

Contributo para a redução do risco de inundação na cidade de Angra do Heroísmo

Trabalho de Projeto

Vasco Barcelos Leandro da Silva

UNIVERSIDADE DOS AÇORES

Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente

Mestrado em

Engenharia e Gestão de Sistemas de Água



Angra do Heroísmo

2017

Contributo para a redução do risco de inundação na cidade de Angra do Heroísmo

Trabalho de Projeto

Vasco Barcelos Leandro da Silva

Orientadores:

Professora Doutora Sílvia Alexandra Bettencourt de Sousa de Quadros

Professor Doutor José Carlos Goulart Fontes

Trabalho de projeto submetido como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia e Gestão de Sistemas de Água

Aos meus pais,

Agradecimentos

O presente trabalho não estaria completo sem agradecer a todos os Professores, Doutores e Mestres da Universidade dos Açores, que contribuíram para o meu percurso no Mestrado de Engenharia e Gestão de Sistemas de Água, com um especial reconhecimento à Professora Doutora Sílvia Quadros, ao Professor Doutor José Fontes e à Professora Doutora Maria Manuela Juliano pelo apoio prestado na reta final do projeto desenvolvido.

O meu agradecimento aos Serviços Municipalizados de Angra do Heroísmo – Eng.^a Eduina Borges e ao Eng.^o César Pires, pela disponibilidade apresentada no fornecimento de dados inerentes ao tema estudado e à Secretaria Regional da Agricultura e Florestas dos Açores, concretamente ao Serviço Florestal da Terceira, entidade onde exerci funções como estagiário durante o período de execução deste trabalho, pelo apoio prestado durante todo o processo.

Por fim, quero ainda prestar o meu reconhecimento aos meus pais e amigos/as, que me demonstraram apoio absoluto para prosseguir com o tema escolhido, incitando cada passo da concretização do presente Projeto.

Resumo

Contributo para a redução do risco de inundação na cidade de Angra do Heroísmo

Em resultado de elevados níveis de precipitação em períodos de tempo relativamente curtos, a alteração da ocupação/uso do solo e o declive acentuado das bacias hidrográficas que incluem o centro urbano da cidade de Angra do Heroísmo, tem conduzido à ocorrência de inundações. Estes episódios são consequência da insuficiente capacidade de infiltração e de escoamento da rede de drenagem urbana para águas pluviais, tornando-se de crucial importância face a fenómenos desta natureza, avaliar as principais causas do problema e posteriormente efetuar propostas de soluções que reduzam o escoamento superficial. Para o efeito foi desenvolvido um estudo recorrendo ao software ESRI® ArcGIS 10.5 preparado para criar um sistema de informação geográfica (SIG) integrado num modelo hidrológico, com o objetivo de estabelecer uma análise pormenorizada das características fisiográficas de uma das bacias hidrográficas que inclui o centro urbano da cidade de Angra do Heroísmo, bem como de simular o comportamento do escoamento superficial quando submetida a eventos de precipitação intensa de curta duração.

Nesse sentido, além da caracterização da ocupação do solo que reflete o panorama atual verificado na unidade fisiográfica, foram construídos três cenários que enquadram medidas de mitigação e que pretendem simular o seu desempenho relativamente ao episódio verificado no dia quatro de setembro de 2015, que originou inundações sobre o centro urbano da cidade, nomeadamente numa secção que será pormenorizadamente analisada, localizada na Rua Direita.

Concluiu-se que a bacia hidrográfica quanto às suas características fisiográficas, se apresenta com uma baixa tendência para a ocorrência de inundações, contudo ocupando 40% do centro urbano da cidade, verifica-se uma elevada área impermeabilizada que contribui para um aumento significativo da sua vulnerabilidade face a eventos de precipitação intensa de curta duração. Dessa forma, perante o estudo de cenários que enquadrem medidas de mitigação estruturais e não estruturais, aquele que demonstrou melhores resultados foi o que conjugou a implantação de pavimentação permeável e espaços verdes urbanos, verificando-se um aumento significativo das perdas associadas à infiltração e interseção do copado florestal, da capacidade da bacia em reter água que não originará escoamento

superficial e conseqüentemente na diminuição dos caudais de ponta verificados na secção de referência. Além disso, quando dimensionada a secção que define a Rua Direita, este foi o cenário em que se observou a descida mais acentuada do nível da água, quando comparado com o panorama verificado no dia do evento de precipitação anteriormente descrito.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; Inundações; Sistema de informação geográfica; Modelação hidrológica; Medidas de mitigação.

