



Catarina Alçada e Silva

# ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS, PRECIPITAÇÃO E ÁGUA EM ZONAS URBANAS

CLIMATIC CHANGES, PRECIPITATION AND WATER IN URBAN ZONES

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 e pelo Professor Doutor João Pedroso de Lima

Coimbra, Setembro de 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



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

Catarina Alçada e Silva

# **ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS, PRECIPITAÇÃO E ÁGUA EM ZONAS URBANAS**

## **CLIMATIC CHANGES, PRECIPITATION AND WATER IN URBAN ZONES**

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 e pelo Professor Doutor João 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, Setembro de 2017

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, as minhas palavras de agradecimento vão para os meus orientadores, Professora Doutora Maria Isabel Pedroso de Lima e Professor Doutor João Pedroso de Lima, por toda a dedicação, orientação e tempo investido neste trabalho, desde a sua elaboração à sua revisão.

A todos os meus colegas, amigos e funcionários que me ajudaram nos ensaios laboratoriais e na elaboração desta dissertação.

Aos meus pais, irmãos, namorado e avós por toda a paciência, motivação, carinho e esforço ao longo deste processo, pois sem eles nada disto seria possível.

Finalmente, aos meus avós que apesar de já não estarem cá de certeza que iriam ficar orgulhosos do meu percurso, tanto pessoal como académico.

## RESUMO

Atualmente as alterações climáticas são uma temática de bastante relevância para a sociedade, uma vez que podem ter impactes significativos a vários níveis, particularmente nos regimes hidrológicos. Um dos principais efeitos das alterações climáticas é a alteração do regime de precipitação como, por exemplo, a intensidade, a frequência e a duração de eventos. Ou seja, é provável que haja uma diminuição da frequência dos eventos de precipitação, no entanto estes passam a ser mais intensos.

O objetivo principal desta dissertação é analisar a influência das alterações climáticas no uso e gestão da água em zonas urbanas. Neste contexto, o estudo abrangeu a análise de tendências de vários indicadores de extremos de precipitação e de temperatura do ar em Portugal Continental. A metodologia de análise baseou-se na utilização de testes estatísticos para analisar a tendência em séries temporais dos indicadores de extremos para o período de 1941-2004.

Na vertente da monitorização ambiental e relativamente à problemática da aferição da consistência dos dados pluviométricos foi acompanhada a instalação de uma estação meteorológica automática e realizada uma análise comparativa, baseada em testes conduzidos em laboratório, dos registos de precipitação obtidos por esta estação automática e por vários outros equipamentos udométricos.

Os resultados da análise de tendência obtidos revelam uma tendência de aumento das temperaturas mínima e máxima do ar, assim como uma tendência de diminuição na precipitação total anual e de aumento na intensidade dos eventos de precipitação. É expectável estas modificações estarem relacionadas com as alterações climáticas o que poderá ter implicações na gestão da água em zonas urbanas, principalmente no sul de Portugal Continental.

**Palavras-chave:** Análise de tendências; indicadores de extremos; Portugal Continental; estação meteorológica automática; gestão da água.

## ABSTRACT

Nowadays climate change is a subject of high relevance for the society as it can have significant impacts at many levels, especially in hydrological regimes. One of the main effects of climate change in the precipitation regime regards changes in the intensity, frequency and duration of events. In particular, it is likely that there will be a decrease in the frequency of rainfall events, but these will become more intense.

The main purpose of this dissertation is to analyze the influence of climate change on the use and management of water in urban areas. In this context, the study included the analysis of trends in indicators of extreme precipitation and air temperature in mainland Portugal. The selected methodology of analysis was based on using statistical tests to investigate the tendency in time series of indicators of extreme precipitation and air temperature in mainland Portugal; the study was conducted for the period 1941-2004.

Which regards environmental monitoring issues, the installation of an automatic weather station was conducted and experimental work was undertaken in the laboratory aiming at a comparative analysis of the rainfall records obtained by this station and by others udometric equipment.

Results of the time series trend analysis reveal an increasing tendency in the minimum and maximum air temperature, as well as a decrease in the annual total rainfall and an increase in the intensity of the rainfall events. These changes are expected to be related to climate change, which may have implications for water management in urban areas, mainly in the south of mainland Portugal.

**Keywords:** Trend analysis; extreme indicators; mainland Portugal; automatic weather station; water management.

---

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE QUADROS .....	ix
ABREVIATURAS .....	xi
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura da dissertação .....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Alterações climáticas e emissões de gases de efeito de estufa .....	3
2.2. Precipitação.....	5
2.3. Temperatura do ar.....	8
2.4. Gestão da água .....	10
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
3.1. Introdução .....	18
3.2 Indicadores de extremos de precipitação e de temperatura do ar .....	18
3.2.1 Materiais .....	20
3.2.2 Metodologia.....	22
3.3. Estação meteorológica automática.....	26
3.3.1 Descrição da instalação .....	26
3.3.2 Metodologia.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.2 Indicadores de precipitação .....	31
4.3 Indicadores de temperatura do ar.....	44

---

---

4.4. Estação meteorológica automática.....	50
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
Anexo A.....	A-i
Anexo B.....	B-i

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Anomalia global e anual da temperatura à superfície terrestre (em °C) em relação à média no período 1986-2005. As cores indicam diferentes conjuntos de dados (IPCC, 2014). .....	3
Figura 2.2 - Emissões antropogénicas globais do CO <sub>2</sub> atmosférico (em GtCO <sub>2</sub> /ano) proveniente de combustíveis fósseis, desflorestação e outros usos do solo, entre 1845 a 2010 (IPCC, 2014). .....	4
Figura 2.3 - Emissões totais anuais dos vários GEE (em GtCO <sub>2</sub> eq/ano) para o período 1970-2010 (IPCC, 2014). .....	5
Figura 2.4 - Tendência observada na precipitação anual nos continentes, entre 1951 a 2010, em mm/ano por década (IPCC, 2014). .....	6
Figura 2.5 - Tendência, em mm/década, na precipitação anual em Portugal Continental, entre 1941 e 2012 (de Lima et al., 2013). .....	7
Figura 2.6 – Projeção da variação da precipitação média (em percentagem) para 2081-2100 relativamente ao período de referência de 1986-2005 para os cenários RCP2.6 (esquerda) e RCP8.5 (direita) (IPCC, 2014). .....	8
Figura 2.7 – Alteração da temperatura do ar à superfície observada entre 1901 e 2012 (IPCC, 2014). .....	8
Figura 2.8 - Tendência, em °C/década, para o período 1976-2006: (a) valor mínimo das temperaturas mínimas diárias (TNn); (b) valor máximo das temperaturas máximas diárias (TXx) (de Lima et al., 2012). .....	9
Figura 2.9 - Variação da temperatura média do ar à superfície (em °C) para 2081-2100 relativamente ao período de referência de 1986-2005, para os cenários RCP2.6 (esquerda) e RCP8.5 (direita) (IPCC, 2014). .....	10
Figura 2.10 - Vista geral da estação de radar de Coruche/Cruz de Leão (à esquerda) e Loulé/Cavalos (à direita) (IPMA@, 2017). .....	15
Figura 2.11 – Componentes de um udómetro (adaptado de Carvalho, 2014). .....	16
Figura 2.12 - Componentes de um udógrafo de báscula (adaptado de Carvalho, 2014). .....	17
Figura 2.13 - EMA localizada no parque meteorológico em Loulé (IPMA@, 2017). .....	17
Figura 3.1 - Mapa das estações climatológicas em Portugal Continental usadas neste estudo. .....	18
Figura 3.2 - Clima em Portugal Continental segundo a classificação de Köppen (IPMA@, 2017). .....	19
Figura 3.3 - Esquema da EMA do modelo <i>Vantage Pro 2 Plus</i> . .....	27
Figura 3.4 – Udómetros “Hellmann” (à esquerda), “Copper” (no centro) e “Wilh & Lambrecht” (à direita) usados no estudo. .....	27



---

Figura 3.5 – Esquema da instalação experimental com o sistema de simulação de chuva, a EMA e os udómetros.....	29
Figura 3.6 - Esquema da instalação experimental com o sistema de simulação de chuva, EMA e os recipientes.....	29
Figura 3.7 – Exemplo de um gráfico da intensidade de precipitação em função da duração do evento pluvioso.....	30
Figura 4.1 – Gráficos das tendências anuais do indicador PRCPTOT para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). ....	31
Figura 4.2 – Gráficos das tendências anuais do indicador RX1D para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). ....	33
Figura 4.3 – Gráficos das tendências anuais do indicador RX5D para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). ....	34
Figura 4.4 – Gráficos das tendências anuais do indicador R20 para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). ....	36
Figura 4.5 – Gráficos das tendências anuais do indicador CDD para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). ....	39
Figura 4.6 – Gráficos das tendências anuais do indicador CWD para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004). ....	41
Figura 4.7 – Gráficos das tendências anuais do indicador TNx para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2003) e Tavira (1941-2003). ....	44
Figura 4.8 – Gráficos das tendências anuais do indicador TNn para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2003) e Tavira (1941-2003). ....	45
Figura 4.9 – Gráficos das tendências anuais do indicador TXx para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2003) e Tavira (1941-2003). ....	47
Figura 4.10 – Gráficos das tendências anuais do indicador TXn para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2003) e Tavira (1941-2003). ....	48
Figura 4.11 - Altura de precipitação, em mm, obtida por cada equipamento em cada uma das posições para 3 repetições de eventos com a duração de 5 minutos com a respetiva intensidade (ver Figura 3.5).....	50
Figura 4.12 - Altura de precipitação acumulada, em mm, obtida pela EMA e pelos udómetros para 3 repetições de eventos com a duração de 5 minutos.....	51
Figura 4.13 – Relação entre as alturas de precipitação obtidas pelos udómetros e pela EMA, em mm, para 3 repetições de eventos com a duração de 5 minutos.....	51

---

---

Figura 4.14 - Altura de precipitação, em mm, obtida pela EMA e pelos udómetros improvisados em cada uma das posições com a respetiva intensidade (ver Figura 3.6) durante um evento de 4 minutos. ....	52
Figura 4.15 – Altura de precipitação acumulada, em mm, obtida pela EMA e pelos vários udómetros improvisados durante um evento de 4 minutos. ....	53
Figura A.1 – Estação meteorológica <i>Vantage Pro 2 Plus Wireless</i> (WeatherShop@, 2017). A-i	
Figura A.2 - Udógrafo (Rouzaut@,2017). ....	A-i
Figura A.3 - Anemómetro (InSak@, 2017).....	A-ii
Figura A.4 - Sensores de radiação solar, à esquerda, e de radiação ultravioleta, à direita, com prateleira de montagem (NAUCOM@, 2017). ....	A-ii
Figura A.5 - Consola da EMA (DavisNet@, 2017). ....	A-iii

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos (Adaptado de ESAAC-RH, 2013) .....	11
Quadro 2.2 - Impactes das alterações climáticas nos sistemas de abastecimento e drenagem de águas e respetivas consequências (Adaptado de ESAAC-RH, 2013). .....	13
Quadro 2.3 – Exemplos de medidas de adaptação às alterações climáticas, com respetivas vantagens e desvantagens (Adaptado de dos Santos (2008), Oliveira (2008), Machado (2014), Novo (2014) e Lourenço (2014)).....	14
Quadro 3.1 – Descrição das características das estações climatológicas usadas neste estudo. 19	
Quadro 3.2 - Precipitação média anual para cada estação climatológica referente ao período 1941-2004.....	20
Quadro 3.3 – Descrição dos indicadores usados neste estudo para a precipitação. ....	21
Quadro 3.4 – Descrição dos indicadores usados neste estudo para a temperatura do ar.....	21
Quadro 3.5 – Símbolos e respetivos níveis de significância dos testes estatísticos. ....	24
Quadro 3.6 - Descrição das características dos equipamentos udométricos. ....	28
Quadro 4.1 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador PRCPTOT, em que y é a precipitação total anual (em mm) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos). ....	32
Quadro 4.2 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador RX1D, em que y é a precipitação máxima num só dia (em mm) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos). ....	35
Quadro 4.3- Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador RX5D, em que y é a precipitação em cinco dias consecutivos (em mm) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).....	35
Quadro 4.4 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador R20, em que y é o número de dias com precipitação igual ou superior a 20 mm (em dias) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).....	37
Quadro 4.5 – Períodos de retorno (em anos) para a precipitação diária de pelo menos 20 mm relativamente às 6 estações, entre 1941-2004, estimados pelo método de Gumbel.....	38
Quadro 4.6 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador CDD, em que y é o número de dias secos consecutivos (em dias) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos). ....	40
Quadro 4.7 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador CWD, em que y é o número de dias consecutivos com precipitação (em dias) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos). ....	42

---

Quadro 4.8 - Tendência dos indicadores anuais de precipitação: percentagem de estações com tendências positivas +/-negativas - e correspondentes tendências estatisticamente significativas (Sig) ao nível de 5%. ....	42
Quadro 4.9 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador TN <sub>x</sub> , em que y é o valor máximo da temperatura mínima do ar (em °C) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).....	45
Quadro 4.10 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador TN <sub>n</sub> , em que y é o valor mínimo da temperatura mínima do ar (em °C) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).....	46
Quadro 4.11 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador TX <sub>x</sub> , em que y é o valor máximo da temperatura máxima do ar (em °C) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).....	47
Quadro 4.12 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador TX <sub>n</sub> , em que y é o valor mínimo da temperatura máxima do ar (em °C) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).....	49
Quadro 4.13 - Tendência dos indicadores anuais da temperatura do ar: percentagem de estações com tendências positivas +/-negativas - e correspondentes tendências estatisticamente significativas (Sig) ao nível de 0,1% (***), de 1% (**), de 5% (*) e de 10% (+).....	49
Quadro B.1 - Média e desvio padrão da precipitação acumulada, em mm, e da intensidade de precipitação (mm/h) com o simulador de chuva estático. ....	B-i
Quadro B.2 - Média e desvio padrão da precipitação acumulada, em mm, e da intensidade de precipitação (mm/h) com o simulador de chuva a mover-se.....	B-ii

## ABREVIATURAS

CDD – Número de dias secos consecutivos  
CFC – Clorofluorcarbonetos  
CH<sub>4</sub> – Metano  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono  
CWD – Número de dias consecutivos com precipitação  
DQA – Diretiva Quadro da Água  
EMA – Estação meteorológica automática  
ETCCDI - Expert Team on Climate Change Detection and Indices  
GEE – Gases com efeito de estufa  
Gt – Giga toneladas  
HCFC – Hidroclorofluorcarbonetos  
IPCC – Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas  
ISS – Conjunto de Sensores Integrado  
LA – Lei da Água  
N<sub>2</sub>O – Óxido nitroso  
O<sub>3</sub> – Ozono  
PGRH – Plano de Gestão de Região Hidrográfica  
PNA – Plano Nacional da Água  
PRCPTOT – Precipitação total anual  
R20 – Número de dias com precipitação acima dos 20 mm/dia  
RCP – Representative Concentration Pathways  
RX1D – Precipitação máxima num só dia  
RX5D – Precipitação máxima em 5 dias consecutivos  
SIM – Módulo de Interface do Sensor  
SUDS – Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável  
TNn – Valor mínimo da temperatura mínima  
TNx – Valor máximo da temperatura mínima  
Tr – Período de retorno  
TXn – Valor mínimo da temperatura máxima  
TXx – Valor máximo da temperatura máxima  
UV – Ultravioleta

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

As alterações climáticas são, atualmente, uma temática de bastante relevância, uma vez que continuam a afetar diversos setores globalmente. A principal causa das alterações climáticas é a intensificação do efeito de estufa que está relacionada com os gases de efeito de estufa (GEE), que absorvem parte das radiações solares provocando o aumento da temperatura. Desde a revolução industrial, as emissões de gases de efeito de estufa têm aumentado consideravelmente, principalmente devido a causas antrópicas. As projeções climáticas fornecem evidências de que as alterações climáticas irão continuar no futuro, sendo então necessário compreender este fenómeno e respetivos efeitos nas zonas urbanas.

Um dos principais efeitos é a alteração do regime de precipitação como, por exemplo, a intensidade, a frequência e a duração de eventos (e.g., de Lima et al., 2013). É provável que haja uma diminuição da frequência dos eventos de precipitação; no entanto, estes passam a ser mais intensos (e.g., Trenberth et al., 2003). Para se conhecer a frequência e a intensidade destes fenómenos é necessário recorrer a vários dados meteorológicos obtidos através de equipamentos de monitorização ambiental, tais como estações meteorológicas automáticas (EMAs). As séries temporais fornecidas por estes equipamentos possibilitam o estudo das variações dos dados através de análises de tendências e ainda a validação de modelos climáticos, onde os dados em tempo real são essenciais (APA@, 2017).

As alterações nos regimes de precipitação e de temperatura afetam a disponibilidade e necessidades de água; como tal, a gestão dos recursos hídricos constitui um dos principais problemas reconhecido pelas Nações Unidas (e.g., Lopes et al., 2012). A gestão da água assenta em três objetivos fulcrais: a proteção e a requalificação dos ecossistemas; o uso sustentável da água e o aumento da resiliência perante os impactes das cheias/inundações e das secas inerentes às alterações climáticas.

A incapacidade do sistema de drenagem em drenar toda a água resultante dos eventos de precipitação extrema resulta em cheias cada vez mais frequentes e destruidoras em meio urbano. Por outro lado, espera-se que o maior número de episódios de seca tenha também um impacto negativo, por exemplo, na disponibilidade e qualidade da água. Este aumento de fenómenos extremos deve ser considerado na avaliação de medidas de adaptação e mitigação dos efeitos de mudança do clima local (e.g., de Lima et al., 2013), de modo a protegerem as populações, ecossistemas e infraestruturas.

## 1.2. Objetivos

Nesta dissertação de mestrado pretende-se analisar a influência de alterações climáticas no uso e gestão da água em zonas urbanas.

Neste sentido, o trabalho envolve as seguintes componentes:

- Acompanhar a instalação de uma estação meteorológica automática (EMA) na vertente da monitorização ambiental, antecedida de teste em laboratório do seu funcionamento, o que incluiu a comparação dos registos de precipitação com os obtidos com outros equipamentos udométricos;
- Confirmar a existência de tendências na temperatura do ar e no regime de precipitação em Portugal Continental, nomeadamente as diferenças sentidas entre várias regiões, a partir da análise de indicadores de extremos de precipitação e temperatura do ar;
- Comparar os resultados obtidos com o trabalho realizado por outros autores;
- Identificar as possíveis implicações das alterações climáticas na gestão da água em zonas urbanas em Portugal Continental.

## 1.3. Estrutura da dissertação

No primeiro capítulo é realizada uma pequena introdução do tema, de modo a enquadrar e definir os objetivos do mesmo.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica referente às alterações climáticas, à precipitação, à temperatura do ar e à gestão da água.

No terceiro capítulo descrevem-se os materiais e a metodologia de estudo utilizados nos indicadores de extremos de precipitação e temperatura do ar e nos ensaios laboratoriais.

No quarto capítulo apresentam-se os resultados obtidos na parte experimental com a EMA, assim como a avaliação de tendências com os vários indicadores de precipitação e temperatura do ar, referindo quais as principais implicações das alterações climáticas na gestão da água a nível urbano.

No quinto capítulo expõe-se as principais conclusões do estudo e sugerem-se trabalhos futuros. Por fim, apresenta-se as referências bibliográficas, o anexo A com mais informação sobre a EMA utilizada e o anexo B com resultados mais detalhados dos ensaios laboratoriais realizados.

---

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Alterações climáticas e emissões de gases de efeito de estufa

Segundo o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) (IPCC, 2014), as alterações climáticas consistem em mudanças no estado do clima e podem ser identificadas por alterações da média e/ou variabilidade das variáveis que definem o clima e que persistem durante um período extenso, normalmente décadas ou mais, sem identificar especificamente a causa daquelas alterações (e.g., Santos e Miranda, 2006). Estas causas podem ter origem natural e/ou antropogénica, no entanto a principal causa deve-se ao aumento dos gases com efeito de estufa (GEE) na atmosfera.

Os principais GEE presentes na atmosfera são o vapor de água, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), o ozono ( $\text{O}_3$ ), os clorofluorcarbonetos (CFC), os hidroclorofluorcarbonetos (HCFC) e ainda outros de menor importância (e.g., Santos e Miranda, 2006).

Os gases como o vapor de água e o  $\text{CO}_2$  contribuem para o efeito de estufa natural o que possibilita a vida na Terra. Sem este efeito de estufa natural a temperatura média do planeta seria de  $-18^\circ\text{C}$ , em vez dos atuais  $15^\circ\text{C}$  (e.g., Alcoforado et al., 2009). No entanto, as concentrações de GEE estão cada vez mais a aumentar o que intensifica o efeito de estufa e, consequentemente, aumenta a temperatura média do planeta – aquecimento global. A tendência linear assumida nos dados da temperatura do ar à superfície terrestre, aponta para um aquecimento na ordem dos  $0,85^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$  no período de 1880 a 2012 (IPCC, 2014) (Figura 2.1).

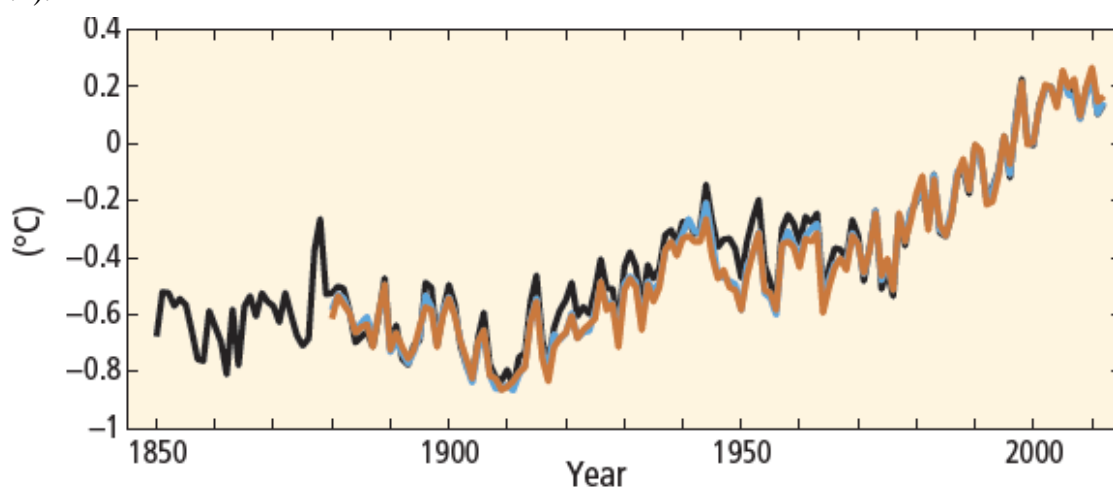


Figura 2.1 – Anomalia global e anual da temperatura à superfície terrestre (em  $^\circ\text{C}$ ) em relação à média no período 1986-2005. As cores indicam diferentes conjuntos de dados (IPCC, 2014).



