantes, mas que nos últimos anos estas também se deixaram de verificar.

Em contrapartida, o Campo 24 de Agosto, sofreu um revés no que consta às ocorrências. Pois, somente começou a verificar-se ocorrências com a construção da estação do metro.

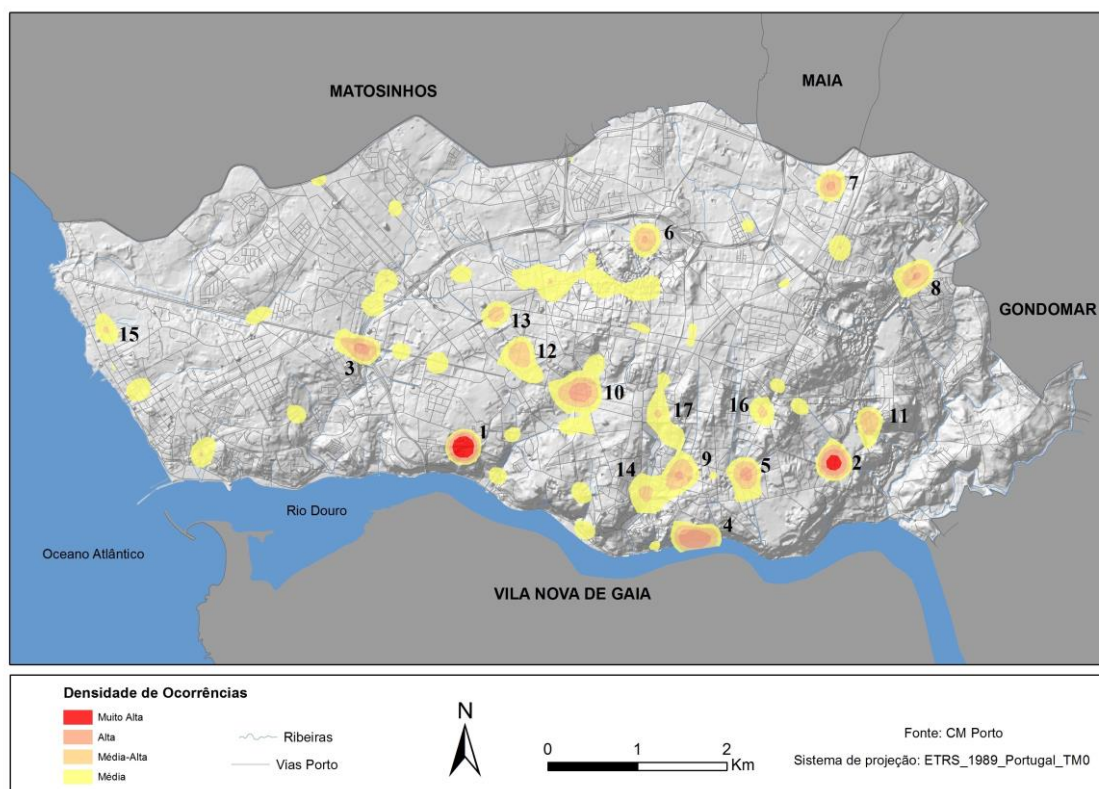


Figura 32 - Áreas críticas de Inundações urbanas na cidade do Porto (1974-2014).

Tabela 3 - Numeração das Vias mais afetadas, da figura 32

Numero	Ruas
1	Rua de Entrecampos
2	Rua de Justino Teixeira
3	Via de Cintura Interna (Foco)
4	Avenida Gustavo Eiffel
5	Campo 24 de Agosto
6	Praça Nove de Abril
7	Rua da Areosa
8	Rua Avelino Ribeiro
9	Rua de Santa Catarina
10	Rua Barão de Forrester
11	Rotunda da Bonjóia
12	Avenida de França
13	Rua Pedro Hispano
14	Praça Liberdade
15	Rua Marechal Saldanha
16	Avenida Fernão de Magalhães
17	Rua de Camões

Capítulo 5. Modelação Hidráulica

5.1. Considerações Gerais

A modelação hidráulica tem como objetivos, modelar perímetros de inundação, definir zonas de risco ou estabelecer os locais com maior probabilidade de ocorrer inundações. Segundo Ribeiro & Lima (2011) o planeamento e a previsão de IU revelam-se importantes ferramentas para os agentes responsáveis pelo ordenamento do território.

Deste modo, a obtenção de perímetros de inundação é escalonada em três fases. A primeira fase dita a aquisição dos dados altimétricos para a área que se pretende modelar. Na segunda fase, são realizados os cálculos indispensáveis para a obtenção dos caudais. A terceira e, última fase, parte dos dados obtidos na segunda fase e delimita os perímetros de inundação e a altura da coluna de água, recorrendo a *softwares* próprios.

No que concerne à primeira fase, a obtenção dos dados altimétricos realiza-se através de diferentes equipamentos. Gonçalves (2012) afirma que a existência de técnicas e aparelhos existentes no mercado que executam esta tarefa, designadamente, a utilização teodolitos e estações ou a utilização do *GPS*. No entanto, este método e técnica, dependendo do tamanho da área, pode tornar-se bastante moroso e pouco preciso. Outro instrumento utilizado é o *LIDAR (Light Detection And Ranging)*, este método realiza a aquisição de forma aérea ou terrestre. Todavia, possui um entrave de os custos pois estes assumem-se muito elevados, com a particularidade de a informação ser obtida e processada rapidamente.

A segunda fase versa-se no cálculo dos caudais a serem utilizados para a obtenção da quantidade de água, que passa em determinada secção. Para este cálculo poder ser utilizado inúmeras fórmulas que se agrupam em três grandes grupos, designadamente, fórmulas empíricas, fórmulas cinemáticas e fórmulas estatísticas. De acordo com Costa & Lança (2011), as fórmulas empíricas foram as primeiras a serem usadas e consideravam apenas a área da bacia hidrográfica. Segundo Gonçalves (2012), as fórmulas empíricas mais importantes para o cálculo de caudais de ponta de cheia, correspondem à fórmula de *Pagliaro*, a fórmula de *Whistler*, a fórmula de *Iskowski* e a fórmula de *Forti*. (tabela 4)

Tabela 4 - Exemplo das fórmulas empíricas mais utilizadas. Adaptado de (Gonçalves, 2012)

Autor	Fórmula	Descrição das Variáveis
<i>Pagliaro</i>	$Q_p = A_b \left(\frac{2900}{90 + A_b} \right)$	[Qp] representa o Caudal de ponta de cheia; [Ab] representa a área da Bacia Hidrográfica em Km ² ;
<i>Whistler</i>	$Q_p = A_b \left(\frac{1539}{259 + A_b} \right) + 0,054$	[Qp] representa o Caudal de ponta de cheia; [Ab] representa a área da Bacia Hidrográfica em Km ² ;
<i>Iskowski</i>	$Q_p = K_{12} \cdot m_I \cdot P \cdot A_b$	[Qp] representa o Caudal de ponta de cheia; [Ab] representa a área da Bacia Hidrográfica em Km ² ; [KIs] representa o parâmetro variável, dependente da categoria dos solos, da cobertura vegetal e do relevo; [mI] representa o parâmetro variável com a área da bacia hidrográfica; [P] representa a precipitação média anual (mm);
<i>Forty.</i>	$Q_p = A_b \left(b \frac{500}{A + 125} + c \right)$	[Qp] representa o Caudal de ponta de cheia; [Ab] representa a área da Bacia Hidrográfica em Km ² ; [b] e [c] são Constantes que têm valores de 2,35 e 0,5 respetivamente para uma precipitação máxima diária de 200 mm, e os valores de 3,25 e 1,00 para uma precipitação máxima entre 200 e 400 mm.

A aplicabilidade destas fórmulas é distinta de fórmula para fórmula. Neste sentido, a fórmula de *Pagliaro*, aplica-se em bacias hidrográficas que contemplem áreas inferiores a 1000 km² (Martins, 2000). A Fórmula de *Whistler* é aplicável a áreas compreendidas entre 1000 e 1200 km² (Martins, 2013). O *Iskowski* determinou uma fórmula aplicável a bacias hidrográficas com uma área até 1000 km² (Gonçalves, 2012). Por fim, a Fórmula de *Forty* “tem aplicação em bacias com áreas inferiores a 1000 km²” (Martins, 2000, p. 41).

No que respeita às fórmulas cinemáticas estas “utilizam o tempo de concentração para traduzir o comportamento hidráulico da bacia no que refere à formação do escoamento superficial em condições de cheia” (Martins et al., 2003, p. 4)

Algumas das fórmulas mais utilizadas para o cálculo do tempo de concentração traduzem-se nas fórmulas de *Kirpich*, de *Giandotti*, de *Ven Te Chow*, de *Schaake*, de *Teméz*, de *Soil Conservation Service* e de *David*. (Tabela 5)

Tabela 5 - Exemplo das fórmulas cinemáticas mais utilizadas no cálculo do Tempo de Concentração. Adaptado de (Gonçalves, 2012)

Nome	Fórmula	Descrição das variáveis
Kirpich (Kirpich, 1940)	$TC = 0,0663 \frac{L^{0,77}}{i^{0,385}}$ $TC = 0,0663 \frac{L^{1,155}}{\Delta h^{0,385}}$	[TC] representa o Tempo de Concentração; [L] o Comprimento do rio em Km; [i] o Declive médio da bacia hidrográfica; [Δh] a Diferença de cotas entre as extremidades da linha de água principal (Km)
Giandotti (Giandotti, 1953)	$TC = \frac{4, \sqrt{A} + 1,5, L}{0,80, \sqrt{H}}$	[TC] representa o Tempo de Concentração (h); [A] a Área da Bacia em Km ² ; [L] o Comprimento do rio principal em Km; [H] a altura média da bacia em m, medida a partir da altitude da secção considerada.
Ven Te Chow (Chow, 1962)	$TC = 0,8773, \left(\frac{L}{\sqrt{i}}\right)^{0,64}$	[TC] representa o Tempo de Concentração; [L] o Comprimento do rio principal em Km; [i] o Declive do rio principal em m/km.; [A] –a Percentagem de áreas impermeáveis na bacia hidrográfica.
Schaake (Schaake, Geyer, & Knapp, 1967)	$TC = \frac{0,503L^{0,24}}{i^{0,16} \alpha^{0,26}}$	[TC] representa o Tempo de Concentração (Min); [i] o Declive médio da bacia hidrográfica; [L] o Comprimento do rio principal em Km;
Temez (Peláez, 1978)	$TC = 0,3 \left(\frac{L}{i^{0,25}}\right)^{0,76}$	[TC] representa o Tempo de Concentração (h); [L] o Comprimento do rio principal em Km; [i] o Declive médio da bacia hidrográfica (%).
Soil Conservation Service (McCuen, 1982)	$TC = 1,67t_l$ $t_l = \frac{L^{0,8}(S_{mr} + 1)^{0,7}}{734,43 i^{0,5}}$ $S_{mr} = \left(\frac{25400}{CN}\right) - 254$	[t _l] representa o Tempo de atraso (h); [L] o Comprimento do rio principal em Km; [S _{mr}] a Capacidade máxima de retenção; [i] o Declive médio da bacia hidrográfica (%). [CN] o Curve Number
David (David, 1976)	$TC = 0,000324 \frac{L^{1,15}}{\Delta h^{0,38}}$	[TC] representa o Tempo de Concentração; [L] o Comprimento do rio principal em Km; [Δh] a Diferença de cotas entre as extremidades da linha de água principal (Km)

