



João Vítor Faria da Silva

Licenciado em Engenharia Civil

**INCERTEZA ASSOCIADA À FALHA DE
REGISTOS UDOMÉTRICOS/UDOGRÁFICOS E
RESPECTIVA ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO
DE SUPERFÍCIE**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Professor Doutor Pedro Manuel da Hora Santos
Coelho, Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Pedro de Nobre Carmona Rodrigues

Arguente: Prof. Doutor Paulo Alexandre Marques Diogo

Vogal: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho de 2013



João Vítor Faria da Silva

Licenciado em Engenharia Civil

**INCERTEZA ASSOCIADA À FALHA DE
REGISTOS UDOMÉTRICOS/UDOGRÁFICOS E
RESPECTIVA ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO
DE SUPERFÍCIE**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Professor Doutor Pedro Manuel da Hora Santos
Coelho, Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Pedro de Nobre Carmona Rodrigues

Arguente: Prof. Doutor Paulo Alexandre Marques Diogo

Vogal: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho de 2013

Copyright

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A presente Dissertação de Mestrado, só foi possível realizar graças à colaboração e ao contributo, de forma direta ou indireta, de várias pessoas e instituições, às quais gostaria de exprimir o meu profundo agradecimento.

Ao *Professor Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho*, pela disponibilidade manifestada para orientar este trabalho, pela exigência de método e rigor, pela incansável orientação científica, pela revisão crítica do texto, pelos múltiplos comentários, esclarecimentos, opiniões e sugestões, pela cedência e indicação de alguma bibliografia relevante para a temática em análise e pelos oportunos conselhos. Obrigado!

Ao *Coordenador do Mestrado em Engenharia e Gestão da Água, Professor Doutor António Pedro Nobre Carmona Rodrigues*, agradeço a oportunidade e o privilégio que tive em frequentar este Mestrado que muito contribuiu para o enriquecimento da minha formação académica e científica.

Ao *Investimentos e Gestão da Água*, em especial à *Eng^a Madalena Fugaréu* pela sua preciosa ajuda na disponibilização de dados hidrométricos e no esclarecimento de dúvidas, assim como ao *Eng^o Sérgio Lopes* e ao *Laboratório Regional de Engenharia Civil* pela ajuda técnica e fornecimento de matéria essencial para o desenvolvimento do trabalho.

Ao *Diretor do Observatório Meteorológico do Funchal, Victor Prior*, delegação regional do Instituto *Português do Mar e Atmosfera*, pela possibilidade de consulta e de disponibilização de séries de dados udométricos/udográficos.

Ao *Professor João Duarte Mendes*, pela sua simpatia e disponibilidade bem como por ter disponibilizado vários documentos relativos ao tema em estudo.

Aos meus Pais, *João Sá e Maria José*, aos meus Irmãos, *Nuno e Henrique*, bem como á minha namorada *Helena*, um sincero obrigado por acreditarem sempre em mim e naquilo que faço e pelo constante encorajamento a fim de prosseguir a elaboração deste trabalho. Espero que esta etapa, que agora termino, possa de alguma forma retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que sempre me ofereceram.

Resumo

A presente dissertação insere-se na temática da modelação hidrológica. O principal objetivo do trabalho é o conhecimento da incerteza associada à inexistência de registos udométricos e udográficos, ou de falhas nesses registos, e da respetiva influência sobre a estimativa dos valores do escoamento de superfície na ribeira da Vargem e na ribeira Grande na freguesia de São Vicente, ilha da Madeira.

Foi desenvolvida uma revisão da literatura existente sobre o tema, aprofundando-se as questões inerentes ao ajuste de leis de distribuição e ao preenchimento de falhas.

De seguida procedeu-se à recolha dos dados de precipitação nos postos udométricos/udográficos localizados na área de estudo e na sua envolvente.

Com suporte nesses dados foi determinada a incerteza dos valores da precipitação, associada a várias durações e períodos de retorno, e face a vários tipos de falhas. Foi igualmente estudada a influência dessas falhas sobre a estimativa dos valores do escoamento de superfície. Foram analisados e discutidos os resultados obtidos, e apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido.

Palavras-chave: modelação hidrológica; falhas de registos; escoamento de superfície; precipitação

Abstract

The present dissertation is associated with the hydrologic modeling. The main goal of this study consists in acquiring the knowledge about the uncertainty associated with the existence of gaps in the records of precipitation and the influence of those gaps in the surface flow estimative.

It was developed a review about this theme, focusing more on questions concerning about the laws of distribution and the data gaps filling. After that, it had been done the collection of the precipitation data in the stations which are located in the surrounding of two watersheds located on municipality of São Vicente, in Madeira Island.

With the support of these data, it was calculated the uncertainty of the precipitation associated with various durations and return periods, and due to various shortcomings. It was also studied the influence of these failures on the estimation of surface runoff.