É extremamente provável que mais de metade do aumento observado na temperatura média global da superfície tenha sido causado pelo aumento das concentrações antropogênicas de GEE (IPCC, 2014). Desde o início da revolução industrial até 2004, as emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> atmosférico aumentaram em 35% (Figura 2.2). A Figura 2.2 mostra um aumento da emissão deste gás que resulta, maioritariamente, da produção de cimento, da combustão e da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e, em menor grau, da desflorestação e de outras alterações no uso do solo (IPCC, 2014).

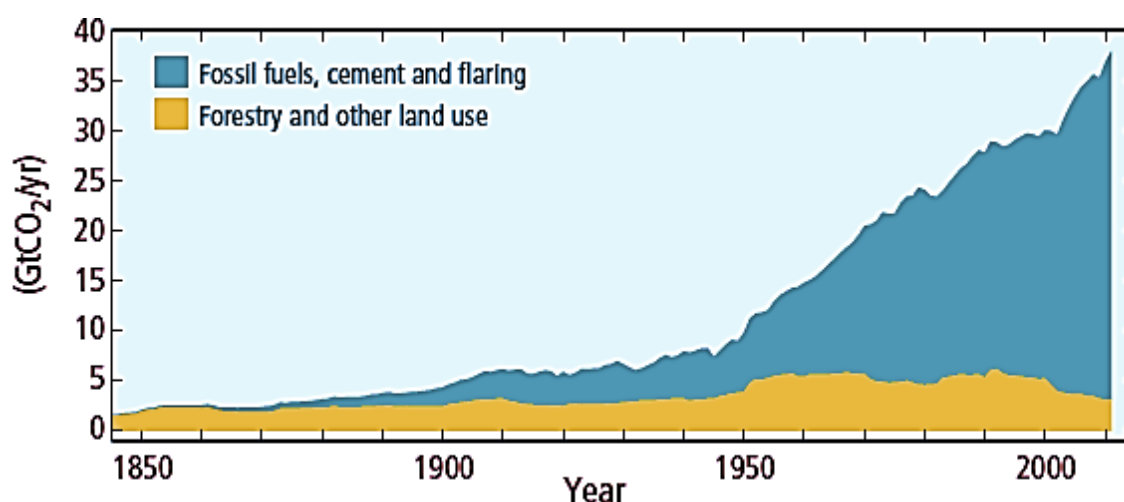


Figura 2.2 - Emissões antropogênicas globais do CO<sub>2</sub> atmosférico (em GtCO<sub>2</sub>/ano) proveniente de combustíveis fósseis, desflorestação e outros usos do solo, entre 1845 a 2010 (IPCC, 2014).

O CH<sub>4</sub> provém da agricultura (principalmente da pecuária e de plantações de arroz), da atividade mineira, da queima de combustíveis fósseis e de aterros (sanitários e não controlados). O N<sub>2</sub>O resulta da agricultura, da queima de combustíveis fósseis e da indústria. Os CFCs e os HCFCs (F-gases) são utilizados em várias indústrias, sendo que os CFCs são também responsáveis pela diminuição da camada do ozono (e.g., Santos e Miranda, 2006).

Na Figura 2.3 verifica-se que as emissões totais anuais dos GEE têm continuado a aumentar entre 1970 e 2010, sendo que entre 1970-2000 as emissões de GEE aumentaram 1,3 %/ano (cerca de 0,4 GtCO<sub>2</sub>-eq/ano) e entre 2000-2010 aumentaram 2,2 %/ano, ou seja, 1 GtCO<sub>2</sub>-eq/ano. Para além disso verifica-se também que a maior parte deve-se às emissões de CO<sub>2</sub> (derivado de combustíveis fósseis e das florestas) e de seguida às de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e dos F-gases (IPCC, 2014).

Desde 2000, que as emissões de GEE têm aumentado na maior parte dos setores, sendo que 47% provém da energia, 30% da indústria, 11% dos transportes e 3% do setor de construção (IPCC, 2014).

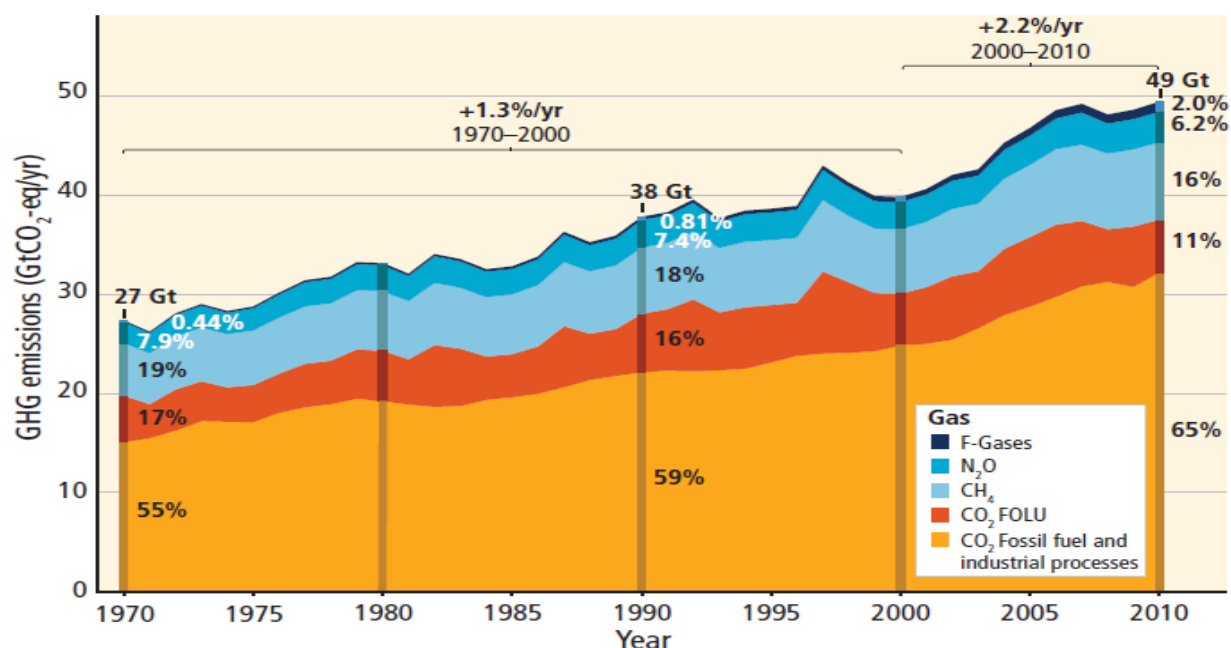


Figura 2.3 - Emissões totais anuais dos vários GEE (em GtCO<sub>2</sub>-eq/ano) para o período 1970-2010 (IPCC, 2014).

O aumento das emissões de GEE provoca um forçamento radiativo, isto é, quando se aumenta a concentração de GEE na atmosfera há uma maior parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra que é absorvida, que tende a aumentar a temperatura média global. Este aumento da temperatura tem originado outras variações no clima, tais como alterações da distribuição espacial e temporal da precipitação, alterações na frequência e intensidade de alguns fenómenos climáticos extremos e o aumento do nível médio do mar (e.g., Santos e Miranda, 2006). Tais alterações climáticas provocam impactes na agricultura, nos recursos hídricos, no uso do solo, na biodiversidade, na economia, nas zonas costeiras e urbanas e na saúde humana (e.g., Borrego et al., 2010).

Para reduzir significativamente estes impactes, a comunidade internacional assinou, em 2016, o Acordo de Paris que visa alcançar a descarbonização das economias mundiais e limitar o aumento da temperatura média global a níveis bem abaixo dos 2°C (APA@, 2017).

## 2.2. Precipitação

As alterações climáticas têm consequências na variabilidade, persistência e intensidade da precipitação, aspetos importantes no estudo de regimes de precipitação (e.g., de Lima et al., 2013).

A nível do planeta verifica-se que o aumento ou diminuição da precipitação varia conforme a localização geográfica (Figura 2.4). Na Figura 2.4, as zonas continentais assinaladas a branco indicam que os dados não estão completos ou não são conclusivos, não sendo possível estimar a tendência da precipitação anual para estes locais.

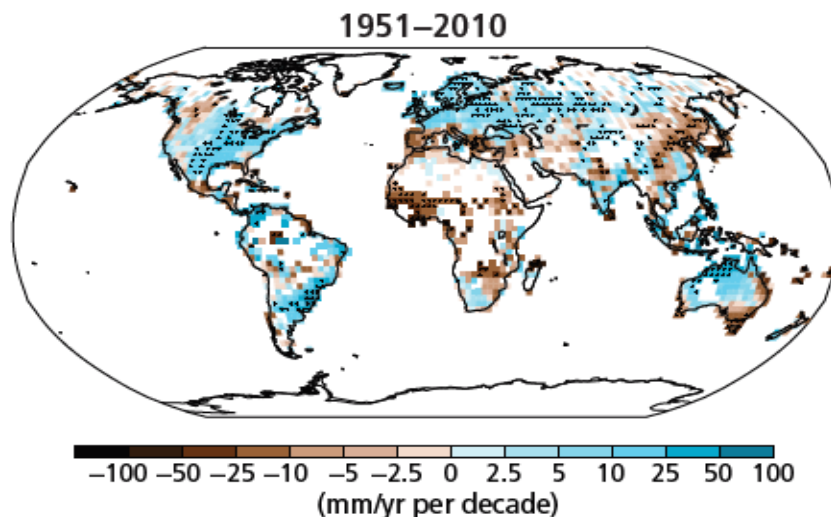


Figura 2.4 - Tendência observada na precipitação anual nos continentes, entre 1951 a 2010, em mm/ano por década (IPCC, 2014).

A nível da Península Ibérica observa-se, na Figura 2.4, uma diminuição substancial da precipitação anual. Esta diminuição é confirmada por um estudo da precipitação observada entre 1951 e 2002 a partir de 22 udómetros, em que se analisou as tendências de algumas variáveis sazonais e anuais de precipitação (Rodrigo e Trigo, 2007). Este estudo conclui que a tendência é de diminuição da intensidade diária da precipitação, sendo que este padrão também é válido para o valor anual da precipitação.

A nível de Portugal Continental, de Lima et al. (2013) reportaram, baseado em dados pluviométricos de 27 estações entre 1941-2012, que a tendência da precipitação anual é de diminuir em mais de 60% das estações, sendo que em 15% dos casos são estatisticamente significativas ao nível de 5%, o que corresponde a um nível de confiança de 95% (Figura 2.5).

Para além disso, este estudo mostra também que o número de dias consecutivos com precipitação (CWD) em Portugal Continental apresenta tendência para diminuir em 80% das estações.

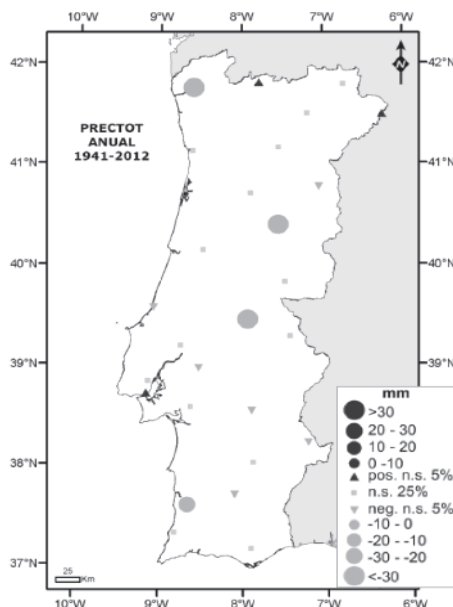


Figura 2.5 - Tendência, em mm/década, na precipitação anual em Portugal Continental ,entre 1941 e 2012 (de Lima et al., 2013).

Relativamente às projeções futuras, a Figura 2.6 mostra a variação da precipitação média para o período de 2081-2100 para dois cenários, o RCP2.6 e o RCP8.5. Os RCP (Representative Concentration Pathways) são cenários que incluem séries temporais de emissões e concentrações dos GEE (IPCC, 2014). O RCP2.6 é referente à mitigação das emissões de GEE (à esquerda) e o RCP8.5 é relativo à continuação do aumento das emissões de GEE (à direita).

As projeções para ambos os cenários são realizadas relativamente ao período de referência de 1986-2005, em percentagem. Os pontos mostram as regiões em que a mudança projetada é grande em comparação com a variabilidade interna natural e onde pelo menos 90% dos modelos coincidem com a variação. As linhas diagonais mostram as regiões onde a alteração projetada é menor que o desvio padrão da variabilidade natural (IPCC, 2014).

Da Figura 2.6 conclui-se que o cenário RCP8.5 tem um agravamento dos eventos de precipitação para cada região comparativamente ao cenário RCP2.6. Segundo o IPCC (2014), para o cenário RCP8.5, a precipitação tem tendência a aumentar no Pacífico equatorial e nas altas latitudes e a diminuir nas latitudes médias e nas regiões subtropicais secas, enquanto em regiões subtropicais húmidas de latitude média é provável um aumento da precipitação média até ao final do século XXI.

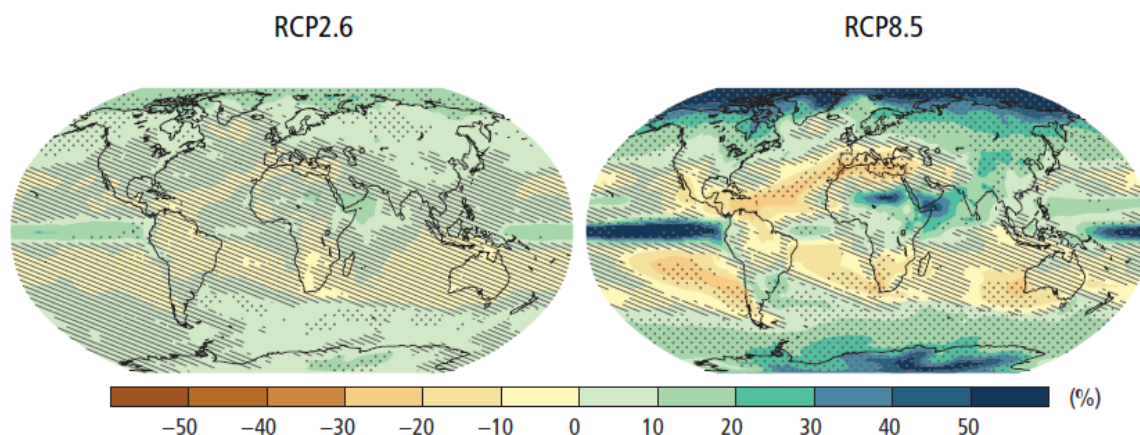


Figura 2.6 – Projeção da variação da precipitação média (em percentagem) para 2081-2100 relativamente ao período de referência de 1986-2005 para os cenários RCP2.6 (esquerda) e RCP8.5 (direita) (IPCC, 2014).

### 2.3. Temperatura do ar

O aquecimento do sistema climático é inequívoco, tanto a atmosfera como os oceanos têm aquecido, o que leva a uma diminuição da quantidade de neve e gelo e a um aumento do nível do mar (IPCC, 2014).

A partir da Figura 2.7 é possível verificar que a maior parte do planeta apresenta um aumento substancial da temperatura do ar à superfície, entre 1901 e 2012. Estes resultados são baseados numa tendência linear que permite ter uma estimativa da temperatura do ar à superfície (isto é, as áreas com cores sólidas correspondem a mais de 70% de dados completos). As áreas assinaladas pelo sinal + significam que a tendência é estatisticamente significativa ao nível dos 10%, enquanto as áreas a branco representam as zonas onde os dados disponibilizados eram insuficientes para estudar a tendência da temperatura do ar à superfície (IPCC, 2014).

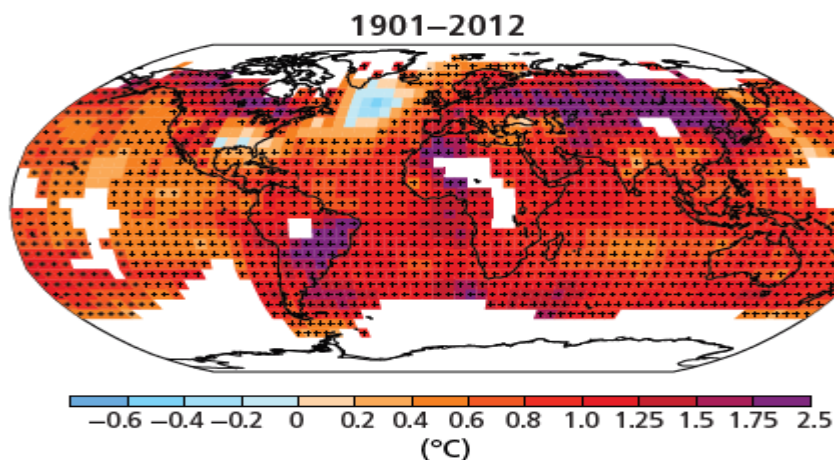


Figura 2.7 – Alteração da temperatura do ar à superfície observada entre 1901 e 2012 (IPCC, 2014).

Relativamente à Península Ibérica estima-se, a partir da Figura 2.7, que, para o período 1901-2012, a temperatura à superfície tem uma tendência para aumentar, aproximadamente, entre 0,8°C a 1,25°C. Segundo Bladé e Castro-Díez (2010), a tendência da temperatura é claramente de aumento ao longo do século XX, sendo que entre 1973 a 2005 a tendência é de sensivelmente 0,5°C/década.

Na Figura 2.8 verifica-se a tendência das temperaturas mínimas e máximas diárias, em Portugal Continental, referentes ao período entre 1976 e 2006. Avaliada em 23 estações, a tendência do valor máximo da temperatura máxima diária (TXx) é positiva para aproximadamente 95% das estações, sendo que metade destas têm resultados estatisticamente significativos ao nível dos 5%. Neste período, cerca de 80% das estações apresentam tendência positiva para o valor mínimo da temperatura mínima diária (TNn), mas apenas um terço tem resultados estatisticamente significativos. Estes indicadores têm tendências consistentes com o aquecimento reportado globalmente (de Lima et al., 2012).

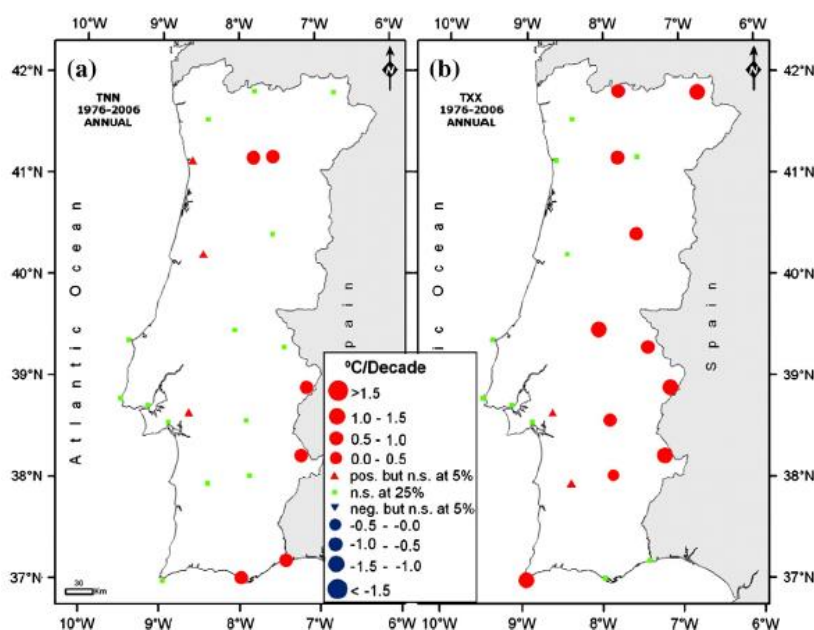


Figura 2.8 - Tendência, em °C/década, para o período 1976-2006: (a) valor mínimo das temperaturas mínimas diárias (TNn); (b) valor máximo das temperaturas máximas diárias (TXx) (de Lima et al., 2012).

Relativamente às projeções futuras, na Figura 2.9 observa-se a variação da temperatura média do ar à superfície, em °C, para o período de 2081-2100 relativamente a 1986-2005, para dois cenários: o RCP2.6 (à esquerda) e o RCP8.5 (à direita). É possível concluir que existe um



agravamento de um cenário para o outro, sendo que no RCP2.6 o aumento é de 0,3 a 1,7°C, enquanto no RCP8.5 é de 2.6 a 4.8°C (IPCC, 2014).

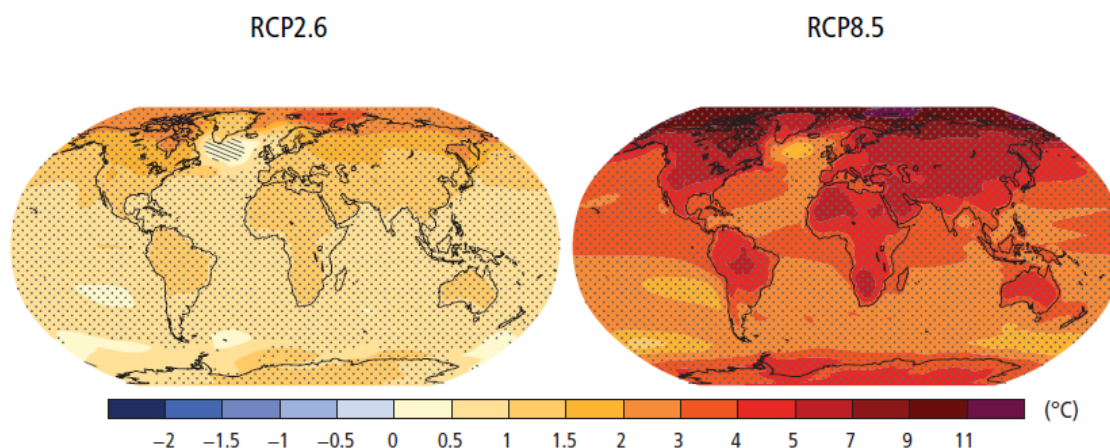


Figura 2.9 - Variação da temperatura média do ar à superfície (em °C) para 2081-2100 relativamente ao período de referência de 1986-2005, para os cenários RCP2.6 (esquerda) e RCP8.5 (direita) (IPCC, 2014).