Segundo Tomaz (2013), o Kirpich elaborou duas fórmulas, uma válida para o estado da *Pennsylvania* e outra para o estado *Tennessee* (Estados Unidos da América), sendo estas aplicadas em bacias pequenas até 0.5 km². A fórmula de *Giandotti* refere-se a bacias hidrográficas de dimensão grandes, uma vez que aplicadas a bacias pequenas, o valor do tempo de concentração tende ser sobrestimado (Martins, 2000). No que respeita à fórmula de *Ven Te Chow* esta segundo Gonçalves (2012) foi utilizada com sucesso para bacias de pequena dimensão, de forma a dimensionar estruturas de drenagem e obras rodoviárias. A fórmula de *Schaake* é aplicada em bacias urbanas inferiores a 0.7 km², como elenca no seu estudo (Silveira, 2005). A expressão da fórmula de *Temez* usar-se-á em bacias hidrográficas inferiores a 3000km² de área de acordo com (Martins, 2000). Segundo Gonçalves (2012) a aplicabilidade da fórmula *Soil Conservation Service* é muito requisitada nos EUA, sendo utilizada com regularidade, em bacias hidrográficas rurais até 8 km². Por fim, a Formula de David, é recomendada por (Martins et al., 2003) para bacias que apresentem áreas até 25 km².

Para a obtenção dos cálculos dos caudais de Ponta de Cheia, são utilizadas em Portugal com mais frequência as fórmulas cinemáticas Racional, de *Giandotti*, de David, e de *Temez*, (tabela 6).

Tabela 6 - Exemplo das fórmulas cinemáticas mais utilizadas no cálculo do caudal de tempo de cheia. Adaptado de (Gonçalves, 2012)

Nome	Fórmula	Descrição das Variáveis
Racional	$Q_p = C.I.A$	[Q_p] representa o Caudal de Ponta de Cheia; [C] o Coeficiente dado em Tabela, relativo ao tipo e ocupação do solo observados; [I] a Intensidade média da precipitação, para um determinado tempo de retorno com duração igual ao tempo de concentração da bacia. Em mm/h transforma-se em m/s. [A] a Área da Bacia em km ²
Giandotti	$Q_p = \frac{\lambda A h_{max}}{T_c}$	[λ] representa o Parâmetro em função da área – Dado em tabela; [A] a Área da bacia hidrográfica em Km ² ; [h_{max}] a Altura da precipitação para uma duração igual

		ao tempo de concentração e um período de retorno, valores em mm; [Tc] o Tempo de Concentração (h);
David	$Q_p = \frac{P_u A}{480,5 \left(0,6T_c + \frac{t_p}{2} \right)}$	[Pu] representa a Precipitação útil; [A] a Área da bacia hidrográfica em ha; [Tc] o Tempo de concentração em h.; [Tp] a Precipitação útil (mm);
Temez	$Q_p = \frac{C I A}{3}$ $C = \frac{(P_d - P_0)(P_d + 23P_0)}{(P_d + 11P_0)^2}$ $P_0 = \frac{5080}{CN} - 50,8$	[C] representa o Coeficiente de escoamento da fórmula de Temez; [I] a Intensidade média de precipitação (mm/h); [Pd] a Precipitação máxima diária (mm); [P0] o Parâmetro relativo às perdas iniciais da chuva antes de se iniciar o escoamento superficial (mm); [CN] a Curve Number.
Mockus	--- $Q_p = \frac{0,277 K A_b P_u}{\sqrt{t_c + 0,6t_c}}$	[Qp] representa o caudal de ponta de cheia (m ³ /s); [Pu] a precipitação útil (mm); [Ab] a área da bacia hidrográfica (km ²); [K] o fator de ponta da bacia hidrográfica; [tc] o tempo de concentração (h).

A aplicabilidade destas bacias já fora descrita anteriormente aquando da análise da tabela 5, salvo as fórmulas racional e de *Mockus*. Deste modo, Martins, (2013) afirma que a fórmula Racional pode ser utilizada com grande eficiência em bacias que não ultrapassem os 25 km² e a de *Mockus* em bacias que apresentem um tempo de concentração inferior a quatro horas.

Um outro tipo de fórmulas são as estatísticas, estas “permitem avaliar o caudal de ponta de cheia numa determinada secção de um curso de água em função de um período de retorno, com base em registos de cheias anteriores” (Martins, 2000, p. 51).

Em Portugal, segundo alguns autores, (Gonçalves, 2012; Marafuz, 2011; Martins, 2000), a fórmula mais utilizada é o modelo estatístico de Loureiro, baseado em estudos efetuados para Portugal Continental, onde se delimitaram zonas e correlacionaram-se os caudais de ponta de cheia, analisados através da distribuição de *Gumbel*.

Segundo Santos (2009), alguns autores como Brandão et al., (2001), destacam a distribuição de *Gumbel* como a que melhor se ajusta á distribuição dos valores de precipitações extremas. (tabela 7)

Tabela 7 - Exemplo da fórmula da distribuição da probabilidade de Gumbel. Adaptado de (Gonçalves, 2012)

Nome	Fórmula	Descrição das variáveis
<i>Gumbel</i>	$x = \bar{p} - 0,78 \cdot \alpha \left[\ln \left(\ln \left(\frac{T+1}{T} \right) \right) + 0,577 \right]$	[P] representa a Precipitação ponderada; [T] o tempo de retorno.

Concluindo, o terceiro passo, versa-se na modelação hidráulica para a delimitação de perímetros de inundação, e a altura da coluna de água. Para esse efeito, existem dois métodos distintos: o convencional e o semiautomático.

No que respeita ao método convencional, Marafuz (2013) defende que este é dependente dos métodos matemáticos, apresentados anteriormente, e fortemente dependente do trabalho de campo, pois carece do levantamento topográfico das secções do rio e da planície de inundação, essenciais para se conseguir traçar os perfis transversais que serão a base da determinação da superfície livre de escoamento.

Quanto ao método semiautomático, estes utilizam como dados de base, a altimetria e a planimetria. É importante que estes dados, sejam adquiridos com o maior pormenor possível, de forma, a que no processamento deste se obtenha um Modelo Digital de Elevação rigoroso ajustado á realidade. Embora este método não seja essencialmente dependente do trabalho de campo, é sempre importante que se realize algum para conhecer a realidade da área. Contudo tal como no método convencional, os métodos matemáticos, são necessários de forma a determinar-se os caudais de ponta de cheia.

5.2. Delimitação do caso de estudo

Na escolha do local para a modelação, tomou-se em consideração alguns aspetos, tais como, o número de ocorrências registadas, a influência que a via detinha para a cidade, entre outros. Nesta linha de pensamento, optou-se pela Rua de Entrecampos, uma vez que esta regista um elevado número de ocorrências, (33 ocorrências entre 1974 e 2014), pelo facto de as ocorrências encontrarem-se todas aglomeradas no mesmo sítio (figura 33). Deste modo, esta rua pode ser considerada, à partida, um local problemático, uma vez que existe uma perturbação ao nível das IU, implicando assim, uma circulação rodoviária do local.

A rua de Entrecampos localiza-se na Freguesia de Massarelos e caracteriza-se por ser uma das entradas da cidade do Porto, sendo a primeira das entradas para quem se desloca no sentido

Sul-Norte, através da ponte da Arrábida. Aliando este fator aos restantes, a Rua de Entrecampos torna-se assim, uma das vias mais importantes da cidade, e sendo uma das mais afetadas pelas IU tornou-se na escolha para realizar a modelação hidráulica.

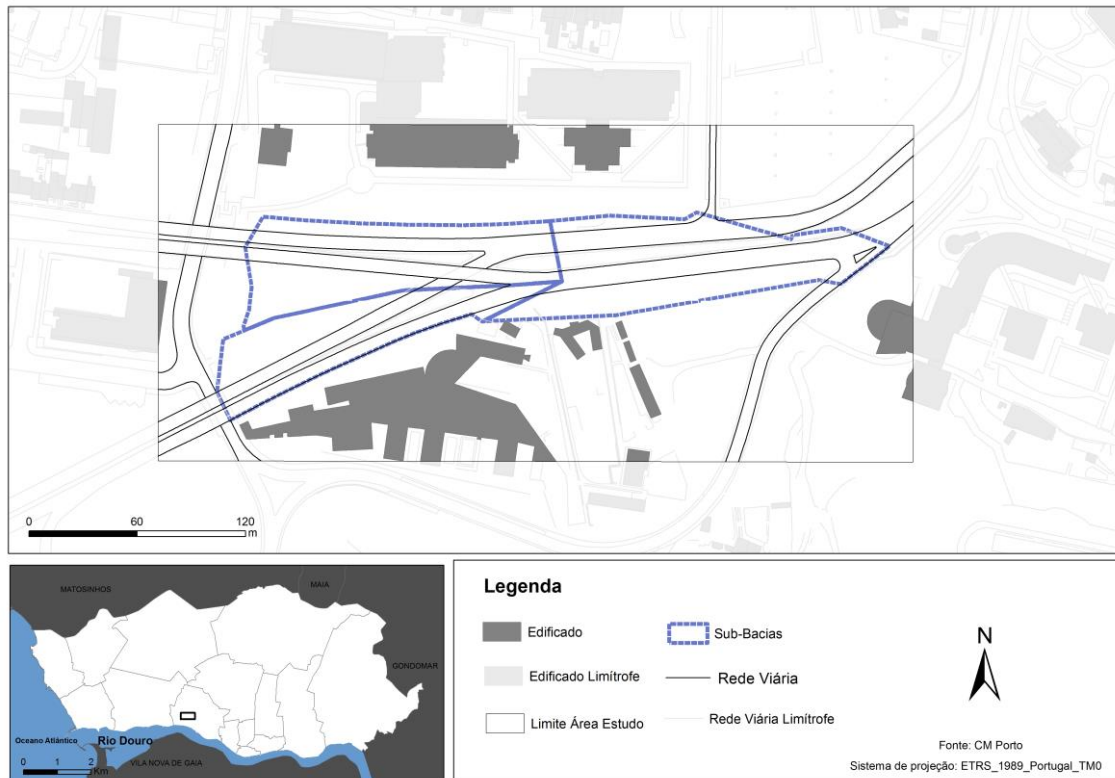


Figura 33 - Localização da área para a realização da modelação hidráulica.