Abstract

Contribution to the reduction of flood risk in the city of Angra do Heroísmo

In a result of high levels of precipitation in short time intervals, a change in land use and a sharp slope of the watershed has led to an occurrence of floods in the urban center of the city of Angra do Heroísmo. These floods are a consequence of the insufficiency of infiltration and drainage capacity of the urban drainage network for rainwater, becoming of crucial importance considered the causes of the problem and design solutions to reduce runoff. For this resolution, a study was developed using ESRI® ArcGIS 10.5, a software prepared to create a geographic information system (GIS) integrated in a hydrological model, with the purpose to establishing a detailed analysis of physiographic characteristics of the catchment area that includes the urban center of Angra do Heroísmo, as well to simulate the behavior of surface runoff when subjected to intense and short precipitation events.

In this sense, the land use characterization reflects the current panorama verified in the physiographic unit and three scenarios were constructed with mitigation measures to simulate a relation with the episode that occurred on September 4, 2015, which originated flooding over the entire basin, particularly in a section that will be analyzed in detail, located at Rua Direita.

It was concluded that the hydrographic basin as to its physiographic characteristics presented a low tendency for a flood occurrence, occupying 40% of the urban center of the city, where there is a high waterproofed area that contributes to a significant increase of its vulnerability to flash flood events. The study of scenarios that fit structural mitigation measures showed the best results, combined the implantation of permeable pavement and urban green spaces with a significant increase in losses associated with the infiltration and the intersection of the forest canopy, the capacity of the basin to retain water that will not cause surface runoff and consequently the reduction of tip flows verified on the reference section. In addition, when the section defining Rua Direita was dimensioned, this was the scenario in which the highest drop in water level was observed when compared to the scenario on the day of the precipitation event described above.

Keywords: Watershed; Floods; Geographic information system; Hydrological model; Mitigation measures.

Índice Geral

Índice de figuras	ix
Índice de quadros	xii
Lista de símbolos	xv
Acrónimos	xvii
Introdução	1
Parte I – Objetivos	5
Parte II – Enquadramento conceptual	6
Capítulo 1 – Ciclo hidrológico e balanço hídrico	6
1.1 Precipitação	8
1.2 Evapotranspiração	9
1.3 Infiltração	12
1.4 Escoamento	13
Capítulo 2 – Bacia hidrográfica	15
2.1 Delimitação de uma bacia hidrográfica	17
2.2 Características geométricas	18
2.2.1 Área de drenagem	18
2.2.2 Coeficiente de compacidade	19
2.2.3 Fator de forma	20
2.3 Características da rede de drenagem	21
2.3.1 Tipos de drenagem	21
2.3.2 Constância do escoamento	21
2.3.3 Ordem dos cursos de água	22
2.3.4 Densidade de drenagem	22
2.3.5 Coeficiente de torrencialidade	23
2.4 Características do relevo	24
2.4.1 Declive médio da bacia hidrográfica	24
2.4.2 Altitude média	24
2.4.3 Índice de rugosidade	24