## 2.4. Gestão da água

As alterações climáticas podem amplificar a variabilidade dos recursos hídricos ao introduzir incertezas no que toca à quantidade e qualidade da água no futuro e ao aumentar a vulnerabilidade e os riscos associados à sua utilização (ESAAC-RH, 2013). Deste modo, as alterações climáticas constituem um desafio para a política da água, mas também uma oportunidade de gerir de modo mais eficiente e sustentável este recurso.

Uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos passa pela implementação de vários instrumentos de gestão, como o Plano Nacional da Água (PNA). O PNA tem como documentos base a Diretiva Quadro da Água (DQA), a Diretiva 2000/60/CE e a Lei da Água (LA) (DL n.º 58/2005 alterado pelo DL n.º 130/2012). Este estabelece as opções da política da água a nível nacional, definindo os objetivos, princípios e as suas regras de orientação a aplicar pelos Planos de Gestão da Região Hidrográfica (PGRH) e os programas de medidas (PNA, 2016).

Os PGRH têm por base a DQA e a LA e são elaborados através de ciclos de planeamento, sendo retificados e atualizados de seis em seis anos. O 1.º ciclo de planeamento é referente ao período entre 2009 e 2015 com a elaboração dos primeiros planos para cada região hidrográfica e que tinha validade até ao fim de 2015. Posteriormente, para o 2.º ciclo de planeamento foi necessário revê-lo e atualizá-lo para o período entre 2016 a 2021, o que implicou várias fases de trabalho dentro dos prazos previstos na LA em relação a cada região hidrográfica.

Em Portugal Continental existem oito regiões hidrográficas, nomeadamente Minho e Lima (RH1); Cávado, Ave e Leça (RH2); Douro (RH3); Vouga, Mondego e Lis (RH4); Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5); Sado e Mira (RH6); Guadiana (RH7) e Ribeiras do Algarve (RH8). A região hidrográfica, constituída por uma ou mais bacias hidrográficas e respetivas águas costeiras, é a unidade principal de planeamento e gestão das águas. A partir dos PGRH é possível gerir, proteger e valorizar ambiental, social e economicamente as águas ao nível das bacias hidrográficas (APA@, 2017).

Os PGRH avaliam para cada região hidrográfica o balanço entre as necessidades e as disponibilidades de água superficial e subterrânea, considerando a capacidade de armazenamento existente para fazer face à irregularidade sazonal e interanual do escoamento, isto é, *stress* hídrico (PNA, 2016). As águas superficiais abrangem as águas superficiais interiores (rios e albufeiras), as águas de transição e as águas costeiras; enquanto as águas subterrâneas resultam da infiltração das águas provenientes da precipitação e da alimentação direta de rios e lagos.

Os recursos hídricos têm, em algumas regiões, uma distribuição bastante irregular (espacial e temporalmente), o que acarreta problemas na gestão da água (Santos e Miranda, 2006). Estas situações podem ainda ser influenciadas pelas alterações climáticas, afetando tanto o lado da oferta como o da procura de água. Os impactes das alterações climáticas nos recursos hídricos são referentes a várias vertentes, nomeadamente a disponibilidade, a procura e a qualidade de água e o risco de cheias e inundações (Quadro 2.1) (ESAAC-RH, 2013).

Quadro 2.1 - Impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos (Adaptado de ESAAC-RH, 2013)

<b>Vertentes</b>	<b>Impactes</b>
Disponibilidade de água	Redução do escoamento anual e da recarga anual dos aquíferos; Aumento da variabilidade do escoamento e da assimetria regional; Aumento do risco de secas;
Procura de água	Provável aumento da procura de água para a agricultura; Aumento da procura de água para produção de energia, de modo a diminuir a dependência dos combustíveis fósseis;
Qualidade da água	Diminuição da qualidade de água devido à redução de escoamento; Salinização dos aquíferos costeiros; Degradação da saúde dos ecossistemas;
Risco de cheias e inundações	Aumento do risco de cheias.



A redução do escoamento anual advém dos verões cada vez mais secos, o que consequentemente aumenta os problemas associados a secas e às necessidades de água (Santos e Miranda, 2006). O aumento da variabilidade da precipitação tem consequências no regime de recarga dos aquíferos, com efeitos negativos no escoamento e qualidade das águas subterrâneas (ESAAC-RH, 2013). Por outro lado, as situações de seca têm como consequência a redução dos níveis de oxigénio dissolvido que poderá afetar determinados fatores relacionados com a eutrofização e os ciclos de azoto e de fósforo dos meios hídricos, colocando em causa a biodiversidade, a qualidade da água e a saúde pública (e.g., Santos e Miranda, 2006).

A disponibilidade de água com qualidade adequada juntamente com a ocorrência de fenómenos extremos (cheias e secas) influenciam a localização dos aglomerados urbanos e respetivas atividades (Santos e Miranda, 2006). O aumento da temperatura do ar com consequente aumento da procura de água tem impactos em várias atividades, nomeadamente na agricultura, com consumos correspondentes a mais de 70% dos consumos totais (ESAAC-RH, 2013).

A nível de cheias e inundações, o aumento da intensidade dos eventos pluviosos extremos representam um risco de inundação para as cidades. Os edifícios, as estradas, as infraestruturas e outras áreas pavimentadas impedem que as chuvadas infiltrem no solo, produzindo mais escoamento e, consequentemente, sobrecarregam o sistema de drenagem (e.g., Satterthwaite, 2008) que nem sempre tem capacidade para os elevados caudais de cheia. O risco destes fenómenos é tanto maior quanto maior for a densidade populacional e de área construída e quanto menor for a densidade de áreas verdes (parques, jardins) e azuis (lagoas, riachos), o que conduz, consequentemente, à diminuição da capacidade de infiltração de água nos solos e da evapotranspiração (e.g., Borrego et al., 2014).

O crescimento populacional em zonas urbanas com consequente aumento da ocupação e da impermeabilização, a variação da capitação e o envelhecimento progressivo das infraestruturas de abastecimento de água e de drenagem causam desafios à gestão da água (ESAAC-RH, 2013). Tanto os sistemas de abastecimento de água como os sistemas de drenagem são afetados pelas alterações climáticas. No Quadro 2.2 indicam-se quais os impactes que as alterações climáticas têm nos sistemas e as respetivas consequências.

Os impactes das alterações climáticas nos Sistemas de Abastecimento de Águas poderão colocar em risco as componentes de captação e tratamento de águas. Devido às variações do nível da água (em cursos de água ou em albufeiras) e dos níveis piezométricos (caso a exploração seja realizada em águas subterrâneas), as infraestruturas de captação poderão ser afetadas, quer devido ao risco de inundação quer por inadequação da cota de exploração à situação em causa (ESAAC-RH, 2013).

---

Quadro 2.2 - Impactes das alterações climáticas nos sistemas de abastecimento e drenagem de águas e respetivas consequências (Adaptado de ESAAC-RH, 2013).

<b>Sistemas</b>	<b>Impactes das alterações climáticas</b>	<b>Consequências</b>
Sistema de Abastecimento de Águas	Varição do nível da água e dos níveis piezométricos	Risco de inundação nas infraestruturas de captação
	Degradação da qualidade da água	Risco nas infraestruturas de tratamento de águas
	Secas	Risco de escassez de água
Sistema de Drenagem e Tratamento de Águas	Aumento de precipitações extremas e de cheias	Sistemas de drenagem incapazes
	Aumento da duração dos períodos secos	Limitação da eficácia da autolimpeza dos coletores
	Variabilidade da concentração de poluentes	Problemas na operacionalidade dos tratamentos de água
	Inundações	Risco nas infraestruturas de tratamento situadas junto a cursos de água

Os Sistemas de Drenagem e Tratamento de Água irão também sofrer com os impactes das alterações climáticas, principalmente na drenagem de águas pluviais em meio urbano. O aumento de precipitações extremas e de cheias levará a um aumento do caudal de ponta pluvial o que poderá exceder a capacidade existente dos sistemas de drenagem. Este aumento conduzirá a problemas operacionais no tratamento de águas, uma vez que será necessário tratar maiores volumes de água poluída. Por outro lado, a alteração do regime de precipitação, em particular a tendência de aumento da duração dos períodos secos, poderá limitar a eficácia da autolimpeza dos coletores. (ESAAC-RH, 2013).

Para minimizar os impactes que as alterações climáticas têm nos sistemas é necessário recorrer a medidas de adaptação, de modo a adaptar os sistemas às alterações do estado do clima assim como retirar vantagens disso. No Quadro 2.3 observam-se exemplos de medidas de adaptação para os sistemas de abastecimento e drenagem de águas, com as respetivas vantagens e desvantagens.

Quadro 2.3 – Exemplos de medidas de adaptação às alterações climáticas, com respetivas vantagens e desvantagens (Adaptado de dos Santos (2008), Oliveira (2008), Machado (2014), Novo (2014) e Lourenço (2014)).

Medidas de adaptação	Vantagens	Desvantagens
Reutilização de águas residuais urbanas tratadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservação dos recursos hídricos;</li> <li>• Disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficiente e adequada;</li> <li>• Redução da procura do abastecimento de água potável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco da presença de microrganismos patogénicos com consequências na saúde pública;</li> <li>• Aparecimento de incrustações nas tubagens;</li> <li>• Rejeição por parte do público.</li> </ul>
Aproveitamento de águas pluviais para usos urbanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuir para a conservação da água;</li> <li>• Reduzir o consumo de água da rede pública e o custo associado;</li> <li>• Reduzir os custos de exploração dos sistemas de abastecimento de água;</li> <li>• Controlar as inundações, armazenando parte da água responsável pelo escoamento superficial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilidade da precipitação;</li> <li>• Necessita de um tratamento adequado (consoante o uso), de modo a não pôr em causa a saúde pública.</li> </ul>
Aumento do controlo em tempo real (monitorização)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimizam a gestão do sistema de drenagem e a utilização dos volumes de armazenamento existentes;</li> <li>• Adaptabilidade a alterações futuras nos padrões de escoamento.</li> </ul>	-
Sistemas de drenagem urbana sustentáveis (SUDS), tais como bacias de retenção/detenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria do comportamento do sistema de drenagem (aumento da capacidade de armazenamento e diminuição do risco de inundação);</li> <li>• Redução da carga poluente no escoamento;</li> <li>• Melhoria da qualidade da água;</li> <li>• Recarga de águas subterrâneas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupação de grandes áreas;</li> <li>• Risco de proliferação de insetos e doenças.</li> </ul>

A solução a implementar deverá ser aquela que corresponda ao menor custo, evitando ao mesmo tempo os impactes associados às inundações, e garantindo simultaneamente o cumprimento das leis hidráulicas e dos requisitos regulamentares (Cunha et al., 2015).

A monitorização das condições climáticas e hidrológicas desempenha um papel importante relativamente às alterações climáticas, uma vez que as redes de monitorização são essenciais para entender as alterações nos recursos hídricos, assim como para calibrar e validar modelos climáticos para condições futuras (Brekke et al., 2009).

A monitorização ambiental, que pode ser contínua ou periódica, consiste na medição e na observação de vários parâmetros e é muitas vezes utilizada para controlo e prevenção. As redes de monitorização podem ser compostas por radares, satélites ou estações meteorológicas, consoante a temática e os parâmetros a serem monitorizados.

Os radares (Figura 2.10) constituem equipamentos de deteção remota que têm como capacidade detetar e localizar à distância, neste caso pela emissão de ondas eletromagnéticas na frequência de micro-ondas e correspondente tratamento das ondas refletidas pelos alvos detetados (como, por exemplo, gotículas, gotas de chuvas ou granizo) (IPMA@, 2017). Um exemplo de radares associados a zonas urbanas são os associados ao projeto RainGain que tem como objetivo obter dados de precipitação a partir de radares, o que permitirá melhorar a previsão de cheias e inundações urbanas (RainGain@, 2017).



Figura 2.10 - Vista geral da estação de radar de Coruche/Cruz de Leão (à esquerda) e Loulé/Cavalos (à direita) (IPMA@, 2017).

Os satélites meteorológicos transportam a bordo instrumentos (em geral, radiômetros que funcionam em diferentes bandas do espectro eletromagnético) projetados para monitorizar as condições do tempo, assim como para auxiliar no estudo de padrões associados às condições de tempo em vastas áreas e na previsão do tempo (IPMA@, 2017).

As estações meteorológicas registam continuamente vários parâmetros meteorológicos, nomeadamente a pressão atmosférica, a temperatura e a humidade relativa do ar, a velocidade e a orientação do vento, a precipitação, a radiação solar, entre outros. Estas estações podem ser convencionais ou automáticas, sendo que a diferença entre ambas é o modo de registo dos parâmetros. Enquanto as primeiras necessitam de um observador para os anotar, as últimas enviam automaticamente os dados para o utilizador.

Nas estações meteorológicas convencionais, as medições de precipitação são discretas no tempo recorrendo a udómetros. Os udómetros (Figura 2.11) são equipamentos de medição pontual da precipitação acumulada ao longo do tempo. Estes são normalmente constituídos por um aro circular de bordos afilados (1) que limita a superfície de receção, um funil (2) e um recipiente cilíndrico (3) onde se acumula a água da chuva. Estes aparelhos têm como desvantagem terem um volume de acumulação limitado, isto é, poderão ser incapazes de armazenar a água em caso de eventos pluviosos extremos.

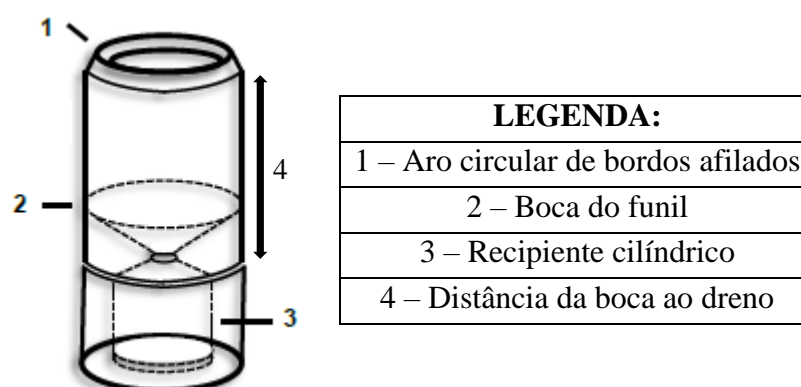


Figura 2.11 – Componentes de um udómetro (adaptado de Carvalho, 2014).

Nas estações meteorológicas automáticas (EMAs), as medições de precipitação são contínuas no tempo recorrendo a udógrafos. Os udógrafos são instrumentos que permitem conhecer a que horas começou e acabou o evento pluvioso, assim como a intensidade desse evento. Atualmente os dados obtidos pelos udógrafos são digitais e enviados imediatamente para uma estação de registo. Existem vários tipos de udógrafos, como por exemplo, o de báscula, o de sifão e o de balança; atualmente, o udógrafo de báscula é o mais usado na monitorização da precipitação.

O udógrafo de báscula (Figura 2.12) é constituído por um funil (1), um recetáculo basculante (3) constituído por dois reservatórios e uma estrutura de proteção. O recetáculo basculante está numa posição de equilíbrio segundo o eixo horizontal e quando a precipitação passa pelo funil, esta cai no reservatório mais elevado. Depois de uma dada quantidade, normalmente 0,2 mm, a divisão fica instável e inclina-se para o outro lado onde, posteriormente, começa a cair a precipitação. Esta informação sobre o instante em que ocorre a báscula é registada, o que permite verificar a quantidade e a intensidade do evento de precipitação que ocorreu. Estes instrumentos têm como vantagens o baixo custo de manutenção, assim como uma melhor resolução temporal relativamente aos udómetros.

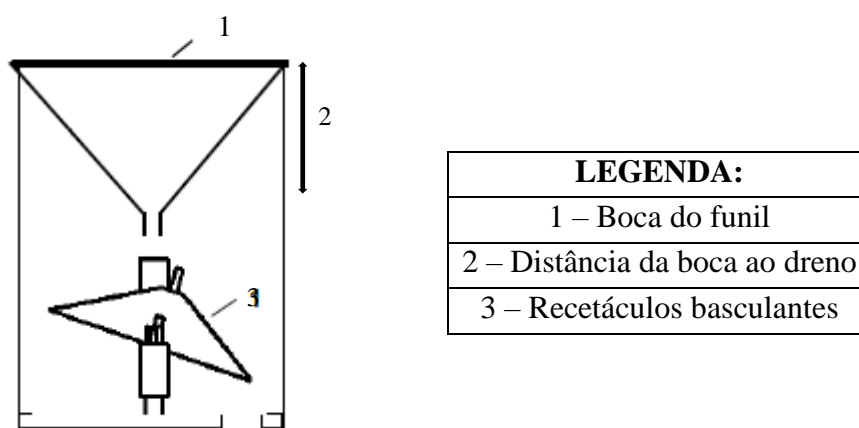


Figura 2.12 - Componentes de um udógrafo de báscula (adaptado de Carvalho, 2014).

Em Portugal, existe uma rede nacional de EMAs de superfície que se encontra em funcionamento desde 2002 com 93 estações, sendo que estão localizadas 78 no Continente, 9 no arquipélago dos Açores e 6 no arquipélago da Madeira. Estas registam os parâmetros meteorológicos principais de 10 em 10 minutos e elaboram mensagens automáticas que são enviadas à escala horária para o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA@, 2017).



Figura 2.13 - EMA localizada no parque meteorológico em Loulé (IPMA@, 2017).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Introdução

Neste capítulo são descritos os materiais e métodos utilizados nesta dissertação. Inicialmente descreve-se os materiais e a metodologia referente aos indicadores de extremos de precipitação e temperatura do ar com mais interesse para a temática desta dissertação, em que são apresentados os dados utilizados e os testes estatísticos para tratamento e análise das diferentes séries. Esta análise serve para verificar se as tendências na precipitação e na temperatura do ar em Portugal Continental correspondem às projeções das alterações climáticas, por modelos. Posteriormente, descreve-se a instalação e a metodologia referente aos equipamentos utilizados nos testes laboratoriais realizados para a comparação da precipitação registada pela estação automática estudada e a observada noutros udógrafos.

#### 3.2 Indicadores de extremos de precipitação e de temperatura do ar

Nesta dissertação seleccionaram-se, a partir de 40 indicadores aprovados pela Expert Team on Climate Change Detetion and Indices (ETCCDI) e disponíveis em ETCCDI@ (2017), séries anuais de precipitação e temperatura do ar observadas em 6 estações climatológicas (Beja, Bragança, Coimbra, Lisboa, Porto e Tavira – Figura 3.1 e Quadro 3.1), entre 1941 e 2004. As estações escolhidas foram as que se consideraram mais relevantes para o tema desta dissertação, face à sua localização geográfica no território continental.



Figura 3.1 - Mapa das estações climatológicas em Portugal Continental usadas neste estudo.

Quadro 3.1 – Descrição das características das estações climatológicas usadas neste estudo.

<b>Estação</b>	<b>Código da estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>
<b>Beja</b>	176	38° 01' N	7° 52' O	246
<b>Bragança</b>	177	41° 48' N	6° 44' O	690
<b>Coimbra</b>	178	40° 12' N	8° 25' O	141
<b>Lisboa</b>	179	38° 43' N	9° 8' O	77
<b>Porto</b>	180	41° 08' N	8° 36' O	93
<b>Tavira</b>	181	37° 7' N	7° 39' O	25

A Figura 3.2 apresenta o clima em Portugal Continental, segundo a classificação de Köppen, que se divide em dois tipos: Csa e Csb. A região correspondente a Csa é referente a um clima temperado com um Inverno chuvoso e um Verão seco e quente, enquanto a região Csb é referente a um clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente, isto é, um clima mediterrâneo (IPMA@, 2017). Este é influenciado sobretudo pela latitude, a altitude e a proximidade do oceano Atlântico (e.g., de Lima et al., 2013).

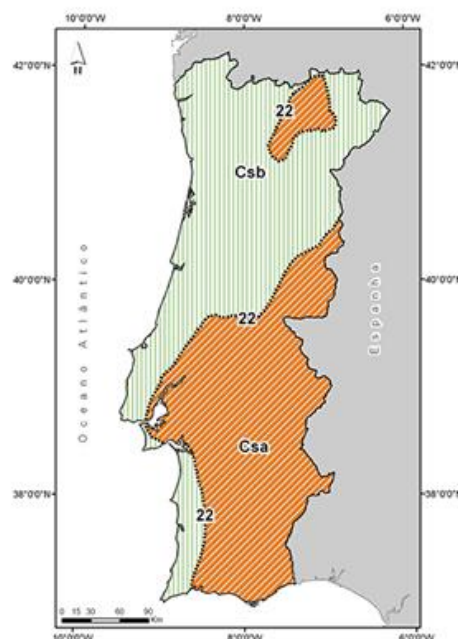


Figura 3.2 - Clima em Portugal Continental segundo a classificação de Köppen (IPMA@, 2017).



O Quadro 3.2 apresenta a precipitação média anual de cada estação para o período 1941-2004.

Quadro 3.2 - Precipitação média anual para cada estação climatológica referente ao período 1941-2004.

<b>Estação</b>	<b>n (anos)</b>	<b>Precipitação média anual (mm)</b>
<b>Beja</b>	64	567
<b>Bragança</b>	60	731
<b>Coimbra</b>	54	963
<b>Lisboa</b>	64	724
<b>Porto</b>	64	1172
<b>Tavira</b>	64	542

A partir do Quadro 3.2 verifica-se que as estações do Porto e de Coimbra (litoral Norte e Centro) registam valores da precipitação média anual mais elevados (superiores a 900 mm), enquanto as estações de Tavira e Beja (Algarve e Alentejo) são as que apresentam os valores mais baixos (em média, 500 mm). As temperaturas médias anuais variam entre 7°C (interior Norte e Centro) e 18°C (região Sul).

Esta variabilidade da precipitação e da temperatura do ar (norte-sul, oeste-este e sazonal) aumentam a vulnerabilidade da região relativamente a eventos extremos, tais como secas e cheias e/ou inundações (e.g., de Lima et al., 2013).

A climatologia de eventos extremos de precipitação e temperatura do ar foi explorada recorrendo a indicadores que permitem verificar a frequência, a intensidade e o tempo entre eventos.

### **3.2.1 Materiais**

Os indicadores de precipitação e de temperatura do ar foram selecionados tendo em conta a informação que poderiam dar relativamente à variabilidade climática relacionada com as alterações climáticas. Por exemplo, os indicadores de precipitação escolhidos identificam a frequência e a intensidade dos eventos pluviosos, enquanto os indicadores de temperatura do ar identificam a evolução das temperaturas em Portugal Continental de modo a verificar a

existência de aquecimento no país. No Quadro 3.3 e no Quadro 3.4 foram sintetizadas as descrições dos indicadores de extremos de precipitação e de temperatura do ar, respetivamente.

Quadro 3.3 – Descrição dos indicadores usados neste estudo para a precipitação.