5.3. Metodologia

A metodologia empregue na modelação faseia-se em três etapas distintas, uma primeira referente à correção do Modelo Digital de Elevação, a segunda versa-se na aplicação dos cálculos prescindíveis à modelação e, por fim, a terceira, incide na modelação hidráulica da área de Estudo (figura 34).

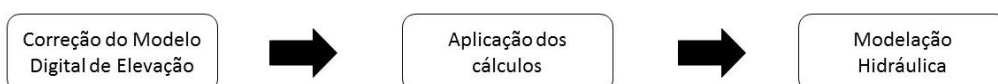


Figura 34 - Etapas Metodológicas da Modelação

Deste modo, a primeira etapa da modelação, como explanado, compreende o tratamento do Modelo Digital de Elevação (MDE). O *software* utilizado neste processo corresponde ao ArcGis 10.2 desenvolvido pela Esri. Uma vez que, programa trabalha com ficheiros em formato *shape* (.shp), e os dados de base encontravam-se em formato *Autocad* (.dwg), tornou-se necessário, numa primeira instância, converter os dados de CAD para Shapefile, nomeadamente, os pontos cotados, as curvas de nível, o edificado, e a rede viária.

De seguida, já com a informação vetorial convertida, gerou-se um modelo Digital de Elevação da área de estudo, a partir dos pontos cotados e das curvas de nível, contudo, este encontrava-se com os dados de base, e a informação presente não apresentava o rigor necessário, para posteriormente se conseguir realizar a modelação. (Figura 35)

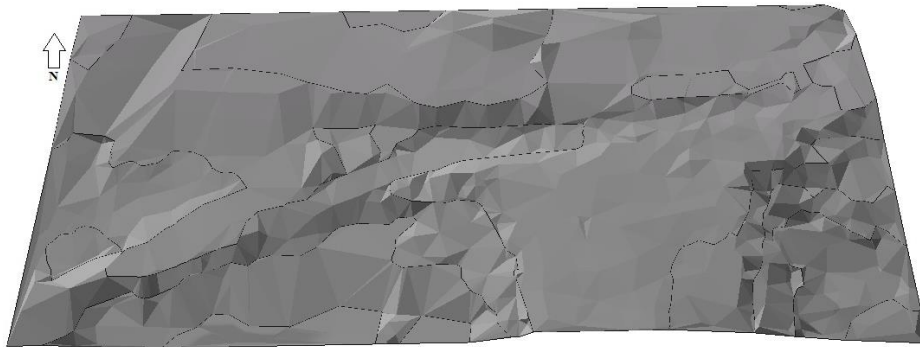


Figura 35 - Modelo Digital de Elevação, com os dados de base.

Posteriormente, a correção do modelo, (figura 36), consiste em inserir os dados referentes ao edificado, às ruas e aos muros, ressalve-se que não existe uma ordem pré-estabelecida para a inserção destes, porém neste estudo começou por se tratar do edificado.

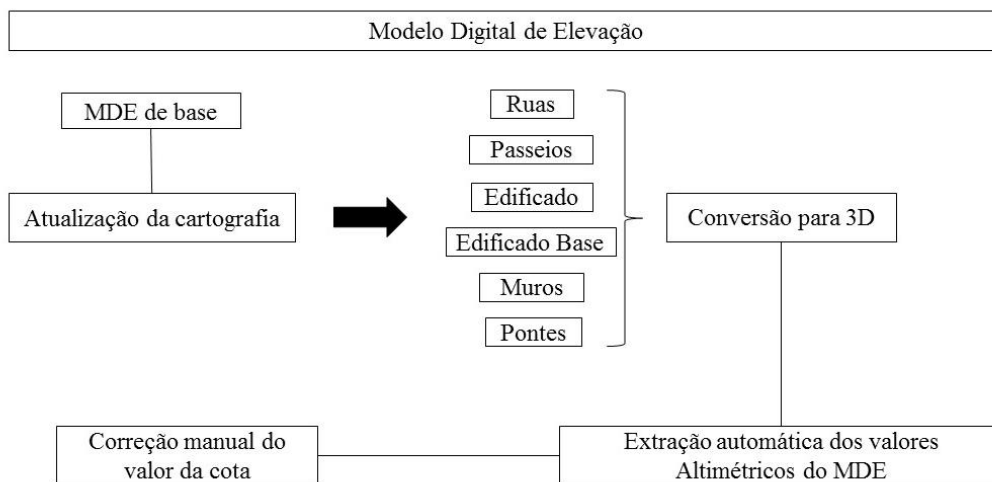


Figura 36 - Esquema metodológico da Correção do Modelo Digital de Elevação.

No que concerne ao edificado, é necessário a criação de uma *shapefile*, que represente a base do edificado, que posteriormente albergará a altitude do solo enquanto a *shapefile* do edificado arrecadará a altitude do edifício.

No que concerne a *shapefile* das ruas, é necessário a criação de linhas paralelas a estas, que definirão os passeios.

O processo de atualização do modelo finaliza-se através da inserção dos elementos retratados. Posto isto, prossegue-se para a obtenção dos valores das cotas, extraídas diretamente do MDE. Este processo é elaborado por uma ferramenta do *ArcGis* 10.2, designada de “*interpolate shape*”, no qual transforma as *shapefile* comuns para 3D. Assim que transformadas é possível extrair os valores altimétricos diretamente do MDE. Neste processo foram transformados os ficheiros relativos às ruas, aos passeios, ao edificado, à base do edificado, à ponte, aos muros e á base destes dois últimos. A obtenção das cotas sequenciou-se da extração das cotas do MDE, e em alguns casos acrescentando a elevação necessária como explicado na figura 37.

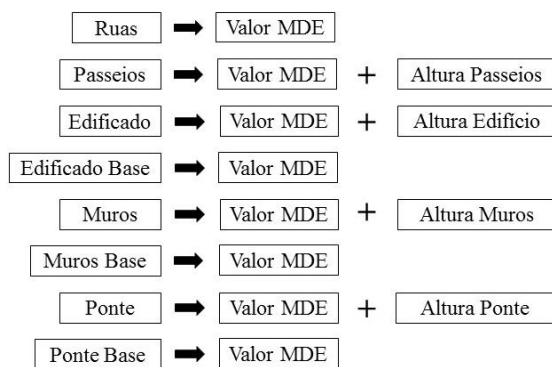


Figura 37 - Esquema da atribuição das cotas de cada elemento do MDE.

Contudo, os dados extraídos do MDE, nem sempre apresentam valores ajustados à realidade, devido à qualidade do mesmo, assim sendo aquando de um MDE com uma resolução baixa, torna-se prescindível, efetuar uma correção manual do mesmo. A título de exemplo, na área de estudo, o MDE apresentado não reconhece as elevações e as depressões das vias efetuadas devido as pontes, sendo que manualmente atribui-se as cotas para ajustar o modelo o máximo possível à realidade. Apesar de ser um método moroso, onde é requerida muita atenção, este versa-se essencial para que na fase da modelação esta demonstre resultados credíveis, que não acontece, caso o Modelo não esteja corretamente corrigido. A figura 38 representa o modelo final.

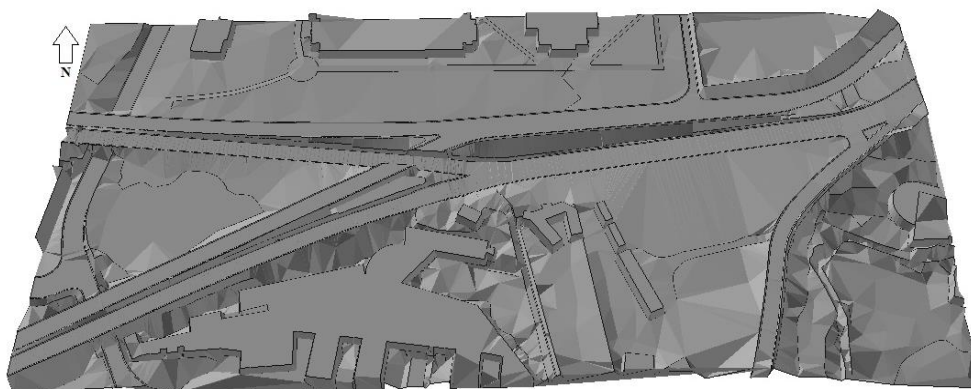


Figura 38 - Modelo Digital de Elevação corrigido.

A segunda fase da modelação (figura 39) consistiu na delimitação das sub-bacias urbanas pelas vias que detinham um maior contributo para a ocorrência de inundações urbanas e pelos pontos cotados.

Assim, que se encontram delimitadas as sub-bacias, tornou-se necessário definir as suas grandezas físicas, (tabela 8) designadamente a área, o perímetro e a extensão do curso de água principal, contudo, por se tratar de uma área urbana considerou-se a extensão da via principal de cada sub-bacia.

Tabela 8 - Grandezas físicas correspondentes as sub-bacias.

Bacias	Área (km²)	Perímetro (km)	Extensão Curso Água principal
Sub-bacia 1	0,008322	0,486142	0,197921
Sub-bacia 2	0,006161	0,444733	0,200188
Sub-bacia 3	0,007745	0,524974	0,172852

Depois de adquiridos os dados referentes às grandezas físicas, procedeu-se ao cálculo do tempo de concentração (TC), entenda-se este como o “tempo para que a totalidade da bacia contribua para o escoamento superficial na secção considerada.”(Martins, 2000).

Das fórmulas apresentadas anteriormente (tabela 5), a escolhida versa-se na fórmula de Schaake. A escolha recaiu nesta fórmula, uma vez que esta destina-se a bacias urbanas, contendo vias pavimentadas com bocas de lobo distribuídas ao longo da via (Mata-Lima et al., 2007). A fórmula e a descrição das suas variáveis encontram-se discriminadas na tabela 9.

Tabela 9 - Fórmula do tempo de Concentração e descrição das variáveis.