2.4.4	Curva hipsométrica	24
Capítulo 3 - Inundação		26
3.1	Tipos de inundação	27
3.2	Inundação urbana	28
3.2.1	Precipitações intensas de curta duração	28
3.2.2	Medidas de mitigação	30
3.3	Enquadramento legal	34
Capítulo 4 –Modelação hidrológica integrada		37
4.1	Sistemas de informação geográfica	38
4.1.1	Modelos de dados <i>raster</i> e vetoriais	39
4.1.2	Modelo digital do terreno	40
4.1.3	Análise espacial	41
4.2	Modelo hidrológico segundo o Soil Conservation Service	42
4.2.1	Número de escoamento	44
4.2.2	Tempo de concentração e tempo de atraso	47
4.2.3	Precipitação útil e caudal de ponta	48
4.3	Escoamento com superfície livre numa secção retangular	50
Capítulo 5 – Enquadramento do caso de estudo		52
5.1	Geografia e demografia	53
5.2	Clima	55
5.2.1	Evapotranspiração de referência e evapotranspiração real	56
5.2.2	Velocidade do vento	56
5.2.3	Radiação solar e insolação	57
5.2.4	Temperatura do ar	57
5.2.5	Humidade relativa do ar	58
5.2.6	Precipitação	59
5.3	Geomorfologia	60
5.4	Solos	62
Parte III – Metodologia		64

Capítulo 1 – Sistema de informação geográfica	64
1.1 Modelo digital do terreno	64
1.2 Delimitação das bacias hidrográficas que incluem o centro urbano.....	66
1.3 Identificação e caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica em estudo _	69
Capítulo 2 – Modelação hidrológica	73
2.1 Estação meteorológica e dados de precipitação	73
2.1.1 Localização da estação meteorológica.....	74
2.1.2 Dados de precipitação	75
2.2 Panorama atual	76
2.3 Cenários mitigadores	80
Parte IV – Resultados e discussão	84
Capítulo 1 – Características fisiográficas da bacia hidrográfica	84
Capítulo 2 – Aplicação do modelo hidrológico integrado	94
2.1 Panorama atual	94
2.2 Cenários mitigadores	100
2.2.1 Cenário I – Pavimentação permeável.....	100
2.2.2 Cenário II – Espaços verdes urbanos.....	106
2.2.3 Cenário III – Pavimentação permeável e espaços verdes urbanos _____	112
Parte V – Conclusões e trabalhos futuros	119
Referências bibliográficas	122
Anexos	131
Anexo I – Sistema de informação geográfica	131
Anexo II – Quadros	137

Índice de figuras

- Figura 1: Representação dos parâmetros envolvidos no ciclo hidrológico.
- Figura 2: Representação de diferentes intensidades de precipitação para um solo com capacidade de infiltração de 30 mm.h^{-1} .
- Figura 3: Distribuição da água precipitada no solo.
- Figura 4: Diferenciação entre rede hidrográfica e bacia hidrográfica.
- Figura 5: Representação cartográfica de uma bacia hidrográfica.
- Figura 6: Corte transversal de três bacias hidrográficas adjacentes.
- Figura 7: Sequência do traçado de uma bacia hidrográfica utilizando cartografia topográfica.
- Figura 8: Representação da distribuição do escoamento superficial em duas bacias hidrográficas com formas distintas.
- Figura 9: Cálculo do fator de forma para duas bacias hidrográficas com a mesma área.
- Figura 10: Classificação dos cursos de água quanto à constância do escoamento: curso de água efémero (a); curso de água intermitente (b); curso de água perene (c).
- Figura 11: Classificação do sistema de drenagem segundo *Strahler*.
- Figura 12: Curva hipsométrica.
- Figura 13: Ilustração do processo de cheia e inundação.
- Figura 14: Bacia de retenção superficial com nível de água permanente (a) e seca (b).
- Figura 15: Espaço verde urbano (*Central Park*, em Nova Iorque).
- Figura 16: Pavimentos permeáveis: blocos de betão com juntas abertas (a) blocos de betão alveolares (b) betão poroso (c).
- Figura 17: Etapas realizadas durante a criação de uma base de dados em SIG.
- Figura 18: Modelo de dados vetoriais e modelo de dados *raster* de um SIG para representação das mesmas entidades.
- Figura 19: MDT da ilha Terceira com identificação da Serra do Cume (SC), Serra de Santa Bárbara (SB), Caldeira Guilherme Moniz (GM) e Pico Alto (PA).
- Figura 20: Enquadramento geográfico do arquipélago dos Açores, com identificação do Grupo Central (cor laranja) e da ilha Terceira (cor vermelha) no panorama insular.