	<b>Indicadores</b>	<b>Definição</b>	<b>Unidades</b>
	PRCPTOT	Precipitação total anual	mm
Frequência	CDD	Número máximo de dias consecutivos secos	Dias
	CWD	Número máximo de dias consecutivos com precipitação $\geq 1$ mm	Dias
	R20	Número de dias com precipitação $\geq 20$ mm	Dias
Intensidade	RX1D	Precipitação máxima num só dia	mm
	RX5D	Precipitação máxima em 5 dias consecutivos	mm

Quadro 3.4 – Descrição dos indicadores usados neste estudo para a temperatura do ar.

	<b>Indicadores</b>	<b>Definição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidades</b>
	TNn	Valor mínimo anual da temperatura mínima diária	Noites mais frias	°C
	TNx	Valor máximo anual da temperatura mínima diária	Noites mais quentes	°C
	TXn	Valor mínimo anual da temperatura máxima diária	Dias mais frios	°C
	TXx	Valor máximo anual da temperatura máxima diária	Dias mais quentes	°C

### 3.2.2 Metodologia

Para analisar as tendências dos indicadores recorreu-se a dois testes estatísticos, o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1948) e o teste de Sen (Sen, 1968), a partir de uma folha de cálculo “MAKESENS 1.0” em Excel (Salmi et al., 2002). Esta foi desenvolvida para detetar e estimar tendências em séries de valores anuais e mensais e foi aplicada, neste caso, ao estudo da precipitação e da temperatura do ar.

A folha de cálculo “MAKESENS 1.0” baseia-se em quatro pontos: o **Sobre**, os **Dados Anuais**, a **Tendência Estatística** e os **Gráficos**. No ponto **Sobre** fornece a informação geral da folha de cálculo. Os dados da série temporal são inseridos no ponto **Dados Anuais** e o cálculo macro é ativado quando se usa o botão “Calcular tendência estatística” no ponto **Tendência Estatística**. Por fim, os dados originais e a estatística podem ser verificados numericamente e visualmente no ponto **Gráficos**.

Os testes de Mann-Kendall e de Sen são testes não paramétricos, em que o primeiro verifica se existem tendências nos dados que estão a ser estudados, enquanto o segundo estima qual é a magnitude dessa tendência.

#### Teste de Mann-Kendall:

O teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1948) é aplicado em casos em que os valores  $x_i$  de uma série temporal (anual) assumem o modelo da Equação 1:

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

Em que  $f$  é uma função monótona linear que aumenta ou diminui no tempo,  $t_i$  é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial, em anos, e  $\varepsilon_i$  é uma variável aleatória que pode adotar uma distribuição de média igual a zero relativamente a  $f(t_i)$ . No entanto, assume-se que a variância da distribuição é constante no tempo.

Para se aplicar o teste de Mann-Kendall é necessário verificar a hipótese  $H_1$ , que assume que os valores  $x_i$  da série têm uma tendência monótona que aumenta ou diminui ao longo do tempo, e a hipótese  $H_0$ , em que os valores  $x_i$  da série não têm nenhuma tendência e são aleatórias no tempo.

Assim sendo, a partir de  $H_0$  calcula-se o valor de  $S$  através do teste estatístico  $S$  (Gilbert, 1987) que é dado pela Equação 2.

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

onde  $x_j$  e  $x_k$  são dados nos anos  $j$  e  $k$ , respetivamente, sendo  $j > k$  e  $\text{sign}(x_j - x_k)$  é determinado com base na Equação 3.

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

Considerando que a média de  $S$  é zero ( $E(S) = 0$ ), calcula-se a variância de  $S$  através da Equação 4.

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^n t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (4)$$

Em que  $n$  é o número de valores, sendo que pode haver valores iguais, e  $t_p$  é a quantidade de valores dos dados  $p$ .

Os valores de  $S$  e de  $\text{VAR}(S)$  são usados para calcular a estatística do teste  $Z$  que é determinado a partir da Equação 5.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

A presença da tendência estatisticamente significante é avaliada pelo valor de  $Z$ . Se o valor de  $Z$  for positivo este indica que a tendência é de aumentar. Caso contrário, se o valor de  $Z$  for negativo este indica que a tendência é de diminuir.

Como o teste estatístico  $Z$  tem uma distribuição normal, a significância pode ser calculada a partir de  $\alpha$ . Ou seja,  $H_0$  é rejeitado se o valor absoluto de  $Z$  é superior a  $Z_{1-\alpha/2}$ , onde  $Z_{1-\alpha/2}$  é obtido a partir das tabelas de distribuição normal pelo padrão de normalidade. Por exemplo, consultando a tabela de distribuição normal para um nível de significância de 10% ( $\alpha = 0,1$ ) obtém-se  $Z = 1,645$ . Ou seja, se o valor de  $Z$  for superior ou igual a 1,645 (através do teste estatístico) significa que a tendência é estatisticamente significativa ao nível de 10%.

No “MAKESENS”, os níveis de significância  $\alpha$  testados estão identificados no Quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Símbolos e respetivos níveis de significância dos testes estatísticos.

Símbolos	Níveis de significância
***	$\alpha = 0,001$
**	$\alpha = 0,01$
*	$\alpha = 0,05$
+	$\alpha = 0,1$
n.s.	$\alpha > 0,1$

O nível de significância de 0,001 significa que existe uma probabilidade de 0,1% de os valores  $x_i$  serem independentes e distribuídos aleatoriamente ( $H_0$ ), assim como 99,9% de probabilidade de existir uma tendência monótona nos valores estudados.

#### Teste de Sen:

O teste de Sen (Sen, 1968) pode ser usado em casos em que a tendência é linear. Isto significa que  $f(t)$  é representado pela Equação 6.

$$f(t) = Qt + B \quad (6)$$

em que  $Q$  é o declive da reta (tendência),  $t$  é o tempo (em anos) e  $B$  é uma constante. Para se determinar  $Q$  é necessário calcular os declives de reta de todos os pares de variáveis  $j$  e  $k$  (Equação 7).

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (7)$$

onde  $j > k$ .

Se houver  $n$  valores de  $x_j$  na série temporal, então irá haver  $N = n(n - 1)/2$  declives de reta  $Q_i$ . O declive de reta de Sen é a mediana dos  $N$  valores de  $Q_i$ , estes são ordenados do menor para o maior e a estimativa de Sen é conforme a Equação 8a e 8b.

$$Q = Q_{[(N+1)/2]}, \text{ se } N \text{ é par} \quad (8a)$$

ou

$$Q = \frac{1}{2}(Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}), \text{ se } N \text{ é ímpar} \quad (8b)$$

Para o caso de um evento de precipitação em que a quantidade é maior ou igual a 20 mm/dia, realizou-se um estudo mais pormenorizado, em que o objetivo é verificar com que frequência os eventos pluviosos ocorreram no passado para uma intensidade de 20 mm/dia, estimando a probabilidade de ocorrência dos mesmos. A partir da série mensal e anual dos valores diários do indicador RX1D decidiu estimar-se o período de retorno destes eventos (i.e.,  $\geq 20$  mm/dia), em Portugal Continental, através do método de Gumbel.

### Método de Gumbel:

O método de Gumbel é aplicado a amostras constituídas por valores máximos anuais de um dado fenómeno, recolhidas ao longo do tempo, em que a função de duração é dada pela Equação 9.

$$P(x \geq x^*) = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (9)$$

Em que  $P(x \geq x^*)$  é a probabilidade da variável aleatória ser igual ou superior ao valor  $x^*$  e  $y$  é a variável reduzida da distribuição de Gumbel.

A variável reduzida ( $y$ ) é dada a partir da Equação 10.

$$y = a(x^* - x_0) = \frac{1}{0,7797 \cdot s}(x^* - \bar{x} + 0,45 \cdot s) \quad (10)$$

Em que  $a$  é um parâmetro de escala ou dispersão,  $x_0$  é um parâmetro de posição,  $s$  é o desvio padrão da amostra e  $\bar{x}$  é a média da amostra.

O período de retorno do valor  $x^*$ , isto é, o intervalo médio de anos em que o evento  $x^*$  pode ocorrer ou ser superado, é dado pela Equação 11.

$$Tr = \frac{1}{P(x \geq x^*)} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-y}}} \quad (11)$$

### 3.3. Estação meteorológica automática

As estações meteorológicas automáticas podem ser utilizadas em redes de monitorização ambiental com o objetivo de medir e observar os parâmetros meteorológicos com o intuito de controlar e prevenir a ocorrência de eventos extremos.

Neste caso, a estação meteorológica automática (EMA) foi instalada no campo no âmbito de monitorização de variáveis ambientais, integrado num projeto de investigação que tem como objetivo a gestão da água. Antes da EMA ser usada no campo foi necessário proceder à sua montagem seguida de uma série de testes em laboratório, de modo a verificar o seu funcionamento. Inicialmente, testaram-se os sensores da EMA com uma série de chuvadas simuladas para se verificar se estes estavam a funcionar corretamente e, posteriormente, realizaram os testes laboratoriais para comparar o registo de precipitação obtidos com vários equipamentos.

#### 3.3.1 Descrição da instalação

A instalação é composta pela EMA em estudo, por vários udómetros, pelo simulador de precipitação e por outros materiais, tais como balanças de precisão, recipientes, cronómetro e fita métrica.

A EMA em estudo é da marca Davis Instruments, modelo *Vantage Pro 2 Plus*, que regista continuamente vários parâmetros meteorológicos através de um conjunto de sensores integrados, tais como o udógrafo, sensores de temperatura e humidade, anemómetro e sensores de radiação solar e ultravioleta (Figura 3.3). Estes sensores transmitem a informação via *wireless* para a consola o que permite ter dados em tempo real. Uma caracterização mais completa da EMA pode ser consultada no Anexo A. A precipitação é medida recorrendo ao udógrafo que tem como base um mecanismo basculante.

O equipamento utilizado para simular a precipitação consiste num simulador de chuva constituído por um nebulizador de cone preenchido localizado a 2,2 m acima do solo. Este está instalado numa estrutura que contém um painel de controlo que possibilita mover a estrutura metálica de suporte móvel ao longo de um conjunto de carris, através de dois pares de rodas motorizadas que permitem o movimento unidirecional e em ambos os sentidos. O abastecimento de água do simulador provém de um tanque com nível constante.

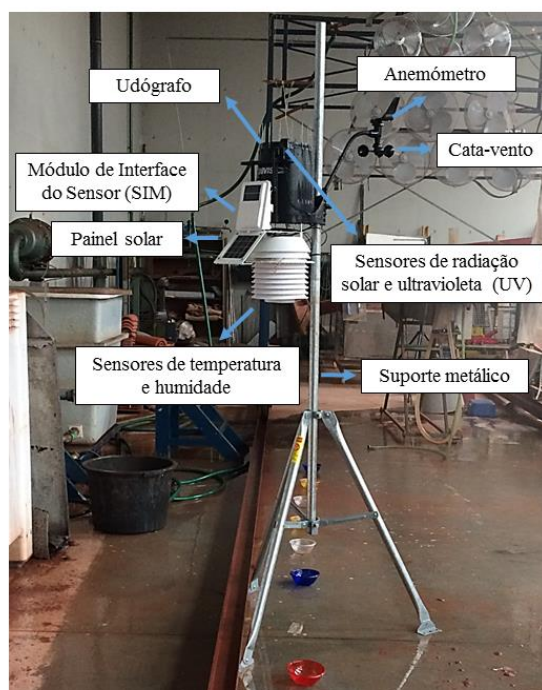


Figura 3.3 - Esquema da EMA do modelo *Vantage Pro 2 Plus*.

Os udômetros em estudo são os presentes na Figura 3.4 e as características dos udômetros podem ser observadas no Quadro 3.6 (ver também Figura 2.11).



Figura 3.4 – Udômetros “Hellmann” (à esquerda), “Copper” (no centro) e “Wilh & Lambrecht” (à direita) usados no estudo.

Foram também utilizados udômetros improvisados, doravante designados por “recipientes”: têm forma cilíndrica com o diâmetro de 21 mm e uma altura de 80 mm; o bordo é arredondado e a área de coleta é de 0,0346 m<sup>2</sup>.



Quadro 3.6 - Descrição das características dos equipamentos udométricos.

	EMA	Udómetro 1 “Hellmann”	Udómetro 2 “Copper”	Udómetro 3 “Wilh&Lambrecht”
<b>Estrutura exterior</b>	Cor preta Forma cilíndrica	Cor prateada Forma cilíndrica	Cor cobreada Forma cilíndrica	Cor cinzenta Forma cilíndrica
<b>Tipo de bordo da boca</b>	Arredondado	Afilado	Arredondado	Afilado
<b>Diâmetro da boca (mm)</b>	235	114	131	160
<b>Altura do equipamento (mm)</b>	260	305	260	440
<b>Distância entre a boca e o dreno (mm)</b>	-	130	90	195
<b>Área de coleta (m<sup>2</sup>)</b>	0,0214	0,0102	0,0135	0,0201

### 3.3.2 Metodologia

Com vista a quantificar a precipitação captada, assim como a intensidade da mesma nos vários equipamentos procedeu-se a testes laboratoriais no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.

A primeira instalação consiste em colocar os vários equipamentos à mesma altura em quatro posições na área coberta pelo simulador de chuva, enquanto a segunda instalação consiste em colocar a EMA e vários recipientes também à mesma altura em quatro posições com o simulador de chuva em movimento a uma velocidade constante (7 m/min). Ambas no sentido de avaliar qual é o equipamento/recipiente que capta mais precipitação.

#### **Simulação de chuvada estática durante um determinado intervalo de tempo:**

Inicialmente marcaram-se quatro posições para colocar a EMA e os udómetros na área coberta pela chuva simulada e colocaram-se os equipamentos nas respetivas posições (Figura 3.5). Os equipamentos foram todos colocados com a boca dos mesmos à mesma altura (1,70 m), sendo que foi necessário utilizar uma base para os udómetros. De seguida, simulou-se um evento de 5 minutos e, após o evento terminar, anotou-se a quantidade de precipitação registada pelos vários equipamentos. Este procedimento foi repetido para cada uma das quatro posições.

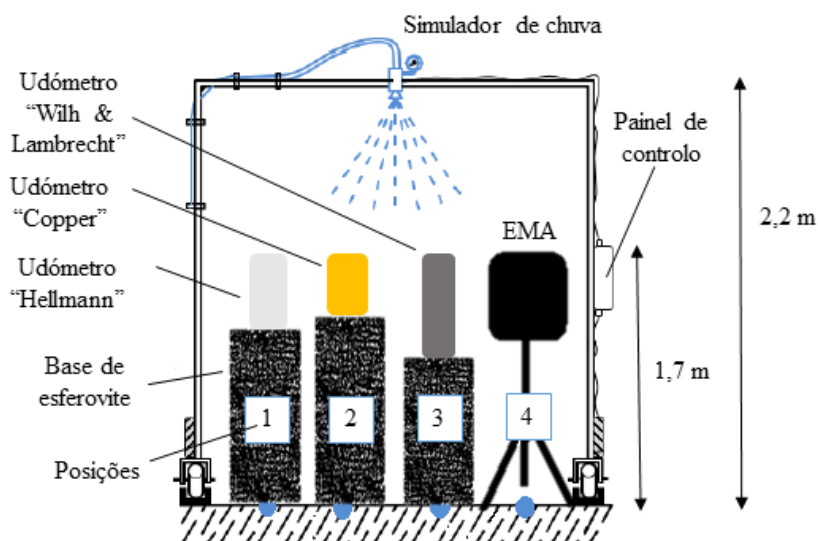


Figura 3.5 – Esquema da instalação experimental com o sistema de simulação de chuva, a EMA e os udómetros.

**Simulação de chuvada móvel em função da velocidade:**

Para os ensaios com o simulador de chuva em movimento colocou-se a EMA e os três recipientes todos com a boca à mesma altura recorrendo a bases (Figura 3.6). Os ensaios realizaram-se a uma velocidade constante (7 m/min), sendo que a chuvada durou, em média, 4 minutos. Posteriormente, anotou-se a quantidade de precipitação. Este procedimento foi repetido para cada uma das quatro posições, como se pode verificar na Figura 3.6.

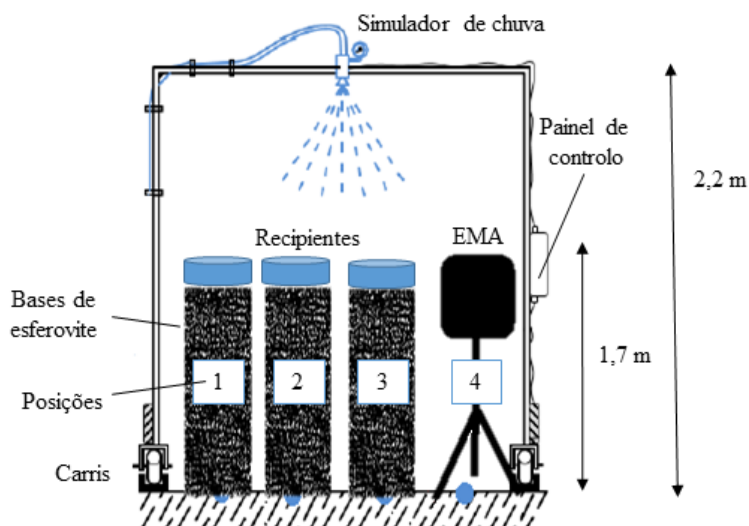


Figura 3.6 - Esquema da instalação experimental com o sistema de simulação de chuva, EMA e os recipientes.

A Figura 3.7 mostra como varia a intensidade da chuva (simulada) em função da duração do evento, nos testes laboratoriais, sendo que o pico do gráfico (assinalado com uma seta) corresponde ao ponto com maior intensidade, isto é, quando o nebulizador do simulador de chuva passa por cima dos equipamentos/recipientes.

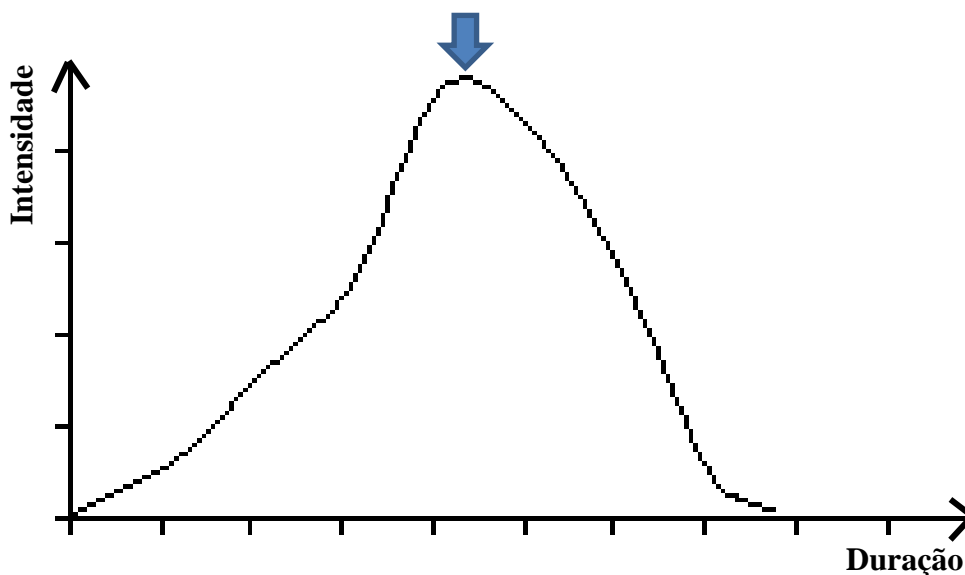


Figura 3.7 – Exemplo de um gráfico da intensidade de precipitação em função da duração do evento pluvioso.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo apresenta-se a análise e a discussão dos resultados obtidos nos testes estatísticos aos indicadores de precipitação e temperatura do ar em Portugal Continental e nos testes laboratoriais.

### 4.2 Indicadores de precipitação

Neste subcapítulo são analisados os resultados da análise de tendências das séries temporais para os indicadores de precipitação, sendo que inicialmente estudou-se o indicador PRCPTOT (Figura 4.1).

#### PRCPTOT

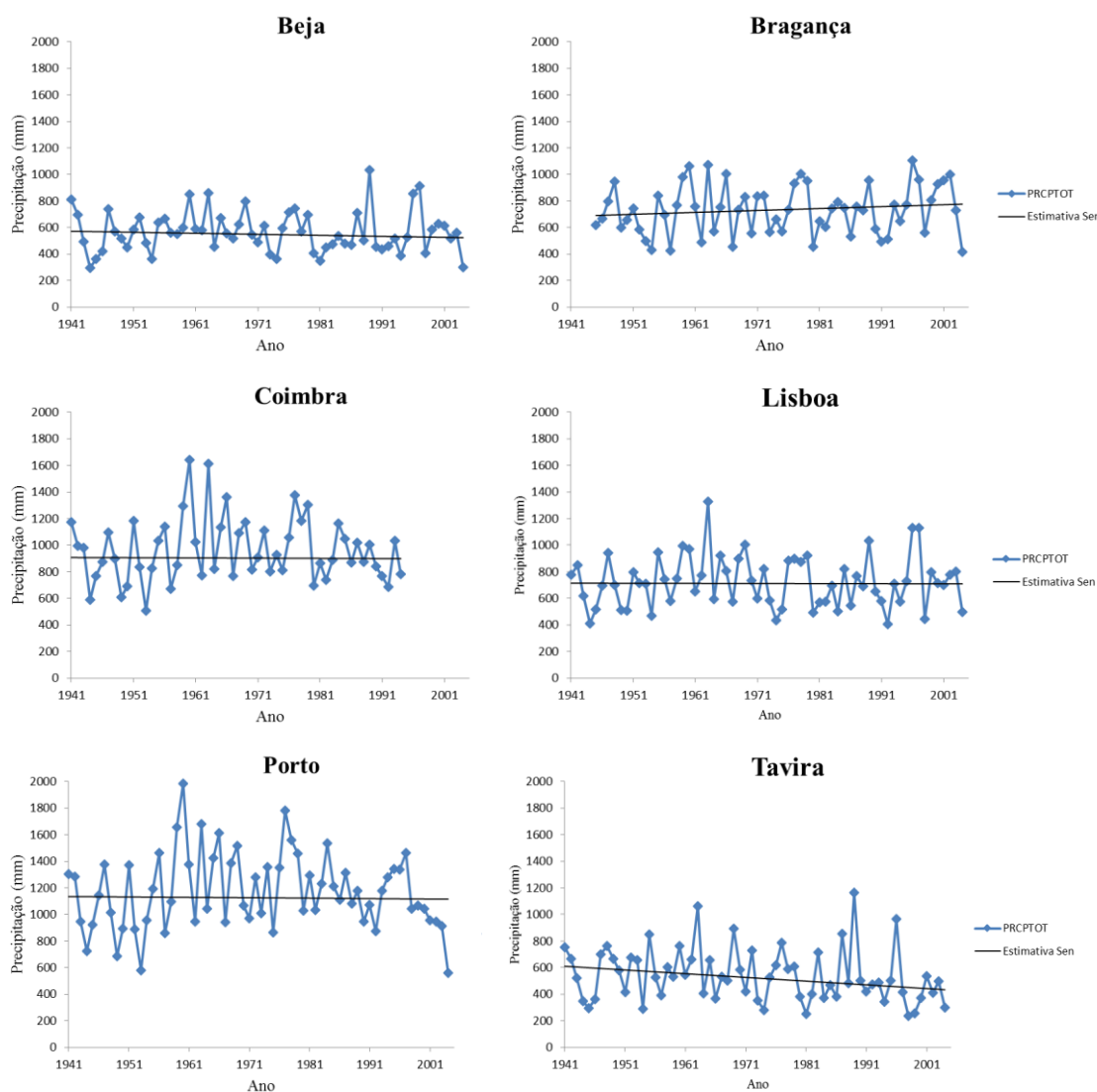


Figura 4.1 – Gráficos das tendências anuais do indicador PRCPTOT para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

A partir da Figura 4.1 verifica-se que os locais mais chuvosos são Porto e Coimbra, enquanto a parte sul de Portugal Continental apresenta menor ocorrência de precipitação (Beja e Tavira). Observa-se igualmente que ao longo dos anos existem grandes oscilações da precipitação total anual e que a quantidade precipitada tem vindo a diminuir ligeiramente o que poderá ser, eventualmente, uma revelação das alterações climáticas. No Quadro 4.1 apresentam-se as tendências dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador PRCPTOT.