Autor	Fórmula	Descrição das variáveis
Schaake	$TC = \frac{0,503L^{0,24}}{i^{0,16}\alpha^{0,26}}$	Em que (i) representa o declive médio da bacia hidrográfica; (L) representa o comprimento do rio principal em Km; e o (α) a percentagem da área impermeável

Uma vez definido o valor das variáveis, procedeu-se ao cálculo do tempo de concentração, expresso na tabela 10, sendo determinados os seguintes resultados:

Tabela 10 – Fórmula discriminada e resultado do tempo de concentração.

Bacia	Fórmula Discriminada	Resultado (minutos)
Sub-bacia 1	$((0,503*0,175886)^{0,24})/((7,26^{0,16})*(40^{0,26}))$	9,6
Sub-bacia 2	$((0,503*0,200188)^{0,24})/((8,68^{0,16})*(46^{0,26}))$	9
Sub-bacia 3	$((0,503*0,172852)^{0,24})/((5,60^{0,16})*(44^{0,26}))$	9,6

O cálculo do tempo de concentração resultou em 9,6 minutos para a sub-bacia 1, em 9 minutos para a sub-bacia 2 e para a sub-bacia 3 em 9,6 minutos. Este resultado expressa que a área em estudo necessita em média de nove minutos de precipitação intensa para que ocorra uma inundação.

Seguidamente, assim que determinado o valor do tempo de concentração de cada sub-bacia, procedeu-se ao cálculo dos caudais de ponta de cheia associada a cada sub-bacia. Para tal, utilizou-se a Fórmula Racional (tabela 11) relacionada aos métodos cinemáticos.

Tabela 11 - Fórmula Cinemática utilizada no caudal de ponta de cheia. Adaptado de (Gonçalves, 2012).

Nome	Formula	Descrição das variáveis
Racional	$Q_p = C.I.A$	Em que (c) representa o Coeficiente dado em Tabela, relativo ao tipo e ocupação do solo observados; (I) representa a Intensidade média da precipitação, para um determinado tempo de retorno com duração igual ao tempo de concentração da bacia. Em mm/h transforma-se em m/s. (A) representa a Área da Bacia em km ²

Os valores do coeficiente de C (tabela 12), derivam em “função de fatores determinantes das perdas de precipitação (uso e ocupação do solo), da difusão do escoamento (declive da superfície do terreno) e do período de retorno” (Portela & Hora, 2002). Entenda-se, período de

Retorno como “o número médio de anos entre a ocorrência de dois eventos sucessivos” (Andrade et al., 2006, p. 186) “com uma magnitude idêntica” (Dias et al., S.D.)

Uma vez que a área de estudo, localiza-se numa zona urbana, e dado a percentagem elevada de áreas impermeáveis, retiraram-se os valores referentes ao asfalto nas zonas urbanas.

Tabela 12 - Valores de coeficiente de escoamento utilizados para os diferentes períodos de retorno. Adaptado de (Portela & Hora, 2002).

Tipo de ocupação	Tempo de Retorno					
	2	5	10	20	50	100
Zona Urbana (Asfalto)	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95

Um outro parâmetro necessário para o cálculo da fórmula Racional prende-se pela Intensidade de precipitação que se obtém a partir da seguinte fórmula (tabela 13)

Tabela 13 - Fórmula da Intensidade de Precipitação e descrição das variáveis.

Fórmula		Descrição das variáveis
Intensidade Precipitação	$I=a.t^b$	Em que (I) representa a intensidade de precipitação em mm/h; (a) e (b) representam os parâmetros de ajustamento das curvas IDF; (t) representa o valor do tempo de concentração

Para a determinação do valor da Intensidade de Precipitação é necessário a obtenção de algumas variáveis. Uma vez que, já obtemos o valor do tempo de concentração, fica-nos a faltar o valor dos parâmetros a e b das curvas de Intensidade, duração e frequência, também designadas de curvas IDF.

De acordo com Elsebaie (2012) as curvas IDF são representações gráficas da quantidade de água que cai num determinado período de tempo numa dada bacia hidrográfica.

Deste modo, foram utilizados os dados relativos ao posto Udográfico da Serra do Pilar para diferentes tempos de retorno, nomeadamente 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos expressos na tabela 14.

Tabela 14 - Dados das curvas IDF do Posto Udográfico da Serra do Pilar para diferentes tempos de retorno. Adaptado de (Martins, 2000).

Posto Udográfico	Serra do Pilar					
Tempo Retorno	2	5	10	20	50	100
a	209,89	268,6	303,74	334,95	372,82	399,66
b	-0,606	-0,613	-0,617	-0,619	-0,622	-0,624

Uma vez definido o valor das variáveis, procedeu-se ao cálculo da intensidade de precipitação, tabela 15, no qual derivaram os resultados expressos na tabela 16.

Tabela 15 - Fórmula discriminada do cálculo da Intensidade de Precipitação

TR	2	5	10	20	50	100
SB 1	$209,89*9,6^{\wedge}$	$268,6*9,6^{\wedge}$	$303,74*9,6^{\wedge}$	$334,95*9,6^{\wedge}$	$372,82*9,6^{\wedge}$	$399,66*9,6^{\wedge}$
	-0,606	-0,613	-0,617	-0,619	-0,622	-0,624
SB 2	$209,89*9^{\wedge-}$	$268,6*9^{\wedge-}$	$303,74*9^{\wedge-}$	$334,95*9^{\wedge-}$	$372,82*9^{\wedge-}$	$399,66*9^{\wedge-}$
	0,606	0,613	0,617	0,619	0,622	0,624
SB 3	$209,89*9,6^{\wedge}$	$268,6*9,6^{\wedge}$	$303,74*9,6^{\wedge}$	$334,95*9,6^{\wedge}$	$372,82*9,6^{\wedge}$	$399,66*9,6^{\wedge}$
	-0,606	-0,613	-0,617	-0,619	-0,622	-0,624

Tabela 16 - Resultados dos cálculos da Intensidade de Precipitação.

Tempo de retorno	2	5	10	20	50	100
Sub-bacia 1	53,30	67,14	75,24	82,60	91,31	97,44
Sub-bacia 2	55,43	69,85	78,30	85,96	95,05	101,45
Sub-bacia 3	53,30	67,14	75,23	82,60	91,31	97,44

Arrecadadas, as variáveis necessárias para o caudal de ponta de cheia, (Área, Valor de C e Valor da Intensidade de precipitação), procedeu-se ao seu cálculo (tabela 17) e consequente resultado (tabela 18).

Tabela 17 - Fórmula discriminada do cálculo dos caudais de ponta de cheia.

TR	2	5	10	20	50	100
SB1	0,73*53,30*	0,77*67,14*	0,81*75,24*	0,86*82,60*	0,90*91,31*	0,95*97,44*
	0,006995	0,006995	0,006995	0,006995	0,006995	0,006995
SB2	0,73*55,43*	0,77*69,85*	0,81*78,30*	0,86*85,96*	0,90*95,05*	0,95*101,45
	0,005096	0,005096	0,005096	0,005096	0,005096	*0,005096
SB3	0,73*53,30*	0,77*67,14*	0,81*75,23*	0,86*82,60*	0,90*91,31*	0,95*97,44*
	,006995	0,007745	0,007745	0,007745	0,007745	0,007745

Tabela 18 - Resultados dos cálculos dos caudais de ponta de cheia.

Caudais de ponta de cheia						
Bacia	Tempos de retorno					
	2	5	10	20	50	100
Sub-bacia 1	0,27	0,36	0,43	0,50	0,57	0,65
Sub-bacia 2	0,21	0,27	0,32	0,38	0,44	0,49
Sub-bacia 3	0,27	0,40	0,47	0,55	0,64	0,72

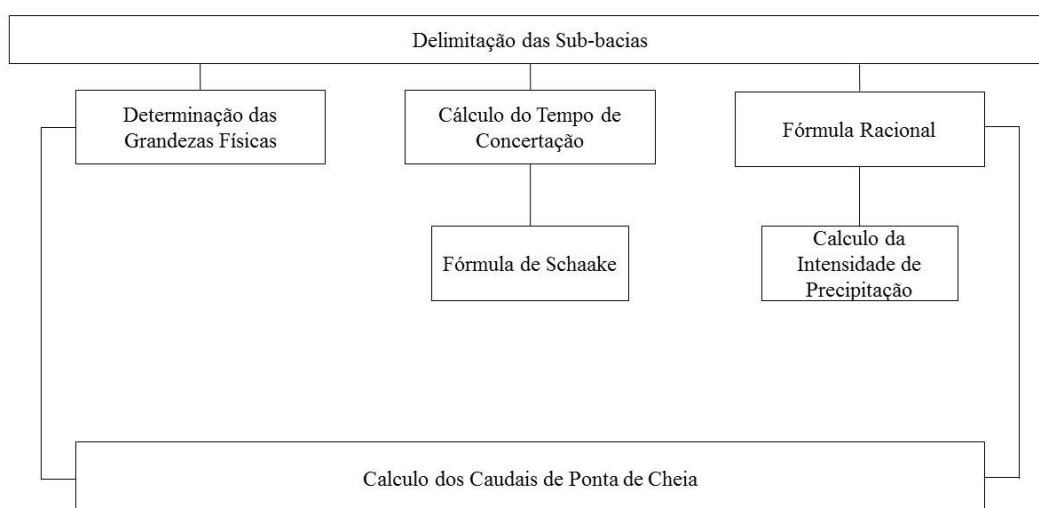


Figura 39 - Esquema Metodológico dos cálculos das fórmulas matemáticas.

A terceira fase consistiu na aplicabilidade da modelação (figura 40) com o intuito de obter a profundidade da água, em metros, da área de estudo no *software* Iber 2.2, em que este se define como um modelo numérico de simulação do fluxo turbulento em superfície livre num regime não permanente e de processos ambientais em hidráulica fluvial (Iber, 2015). Para além de outros campos de aplicação, o *Iber* determina áreas de Inundação, que é o pretendido para este estudo. Na aplicação deste modelo foram definidos tempos de retorno para 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

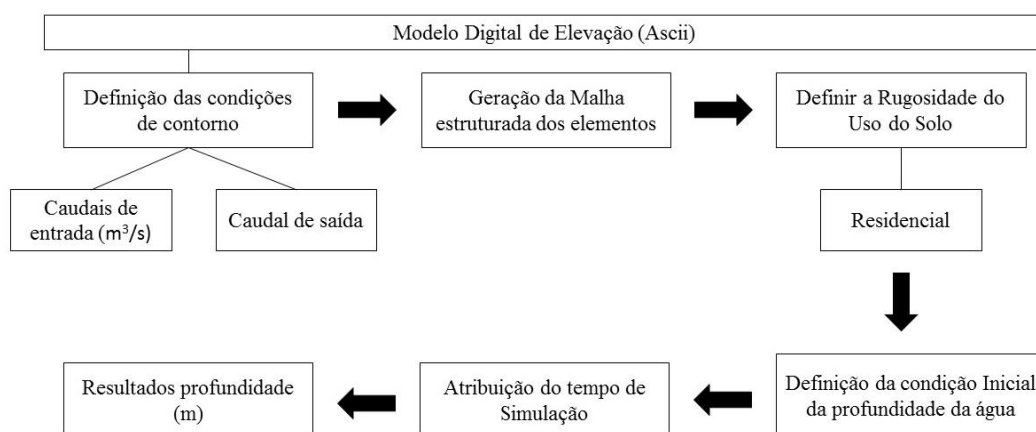


Figura 40 - Esquema Metodológico da modelação no Iber.