- Figura 21: População residente nos Açores em locais com 2000 ou mais habitantes (a) Limites administrativos do concelho de Angra do Heroísmo, com identificação das freguesias urbanas (b).
- Figura 22: Carta vulcanológica, com referência à zona estudada.
- Figura 23: Curvas de nível com uma equidistância de 10 m, referentes ao concelho de Angra do Heroísmo (a) MDT do concelho de Angra do Heroísmo com evidência do relevo (b) MDT do concelho.
- Figura 24: Modelo digital do terreno do concelho de Angra do Heroísmo.
- Figura 25: Direção do fluxo calculada com base nos dados de relevo do MDT.
- Figura 26: Rede de drenagem do concelho de Angra do Heroísmo.
- Figura 27: Identificação do centro urbano da cidade de Angra do Heroísmo.
- Figura 28: Reclassificação do MDT em vinte classes equidistantes.
- Figura 29: Localização da EMA utilizada no âmbito do projeto desenvolvido.
- Figura 30: Componentes de um pavimento permeável constituído por blocos de betão e juntas preenchidas com material permeável.
- Figura 31: Blocos de betão com juntas abertas.
- Figura 32: Cascalho ervilha.
- Figura 33: Delimitação das bacias hidrográficas que incluem o centro urbano da cidade de Angra do Heroísmo.
- Figura 34: Identificação da bacia hidrográfica em estudo.
- Figura 35: Identificação da bacia hidrográfica em estudo.
- Figura 36: Hidrografia da bacia hidrográfica em estudo.
- Figura 37: Ordem dos cursos de água referentes à bacia hidrográfica em estudo.
- Figura 38: Gradiente altimétrico da bacia hidrográfica em estudo.
- Figura 39: Carta de declives da bacia hidrográfica em estudo.
- Figura 40: Carta de declives da bacia hidrográfica em estudo (percentagem).
- Figura 41: Curva hipsométrica da bacia hidrográfica em estudo (graus).
- Figura 42: Ocupação do solo da bacia hidrográfica em estudo – Panorama atual.
- Figura 43: Ocupação do solo da bacia hidrográfica em estudo – Cenário I (pavimentação permeável).

- Figura 44: Ocupação do solo da bacia hidrográfica em estudo – Cenário II (espaços verdes urbanos).
- Figura 45: Ocupação do solo da bacia hidrográfica em estudo – Cenário III (pavimentação permeável e espaços verdes urbanos).

Índice de quadros

- Quadro 1: Fatores que influenciam a evapotranspiração.
- Quadro 2: Fatores que influenciam a infiltração.
- Quadro 3: Fatores que influenciam o escoamento.
- Quadro 4: Tipos de inundação e suas principais causas.
- Quadro 5: Parâmetros *a* e *b* das curvas IDF referentes a Angra do Heroísmo.
- Quadro 6: Técnicas de análise espacial em SIG, com utilidade nas áreas de saúde e ambiente.
- Quadro 7: Tipos hidrológicos do solo segundo o SCS.
- Quadro 8: Número de escoamento para regiões urbanas, suburbanas e agrícolas.
- Quadro 9: Definições das condições antecedentes de humidade do solo.
- Quadro 10: Dados demográficos referentes às freguesias urbanas do concelho de Angra do Heroísmo.
- Quadro 11: Normais climatológicas – insolação, calculadas para um período de tempo de 30 anos (1961 a 1990), para Angra do Heroísmo.
- Quadro 12: Normais climatológicas – temperatura do ar, calculadas para um período de tempo de 30 anos (1961 a 1990), para Angra do Heroísmo.
- Quadro 13: Normais climatológicas – humidade relativa do ar, calculadas para um período de tempo de 30 anos (1961 a 1990), para Angra do Heroísmo.
- Quadro 14: Normais climatológicas – precipitação, calculadas para um período de tempo de 30 anos (1971 a 2000), para Angra do Heroísmo.
- Quadro 15: Dados geométricos do polígono referente à bacia hidrográfica estudada.
- Quadro 16: Comprimento (m) das polilinhas que formam a rede hidrográfica da bacia hidrográfica estudada.
- Quadro 17: Dados de precipitação referentes ao ano hidrológico 2014/2015.
- Quadro 18: Dados de precipitação referentes ao dia quatro de setembro de 2015.
- Quadro 19: CN (AMCII) de três tipos de pavimentos permeáveis.
- Quadro 20: Dados referentes às bacias hidrográficas que incluem o centro urbano da cidade de Angra do Heroísmo.
- Quadro 21: Características geométricas.