Quadro 4.1 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador PRCPTOT, em que  $y$  é a precipitação total anual (em mm) e  $t$  é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).

Estações	Ano inicial	Ano final	n	Teste Z	Estimativa de Sen	Significância
<b>Beja</b>	1941	2004	64	-0,66	$y = -0,763 \cdot t + 571,53$	n.s.
<b>Bragança</b>	1945	2004	60	0,91	$y = 1,444 \cdot t + 685,22$	n.s.
<b>Coimbra</b>	1941	1994	54	-0,10	$y = -0,156 \cdot t + 907,03$	n.s.
<b>Lisboa</b>	1941	2004	64	-0,06	$y = -0,081 \cdot t + 714,20$	n.s.
<b>Porto</b>	1941	2004	64	-0,16	$y = -0,305 \cdot t + 1374,01$	n.s.
<b>Tavira</b>	1941	2004	64	-2,07	$y = -2,796 \cdot t + 610,43$	*

A partir deste é possível concluir que Bragança é a única estação com uma tendência de aumento da quantidade precipitada, uma vez que o teste Z apresenta um valor positivo. Sendo que Tavira é a única estação com tendência significativa ao nível dos 5%. Estas tendências foram também confirmadas por outros autores, nomeadamente:

- de Lima et al. (2007) em que não há nenhuma evidência estatística da tendência da precipitação anual em Portugal Continental no período entre 1941-2000, embora haja sinais de uma diminuição da precipitação anual (principalmente nas regiões do sul e de este que são caracterizadas por baixa precipitação). Apesar de não ser muito regular, o comportamento do padrão espacial parece ser influenciado pela geografia local;
- Santos e Portela (2007) em que, para o período 1910-2004, dos 98 postos udométricos em estudo apenas 17 postos têm significância ao nível dos 5% (o que corresponde a 17,4%) e 15 destes 17 apresentam uma diminuição na precipitação total anual;
- de Lima et al. (2013) em que se verifica que mais de 60% das 27 estações apresentam tendência de diminuição entre 1941-2012, sendo 15% estatisticamente significativa ao nível de 5%.

## RX1D e RX5D

Na Figura 4.2 e na Figura 4.3 encontram-se os gráficos com os resultados das tendências para as várias estações relativamente aos indicadores RX1D e RX5D, respetivamente.

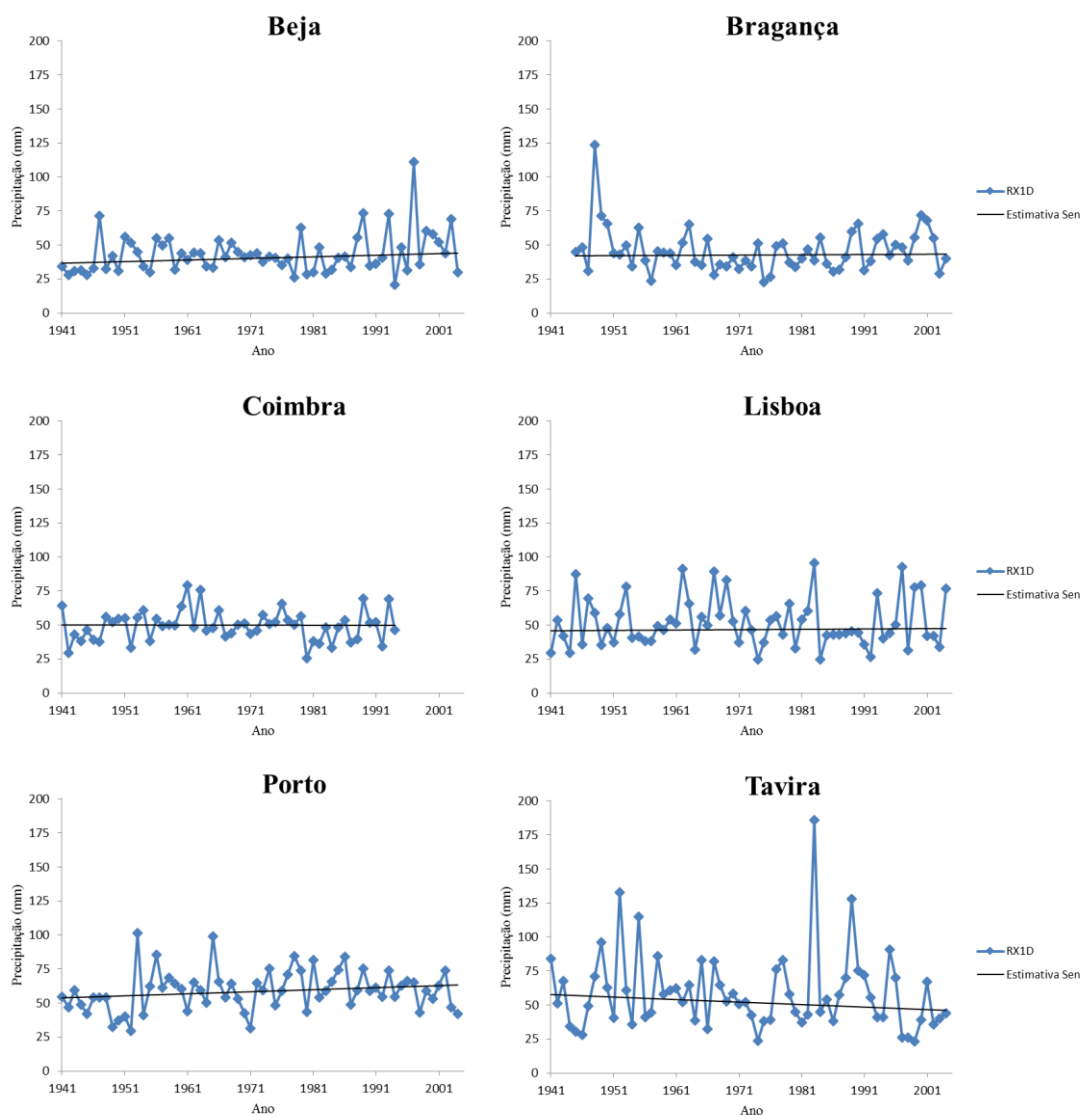


Figura 4.2 – Gráficos das tendências anuais do indicador RX1D para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

Para o indicador RX1D verifica-se que há uma grande variabilidade em todas as estações climatológicas ao longo do tempo (Figura 4.2), onde é possível observar valores elevados de precipitação. Por exemplo, a estação de Beja em 1997 atinge num só dia o máximo de 111,3 mm no total anual de 914,7 mm, o que corresponde a 12% da precipitação total desse ano; a estação de Bragança em 1948 alcança o máximo de 123,8 mm, em um dia, no total anual de 945,5 mm, o que corresponde a 13% da precipitação total anual; e Tavira apresenta, em 1983, um valor

máximo em um só dia de 186 mm no total anual de 714,7 mm, o que corresponde a 26% da precipitação total desse ano.

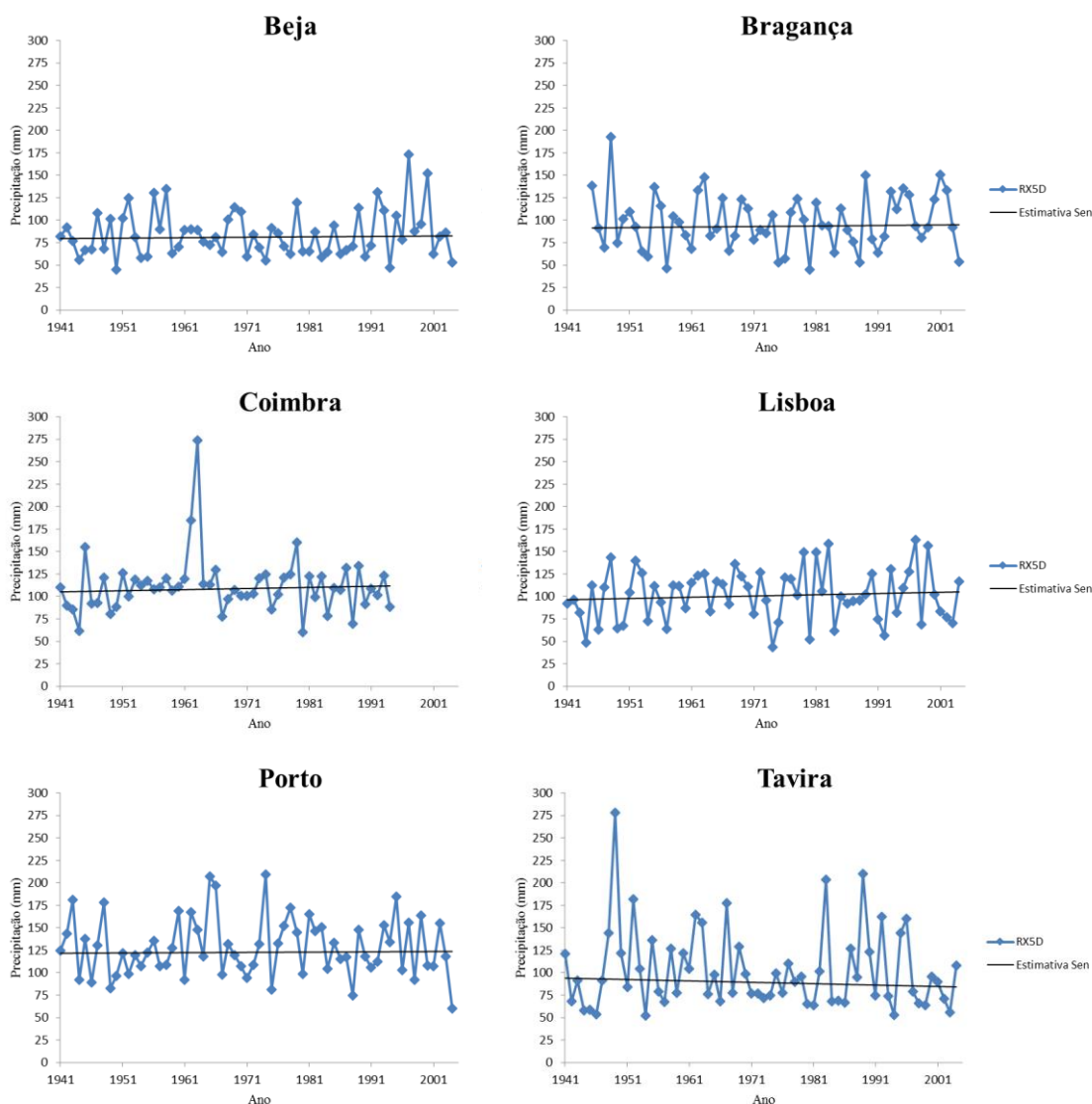


Figura 4.3 – Gráficos das tendências anuais do indicador RX5D para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

Relativamente ao indicador RX5D (Figura 4.3) verifica-se também uma grande variabilidade em todas as estações, sendo que em algumas destacam-se alguns valores máximos como, por exemplo, na estação de Coimbra onde a precipitação máxima em 5 dias consecutivos ultrapassa os 250 mm num total anual de 1650,3 mm, em 1963, o que corresponde a 15% da precipitação total anual e a de Tavira chega a um máximo de 5 dias seguidos de 278 mm, em 1949, com um total anual de 665,7 mm, o que corresponde a 42% da precipitação total desse ano.

No Quadro 4.2 e no Quadro 4.3 apresentam-se as tendências dos testes de Mann-Kendall e de Sen para os indicadores RX1D e RX5D, respetivamente.

Quadro 4.2 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador RX1D, em que  $y$  é a precipitação máxima num só dia (em mm) e  $t$  é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).

Estações	Ano inicial	Ano final	n	Teste Z	Estimativa de Sen	Significância
<b>Beja</b>	1941	2004	64	1,40	$y = 0,117 \cdot t + 36,68$	n.s.
<b>Bragança</b>	1945	2004	60	0,15	$y = 0,020 \cdot t + 42,04$	n.s.
<b>Coimbra</b>	1941	1994	54	-0,05	$y = -0,005 \cdot t + 50,09$	n.s.
<b>Lisboa</b>	1941	2004	64	0,19	$y = 0,026 \cdot t + 45,85$	n.s.
<b>Porto</b>	1941	2004	64	1,58	$y = 0,150 \cdot t + 53,83$	n.s.
<b>Tavira</b>	1941	2004	64	-1,26	$y = -0,184 \cdot t + 57,73$	n.s.

No Quadro 4.2 verifica-se que 4 em 6 estações têm tendência para aumentar a quantidade de precipitação num só dia, apesar de não ser estatisticamente significativa. Esta tendência foi também confirmada por de Lima et al. (2014) para o período 1941-2007, em que 53% das 57 estações têm tendência a aumentar sendo que 5% têm uma tendência estatisticamente significativa ao nível dos 5%.

Quadro 4.3- Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador RX5D, em que  $y$  é a precipitação em cinco dias consecutivos (em mm) e  $t$  é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).

Estações	Ano inicial	Ano final	n	Teste Z	Estimativa de Sen	Significância
<b>Beja</b>	1941	2004	64	0,20	$y = 0,047 \cdot t + 79,59$	n.s.
<b>Bragança</b>	1945	2004	60	0,19	$y = 0,058 \cdot t + 91,23$	n.s.
<b>Coimbra</b>	1941	1994	54	0,61	$y = 0,123 \cdot t + 105,11$	n.s.
<b>Lisboa</b>	1941	2004	64	0,65	$y = 0,139 \cdot t + 96,32$	n.s.
<b>Porto</b>	1941	2004	64	0,12	$y = 0,032 \cdot t + 121,67$	n.s.
<b>Tavira</b>	1941	2004	64	-0,78	$y = -0,155 \cdot t + 93,93$	n.s.



No Quadro 4.3 verifica-se que 5 em 6 estações têm tendência para aumentar a quantidade de precipitação em 5 dias consecutivos. No entanto, nenhuma destas tendências são significativas. Em de Lima et al. (2013), no período 1941-2012, cerca de 70% das estações têm tendência para diminuir sendo que 22% têm um resultado estatisticamente significativo. Em Espírito Santo et al. (2014), no período 1941-2007, 8,8% das 57 estações têm tendência estatisticamente significativa (ao nível dos 5%) para diminuir RX5D no outono. No entanto, nas restantes estações do ano a tendência estatisticamente significativa é de aumento. Os resultados obtidos no indicador RX5D não estão de acordo com os estudos de outros autores, uma vez que este indicador depende da localização e dos eventos pluviosos extremos, tais como o número de dias com precipitação superior a 20 mm (R20). Ou seja, a tendência do indicador RX5D acompanha o aumento ou diminuição de R20.

## R20

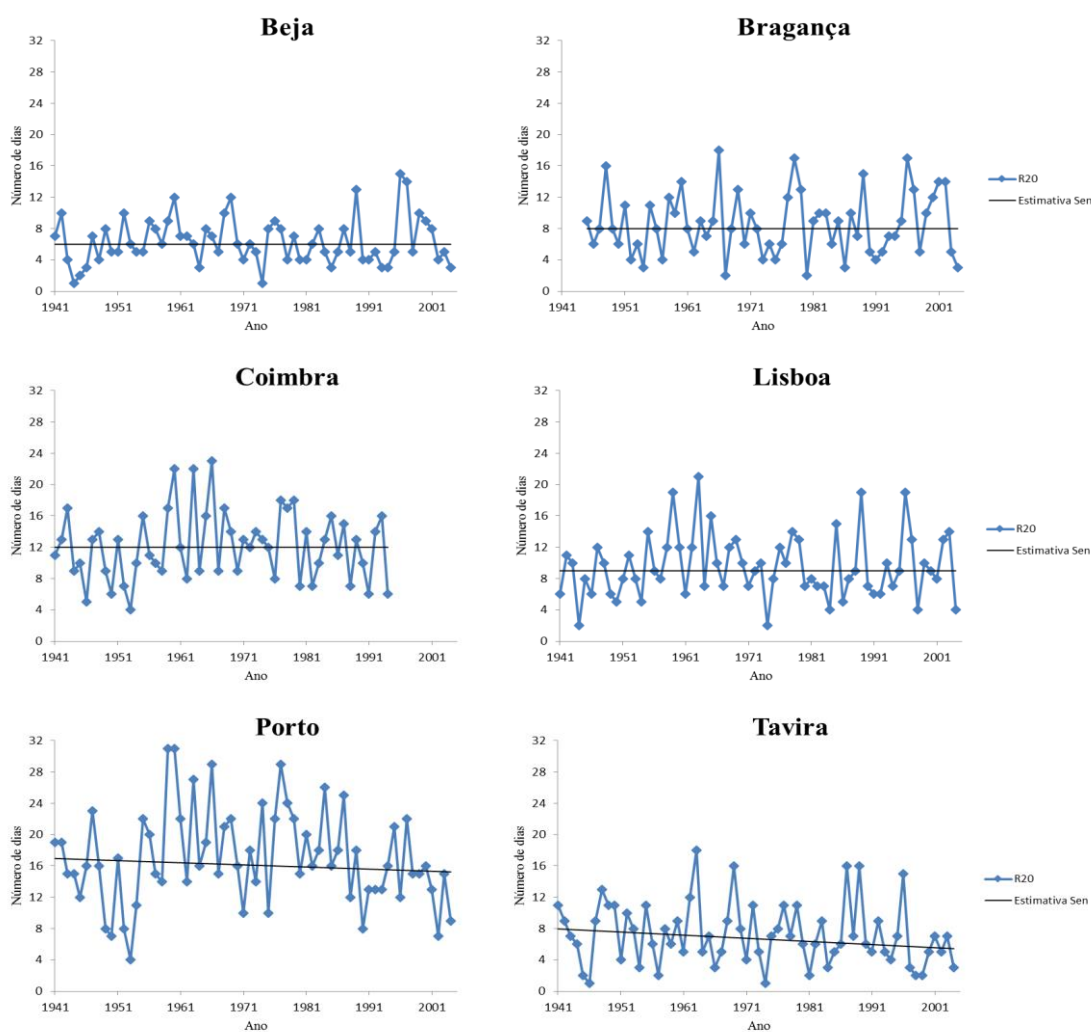


Figura 4.4 – Gráficos das tendências anuais do indicador R20 para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

A partir do indicador R20 (Figura 4.4) verificam-se grandes oscilações ao longo dos anos.

No Quadro 4.4 observa-se as tendências dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador R20, sendo que as estações de Beja, Bragança, Coimbra e Lisboa apresentam um valor médio de R20 de 6, 8, 12 e 9 dias, respetivamente.

Quadro 4.4 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador R20, em que  $y$  é o número de dias com precipitação igual ou superior a 20 mm (em dias) e  $t$  é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).

Estações	Ano inicial	Ano final	n	Teste Z	Estimativa de Sen	Significância
<b>Beja</b>	1941	2004	64	-0,19	$y = 6$	n.s.
<b>Bragança</b>	1945	2004	60	0,33	$y = 8$	n.s.
<b>Coimbra</b>	1941	1994	54	0,39	$y = 12$	n.s.
<b>Lisboa</b>	1941	2004	64	0,29	$y = 9$	n.s.
<b>Porto</b>	1941	2004	64	-0,83	$y = -0,027 \cdot t + 16,95$	n.s.
<b>Tavira</b>	1941	2004	64	-1,63	$y = -0,040 \cdot t + 7,96$	n.s.

As estações de Beja, Porto e Tavira apresentam diminuição da tendência, enquanto as estações de Bragança, Coimbra e Lisboa exibem um aumento da tendência sendo que nenhuma é estatisticamente significativa. Deste modo, não é possível concluir se a tendência é de acréscimo ou decréscimo no número de dias por ano com precipitação maior ou igual a 20mm. Esta tendência foi igualmente confirmada por outros autores, tais como:

- de Lima et al. (2012) em que os resultados referentes ao período 1941-2007 indicam uma tendência geral de diminuição do R20, sendo que a tendência entre 1945-1975 é de aumento e entre 1976-2007 é de decréscimo.
- de Lima et al. (2014) em que se verifica um decréscimo deste indicador em cerca de 72% das estações, relativamente ao período 1941-2007, sendo que 16% são significativas ao nível dos 5%.

Para o indicador em questão foi realizada uma análise ao período de retorno de uma precipitação diária igual ou superior a 20 mm (Quadro 4.5) de modo a se verificar com que frequência ocorrem este tipo de eventos e a estimar a probabilidade de ocorrência dos mesmos. Para tal utilizaram-se séries mensais, com o objetivo de melhor conhecer a sazonalidade destes eventos nas estações climatológicas em estudo, recorrendo ao método de Gumbel.

Quadro 4.5 – Períodos de retorno (em anos) para a precipitação diária de pelo menos 20 mm relativamente às 6 estações, entre 1941-2004, estimados pelo método de Gumbel.

