



Carmen Celine Santos Silva Martins

IMPACTE DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO REGIME HIDROLÓGICO DA ILHA DE SANTIAGO E CONSEQUÊNCIAS NA REDE DE DRENAGEM LOCAL

IMPACT OF THE CLIMATE CHANGE ON THE SANTIAGO'S ISLAND HYDROLOGICAL REGIME AND CONSEQUENCES ON THE LOCAL DRAINAGE SYSTEM

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, na área de Especialização em Território e Gestão do Ambiente, orientada pela Professora Doutora Isabel Pedroso de Lima.

Coimbra, 19 de dezembro de 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Carmen Celine Santos Silva Martins

Impacte das alterações climáticas no regime hidrológico da Ilha de Santiago e consequências na rede de drenagem local

Impact of the climate change on the Santiago's Island hydrological regime and consequences on the local drainage system

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, na área de Especialização em Território e Gestão do Ambiente, orientada pela Professora Doutora Isabel Pedroso de Lima.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, declina qualquer
responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões
que possam surgir

Coimbra, 19 de dezembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Endereço um especial agradecimento à minha orientadora, Professora Doutora Isabel Pedroso de Lima, pela proposta do tema, pela orientação, disponibilidade, paciência e incentivo durante a realização deste trabalho.

Ao Engenheiro António Gonçalves, ex-Presidente do LEC (Laboratório de Engenharia Civil de Cabo Verde), ao Arquitecto Aquiles Oliveira da Câmara Municipal da Praia, à professora Doutora Sílvia Monteiro da UniCV (Universidade de Cabo Verde), ao Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde - delegação da Praia na pessoa do Sr. Jorge Batalha, à Engenheira Margarida Santos e à Engenheira Elizabeth Ribeiro, serei eternamente grata pela disponibilidade e pela colaboração prestada a este trabalho ao terem disponibilizado dados e informações sem os quais não seria possível a realização do mesmo. À Marcelle Vargas pela ajuda e apoio no tratamento em SIG de algumas informações. Bem haja a todos.

À Universidade de Coimbra, ao seu corpo docente, funcionários e colegas que possibilitaram aquisição de conhecimento a nível académico e pessoal que certamente farão de mim uma profissional de destaque.

Não posso deixar de expressar um profundo apreço à Noela Pina, Elizabeth Ribeiro, Filomeno Vieira, Fernando Soares, Ângela Varela, Beatriz Fragoso, Luís Lopes, Marvin Duarte, Roham Torabi, Solange Cardoso, Júlia Gonçalves, Ana Andrade, Torquato Júnior e às Mondeguínas, pelos vários momentos partilhados ao longo destes 5 anos e por terem contribuído para que este processo fosse, de alguma forma, mais leve.

À Yahaira Lima, Inês Costa, Margarete Varela e Núria Lopes que são muito mais do que amigas, irmãs que a vida me ofereceu!

Ao Daniel Gonçalves, pela paciência, companheirismo e sabedoria em lidar com os meus vários momentos de frustração nestes últimos meses.

À minha querida irmãzinha, Ashley Michelle, que inocentemente associa o término do meu curso a eu conseguir oferecer-lhe uma viagem à Tomorrowland. Espero que assim seja!

À minha tão amada mãe que tudo fez, tudo faz e certamente tudo fará para que eu tenha uma vida melhor ao que ela, em tempos, pôde oferecer. Obrigada por todo o carinho, suporte e pelo apoio incondicional. Esta conquista é mais sua do que minha!

Bem haja a todos os que estiveram comigo nesta caminhada!

RESUMO

Cabo Verde, situado no Oceano Atlântico Norte, na costa Ocidental Africana, é um pequeno estado insular, que devido ao contexto climático na qual se insere, encontra-se particularmente vulnerável à ocorrência de eventos extremos e aos respetivos impactes. Atendendo a estas condições, e, pretendendo contribuir para o incremento do conhecimento e desenvolvimento local, esta Dissertação subordina-se a analisar o impacte das alterações climáticas no regime hidrológico da Ilha de Santiago, deste arquipélago, no que toca à maior ou menor possibilidade de ocorrência de fenómenos extremos associados à falta (seca) ou ao excesso de precipitação (cheias). Para tal, analisa-se a existência de tendência em séries da precipitação, temperatura e humidade relativa do ar dos últimos 40 anos em alguns postos udométricos/estações climatológicas distribuídos pela Ilha de Santiago através dos métodos não-paramétricos de Mann-Kendall e de Sen's slope.

Tendo em conta as tendências identificadas e restringindo o estudo a um caso particular na Ilha, focar-se-á na questão das precipitações intensas na cidade capital do País, cidade da Praia, na medida em que têm potenciado inundações com elevada recorrência ao longo dos anos causando inúmeros constrangimentos a nível social, ambiental e económico. Deste modo e devido à carência do conhecimento hidrológico local, essencialmente na caracterização de chuvadas de projeto, o presente trabalho dedica-se, também, à construção da curva IDF para a cidade da Praia assente em dados locais recentes.

Palavras-chave: Variabilidade climática; Precipitações intensas; Curva IDF; Regime pluviométrico; Inundações urbanas.

ABSTRACT

Cape Verde, located in the North Atlantic Ocean on the West African coast, is a small archipelago, which due to the climatic context in which it is inserted, is particularly vulnerable to the occurrence of extreme events and their impacts. Considering these conditions, and aiming to contribute to the increase of local knowledge and development, this Dissertation aims to assess the impact of climate change on the hydrological regime of the Island of Santiago (Cape Verde) in relation to the greater or lesser possibility of occurrence of extreme phenomena associated with deficit (drought) or surplus of precipitation (floods). For this, trends in rainfall, temperature and relative humidity series for the last 40 years are analyzed using gauge stations distributed by the Island of Santiago through the non-parametric methods of Mann-Kendall and Sen's slope.

Considering the trends obtained and restricting the study to a particular case on the Island, it will focus on the issue of intense precipitation in the capital city of the Country, Praia, as these have increased floods with high annual recurrence causing social, environmental and economic constraints. Therefore, and due to the lack of local hydrological knowledge, mainly in the characterization of project rainfall, the present work is also dedicated to the construction of the IDF curve for the city of Praia based on recent local data.

Keywords: Climatic variability; Intense Precipitation; IDF curve; Pluviometric regime; Urban floods.

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice	iv
Índice de Figuras	vii
Índice de Quadros	ix
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e Motivações	2
1.3 Estrutura Geral da Dissertação	2
2 Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 Alterações Climáticas	4
2.2 Vulnerabilidade da África Ocidental aos Eventos Extremos.....	6
2.2.1 Precipitações Intensas e de Curta Duração.....	7
2.2.2 Seca.....	8
2.2.3 Erosão Costeira.....	9
2.2.4 Inundações	9
2.3 Precipitações Intensas e de Curta Duração em Cabo Verde.....	9
2.3.1 Variabilidade Climática	9
2.3.2 Caracterização das Precipitações Intensas	11
2.3.3 Rede de Drenagem Pluvial	13
2.3.4 Inundações / Cheias Urbanas Potenciadas por Precipitações Intensas.....	13
2.3.5 Importância do Estudo das Precipitações Intensas para a Sociedade Cabo Verdiana	15
3 Materiais e Métodos	17
3.1 Síntese Metodológica.....	17
3.2 Materiais: Dados Climatológicos.....	18

3.3	Métodos	19
3.3.1	Teste de Homogeneidade: Curvas de Dupla Massa	19
3.3.2	Teste de Tendência: Mann-Kendall e Sen	20
3.3.3	Determinação da curva IDF	22
4	Caraterização da Ilha De Santiago	26
4.1	Contextualização Geográfica	26
4.2	Geologia e Geomorfologia	27
4.3	Condicionantes Meteorológicas	27
4.3.1	Principais Tipos de Circulações Observados na Área do Arquipélago	27
4.3.2	Estação das “Brisas” / Estação Seca	27
4.3.3	Estação das “Águas”	28
4.4	Descrição do Clima local e das Variáveis Climáticas	29
4.4.1	Temperatura	29
4.4.2	Humidade Relativa	30
4.4.3	Precipitação: Regime e distribuição	31
4.5	Estudo de Caso: Cidade da Praia - Bacia Hidrográfica da Trindade	33
4.5.1	Generalidades	33
4.5.2	Regime Hidrológico	34
4.5.3	Ocupação do Solo	35
4.5.4	Sistema de Drenagem de Águas Pluviais	36
4.5.5	Bacia Hidrográfica da Trindade	38
4.5.6	Inundações na Cidade da Praia	39
5	Resultados	42
5.1	Considerações Gerais	42
5.2	Consistência das Séries de Precipitação	42
5.3	Tendência Observada nas Variáveis Climáticas	43
5.3.1	Precipitação Média Anual	43
5.3.2	Precipitação Média Trimestral e Semestral	45
5.3.3	Precipitação Máxima Diária	46
5.3.4	Temperatura	48

5.3.5	Humidade Relativa	50
5.4	Caraterização das precipitações intensas na Cidade da Praia	52
5.4.1	Análise estatística da série pluviométrica máxima diária.....	52
5.4.2	Estimativa da curva IDF	53
5.4.3	Análise comparativa da curva IDF obtida com outras já determinadas	55
5.5	Caraterização da bacia hidrográfica de Trindade.....	56
5.6	Síntese.....	57
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	60
	Referências Bibliográficas.....	63
Anexo A	– Postos Udométricos.....	1
Anexo B	– Dados Climatológicos	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diferenças (em grau Celsius, °C) na temperatura média global (2081-2100), relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP2.6, à esquerda, e RCP8.5, à direita) (IPCC, 2014).	5
Figura 2.2 - Diferenças (em percentagem) na precipitação média global (2081-2100), relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP2.6, à esquerda, e RCP8.5, à direita) (IPCC, 2014).	5
Figura 2.3 - Diferenças (em metro, m) no nível médio global do mar (2081-2100), relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP2.6, à esquerda, e RCP8.5, à direita) (IPCC, 2014).	5
Figura 2.4 - Países da África Ocidental. Fonte: Google	6
Figura 4.1 - Distribuição geográfica dos concelhos da ilha de Santiago (Cabo Verde), reproduzida de Varela (2014).	26
Figura 4.2 - Variação da temperatura média anual em 6 postos distribuídos pela Ilha de Santiago, no período 1987-2001. No posto da Assomada para o ano de 1998 não havia dados disponíveis.	30
Figura 4.3 - Variação da humidade relativa média anual em 5 postos distribuídos pela Ilha de Santiago, no período 1987-2001. No posto da Assomada e São Francisco para o ano de 1998 e 1987, respetivamente, não haviam dados disponíveis.	30
Figura 4.4 - Precipitação média anual referentes a 12 postos distribuídos pela Ilha de Santiago determinado pelo método de Thiesen, no período de 1980 – 2016.	31
Figura 4.5 - Carta da rede de drenagem artificial da cidade da Praia (CMP, 2014).	37
Figura 5.1 – Gráficos resultantes do teste de homogeneidade/consistência da precipitação nos postos udométricos na Ilha de Santiago, no período de 1980-2016. À esquerda, as séries consistentes (a). À direita, as séries não consistentes (b).	43
Figura 5.2 - Tendência da precipitação média anual na Ilha de Santiago.	44
Figura 5.3 - Aumento relativo da precipitação média anual (marcadores) e valor da precipitação média anual (barras) em 8 postos na Ilha de Santiago, avaliado no período 1980-2016.	45
Figura 5.4 - Tendência da precipitação máxima diária em 6 postos localizados na Ilha de Santiago.	48
Figura 5.5 - Tendência na temperatura média anual da cidade da Praia, no período 1981-2016.	48
Figura 5.6 – À esquerda apresenta-se a distribuição temporal da temperatura máxima e mínima mensal média no período 1977-2016, posto da Praia (a). À direita apresenta-se a estimativa de tendência obtida para a temperatura máxima e mínima mensal média no período 1977-2016, posto da Praia (b).	50

Figura 5.7 - Tendência na humidade relativa média anual para o posto da Praia, período 1981- 2016.....	50
Figura 5.8 – Valores médios mensais da humidade relativa, a temperatura mínima e máxima e precipitação do posto da cidade da Praia, no período 1977-2016.	51
Figura 5.9 - Ajuste do modelo de Gumbel à série de precipitações máximas diárias da cidade da Praia. A função de distribuição dada por Gumbel é definida pela expressão $F(x *) = e^{-e^{(-y)}}$; com $y = \frac{x^* - \bar{u} + 0,45s}{0,7797*s}$. A função densidade de probabilidade é dada pela integral $f(x) = \int_0^{x^*} F(x *) dx$	53
Figura 5.10 - Curvas IDF para a cidade da Praia para durações de chuvadas até as 24 horas, admitidas descritas por uma função potência, com parâmetros indicados no Quadro 5.11.....	54
Figura 5.11 – Curva hipsométrica da bacia de Trindade.....	56
Figura 5.12 - Previsão de alterações na precipitação na ilha de Santiago, pelo Modelo de Circulação Atmosférica Global HadGEM1, sob o cenário de emissões A1b, in (RCP, 2016): a) precipitação mensal média em 2020, 2050 e 2080; b) precipitação anual e mensal média nos meses de julho a fevereiro, no período 2020-2080.....	58

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Máximos da quantidade precipitada no dia mais chuvoso nas principais Ilhas pertencentes ao grupo da Macaronésia e respetivas percentagem da correspondente precipitação anual e mensal, no período 1980-2004 (Adaptada de Marzol et al., 2006).....	12
Quadro 2.2 - Precipitações ocorridas na Ilha de São Nicolau em 2009 (reproduzido de Monteiro e Cunha, 2011).....	13
Quadro 3.1 – Localização dos postos udométricos na Ilha de Santiago com registos no período 1977-2016 e respetiva estatística descritiva básica da precipitação média anual (Critério de organização: altitude crescente).....	18
Quadro 3.2 – Postos/estações climatológicas da Ilha de Santiago e respetiva estatística descritiva básica para as variáveis climáticas, temperatura e humidade relativa, no período 1981-2001.....	19
Quadro 4.1 - Distribuição da área e população dos concelhos de Santiago (reproduzida de Varela, 2014).	26
Quadro 4.2 - Tipos de redes de drenagem existentes em várias zonas da cidade da Praia, totalizando cerca de 14.3 km de rede (CMP, 2014).	38
Quadro 4.3 – Zonas suscetíveis às cheias e inundações (CMP, 2014).....	41
Quadro 5.1 – Resultado do teste de homogeneidade/consistência da precipitação nos postos udométricos na Ilha de Santiago, no período de 1980-2016.	42
Quadro 5.2 – Tendência da precipitação média anual na Ilha de Santiago, no período 1980-2016, onde n é o número de dados, Q e B são os parâmetros definidos na equação 7 que representam, respetivamente, a estimativa da tendência na variável analisada expressa em mm/ano, e, a constante expressa em mm. O significado da notação adotada para o nível de significância (+, *, **, ***) encontra-se definido no capítulo 3, página 21.	44
Quadro 5.3 - Tendência na precipitação Trimestral e Semestral na Ilha de Santiago, correspondente nível de significância estatística e respetiva análise estatística descritiva básica.	46
Quadro 5.4 - Tendência da precipitação máxima diária, onde n é o número de dados, Q e B são os parâmetros definidos na equação 7 que representam, respetivamente, a estimativa da tendência na variável analisada expressa em mm/ano, e, a constante expressa em mm. “n.s.” indica que a estimativa de tendência foi obtida para um nível de confiança inferior a 90%.....	44
7	
Quadro 5.5 - Tendência da temperatura máxima mensal para o Posto da Praia, período 1977-2016, onde n é o número de dados, Q é a estimativa da tendência na variável analisada expressa em °C/ano e B é a constante expressa em °C. “n.s.” indica que a estimativa de tendência foi	

obtida para um nível de confiança inferior a 90%. O significado da notação adotada para o nível de significância (+, *, **, ***) encontra-se definido no capítulo 3, página 21.....	49
Quadro 5.6 - Tendência da temperatura mínima mensal para o posto da Praia, período 1977 – 2016, onde n é o número de dados, Q é a estimativa da tendência na variável analisada expressa em °C/ano e B é a constante expressa em °C. O significado da notação adotada para o nível de significância (+, *, **, ***) encontra-se definido no capítulo 3, página 21.	49
Quadro 5.7 - Tendência da humidade relativa mensal posto Praia, período 1977-2016, onde n é o número de dados, Q é a estimativa da tendência na variável analisada expressa em %/ano e B é a constante expressa em %. O significado da notação adotada para o nível de significância (+, *, **, ***) encontra-se definido no capítulo 3, página 21.....	51
Quadro 5.8 – Aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov à amostra de precipitações diárias máximas anuais do posto da Praia.	53
Quadro 5.9 - Quantidades e intensidades máximas diárias precipitadas (P_{md} e $I_{diária}$, respetivamente) e correspondente período de retorno (Tr) obtidos através da aplicação do modelo de Gumbel.	54
Quadro 5.10 - Intensidade máxima diária precipitada (mm/h) obtida para a cidade da Praia através da aplicação da expressão proposta por Témez (1978) para diferentes durações de chuvadas (h) e períodos de retorno (anos). Na ausência de dados horários, estimou-se a intensidade horária por aplicação do coeficiente de desagregação da precipitação diária.....	54
Quadro 5.11 – Parâmetros das curvas IDF para a cidade da Praia, descritas por funções potência do tipo $I=at^b$, com I a intensidade da precipitação (mm/h) e t a duração da chuvada (horas).....	55
5	
Quadro 5.12 – Parâmetros das curvas IDF para a cidade de Lisboa (DR n°23/95 de Portugal) e estimadas neste trabalho para a cidade da Praia, e respetivas intensidades de precipitação (mm/h) para eventos com durações de 30 e 60 minutos. As intensidades precipitadas para a cidade da Praia foram obtidas com a duração expressa em horas.	55
Quadro 5.13 – Estimativas do tempo de concentração da bacia de Trindade, segundo vários métodos.....	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

De acordo com as projeções obtidas pelos modelos climáticos, qualquer que seja o cenário de evolução adotado (tendo em conta os cenários apresentados no quinto relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) baseados em diferentes níveis de emissão de gases de efeito de estufa (GEE)) ir-se-ão verificar alterações a nível do clima e das variáveis climáticas, quer associadas a atividades antropogénicas quer devidas a variabilidade intrínseca do sistema climático.

Contudo, as alterações podem ser sentidas em maior ou menor escala consoante a área geográfica do globo, o que faz com que haja regiões mais suscetíveis a tais mudanças e respetivos impactes do que outras, causando assim, uma distribuição desigual do que se classificam como anomalias acentuadas das variáveis climáticas no planeta.

Em contraste com o que se encontra previsto para as variáveis climáticas em massas continentais - aumento da temperatura e tendência para uma diminuição da precipitação nas latitudes médias potenciando fenómenos extremos associados a secas e cheias -, estudos recentes apontam tendências de aumento da precipitação sobre as massas oceânicas comparativamente ao mesmo regime esperado em massas continentais. Tem-se discutido que é possível que este efeito seja dominante em ilhas pequenas por serem mais sensíveis aos fenómenos desencadeados pelo aquecimento global.

Deste modo, surge o particular interesse em analisar as alterações e tendências recentes no regime pluviométrico e nas variáveis climáticas pertinentes da Ilha de Santiago, Cabo Verde, e possíveis consequências a nível ambiental, económico e social, a curto e médio/longo prazo suscitadas por alterações do clima a nível global e local.

A Ilha de Santiago, onde a precipitação apresenta variações inter-anuais muito acentuadas, é a maior e mais populosa ilha do arquipélago e alberga a capital política e administrativa do país, a cidade da Praia. A cidade da Praia, situada na extremidade litoral Sul da Ilha, se encontra, portanto, particularmente vulnerável a fenómenos extremos associados à falta (secas) ou ao excesso de precipitação (cheias).

Dado à importância da cidade face a economia nacional e à elevada concentração populacional ali existente, fenómenos potenciados por precipitações intensas, nomeadamente, as inundações urbanas também serão abordadas ao longo desta Dissertação, ainda que com um carácter

essencialmente qualitativo, de modo a propor medidas adaptativas, estruturais e não estruturais, que possam contribuir para mitigar os impactes adversos intrínsecos a este fenómeno.

1.2 Objetivos e Motivações

O trabalho que se apresenta teve como principal objetivo contribuir para a análise do impacte das alterações climáticas no regime hidrológico da Ilha de Santiago através do estudo das tendências recentes em variáveis climáticas da Ilha, destacando-se o regime pluviométrico, e do estudo das precipitações intensas na capital do arquipélago e consequente fenómeno das inundações urbanas. Visou-se, assim, complementar o conhecimento do regime hidrológico e das possíveis implicações na rede de drenagem local.

1.3 Estrutura Geral da Dissertação

O texto e os respetivos Quadros e Figuras encontram-se organizados em seis capítulos. O primeiro capítulo, que agora se apresenta, contém o enquadramento do trabalho, os objetivos e motivações e a apresentação da sua estrutura geral.

No Capítulo 2 faz-se a revisão da bibliografia existente. Apresentam-se estudos pertinentes produzidos nos países da África Ocidental acerca da sua vulnerabilidade às alterações climáticas. Destaca-se o fenómeno das precipitações intensas e o historial das inundações urbanas potenciadas por estas nas Ilhas de Cabo Verde.

No Capítulo 3 apresentam-se os materiais e métodos usados para a realização deste trabalho.

No Capítulo 4 faz-se a caracterização geográfica, geológica e geomorfológica da Ilha de Santiago bem como a descrição do clima local e das suas condicionantes meteorológicas. Apresenta-se o caso de estudo, a cidade da Praia, e caracterizam-se questões pertinentes para o estudo em questão. Descreve-se a hidrologia da cidade, a ocupação do solo, os sistemas de drenagem de águas pluviais, a bacia hidrográfica que a envolve e apontam-se algumas causas que têm exacerbado a problemática das inundações que se têm presenciado na cidade.

No Capítulo 5 apresentam-se os resultados obtidos relativamente às tendências recentes observadas nas variáveis climáticas na Ilha de Santiago, em geral, e para a cidade da Praia, em particular, a partir dos métodos elucidados no terceiro capítulo. Apresenta-se a curva de Intensidade - Duração - Frequência obtida para a cidade da Praia e a comparação desta com outra previamente definida. Apresenta-se a classificação da bacia hidrográfica principal que drena a cidade segundo os parâmetros que a caracterizam, e, ainda uma breve síntese dos resultados obtidos.

No último capítulo, reflete-se sobre o trabalho desenvolvido e são apresentadas as considerações finais. É analisado o trabalho apresentado, os pontos fortes e fracos do mesmo, as limitações e as suas potencialidades bem como propostas e indicações para a realização de possíveis trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo dedica-se a fazer o enquadramento do assunto a que se subordina esta Dissertação, apresentando uma revisão bibliográfica dos impactes relevantes associados às alterações climáticas nos países da África Ocidental, no geral, e nas ilhas de Cabo Verde, em particular.

2.1 Alterações Climáticas

As Alterações Climáticas são fenómenos globais com os quais a sociedade se tem debatido nos últimos anos, devido aos significativos impactes a que se tem assistido, nomeadamente, o aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície de $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, desde o início do século XX, e uma maior frequência de eventos extremos: episódios de precipitação intensa, sobretudo nas latitudes médias e altas, e de secas nas latitudes médias (Projeto SIAM II, 2006).

De entre os parâmetros mais importantes para estudos de impactes e adaptações sectoriais destacam-se a temperatura, a precipitação e a elevação do nível médio do mar (Bernardino e Espírito Santo, 2015). As Figuras 2.1, 2.2 e 2.3 ilustram as projeções para 2100 da distribuição da temperatura, precipitação e nível global médio do mar, respetivamente, segundo os dois cenários extremos de evolução, RCP 2.6¹ e RCP 8.5², relativamente ao período de referência 1986-2005.

Prevê-se que a temperatura da superfície aumente ao longo do século XXI em todos os cenários de emissões avaliados. É muito provável que as ondas de calor ocorram mais frequentemente e durem mais tempo, e que os eventos extremos de precipitação se tornem mais intensos e frequentes em muitas regiões. O oceano continuará a aquecer-se e acidificar-se-á, e o nível médio global do mar irá subir (IPCC, 2014).

Contudo, espera-se que as alterações climáticas globais afetem os climas locais, podendo, no entanto, levá-los a evoluir segundo sentidos opostos ao da tendência global. As alterações climáticas locais dependem não apenas das modificações verificadas a nível global, mas também de fatores específicos como (p.e. Novo, 2009):

- a) A localização geográfica da região – sobretudo em termos da latitude;
- b) A proximidade ou afastamento aos oceanos – ou seja, a sua continentalidade;

¹RCP 2.6 (*Representative Concentration Pathway 2.6*) - cenário de evolução da concentração de gases de efeito de estufa adotado no quinto relatório do IPCC (2014) considerado o “mais otimista”, projetado para manter a temperatura média do ar à superfície do planeta inferior a 2°C em relação à época pré-industrial (IPCC, 2014).

²RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathway 8.5*) - cenário de evolução da concentração de gases de efeito de estufa adotado no quinto relatório do IPCC (2014) considerado o “mais pessimista”, projetado para a excedência de 2°C da temperatura do ar média à superfície do planeta em relação à época pré-industrial (IPCC, 2014).

- c) A localização face a grandes cadeias montanhosas;
- d) A localização face às grandes correntes oceânicas;
- e) A proximidade aos grandes centros poluidores (ex.: Europa Central, Leste dos Estados Unidos);
- f) A proximidade a grandes fontes naturais emissoras de aerossóis (ex.: oceanos, superfícies desérticas, vulcões em atividade);
- g) As condições microclimáticas locais.

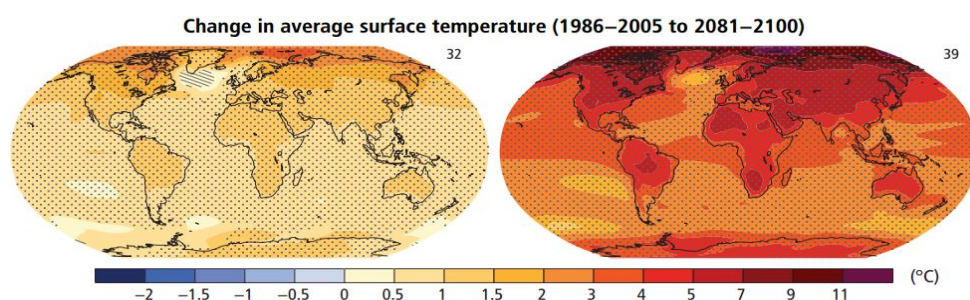


Figura 2.1 - Diferenças (em grau Celsius, °C) na temperatura média global (2081-2100), relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP2.6, à esquerda, e RCP8.5, à direita) (IPCC, 2014).

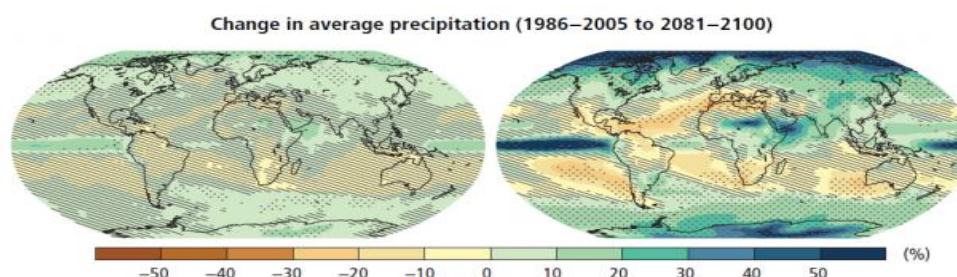


Figura 2.2 - Diferenças (em percentagem) na precipitação média global (2081-2100), relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP2.6, à esquerda, e RCP8.5, à direita) (IPCC, 2014).

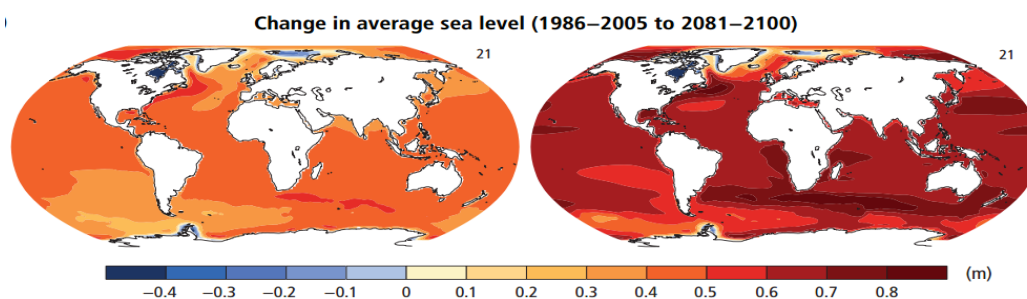


Figura 2.3 - Diferenças (em metro, m) no nível médio global do mar (2081-2100), relativamente ao período de referência (1986-2005), estimada para dois cenários de emissões (RCP2.6, à esquerda, e RCP8.5, à direita) (IPCC, 2014).

Deste modo, entende-se que os fenómenos desencadeados pelas alterações climáticas têm uma distribuição desigual ao longo do globo terrestre fazendo com que haja regiões mais vulneráveis a tais alterações e respetivos impactes do que outras. Entre estas regiões destacam-se os meios Insulares, os Países em Desenvolvimento e todas as regiões cuja capacidade de resiliência e de adaptação face aos efeitos adversos causados pelas alterações das variáveis climáticas estejam comprometidas por restrições físicas, sociais ou económicas.

2.2 Vulnerabilidade da África Ocidental aos Eventos Extremos

A África Ocidental inclui os países da costa Oriental do Oceano Atlântico e alguns que partilham a porção Ocidental do Deserto do Sahara (Figura 2.4). Integram a lista dos Países Emergentes e Economias em Desenvolvimento cuja capacidade de resiliência e adaptação às alterações climáticas conta com algumas restrições. São na sua maioria comunidades com elevados níveis de pobreza, dependência da agricultura de sequeiro, falta de acesso à tecnologia e melhores práticas de cultura, tornando-os particularmente vulneráveis a eventos naturais extremos.

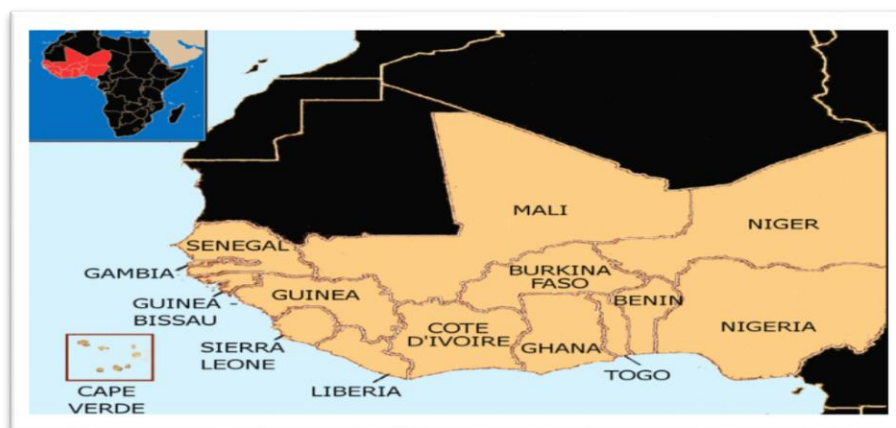


Figura 2.4 - Países da África Ocidental. Fonte: Google

Segundo o projeto *CLimate Change and Urban Vulnerability in Africa* (CLUVA) (AMRA, 2010), entende-se por vulnerabilidade, no contexto das alterações climáticas, a fração do valor total em risco de ser perdido após um evento adverso específico. A África Ocidental possui um conjunto de características que exacerba a sua vulnerabilidade e o grau de exposição face aos eventos extremos, sendo os países aí localizados palco de inúmeros desastres naturais, anualmente. A maior parte desses países possui contato direto com o Oceano Atlântico estando constantemente ameaçados pela subida do nível do mar, com conseqüente recuo da linha de costa e da ocorrência de ciclones tropicais. Nota-se que países como Mali e Níger, embora não possuam contato direto com o oceano, estão como os demais sobre a influência da extensa

região do Sahel caracterizado pela acentuada variabilidade climática e desastres naturais associados.

Às alterações climáticas estão associados a ocorrência de eventos meteorológicos extremos, eventos considerados poucos usuais, severos ou impróprios da estação. Nas últimas décadas, a alteração de períodos de precipitação extrema e de períodos com condições secas levou a uma sucessão de anos de inundação/seca (Mouhamed et al., 2013). As consequências desastrosas desses eventos nos países da África Ocidental tornam o conhecimento da variabilidade e das tendências na precipitação, incluindo precipitações intensas, essenciais para o planeamento dos riscos associados a estes eventos climáticos, particularmente na gestão de recursos hídricos e da defesa civil.

2.2.1 Precipitações Intensas e de Curta Duração

Os países da África Ocidental estão sob forte influência da variabilidade climática intrínseca à região do Sahel, que apresenta uma acentuada variabilidade inter-anual e sazonal da precipitação potenciando a probabilidade de ocorrência de fenómenos extremos (Ta et al., 2016). O regime pluviométrico desses países está compreendido, essencialmente, entre o período de abril a outubro e a sua ocorrência está associada à migração sazonal da zona de convergência intertropical (ZCIT) e também à penetração norte do fluxo de monção no continente africano (Drobinski, 2007).

Com intuito de perceber essa variabilidade na precipitação, Ta et al. (2016) levaram a cabo um estudo em que caracterizam a distribuição espacial das precipitações intensas na região dos países da África Ocidental, no período 1997-2014, onde concluíram que os dias chuvosos extremos na região Sul da África Ocidental contribuem para, aproximadamente, 30 a 50% da quantidade de precipitação entre abril e outubro enquanto que na região do Norte contribuem com cerca 50 a 90%, destacando assim a importância desses eventos na quantidade anual de precipitação.

De acordo com Mathon et al. (2002), a elevada percentagem na região Norte (acima de 12 ° N) pode estar relacionada com sistemas convectivos organizados que contribuem para 80% da cobertura de nuvens convectivas e para 90% das chuvas na região do Sahel.

Embora este estudo só tenha abrangido as massas continentais, Cabo Verde, situado ao largo da costa Ocidental Africana entre os paralelos 14°49' N e 17°11' N, também tem registado frequentemente fenómenos de precipitações intensas principalmente nas ilhas montanhosas.

Na Ilha de Santiago, por exemplo, segundo estudos realizados por Silva (1981) aquando da análise das precipitações mensais em seis postos udométricos distribuídos pela Ilha no período

1938-1979, concluiu que nos setores mais húmidos, há uma probabilidade estatística de cerca 90% de precipitações diárias acima de 50 mm ocorrerem durante os meses de agosto e setembro e de 50% em outubro. Para a mesma Ilha, Dittrich (1982) estabeleceu funções de distribuição de probabilidades da precipitação, para seis postos udométricos no período 1949-1970, onde conclui que episódios chuvosos diários de 50mm, têm um período de retorno inferior a um ano, nos locais mais pluviosos da Ilha.

2.2.2 Seca

Em contraste com os efeitos devastadores e muitas vezes economicamente inoportáveis causados pelas precipitações intensas características desta região, durante parte do ano, estes países sofrem com a falta de precipitação, o que dá lugar frequentemente a períodos de seca que desde há muito acompanham a história destes países. A seca é um dos fenómenos ambientais mais prejudiciais, resulta da deficiência do valor esperado ou "normal" de precipitação que, quando prolongado durante um longo período de tempo, é insuficiente para atender às necessidades locais (AMRA, 2010).

A Figura 2.5 documenta a evolução do índice de precipitação padronizado (SPI) no Sahel calculado a partir dos dados de algumas estações na mesma região, entre o período de 1921 a 1994. Verifica-se o contraste entre a década húmida de 1951 a 1960 seguida das décadas secas dos anos 70, 80 e 90. Segundo Le Barbé et al. (2002), o défice médio de precipitação nas décadas de 1970 e de 1980 relativamente às décadas de 1950 e 1960 é de cerca de 180 mm para as regiões do continente Africano compreendidas entre os paralelos 4.5° e 14.5° N e os meridianos 10° W e 4° E.

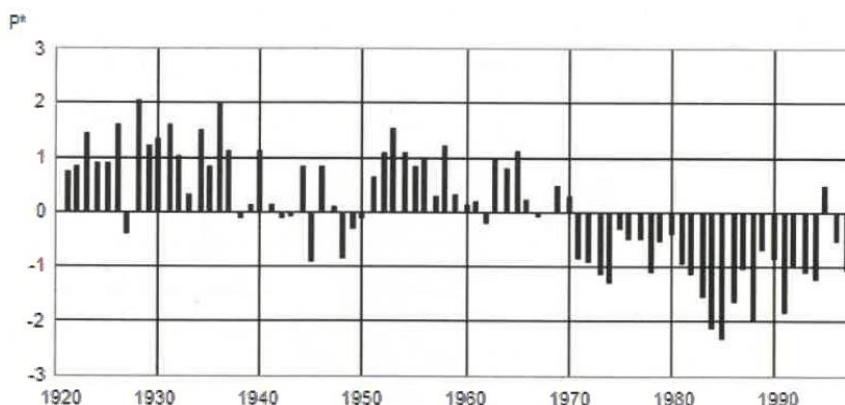


Figura 2.5 - Evolução do índice de precipitação padronizado à escala anual ($P^* = (P - m) / s$; em que m e s são, respetivamente, a média e o desvio-padrão dos registos de precipitação em algumas estações na região do Sahel entre 1921 e 1994) (figura reproduzida de Le Barbé et al., 2002).

2.2.3 Erosão Costeira

O aumento do nível médio do mar constitui um dos impactes previstos pelos modelos climáticos a ser enfrentado nos próximos anos. Em termos físicos, os principais impactos diretos do aumento do nível do mar incluem a inundação de zonas costeiras, a erosão costeira, a perda de zonas húmidas costeiras e a intrusão salina.

O fenómeno da erosão costeira, como uma das consequências do aumento do nível médio do mar, aliado às pressões induzidas pelo homem na zona costeira (como a crescente população, a captação de água e a alteração do regime hidrológico, incluindo o acúmulo de sedimentos ou extração de inertes), reveste-se de grande importância para estes países pois as suas costas são economicamente importantes uma vez que grande parte do Produto Interno Bruto (PIB) advém de atividades costeiras como a pesca, o turismo e o comércio. Esta é uma das razões pelas quais as populações estão concentradas ao longo do litoral, com uma taxa de urbanização superior à do interior. Como resultado, muitas das suas capitais e grandes cidades são costeiras.

2.2.4 Inundações

Precipitações sazonais acima da média na zona do Sahel podem corresponder a bons anos agrícolas ou a grandes catástrofes urbanas, como cheias que devastam grande parte das zonas urbanas. O fenómeno das cheias e inundações é bastante recorrente nos países da África Ocidental, como consequência de elevadas quantidades precipitadas, concentradas no tempo, aliadas à falta de ordenamento de algumas zonas urbanas e de redes de drenagem precárias ou não adequadas às realidades locais. Registam-se anualmente inúmeros casos afetando toda a comunidade Ocidental Africana, especialmente as comunidades mais carenciadas.

O ano de 2016, segundo dados reportados pelo *UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs* (2016), foi igualmente catastrófico tendo sido registadas várias situações calamitosas originadas pelas inundações que ceifaram a vida de centenas de pessoas e deixaram milhares temporariamente sem-teto. Houve também grandes perdas materiais e de infraestruturas.

2.3 Precipitações Intensas e de Curta Duração em Cabo Verde

2.3.1 Variabilidade Climática

Cabo Verde é um arquipélago que pertence ao grupo dos países da África Ocidental. Partilha, portanto, das mesmas problemáticas que os demais; contudo, devido a sua insularidade torna-se particularmente vulnerável aos eventos extremos. Nos arquipélagos, as alterações climáticas podem significar maiores níveis de erosão costeira, perda de terra e de propriedade, deslocamento de pessoas, aumento do risco de tempestades, redução da resiliência dos

ecossistemas costeiros, intrusão salina em recursos de água doce, altos custos e recursos para responder e adaptar a essas alterações (Nurse et al., 2001).

De acordo com o estudo levado a cabo por órgãos competentes da República de Cabo Verde no âmbito da elaboração do Relatório de Avaliação Ambiental e Social Estratégica (RCV, 2016), no decurso dos últimos vinte anos, segundo vários autores, o clima de Cabo Verde tem evoluído acentuando-se a sua aridez e notando-se, em particular: i) Uma maior variabilidade das precipitações no espaço e no tempo, com uma tendência genérica pela diminuição da pluviometria anual total; ii) A redução do número de dias com chuva; iii) Maior frequência de chuvas violentas e devastadoras, para as culturas e infraestruturas; iv) Uma maior diferença climática entre as vertentes a sotavento e a barlavento (RCV, 2016).

O mesmo estudo indica que a modelação das futuras alterações climáticas em Cabo Verde, realizadas no âmbito do Programa de Ação Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas (NAPA) de Cabo Verde, aprovado em 2007, sugere que a temperatura aumentará em 2.5°C até 2100, enquanto a precipitação poderá decrescer em 25% nos próximos 20 a 30 anos. Sublinha-se, no entanto, a incerteza associada aos comportamentos observados nestas variáveis, com os modelos climáticos a conduzirem com maior confiança à predição de alterações na temperatura do que na precipitação (p.e. IPCC, 2014).

No que tange à orla costeira, Cabo Verde é um arquipélago que possui uma vasta linha de costa, onde se concentra cerca de 80% da população (Victória, 2006a) e de investimentos socio-económicos, infra-estruturas portuárias e aeroportuárias. De acordo com Victória (2006a), embora já comece a existir uma preocupação e estudo da matéria em Cabo Verde, por parte de algumas entidades, tais como o Instituto Nacional de Desenvolvimento das Pescas (INDP), entre outras, existe ainda um escasso conhecimento da evolução das linhas de costa.

Contudo, Carvalho et al. (2006) salienta que se tem verificado nalgumas partes do território nacional elevada agressividade das ondas, o que sugere a possibilidade do aumento do nível médio do mar. O mesmo autor indica exemplos onde este fenómeno é particularmente evidente, nomeadamente, na Murdeira (ilha do Sal), nas avenidas marginais da ilha de S. Vicente, na Praia (Santiago), no Mosteiro (Fogo) e Paul (S. Antão). Em zonas costeiras, o aumento do nível médio do mar pode condicionar a drenagem das águas superficiais para o mar, conduzindo potencialmente ao agravamento das inundações. Ainda relacionado com o aumento do nível do mar encontra-se o constrangimento da intrusão salina, contaminando aquíferos e tornando os solos impróprios à prática da agricultura.

Quanto à seca, Cabo Verde, ao longo da sua história, tem experienciado longos períodos de estiagem característicos do contexto climático no qual o país se insere (prolongamento da faixa

do Sahel), abalado pelas tempestades de areia e clima do deserto de Sahara. Cita-se, como exemplo, as duas crises de grande gravidade ocorridas nos anos 40 ligadas à seca generalizada que se instalou no país causando a fome (esta seca afetou, na sua generalidade, o Sahel, ver Figura 2.5). Segundo Amaral (1964), na crise de 1941-1943 a Ilha do Fogo perdeu 31% da sua população e São Nicolau, 28%; na crise de 1946-1948, Santiago perdeu cerca de 65% da população.

A grande irregularidade observada na precipitação dá lugar a períodos secos intercalados por períodos onde a precipitação devasta por completo grande parte das Ilhas. O grande inconveniente associado à precipitação em Cabo Verde é que esta concentra-se, essencialmente, em três meses do ano, nomeadamente, agosto, setembro e outubro. Este caráter concentrado da precipitação confere-lhe maior poder destrutivo, sendo que, por dia, pode registar-se valores acima de 200 mm. Conforme escreveu Amaral (2007), “os coeficientes pluviométricos são muito altos na estação chuvosa, em especial de setembro a outubro, e os valores máximos da precipitação diária são elevados, ultrapassando 200 mm nos postos do litoral e 300 mm nos de altitude.”

2.3.2 Caracterização das Precipitações Intensas

O conhecimento do regime pluviométrico é fundamental para a gestão dos recursos hídricos, especialmente em ilhas como as de Cabo Verde, que enfrentam um grande défice de água, bem como para o Planeamento Territorial e a previsão dos efeitos sobre a população.

Neste âmbito Cunha (1960) elabora um estudo sobre a variabilidade da precipitação na Ilha de Santiago, onde analisa a distribuição da precipitação média mensal ao longo do ano, concluindo que em média cerca de 80% da precipitação anual se concentra no trimestre de agosto a outubro. Analisa, ainda, a precipitação máxima diária, observando que nalgumas regiões a precipitação diária atinge valores da mesma ordem da precipitação média anual.

Ainda no mesmo trabalho, Cunha (1960) evidencia que a variação da precipitação com a altitude não é linear apresentando uma ordem de variação de: 80 - 100 mm / 100 m na encosta virada a Noroeste; 100 mm /100m em toda a encosta virada a Nordeste; na encosta virada ao quadrante Sul até aos 300-400 m de altitude, verifica que a variação é muito pequena.

Ferreira (1989), no seu trabalho constata que a partir de 1968, na Ilha de Santiago houve uma redução acentuada da precipitação anual e uma alteração da “fisionomia” do período de ocorrência das chuvas, passando esta a concentrar-se com maior frequência nos meses de agosto e setembro do que nos restantes meses compreendidos entre julho a novembro, quando comparadas as precipitações mensais dos decénios 1949-1958 e 1968-1977.

Estudos realizados por Marzol et al. (2006) sobre “ Riscos de Chuvas Torrenciais nas Ilhas da Macaronésia (Açores, Madeira, Canárias e Cabo Verde)” sugerem que as ilhas da Macaronésia são vulneráveis às chuvas excepcionais que ocorrem em dois tipos de eventos: i) chuvadas curtas, com efeitos imediatos; ii) chuvadas prolongadas, com estragos desfasados ao longo do tempo. Em Cabo Verde são mais prováveis as chuvadas curtas, especialmente nas encostas sul e áreas de maior altitude. No mesmo trabalho, Marzol et al., constataram também que em Cabo Verde no dia mais chuvoso do ano pode ocorrer cerca de 50% da precipitação total anual.

Relativamente ao mesmo estudo, apresenta-se no Quadro 2.1 a comparação dos valores (records) precipitados no dia mais chuvoso nas Ilhas Macaronésias no período de 1980 a 2004, bem como a percentagem anual e mensal a que correspondem estes valores. Constata-se que a ilha de Santiago (Cabo Verde) apresenta a segunda maior quantidade diária precipitada das ilhas analisadas (302.4 mm), numa das zonas de maior altitude (Serra da Malagueta, 1064 m), representando cerca de 76% da precipitação anual e 97% da precipitação no mês de setembro do ano de 1983.

Quadro 2.1 - Máximos da quantidade precipitada no dia mais chuvoso nas principais Ilhas pertencentes ao grupo da Macaronésia e respetivas percentagem da correspondente precipitação anual e mensal, no período 1980-2004 (Adaptada de Marzol et al., 2006).

Ilha	Localidade	Data	Precip. (mm)	% Ano	% Mês
Terceira	São Bartolomeu	11/03/2001	300,2	13	29
Madeira	Santo da Serra	06/10/1996	288,3	10	99
Tenerife	Izaña	17/03/1993	337	53	95
Santiago	Serra da Malagueta	12/09/1983	302,4	76	97

Estudos mais recentes realizados por Monteiro e Cunha (2011), aquando da ocorrência das cheias rápidas resultantes das chuvas torrenciais em Setembro de 2009, em Cabo Verde, registaram-se na Ilha de São Nicolau, a mais afetada, nos diferentes postos udométricos, precipitações intensas ocorridas em vários dias dos meses de agosto, setembro e outubro. Em setembro registaram-se dois dias (18 e 24) cujas intensidades precipitadas foram maiores que a capacidade do pluviómetro disponível (300 mm), consoante constam no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Precipitações ocorridas na Ilha de São Nicolau em 2009 (reproduzido de Monteiro e Cunha, 2011).

Estações/Postos Ilha- S.Nicolau	Agosto	Setembro					Outubro		Total
	24/8	09/09	13/09	16/09	18/09	24/09	20/10	21/10	
Caleijão Posto	*	*	290.3	132.8	240.0	112.0	*	*	-
Campo Preguiça	*	*	296.2	130.0	245.0	115.0	*	*	-
Canto Fajã	93.4	148.7	72.8	*	300.0	34.0	*	*	-
Carrical	41.0	71.0	27.0	39.0	**	**	*	*	-
Covoada	140.0	182.5	94.5	147.5	300.0	**	*	*	-
Fabateira	140.0	200.3	128.5	150.0	300.0	48.0	47.7	300.0	1314.5
Fajã Posto	78.0	106.4	54.4	112.0	300.0	13.9	*	*	-
Juncalinho	40.0	80.0	100.0	40.0	**	**	*	*	-
Morreom	68.9	109.8	55.3	112.6	300.0	13.9	*	*	-
Pombas	143.2	171.6	164.0	*	300.0	51.0	*	*	-
Queimadas	77.4	170.0	98.0	144.4	300.0	14.0	*	*	-
Talho	164.0	190.0	198.0	148.0	300.0	51.0	45.0	300.0	1336.0
Vila Rª Brava-Igreja	128.0	160.0	124.0	*	232.0	32.3	51.8	234.5	-
Vila Rª Brava-S. Joãc	128.0	156.7	152.0	*	300.0	40.0	46.9	237.4	-

Fonte: Adaptado de INMG - Delegação da Praia

* não houve medição devido a problemas técnicos ** Valores superiores a 300 mm (o pluviómetro transbordou)

2.3.3 Rede de Drenagem Pluvial

A questão da drenagem reveste-se de grande importância a nível nacional pois as infraestruturas ainda são muito precárias e não abrangem todo o território. As águas residuais domésticas, nos lugares abrangidos pelo sistema de drenagem, são encaminhadas através de coletores próprios para as estações de tratamento de águas residuais, ETAR, enquanto que as águas pluviais são geridas superficialmente, sendo direcionadas para um sistema de valas onde seguem rumo ao mar.