Como dados de entrada o modelo requer o MDE, corrigido, em formato (.ascii), e os resultados dos caudais de ponta de cheia em m^3/s . Ao inserir o MDT, este surge através de uma malha não estruturada (RTIN) (figura 41), que segundo Muñoz (2012) esta é formada por elementos triangulares de quadriláteros.

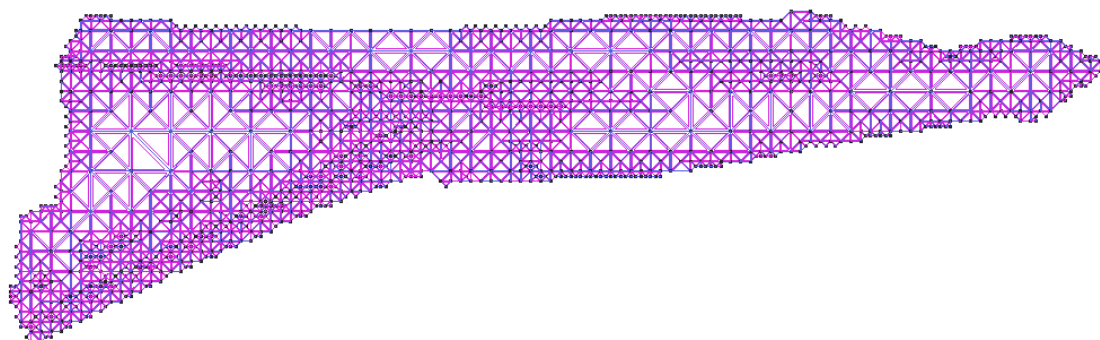


Figura 41 - Aspeto da malha não estruturada (RTIN) das sub-bacias no software IBER.

Seguidamente, procedeu-se à delimitação das entradas de fluxo, que neste caso correspondem ao início da via que encaminha o fluxo para o cerne da inundação, no total são contabilizadas 3 entradas, correspondendo a uma por sub-bacia. Posterior às entradas, delimita-se a saída do fluxo que representa o local de acumulação da água.

Delimitadas as entradas e saídas do Fluxo, o passo seguinte corresponde à geração da malha estruturada dos elementos do MDE. De seguida define-se a rugosidade do uso do solo, isto é, definir a que corresponde o solo no nosso modelo, neste caso, corresponde todo ele a uma área residencial. Depois de se definir as condições iniciais, atribui-se o tempo de simulação e calcula-se o modelo, para que demonstre para um determinado tempo de retorno a profundidade da água., (figura 42).

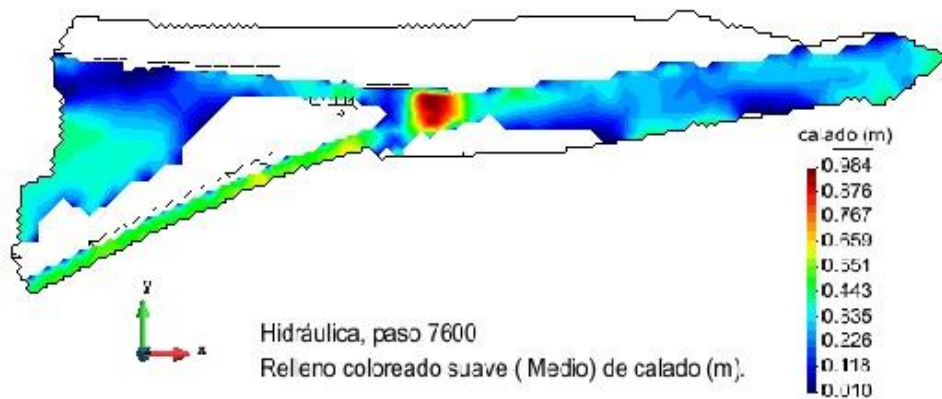


Figura 42 - Exemplo de um resultado da modelação no IBER

5.4. Resultados

A modelação através do *software IBER* realizou-se tendo em consideração que o escoamento desta área é realizado inteiramente à superfície. Sendo assim, não se teve em conta o escoamento drenado pela rede subterrânea, quer ao nível das águas pluviais quer ao nível do saneamento. Note-se que, pode resultar um aumento da profundidade da água, como explícita nas figuras posteriores.

A figura 43, exhibe o resultado da área inundável e da profundidade da água, para um tempo de retorno de 2 anos. Como se pode constatar, a área mais crítica, localiza-se no centro apresentando uma profundidade de cerca de um metro. Esta área localiza-se na parte mais baixa da área em questão, formando assim, uma depressão.

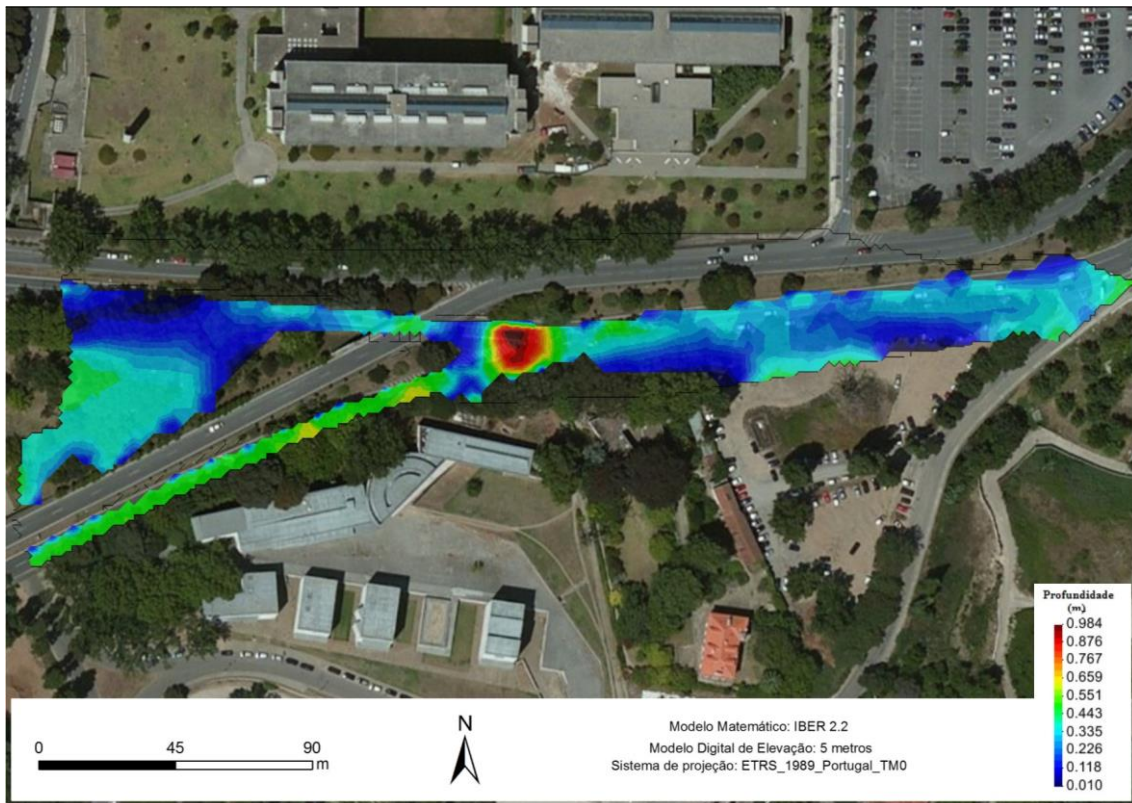


Figura 43 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 2 anos.

A figura 44, apresenta os valores para um período de retorno de 5 anos. Comparativamente com o tempo de retorno de 2 anos, este não apresenta grandes diferenças, sendo mais uma vez na depressão da via que se acumula uma maior profundidade de água, registando 1,10 metros. A zona de maior perímetro de inundação (a oeste da área de estudo) regista alterações pouco significativas de, meramente, poucos centímetros. A maior diferença, ainda que pequena, verifica-se na rua a Este com um aumento da profundidade da água, cerca de 0.10 metros, representado com a cor azul mais claro.

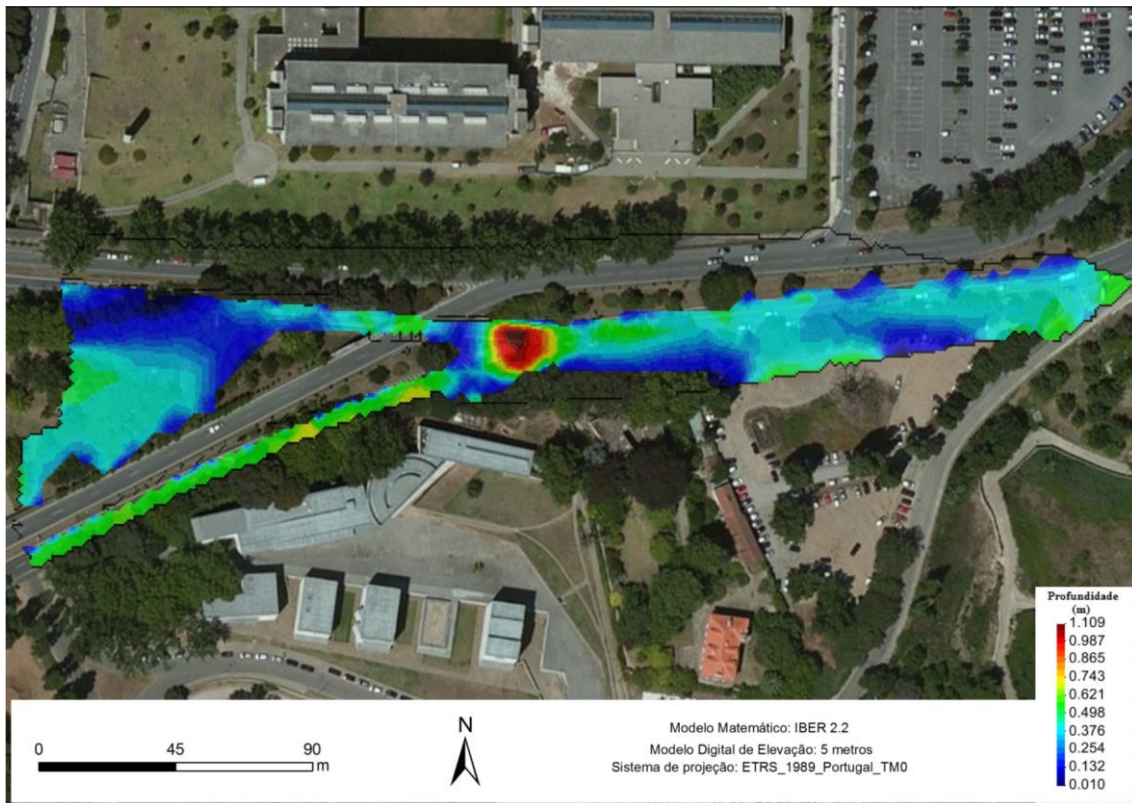


Figura 44 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 5 anos.