- Quadro 22: Características da rede de drenagem.
- Quadro 23: Características do relevo.
- Quadro 24: Dados relativos à caracterização topográfica da bacia hidrográfica em estudo.
- Quadro 25: Ocupação do solo na bacia hidrográfica em estudo e respetivos CN para um solo do tipo C e uma condição AMCIII – Panorama atual.
- Quadro 26: Cálculo do tempo de atraso (T_a) e tempo de concentração (T_c) – Panorama atual.
- Quadro 27: Cálculo da capacidade máxima de retenção (S_{mr}) e perdas iniciais (I_a) – Panorama atual.
- Quadro 28: Cálculo dos parâmetros inerentes à precipitação e escoamento superficial – Panorama atual.
- Quadro 29: Ocupação do solo na bacia hidrográfica em estudo e respetivos CN para um solo do tipo C e uma condição AMCIII – Cenário I (pavimentação permeável).
- Quadro 30: Cálculo do tempo de atraso (T_a) e tempo de concentração (T_c) – Cenário I (pavimentação permeável).
- Quadro 31: Cálculo da capacidade máxima de retenção (S_{mr}) e perdas iniciais (I_a) – Cenário I (pavimentação permeável).
- Quadro 32: Cálculo dos parâmetros inerentes à precipitação e escoamento superficial – Cenário I (pavimentação permeável).
- Quadro 33: Áreas convertidas – Cenário II (espaços verdes urbanos).
- Quadro 34: Ocupação do solo na bacia hidrográfica em estudo e respetivos CN para um solo do tipo C e uma condição AMCIII – Cenário II (espaços verdes urbanos).
- Quadro 35: Cálculo do tempo de atraso (T_a) e tempo de concentração (T_c) – Cenário II (espaços verdes urbanos).
- Quadro 36: Cálculo da capacidade máxima de retenção (S_{mr}) e perdas iniciais (I_a) – Cenário II (espaços verdes urbanos).
- Quadro 37: Cálculo dos parâmetros inerentes à precipitação e escoamento superficial – Cenário II (espaços verdes urbanos).
- Quadro 38: Ocupação do solo na bacia hidrográfica em estudo e respetivos CN para um solo do tipo C e uma condição AMCIII – Cenário III (pavimentação permeável e espaços verdes urbanos).

- Quadro 39: Cálculo do tempo de atraso (T_a) e tempo de concentração (T_c) – Cenário II (pavimentação permeável e espaços verdes urbanos).
- Quadro 40: Cálculo da capacidade máxima de retenção (S_{mr}) e perdas iniciais (I_a) – Cenário III (pavimentação permeável e espaços verdes urbanos).
- Quadro 41: Cálculo dos parâmetros inerentes à precipitação e escoamento superficial – Cenário III (pavimentação permeável e espaços verdes urbanos).
- Quadro 42: Resumo dos valores obtidos nos diferentes cenários simulados, para os quatro eventos mais gravosos verificados no dia quatro de setembro de 2015.