Segundo o documento estratégico do Governo de Cabo Verde intitulado “Plano Nacional de Saneamento Básico” (2010), “A drenagem das águas pluviais constitui uma prática quase inexistente a nível nacional, resultado da não inclusão de canais de drenagem e de sumidouros na fase inicial do processo de construção das vias de comunicação em geral. Os poucos sistemas de drenagem de águas pluviais existentes no País não são contemplados por ações regulares de limpeza e manutenção, pelo que não funcionam adequadamente.”

Existem, portanto, neste setor, vários problemas ainda a resolver relacionados com a correção e operação dos sistemas.

2.3.4 Inundações / Cheias Urbanas Potenciadas por Precipitações Intensas

As inundações nas cidades Cabo-verdianas são praticamente inevitáveis devido ao carácter concentrado da precipitação presenciada no arquipélago, conduzindo a elevadas quantidades

precipitadas num curto período de tempo. Esta distribuição concentrada e irregular da precipitação aliada a uma rede de drenagem precária e a um crescimento desordenado das suas cidades agrava a questão das inundações urbanas.

Deste modo, o arquipélago regista todos os anos inúmeros casos de inundações, especialmente nas ilhas de relevo acentuado, cujos estragos causados são económica e socialmente incomportáveis face à economia do País. A título de exemplo, citam-se casos como a crise resultante das chuvas torrenciais de 1984 (mais grave em Santo Antão e Santiago) e 2009 (em S. Nicolau), onde resultaram perdas humanas e económicas (com destruição de estradas, de terras agrícolas, pontes, canais, etc.) que obrigou o Governo a declarar as áreas afetadas sob situação de emergência (Lima et al., 2003). As cheias de 26 de setembro de 2012 ocorridas na Boa Vista, originadas pelas chuvas intensas, provocaram a queda de pontes (Figura 2.6a) que cortou o acesso entre duas localidades, havendo alguns desaparecidos. A Figura 2.6 documenta fotograficamente algumas das situações referidas.

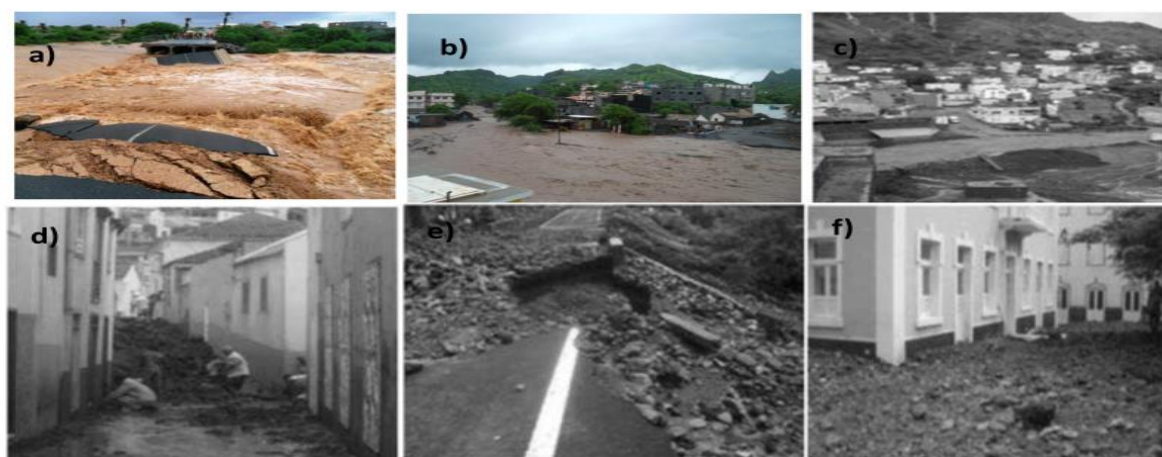


Figura 2.6 - Documentação fotográfica de situações de inundações e cheias em Cabo Verde: a) Queda da ponte Ribeira D'Água, Boa Vista, em Setembro de 2012; b) Cheias e inundações em São Miguel, Santiago, em Setembro de 2013; c) Cheias na Vila da Brava, São Nicolau; d) Obstrução de ruas na Vila, S. Nicolau; e) Estradas destruídas, S. Nicolau; f) Deposição de blocos rochosos no largo da Câmara Municipal, S. Nicolau.

Fonte: Desconhecida.

Na Ilha de Santiago, períodos com elevada concentração de precipitação exigem especial atenção pois podem apresentar valores próximos, ou até superiores, a 100 mm diários (Gonçalves et al., 2006), produzindo cheias do tipo flash-flood ou cheias súbitas (Victória, 2006b). O efeito destrutivo é ampliado pela ocupação humana dos canais de drenagem geralmente secos, pela deposição de resíduos sólidos, pelo efeito-barreira de construções, destruição de zonas de vegetação que promovem infiltração e evaporação e ainda obras de engenharia mal localizadas; genericamente, por um inadequado ordenamento do território.

2.3.5 Importância do Estudo das Precipitações Intensas para a Sociedade Cabo Verdiana

Como já foi referido, as alterações climáticas potenciam a ocorrência de eventos climáticos extremos podendo ser definidas regiões do globo que se encontram particularmente vulneráveis aos impactes desses eventos. De entre estas regiões encontra-se Cabo Verde, cujas vulnerabilidades face aos eventos extremos podem ser observadas em vários setores, nomeadamente, no setor agrícola, no turismo, na pesca, e outras atividades cujos impactes dessas alterações possam surtir efeito direta ou indiretamente.

O estudo das precipitações intensas, deste modo, é primordial tanto para a gestão dos recursos hídricos, visto que a única fonte de água doce em Cabo Verde provém da água das chuvas, bem como para o planeamento e gestão do território. O conhecimento das precipitações e da sua duração para um determinado período de retorno pode ser aplicada em várias áreas cruciais para o desenvolvimento de um país com as peculiaridades de Cabo Verde, nomeadamente para o dimensionamento de obras e de infraestruturas hidráulicas, para a gestão da prática da agricultura de sequeiro, para a gestão dos recursos hídricos, para o planeamento do território, para a construção de barragens e dispositivos de retenção de água, para o aproveitamento hidroelétrico e para o desenvolvimento de novas práticas de aproveitamento da água das chuvas.

Têm sido imensos os esforços de alguns autores no sentido de caracterizar a precipitação em Cabo Verde; contudo têm surgido vários constrangimentos, essencialmente, no acesso a dados fidedignos devido à inexistência de uma rede de postos udométricos nas ilhas que cubram toda a sua extensão, resultando muitas vezes em falta de registos pluviométricos em certas áreas.

Uma das aproximações normalmente aplicadas para caracterizar a precipitação intensa utiliza expressões que relacionam a precipitação ou a intensidade de precipitação com a correspondente duração para uma dada probabilidade de não excedência (frequência), expressa pelo período de retorno (Chow et al., 1988); esta abordagem é implementada pelas curvas de possibilidade udométrica e curvas de intensidade-duração-frequência.

Embora não tendo acesso a muita bibliografia dedicada a este estudo, o contributo dado pela autora Ribeiro (2008) no âmbito da realização da sua Dissertação possibilitou a melhor compreensão, ainda que com algumas reservas, do que se tem feito em Cabo Verde no âmbito da caracterização de chuvadas de projeto.

Com efeito, Ribeiro (2008) aquando do “Estudo das precipitações intensas na Ilha de Santiago, em Cabo Verde” propõe que a estimativa da precipitação máxima anual na Ilha de Santiago com dado período de retorno T_r e dada duração D , P_D , utilize a multiplicação da estimativa da precipitação máxima anual em 24 h com esse período de retorno, P_{24} , por um coeficiente P_D/P_{24}

que, de algum modo, se admite traduzir a relação entre precipitações máximas anuais com aquele período de retorno e com as durações explicitadas em índice. Este coeficiente, assume, assim, um papel fulcral, designadamente quando D é inferior a 24 h, para a análise de cheias das pequenas bacias hidrográficas da Ilha de Santiago, fundamentalmente com durações de escassas horas. Esta abordagem, de carácter prático, muitas vezes visando o projeto tem sido muito utilizada, sobretudo, em casos onde não haja ou sejam escassos os registos de precipitações a escala infra diárias; a sua descrição pode ser encontrada, por exemplo, em Bell (1969) e Portela (2006).

Não obstante o contributo desta autora ainda há muito a fazer e estudar no âmbito da hidrologia local, pelo que surge a pertinência do estudo a que se propõe esta Dissertação na medida em que visa contribuir para a consolidação e incremento do conhecimento existente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo pretende, no geral, sistematizar a metodologia utilizada para levar a cabo o estudo em questão, expondo os dados e os métodos usados aquando da avaliação das tendências existentes nas variáveis climáticas e possíveis implicações locais.

3.1 Síntese Metodológica

Primeiramente, fez-se a análise da bibliografia existente com o intuito de sistematizar todo o conhecimento e estudos científicos produzidos relacionados com o assunto em questão, percebendo assim, o que se tem feito em Cabo Verde a nível de estudos hidrológicos e da drenagem urbana local.

De seguida foram analisados os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde, relativos às variáveis climáticas que se consideram pertinentes para o estudo em questão. As variáveis climáticas disponibilizadas referem-se a dados mensais e anuais da precipitação, temperatura e humidade relativa do ar para 12 postos udométricos distribuídos pela Ilha de Santiago. O tratamento destes dados levou à produção dos gráficos (expostos no capítulo 4) onde pode-se notar qual tem sido a evolução temporal e espacial das mesmas, essencialmente, no período de 1977 a 2016. As referidas séries também foram usadas aquando da análise de tendência, pelo que previamente foi analisada a homogeneidade/consistência das mesmas.

Fez-se uso do software ArcGis 10.1 que permitiu a análise do relevo da Ilha, a delimitação da bacia hidrográfica em estudo, bacia hidrográfica da Trindade, e a determinação das suas características. Contudo o Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizado contém algumas limitações, nomeadamente a resolução (30 m) disponibilizada pela imagem de satélite STRM - *Shuttle Radar Topography Mission* e a precária informação relativa às redes hidrográficas que não permite total fiabilidade nas delimitações produzidas. Deste modo comparou-se a delimitação feita e alguns valores obtidos, nomeadamente, a altitude e parâmetros relativos às características da bacia, com as produzidas por outros autores. Tendo estas sido praticamente semelhantes, decidiu-se manter a delimitação obtida neste trabalho.

Devido às grandes limitações ao nível de conhecimento hidrológico que se pôde constatar ao longo da investigação produzida para levar a cabo esta dissertação, fez-se uma estimativa das curvas IDF para a cidade da Praia, pretendendo caracterizar o melhor possível as intensidades da precipitação local.

3.2 Materiais: Dados Climatológicos

Analisaram-se séries pluviométricas anuais e mensais registadas nos postos udométricos distribuídos pela Ilha no período 1977-2016, identificadas no Quadro 3.1. O Quadro 3.1 representa os parâmetros característicos dos referidos postos udométricos (altitude, latitude e longitude) e dados relativos à precipitação média anual, nomeadamente, a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação, o número de registos e os respetivos períodos. A distribuição espacial dos mesmos postos encontra-se representada na Figura A.1 do Anexo A.

A altitude dos postos varia entre os 16 e os 550 m. Nota-se que o aumento da precipitação não é diretamente proporcional ao aumento da altitude; a precipitação média anual máxima é registada no posto localizado na zona de Escola, 474 mm, e a mínima no posto localizado na cidade da Praia, 178 mm. O coeficiente de variação da precipitação em cada um dos postos é muito elevado, ultrapassando os 40%, sendo que no posto de Chão Bom atinge os 68% indicando uma grande dispersão entre os valores da precipitação média anual em cada posto o que se coaduna com a grande variabilidade existente na precipitação anual da Ilha.

Quadro 3.1 – Localização dos postos udométricos na Ilha de Santiago com registos no período 1977-2016 e respetiva estatística descritiva básica da precipitação média anual (Critério de organização: altitude crescente).

Postos udométricos	Altitude	Latitude	Longitude	Média (mm)	Desvio - Padrão (mm)	Coefficiente de variação (%)	Número de registos	Período de registos (anos)	Tipo de registo
Chão Bom	16	15°27' N	23°75' W	242	164	68	35	1977 - 2011	Anual e Mensal
Ribeira da Barca	40	15°13' N	23°61' W	241	115	48	36	1977 - 2013	Anual
Praia Aeroporto	64	14°92' N	23°49' W	178	106	60	40	1977 - 2016	Anual, Mensal e Máxima Diária
S. Francisco	89	15°04' N	23°61' W	233	124	53	39	1978 - 2016	Anual, Mensal e Máxima Diária
Ribeirinha	194	15°06' N	23°58' W	322	155	48	35	1980 - 2016	Anual, Mensal e Máxima Diária
Ponte Ferro	230	15°07' N	23°59' W	341	164	48	39	1978 - 2016	Anual, Mensal e Máxima Diária
S. Domingos	235	15°02' N	23°54' W	316	164	52	37	1978 - 2016	Anual, Mensal e Máxima Diária
S. Jorge dos Orgãos	310	15°04' N	23°61' W	472	212	45	40	1977 - 2016	Anual, Mensal e Máxima Diária
Escola Agró-Pecuária	369	15°04' N	23°61' W	474	239	51	37	1980 - 2016	Anual e Mensal
Babosa Picos	454	15°07' N	23°62' W	468	200	43	40	1977 - 2016	Anual, Mensal e Máxima Diária
Mato Limão	475	15°05' N	23°61' W	427	205	48	33	1981 - 2016	Anual
Assomada	550	15°09' N	23°67' W	387	200	52	39	1977 - 2016	Anual e Mensal

Analisaram-se também séries relativas às variáveis climáticas, temperatura e humidade relativa do ar, em 6 estações climatológicas, conforme identificadas no Quadro 3.2. O Quadro 3.2 apresenta a média anual, o desvio padrão e o coeficiente de variação, de cada um dos postos, referentes às duas variáveis climáticas em questão, bem como o número e o período de registo dos mesmos. Nota-se que a temperatura média anual máxima registada foi no posto de São Francisco (28.5°C) e a mínima registada no posto de Assomada (21.2°C). Os valores do desvio padrão e do coeficiente de variação são muito baixos, podendo, assim, inferir que a temperatura em cada um dos postos, no período estimado, não variou muito em relação a média determinada.

Relativamente à variável humidade relativa, nota-se que a máxima foi registada no posto de Chão Bom (79%) e a mínima no posto da Praia (69%). O desvio padrão e o coeficiente de variação determinados são superiores aos da temperatura, contudo, ainda assim denotam pouca dispersão entre os dados, principalmente quando comparados com os mesmos estimadores estatísticos relativos à precipitação, apresentadas no Quadro 3.1.

Quadro 3.2 – Postos/estações climatológicas da Ilha de Santiago e respetiva estatística descritiva básica para as variáveis climáticas, temperatura e humidade relativa, no período 1981-2001.

Variável climática	Estações	Média anual	Desvio - Padrão	Coeficiente de variação (%)	Número de registos	Período de registos (anos)
Temperatura (°C)	Assomada	21,2	0,7	3	15	1987-2001 a)
	Chão Bom	24,9	0,8	3	21	1981-2001
	Praia Aero	25,0	0,5	2	36	1981-2016 b)
	S. Domingos	23,4	0,8	3	18	1984-2001 c)
	S. Francisco	28,5	0,8	3	21	1981-2001
	S. Jorge	22,3	0,5	2	21	1981-2001
Humidade Relativa (%)	Assomada	78	3,5	5	15	1987-2001 a)
	Chão Bom	79	2,8	4	21	1981-2001
	Praia Aero	69	2,9	4	36	1981-2016 b)
	S. Domingos	77	2,8	4	18	1984-2001 c)
	S. Francisco	75	3,2	4	21	1981-2001
	S. Jorge	75	4,2	6	21	1981-2001

a) As estações meteorológicas funcionaram até o final do ano de 2001 exceto a da Praia Aeroporto; b) A estação de Assomada começou a funcionar no ano de 1987; c) A estação de S. Domingos começou a funcionar no ano de 1984.

3.3 Métodos

3.3.1 Teste de Homogeneidade: Curvas de Dupla Massa

A utilização de informação hidrológica pressupõe a análise da sua qualidade, devendo ser garantidas a sua homogeneidade e consistência. A não homogeneidade da séries temporais pode resultar, por exemplo, de mudanças em rotinas observacionais, da deslocalização da estação de medição e mudanças no meio envolvente da estação ou das técnicas de medição (p.e. de Lima et al., 2010).

Deste modo fez-se o uso do teste das curvas de dupla massa ou duplo-acumulativas baseado na análise da precipitação à escala anual, e implementado graficamente. São comparadas a acumulação da média de todos os postos (abscissa) com a precipitação anual acumulada de cada posto (ordenada). Os dados de postos homogéneos/consistentes devem alinhar-se segundo uma única reta. Uma mudança brusca no declive de uma das retas pode indicar uma anomalia ocorrida no posto correspondente na medida em que denota que o comportamento naquele posto não é consistente com o da média dos postos vizinhos.

3.3.2 Teste de Tendência: Mann-Kendall e Sen

A presença de tendência nos dados foi testada com o método de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). A aplicação do método pressupõe que as séries alvo de análise sejam homogéneas. O teste de Mann-Kendall consiste num teste não paramétrico que permite detetar tendências em séries temporais analisando a existência de uma tendência linear monotónica crescente ou decrescente das séries. O teste foi realizado usando uma folha de cálculo MAKESENS (Salmi et al., 2002a), desenvolvida em excel, e executa dois tipos de análises estatísticas. Primeiramente, é testada a presença de uma tendência monotónica crescente ou decrescente através do teste não paramétrico de Mann-Kendall e, de seguida, é estimada a taxa de variação da tendência linear com o método não paramétrico de Sen (Gilbert, 1987).

O teste é aplicado aos casos em que os valores x_i de uma série temporal obedecem ao modelo da Equação 1 (Salmi et al., 2002b).

$$x_i = f(t_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Onde $f(t_i)$ representa a função monótona contínua crescente ou decrescente no tempo e o valor residual ε_i assumida como uma variável aleatória com distribuição de média igual a zero, relativamente a $f(t_i)$.

Pretende-se, deste modo, testar a hipótese nula (inexistência de tendência), H_0 , isto é, das observações x_i estarem ordenadas aleatoriamente no tempo, contra a hipótese alternativa, H_1 , onde há uma tendência monotónica crescente ou decrescente (e.g. Salmi et al., 2002b). Para tal, foi usado a aproximação normal (teste estatístico Z) pois os índices correspondem a séries com mais de 10 valores de dados (Salmi et al., 2002b). O número de valores anuais da série a ser estudada é denominado por n , sendo que é permitido que haja valores em falta, o que é o caso.

Inicialmente é calculado o valor da estatística de teste S (Gilbert, 1987), pela Equação 2:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k), \quad (2)$$

onde x_j e x_k são os dados anuais nos anos j e k , $j > k$, respetivamente, e $\text{sgn}(x_j - x_k)$ é calculado com base na Equação 3 (e.g. Salmi et al., 2002b):

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Considerando que a média de S é zero (Equação 4), é calculada a variância de S através da Equação 5 (Mann, 1945; Kendall, 1975):

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5)] \quad (5)$$

Por fim, obtém-se os resultados do teste estatístico Z , pela Equação 6 (Mann, 1945; Kendall, 1975).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

A existência de tendência estatisticamente significativa é avaliada através do valor Z . Valores de Z positivos (negativo), indicam uma tendência crescente (decrecente). A significância da tendência estimada pode ser avaliada através de α . H_0 é rejeitado se o valor absoluto de Z for maior que $Z_{1-\alpha/2}$, onde $Z_{1-\alpha/2}$ é obtido pelo padrão de normalidade das tabelas de distribuição normal.

Os níveis de significância α testados são 0.001, 0.01, 0.05 e 0.1. O nível de significância de 0.001 significa que existe uma probabilidade de 0.1% de os valores de x_i serem independentes e distribuídos aleatoriamente (H_0). Assim, para o nível de significância de 0.001, é de 99.9% a probabilidade para que se esteja perante uma tendência monótona nos dados estudados. Quanto ao valor de α com significância maior ou igual a 0.1, significa que existe 10% de probabilidade de não existir tendência estatisticamente significativa nos dados (H_0).

Deste modo, quando é realizado o teste estatístico de Z , a significância é identificada da seguinte forma:

*** Se esta tendência tiver $\alpha = 0.001$ de nível de significância;

** Se esta tendência tiver $\alpha = 0.01$ de nível de significância;

* Se esta tendência tiver $\alpha = 0.05$ de nível de significância;

+ Se esta tendência tiver $\alpha = 0.1$ de nível de significância.

De seguida, usa-se o método de Sen (Sen, 1968) para determinar o declive da tendência linear. Isto quer dizer que a função $f(t)$ foi assumida da forma como é apresentada na Equação 7.

$$f(t) = Qt + B \quad (7)$$

Em que Q é tendência (declive da reta), B é uma constante, e t é o tempo expresso em anos. De seguida, para calcular o declive da reta, são estimados todos os declives (tendências) entre cada par de variáveis j e k , através da Equação 8 (Sen, 1968), onde $j > k$:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (8)$$

Ao existirem n valores de x_j na série temporal, tem-se tantos N 's quanto $N = n(n-1)/2$ para estimar o declive Q_i . A estimativa do declive de Sen usa a mediana desses N valores de Q_i , colocados por ordem crescente, e a estimativa de Sen é dada pela Equação 9 e Equação 10 (Sen, 1968).

$$Q = \frac{1}{2}(Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}), \text{ se } N \text{ é par} \quad (9)$$

$$Q = Q_{[\frac{(N+1)}{2}]}, \text{ se } N \text{ é ímpar} \quad (10)$$

3.3.3 Determinação da curva IDF

No âmbito do dimensionamento e operação de várias obras de engenharia, e principalmente das obras hidráulicas, é de suma importância que se tenha tão bem caracterizado quanto possível o fenómeno das precipitações intensas de curta duração, que se consideram como chuvadas intensas com duração da ordem de horas até a ordem de alguns minutos. As grandezas que caracterizam estas chuvadas são fundamentalmente a duração, a intensidade e a frequência (para definição destas grandezas ver e.g. Lencastre e Franco, 1992).

Denomina-se de curva de Intensidade – Duração – Frequência (IDF), a curva que relaciona a intensidade da chuva com a sua duração, para um determinado período de retorno (frequência). Várias equações têm sido propostas, sendo uma delas a representada na equação 11:

$$I = at^b \quad (11)$$

Em que I : intensidade da precipitação (mm/h); a e b : são parâmetros de ajustamento obtidos através da regressão linear pelo método dos mínimos quadrados e T corresponde à respetiva duração (e.g. minutos).

Dispondo de uma série de 40 anos da precipitação máxima diária anual para o Posto da Praia-Aeroporto e considerando que a frequência estatística das intensidades máximas de precipitação, com diferentes durações é normalmente bem interpretada pela lei de Gumbel (e.g. Lencastre e Franco, 1992), procedeu-se do seguinte modo para obter as curvas IDF para as condições locais de Cabo Verde, a partir dos dados disponíveis:

Primeiramente, calculou-se a média e o desvio padrão da série de precipitação máxima diária anual para o Posto da Praia. Determinou-se a frequência empírica de não excedência de uma determinada quantidade precipitada (quantidades que se consideram máximas diárias anuais): organizou-se a série por ordem crescente atribuindo, a cada valor já ordenado, x^* , um número de ordem, m , e a respetiva frequência empírica de não excedência, F_i , dada pela seguinte fórmula:

$$F_i = \frac{m}{n} \quad (12)$$

Onde n é o número de anos de observação.

A probabilidade de não excedência das referidas quantidades foi determinada através da Equação 13, que representa o modelo de probabilidade definida por Gumbel (Chow et al., 1988):

$$P(X \leq x^*) = e^{-e^{-y}}; \text{ com } y = \frac{x^* - \bar{u} + 0,45s}{0,7797*s} \quad (13)$$

Onde x^* é a quantidade máxima diária anual precipitada (mm), \bar{u} a média e s o desvio padrão da amostra de dados diários, neste caso.

Posteriormente, procedeu-se à representação gráfica dos pares de valores (F_i, x^*) e (P_i, x^*) e à apreciação da qualidade de ajustamento do modelo distributivo teórico de Gumbel à amostra em questão. Esta apreciação pode ser feita através de testes estatísticos, nomeadamente dos testes de aderência ou de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov, do Qui-Quadrado, entre outros.

Os testes de ajustamento “confrontam” (por meio “operadores” designados por estatísticas dos testes) a informação contida numa amostra com a que decorre do pressuposto de uma função de distribuição de probabilidades, mediante a análise da chamada hipótese nula (H_0) de que o modelo distributivo teórico se ajusta bem aos pontos daquela amostra e que as diferenças

encontradas são fortuitas, ou seja, decorrentes de meras flutuações amostrais, não sendo, portanto, estatisticamente significativas (Naghettini e Portela, 2011).