Num tempo de retorno de 10 anos, (figura 45) estima-se que a coluna de água alcance valores na ordem de 1.16 metros, na zona mais profunda. Na parte Este, referida anteriormente, assume-se um novo aumento com valores entre 10 a 20 centímetros a mais. Relativamente, a um tempo de retorno de 5 anos, a área que mais diferença obteve incide-se na parte Oeste onde o perímetro de inundação aumentou, assim como a sua profundidade registando aumentos de cerca de 0.20 metros.

Numa inundação em que o tempo de retorno seja de 20 anos, (figura 46), a principal diferença com os demais, apresentados anteriormente, prende-se na via em que o perímetro de inundação cinge-se à própria via. Esta apresenta subidas, de 0.20 metros, graficamente, podem ser visíveis, no acréscimo da cor amarela ao longo desta via e no surgimento de cor-de-laranja, que até então a cor predominante era o verde.

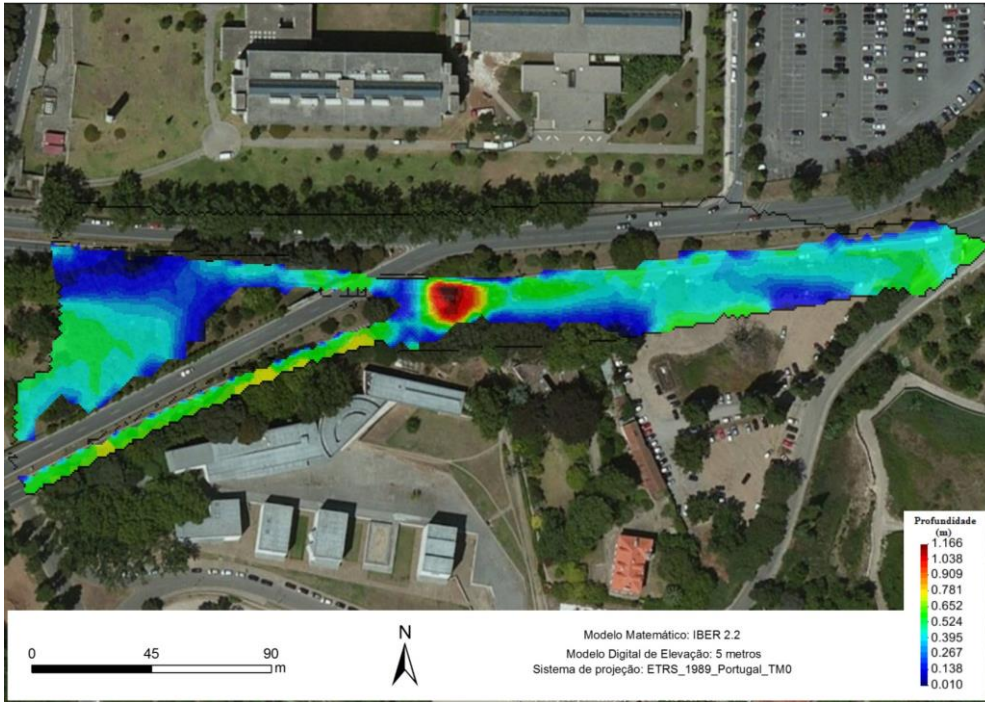


Figura 45 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 10 anos.

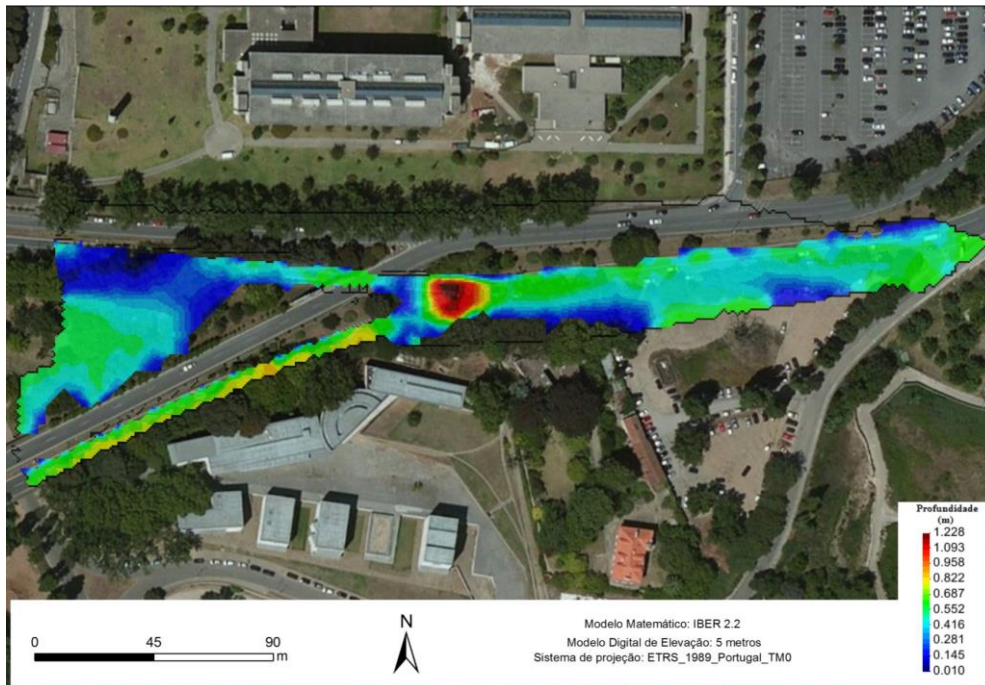


Figura 46 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 20 anos.

O valor maior de profundidade regista-se, novamente, no centro da área correspondente à área deprimida de acumulação de águas pluviais, intensificando a coluna de água registando assim, 1.22 metros de altura.

Num cenário em que se registre uma inundação para um tempo de retorno de 50 anos, os valores máximos da altura da coluna de água podem atingir 1.28 metros. A subida da água é visível em quase todos os pontos da área de estudo. A parte Este da área apresenta uma altura da água de cerca de 40 centímetros em toda a sua extensão chegando em alguns pontos mais críticos a atingir os 70 centímetros de altura. (figura 47).

Na área confinada à via esta apresenta já valores na ordem dos 90 centímetros de altura. Contudo, na parte Oeste, no grande perímetro de inundação este não regista grandes alterações comparativamente com um tempo de retorno de 20 anos.

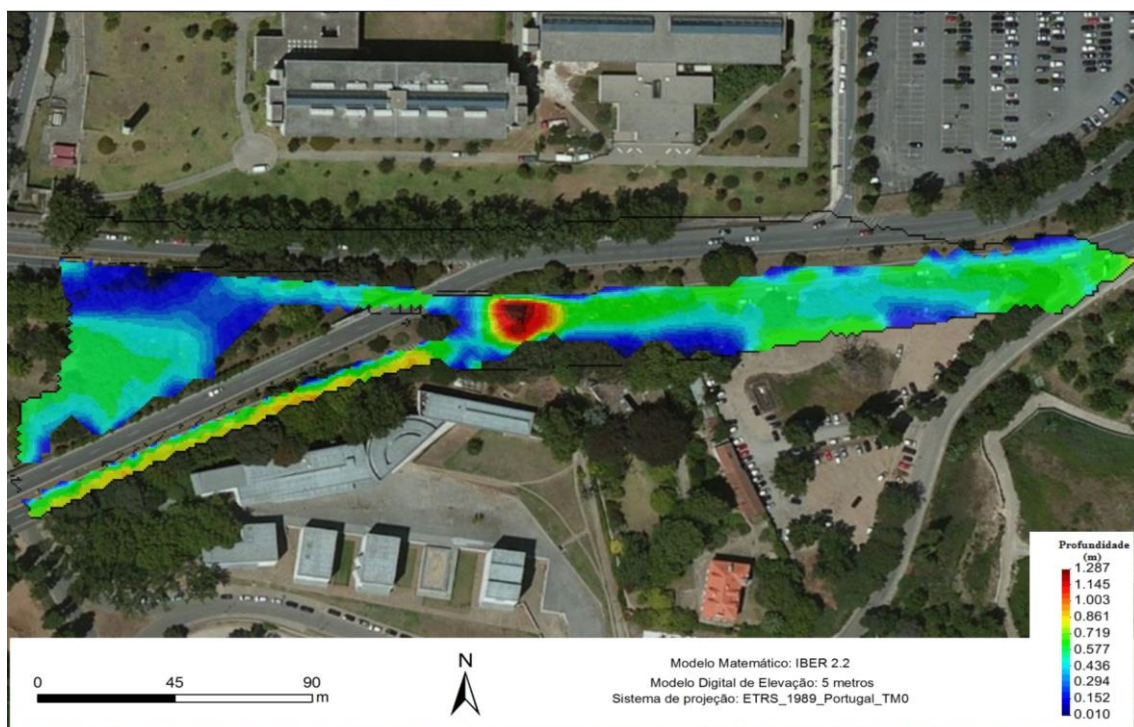


Figura 47 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 50 anos.

No que concerne a uma inundação com um tempo de retorno de 100 anos, esta não apresenta grandes diferenças, comparativamente, com o tempo de retorno de 50 anos, com a exceção da parte Este em que os valores têm vindo a aumentar com o passar dos anos. (figura 49).