	<b>Jan.</b>	<b>Fev.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>Mai.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Set.</b>	<b>Out.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dez.</b>
<b>Beja</b>	2,3	2,4	2,0	3,0	4,8	8,0	-	-	3,7	2,2	1,9	1,8
<b>Bragança</b>	1,8	2,4	2,6	2,9	2,8	3,0	6,7	11,9	3,0	2,0	1,8	1,7
<b>Coimbra</b>	1,4	1,6	1,9	2,0	1,8	3,1	7,6	7,7	2,2	1,6	1,5	1,4
<b>Lisboa</b>	1,5	1,8	1,9	2,5	3,1	8,6	52,5	38,3	3,4	1,8	1,4	1,6
<b>Porto</b>	1,3	1,4	1,6	1,6	1,6	3,0	9,0	4,1	1,8	1,3	1,2	1,2
<b>Tavira</b>	1,6	1,9	2,5	3,5	5,1	15,5	-	-	4,4	2,0	1,6	1,5

A partir do Quadro 4.5 verifica-se que o período de retorno varia espacialmente e sazonalmente ao longo de Portugal Continental. Sendo que nos meses de julho e agosto não é possível calcular o período de retorno para as estações de Beja e Tavira uma vez que não há nenhuma ocorrência de um evento pluvioso igual ou superior a 20 mm.

No geral, o período de retorno é maior no verão, que é caracterizado pelo tempo seco e quente, e menor no outono e no inverno, onde estes eventos são mais frequente (períodos de retorno entre 1 a 2 anos).

## CDD

Na Figura 4.5 encontra-se o gráfico com os resultados das tendências para as várias estações relativamente ao indicador CDD.

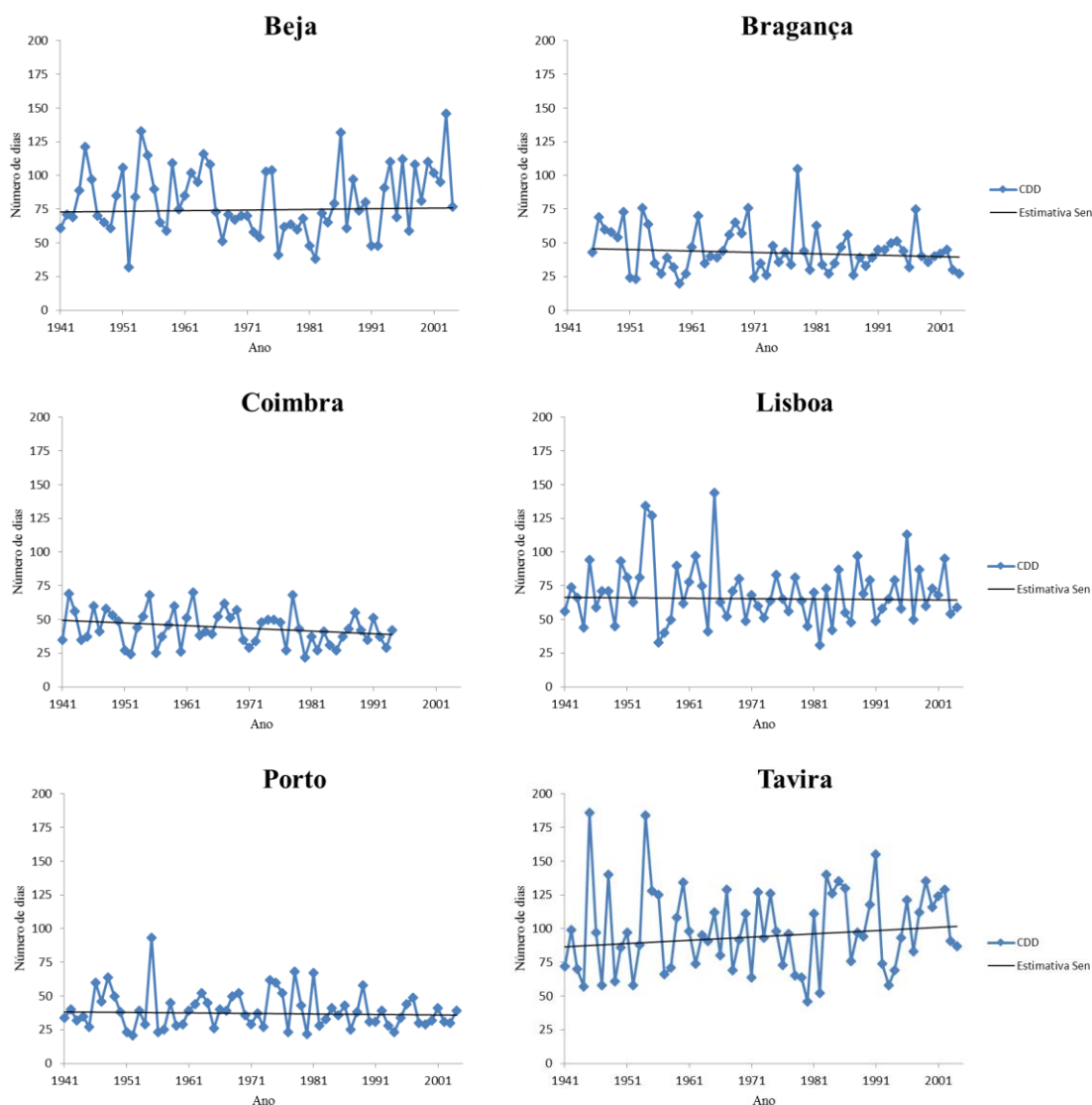


Figura 4.5 – Gráficos das tendências anuais do indicador CDD para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

As estações mais secas são Beja e Tavira que correspondem à parte sul de Portugal Continental. Estas ultrapassam os 100 dias consecutivos sem precipitação (Figura 4.5), o que pode conduzir a períodos de seca extrema, principalmente no verão, e a problemas na disponibilidade de água.

No Quadro 4.6 apresentam-se as tendências estimadas com os testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador CDD, em que na maior parte das estações (4 em 6 estações) a tendência é de

diminuir o número de dias de seca consecutivos, embora nenhuma tendência seja estatisticamente significativa.

Quadro 4.6 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador CDD, em que  $y$  é o número de dias secos consecutivos (em dias) e  $t$  é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).

<b>Estações</b>	<b>Ano inicial</b>	<b>Ano final</b>	<b>n</b>	<b>Teste Z</b>	<b>Estimativa de Sen</b>	<b>Significância</b>
<b>Beja</b>	1941	2004	64	0,28	$y = 0,048 \cdot t + 72,90$	n.s.
<b>Bragança</b>	1945	2004	60	-0,80	$y = -0,105 \cdot t + 46,11$	n.s.
<b>Coimbra</b>	1941	1994	54	-1,60	$y = -0,200 \cdot t + 49,40$	n.s.
<b>Lisboa</b>	1941	2004	64	-0,24	$y = -0,032 \cdot t + 66,38$	n.s.
<b>Porto</b>	1941	2004	64	-0,50	$y = -0,038 \cdot t + 38,25$	n.s.
<b>Tavira</b>	1941	2004	64	1,07	$y = 0,2409 \cdot t + 86,54$	n.s.

Comparando os resultados com outros estudos:

- Em de Lima et al. (2013), no período 1941-2012 observa-se uma diminuição deste indicador em cerca de 2/3 das estações;
- Em de Lima et al. (2014), foram encontradas tendências negativas no período 1941-2007 em 80% das estações, sendo que 18% destas apresentam um resultado estatisticamente significativo ao nível dos 5%.

## CWD

Na Figura 4.6 observa-se o número de dias consecutivos com precipitação através dos gráficos com os resultados de tendências para as várias estações.

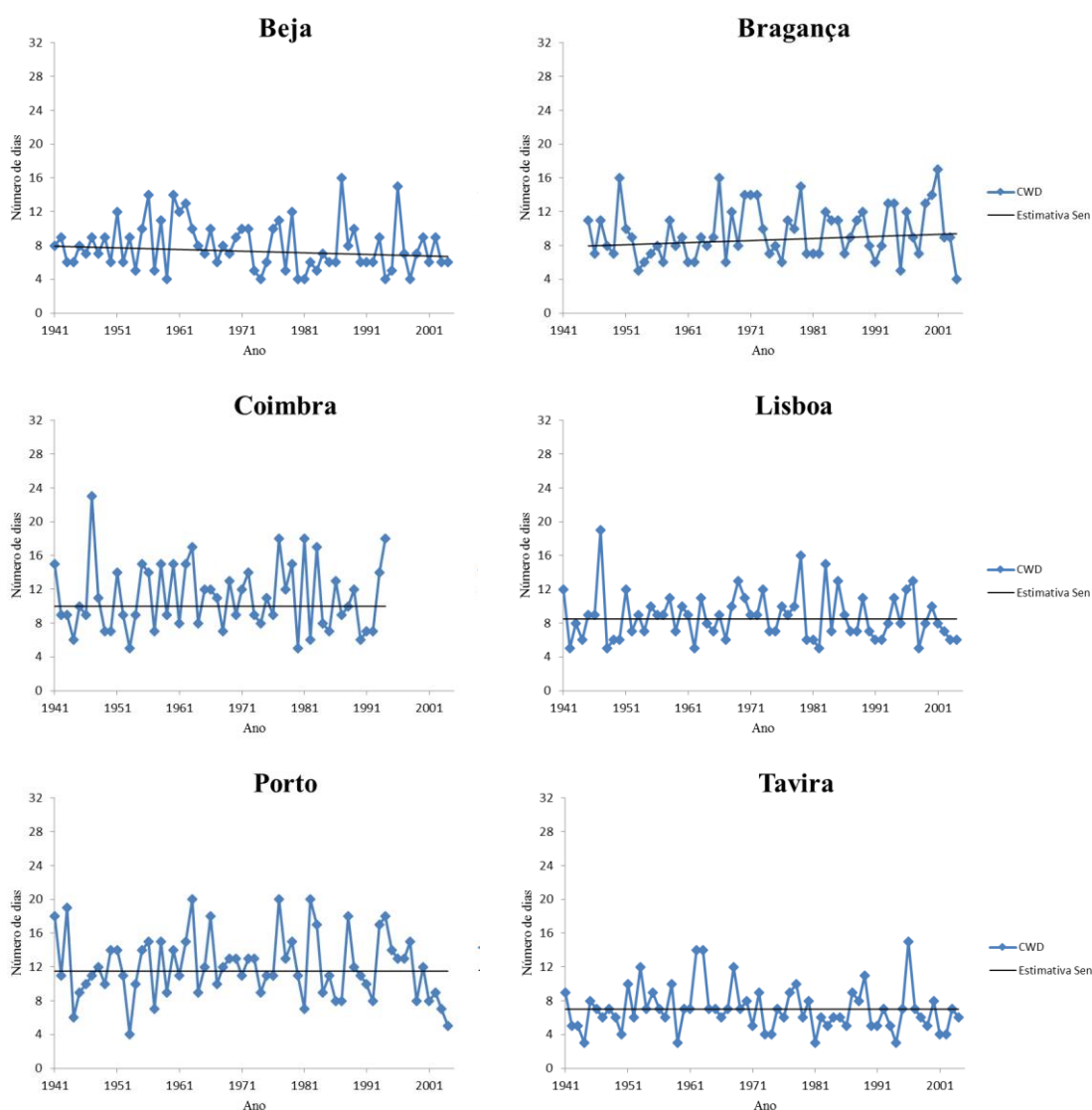


Figura 4.6 – Gráficos das tendências anuais do indicador CWD para Beja (1941-2004), Bragança (1945-2004), Coimbra (1941-1994), Lisboa (1941-2004), Porto (1941-2004) e Tavira (1941-2004).

No Quadro 4.7 apresenta-se as tendências do teste de Mann-Kendall e do teste de Sen. A partir do Quadro 4.7 é possível verificar que em 4 das 6 estações de Portugal Continental têm tendência para diminuir o número máximo de dias consecutivos com precipitação, embora as tendências não sejam estatisticamente significativas.

Quadro 4.7 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador CWD, em que  $y$  é o número de dias consecutivos com precipitação (em dias) e  $t$  é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).

Estações	Ano inicial	Ano final	n	Teste Z	Estimativa de Sen	Significância
<b>Beja</b>	1941	2004	64	-1,41	$y = -0,019 \cdot t + 7,92$	n.s.
<b>Bragança</b>	1945	2004	60	1,21	$y = 0,024 \cdot t + 7,85$	n.s.
<b>Coimbra</b>	1941	1994	54	0,08	$y = 12,37$	n.s.
<b>Lisboa</b>	1941	2004	64	-0,24	$y = 8,50$	n.s.
<b>Porto</b>	1941	2004	64	-0,73	$y = 14,43$	n.s.
<b>Tavira</b>	1941	2004	64	-1,06	$y = 7$	n.s.

Esta tendência foi também confirmada por de Lima et al. (2013) para o período 1941-2012, em que cerca de 80% das 27 estações apresentam tendência de diminuição relativamente ao número de dias consecutivos com precipitação. E por de Lima et al. (2014) para o período de 1941-2007, em que 77% das 57 estações apresenta uma tendência para diminuir, sendo que 11% são significativas ao nível dos 5%.

O Quadro 4.8 apresenta o resumo das tendências dos indicadores de extremos de precipitação para o período de 1941-2004.

Quadro 4.8 - Tendência dos indicadores anuais de precipitação: percentagem de estações com tendências positivas +/negativas - e correspondentes tendências estatisticamente significativas (Sig) ao nível de 5%.

Indicadores	PRCTOT	RX1D	RX5D	R20	CDD	CWD
+	17	67	83	50	33	33
<b>Sig +</b>	0	0	0	0	0	0
-	83	33	17	50	67	67
<b>Sig -</b>	17	0	0	0	0	0

O decréscimo da precipitação total anual apenas é estatisticamente significativo ao nível dos 5% na estação de Tavira (região mais vulnerável), o que poderá ter implicações nos episódios de escassez de água e, conseqüentemente, no uso e gestão de sistemas hidráulicos, como por exemplo, na manutenção do sistema de drenagem e tratamento de água.

O aumento da precipitação máxima em 1 dia e em 5 dias consecutivos determina o aumento da intensidade dos eventos extremos de precipitação, sendo que estes indicadores são importantes do ponto de vista da vulnerabilidade e do risco de ocorrência de cheias.

A tendência observada no número de dias consecutivos secos e com precipitação é também de notar. No sul de Portugal Continental (estações de Beja e Tavira), a tendência observada é de aumento do número de dias consecutivos secos e de diminuição do número de dias consecutivos com precipitação, o que eventualmente poderá ter conseqüências na disponibilidade e na qualidade da água nos sistemas de abastecimento de água.

Relativamente ao número de dias em que a precipitação é igual ou superior a 20 mm, não é possível concluir se a tendência é de aumento ou diminuição para Portugal Continental. No entanto a probabilidade de ocorrência deste tipo de eventos varia espacial e sazonalmente. No geral, o período de retorno é maior no verão, uma vez que é caracterizado pelo tempo seco, e menor no outono e no inverno, devido a ser mais frequente o número de dias com este valor acumulado de precipitação.

Estas tendências terão impactes no uso, gestão, dimensionamento e conceção dos sistemas de abastecimento de água e de drenagem de água, pelo que poderá ser necessário adaptar cada sistema aos cenários previstos. Alguns exemplos de medidas que poderão ser adotadas são (ESAAC-RH, 2013):

- Promoção do uso eficiente da água;
- Reforço e diversificação da origem da água;
- Manutenção das condições de operação dos sistemas;
- Controlo do risco de cheias urbanas.



### 4.3 Indicadores de temperatura do ar

Neste subcapítulo são analisados os resultados da análise de tendências das séries temporais para as estações de Beja, Bragança, Porto e Tavira relativamente aos indicadores de temperatura do ar, mínima e máxima.

#### TNx e TNn

Na Figura 4.7 e na Figura 4.8 apresentam-se os gráficos das tendências anuais dos indicadores da temperatura mínima diária.

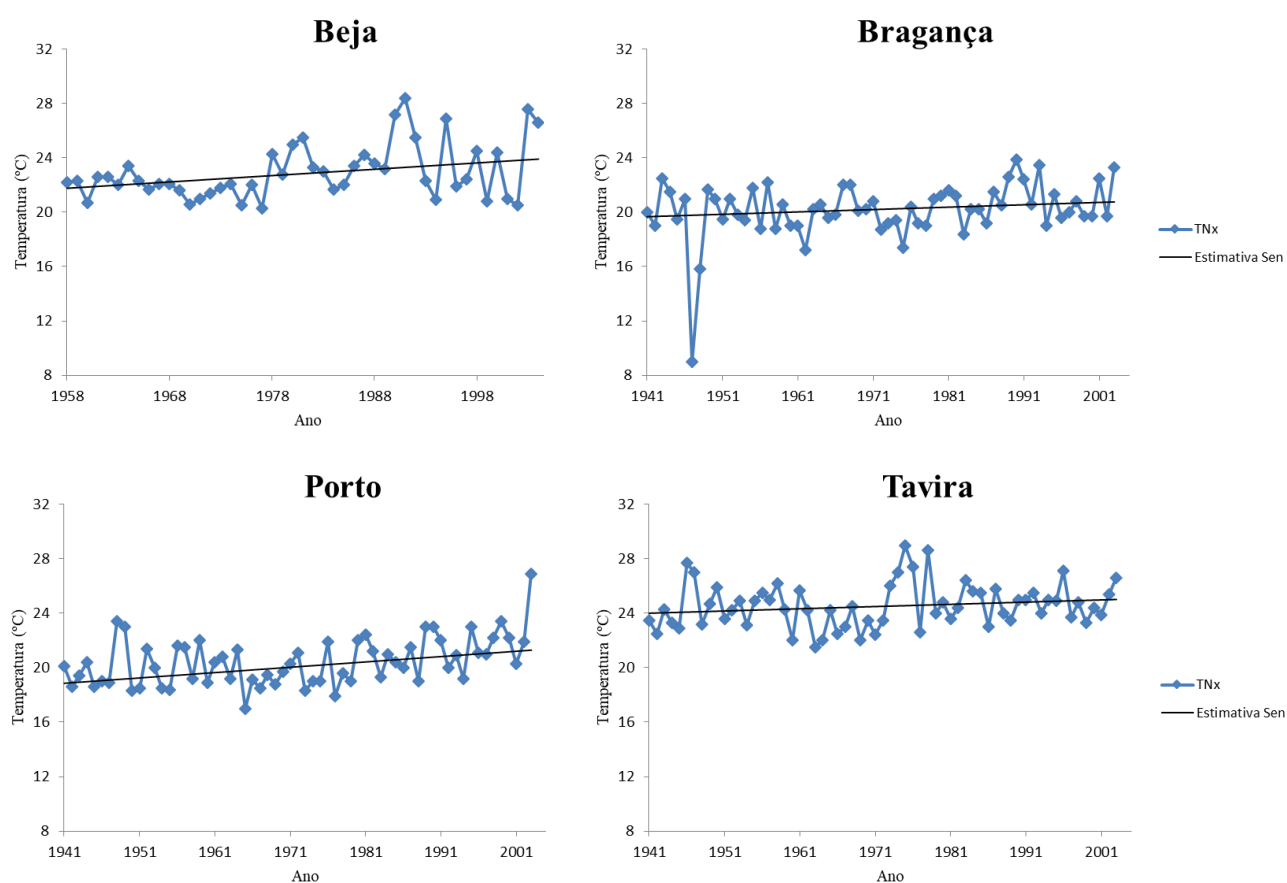


Figura 4.7 – Gráficos das tendências anuais do indicador TNx para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2003) e Tavira (1941-2003).

Na Figura 4.7 observa-se tendência de aumento do valor máximo da temperatura mínima do ar, que é apoiado pelo teste de Mann-Kendall e pelo teste de Sen (Quadro 4.9), em todas as estações. As estações de Beja e do Porto apresentam tendência estatisticamente significativa ao nível 5% e 0,1%, respetivamente.

Quadro 4.9 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador TNx, em que y é o valor máximo da temperatura mínima do ar (em °C) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).

Estações	Ano inicial	Ano final	n	Teste Z	Estimativa de Sen	Significância
<b>Beja</b>	1958	2004	47	2,01	$y = 0,047 \cdot t + 20,97$	*
<b>Bragança</b>	1941	2003	63	1,64	$y = 0,018 \cdot t + 19,68$	n.s.
<b>Porto</b>	1941	2003	63	3,37	$y = 0,039 \cdot t + 18,86$	***
<b>Tavira</b>	1941	2003	63	1,44	$y = 0,016 \cdot t + 24,01$	n.s.

Esta tendência é confirmada por Espírito Santo et al. (2014), em que o indicador TNx apresenta, para o período 1941-2006, uma tendência de aumento estatisticamente significativa em todas as estações do ano.

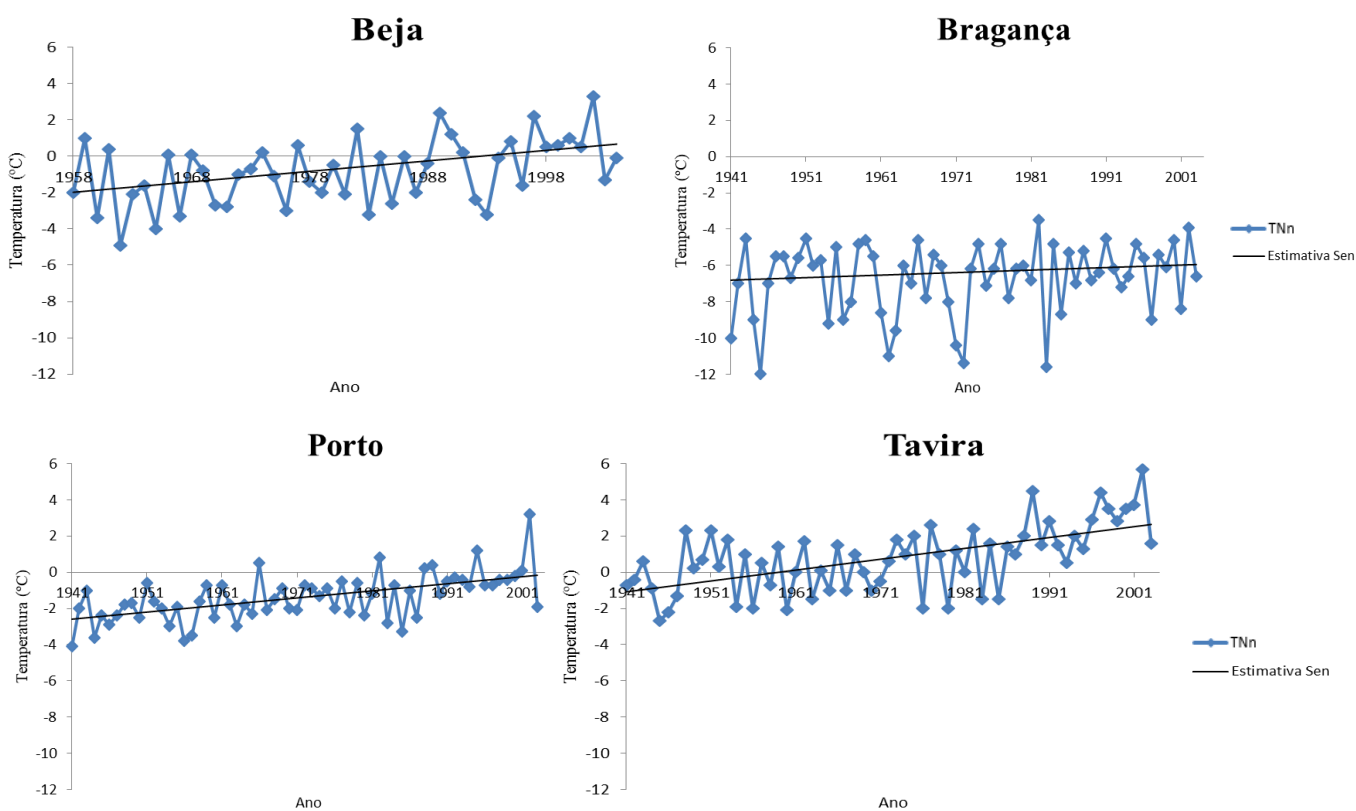


Figura 4.8 – Gráficos das tendências anuais do indicador TNn para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2003) e Tavira (1941-2003).