No presente trabalho adotou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, onde a estatística do teste de ajustamento é dada pela máxima diferença entre as funções de probabilidades acumuladas empírica e teórica de variáveis aleatórias contínuas. O teste foi aplicado para um nível de significância de 0.01 e 0.05, ou seja, para uma probabilidade de 1 a 5 % de se tomar uma decisão incorreta (rejeitar H_0 ajustando-se bem ao modelo distributivo) (Naghettini e Portela, 2011). A descrição detalhada do método pode ser encontrada, por exemplo, em Naghettini e Portela (2011).

Tendo sido apreciada a qualidade de ajustamento do modelo à amostra em causa e tendo em conta o seguinte pressuposto:

$$P(X \geq x^*) = 1 - P(X \leq x^*) \quad (14)$$

Onde $P(X \geq x^*)$ refere-se à probabilidade de excedência de uma determinada quantidade precipitada diária anual e $P(X \leq x^*)$ à probabilidade de não excedência determinada consoante o modelo teórico de Gumbel definida na equação 13.

Deste modo, determinou-se a probabilidade de excedência de uma determinada quantidade diária anual precipitada e o respetivo período de retorno através da Equação 15:

$$T_{\text{retorno}} = \frac{1}{P(X \geq x^*)} \quad (15)$$

De acordo com o Artigo 130.º do Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR) aplicado em Portugal (MOPTC, 1995), os períodos de retorno adotados variam consoante o tipo de bacia e a percentagem de edificação das mesmas, a percentagem de espaços livres permeáveis, do declive, etc, sendo frequentemente utilizadas períodos de retorno de 2, ou mesmo 1 ano em situações criteriosamente estudadas, 5, 10, 20 ou 25 anos. Por este motivo, achou-se adequado considerar os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 50 e 100 anos.

Com base nas quantidades máximas precipitadas e os respetivos períodos de retorno, calculou-se as correspondentes intensidades médias diárias precipitadas (quantidades máximas diárias divididas por um período de 24 horas).

Com o intuito de determinar as intensidades precipitadas em qualquer duração da chuvada, utilizou-se o método proposto por Temez (1978), que sugere uma expressão “universal” para

determinar qualquer curva de Intensidade – Duração - Frequência, através da expressão apresentada na Equação 14.

$$I = I_d * \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{(28^{0.1} - D^{0.1})}{(28^{0.1} - 1)}} \quad (14)$$

Em que: I é a intensidade de chuva (mm/h) com uma duração qualquer D (h) até às 24 horas, I_d é a intensidade de precipitação máxima diária para um dado período de retorno e I_1 é a intensidade de precipitação horária correspondente.

Posteriormente estimaram-se as intensidades horárias máximas precipitadas utilizando os coeficientes de desagregação das precipitações diárias máximas a escalas subdiárias tendo por base o trabalho realizado por Ribeiro (2008). Esta metodologia admite que a relação estabelecida entre precipitação máxima ocorrida numa duração D qualquer inferior ao dia (P_D) e a precipitação máxima ocorrida em 24 horas (P_{24}), se mantém constante. Esta abordagem foi utilizada por não existirem, para este estudo, dados disponíveis de precipitação máxima horária. O coeficiente de repartição, correspondente à relação P_1/P_{24} (em que P_1 e P_{24} correspondem respetivamente à precipitação máxima anual acumulada em 1 h e 24 h), utilizado para a determinação da quantidade horária precipitada foi de 0.3, conforme apresentado em Ribeiro (2008).

Tendo as intensidades horárias, obtidas a partir da multiplicação entre a precipitação diária e coeficiente de repartição para a duração estabelecida, e as intensidades máximas diárias para o mesmo período de retorno, utilizou-se a equação 14 para determinar as intensidades para diferentes durações e período de retorno.

Definiu-se então para a cidade da Praia, com base em séries da precipitação máxima diária ocorrida no período de 1977 a 2016, disponibilizados pelo INMG – delegação da Praia de Cabo Verde, a curva IDF e os parâmetros que permitem estimar as intensidades de precipitação para diferentes durações e tempo de retorno.

4 CARATERIZAÇÃO DA ILHA DE SANTIAGO

Este capítulo ocupar-se-á da caraterização do local, objeto de estudo, dando ênfase à aplicabilidade e a importância do estudo para esta área geográfica. Os gráficos apresentados nas Figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.6, 4.7, 4.11 e 4.12 resultaram da análise e tratamento dos dados recolhidos no âmbito desta dissertação junto do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica – Delegação da Praia (Cabo Verde).

4.1 Contextualização Geográfica

A Ilha de Santiago, situada entre os paralelos 15° 20' N e 14° 50' N e os meridianos 23° 50' W e 23° 20' W, é a maior Ilha do arquipélago de Cabo Verde. Dispõe de uma área de aproximadamente 991 km², ocupando cerca de 24.6% do território nacional. Tem um comprimento máximo de 54.9 km entre a ponta Moreia, a Norte, e a ponta Mulher Branca, a Sul, e uma largura máxima de 29 km entre a ponta Janela, a Oeste, e a ponta Praia Baixo, a Leste. Encontra-se dividida em 9 concelhos: Tarrafal, São Miguel, Santa Catarina, Santa Cruz, São Salvador do Mundo, São Lourenço dos Órgãos, São Domingos, Ribeira Grande e Praia, conforme identificado no Quadro 4.1 e Figura 4.1.

Quadro 4.1 - Distribuição da área e população dos concelhos de Santiago (reproduzida de Varela, 2014).

Concelho	Área	População
	Total ⁽¹⁾ km ²	Total ⁽¹⁾ (hab.)
Tarrafal	112,4	18.565
Santa Catarina	214,2	43.297
Santa Cruz	109,8	26.609
Praia	97,0	131.602
S. Domingos	134,5	13.808
Calheta de S. Miguel	91,0	15.648
S. Salvador do Mundo	28,7	8.677
S. Lourenço dos Órgãos	38,5	7.388
Ribeira Grande de Santiago	164,2	8.325
Totais	990,3	273.919

Fonte Dados: ⁽¹⁾ INE 2010



Figura 4.1 - Distribuição geográfica dos concelhos da ilha de Santiago (Cabo Verde), reproduzida de Varela (2014).

4.2 Geologia e Geomorfologia

A Ilha de Santiago é de origem vulcânica, composta essencialmente por basaltos sendo encontrado no interior de alguns vales, formações sedimentares. Destacam-se na Ilha duas formações de relevo expressivo, nomeadamente, o Maciço do Pico de Antónia (1394 m), na parte Sul, e a Serra da Malagueta (1064 m), na parte Norte. Entre estas encontra-se situada a superfície de S.^{ta} Catarina, com cerca de 500 m de altitude.

Santiago é caracterizada por um relevo muito irregular, com extensas áreas planas nas zonas litorais até encostas muito declivosas separadas por desfiladeiros, com profundos vales de vertentes quase verticais, em grande parte da ilha, sobretudo na parte oeste, dispostos segundo as geratrizes do cone principal (Pinto, 2010). A geomorfologia da Ilha apresenta um relevo acentuado que constitui um importante fator de modelação do clima.

4.3 Condicionantes Meteorológicas

O arquipélago fica situado em pleno domínio dos ventos alísios do Hemisfério Norte. A circulação de superfície destes ventos é comandada por dois grandes centros: a célula anticiclónica dos Açores, a Norte, e a faixa de depressões equatoriais resultante da convergência dos ventos alísios dos dois hemisférios (convergência intertropical, CIT), a Sul. As posições e orientações destes dois centros de ação determinam principalmente a sucessão dos tipos de tempo que caracterizam o clima das Ilhas (Amaral, 2007).

4.3.1 Principais Tipos de Circulações Observados na Área do Arquipélago

Pode-se elencar as principais massas de ar que predominam sobre as áreas do arquipélago: i) Alísio marítimo, de direção nordeste; ii) Alísio continental ou Harmatão – Lestada; iii) Invasão do ar polar; iv) Monção do sudoeste Africano; v) Perturbações tropicais – Ciclones.

Amaral (2007) considera que a posição relativa da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ao longo do ano é muito importante para o arquipélago porque a ela se associa uma massa de ar fortemente pluviogénica (ar tropical marítimo instável da monção de sudoeste) da qual o arquipélago recebe os aguaceiros na estação das “águas”.

4.3.2 Estação das “Brisas” / Estação Seca

A estação seca compreende o período de dezembro a junho, sendo esta particularmente marcada nos meses de março a junho. Segundo Amaral (2007), num período de 46 anos apenas houve 8 dias de chuva no conjunto dos meses de março a junho. Esta estação é caracterizada por um bom tempo, fresco e sem chuvas, as ilhas planas e as áreas de pequenas altitudes das ilhas montanhosas apresentam-se avermelhadas, de vegetação queimada por uma estiagem extrema.

De acordo com Amaral (2007), as características desta estação podem-se atribuir à presença das seguintes massas de ar:

- a) **Massas de ar tropical marítimo**, frio, com origem nas zonas equatoriais da célula anticiclónica subtropical do Atlântico Norte. São massas estáveis e pouco favoráveis à precipitação, mais frequentes de abril a outubro, com ventos dos setores N e NE.
- b) **Massas de ar tropical continental**, proveniente de um sistema anticiclónico centrado, com certa permanência, no Norte de África. É um ar seco arrastado na circulação de NE (sarana) e por vezes de E (sudanesa). Em muitas regiões da África este ar recebe o nome de Harmatão, ar seco que se carrega de poeiras e que ao atingir o arquipélago, ainda provoca grandes prejuízos nas culturas, através da sua aridez. No arquipélago é conhecido pelo nome de Lestada.
- c) **Massas de ar polar marítimo**, muito modificado, que atingem o arquipélago no período de dezembro a fevereiro, e podem originar alguns dias de chuva, embora raros. Estas invasões ocorrem principalmente quando entre a Madeira e a Península Ibérica se cava uma depressão profunda.

4.3.3 Estação das “Águas”

De agosto a outubro decorre o período mais importante na vida do arquipélago. É a estação das chuvas, particularmente marcada de agosto a setembro; julho e novembro correspondem aos meses de transição. Embora complexa, a explicação para a variabilidade da precipitação sobre as ilhas do arquipélago de Cabo Verde está intimamente ligada ao facto da zona de depressão originada pela Convergência Intertropical (CIT), atingir, durante o seu trajeto, as ilhas de Cabo Verde.

Segundo Amaral (2007), as precipitações relacionam-se, por um lado, com a forte espessura da camada húmida dos alísios, por outro com o avanço da ZCIT para o Norte. A variabilidade da posição extrema setentrional da ZCIT, de ano para ano, traduz-se por uma grande irregularidade da precipitação em Cabo Verde. Aos anos em que a ZCIT, nas suas migrações para Norte, se demora pouco tempo na área do arquipélago, ou não chega mesmo a atingi-lo, correspondem a grandes crises de produção devido a escassez das chuvas.

Aquando da passagem da ZCIT sobre as ilhas, sobre o arquipélago sopram com menos frequência as massas de ar tropical marítimo, frio, dando lugar a uma massa de ar marítimo instável, também chamado de ar de monção, ou ar equatorial, emitido pela célula anticiclónica do Atlântico Sul (S.^{ta} Helena). É uma massa de ar húmido que, ao atravessar o equador, atrás da ZCIT, no Verão do Hemisfério Norte, toma a direção predominante de Sudoeste. Pela forte instabilidade convectiva da massa, a nebulosidade é elevada, com nuvens do tipo cumulonimbus de grande desenvolvimento vertical, alto-cúmulo e alto-estratos com bases a

cerca de 3000 m (Amaral, 2007). Destas nuvens caem os fortes aguaceiros que caracterizam a estação das chuvas em Cabo Verde.

Menos frequentes, mas não menos importantes, são as condições especiais de tempo determinadas pela passagem, na área das ilhas ou próximo delas, de perturbações que correm normalmente de Leste para Oeste e às quais parecem ligados os ciclones tropicais, capazes de provocar grandes devastações (Amaral, 2007). Por vezes, até novembro, podem cair algumas chuvadas, não sendo raro que elas se relacionem com as primeiras invasões de massas de ar polar (Amaral, 2007).

4.4 Descrição do Clima local e das Variáveis Climáticas

Na Ilha de Santiago consegue-se definir um conjunto de climas locais resultantes do efeito da latitude combinada com o da orientação das massas de relevo em relação aos ventos dominantes, nomeadamente: aridez no litoral, humidade e vegetação nos pontos altos, maior precipitação na vertente oriental e escassez de humidade na vertente ocidental.

De acordo com Amaral (1964), a localização em pleno oceano, a exposição das vertentes aos ventos dominantes de nordeste e a diversidade do relevo originam uma variedade de tipos de climas, sobretudo por diversificação dos valores da humidade, que se refletem na fauna, flora e na ocupação rural das parcelas.

4.4.1 Temperatura

A temperatura média da Ilha ronda os 25°C, não oscilando muito no seu valor. Amaral (2007) na sua excursão pela Ilha, sugeriu o seguinte esquema de repartição térmica: i) Climas do litoral, como os de Praia ou do Tarrafal; ii) Climas de altitude, como os da Serra de Malagueta ou de Santa Catarina; iii) Climas de vertente não exposta aos alísios – Mosquito, Chuva Chove; iv) Considera ainda a existência de microclimas no interior de certos vales (Órgãos, S. Domingos, Principal, Engenhos, etc.).

A distribuição anual da temperatura média apresentada na Figura 4.2 corrobora com a sugestão apresentada por Amaral pois nos postos das regiões de maior altitude, nomeadamente, na Assomada, no S. Jorge dos Órgãos e São Domingos apresentam menores valores de temperatura média anual e consequentemente beneficiam de um clima mais ameno. Por outro lado, São Francisco, do lado oriental da Ilha, na vertente exposta aos alísios, é abrangido por um clima cuja temperatura atinge valores mais elevados, dentro do que se considera a média para a Ilha. É de realçar que a temperatura média anual nos últimos anos se situou sempre acima dos 20°C.

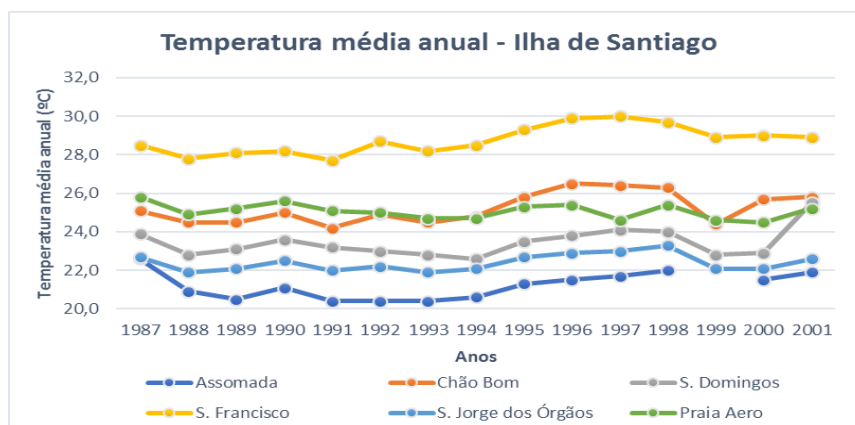


Figura 4.2 - Variação da temperatura média anual em 6 postos distribuídos pela Ilha de Santiago, no período 1987-2001. No posto da Assomada para o ano de 1998 não havia dados disponíveis.

4.4.2 Humidade Relativa

Na Ilha à medida que se sobe para regiões mais altas, no interior, a humidade relativa vai aumentando e diminuindo a temperatura. A Figura 4.3 apresenta a variação da humidade relativa anual na Ilha. Nota-se que nos postos onde a altitude e a precipitação média são maiores, a humidade relativa também é maior, à exceção do posto de Chão Bom, que embora seja um posto situado na zona do litoral, apresenta valores elevados da humidade relativa.

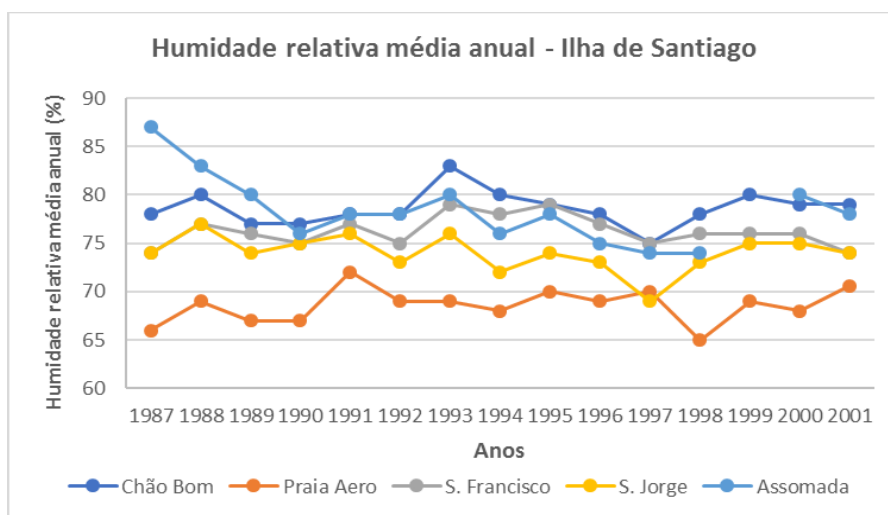


Figura 4.3 - Variação da humidade relativa média anual em 5 postos distribuídos pela Ilha de Santiago, no período 1987-2001. No posto da Assomada e São Francisco para o ano de 1998 e 1987, respetivamente, não haviam dados disponíveis.

4.4.3 Precipitação: Regime e distribuição

A irregularidade inter-anual e a sazonalidade da precipitação são características presentes no regime pluviométrico da Ilha. Esta irregularidade dá origem a grandes contrastes inter-anuais com repercussões em vários setores da realidade Cabo-verdiana, intercalando anos de estiagem severa com anos de cheias, inundações e perdas de terrenos agrícolas registadas em vários pontos da Ilha.

A Figura 4.4 ilustra a acentuada variabilidade da precipitação na Ilha de Santiago com base em dados pluviométricos de 12 postos distribuídos pela Ilha, no período de 1980 – 2016. A precipitação média anual para Ilha foi determinada pelo método de Thiessen (para a descrição do método ver Lencastre e Franco, 1992).

Além da irregularidade da distribuição temporal da precipitação, ainda dentro dos limites da Ilha pode-se encontrar diferenças acentuadas na sua distribuição espacial ditadas, essencialmente, pela orientação das massas de relevo. A Ilha atinge uma altitude de 1394 m (Pico de Antónia), bastante considerável, o que combinado com as massas de ar presentes sobre a Ilha origina diferenças no regime pluviométrico.

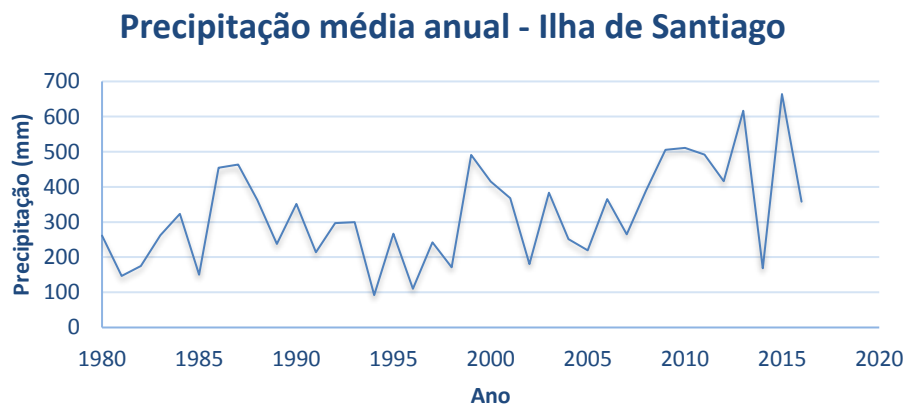


Figura 4.4 - Precipitação média anual referentes a 12 postos distribuídos pela Ilha de Santiago determinado pelo método de Thiessen, no período de 1980 – 2016.

A Figura 4.5 ilustra a distribuição espacial da precipitação na Ilha em função das altitudes de relevo. Pode-se constatar que o relevo constitui um importante fator para a distribuição e ocorrência de precipitação; contudo, conforme já foi referido, esta relação não é linear contando também com outros fatores, nomeadamente, a característica pluviogénica das massas de ar que predominam nestas áreas.

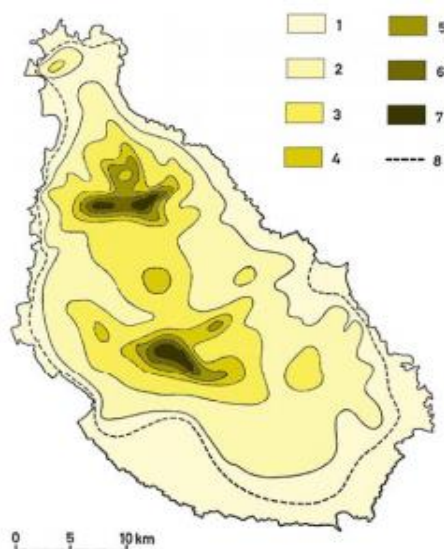


Figura 4.5 - Distribuição da precipitação na Ilha de Santiago (1. inferior a 300 mm; 2. de 300 a 500 mm; 3. de 500 a 700 mm; 4. de 700 a 800 mm; 5. de 800 a 900 mm; 6. de 900 a 1000 mm; 7. superior a 1000 mm; 8. curva de 250 mm). *Fonte:* Amaral, 1964.

Em Cabo Verde, a ocorrência de precipitação dita a designação das duas estações que se observam nas Ilhas, a das águas e a das brisas. Este contraste é ainda mais acentuado em ilhas de relevo expressivo como é o caso de Santiago. Esta distinção está associada à sazonalidade da precipitação e ao seu caráter concentrado. A precipitação na Ilha concentra-se essencialmente no trimestre de agosto a outubro, podendo este trimestre contribuir com a maior parte da precipitação total na Ilha. A forte sazonalidade que se observa favorece a ocorrência de precipitações intensas nomeadamente em anos onde a precipitação média anual atinge valores consideráveis.

A Figura 4.6 ilustra a sazonalidade da precipitação e nota-se que esta é presente em todas as áreas da Ilha, pois embora a distribuição das quantidades precipitadas possa diferir bastante entre as regiões situadas a maiores altitudes e as do litoral, quanto à distribuição ao longo do ano esta é semelhante em todos os postos. Os gráficos apresentados na Figura 4.6 são sugestivos de que o trimestre de agosto a outubro é onde se observam maiores quantidades precipitadas em todas as vertentes da Ilha, relacionadas com o deslocamento para Norte da ZCIT. O mês de julho corresponde ao mês de transição entre a estação seca e a estação húmida contando já com algumas quantidades precipitadas. No mês de novembro e dezembro ainda se podem presenciar algumas quantidades precipitadas associadas à invasão da massa de polar marítimo proveniente do Hemisfério Norte.

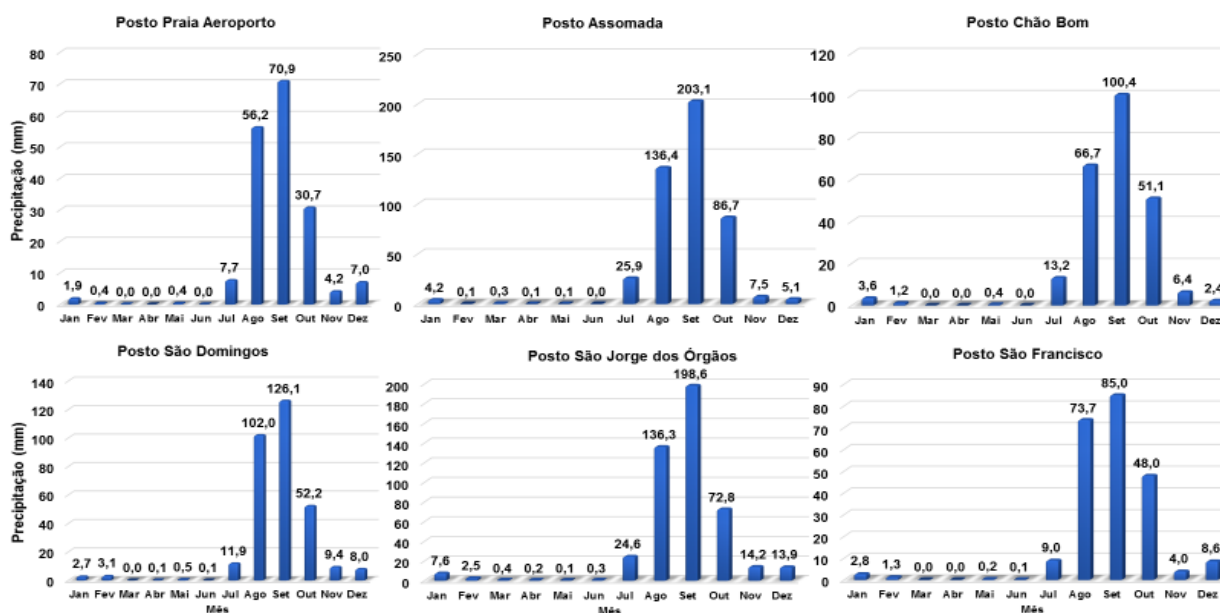


Figura 4.6 - Precipitação média mensal dos postos para o período de 1977 – 2016.