Lista de símbolos

A – Área da bacia hidrográfica (km^2)

A_s – Área da secção (m^2)

A_{bi} – Áreas em que se subdivide a bacia hidrográfica (m^2)

a, b – Constantes características de cada região

\overline{CN} – Média ponderada do número de escoamento

$CN(I)$ – Número de escoamento corrigido para uma condição particularmente seca

$CN(II)$ – Número de escoamento referente a uma condição correspondente à capacidade de campo

$CN(III)$ – Número de escoamento corrigido para uma condição particularmente húmida

E – Evaporação

E_g – Evaporação de águas subterrâneas

E_s – Evaporação de águas superficiais

F_f – Fator de forma

G – Escoamento subterrâneo

\bar{H} – Altitude média

I – Infiltração

I_a – Perdas iniciais (mm)

I_r – Índice de rugosidade

I_u – Intensidade da precipitação útil ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)

i_p – Intensidade de precipitação ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)

K – Fator de ponta da bacia hidrográfica

K_c – Coeficiente de compacidade

K_s – Coeficiente de rugosidade de *Manning-Strickler* ($\text{m}^{1/3}\cdot\text{s}^{-1}$)

K_t – Coeficiente de torrencialidade

L – Comprimento da bacia hidrográfica (km)

l – Largura da secção (m)

N – Número de cursos de água de 1ª ordem

P – Perímetro da bacia hidrográfica (km)

P_s – Precipitação que atinge o solo

P_t – Precipitação total (mm)

P_u – Precipitação útil (mm)

Q – Caudal escoado ($m^3.s^{-1}$)

Q_p – Caudal de ponta ($m^3.s^{-1}$)

R – Escoamento superficial

R_h – Raio hidráulico (m)

R_g – Escoamento subterrâneo que volta à superfície

\bar{S} – Declive médio (%)

S_{mr} – Capacidade máxima de retenção (mm)

T – Transpiração

T_a – Tempo de atraso (h)

T_c – Tempo de concentração (h)

T_g – Transpiração alimentada por águas subterrâneas

t_i – Tempo para a ponta (h)

t_p – Tempo de precipitação (min)

t_{pu} – Tempo da precipitação útil (h)

T_s – Transpiração alimentada por águas superficiais

U – Perímetro molhado (m)

y – Altura de água na secção (m)

ΔS – Volume de água armazenado no solo

ΔS_b – Volume de água armazenado abaixo da superfície

ΔS_s – Volume de água armazenado à superfície

λ_d – Densidade de drenagem ($km.km^{-2}$)

λ_h – Densidade hidrográfica ($N.km^{-2}$)

$\sum l$ – Comprimento total dos cursos de água (km)

Acrónimos

ADF – Curva altura-duração-frequência

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CLIMAAT – Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos

CORINE – *Coordination of Information on the Environment*

DAGRI – Diretiva para Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundações

DQA – Diretiva Quadro da Água

EMA – Estações meteorológicas automáticas de superfície

GPS – *Global Positioning System*

IDEIA – Infraestrutura de Dados Espaciais Interativa dos Açores

IDF – Curva intensidade-duração-frequência

IGP – Instituto Geográfico Português

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

LIDAR – *Light Detection and Ranging*

MDT – Modelo digital do terreno

OMM – Organização Meteorológica Mundial

PGRIA – Plano de Gestão de Riscos de Inundações nos Açores

PNA – Plano Nacional da Água

PPSAH – Plano de Pormenor de Salvaguarda de Angra do Heroísmo

RAA – Região Autónoma dos Açores

REOTA – Relatório do Estado do Ordenamento do Território dos Açores

SMAH – Serviços Municipalizados de Angra do Heroísmo

SIG – Sistemas de informação geográfica

SCS – *Soil Conservation Service*

TFUE – Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

UE – União Europeia

USACE – *United States Army Corps of the Engineers*

USDA – *United States Department of Agriculture*

UTM – *Universal Transversal Mercator*

Introdução

O presente trabalho desenvolve-se no âmbito da unidade curricular – Projeto II, do segundo ano de Mestrado em Engenharia e Gestão de Sistemas de Água, Faculdade das Ciências Agrárias e do Ambiente – Universidade dos Açores e consiste na elaboração do atual documento, devidamente fundamentado por um enquadramento conceptual e pela recolha organizada de dados que permitam a aplicação de um modelo hidrológico integrado.