Na Figura 4.8 verifica-se que a tendência do valor mínimo da temperatura mínima do ar é de aumento em todas as estações, como se pode observar pelo teste de Sen no Quadro 4.10. A estação de Braga apresenta tendência estatisticamente significativa ao nível dos 1% e as estações de Porto e Tavira ao nível dos 0,1%, sendo que neste caso apenas a estação de Bragança não apresenta tendência estatisticamente significativa.

Quadro 4.10 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador TNn, em que  $y$  é o valor mínimo da temperatura mínima do ar (em °C) e  $t$  é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).

Estações	Ano inicial	Ano final	n	Teste Z	Estimativa de Sen	Significância
<b>Beja</b>	1958	2004	47	2,87	$y = 0,058 \cdot t - 2,96$	**
<b>Bragança</b>	1941	2003	63	1,72	$y = 0,017 \cdot t - 6,81$	n.s.
<b>Porto</b>	1941	2003	63	4,89	$y = 0,039 \cdot t - 2,59$	***
<b>Tavira</b>	1941	2003	63	4,75	$y = 0,060 \cdot t - 1,08$	***

Em Lima et al. (2012), os autores concluem que as noites frias (TNn) estão a aquecer, sendo que a tendência deste indicador é positiva em 22 das 23 estações no período de 1941-2006 e 13 destas estações são estatisticamente significantes ao nível dos 5%.

### TXx e TXn

Na Figura 4.9 e na Figura 4.10 apresentam-se os gráficos das tendências anuais dos indicadores da temperatura máxima diária.

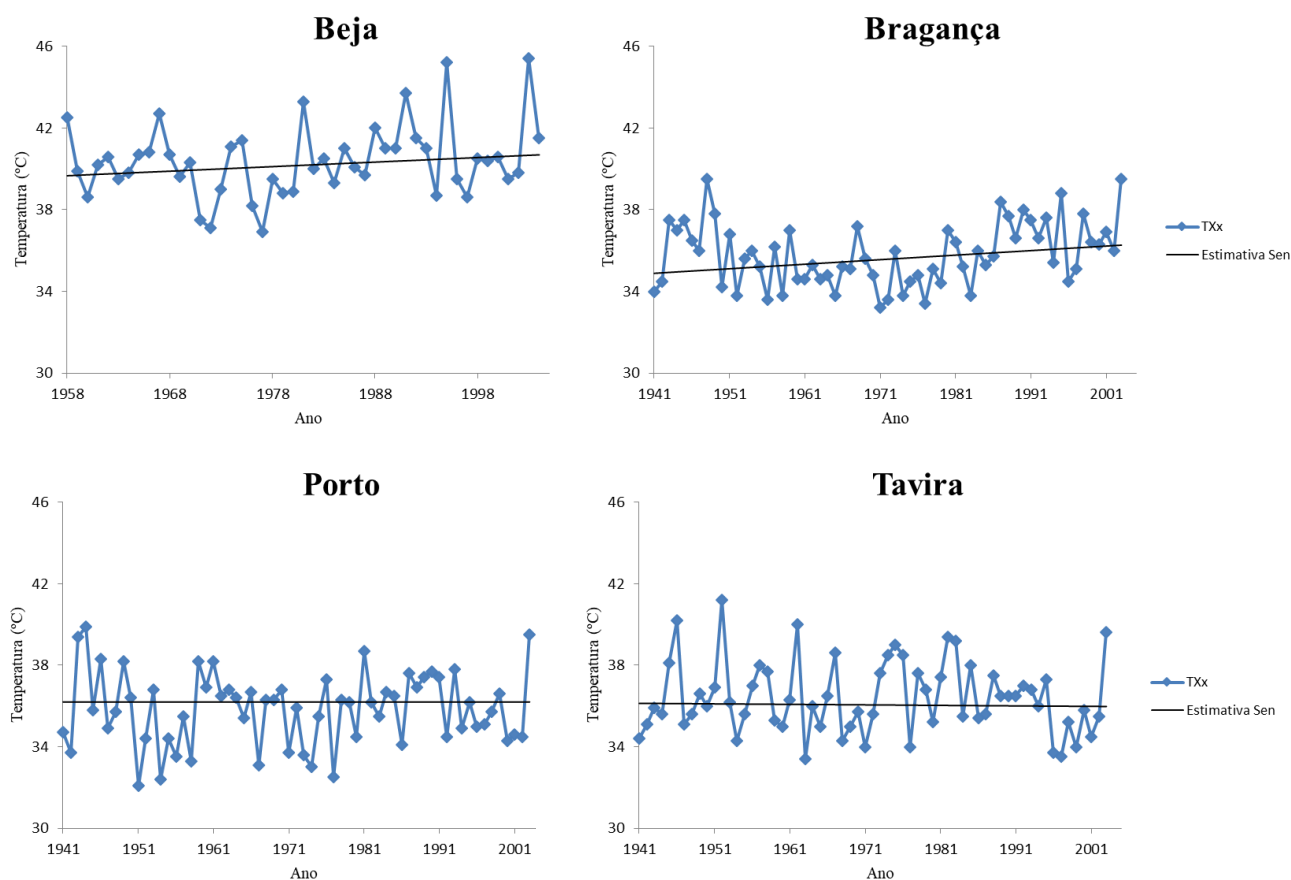


Figura 4.9 – Gráficos das tendências anuais do indicador TXx para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2003) e Tavira (1941-2003).

Quadro 4.11 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador TXx, em que  $y$  é o valor máximo da temperatura máxima do ar (em °C) e  $t$  é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).

Estações	Ano inicial	Ano final	n	Teste Z	Estimativa de Sen	Significância
<b>Beja</b>	1958	2004	47	1,27	$y = 0,022 \cdot t + 39,29$	n.s.
<b>Bragança</b>	1941	2003	63	1,75	$y = 0,022 \cdot t + 34,89$	+
<b>Porto</b>	1941	2003	63	0,12	$y = 36,20$	n.s.
<b>Tavira</b>	1941	2003	63	-0,28	$y = -0,003 \cdot t + 36,13$	n.s.

A partir da Figura 4.9 e do Quadro 4.11 verifica-se um aumento do valor máximo da temperatura máxima do ar na maior parte das estações, sendo que apenas Bragança apresenta tendência estatisticamente significativa ao nível dos 10%.

Esta tendência é confirmada por de Lima et al. (2012), para o período de 1941-2006, em que a tendência do indicador TXx é positiva em aproximadamente 96% das estações, sendo que metade apresenta resultados estatisticamente significantes ao nível de 5%.

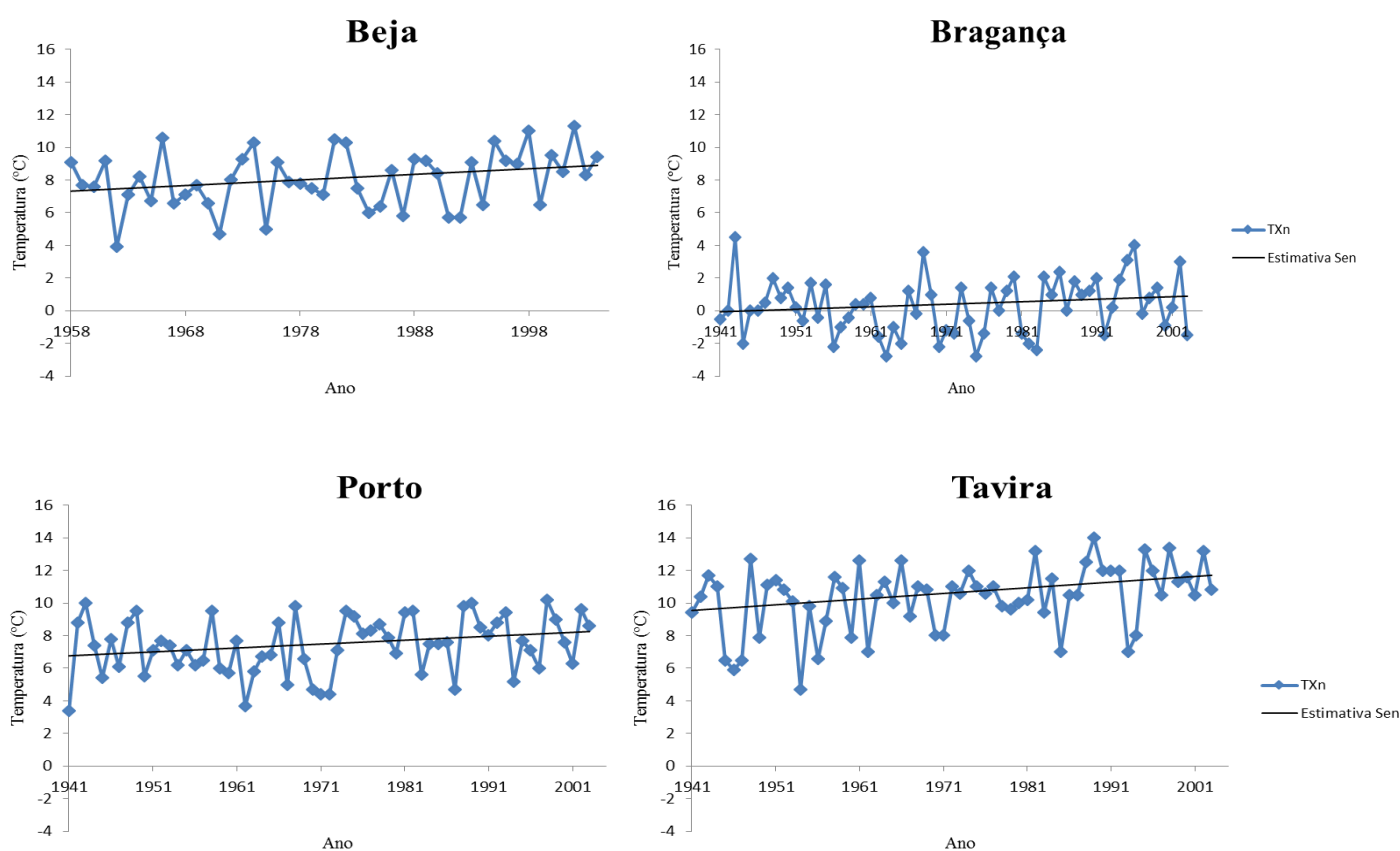


Figura 4.10 – Gráficos das tendências anuais do indicador TXn para Beja (1958-2004), Bragança (1941-2003), Porto (1941-2003) e Tavira (1941-2003).

A partir da Figura 4.10 e do Quadro 4.12 é possível observar o aumento do valor mínimo da temperatura máxima do ar, em que a tendência é positiva em todas as estações sendo que no Porto e em Tavira a tendência é estatisticamente significativa ao nível dos 10 % e de 1%, respetivamente. Em Espírito Santo et al. (2014), o indicador TXn apresenta uma tendência de aumento no verão em 61% das 23 estações no subperíodo de 1976-2006, apesar de a tendência não ser estatisticamente significativa.

Quadro 4.12 - Resultados dos testes de Mann-Kendall e de Sen para o indicador TXn, em que y é o valor mínimo da temperatura máxima do ar (em °C) e t é a diferença entre o ano em estudo e o ano inicial (em anos).

Estações	Ano inicial	Ano final	n	Teste Z	Estimativa de Sen	Significância
<b>Beja</b>	1958	2004	47	1,54	$y = 0,034 \cdot t + 6,74$	n.s.
<b>Bragança</b>	1941	2003	63	1,18	$y = 0,015 \cdot t - 0,06$	n.s.
<b>Porto</b>	1941	2003	63	1,79	$y = 0,024 \cdot t + 6,76$	+
<b>Tavira</b>	1941	2003	63	2,69	$y = 0,035 \cdot t + 9,55$	**

O Quadro 4.13 apresenta o resumo das tendências dos indicadores de extremos da temperatura do ar para o período de 1941-2004.

Quadro 4.13 - Tendência dos indicadores anuais da temperatura do ar: percentagem de estações com tendências positivas +/negativas - e correspondentes tendências estatisticamente significativas (Sig) ao nível de 0,1% (\*\*\*), de 1% (\*\*), de 5% (\*) e de 10% (+).

Indicadores	TNx	TNn	TXx	TXn
+	100	100	75	100
Sig +	50 (***)	25 (***)	25 (**)	25 (+)
	25 (**)	25 (*)	25 (+)	
-	0	0	25	0
Sig -	0	0	0	0

Os resultados obtidos relativamente aos indicadores de extremos das temperaturas do ar estão de acordo com os estudos de outros autores. Segundo de Lima et al. (2012), os indicadores de temperatura do ar apresentam tendências consistentes com o aumento da temperatura reportado globalmente. Este aumento poderá originar períodos de seca com vagas de calor e escassez de água o que afetará os centros urbanos, assim como a respetiva população.

#### 4.4. Estação meteorológica automática

Neste subcapítulo são analisados os resultados da altura de precipitação medida pelos vários equipamentos, nomeadamente a relação entre os registos obtidos pela EMA e os obtidos pelos udómetros para várias intensidades. Assim como a altura de precipitação medida pela EMA e alguns recipientes como se fossem udómetros com o simulador de chuva móvel.

##### Simulação de chuvada estática durante um determinado intervalo de tempo:

Na Figura 4.11 e na Figura 4.12 apresentam-se, respetivamente, a altura de precipitação obtida por cada equipamento em cada uma das posições e a altura de precipitação acumulada obtida em cada posição, durante 5 minutos, sendo que o Quadro B.1 complementa ambas as figuras.

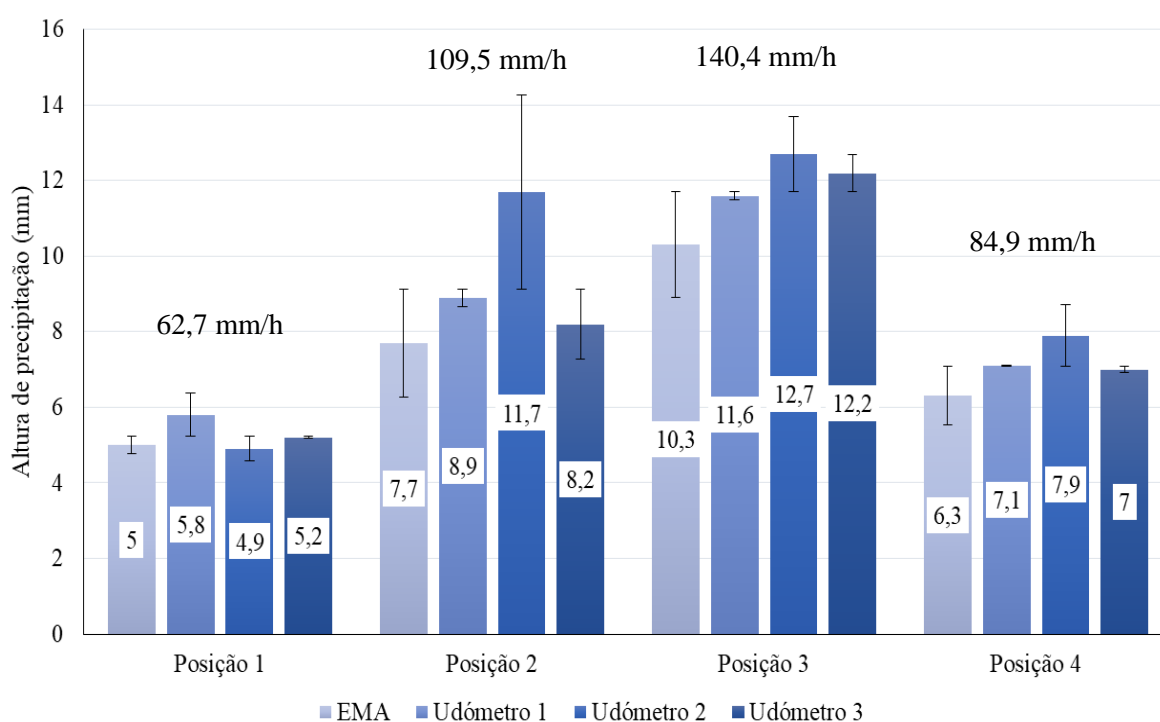


Figura 4.11 - Altura de precipitação, em mm, obtida por cada equipamento em cada uma das posições para 3 repetições de eventos com a duração de 5 minutos com a respetiva intensidade (ver Figura 3.5)

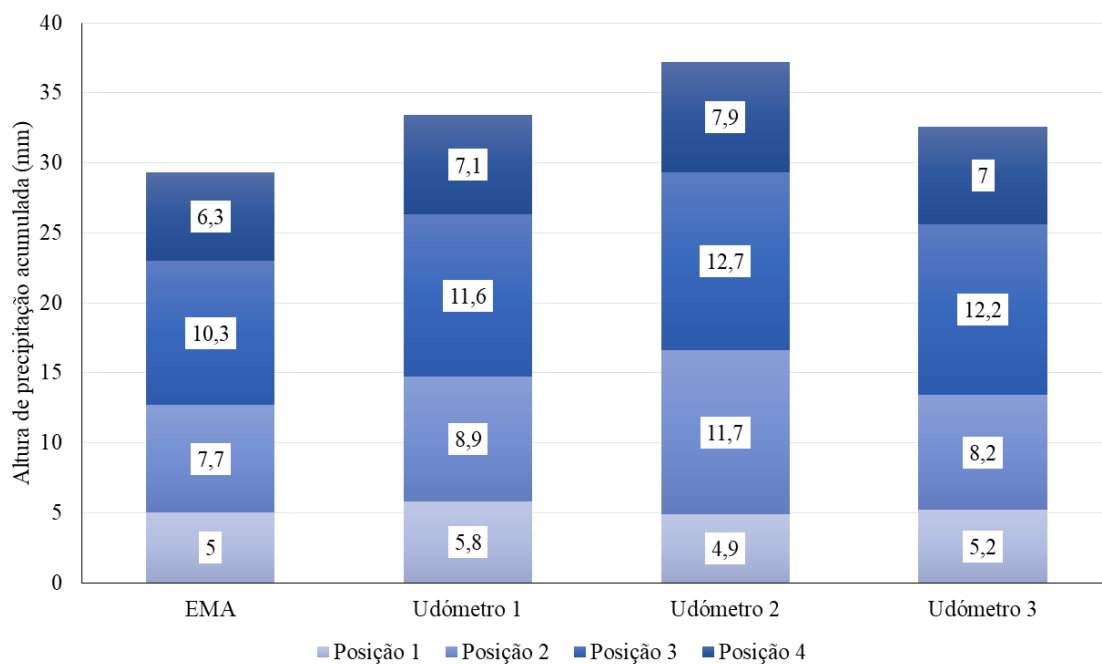


Figura 4.12 - Altura de precipitação acumulada, em mm, obtida pela EMA e pelos udómetros para 3 repetições de eventos com a duração de 5 minutos.

A Figura 4.13 apresenta a relação entre os registos das alturas de precipitação obtida pela EMA e os obtidos pelos udómetros.

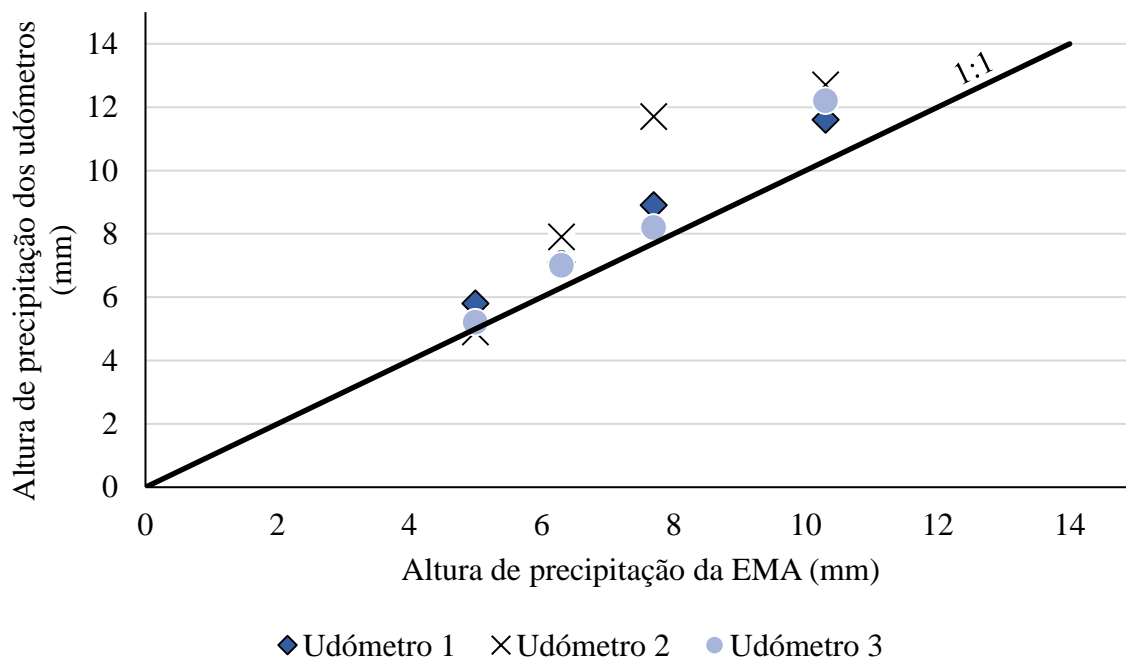


Figura 4.13 – Relação entre as alturas de precipitação obtidas pelos udómetros e pela EMA, em mm, para 3 repetições de eventos com a duração de 5 minutos.