Cunha (1960) no seu trabalho desenvolvido aquando do estudo da variabilidade da precipitação na ilha de Santiago, apresentou algumas considerações acerca do regime pluviométrico da ilha: a) O coeficiente de variabilidade da precipitação anual nas zonas do litoral é elevado, ultrapassando 60% na região Sul. Nas zonas de altitude este coeficiente é sensivelmente menor, da ordem de 35-40%; b) A variação da precipitação anual com a altitude é da ordem de 80-100 mm/100 m, à exceção da costa virada ao quadrante Sul onde até cerca de 300-400 m a variação é muito pequena; c) Nas regiões do litoral a maioria das ocorrências de precipitação anual são inferiores a 400 mm, havendo casos de menos de 100 mm. Nas regiões de altitude há um apreciável número de casos superiores a 1000 mm, designadamente na serra da Malagueta; d) No trimestre chuvosos de agosto-outubro cai cerca de 80% da precipitação anual e no pentamestre de Julho-Novembro 95% havendo grande variabilidade das precipitações mensais.

4.5 Estudo de Caso: Cidade da Praia - Bacia Hidrográfica da Trindade

4.5.1 Generalidades

A cidade da Praia, localizada na vertente Sul da Ilha de Santiago, constitui a capital política e administrativa do arquipélago. Estende-se desde o nível do mar até 435 m de altitude na formação de Monte Vaca, ponto mais alto do concelho. Possui uma extensão de costa de aproximadamente 46 km (CMP, 2014).

A geomorfologia da cidade caracteriza-se por um conjunto de montes, planaltos e vales circundantes. As arribas dos planaltos recebem a designação de Achadas³ (Achada de Santo António, Achada de São Filipe, Achada Eugénio Lima, Achada Grande, Achadinha, etc.). O planalto central que esteve na base da formação e evolução de todo o assentamento humano da cidade da Praia é designado de Plateau, que, até às primeiras décadas do período da independência, era o único considerado cidade e, portanto, adequadamente urbanizada. Os restantes bairros foram relegados à categoria de subúrbio tendo-se desenvolvido de forma caótica e sem um plano de urbanização (CMP, 2014).

A cidade conta com importantes infraestruturas (Aeroporto e Porto internacionais), concentrando os principais serviços como o comércio, sede de empresas e rede das embaixadas. Estima-se que residem no concelho aproximadamente 131719 habitantes, cerca de 27% do total da população nacional (491875) e que a densidade populacional aumentou de 962 para 1297 habitantes por km², no período entre 2000 a 2010 (INE, 2010). O crescimento acelerado observado nos últimos anos tem sido fomentado tanto pelos fluxos migratórios internos (êxodo rural e migração das restantes ilhas) como externos, provenientes dos países vizinhos da África Ocidental (CMP, 2014)

A desordem urbana é uma das problemáticas que afetam esta cidade. A esta acresce os vários problemas de ordem ambiental e social, nomeadamente, o precário sistema de saneamento básico, a sua elevada exposição a riscos naturais (à passagem de tempestades tropicais e furacões), a vulnerabilidade da sua orla costeira e o avanço do nível do mar; o caso mais notório é o do cais/porto da Praia onde já foram feitas várias intervenções no sentido de combater os estragos causados pela força das ondas que atingem o cais.

4.5.2 Regime Hidrológico

A cidade da Praia apresenta as mesmas características climáticas gerais que a ilha de Santiago. A Figura 4.7 apresenta uma série histórica longa para a cidade da Praia, no período 1875-2016, contextualizando assim o período em análise, 1977-2016. A figura mostra que: i) a variabilidade acentuada e as flutuações anuais da precipitação são características intrínsecas do regime hidrológico local; ii) que a precipitação média anual pode variar de escassos milímetros a quantidades apreciáveis; iii) que embora possa haver grandes oscilações na precipitação média anual, poucas vezes esta ultrapassa os 400 mm anuais.

³ Achada - é um termo que designa um planalto de origem vulcânica. O nome de achada também é dado a zonas planas situadas entre elevações de origem vulcânica.

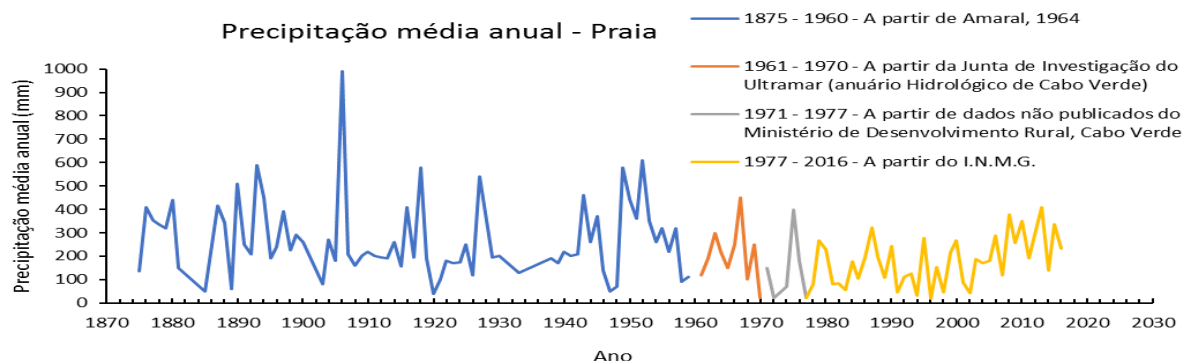


Figura 4.7 - Série histórica longa para a cidade da Praia, no período 1875-2016.

4.5.3 Ocupação do Solo

A cidade é composta por uma mancha urbana que se tem expandido de forma caótica, com construções em leitos de ribeira e de encostas declivosas. Segundo o Plano Operacional de Emergência “Chuvas 2014” (POEC), o crescimento da Cidade da Praia vem sendo pautado por grandes dificuldades em harmonizar as ocupações espontâneas com as dos planos oficialmente elaborados. O concelho viu o seu crescimento emergir de forma acelerada a partir dos anos 80/90, consequência de vários fatores, um dos quais é o êxodo rural que vem determinar uma forte concentração de população na Cidade da Praia, o que se traduz numa acentuada procura de terrenos para a construção de habitação.

A Figura 4.8 apresenta um mapa com as principais áreas de crescimento na cidade, onde é claramente visível que boa parte desta se tem desenvolvido segundo ocupações espontâneas. As áreas de ocupação espontânea incluem bairros ilegais e localizam-se, na sua maioria, em áreas de elevado risco. A Figura 4.9 ilustra alguns destes bairros ilegais.

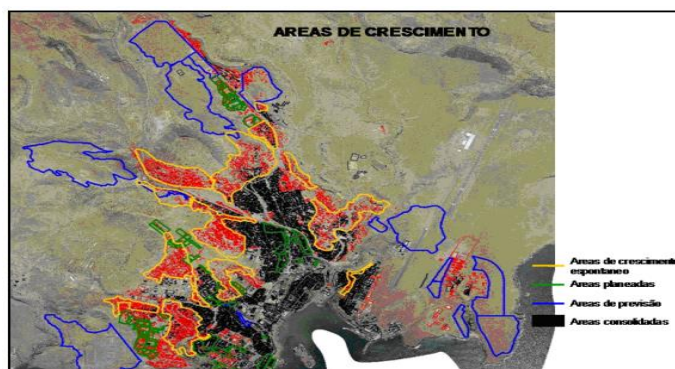


Figura 4.8- Principais áreas de crescimento urbano na cidade da Praia. In Victória et al. (2006b).

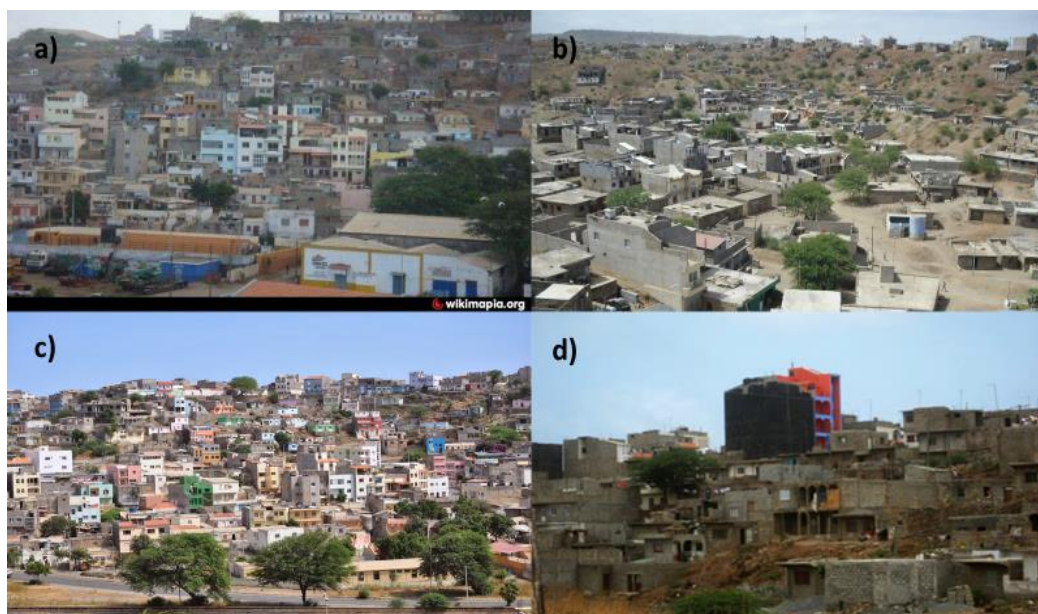


Figura 4.9 – Vista de áreas de ocupação urbana espontânea na cidade da Praia: a) Lém ferreira; b) Safende; c) Bairros e ocupação de encostas; d) Tira Chapéu.

4.5.4 Sistema de Drenagem de Águas Pluviais

Devido a este cenário compreende-se que a drenagem das águas pluviais constitui um dos principais problemas e desafios na cidade da Praia. As águas pluviais são geridas superficialmente. Dispõem de um sistema de valas e canais que direcionam a águas das chuvas para o mar. Este sistema de gestão de águas pluviais adotada na cidade pode constituir uma boa estratégia uma vez que o período chuvoso na cidade é curto, não justificando que se construam redes de coletores enterradas e com dimensões que permitam escoar os elevados caudais de drenagem pluviais geradas na estação chuvosa. Contudo, a rede de drenagem à superfície conta com sérios constrangimentos a nível da sua manutenção e de período útil de vida, pois os drenos são pouco monitorados e as comunidades locais muitas vezes depositam neles resíduos sólidos contribuindo para a sua colmatação e impedindo assim que funcionem tal como previsto. A Figura 4.10 apresenta o traçado da rede de drenagem artificial das águas pluviais e como se pode constatar esta não abrange todas as áreas da cidade.

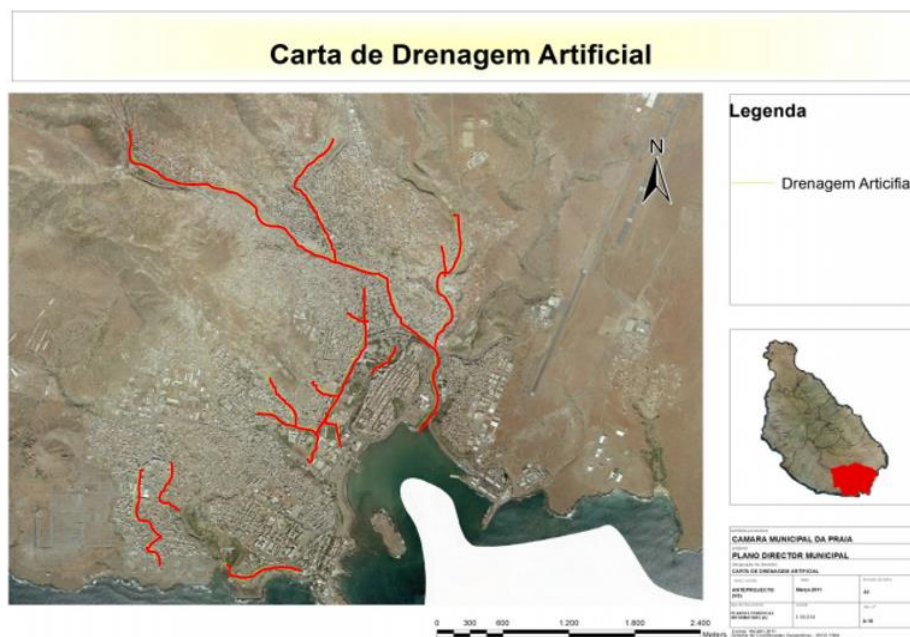


Figura 4.5 - Carta da rede de drenagem artificial da cidade da Praia (CMP, 2014).

O Quadro 4.2 apresenta as características dos canais destinados à drenagem das águas pluviais existentes na cidade da Praia. O principal problema associado ao funcionamento da rede relacionam-se com assoreamento. Atualmente encontra-se em curso, sob a responsabilidade da Câmara Municipal da Praia, a construção e reparação de algumas obras de drenagem nas encostas da cidade, como por exemplo na cidade de Vila Nova, Lem Ferreira, Achadinha e em algumas ribeiras principais da cidade, como em Fontom. Estes trabalhos têm sido feitos basicamente nos bairros informais da cidade (que constitui mais de 80% da área urbana da cidade da Praia). Geralmente as obras de drenagem são feitas com o intuito de conduzir as águas pluviais para as ribeiras principais ou para o mar. Também, têm sido feitos trabalhos de tratamento nas encostas como caminhos e escadarias que por sua vez conduzem as águas para as valas de drenagem.

Quadro 4.2 - Tipos de redes de drenagem existentes em várias zonas da cidade da Praia, totalizando cerca de 14.3 km de rede (CMP, 2014).

Zona	Canal de Vila Nova	Canal de Safende	Canal de Castelão	Canal de Avenida Cidade de Lisboa	Parque 5 de Julho	Quebra canela	Palmarejo	Canais da Várzea da Companhia
Tipo de Rede	Rectangular	Rectangular	Rectangular	Rectangular	Trapezoidal	Rectangular	Rectangular	Rectangular
Tipo de Cobertura	Céu aberto	Céu aberto	Céu aberto	Coberto e Céu aberto	Céu aberto	Céu aberto	Céu aberto	Coberto e Céu aberto
Ano de Construção	1980	2010	1990	1990	1990 e 2010	2000	1990	2000
Comprimento (km)	4.5	1.4	1.7	1.7	0.3	0.8	1.6	2.3
Largura (m)	30	15	10-20	2	1-2	0.5	0.5	1-1.5
Altura (m)	1 a 2.5	1	1-2	1.5	1	0.5	0.5	1-1.5
Espessura (cm)	50	40	40	30	50	15	15	40
Materiais Utilizados	Alvenaria Hidráulica	Alvenaria Hidráulica	Alvenaria Hidráulica	Alvenaria Hidráulica	Alvenaria Hidráulica	Betão Armado	Betão Armado	Alvenaria Hidráulica
Bairros Drenados	Bacia de Trindade, Pensamento, Calabaceira, Achadinha, Vila Nova, Fazenda, Lem Cachoro, Paiol, Platô, Castelão, Lem Ferreira.	Alto Safende, Cruz Mártires e Safende.	Ponta de Água, Achada Mato, Coqueiro, Castelão e Paiol.	Achadinha, Fazenda, Cabon de Várzea, Taii e Achada Santo António.	Fazenda, Platô, Sucupira.	Achada Santo António e Quebra Canela.	Palmarejo.	Santaninha, Terra Branca, Achada Santo António, Várzea, Bairro.
Estado de Funcionamento	Assoreado em alguns trechos.	Assoreado em alguns trechos.	Assoreado em alguns trechos.	Assoreado em alguns trechos.	Assoreado em alguns trechos.	Bom estado.	Bom estado.	Assoreado a 70%.

4.5.5 Bacia Hidrográfica da Trindade

Na cidade da Praia as águas pluviais são maioritariamente drenadas por linhas de água e ribeiras naturais. A cidade encontra-se na confluência de 3 bacias hidrográficas (Trindade, São Filipe e Palmarejo); as duas últimas são tributárias da primeira já na parte baixa da cidade. Entre estas bacias destaca-se a bacia hidrográfica da Trindade que se trata de um sistema hidrológico que se inicia numa das áreas de maior precipitação ao nível da Ilha de Santiago – Serra do Pico da Antónia (Ver Figura 4.5 e 4.11).

A Figura 4.11 apresenta a bacia da Trindade, contextualizada na Ilha de Santiago, mostrando a rede hidrográfica, declividades e orografia na bacia. A bacia possui cerca de 47 km² de área com uma densa rede de drenagem (densidade de drenagem 3.109 km/km²), sendo assim classificada como bacia bem drenada (adotando o definido em ver e.g. Lencastre e Franco, 1992). As declividades variam entre 0 a 8% nas zonas mais aplanadas, de 20 a 45% nos planaltos e planícies e valores acima de 45% para certas encostas das sub-bacias que compõem o seu sistema hidrológico. As suas linhas de água (comprimento total dos cursos de água 147.9 km) possuem um carácter intermitente (i.e. apresentam um caudal sazonal, somente no período chuvoso, quando o nível freático se eleva e o escoamento subterrâneo passa a contribuir para o caudal), e algumas efémeras (i.e. só apresentam caudal durante, e logo após, chuvadas intensas). A linha de água principal tem um comprimento de 18 km e um declive médio de 0,038 m/m atingindo a cota de 705 m (altitude máxima) e de 0 m (altitude mínima).

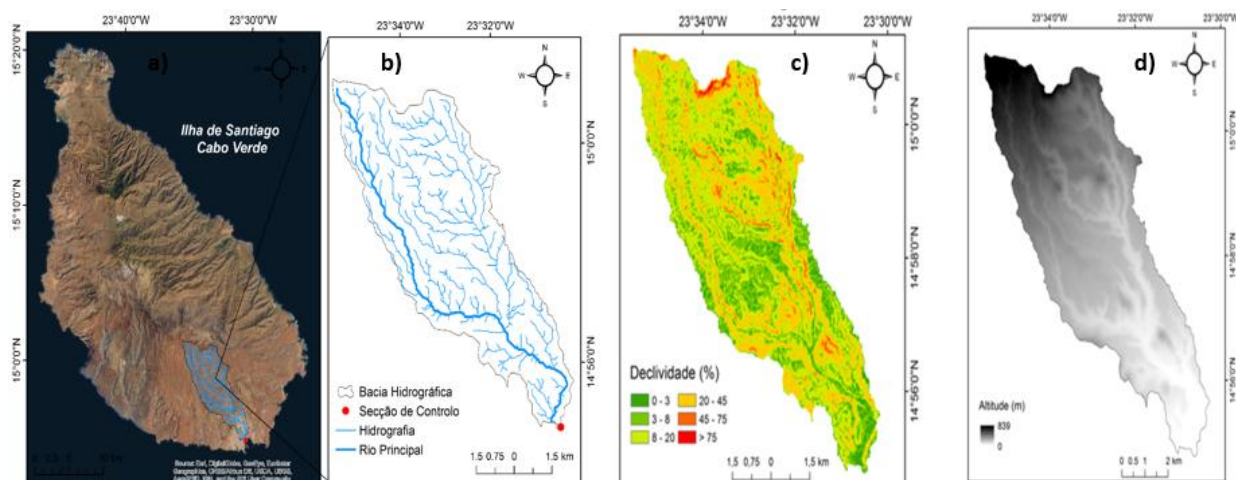


Figura 4.11 - Bacia Hidrográfica de Trindade. a) Localização na Ilha de Santiago; b) Rede hidrográfica; c) Declividades; d) Orografia.

A cidade da Praia desenvolveu-se, essencialmente, na foz da bacia de Trindade, estando assim, iminentemente sobre o risco de ocorrência de cheias aquando do extravase/transbordo das linhas de água. Embora as características da bacia não sejam em si, os determinantes para possíveis ocorrências de cheias na cidade, um conjunto de outros fatores determinam os fenómenos anualmente recorrentes de eventos de inundações na cidade.

4.5.6 Inundações na Cidade da Praia

O atual cenário de crescimento da população que se tem observado na cidade da Praia tem implicações diretas nos sistemas de saneamento básico e, em particular, nos sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas.

A ocupação urbana do solo, associada ao inadequado ordenamento do território e planeamento de sistemas de drenagem, conduz, em geral, e à luz dos critérios de projetos tradicionais, a um aumento de caudal devido à maior impermeabilização, produzindo, como consequência, um aumento na frequência e na magnitude das inundações e das cheias (de Lima et al., 2013).

Analisando os vários fatores acima referidos pode-se facilmente depreender que os problemas associados às inundações na cidade da Praia, em concreto na bacia hidrográfica de Trindade, não devem ser atribuídos a um fator isolado, mas sim à associação de vários fatores.

Primeiramente, o regime hidrológico local favorece a ocorrência de situações extremas excepcionais que muitas vezes não são tidas em conta aquando do dimensionamento de obras hidráulicas e de muitas infraestruturas por estas influenciadas.

O aumento da taxa de urbanização desordenada é outra das causas. O seu efeito é agravado pelo facto de muitos bairros se terem desenvolvido, geralmente, sobre percursos preferenciais das linhas de água.

A Figura 4.12 ilustra este cenário. O que acontece na cidade da Praia e em outras partes da Ilha é que ao longo do ano, estas linhas de água não são mais do que ribeiras secas, pouco declivosas e muitas vezes erodidas. A população, economicamente desfavorecida, aproveita parte destes terrenos para construir as suas casas, proliferando, em curto espaço de tempo, bairros informais em vários pontos da cidade. Portanto, grande parte dos bairros na cidade da Praia são áreas vulneráveis a inundações, seja por causa da diminuição da largura “natural” das ribeiras ou pela realização de escavação e enchimento que criam barreiras e modificações nos percursos hídricos originais.

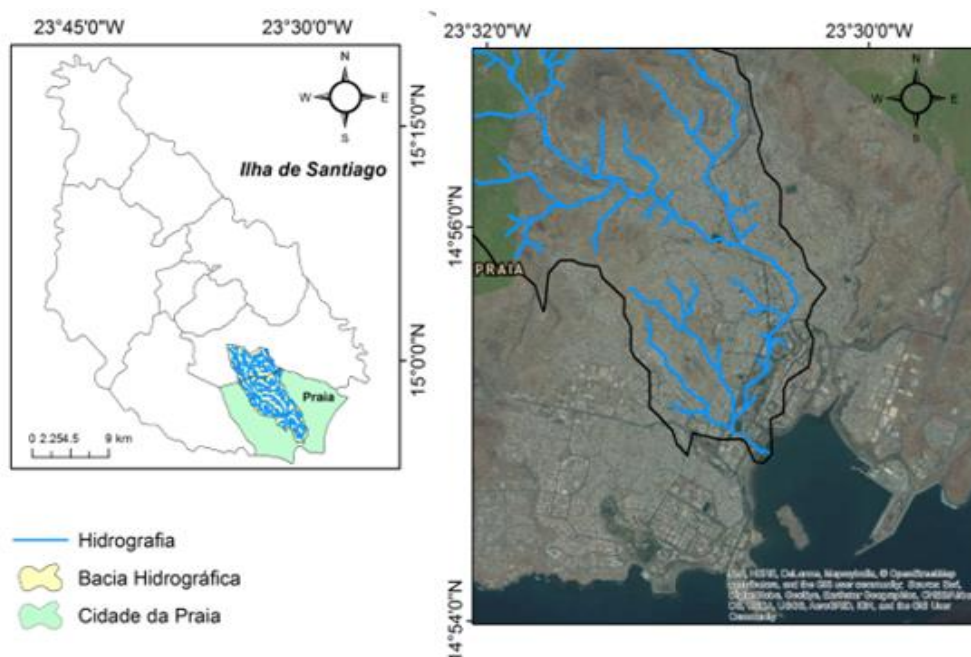


Figura 4.12 – Urbanização desordenada na Bacia Hidrográfica de Trindade. À esquerda representa-se a mancha urbana da cidade da Praia na Ilha de Santiago, que ocupa principalmente a bacia de Trindade. À direita imagem de satélite da cidade da Praia mostrando a sobreposição da urbanização às linhas de água da bacia hidrográfica da Trindade.

Aliado a estes fatores, encontra-se uma precária rede de drenagem de águas pluviais (sistemas a céu aberto) que não consegue dar vazão às quantidades precipitadas nos meses húmidos. Consequentemente, todos os anos em que a precipitação média anual atinge valores expressivos à escala da realidade local, são registadas cheias e inundações em vários pontos da cidade, causando danos materiais e por vezes ceifando vidas humanas.

O fenómeno das cheias e inundações tem um maior impacto numa área de 30 km² no município da Praia (CMP, 2014). As principais zonas sujeitas a cheias e inundações na cidade da Praia encontram-se identificadas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Zonas suscetíveis às cheias e inundações (CMP, 2014).