Registando, uma predominância do verde em detrimento do azul. É de salientar que, a área mais crítica apresenta valores máximos de 1.34 metros de altura.

Ao longo das décadas, a zona contígua à área crítica, tem vindo a ganhar expressão, verificando-se um aumento de acumulação de águas pluviais nesta área.

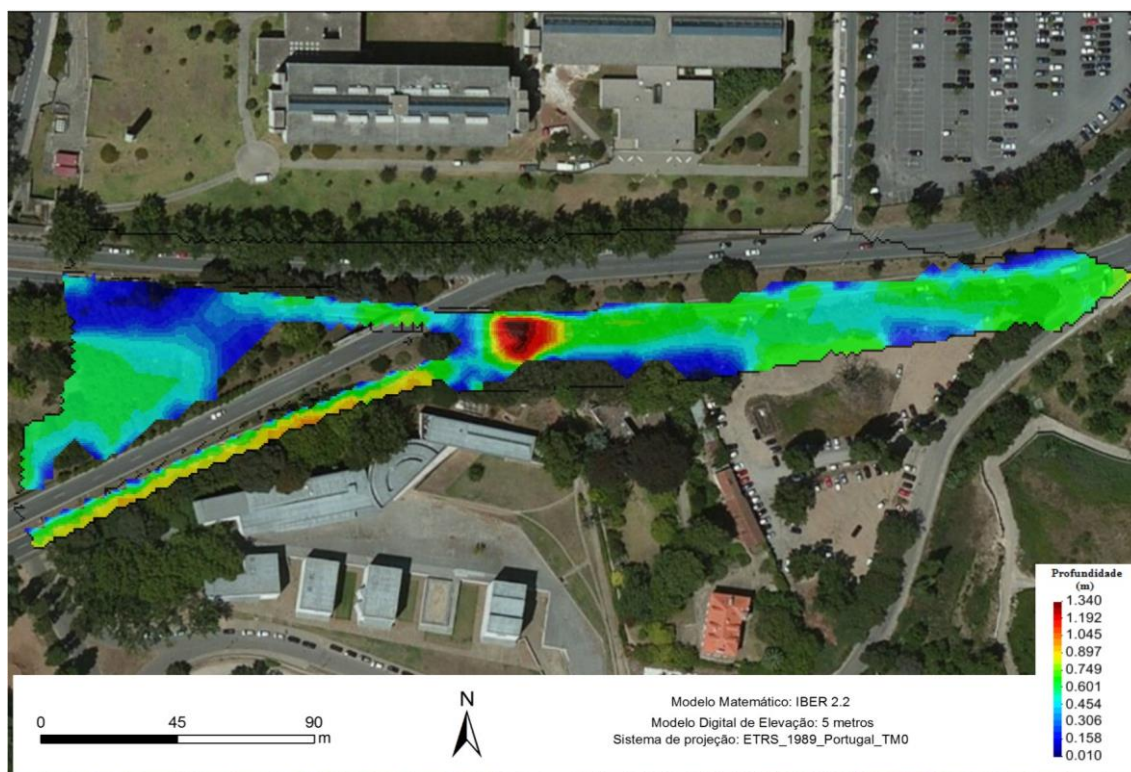


Figura 48 - Profundidade da água na Rua de Entrecampos para uma inundação com um período de retorno de 100 anos.

Em suma, as áreas mais afetadas são visíveis ao longo da discussão dos resultados, variando apenas a altura da coluna de água consoante a variação dos tempos de retorno. Com efeito, é justo afirmar que a área mais afetada, localiza-se no centro da Rua de Entrecampos, situada, numa área deprimida. Esta conta com um histórico de inundações considerável no espaço temporal de 1974 a 2014, 33 ocorrências no total.

Importa reforçar que, o Modelo Digital de Elevação, criado para o efeito, não integra, os sistemas de drenagem subterrânea, o que leva a que os valores da profundidade de água apresentem um “exagero” de altura de coluna de água. Porém, com a inserção destes dados e com um MDE mais detalhado estes “exageros” seriam amenizados, apresentando valores mais ajustados à realidade.

Capítulo 6. Considerações Finais

Após a realização desta dissertação considera-se importante apresentar algumas reflexões adquiridas no decorrer deste processo, em torno da temática estudada, tanto a nível científico como pessoal. Pois, permitiu estabelecer um contacto direto com o tema da dissertação.

No início da etapa académica, não se detinha uma perceção fundamentada de todo o processo científico necessário para responder aos objetivos propostos. Deste modo, ao longo do percurso académico, mais concretamente, no presente ano, essa perceção pouco fundamentada, enriqueceu-se, principalmente, através da ingressão num projeto científico.

No que concerne às Inundações Urbanas, estas geralmente surgem associadas à sucessiva expansão e consolidação da malha urbana, natural ou artificial, que aliada aos deficitários sistemas de drenagem das águas pluviais e à forte impermeabilização dos solos contribuem, significativamente, para a ocorrência das mesmas.

Desta forma, a cidade do Porto caracteriza-se, por um lado, por reunir uma malha consolidada e antiga, designada por zona histórica da cidade. Por outro, define-se por uma topografia irregular marcada por vales formados pelos afluentes do Rio Douro. Sintetizando, a cidade do Porto reúne condições favoráveis à ocorrência de Inundações Urbanas.

Partindo destas premissas, o objetivo principal deste estudo visa identificar os locais mais afetados pelas Inundações Urbanas na cidade do Porto, no espaço temporal compreendido entre o ano de 1974 a 2014. Para tal, construiu-se uma base de dados Geográfica com o propósito de reunir o número de ocorrências no espaço temporal do estudo e distribuição espacial das mesmas. Deste modo, conclui-se que as ocorrências se encontram distribuídas um pouco por todo o território, sendo que, o centro da cidade se caracteriza como a zona mais crítica, devido ao maior aglomerando ocorrências.

Além do centro da cidade foi possível de identificar 17 locais do território urbano mais crítico em relação a este problema, dado a frequência das ocorrências. Ademais, a distribuição espacial das ocorrências, tornou possível obter dados estatísticas, nomeadamente, identificar os anos e os meses mais afetados. Assim sendo, conclui-se que o número de inundações é inconstante registando oscilações entre os vários anos. Contudo, desde o início da presente década, têm-se registados valores baixos de Inundações Urbanas, o que pode traduzir-se numa melhor adaptação da cidade para a problemática em estudo. É importante referir que esta conclusão, referente aos baixos valores da década, carecendo de material científico que fundamente e confirme estas hipóteses. Relativamente aos meses, estes, como expectável, apresentam valores

mais significativos, nos meses de inverno e menores nos meses mais quentes.

Posto isto, a construção da base de dados revelou-se essencial para o estudo, uma vez que permitiu a obtenção de resultados primordiais na perceção da problemática das Inundações Urbanas na cidade do Porto. A estes fatores acrescenta-se a facilidade em que a base de dados organiza a informação, o que permite um acesso rápido e funcional aos mesmos, sendo possível filtrar informação para pesquisas céleres.

A modelação hidráulica da Rua de Entrecampos traduz-se no segundo objetivo específico, visando reconhecer o perímetro de inundação e altura da coluna da água da rua referida. Para diferentes tempos de retorno foram calculados através de métodos matemáticos os caudais de ponta de cheia, indispensáveis para a realização do modelo hidráulico no *software*. Seguindo esta linha de pensamento, obteve-se resultados interessantes para a compreensão das Inundações urbanas neste local. Dado que, nesta via as ocorrências encontram-se todas aglomeradas, num espaço confinado. Após efetuada a modelação veio-se a concluir que o local de acumulação se traduz no local mais afetado, isto é, onde a coluna da água é maior. Este reside na área deprimida presente nesta via. Conclui-se que os resultados obtidos demonstram com clareza o perímetro de inundação e as consequentes alturas da coluna de água. Estas alturas à medida que os tempos de retorno aumentam, não apresentam alterações significativas, diferenciando-se em apenas escassos centímetros. Na mesma ordem de ideias, o perímetro de inundação, sofre pequenas alterações no decorrer dos diferentes tempos de retorno. Note-se que não se teve em conta os dados referentes ao escoamento subterrâneo, levando a um certo “exagero” nas alturas da coluna da água. Todavia, com a inserção desta informação os valores apresentar-se-iam ajustados à realidade.

A realização de modelos hidráulicos reverteu-se numa mais-valia para a presente dissertação, pois permitiu perceber para os diferentes tempos de retorno a área inundada, bem como, os problemas que esta pode representar. Salienta-se que a área de estudo, embora não coloque diretamente em risco habitações ou espaços comerciais, existem outros locais críticos em que este risco se encontra presente. Desta forma, acredita-se que a utilização desta metodologia, apesar de morosa, mostra-se eficiente e fidedigna, podendo ser uma abordagem para os restantes locais que enfrentam os mesmos problemas.

A apresentação de medidas para a erradicação total das Inundações Urbanas podem ser consideradas um pouco irrisórias. No entanto, procurou-se determinar algumas que possam resultar numa mitigação. Assim sendo, numa primeira instância, acredita-se que a limpeza constante das bocas de lobo, traduzir-se-iam, em alguns casos, numa melhoria significativa da

drenagem das águas pluviais. Frisa-se que esta melhoria, certamente resultaria numa diminuição das Inundações Urbanas. Noutros casos, crê-se que apenas a limpeza das bocas de lobo não indicariam resultados benéficos, pelo que se procederia a um reforço das mesmas, uma vez que no trabalho de campo observou-se que algumas das vias continham poucas bocas de lobo. Contudo, convém referir que o problema pode não se encontrar na qualidade e quantidade das bocas de lobo, mas sim traduzir-se numa insuficiente rede de drenagem subterrânea, que não tem capacidade para albergar grandes quantidades de água.

Numa segunda instância, uma futura solução poderia corresponder à substituição do piso, por um asfalto de última geração, implementado por uma empresa britânica, intitulada de *Tarmac*. Este método consegue infiltrar, num espaço de tempo de um minuto, cerca de 4000 litros de água, porém trata-se de um método recente e de elevados custos monetários. Salienta-se que este asfalto, designado por *ULTISuDS*, apresenta-se como uma solução de drenagem sustentável, atendendo às exigências da legislação ambiental vigente e reduzindo o risco de inundações, como descreve a empresa⁹. Ressalva-se uma vez mais, que este método é monetariamente dispendioso, mas num futuro, pode vir a ser passível de aplicação.