O projeto será desenvolvido tendo em conta as inundações verificadas no dia quatro de setembro de 2015 que geraram um escoamento superficial exacerbado sobre a zona urbana da cidade de Angra do Heroísmo e que provocaram avultados danos sobre a população e o comércio numa das emblemáticas artérias da cidade (Rua Direita), onde a altura da água se verificou superior a 30 cm (RTP/A, 2015). O processo metodológico será feito recorrendo a um *software* (ESRI® ArcGIS 10.5) preparado para criar um sistema de informação geográfica (SIG) integrado num modelo hidrológico, com o objetivo de estabelecer uma análise pormenorizada às características fisiográficas de uma das bacias hidrográficas que incluem o centro urbano da cidade, no sentido de avaliar a sua maior ou menor propensão relativamente à ocorrência de inundações, bem como ao comportamento do escoamento superficial sobre a unidade fisiográfica segundo o panorama atual da ocupação do seu solo em comparação com diversos cenários de carácter mitigador. A análise desse processo será feita utilizando os dados pluviométricos verificados no dia do evento referido.

Como descrito no Relatório do Estado do Ordenamento do Território dos Açores (REOTA) publicado pela Secretaria Regional do Ambiente e do Mar em 2003, a Região Autónoma dos Açores (RAA) corresponde a um território situado no Oceano Atlântico - nordeste, que dista cerca de 1.430 km do Continente Europeu e 3.900 km do Continente Americano. É composto por nove ilhas habitadas, distribuídas em três grupos – Ocidental, Central e Oriental.

Tendo em conta as suas características geográficas, os Açores, enquanto arquipélago português, integram a União Europeia (UE) com o estatuto de região ultraperiférica, existindo medidas específicas implementadas para apoiar o desenvolvimento e atenuar as limitações inerentes à sua localização, conforme

estabelecido no Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia (TFUE), publicado pelo Jornal Oficial da União Europeia em 2016.

O clima do arquipélago é caracterizado pela sua grande imprevisibilidade, classificando-se como mesotérmico húmido com características oceânicas, essencialmente ditado pela localização geográfica das ilhas no contexto da circulação global atmosférica e oceânica e pela influência da massa aquática da qual emerge (Azevedo, 2015). Assim, de uma forma geral, o clima pode ser assinalado pela sua amenidade térmica, chuvas regulares e abundantes, elevados índices de humidade do ar, taxas de insolação pouco elevadas e por um regime de ventos vigorosos (Azevedo *et al.*, 2004). Como descrito no Plano Nacional da Água (PNA) elaborado em 2015, tipicamente de climas temperados, as quatro estações do ano são reconhecíveis, sendo que a precipitação ocorre durante todo o ano, mesmo nos meses mais secos, embora com menor expressão.

A ilha Terceira, localizada geograficamente com as coordenadas – latitude: 38°37'N-38°48'N; longitude: 27°02'W-27°23'W – em conjunto com as ilhas da Graciosa, São Jorge, Pico e Faial, formam o grupo central do arquipélago dos Açores. O concelho de Angra do Heroísmo, com uma população residente de 35.402 habitantes, é o maior dos dois concelhos da ilha ocupando 239,88 km², cerca de 60% da área total. O concelho é constituído por dezanove freguesias, sendo que cinco (Nossa Senhora da Conceição, Santa Luzia, Sé, São Bento e São Pedro) compõem a sede do concelho, sendo classificadas como freguesias urbanas e as restantes quatorze consideradas freguesias rurais ou suburbanas (Carta Social, 2015). A arquitetura da cidade de Angra do Heroísmo, com um traçado urbano renascentista originou a sua classificação como Património Mundial pela *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) a 7 de dezembro de 1983. A sua inclusão nesta categoria confirma a elevada riqueza patrimonial que Angra do Heroísmo alberga e intensifica a necessidade de preservar esses bens históricos, tão particulares e amplamente reconhecidos.