It was analyzed and discussed the results and presented the conclusions of the study.

Keywords: hydrologic modeling; data gaps; runoff; precipitation

Índice Geral

1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1- ENQUADRAMENTO DO TEMA E OBJETIVOS.....	1
1.2- ANTECEDENTES.....	2
1.3- ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1- PRECIPITAÇÃO.....	5
2.2- TIPOS DE PRECIPITAÇÃO.....	5
2.3- PRECIPITAÇÃO OCULTA.....	7
2.4- MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO.....	7
2.5- ESTAÇÕES UDOMÉTRICAS/UDOGRÁFICAS UTILIZADAS.....	8
2.6- ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS.....	11
2.7- MONITORIZAÇÃO.....	12
2.8-PERÍODO DE RETORNO.....	13
2.9- CURVAS DE POSSIBILIDADE UDOMÉTRICA.....	14
3-CARATERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	15
3.1- BACIAS HIDROGRÁFICAS DA RIBEIRA DA VARGEM E DA RIBEIRA GRANDE.....	15
3.2- CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.....	16
3.2.1- <i>Fator de forma</i>	17
3.2.2- <i>Densidade de drenagem</i>	18
3.2.3- <i>Relevo da área em estudo</i>	18
3.2.4- <i>Tempo de concentração</i>	19
3.3- GEOLOGIA E SOLOS.....	20
3.4- VEGETAÇÃO.....	21
3.5- SÍNTESE.....	22
4. PREENCHIMENTO DE FALHAS DA PRECIPITAÇÃO.....	23
4.1- INTRODUÇÃO.....	23
4.2- REDE UDOMÉTRICA.....	23
4.3- MÉDIA ARITMÉTICA.....	25
4.4- RÁCIO MÉDIO (U.S. WEATHER BUREAU).....	26
4.5- CORRELAÇÃO.....	26
4.6- METODOLOGIA.....	27
4.7- BICA DA CANA.....	27

4.8- ENCUMEADA	29
4.9- LOURAL	31
4.10- CARAMUJO	32
4.11- CHÃO DOS LOUROS	33
4.12- SÍNTESE	35
5-ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO.....	37
5.1- INTRODUÇÃO.....	37
5.2- PRECIPITAÇÕES ANUAIS	37
5.2.1- <i>Bica da Cana</i>	38
5.2.2- <i>Encumeada</i>	41
5.2.3- <i>Loural</i>	43
5.2.4- <i>Caramujo</i>	46
5.2.5- <i>Chão dos Louros</i>	49
5.3- PRECIPITAÇÕES MENSASIS.....	51
5.3.1- <i>Bica da Cana</i>	51
5.3.2- <i>Encumeada</i>	53
5.3.3- <i>Loural</i>	54
5.3.4- <i>Caramujo</i>	55
5.3.5- <i>Chão dos Louros</i>	57
5.4- PRECIPITAÇÕES UTILIZADAS NA DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	58
5.5- PRECIPITAÇÕES UTILIZADAS NA DETERMINAÇÃO DE CHEIA	61
5.6- SÍNTESE.....	66
6- ESCOAMENTO SUPERFICIAL	67
6.1- INTRODUÇÃO.....	67
6.2- REDE HIDROMÉTRICA	67
6.3 ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO DE SUPERFÍCIE NA AUSÊNCIA DE MEDIÇÕES HIDROMÉTRICAS	71
6.4- ESTUDO DE UMA SITUAÇÃO DE CHEIA	78
6.5- SITUAÇÃO DE CHEIA- MÉTODO SECÇÃO-VELOCIDADE	83
6.5.1- <i>Apresentação e análise dos resultados</i>	86
6.5.1.1 Secção1: Ribeira da Vargem	87
6.5.1.2 Secção 2: Ribeira Grande	88
6.6- SÍNTESE.....	89
7- CONCLUSÕES	91
8- BIBLIOGRAFIA	97