Tipologia de Zonas	Zonas	Causa de inundações
Zonas de Fundo dos Vales	Porto de São Francisco; Ribeira Cural Velho; Ribeira de Águas Fundas; Coqueiro-Castelão; Ribeira Safende (Safende, Vila Nova, Calabaceira); Ribeirada Trindade (Latada, Pensamento, Fazenda, Lem Cachorro, Paiol, Lem Ferreira); Várzea; Chã d'areia; Cobon-Fontom; Ribeira de Palmarejo Grande; Ribeira de São Martinho.	Evento pluviométrico extremo (pluviometria diária superior a 200 mm), ocupação de leito menor da ribeira pelas habitações espontâneas, inexistência de canais artificiais de drenagem, assoreamento dos canais naturais e artificiais de drenagem de águas pluviais.
Zonas das Encostas	São Tomé; Aeroporto antigo (Jamaica); Lem Ferreira; Ponta de Água-Coqueiro; Ponta de água-Vila Nova; Safende; Eugénio Lima - Achadinha; Terra Branca - Várzea; Achada Santo António - Cobon - Fonton; Terra Branca - Bela Vista.	Zonas de drenagem dos planaltos, ocupação das linhas de água pelas construções; inexistência de canais de drenagem artificiais.
Zonas planas ou planaltos	São Felipe; Achada Grande; Calabaceira; Platô; Achada Santo António; Palmarejo.	Inexistência de canais de drenagem artificial(terciário e secundário); Destruição dos canais de drenagem existentes resultante da descuidada pavimentação das vias com materiais betuminosos.

A Figura 4.13 ilustra as inundações ocorridas em algumas das zonas referidas da cidade.



Figura 4.13 – a) Inundação na zona de Ponta d'água; b) Inundação na zona baixa da cidade Chã d'areia. Fonte: SNPC (2004).

5 RESULTADOS

5.1 Considerações Gerais

Após a caracterização dos elementos essenciais para o estudo em questão, e seguindo a metodologia e os métodos descritos no terceiro capítulo, apresentam-se, neste capítulo, os resultados obtidos da análise de tendência nas variáveis climáticas. Apresentam-se ainda, alguns resultados específicos para a cidade da Praia e para a bacia que a envolve, consoante motivos supracitados, com o intuito de alertar os organismos competentes para as implicações a curto e médio prazo que fenómenos subjacentes às tendências nesta variável climática possam acarretar.

5.2 Consistência das Séries de Precipitação

Apresentam-se no Quadro 5.1 e graficamente na Figura 5.1 o resultado do teste de homogeneidade/consistência dos dados pluviométricos segundo o método das curvas de dupla massa. A Figura 5.1 (a) apresenta as 8 séries consideradas consistentes. Embora algumas dessas séries tenham apresentado flutuações ao longo da reta em que se desenvolvem, nos casos em que não houve mudança no declive em relação ao declive inicial, foram adotadas de modo a evitar perdas de informação que a priori já eram escassas. A Figura 5.1 (b) apresenta as 4 séries consideradas não consistentes e, portanto, não usadas para o teste de tendência.

Quadro 5.1 – Resultado do teste de homogeneidade/consistência da precipitação nos postos udométricos na Ilha de Santiago, no período de 1980-2016.

Consistência	Postos udométricos											
	Assomada	Babosa Picos	Chão Bom	Escola	Mato Limão	Praia Aero	Ribeirinha	Rib. Barca	P.Ferro	S. Domingos	S. Francisco	S. Jorge
Consistente		X			X	X	X		X	X	X	X
Inconsistente	X		X	X				X				

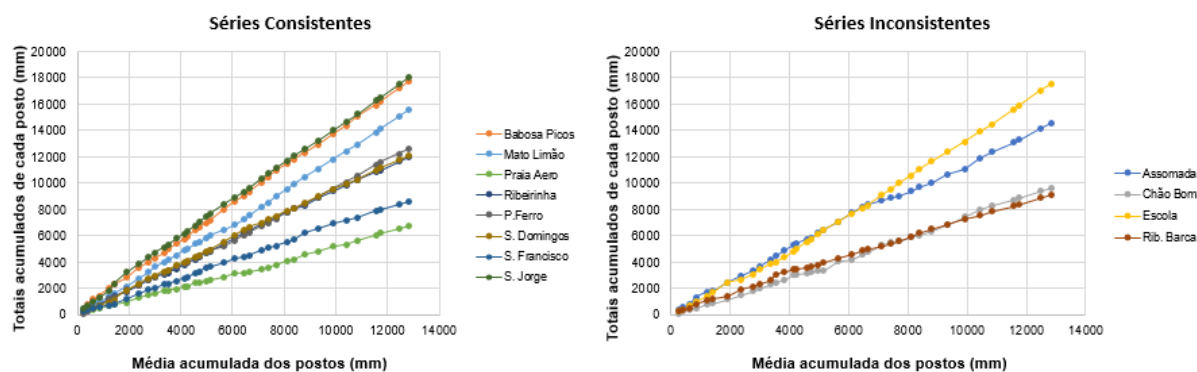


Figura 5.1 – Gráficos resultantes do teste de homogeneidade/consistência da precipitação nos postos udométricos na Ilha de Santiago, no período de 1980-2016. À esquerda, as séries consistentes (a). À direita, as séries não consistentes (b).

5.3 Tendência Observada nas Variáveis Climáticas

Considerando as séries homogêneas, apresentam-se os resultados obtidos na análise de tendência para cada uma das variáveis climáticas em estudo: precipitação, temperatura e humidade relativa. Os resultados da aplicação do teste de tendência serão apresentados e analisados em Quadros e/ou Figuras, consoante se considerar oportuno.

5.3.1 Precipitação Média Anual

O Quadro 5.2 e Figura 5.2 apresentam resultados da análise de tendência temporal na precipitação anual na Ilha de Santiago, observada em oito dos postos estudados. Estes resultados mostram um aumento estatisticamente significativo (ao nível de confiança de 90%) da precipitação anual no período 1980-2016. Nota-se que para cada posto a análise resultou em um aumento médio de aproximadamente 4 a 10 mm precipitados por ano. O posto que apresenta maior aumento é o de Mato Limão (9.8 mm/ano ou 98 mm/década), o que em termos relativos, considerando a média anual precipitada no mesmo posto, corresponde a um crescimento de cerca de 2.3 % ao ano e 23% por década. A cidade da Praia apresenta um menor aumento da quantidade precipitada relativamente aos outros postos (4.36 mm/ano ou 43.6 mm/década); contudo, se se analisar em termos relativos, é o que apresenta uma maior taxa de crescimento.

Quadro 5.2 – Tendência da precipitação média anual na Ilha de Santiago, no período 1980-2016, onde **n** é o número de dados, **Q** e **B** são os parâmetros definidos na equação 7 que representam, respetivamente, a estimativa da tendência na variável analisada expressa em mm/ano, e, a constante expressa em mm. O significado da notação adotada para o nível de significância (+, *, **, ***) encontra-se definido no capítulo 3, página 21.

Posto	Babosa Picos	Mato Limão	Praia Aero	Ribeirinha	P.Ferro	S. Domingos	S. Francisco	S. Jorge dos Órgãos
Período	1980 - 2016	1980 - 2016	1980 - 2016	1980 - 2016	1980 - 2016	1980 - 2016	1980 - 2016	1980 - 2016
n	37	37	37	37	37	37	37	37
Signific.	**	**	**	*	**	*	*	*
Q (mm/ano)	8,23	9,8	4,36	7,1	7,54	5,91	3,97	7,65
B (mm)	285,0	206,3	80,3	199,7	169,1	211,6	141,5	316,0

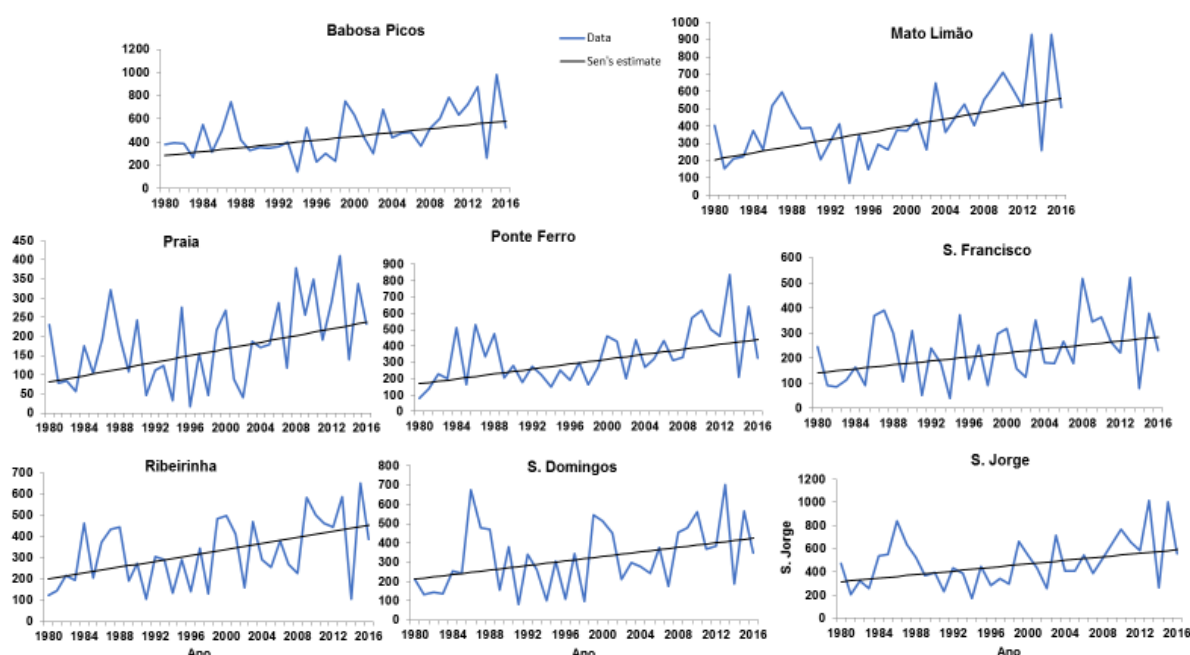


Figura 5.2 - Tendência da precipitação média anual na Ilha de Santiago.

A Figura 5.3 apresenta as séries de precipitação anual em 8 postos e o crescimento relativo da precipitação anual no período 1980-2016, avaliado com base na estimativa de tendência de precipitação nesse período (Quadro 5.2) e no valor da precipitação média de cada posto, apresentado no Quadro 3.1. Conclui-se que o posto que tem a maior precipitação média anual, São Jorge dos Órgãos (472 mm), é o que apresenta uma menor taxa de crescimento por década (16.2%) e que a Cidade da Praia sendo a que regista menor valor da precipitação anual, apresenta a maior taxa de crescimento por década (24.5 %).

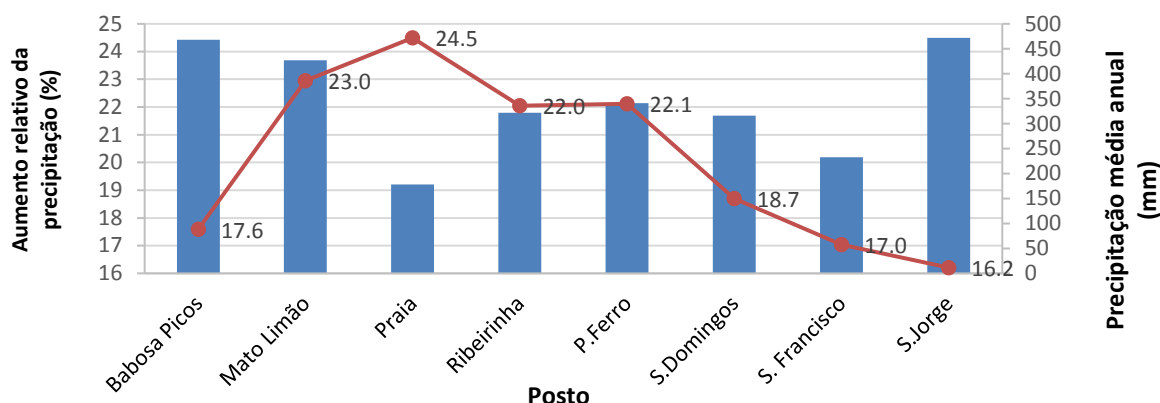


Figura 5.3 - Aumento relativo da precipitação média anual (marcadores) e valor da precipitação média anual (barras) em 8 postos na Ilha de Santiago, avaliado no período 1980-2016.

5.3.2 Precipitação Média Trimestral e Semestral

Quanto ao estudo de tendências de precipitação a escalas sub-anuais, decidiu-se agrupar os dados mensais em trimestres e semestres chuvosos, tentando assim perceber em qual dos períodos se observa um maior aumento da quantidade precipitada. O Quadro 5.3 apresenta os resultados da análise de tendência temporal na precipitação trimestral e semestral na Ilha de Santiago e os valores relativos à média, desvio padrão e coeficiente de variação da precipitação nos referidos trimestres.

Do Quadro 5.3 constata-se que há uma tendência de aumento da precipitação, estatisticamente significativo, ao nível de confiança acima dos 90%, em todos os postos estudados, no Semestre e Trimestre húmidos. Avaliado à escala decadal, a tendência de aumento é maior no trimestre de agosto-outubro à exceção do posto de Babosa Picos, onde o trimestre que apresenta maior aumento é o de julho-setembro. Embora o trimestre de agosto-outubro apresente uma maior quantidade média precipitada e também uma maior tendência, geral, de aumento, todos os meses compreendidos entre julho a novembro contribuem significativamente para a quantidade precipitada média anual, o que contrasta com a realidade dos restantes meses do ano.

Se por um lado a maior tendência de aumento obtido para o trimestre de agosto-outubro pode indicar uma intensificação da sazonalidade e do carácter concentrado da precipitação, por outro, analisando a precipitação média no trimestre de setembro-novembro e a tendência de aumento do mesmo em todo o semestre em causa, pode indicar um alargamento do período médio da época das chuvas na Ilha.

Existe uma grande variação e dispersão das quantidades precipitadas relativamente ao valor médio, o que se pode afirmar com base no elevado desvio padrão e coeficiente de variação

acima dos 39%. Esta grande dispersão ainda indica que embora quantidades extremas precipitadas sejam uma preocupação válida, a escassez da precipitação também é uma realidade intrínseca ao sistema em estudo. Alerta-se que embora o teste adotado possa ter detetado a existência de tendência de aumento da precipitação, é evidente quando se analisa estes valores estatísticos, que estas tendências de aumento, podem ser, e no caso, são, acompanhadas por períodos em que as quantidades precipitadas podem atingir limiares muito baixos.

Quadro 5.3 - Tendência na precipitação Trimestral e Semestral na Ilha de Santiago, correspondente nível de significância estatística e respetiva análise estatística descritiva básica.

Posto	Precipitação trimestral e semestral						
	Trimestre e Semestre	Período	Precipitação Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coefficiente de Variação (%)	Q (mm/ano)	Sign.
Babosa Picos	Julho - Agosto - Setembro	1977 - 2015	357,0	139,8	39	7,03	***
	Agosto - Setembro - Outubro	1977 - 2015	415,8	192,5	46	6,94	**
	Setembro - Outubro - Novembro	1977 - 2015	282,9	163,7	58	5,73	*
	Julho - Novembro	1977 - 2015	---	---	---	8,85	**
Ponte Ferro	Julho - Agosto - Setembro	1980 - 2016	265,9	122,4	46	5,97	***
	Agosto - Setembro - Outubro	1980 - 2016	298,9	139,7	47	7,16	***
	Setembro - Outubro - Novembro	1980 - 2016	202,9	120,3	59	6,77	***
	Julho - Novembro	1980 - 2016	---	---	---	7,98	***
Praia	Julho - Agosto - Setembro	1980 - 2016	133,0	85,7	64	3,37	*
	Agosto - Setembro - Outubro	1980 - 2016	156,1	95,8	61	4,21	*
	Setembro - Outubro - Novembro	1980 - 2016	104,0	72,5	70	3,30	**
	Julho - Novembro	1980 - 2016	---	---	---	4,57	**
Ribeirinha	Julho - Agosto - Setembro	1980 - 2016	243,5	118,2	49	5,53	*
	Agosto - Setembro - Outubro	1980 - 2016	284,9	149,4	52	7,70	**
	Setembro - Outubro - Novembro	1980 - 2016	204,6	123,7	60	6,24	**
	Julho - Novembro	1980 - 2016	---	---	---	7,28	*
São Domingos	Julho - Agosto - Setembro	1980 - 2016	240,0	123,9	52	5,47	**
	Agosto - Setembro - Outubro	1980 - 2016	280,3	153,5	55	6,38	*
	Setembro - Outubro - Novembro	1980 - 2016	187,8	125,3	67	4,76	+
	Julho - Novembro	1980 - 2016	---	---	---	5,86	*
São Francisco	Julho - Agosto - Setembro	1978 - 2016	167,7	97,6	58	2,29	+
	Agosto - Setembro - Outubro	1978 - 2016	206,7	110,5	53	3,75	*
	Setembro - Outubro - Novembro	1978 - 2016	137,1	80,4	59	2,75	*
	Julho - Novembro	1978 - 2016	---	---	---	3,76	*
S. Jorge dos Órgãos	Julho - Agosto - Setembro	1977 - 2016	359,5	162,9	45	7,00	**
	Agosto - Setembro - Outubro	1977 - 2016	407,7	198,0	49	8,11	**
	Setembro - Outubro - Novembro	1977 - 2016	285,7	175,8	62	7,03	**
	Julho - Novembro	1977 - 2016	---	---	---	8,93	**

5.3.3 Precipitação Máxima Diária

A tendência observada na precipitação máxima diária não é consistente entre os postos, conforme se pode constatar no Quadro 5.4. O posto da Praia, Ribeirinha, São Francisco e Ponte Ferro apresentam uma ligeira tendência de aumento enquanto que as restantes séries evidenciam

um decréscimo. Em todos os casos, o nível de confiança é inferior a 90% tomado aqui como limiar do que se considera estatisticamente não significativo (n.s.).

Quadro 5.4 - Tendência da precipitação máxima diária, onde **n** é o número de dados, **Q** e **B** são os parâmetros definidos na equação 7 que representam, respetivamente, a estimativa da tendência na variável analisada expressa em mm/ano, e, a constante expressa em mm. “n.s.” indica que a estimativa de tendência foi obtida para um nível de confiança inferior a 90%.

Posto	Praia	Babosa Picos	Ribeirinha	Ponte Ferro	São Domingos	S. Francisco	S. Jorge dos Orgãos
Período	1977 - 2016	1978 - 2016	1977 - 2011	1977 - 2015	1977 - 2013	1977 - 2015	1977 - 2016
n	40	39	35	38	37	39	40
Signific.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Q (mm/ano)	0,67	-0,15	0,47	0,35	-0,28	0,06	-0,08
B (mm)	29,32	92,86	57,60	68,00	67,12	50,88	78,55

A Figura 5.4 complementa graficamente os resultados dispostos no Quadro 5.4. A tendência de aumento da precipitação máxima diária obtida para o posto da Praia, Ribeirinha e Ponte Ferro, ainda que com um nível de confiança inferior a 90%, acarreta algumas preocupações se essas tendências se mantiverem, uma vez que estas séries atingem um máximo diário de 237 mm para o posto de Ponte Ferro, 200.5 mm para Ribeirinha e de 138.3 mm para Praia (conforme se pode consultar no Anexo B.17), que correspondem, respetivamente, a aproximadamente 70, 62 e 78 % da precipitação anual nesses postos, o que mostra a enorme variabilidade na precipitação diária na Ilha.

As estimativas de aumento apresentadas no Quadro 5.4, significaria um aumento, por década, de 6 mm para o posto de S. Francisco, 35 mm para Ponte Ferro, 47 mm para Ribeirinha e 67 mm para a Praia. Estas quantidades são bastante apreciáveis face às que já se figuram.

Salienta-se que, a tendência obtida para a precipitação máxima diária é maior para o posto da cidade da Praia. Analisando a Figura 5.3, que apresenta uma maior taxa de aumento da precipitação média anual para o posto da Praia e tendo em conta o resultado obtido para as máximas diárias, pode-se concluir, a priori, que possivelmente a cidade da Praia será das mais afetadas no que tange às precipitações intensas.

Esta tese pode-se sustentar, em parte, se se analisar o Quadro 5.3. Os coeficientes de variação da precipitação média dos trimestres e semestre chuvoso no posto da Praia são dos maiores do Quadro, o que indica uma grande variação e dispersão dos dados, no respetivo período. Adicionalmente pode indicar não o aumento de dias chuvosos nestes trimestres, mas o aumento das quantidades precipitadas por dia, aumentando, assim, as quantidades máximas diárias na cidade, conforme aqui se confirma. Só uma análise mais detalhada, nomeadamente das séries diárias de precipitação (não disponíveis para este estudo) permitiriam clarificar estes aspetos.

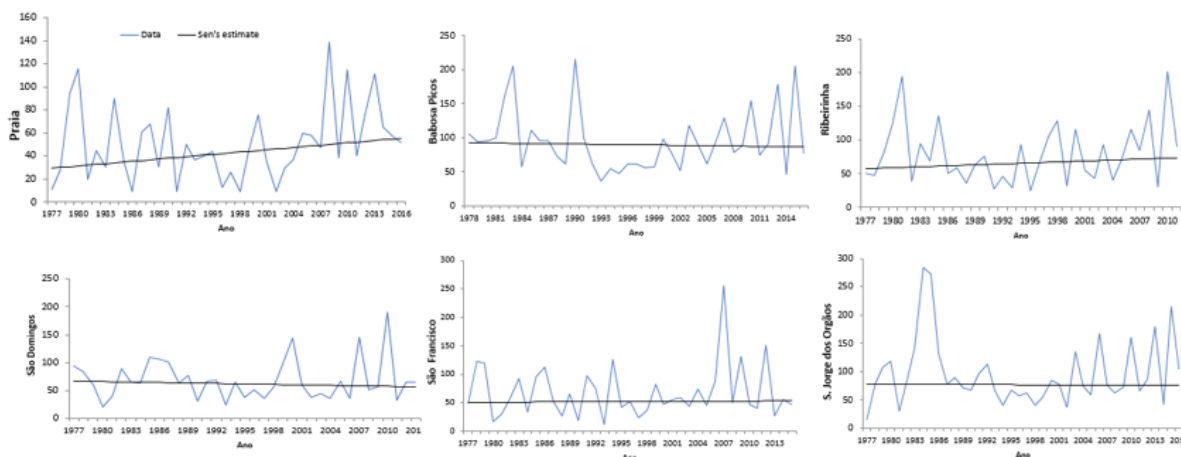


Figura 5.4 - Tendência da precipitação máxima diária em 6 postos localizados na Ilha de Santiago.

5.3.4 Temperatura

Para a variável climática temperatura, testou-se somente a tendência para o posto da cidade da Praia porque segundo as recomendações da Organização Meteorológica Mundial, o intervalo de tempo mínimo recomendado para a caracterização climática de uma região é de 30 anos e só este posto dispunha desta quantidade de dados (36 anos). Outras séries de temperatura, mais curtas, são mostradas na Figura 4.2.

A Figura 5.5 ilustra a tendência observada na temperatura média anual do Posto da Praia. A tendência é de diminuição, de $-0.0153\text{ }^{\circ}\text{C/ano}$, estatisticamente significativa ao nível de 95%, embora este resultado não possa ser generalizado para o resto da Ilha devido às diferenças microclimáticas existentes.

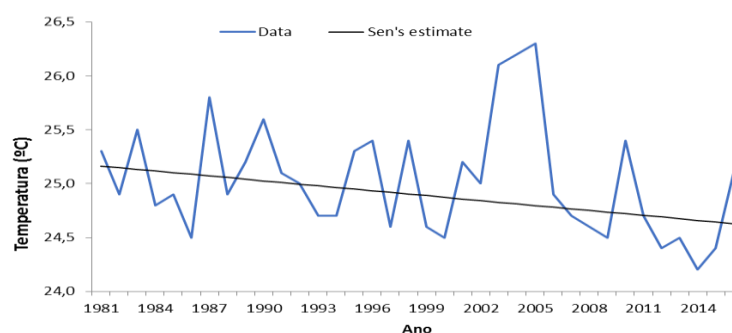


Figura 5.5 - Tendência na temperatura média anual da cidade da Praia, no período 1981-2016.

Analisaram-se também as séries de temperaturas máximas e mínimas para o mesmo posto, cujos resultados encontram-se dispostos no Quadro 5.5 e Quadro 5.6, respetivamente. Nota-se uma

diminuição da temperatura máxima nos meses de janeiro a junho e de setembro a outubro, sendo que somente os meses de fevereiro e setembro apresentam uma diminuição, estatisticamente significativa, ao nível de significância de 90 e 95%, respetivamente. Nos meses de julho, agosto e dezembro a análise sugere um ligeiro aumento das temperaturas máximas ao nível de confiança inferior a 90%. Quanto à temperatura mínima há uma tendência de aumento, estatisticamente significativo, em todos os meses do ano.