A acelerada urbanização consequente da intensa migração da população para os centros urbanos levou a uma crescente escassez de recursos naturais nessas regiões e tem vindo a criar tensões nos ecossistemas urbanos, muitas das vezes já degradados (Mentens *et al.*, 2006). Essa alteração provoca a impermeabilização do solo e modifica a natureza hidrológica do sistema, diminuindo a capacidade que a água apresentava através da ação de capilaridade e da força gravitacional, em

percorrer as várias camadas do solo (horizontes) (Liu *et al.*, 2014). Como consequência desse fenómeno, verifica-se um aumento significativo do escoamento superficial nessas regiões que, aliado à orografia e hidrografia do terreno pode conduzir a inundações (Liu *et al.*, 2014).

A zona central da cidade de Angra do Heroísmo, orograficamente e hidrograficamente refere-se a uma região com um declive acentuado, intercetada por linhas de água que formam diversas bacias hidrográficas por toda a sua extensão. Este facto, aliado à alteração da ocupação/uso do solo ao longo dos anos, por exemplo devido à construção de imóveis ou à recuperação do património depois do sismo de 1980, tem conduzido à ocorrência de inundações no centro urbano da cidade, em resultado de elevados níveis de precipitação em períodos de tempo relativamente curtos. Estas inundações são consequência da insuficiente capacidade de infiltração e de escoamento da rede de drenagem urbana para águas pluviais, tornando-se de crucial importância face a fenómenos desta natureza, avaliar a região de interesse no sentido de definir as principais causas do problema e posteriormente efetuar propostas de soluções que reduzam o escoamento superficial, como por exemplo, a criação de barreiras de vegetação que intercetem a precipitação e aumentem a evapotranspiração e/ou a instalação de bacias de retenção situadas a montante das bacias hidrográficas, com o intuito de diminuir o volume de água que chegará a jusante (Liu *et al.*, 2014).

Além dos benefícios intrínsecos no controlo de inundações, o armazenamento de águas pluviais aumenta a disponibilidade de recursos hídricos, podendo proporcionar usos não potáveis da água, tais como a sua utilização em sistemas de rega, em descargas sanitárias, enquadramento paisagístico (através de bacias de retenção superficiais – lagos e lagoas) e na recarga de aquíferos (Lo, 2012).

À escala europeia, a Diretiva nº 2007/60/CE, de 23 de outubro, que engloba a avaliação e gestão dos riscos de inundação, veio assegurar um tratamento jurídico autónomo deste tipo de risco no espaço europeu. Em Portugal, é de destacar o Decreto-Lei nº 115/2010, de 22 de outubro, que transpõe para o ordenamento jurídico nacional a Diretiva anteriormente referida e o Decreto Legislativo Regional nº 20/2016/A, onde é aprovado o Plano de Gestão de Riscos de Inundações dos Açores (PGRIA). A implementação desta legislação veio possibilitar que fosse estabelecido um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, a fim de reduzir as

suas consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas de cada região.

Nos estudos em que a variação espacial inerente aos problemas hidrológicos e aos recursos hídricos é de elevada importância, consideram-se os SIG como uma metodologia promissora (Santos *et al.*, 2006). Consequentemente, a integração dos modelos hidrológicos e os SIG constituem um método integrado com amplas potencialidades de desenvolvimento, existindo diferentes modelos matemáticos para áreas distintas de aplicação, nomeadamente: estuários, rios, albufeiras, oceanos, bacias hidrográficas e aquíferos (Telles *et al.*, 2013). Assim, este tipo de sistema apresenta-se como uma mais valia na tomada de decisões relacionadas com o planeamento e o ordenamento do território (Santos *et al.*, 2006).

Uma vez que a ocorrência de inundações pode levar a repercussões socioeconómicas significativas, torna-se pertinente a implementação de ferramentas capazes de estudar e simular o comportamento hidrológico e auxiliar no estudo de áreas inundáveis na cidade de Angra do Heroísmo.