Das Figuras 4.11 a 4.13 observa-se que:

- As posições onde há mais precipitação são as posições centrais, o que é expectável devido à distribuição espacial da chuvada em que as posições mais próximas do nebulizador são as que recolhem mais precipitação relativamente às posições mais afastadas que conseguem captar muito menos;
- Quanto maior for a diferença entre o valor da média da altura de precipitação obtida relativamente ao valor médio da altura de precipitação em cada posição, maior é o desvio padrão associado;
- O equipamento que captou mais precipitação foi o udómetro 2, com uma altura de precipitação acumulada de 37,2 mm, e o que captou menos foi a EMA, com uma altura de precipitação acumulada de 29,3 mm;
- Os valores da altura de precipitação dos udómetros em função dos valores da altura de precipitação da EMA não se adaptam à reta 1:1, sendo que a maior parte dos valores se encontram acima desta.

#### Simulação de chuvada móvel em função da velocidade:

Na Figura 4.14 e na Figura 4.15 apresentam-se, respetivamente, a altura de precipitação obtida pela EMA e pelos udómetros improvisados (ver Figura 3.6) e a altura de precipitação acumulada obtida com o simulador de chuva móvel a uma velocidade constante, sendo estas complementadas pelo Quadro B.2.

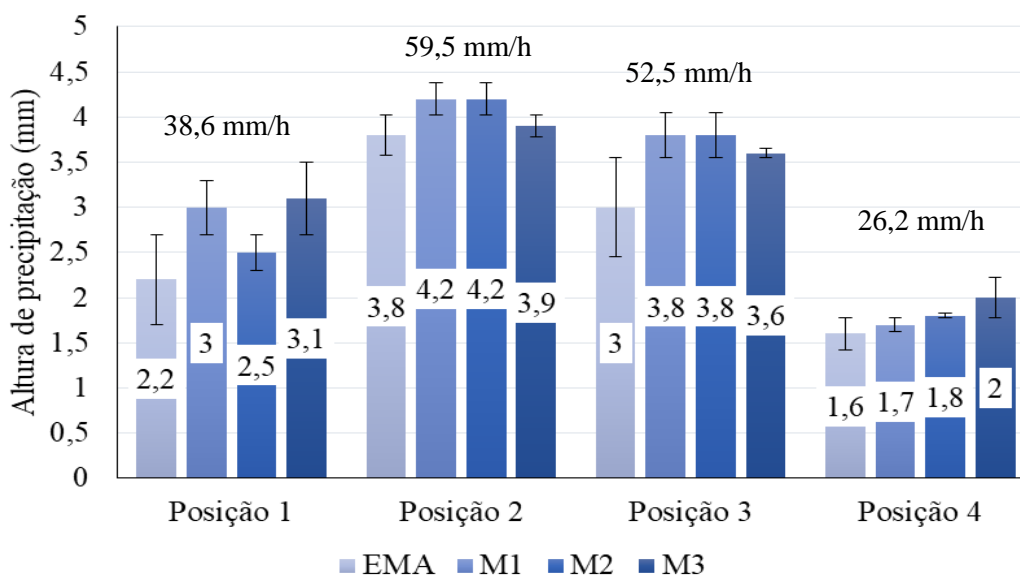


Figura 4.14 - Altura de precipitação, em mm, obtida pela EMA e pelos udómetros improvisados em cada uma das posições com a respetiva intensidade (ver Figura 3.6) durante um evento de 4 minutos.

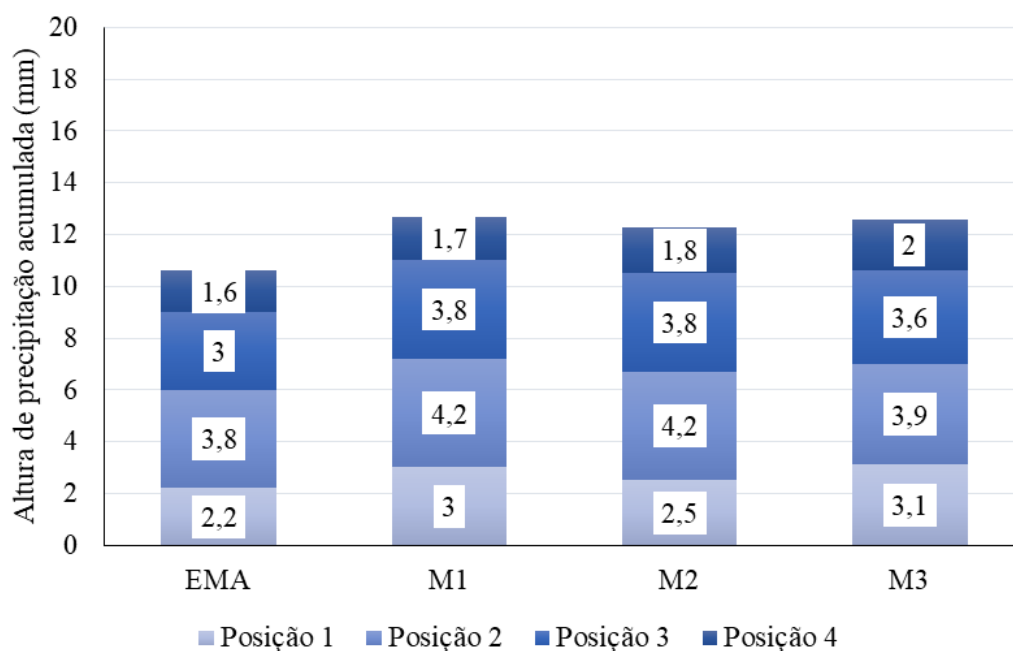


Figura 4.15 – Altura de precipitação acumulada, em mm, obtida pela EMA e pelos vários udómetros improvisados durante um evento de 4 minutos.

A partir das Figuras 4.14 e 4.15 conclui-se:

- As posições onde há mais precipitação e maior intensidade são as posições centrais, o que tem explicação no tipo de dispositivo usado para simular a precipitação no laboratório;
- O udómetro improvisado M1 foi o que captou mais precipitação, com uma altura de precipitação acumulada de 12,7 mm, e a EMA foi a que captou menos precipitação, com uma altura de precipitação acumulada de 10,6 mm;
- O total de precipitação da EMA é inferior ao obtido pelos udómetros improvisados; no entanto os valores são mais próximos do que os obtidos com os udómetros convencionais;
- Quanto mais semelhantes são os diâmetros dos udógrafos/udómetros utilizados, maior é a coerência dos registos obtidos pela EMAs relativamente aos outros equipamentos.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Na presente dissertação realizou-se uma análise de tendências de indicadores de extremos de precipitação e de temperatura do ar, de modo a perceber melhor como é que as alterações climáticas poderão influenciar o uso e a gestão da água em Portugal Continental. Relativamente à monitorização ambiental, acompanhou-se a instalação de uma EMA e analisou-se comparativamente os registos de precipitação obtidos pela EMA e por outros udómetros, para se confirmar se os registos obtidos são coerentes entre os vários equipamentos; esta informação é pertinente à análise da consistência de dados pluviométricos.

Os resultados obtidos na análise de tendências dos indicadores de extremos de precipitação para Portugal Continental entre 1941 a 2004 confirmam tendências recentes sinalizadas por outros autores: uma diminuição da precipitação total anual, assim como uma diminuição da duração dos períodos secos e húmidos (i.e., dias consecutivos secos e com precipitação) e ainda um aumento da intensidade dos eventos pluviosos. Estas modificações podem ser manifestações das alterações climáticas, preconizadas por vários modelos, e têm implicações nas zonas urbanas: por exemplo, impactes no uso, gestão, dimensionamento e conceção dos sistemas de abastecimento e de drenagem de água.

Os resultados obtidos na análise de tendências dos indicadores de extremos de temperatura do ar sugerem o aumento das temperaturas mínimas e máximas do ar em Portugal Continental entre 1941 e 2004. Este aumento de temperatura do ar contribui, a par da escassez de água, para a ocorrência de períodos de seca em todo o país, estando em risco a diminuição da quantidade e da qualidade da água disponível e prejudicando populações e atividades. Deste modo, espera-se que o agravamento da variabilidade climática e hidrológica (de origem natural ou antropogénica), já sugerido pela análise de tendência recente nas variáveis climáticas estudadas (precipitação e temperatura do ar), possa afetar Portugal Continental, principalmente em zonas urbanas, sendo necessário aplicar soluções de baixo custo e duradouras para minimizar os problemas associados a estas variabilidades; por exemplo, no que respeita à precipitação, bacias de retenção/detenção e aproveitamento de águas pluviais.

Os resultados da análise comparativa da precipitação registada por uma EMA e outros tipos de udómetros mostram que a diferença entre os registos obtidos por vários equipamentos poderá afetar séries de precipitação e, conseqüentemente, a sua comparação e a estimativa de tendências. É portanto, pertinente o processamento de dados pluviométricos para deteção de problemas de inconsistências nos dados e o acesso a meta-dados. Atualmente as EMAs são utilizadas em Portugal Continental, por exemplo, pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera, na rede udométrica automática.

Para trabalhos futuros seria interessante desenvolver trabalhos de investigação específicos para a zona sul de Portugal Continental direccionados para as temáticas das alterações climáticas e da gestão da água, assim como estudar a capacidade de implementação de medidas concretas nesta zona do país.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcoforado, M. J.; Andrade, H.; Oliveira, S.; Festas, M. J.; Rosa, F. (2009). “Alterações climáticas e desenvolvimento urbano.”. Política de cidades. Lisboa: Direção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, p. 1–92.

APA@ (2017). <http://www.apambiente.pt/index.php>. Agência Portuguesa do Ambiente (acedido em maio de 2017).

Bladé, I.;Castro-Díez, Y. (2010). “Tendencias atmosféricas en la península ibérica durante el periodo instrumental en el contexto de la variabilidad natural.” Clima en España: Pasado, presente y futuro, p. 25–42.

Borrego, C.; Martins, H; Lopes, M.; Miranda, A. I. (2014). “Alterações climáticas em áreas urbanas.” INGENIUM, p. 29–30.

Borrego, C.; Ribeiro, I.; Miranda, A. I. (2009). “As alterações climáticas: Uma realidade transformada em desafio.”. Captar 2 (2), p. 1–16.

Brekke, L.D.; Kiang, J.E.; Olsen, J.R.; Pulwarty, R.S.; Raff, D.A.; Turnipseed, D.P.; Webb, R.S.; White, K.D. (2009). "Climate change and water resources management—A federal perspective". U.S. Geological Survey Circular, 1331, p. 65.

Carvalho, S. C. P. (2014). “Rainfall: measurements, variability and laboratory simulations”. Coimbra: Universidade de Coimbra – Faculdade de Ciências e Tecnologias. Dissertação de doutoramento.

Cunha, M. C.; Zeferino, J. A.; Simões, N. E.; Saldarriaga, J. G. (2015). “Localização otimizada de bacias de detenção em sistemas de drenagem de águas pluviais”. 12º SILUSBA – Gestão da Água e do Território: Perspetivando Sinergias, São Paulo, p.1-10.

DavisNet@ (2017). <http://www.davisnet.com/>. Davis Instruments (acedido em março de 2017).

de Lima, M. I. P.; Marques, A. C. P.; de Lima, J. L. M. P. de Lima; Coelho, M. F. (2007). “Precipitation trends in mainland Portugal in the period 1941 – 2000.” Association of Hydrological Sciences, p. 94–102.

---

de Lima, M. I. P.; Espírito Santo, F.; Cunha, S.; Silva, A. (2013). “Tendências nos extremos de precipitação em Portugal Continental em 1941-2012”. *Riscos Naturais, Antrópicos e Mistos. Homenagem ao Professor Doutor Fernando Rebelo*, p. 325–337.

de Lima, M. I. P.; Espírito Santo, F.; Ramos, A. M.; de Lima, J. L. M. P. (2012). “Recent changes in daily precipitation and surface air temperature extremes in mainland Portugal, in the period 1941-2007.”. *Atmospheric Research*, 127, p. 195–209.

de Lima, M. I. P.; Espírito Santo, F.; Ramos, A. M.; Trigo, R. M. (2014). “Trends and correlations in annual extreme precipitation indices for mainland Portugal, 1941-2007.” *Theoretical and Applied Climatology*, 119, p. 55–75.

dos Santos, M. M. C. (2008). “Reutilização de águas residuais urbanas tratadas”. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologias. Dissertação de mestrado.

ESAAC-RH (2013). “Estratégia Setorial de Adaptação aos Impactos das Alterações Climáticas relacionados com os Recursos Hídricos”. Consultado em junho de 2017 em <[https://www.apambiente.pt/\\_zdata/Politicadas/AlteracoesClimaticas/Adaptacao/ENAAAC/RelatDetalhados/Relt\\_Setor\\_ENAAC\\_Recursos\\_Hidricos.pdf](https://www.apambiente.pt/_zdata/Politicadas/AlteracoesClimaticas/Adaptacao/ENAAAC/RelatDetalhados/Relt_Setor_ENAAC_Recursos_Hidricos.pdf)>.

Espírito Santo, F.; de Lima, M. I. P.; Ramos, A. M.; Trigo, R. M. (2014). “Trends in seasonal surface air temperature in mainland Portugal, since 1941”. *International Journal of Climatology*, 34, p. 1814–1837.

ETCCDI@ (2017). <http://etccdi.pacificclimate.org/index.shtml>. Expert Team on Climate Change Detection and Indices (acedido em abril de 2017).

Gilbert, R.O. (1987). “Statistical methods for environmental pollution monitoring”. Nova Iorque (EUA): Van Nostrand Reinhold Company Inc., p. 334.

InSak@ (2017). <http://insak.com.co/davis-instruments/474-anemometro-davis-instruments.html>. InSak SAS (acedido em abril de 2017).

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. IPCC, Genebra, Suíça, p. 151.

IPMA@ (2017). <https://www.ipma.pt/pt/index.html>. Instituto Português do Mar e da Atmosfera (acedido em abril de 2017).

- Kendall, M. G. (1948). "Rank Correlation Methods". Londres (Inglaterra): C. Griffin, p. 160.
- Lopes, M.; Monteiro, A. C.; Ribeiro, I.; Sá, E.; Martins, H.; Coutinho, M.; Borrego, C. (2012). "Alterações climáticas e gestão da água em Portugal." *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6, p. 1333–1357.
- Lourenço, R. (2014). "Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis". Coimbra: Instituto Politécnico – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Dissertação de mestrado.
- Machado, R. M. S. (2014). "Controlo em tempo real de sistemas de drenagem urbanos". Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico. Dissertação de mestrado.
- Mann, H. B. (1945). "Non-parametric test against trend". *Econometrica*, 13 (3), p. 245-259.
- NAUCOM@ (2017). <http://www.naucom.pt/pt>. NAUCOM (acedido em abril de 2017).
- Novo, N. R. A. (2014). "Identificação de medidas mitigadoras e de adaptação face a alterações climáticas em Portugal". Coimbra: Universidade de Coimbra – Faculdade de Ciências e Tecnologias. Dissertação de mestrado.
- Oliveira, F. T. A. (2008). "Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental – Simulador para avaliação da viabilidade". Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico. Dissertação de mestrado.
- PNA (2016). Plano Nacional da Água, Decreto-Lei nº 76/2016 de 9 de novembro do Ministério do Ambiente (Plano Nacional da Água). *Diário da República: I série – Nº 215*, (acedido em junho de 2017).
- RainGain@ (2017). <http://www.raingain.eu/en/node/4619>. RainGain, (acedido em junho de 2017).
- Rodrigo, F. S.; Trigo, R. M. (2007). "Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002." *International Journal Of Climatology*, 27 (4), p. 513–529.
- Rouzaut@ (2017). <https://meteo.rouzaut.es/productos/>. Ignacio Rouzaut, S.L. (acedido em abril de 2017).
- Salmi, T.; Määttä, A.; Anttila, P.; Ruoho-Airola, T.; Amnell, T. (2002). "Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates - the Excel template application MAKESENS". Finnish Meteorological Institute, Helsínquia, Finlândia, p. 35.
-

Santos, E. D.; Miranda, P. (2006). "Alterações climáticas em Portugal: cenários, impactos e medidas de adaptação - Projeto SIAM II". Lisboa: Gradiva, p. 505.

Santos, J. F.; Portela, M. M. (2007). "Tendências em séries de precipitação mensal em Portugal Continental. Aplicação do teste de Mann-Kendall". 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 8º SILUSBA.

Satterthwaite, D. (2008). "Climate change and urbanization: effects and implications for urban governance". United Nations Expert Group Meeting on Population Distribution, Urbanization, Internatl Migration and Development, p. 1–29.

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

Trenberth, K. E.; Dai, A.; Rasmussen, R. M.; Parsons, D. B. (2003). "The changing character of precipitation". Bulletin of the American Meteorological Society, 84, p. 1205–1217.

WeatherShop@ (2017). <http://www.weathershop.co.uk/shop>. Weather Station and Instruments from Weather Shop (acedido em junho de 2017).



## ANEXO A

No anexo A é apresentada, de forma detalhada, a EMA utilizada nesta dissertação. A estação meteorológica *Vantage Pro 2 Plus Wireless* (Figura A.1) inclui duas componentes: o conjunto de sensores integrados (ISS) e a consola. O ISS permite recolher os dados meteorológicos e enviá-los para a consola, via *wireless*, através de ondas rádio de baixa intensidade. Este é alimentado por energia solar e é constituído por um udógrafo, sensores de temperatura e humidade, um anemómetro e sensores de radiação solar e ultravioleta (UV). A recolha de dados tem uma resolução temporal diária, mensal ou anual, consoante cada variável meteorológica.



Figura A.1 – Estação meteorológica *Vantage Pro 2 Plus Wireless* (WeatherShop@, 2017).

O udógrafo (Figura A.2) possibilita medir a precipitação, sendo que recorre a um mecanismo do tipo basculante com medições a cada 0,2 mm (sistema métrico). A área de recolha é de 0,0214 m<sup>2</sup>.

Os sensores de temperatura e humidade estão inseridos dentro de uma proteção da radiação, de modo a proteger da radiação solar ou de outras fontes de radiação e de reflexão de calor o que permite que as leituras não sejam influenciadas por essa radiação.



Figura A.2 - Udógrafo (Rouzaud@, 2017).

O anemómetro (Figura A.3) inclui sensores de velocidade e direção do vento. As componentes são resistentes, sendo que a resolução da velocidade do vento varia entre 1 e 200 mph (i.e., 1 e 322 km/h) e a direção é apresentada em 16 pontos da Rosa dos Ventos ou entre 0° a 360°.



Figura A.3 - Anemómetro (InSak@, 2017).

O sensor de radiação solar (Figura A.4) verifica a quantidade de radiação solar existente para, por exemplo, realizar o cálculo da evapotranspiração. O sensor de radiação ultravioleta (Figura A.4) permite medir este tipo de radiação para depois calcular o índice de UV. Ambos os sensores são opcionais e são montados próximos do udógrafo.



Figura A.4 - Sensores de radiação solar, à esquerda, e de radiação ultravioleta, à direita, com prateleira de montagem (NAUCOM@, 2017).

O Módulo de Interface do Sensor (SIM) está posicionado no compartimento na parte frontal da EMA e é a principal parte do ISS e do radiotransmissor, uma vez que tem todas as conexões do ISS. Este coleta os dados em tempo real e, posteriormente, transmite para a consola.

A consola (Figura A.5) exhibe e regista os dados fornecidos pela EMA, apresenta funções de gráficos e alarmes e ainda permite interfaces com o computador através do *software* WeatherLink.

O teclado da consola permite visualizar dados arquivados ou atuais, seleccionar sensores, verificar a previsão dos eventos climáticos, entre outras funcionalidades. Este consiste em 12

teclas de comando (perto do ecrã de *display*) e 4 teclas de navegação (abaixo das teclas de comando). Cada tecla de comando possui também uma função secundária que está impressa sobre a tecla na consola. Para a seleccionar é necessário pressionar a tecla 2ND e logo de seguida a tecla da função desejada.

O *software* WeatherLink com o “*data logger*” possibilitam a conexão da estação ao computador, sendo que o “*data logger*” armazena os dados ao longo do tempo recolhidos pela EMA



Figura A.5 - Consola da EMA (DavisNet@, 2017).

## ANEXO B

No anexo B são apresentados, de forma mais detalhada, os resultados obtidos nos testes laboratoriais (Quadro B.1 e Quadro B.2).

Quadro B.1 - Média e desvio padrão da precipitação acumulada, em mm, e da intensidade de precipitação (mm/h) com o simulador de chuva estático.

	Posições	Precipitação Acumulada (mm)		Intensidade de Precipitação (mm/h)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
<b>EMA</b>	1	5	0,23	60,0	2,70
	2	7,7	1,43	92,4	17,10
	3	10,3	1,40	123,6	16,80
	4	6,3	0,77	75,6	9,30
<b>Udómetro 1</b>	1	5,8	0,57	69,6	6,90
	2	8,9	0,23	106,8	2,70
	3	11,6	0,10	139,2	1,20
	4	7,1	0,03	85,2	0,30
<b>Udómetro 2</b>	1	4,9	0,33	58,8	3,90
	2	11,7	2,58	140,4	30,90
	3	12,7	1,00	152,4	12,00
	4	7,9	0,83	94,8	9,90
<b>Udómetro 3</b>	1	5,2	0,03	62,4	0,30
	2	8,2	0,93	98,4	11,10
	3	12,2	0,50	146,4	6,00
	4	7	0,07	84,0	0,90

Quadro B.2 - Média e desvio padrão da precipitação acumulada, em mm, e da intensidade de precipitação (mm/h) com o simulador de chuva a mover-se.

	Posições	Precipitação Acumulada (mm)		Intensidade da Precipitação (mm/h)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
<b>EMA</b>	1	2,2	0,50	31,4	7,14
	2	3,8	0,23	56,2	3,33
	3	3	0,55	44,3	8,13
	4	1,6	0,18	23,6	2,59
<b>M1</b>	1	3	0,30	42,9	4,29
	2	4,2	0,18	62,1	2,59
	3	3,8	0,25	56,2	3,69
	4	1,7	0,08	25,1	1,11
<b>M2</b>	1	2,5	0,20	35,7	2,86
	2	4,2	0,18	62,1	2,59
	3	3,8	0,25	56,2	3,69
	4	1,8	0,03	26,6	0,37
<b>M3</b>	1	3,1	0,40	44,3	5,71
	2	3,9	0,13	57,6	1,85
	3	3,6	0,05	53,2	0,74
	4	2	0,23	29,6	3,33