Quadro 5.5 - Tendência da temperatura máxima mensal para o Posto da Praia, período 1977-2016, onde n é o número de dados, Q é a estimativa da tendência na variável analisada expressa em $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e B é a constante expressa em $^{\circ}\text{C}$. “n.s.” indica que a estimativa de tendência foi obtida para um nível de confiança inferior a 90%. O significado da notação adotada para o nível de significância (+, *, **, ***) encontra-se definido no capítulo 3, página 21.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
n	39	40	40	40	39	40	40	40	40	39	40	40
Signific.	n.s.	+	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
Q ($^{\circ}\text{C}/\text{ano}$)	-0,002	-0,04	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	0,01	0,01	-0,02	-0,01	-0,01	0,01
B ($^{\circ}\text{C}$)	26,66	27,53	28,19	28,37	29,14	29,59	29,32	30,30	31,25	30,92	29,84	27,49

Quadro 5.6 - Tendência da temperatura mínima mensal para o posto da Praia, período 1977 – 2016, onde n é o número de dados, Q é a estimativa da tendência na variável analisada expressa em $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e B é a constante expressa em $^{\circ}\text{C}$. O significado da notação adotada para o nível de significância (+, *, **, ***) encontra-se definido no capítulo 3, página 21.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
n	39	40	40	40	39	40	40	40	40	39	40	40
Signific.	**	**	+	*	**	**	***	***	*	+	**	+
Q ($^{\circ}\text{C}/\text{ano}$)	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03
B ($^{\circ}\text{C}$)	18,62	18,50	19,07	19,30	20,19	21,12	22,03	23,16	23,71	23,26	21,89	20,34

A Figura 5.6 apresenta dois gráficos relativamente à distribuição da temperatura máxima e mínima mensal para o posto da Praia (a) e as respetivas tendências obtidas no Quadro 5.5 e Quadro 5.6 (b). A temperatura máxima mensal na cidade da Praia varia entre os 26.5 $^{\circ}\text{C}$ e 31.1 $^{\circ}\text{C}$, aumentando significativamente de janeiro a setembro, sensivelmente, atingindo o seu pico em meados de outubro onde decresce até ao final do ano. A temperatura mínima descreve uma trajetória semelhante à da máxima, variando entre os 19.2 e 24.2 $^{\circ}\text{C}$.

Na Figura 5.6 (b) nota-se que a estimativa de tendência de aumento da temperatura mínima, estatisticamente significativo, obtida no Quadro 5.6, não é constante ao longo do ano, pelo que a análise intra-anual da tendência da temperatura mínima mostra uma diminuição do mesmo no período considerado, o que possivelmente explica a causa da diminuição apresentada na tendência da temperatura média anual (Figura 5.5).

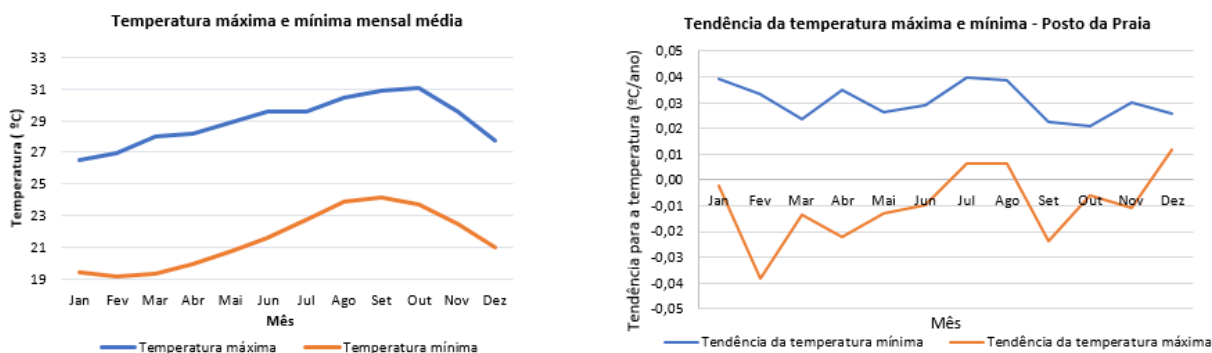


Figura 5.6 – À esquerda apresenta-se a distribuição temporal da temperatura máxima e mínima mensal média no período 1977-2016, posto da Praia (a). À direita apresenta-se a estimativa de tendência obtida para a temperatura máxima e mínima mensal média no período 1977-2016, posto da Praia (b).

5.3.5 Humidade Relativa

A análise de tendência da humidade relativa média anual, pelo mesmo motivo que a temperatura, também só se apresenta para o posto da Praia (36 anos); outras séries mais curtas são mostradas na Figura 4.3. Apresenta uma tendência de aumento de 0,17 % ao ano, estatisticamente significativo, ao nível de confiança de 99.9 %, conforme Figura 5.7.

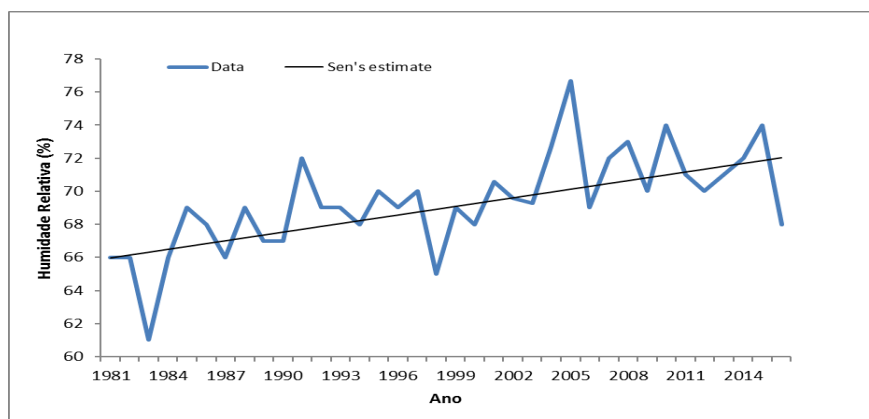


Figura 5.7 - Tendência na humidade relativa média anual para o posto da Praia, período 1981-2016.

O Quadro 5.7 apresenta a tendência obtida para a humidade relativa mensal. Há um aumento estatisticamente significativo em todos os meses do ano. Salienta-se que para a humidade relativa mensal dispunha-se de um maior número de dados, pelo que a série inicia-se em 1977.

Quadro 5.7 - Tendência da humidade relativa mensal posto Praia, período 1977-2016, onde **n** é o número de dados, **Q** é a estimativa da tendência na variável analisada expressa em %/ano e **B** é a constante expressa em %. O significado da notação adotada para o nível de significância (+, *, **, ***) encontra-se definido no capítulo 3, página 21.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
n	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Signific.	+	***	*	***	**	**	*	***	***	***	***	*
Q (%/ano)	0,06	0,25	0,15	0,17	0,20	0,16	0,11	0,25	0,39	0,29	0,20	0,13
B (%)	65,00	58,85	59,82	61,51	60,80	65,25	71,17	71,04	70,13	67,01	65,44	66,19

A humidade relativa é aqui analisada como um dos fatores que influenciam a ocorrência de precipitação; portanto, o seu aumento, estaticamente significativo em todos os meses do ano, e sobretudo no mês de setembro, mês húmido, sustenta a hipótese de que a precipitação possa vir a aumentar. Salienta-se que, o período de agosto a outubro denota maior aumento da humidade relativa e coincide com o período de maior aumento trimestral da precipitação no posto da Praia.

A Figura 5.8 apresenta três gráficos onde se relacionam a humidade relativa com a temperatura mínima, máxima e com a precipitação média mensal do posto da cidade da Praia. Nota-se que ambas as variáveis, humidade e temperatura, quer a máxima quer a mínima apresentam o seu máximo em setembro, sendo inferiores para o resto do ano, mas com manifestação de forte sazonalidade. Este comportamento é acompanhado pelo processo de precipitação.

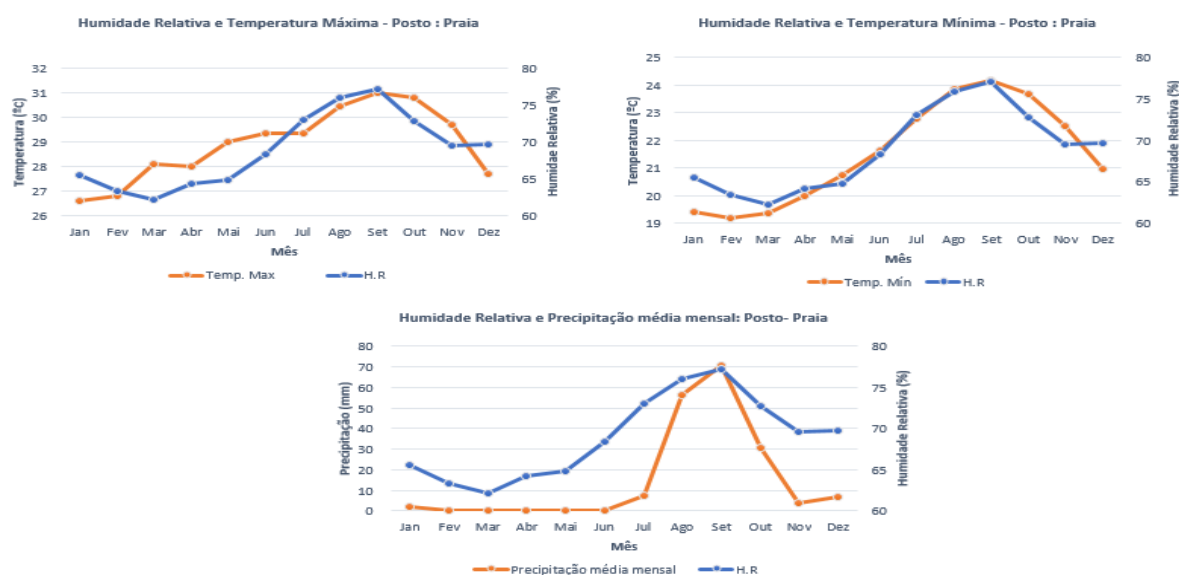


Figura 5.8 – Valores médios mensais da humidade relativa, a temperatura mínima e máxima e precipitação do posto da cidade da Praia, no período 1977-2016.

5.4 Caracterização das precipitações intensas na Cidade da Praia

Dado a dificuldade em encontrar curvas IDF definidas para a Ilha de Santiago, em concreto para a cidade de Praia, achou-se pertinente, com os dados de se que se dispunha, proceder à determinação das mesmas. Assim, este subcapítulo pretende apresentar as curvas IDF obtidas para diferentes períodos de retorno comparando-as com as já definidas em outros locais.

5.4.1 Análise estatística da série pluviométrica máxima diária

A série de precipitação máxima diária da cidade da Praia, com 40 anos de dados (no período de 1977 a 2016), varia de 8.7 a 138.3 mm. Esta amostra é caracterizada pelos estimadores da média e do desvio padrão de, respetivamente, 50.90 mm e 32.4 mm, apresentando um coeficiente de variação de 64%.

A Figura 5.9 apresenta a função de distribuição teórica do modelo de Gumbel, a função de distribuição empírica dos dados (da amostra), a função densidade de probabilidade do mesmo e localiza o valor médio da amostra. A figura ilustra, entre outras questões pertinentes, a apreciação visual do ajuste da função de distribuição do modelo probabilístico de Gumbel aos dados em questão.

A apreciação da qualidade do ajustamento do modelo de distribuição de Gumbel à amostra foi feita através do teste de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov. O Quadro 5.8 apresenta os resultados da aplicação do teste, onde a estatística de teste (0.0695) é muito inferior aos correspondentes valores críticos tabelados de 0.252 e 0.210 (e.g. Naghettini e Portela, 2011), correspondentes aos níveis de significância de 1 % e 5 % para amostras com dimensão, $n=40$. Deste modo, a decisão é a de não rejeitar o ajustamento da distribuição de Gumbel à amostra de precipitações máximas diárias anuais do posto da Praia.

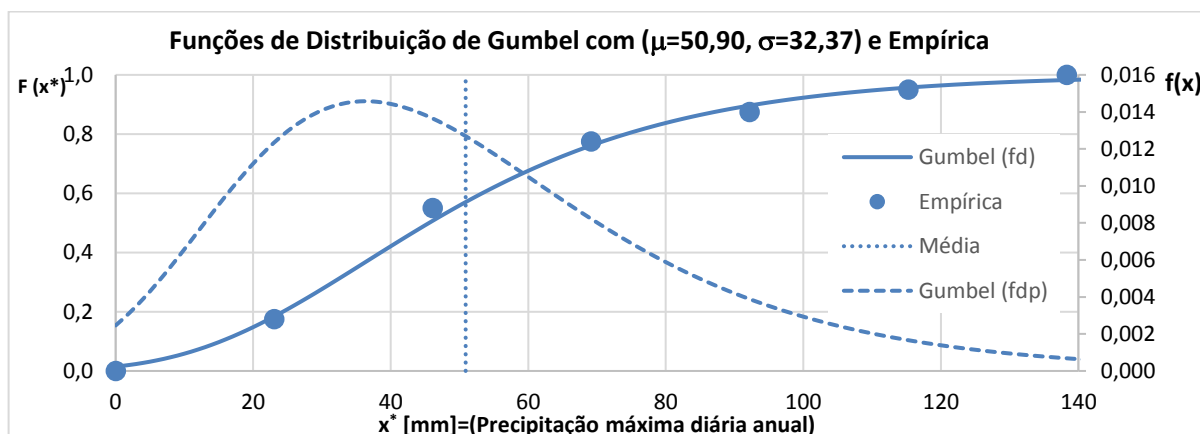


Figura 5.9 - Ajuste do modelo de Gumbel à série de precipitações máximas diárias da cidade da Praia. A função de distribuição dada por Gumbel é definida pela expressão $F(x^*) = e^{-e^{-y}}$; com $y = \frac{x^* - \bar{x} + 0,45s}{0,7797*s}$. A função densidade de probabilidade é dada pela integral $f(x) = \int_0^{x^*} F(x^*)dx$.

Quadro 5.8 – Aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov à amostra de precipitações diárias máximas anuais do posto da Praia.

Estatística do teste, $\max m/n - F(X(m)) $:	0.0695
Valor crítico da estatística do teste para o nível de significância, α , de 1%:	0.252
Valor crítico da estatística do teste para o nível de significância, α , de 5%:	0.210

5.4.2 Estimativa da curva IDF

Não tendo sido rejeitada a hipótese nula (H_0) de que o modelo distributivo teórico de Gumbel se ajusta bem aos dados em questão, aplicou-se o modelo para determinar a probabilidade estatística, ou o período de retorno, das quantidades máximas diárias precipitadas, consoante a metodologia descrita no terceiro capítulo.

O Quadro 5.9 apresenta as quantidades máximas diárias precipitadas e correspondente período de retorno obtidos através da aplicação do modelo de Gumbel. As intensidades máximas diárias foram obtidas pela divisão da quantidade diária precipitada por 24 horas.

Determinadas estas intensidades, fez-se uso da fórmula proposta por Téméz (1978), para obter as intensidades de precipitação para diferentes durações de chuvadas. Atendendo à Equação 16, o uso desta expressão exige que se disponha das intensidades horárias. Para a determinação das intensidades horárias usou-se o coeficiente de desagregação da precipitação diária à escala sub-diária, conforme descrita na metodologia adotada. As curvas propostas por Téméz são válidas até às 24 horas.

Quadro 5.9 - Quantidades e intensidades máximas diárias precipitadas (Pmd e Idiária, respetivamente) e correspondente período de retorno (Tr) obtidos através da aplicação do modelo de Gumbel.

Tr (anos)	Pmd (mm)	Idiária (mm/h)
2	50	2,1
5	75	3,1
10	94	3,9
15	104	4,3
20	111	4,6
50	134,8	5,6
100	152,3	6,3

O Quadro 5.10 apresenta os resultados obtidos para a intensidade máxima diária precipitada na cidade da Praia para diferentes durações e correspondentes períodos de retorno. Os resultados obtidos neste quadro permitiram a construção do gráfico apresentado na Figura 5.10 que representa as curvas de Intensidade-Duração-Frequência para a cidade da Praia.

Quadro 5.10 - Intensidade máxima diária precipitada (mm/h) obtida para a cidade da Praia através da aplicação da expressão proposta por Témez (1978) para diferentes durações de chuvadas (h) e períodos de retorno (anos). Na ausência de dados horários, estimou-se a intensidade horária por aplicação do coeficiente de desagregação da precipitação diária.

Duração (h)	Período de retorno						
	2 anos	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos	50 anos	100 anos
0,5	20,95	31,43	39,26	43,47	46,60	56,51	63,83
1	15,00	22,50	28,10	31,12	33,36	40,45	45,69
2	10,48	15,72	19,64	21,75	23,32	28,27	31,93
3	8,40	12,60	15,74	17,43	18,69	22,66	25,59
4	7,14	10,71	13,38	14,81	15,88	19,26	21,75
6	5,63	8,45	10,55	11,68	12,53	15,19	17,16
12	3,67	5,50	6,87	7,61	8,16	9,89	11,18
24	2,32	3,48	4,34	4,81	5,15	6,25	7,06

Curva IDF - Praia

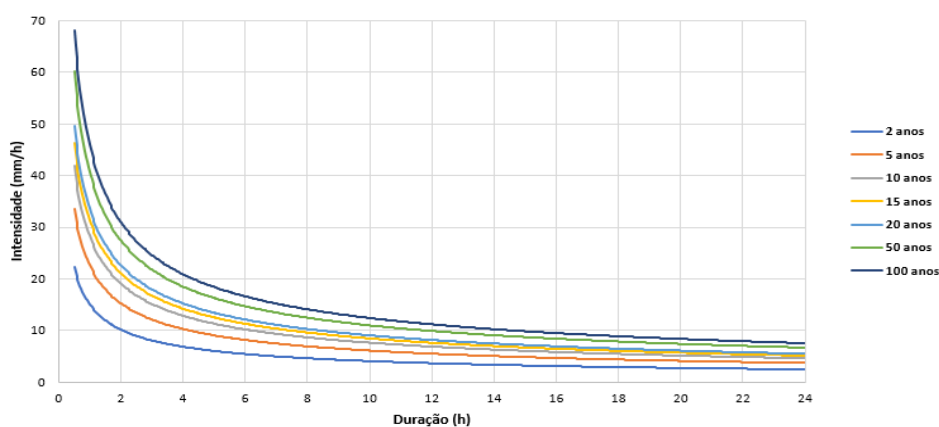


Figura 5.10 - Curvas IDF para a cidade da Praia para durações de chuvadas até as 24 horas, admitidas descritas por uma função potência, com parâmetros indicados no Quadro 5.11.

O Quadro 5.11 apresenta os parâmetros a e b das respetivas curvas resultantes do ajustamento às intensidades máximas diárias precipitadas, para várias durações de chuvadas e períodos de retorno, pelo método dos mínimos quadrados.

Quadro 5.11 – Parâmetros das curvas IDF para a cidade da Praia, descritas por funções potência do tipo $I=at^b$, com I a intensidade da precipitação (mm/h) e t a duração da chuvada (horas).

Parâmetro	Tretorno (anos)						
	2	5	10	15	20	50	100
a	14,99	22,48	28,08	31,09	33,33	40,41	45,65
b	-0,567	-0,567	-0,567	-0,567	-0,567	-0,567	-0,567

5.4.3 Análise comparativa da curva IDF obtida com outras já determinadas

Com o intuito de contextualizar os resultados obtidos para os parâmetros da curva IDF da cidade da Praia, procedeu-se a uma análise comparativa destes parâmetros com os obtidos em outros locais. Com efeito, escolheu-se os parâmetros (descritas por funções potência do tipo $I=at^b$, com I a intensidade da precipitação (mm/h) e t a duração da chuvada (minutos)) da curva IDF utilizadas para a cidade de Lisboa, bem descrita e caracterizada na literatura vigente. De acordo com o estipulado no DR nº23/95 de Portugal, para a cidade de Lisboa poderão usar-se os parâmetros apresentados no Quadro 5.12 consoante o período de retorno pretendido.

O Quadro 5.12 apresenta, também, as intensidades precipitadas obtidas para durações de 30 e 60 minutos para a cidade de Lisboa e da Praia, através da Equação 11.

Quadro 5.12 – Parâmetros das curvas IDF para a cidade de Lisboa (DR nº23/95 de Portugal) e estimadas neste trabalho para a cidade da Praia, e respetivas intensidades de precipitação (mm/h) para eventos com durações de 30 e 60 minutos. As intensidades precipitadas para a cidade da Praia foram obtidas com a duração expressa em horas.

Tr(anos)	Lisboa				Praia			
	a(T)	b(T)	Intensidade (mm/h) t=30min	Intensidade (mm/h) t=60min	a(T)	b(T)	Intensidade (mm/h) t=30 min	Intensidade (mm/h) t=60 min
2	202,72	-0,577	28,48	19,09	14,99	-0,567	22,19	14,99
5	259,26	-0,562	38,33	25,97	22,48	-0,567	33,29	22,48
10	290,68	-0,549	44,92	30,71	28,08	-0,567	41,58	28,08
15	---	---	---	---	31,09	-0,567	46,04	31,09
20	317,74	-0,538	50,98	35,11	33,33	-0,567	49,36	33,33
50	349,54	-0,524	58,81	40,90	40,41	-0,567	59,85	40,41
100	365,62	-0,508	64,96	45,68	45,65	-0,567	67,61	45,65

Analisando as intensidades obtidas para as duas cidades em questão, ambas expressas em mm/h, nota-se que as intensidades máximas precipitadas atingem valores da mesma ordem de grandeza, o que suscita algumas preocupações para a cidade da Praia, visto que, as características

locais e de infraestruturas ainda não estão adaptadas ao regime pluviométrico existente, dado a sua grande irregularidade.

5.5 Caracterização da bacia hidrográfica de Trindade

A bacia hidrográfica de Trindade possui cerca de 47 km² de área, atinge uma altitude máxima de 839 m e mínima de 0 m. Quanto à forma a bacia pode ser classificada, qualitativamente, como uma bacia alongada e ramificada (ver Figura 4.11). Outros parâmetros nomeadamente, o coeficiente de compacidade e o fator de forma, classificam, quantitativamente, as bacias quanto a sua forma e indicam a maior ou menor tendência para ocorrência de cheias de uma bacia hidrográfica (e.g. Lencastre e Franco, 1992). A bacia de Trindade possui um coeficiente de compacidade de 1.58 e o fator de forma de 0.22, o que indica, portanto, pouca suscetibilidade a cheias.

A curva hipsométrica para esta bacia é apresentada na Figura 5.11 e representa a percentagem de área da bacia que fica acima de cada cota. A altitude, e a altura, média da bacia são de 111m, o que sugere que a bacia possui um relevo relativamente acentuado.

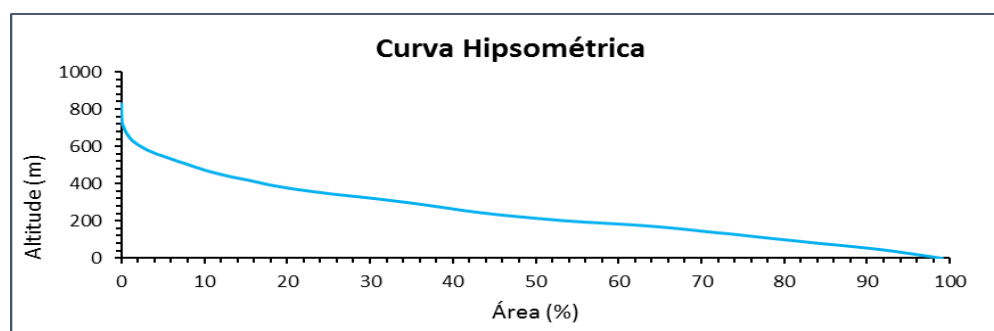


Figura 5.11 – Curva hipsométrica da bacia de Trindade.

O tempo de concentração, que reflete o tempo necessário para que todas as suas linhas de água contribuam para o escoamento superficial na secção de referência, foi determinado através dos métodos de Giandotti, Téméz (bacias urbanas), Kirpich (1940), Pickering (1974 - Brisa) e David (1976), conforme representado no Quadro 5.13. Nota-se que a fórmula proposta por Giandotti não se adequa para o cálculo do tempo de concentração para bacias com as características das de Trindade, devido a grande discrepância com os valores obtidos pelos demais métodos e valores indicados na bibliografia disponível. O tempo de concentração considerado foi obtido através da média aritmética simples dos valores que se apresentam da mesma ordem de grandeza; sendo assim, estima-se um tempo de concentração de aproximadamente 2.2 horas para esta bacia.

Tendo em conta que quanto menor for o tempo de concentração de uma bacia, maior é o seu grau de perigosidade face às cheias rápidas, pode-se considerar que a bacia de Trindade com um tempo de concentração de 2.2 horas, encontra-se suscetível à ocorrência de cheias rápidas.

Quadro 5.13 – Estimativas do tempo de concentração da bacia de Trindade, segundo vários métodos.