Em suma, o estudo realizado pretende constituir-se como pioneiro, contribuindo para o avanço no estudo das Inundações Urbanas na medida em que os dados, até ao momento, apenas se encontravam expressos nos registos do BSB. Sendo assim, exceto o projeto InundaPorto, não existem outros trabalhos com esta informação. Deste modo, partindo deste estudo como base científica, pode-se adotar esta metodologia a outros municípios, visto que o presente estudo, concretizou os objetivos propostos de forma fidedigna.

⁹ <http://www.tarmac.com/solutions/contracting/ultisuds/>, acedido em Setembro de 2015.

Referências bibliográficas

Ahmad, S. S., & Simonovic, S. P. (2013). Spatial and temporal analysis of urban flood risk assessment. *Urban Water Journal*, 10(1), 26-49. doi: 10.1080/1573062x.2012.690437

Andrade, C., Pires, H. O., Silva, P., Taborda, R., & Freitas, M. D. C. (2006). Alterações Climáticas em Portugal Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação, Projecto SIAM II. F. D. Santos & P. Miranda (Eds.), *Zonas Costeiras*

Boonya-aroonnet, S., Maksimovic, C., Prodanovic, D., & Djordjevic, S. (2007). Urban pluvial flooding: development of GIS based pathway model for surface flooding and interface with surcharged sewer model. *NOVATECH*, 481-488.

Brandão, C., Rodrigues, R., & Costa, J. (2001). Análise de fenómenos extremos. Precipitações intensas em Portugal Continental. *Lisboa, DSRH*.

Bruijn, K. d., Klijn, F., Ölfert, A., Penning-Rowell, E., Simm, J., & Wallis, M. (2009). *Flood risk assessment and flood risk management; An introduction and guidance based on experiences and findings of FLOODsite (an EU-funded Integrated project)*.

Chow, V. T. (1956). *Hydrologic Studies of floods in the United States*: Association Internatoionale d'Hydrologie.

Chow, V. T. (1962). Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins. *Engineering Experiment Station*, 462.

Chrisment, C. (1989). *Prática de Base de Dados: Principios Metodológicos*. Lisboa: Editorial Presença.

Codd, E. F. (1970). A relational model of data for large shared data banks. *Communications of the Acm*, 13(6), 377-387.

Costa, P. (1986). Estudos de homenagem a Mariano Feio: As cheias rápidas de 1967 e 1983 na região de Lisboa. 601-614.

Costa, T., & Lança, R. (2011). *"Hidrologia de Superfície"*. Universidade do Algarve, Instituto Superior de Engenharia.

David, J. (1976). Determinação de Caudais de Ponta de Cheia em Pequenas Bacias Hidrográficas. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Decreto-Lei n.º115/2010 de 22 de Outubro. *Diário da República* n.º206 - 1ª Série. Lisboa. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.

Decreto-Lei n.º22/ 2012 de 30 de Maio. *Diário da República* - 1ª Série. Lisboa.

Dias, A. I. C. (2013). *Construção de uma base de dados e repositório em Cardiologia*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Ciências.

Dias, L., Braunschweig, F., Grosso, N., Costa, H., & Garret, P. (S.D.). Guia Metodológico para a produção de Cartografia de Risco de Inundação. In F. d. F. d. C. d. U. d. Lisboa (Ed.).

Doswell, C. A., Brooks, H. E., & Maddox, R. A. (1996). Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology. [Article]. *Weather and Forecasting*, 11(4), 560-581. doi: 10.1175/1520-0434(1996)011<0560:fffaib>2.0.co;2

Elsebaie, I. H. (2012). Developing rainfall intensity–duration–frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 24(2), 131-140. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2011.06.001>

Fargette, F. (1985). *Iniciação à Base de Dados*. Lisboa: Editorial Presença.

Freitas, L. F. d. S. (2010). *Análise hidro-histórica das águas subterrâneas do Porto, Séculos XIX a XXI: inventário, base de dados e cartografia SIG*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Letras.

Giandotti, M. (1953). *Considerazioni idrologiche sulle piene del Po: con speciale riguardo alla piena del novembre 1951 [a cura della Commissione d'organizzazione del Congresso presso il Consiglio superiore dei lavori pubblici in Roma]*: Istituto poligrafico dello Stato.

Gomes, A., & Marafuz, I. (2013). Identificação de locais críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira: metodologia e casos de estudo. *Riscos Naturais Antrópicos e Mistos - Homeagem ao Profossor Doutor Fernando Rebelo*, 481-499.

Gonçalves, P. (2012). *A Delimitação de Perímetros de Inundação no Rio Leça - modelação hidráulica para duas áreas do concelho de Matosinhos* Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Letras.

Iber. (2015). Manual de referência Hidráulico: Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en agua poco profundas.

Jacinto, R. A. F. (2009). *As cheias na cidade de Leiria: Contributo dos SIG para o Ordenamento do Território*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Letras.

Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. *The World Bank*.

- Kirpich, Z. (1940). Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. *Civ. Eng.*, 10, 362.
- Marafuz, I. (2011). *Inundações Urbanas e Cheias Progresivas em Arouca: Casos de Estudo, Metodologias de Análise e Ordenamento do Território*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Letras.
- Marafuz, I. (2013). Delimitação de perímetros de inundação através de Métodos Convencionais e de Modelos Hidrológico-Hidráulicos (Hec-Ras). In FLUP (Ed.), *Cadernos Cursos de Doutoramento em Geografia* (pp. 41-57).
- Mark, O., Weesakul, S., Apirumanekul, C., Boonya-aroonnet, S., & Djordjevic, S. (2004). Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding. *Journal of Hydrology*, 299, 284-299.
- Martins, F. J. P. (2000). *Dimensionamento Hidrológico e Hidráulico de Passagens Inferiores Rodoviárias para Águas Pluviais*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Martins, F. J. P., Pinheiro, A. N., & Carmo, J. S. A. (2003). Passagens hidráulicas. Dimensionamento hidrológico e hidráulico e estimativa de custo assistido por computador. *Recursos Hídricos*, 24(3), 37-51.
- Martins, P. M. F. (2013). *Sistema de previsão e alerta de cheias e inundações*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia.
- Mata-Lima, H., Vargas, H., Carvalho, J., Gonçalves, M., Caetano, H., Marques, A., & Raminhos, C. (2007). Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. *Revista Escola de Minas*, 60, 525-536.
- McCuen, R. H. (1982). *A guide to hydrologic analysis using SCS methods*: Prentice-Hall, Inc.
- Muñoz, A. E. C. (2012). *Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales Suetos; y Aplicación a la Presa Palo Redondo*. Dissertação de Mestrado, Universidad privada Antenor Orrego: Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
- Oliveira, J. M. P. (1973). *O espaço urbano do Porto: condições naturais e desenvolvimento*. Porto.
- Oliveira, P. (2003). Inundações na Cidade de Lisboa. *Estudo de Hidrogeografia Urbana. DILIF-2, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa. ISBN, 972-636*.

Oliveira, P., & Ramos, C. (2002). Inundações na cidade de Lisboa durante o séc. XX e seus factores agravantes. *Finisterra: Revista portuguesa de geografia*, 37(74), 33-54.

Pedrosa, A. S., & Pereira, A. C. M. (2006). Diagnóstico dos factores condicionantes da susceptibilidade face ao risco de inundação urbana no concelho de Matosinhos. *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança*(13).

Peláez, J. R. T. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*: Ministerio de obras publicas y urbanismo.

Pereira, J. L. (1998). *Tecnologia de bases de dados*. Lisboa: FCA-Editora de Informática.

Portela, M. M. (2008). *Modelação Hidrológica - Texto de apoio à disciplina de Modelação e Planeamento de Recursos Hídricos do 4º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Civil*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Portela, M. M., & Hora, G. (2002). *Aplicação da fórmula racional à análise de cheias em Portugal Continental: valores do coeficiente C*. Paper presented at the 6º Congresso da Água, Porto.

Ramos, C. (1994). *Condições geomorfológicas e climáticas das cheias da Ribeira de Tera e do Rio Maior (bacia hidrográfica do Tejo)*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Faculdade de Letras.

Ramos, C. (2005). Programa de Hidrogeografia. Retrieved from

Ramos, C. (2013). Perigos Naturais a causas Meteorológicas: o caso das cheias e Inundações.

Ramos, C., & Reis, E. (2001). As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de Bacias Hidrográficas. *Finisterra*, 71, 61-82.

Rebelo, F. (2001). *Riscos Naturais e Acção Antrópica: estudos e reflexões*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.

Ribeiro, C. B. d. M., & Lima, R. N. S. (2011). SIMULAÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS A PARTIR DA INTEGRAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO À MODELAGEM HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA. *Revista de Geografia*, 2.

Sá, L., & Vicêncio, H. (2011). Risco de Inundações - Uma Metodologia para a sua Cartografia. *Territorium* 18, 227-230.

Santos, P. M. P. d. (2009). *CARTOGRAFIA DE ÁREAS INUNDÁVEIS A PARTIR DO MÉTODO DE RECONSTITUIÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA E DO MÉTODO*

HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO. ESTUDO COMPARATIVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARUNCA., Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Saraiva, M. G., & Carvalho, L. (2009). *Risco de Inundação: Metodologia para formulação do indicador Riprocity nº 4*. Paper presented at the Rios e Cidades: Oportunidades para a Sustentabilidade Urbana, Lisboa.

Schaake, J. C., Geyer, J. C., & Knapp, J. W. (1967). Experimental examination of the rational method. *Journal of the Hydraulics Division*, 93(6), 353-370.

Seaman, D. E., & A., P. R. (1996). An Evaluation of the Accuracy of Kernel Density Estimators for Home Range Analysis. *Ecology*, 77, 2075-2085.

Sene, K. (2013). *Flash Floods: Forecasting and warning*. Springer.

Silveira, A. L. L. (2005). Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10, 5-23.

Soares, A., Pereira, B., Santos, C., Ramos, C., Oliveira, P., & Vaz, T. (2005). *INUNDAÇÕES URBANAS: O CASO DAS RUAS DE STª. MARTA, S.JOSÉ E PORTAS DE STº ANTÃO (LISBOA)*. Paper presented at the X Colóquio Ibérico de Geografia, Évora.

Souza, G. M., & Romualdo, S. S. (2009). *Inundações Urbanas: A Percepção Sobre a Problemática Socioambiental pela Comunidade do Bairro Jardim Natal Juiz de Fora (MG)*.

Tomaz, P. (2013). *Curso de Manejo de Águas Pluviais Capítulo 3 . Tempo de Concentração*

Tucci, C. E. M., & Bertoni, J. C. (2003). *Inundações Urbanas na América do Sul*.

Zêzere, J. L., Pereira, A. R., & Morgado, P. (2005). *Perigos Naturais e Tecnológicos no território de Portugal Continental*.