Fórmulas empíricas	Tc	Unidade
Giandotti	6.53	horas
Témez (bacias urbanas)	2.21	horas
Kirpich (1940)	2.18	horas
Pickering (1974 - Brisa)	2.19	horas
David (1976)	2.14	horas

5.6 Síntese

A precipitação média anual na Ilha de Santiago apresenta uma tendência recente de aumento (secção 5.3.1). Este aumento é ainda mais expressivo na cidade da Praia onde a precipitação anual, distribuída essencialmente no trimestre chuvoso (agosto a outubro), apresentou nos últimos anos uma média inferior a 200 mm anuais. A análise de tendência realizada no semestre chuvoso (julho a novembro, semestre responsável, em média, por 95 % da precipitação anual) veio mostrar que a distribuição do aumento da precipitação anual concentra-se nestes meses, conferindo-lhe assim um maior carácter sazonal. A situação agrava-se quando além da análise semestral, se estuda a escala trimestral. Nota-se que o trimestre de agosto a outubro sobressai relativamente aos outros. Deste modo, o aumento do já acentuado carácter sazonal e concentrado no tempo, sugere a possibilidade de aumento da intensidade e dos eventos das precipitações extremas. Este fenómeno torna-se ainda mais evidente quando, para a cidade da Praia, se nota também um aumento das quantidades máximas diárias anuais precipitadas.

De acordo com estudos recentes, que aplicam à ilha de Santiago o modelo de circulação atmosférica global HadGEM1, utilizado no 4º Relatório de Avaliação do IPCC, para o Cenário A1b⁴ do IPCC, entre 2020 e 2080 espera-se um aumento da precipitação no período húmido; no entanto, esse aumento ocorre mais intensamente até 2050 (principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro) seguindo-se um decréscimo até 2080, conforme apresenta a Figura

⁴ Cenário A1b corresponde a uma continuação dos padrões históricos, que refletem um crescimento rápido da população em termos globais, atingindo-se previsivelmente 9 biliões em 2050, e que depois decresce gradualmente, com uma convergência social e económica entre as regiões e a rápida propagação de novas tecnologias eficientes.

5.12. Para a estação seca, no mesmo relatório, prevê-se uma redução da precipitação e consequente aumento das condições de aridez.

Os resultados obtidos aqui na análise de tendência realizada são consistentes com este cenário. A análise empírica com base em dados atuais aqui apresentada, visa contribuir para o conhecimento do que se pode prever a nível das variáveis climáticas para esta região do globo possibilitando assim às autoridades locais competentes a tomada de medidas suportadas em dados locais e atualizados.

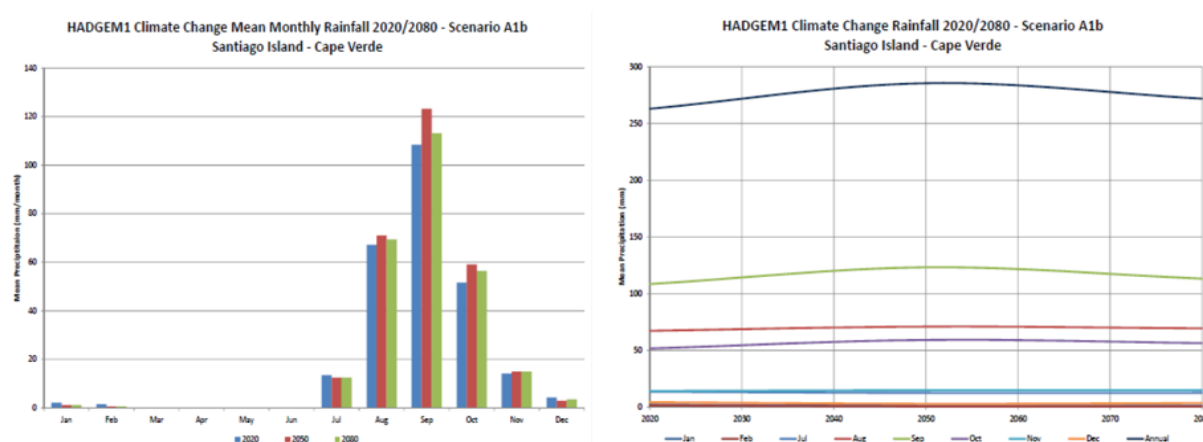


Figura 5.12 - Previsão de alterações na precipitação na ilha de Santiago, pelo Modelo de Circulação Atmosférica Global HadGEM1, sob o cenário de emissões A1b, em RCV (2016): a) precipitação mensal média em 2020, 2050 e 2080; b) precipitação anual e mensal média nos meses de julho a fevereiro, no período 2020-2080.

No caso da cidade da Praia, as tendências recentes na precipitação são ainda mais alarmantes, sendo o local, de entre os postos udométricos estudados, que apresenta o maior aumento relativo da precipitação média anual e maior tendência de aumento na precipitação máxima diária. Sendo assim, o conhecimento das curvas IDF é de primordial importância face às condições locais e aos cenários aqui observados.

Com os dados disponíveis estimaram-se estas curvas e compararam-se as intensidades das precipitações máximas para chuvadas com diferentes durações determinadas para a cidade da Praia com as da cidade de Lisboa, e estas evidenciaram-se da mesma ordem de grandeza. Embora a combinação de métodos adotados para a determinação da curva, método de Témex e a da desagregação das quantidades precipitadas diárias para a escala horária (devido a impossibilidade de obter registos de precipitações horárias), possa suscitar algumas incertezas, esta apresentou resultados coerentes e credíveis, uma vez comparadas às curvas de Lisboa. Contudo, estas mesmas curvas devem ser encaradas com alguma reserva, dada a pequena dimensão da série que as suportam.

A bacia hidrográfica da Trindade, que drena uma boa parte da cidade, é uma bacia pequena (47 km² de área) e possui um tempo de concentração de escassas horas (2.2 horas). Embora os parâmetros e índices que a classificam quanto à forma, se encontrem dentro da gama de valores estimados (e.g. ver Lencastre e Franco, 1992) e que geralmente se associam a uma menor suscetibilidade à ocorrência de cheias, com base na resposta hidrológica esperada para a bacia, esta bacia tem tido, anualmente, suas linhas de água inundadas em vários troços. Alguns fatores como por exemplo, o relevo expressivo da bacia, a elevada densidade de drenagem, o caráter intermitente e efémero das suas linhas de água aliados ao elevado desordenamento urbano e a um reduzido tempo de concentração têm contribuído para este fenómeno e para o agravamento da perigosidade das cheias e da velocidade com que elevadas quantidades de água atingem a cidade da Praia.

Assim, no âmbito das alterações que se esperam a nível das variáveis climáticas, e, da consequente alteração do regime pluviométrico e do aumento do nível médio do mar, poderá verificar-se o agravamento dos problemas existentes pelo que urge o investimento na melhoria das infraestruturas locais.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

As alterações climáticas globais afetam os climas regionais pois estes dependem, além das modificações verificadas a nível global, de fatores específicos tais como a localização geográfica da região e as condições microclimáticas locais. Deste modo, o impacte das alterações climáticas a nível regional/local pode repercutir na evolução do clima local segundo sentidos opostos ao da tendência global.

A metodologia de análise de tendência em variáveis climáticas adotada nesta Dissertação, usando o método proposto por Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), tendo detetado a existência de uma tendência de aumento nas últimas décadas, estatisticamente significativa, da precipitação média anual em toda a Ilha de Santiago, corrobora com o aumento global da precipitação previsto pelos modelos climáticos mas contrasta com o que se encontra previsto para as variáveis climáticas em massas continentais - aumento da temperatura e tendência para uma diminuição da precipitação nas latitudes médias - assim como tem sido apontado em alguns estudos. Em particular, para a Ilha de Santiago, conforme apresentado no trabalho, os modelos climáticos preconizam um aumento da precipitação anual que será mais acentuado até cerca de 2050, seguindo-se um decréscimo, pelo menos até 2080, embora na globalidade do período 2020-2080 o balanço seja positivo. O facto destes modelos não permitirem investigar escalas espaciais de interesse para territórios com as características de Cabo Verde, torna a análise de dados obtidos localmente crucial para a aferição das características locais, essenciais à modelação hidrológica em pequenas bacias.

Atendendo à variabilidade climática existente na Ilha, ao carácter sazonal da precipitação e às tendências aqui observadas, estas podem indicar, não obstante a constante alternância entre anos de maiores e menores quantidades precipitadas, que o número de meses secos tenderá a diminuir, dado o alargamento do período chuvoso expectável; contudo na estação seca prevê-se uma redução da precipitação e conseqüente aumento das condições de aridez. Paralelamente, a sazonalidade do regime pluviométrico tenderá a acentuar-se, o que ocasionará, provavelmente, a maior ocorrência de precipitações intensas e de curta duração e com maiores intensidades. Informações detalhadas da ocorrência destes eventos, bem como a frequência com que têm ocorrido e o número de eventos por ano, seriam possíveis se se tivesse registos pluviométricos discretizados a escalas inferiores aos diários, o que não foi o caso.

Com especial interesse nas precipitações intensas e de curta duração e nas suas implicações diretas e indiretas na cidade da Praia, devido ao cenário atual das infraestruturas existentes, apresentam-se no quinto capítulo as curvas IDF determinadas para a capital de Cabo Verde, fazendo-se notar que não se encontrou bibliografia disponível onde estas pudessem estar

devidamente caracterizadas. Contudo, tendo em conta o incremento da precipitação média anual de 43.6 mm/década para a cidade verificado nas últimas décadas, o que em termos relativos indica que a cada década a precipitação média aumentou numa taxa de 24.5 % e do também aumento observado no trimestre chuvoso, esta curva poderá de aqui a poucos anos ser inadequada à realidade que aqui se prevê. Devendo, portanto, atender-se a essas mudanças esperadas no regime pluviométrico aquando da realização de projetos de drenagem.

Não obstante às reservas indicadas no capítulo anterior inerentes à utilização da metodologia proposta, a apreciação do erro que as curvas IDF aqui determinadas possa conduzir na estimativa das precipitações intensas só será possível quando houver um maior número de informação udométrica e udográfica de modo a compará-los com os resultados aqui obtidos, apoiando-se, assim, numa análise mais detalhada e próxima da realidade local. Deste modo, é crucial que haja um investimento na monitorização e na melhoria da rede udométrica existente, proporcionando, assim, um conhecimento mais rigoroso acerca das precipitações intensas na Ilha de Santiago.

Alerta-se que a curva aqui estimada só é válida para a cidade da Praia, devido às diferenças microclimáticas existentes na Ilha, pelo que a eventual necessidade da utilização das curvas IDF para outras partes da Ilha, deverá ser alvo de uma nova determinação, possivelmente adotando a metodologia aqui apresentada, desde que, se disponha de uma série de precipitações máximas diárias do local em causa.

Relativamente à questão da inundação na cidade da Praia, esta reveste-se de especial importância local devido ao custo dos estragos causados face à dimensão da economia nacional, e, da expressiva quantidade de zonas que se encontram sujeitas à ocorrência do mesmo. O ponto fulcral das inundações nesta cidade centra-se na elevada taxa de desordenamento urbano existente, na elevada taxa de ocupação dos leitos de ribeiras, na impermeabilização dos pontos baixos da bacia da Trindade, num sistema de drenagem local precário e inexistentes em alguns locais e ao abandono das infraestruturas já construídas. Alerta-se, portanto, à necessidade de se apostar na fiscalização e manutenção das redes de drenagem existentes, bem como na fiscalização das construções clandestinas e num melhor ordenamento do território.

Não obstante aos trabalhos que têm sido feitos pela edilidade local com o intuito de melhorar os sistemas de drenagem, o projeto destas deve sempre ter em conta um conjunto de fatores que são determinantes para o bom funcionamento dos mesmos. Nomeadamente, a análise de condições climáticas, a fisiografia das bacias hidrográficas e da rede de drenagem devem ser consideradas unidades fulcrais para a definição de projetos de sistemas de drenagem pluvial urbana, sendo, portanto, importante investir também na rede de monitorização ambiental.

A Ilha no seu todo e a cidade da Praia em particular, nos próximos anos, provavelmente, enfrentará sérios problemas no que tange à gestão de elevadas quantidades de água concentradas num curto período de tempo, como já tem acontecido em alguns pontos da Ilha. Deste modo, é necessário que haja um forte comprometimento do poder local e das instituições competentes na instauração, atempadamente, de medidas adaptativas de curto e longo prazo a estes cenários, acompanhadas por um melhor planeamento urbano, nomeadamente em termos da rede de drenagem de águas pluviais.

Algumas soluções adaptativas podem ser levadas a cabo, nomeadamente, a construção de trincheiras de infiltração a montante dos bairros suscetíveis a serem inundados de modo a reduzir os caudais que atingem estas zonas e ou bacias de retenção em pontos estratégicos da cidade.

Apesar das dificuldades subjacentes à elaboração deste trabalho, principalmente na aquisição de dados, os resultados obtidos constituem, sobretudo, uma referência para futuros trabalhos que se realizem nesta área. Acresce uma melhor compreensão das condições climáticas atuais na Ilha, incluindo das precipitações intensas na cidade da Praia, não obstante a incerteza resultante da metodologia usada na desagregação da precipitação diária que se apresentou como uma ferramenta prática expedita que permitiu contornar a não disponibilidade de dados subsidiários para estimativa de chuvadas intensas de curta duração. Valoriza-se o facto de terem sido utilizados registos de precipitação específicos do local.

Embora as tendências estimadas possam e devem acarretar preocupações, estas também, podem, se bem planeados, trazer resultados animadores para a população local. Portanto, deve ser preconizado o fomento às práticas e desenvolvimento de sistemas de aproveitamento e armazenamento da água das chuvas incentivando, assim, a realização de trabalhos neste âmbito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, I. (1964). “Santiago de Cabo Verde. A Terra e os homens. Junta de Investigações do Ultramar”. Lisboa, N.º 48, 2ª série (1964), 444 p.

Amaral, I. (2007). “Santiago de Cabo Verde. A Terra e os homens”. Lisboa: Associação das Universidades de Língua Portuguesa, 520 p.

AMRA (2010). “CLimate change and Urban Vulnerability in Africa (CLUVA)”. Analisi e Monitoraggio Del Rischio Ambientale Scarl, Seventh Framework Programme, Assessing vulnerability of urban systems, populations and goods in relation to natural and man-made disasters in Africa.

Bell, F. C. (1969). “Generalised rainfall-duration-frequency relationships”. Proc. ASCE, 95, HY1, 311-327.

Bernardino, M. e Espírito Santo, F. (2015). “Identificação de metodologias para a definição de cenários climáticos no contexto das alterações climáticas no sector do turismo”. Lisboa, LNEC e IPMA. Projeto AdaPT AC:T, v0.

Brisa (1974). “Normas Gerais de Projeto para as Auto-Estradas Portuguesas, Tomo V, Norma 7-Drenagem, Auto-Estradas de Portugal.

Carvalho, L., Neves, A., Varela, M. (2006). “Adaptação às mudanças climáticas. Respostas às alterações que afetam o litoral e suas dimensões humanas na África Ocidental, através de uma gestão integrada das zonas costeiras”. Relatório Nacional (1ª parte), Cabo Verde.

Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W. (1988). “Applied Hydrology”. Series in Water Resources and Environmental Engineering. Mc Graw-Hill.

CMP (2014). “Plano Diretor Municipal Praia (2014)”. Câmara Municipal da Praia, Santiago – Cabo Verde.

CPE (2010). “Plano Nacional de Saneamento Básico”. República de Cabo Verde, Chefia do Governo, Centro de Políticas Estratégicas.

Cunha, F. R. (1960). “A variabilidade da precipitação na Ilha de Santiago (Cabo Verde)”. Garcia de Orta, série de Geografia, Lisboa, 8(4), 887-899.

David, J. M. S. (1976). “Drenagem de Estradas, Caminhos de Ferro e Aeródromos, Estudos Hidrológicos”. LNEC.

de Lima, M. I. P., Carvalho, S. C. P., de Lima, J. L. M. P. (2010). “Investigating annual and monthly trends in precipitation structure : an overview across Portugal”. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 2429–2440.

de Lima, J. P., Marques, A. S., Simões, N. E., Sousa, J., Pina, R. (2013). “Hidrologia urbana Sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas”. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), Lisboa, Série “Cursos Técnicos”, nº 2, ISBN: 9789898360120.

Dittrich, I., (1982). “Une délimitation des composants du bilan hydrique pour Santiago. Un modèle sémidéterministique”. Praia, G.E.P. Ministério do Desenvolvimento Rural, 25 p.

Drobinski, P., Janicot, S., Sultan, B. (2007). “Characterization of the Diurnal Cycle of the West African Monsoon around the Monsoon Onset”. *J. Climate*, 20, 4014–4032.

Fernandes, H., Fernandes, E., Cunha, L., Monteiro, S., Veiga, E. (2012). “Crescimento urbano espontâneo e riscos naturais na cidade da Praia (Cabo Verde)”. *Cadernos de Geografia* nº 30/31 - 2011/12, Coimbra, FLUC - pp. 117-130.

Ferreira, D. de B. (1989). “Le Climat de L’Atlântique Oriental dès Açores aux Îles du Cap Vert”. Tese de Doutoramento pela Universidade de Sorbonne, Paris.

Gilbert, R.O. (1987). “Statistical methods for environmental pollution monitoring”. Van Nostrand Reinhold, New York.

Gonçalves, R., Gomes A.; Pina, A. Almeida, E. and Santos, F. (2006). “Investigação hidrogeofísica na ilha de Santiago (Cabo Verde) usando sondagens transientes (TDEM)”. *Actas da 5ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica*, Sevilha, 4p.

I.N.E. (2010). “Recenseamento Geral da População e Habitação”. Instituto Nacional de Estatística, Cabo Verde.

IPCC (2014). “Climate Change 2014: Synthesis Report”. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Kendall, M. G. (1975). “Rank Correlation Methods”. 4th ed., Charles Griffin, London.

Kirpich, T. P. (1940). “Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds”. *J. of Civ. Eng.*, v.10, n.6, 362.

-
- Le Barbé, L., Lebel, T., Tapsoba, D. (2002). “Rainfall variability in the West Africa during the years 1950-90”. *Journal of Climate*, 15, 187-202.
- Lencastre, A., Franco, F. M. (1992). “Lições de Hidrologia”. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Lima, M., Monteiro, E. e Correia, F. (2003). “Plano intersectorial: Ambiente e gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos”. MAAP, Gabinete de Estudos e Planeamento, Praia.
- Mann, H. B. (1945). “Non-parametric test against trend”. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13(3), 245-259.
- Mathon, V., Laurent, H., Lebel, T. (2002). “Mesoscale Convective System Rainfall in the Sahel”. *Journal of Applied Meteorology*, 41(11), 1081–1092.
- Marzol, M. V., Yanes, A., Romero, C., Brito De Azevedo, E., Prada, S., and Martins, A. (2006). “Los riesgos de las lluvias torrenciales en las islas de la Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde”. *Clima, Sociedad Y Medio Ambiente*, 5, 443–454.
- MOPTC (1995). “Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais (RGSPDADAR)”. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto.
- Monteiro, S., Cunha, L. (2011). “Cheias rápidas em Cabo Verde. Um breve apontamento acerca das tempestades de setembro de 2009 na Ilha de S. Nicolau”. CEI, Iberografias 17, ISBN: 978-989-96411-3-6.
- Monteiro, S. M. L. (2016). “Riscos Ambientais Urbanos E A Sua Percepção na Cidade da Praia (Cabo Verde)”. Tese de Doutoramento, Universidade Federal Do Ceará, Fortaleza.
- Mouhamed, L., Traore, S.B., Alhassane, A., and Sarr, B. (2013). “Evolution of some observed climate extremes in the West African Sahel”. *Weather and Climate Extremes*, 1, 19–25.
- Naghetini, M., Portela, M. M. (2011). “ Probabilidade e estatística aplicadas à hidrologia”. Departamento de Engenharia Civil, IST, Lisboa, 94.
- NAPA (2007). “Plano de Ação Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas”. República de Cabo Verde.
- Novo, M. E. J. S. (2009). “Alterações climáticas e seus impactos nos recursos hídricos subterrâneos em ilhas de pequena dimensão: caso de estudo: Açores-Ilha Terceira”. Tese de

doutoramento, Universidade dos Açores. 1ª ed. Lisboa: LNEC, 275-297. - ISBN 978-972-49-2181-5.

Nurse, L., Sem, G., Hay, J.E., Suarez, A.G., Wong, P.P., Briguglio, L. e Ragoonaden, S. (2001). "Small island states. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability". Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 842-975.

Pinto, M. M. S. C. (2010). "Cartografia geoquímica da ilha de Santiago com uma densidade de amostragem média/baixa". Dissertação de Doutoramento, Ramo de Geociências, Universidade de Aveiro, 436 p.

POEC (2014). "Plano Operacional de Emergências – Chuvas 2014". Câmara Municipal da Praia, Ambiente Proteção e Saneamento, Gabinete Municipal de Proteção Civil, Praia.

Portela, M. M. (2006). "Estimação de Precipitações Intensas em Bacias Hidrográficas de Portugal Continental". Recursos Hídricos, 27(1), 15-32.

Projeto SIAM II (2006). "Alterações Climáticas em Portugal - Cenários, impactos e medidas de adaptação". Eds. Santos, F. D., Miranda, P., Gradiva, Lisboa.

RCV (2016). "Plano Diretor de Água e Saneamento a 25 Anos da Ilha de Santiago e Avaliação Ambiental e Social Estratégica". República de Cabo Verde.

Ribeiro, E. C. P. (2008). "Estudo das precipitações intensas na ilha de Santiago". Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. (2002a). "MAKESENS 1.0 Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates for the Trend of Annual Data". Copyright Finnish Meteorological Institute, Helsínquia, Finlândia.

Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. (2002b). "Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates - The Excel template application Makesens". Air Quality No. 31 Report code FMI-AQ-31, Helsínquia, Finlândia.

Sen, P. K. (1968). "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau". Journal of the American Statistical Association, 63(324), 1379-1389.

Silva, R. (1981). “Analyse des précipitations mensuelles pour six stations pluviométriques de l’île de Santiago”. Ministério do Desenvolvimento Rural, Programa Agrhymet, Praia, N. T. 1, 21 p.

SNPC-Direcção de Formação e Prevenção de Riscos (2004). “Fotografias das áreas de inundação da Cidade da Praia”. Serviço Nacional da Protecção Civil. Praia.

Ta, S., Kouadio, K. Y., Ali, K. E., Toualy, E., Aman, A., and Yoroba, F. (2016). “ West Africa Extreme Rainfall Events and Large-Scale Ocean Surface and Atmospheric Conditions in the Tropical Atlantic”. *Advances in Meteorology*, 2016, 14 p.

Temez Pelaez, J. R. (1978). “Calculo Hidrometeorologico de caudales maximos en pequenas cuencas naturales”. Ministerio de obras publicas y urbanismo. Direccion general de Carreteras, Espanha.

Varela, I. L. B. L. (2014). “Estudo de aproveitamento de fins múltiplos da Barragem de Faveta, Ilha de Santiago (Cabo Verde) com enfoque na rega e abastecimento de água”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Victória, S. M. D. M. S. (2006a). “Condicionantes Geológicas ao Ordenamento do Território: uma aplicação na região da Praia (Santiago – Cabo Verde)”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Victória, S. M. D. M. S., Neves, L. J. P. F., Tavares, A. O., e Pereira, A. J. S. C. (2006b) “Modelação da susceptibilidade a cheias através de Sistemas de Informação Geográfica: um caso de aplicação à região da Praia (Cabo Verde)”. Centro de Estudos Sociais, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal.

ANEXO A – POSTOS UDOMÉTRICOS

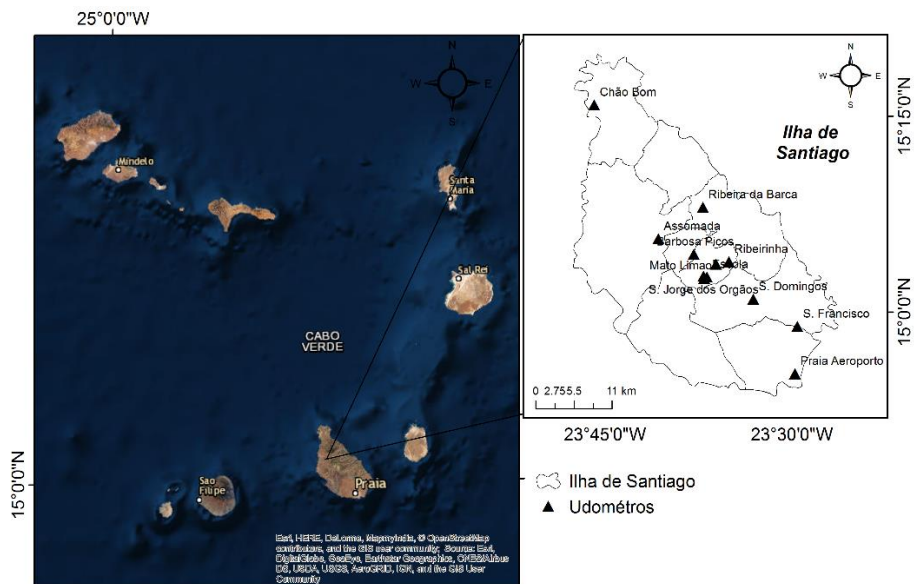


Figura A.1 - Distribuição dos postos udométricos/estações climatológicas na Ilha de Santiago.