Índice de Figuras

FIGURA 2.1- ESQUEMA DE UDÓMETROS.....	9
FIGURA 2.2- ESQUEMA DE UM UDÓGRAFO DE SIFÃO.....	10
FIGURA 2.3- UDÓGRAFO DO CHÃO DOS LOUROS, SITUADO NA BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA GRANDE.....	11
FIGURA 3.1- MAPA DA ILHA DA MADEIRA (1817), COM IDENTIFICAÇÃO DA FREGUESIA DE SÃO VICENTE.....	15
FIGURA 3.2- BACIA HIDROGRÁFICA DE SÃO VICENTE, IDENTIFICAÇÃO DA RIBEIRA DA VARGEM E DA RIBEIRA GRANDE.....	16
FIGURA 3.3- OROGRAFIA DA ILHA DA MADEIRA, COM IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	19
FIGURA 4.1- POSTOS UDOMÉTRICOS/UDOGRÁFICOS EM ESTUDO.....	24
FIGURA 5.1- VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL DA BICA DA CANA.....	38
FIGURA 5.2- VALORES DE PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL ORDENADA NO POSTO UDOGRÁFICO DA BICA DA CANA, SENDO N A NUMERAÇÃO ORDENADA DA MENOR PRECIPITAÇÃO ATÉ A MAIOR, DA CORRESPONDENTE SÉRIE.....	39
FIGURA 5.3- AJUSTAMENTO À DISTRIBUIÇÃO NORMAL - BICA DA CANA.....	40
FIGURA 5.4- VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL DA ENCUMEADA.....	41
FIGURA 5.5- VALORES DE PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL ORDENADA NO POSTO UDOGRÁFICO DA ENCUMEADA, SENDO N A NUMERAÇÃO ORDENADA DA MENOR PRECIPITAÇÃO ATÉ A MAIOR, DA CORRESPONDENTE SÉRIE.....	42
FIGURA 5.6- AJUSTAMENTO À DISTRIBUIÇÃO NORMAL - ENCUMEADA.....	43
FIGURA 5.7- VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL DO LOURAL.....	44
FIGURA 5.8- VALORES DE PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL ORDENADA NO POSTO UDOGRÁFICO DO LOURAL, SENDO N A NUMERAÇÃO ORDENADA DA MENOR PRECIPITAÇÃO ATÉ A MAIOR, DA CORRESPONDENTE SÉRIE.....	45
FIGURA 5.9- AJUSTAMENTO À DISTRIBUIÇÃO NORMAL - LOURAL.....	46
FIGURA 5.10- VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL DO CARAMUJO.....	46
FIGURA 5.11- VALORES DE PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL ORDENADA NO POSTO UDOGRÁFICO DO CARAMUJO, SENDO N A NUMERAÇÃO ORDENADA DA MENOR PRECIPITAÇÃO ATÉ A MAIOR, DA CORRESPONDENTE SÉRIE.....	47
FIGURA 5.12- AJUSTAMENTO À DISTRIBUIÇÃO NORMAL - CARAMUJO.....	48
FIGURA 5.13- VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL DO CHÃO DOS LOUROS.....	49
FIGURA 5.14 - VALORES DE PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL ORDENADA NO POSTO UDOGRÁFICO DO CHÃO DOS LOUROS, SENDO N A NUMERAÇÃO ORDENADA DA MENOR PRECIPITAÇÃO ATÉ A MAIOR, DA CORRESPONDENTE SÉRIE.....	50
FIGURA 5.15- AJUSTAMENTO À DISTRIBUIÇÃO NORMAL - CHÃO DOS LOUROS.....	51

FIGURA 5.16- MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS - BICA DA CANA	52
FIGURA 5.17- MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS - ENCUMEADA	53
FIGURA 5.18- MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS - LOURAL	55
FIGURA 5.19- MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS - CARAMUJO	56
FIGURA 5.20- MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS - BICA DA CANA	58
FIGURA 5.21- VALORES DE PRECIPITAÇÃO ANUAL MÁXIMA DIÁRIA ORDENADA, BICA DA CANA, SENDO N A NUMERAÇÃO ORDENADA DA MENOR PRECIPITAÇÃO ATÉ A MAIOR, DA CORRESPONDENTE SÉRIE.	61
FIGURA 5.22- VALORES DE PRECIPITAÇÃO ANUAL MÁXIMA DIÁRIA ORDENADA, CHÃO DOS LOUROS, SENDO N A NUMERAÇÃO ORDENADA DA MENOR PRECIPITAÇÃO ATÉ A MAIOR, DA CORRESPONDENTE SÉRIE.	62
FIGURA 5.23- AJUSTAMENTO À LEI DE GUMBEL - BICA DA CANA	62
FIGURA 5.24- AJUSTAMENTO À LEI DE GUMBEL - CHÃO DOS LOUROS	63
FIGURA 5.25- CURVAS DE POSSIBILIDADE UDOMÉTRICA DO POSTO DO FUNCHAL-OBSERVATÓRIO	64
FIGURA 6.1- ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS NA ÁREA DE ESTUDO	68
FIGURA 6.2- VARIAÇÃO DO CAUDAL MÉDIO MENSAL, MÍNIMO MENSAL E MÁXIMO MENSAL NA RIBEIRA GRANDE - SÍTIO.....	69
FIGURA 6.3- VARIAÇÃO DO CAUDAL MÉDIO MENSAL, MÍNIMO MENSAL E MÁXIMO MENSAL NA RIBEIRA DA VARGEM - ROSÁRIO	70
FIGURA 6.4- PRECIPITAÇÃO PONDERADA E ESCOAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DA ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA DO SÍTIO (RIBEIRA GRANDE)	73
FIGURA 6.5- DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DA RETA DE REGRESSÃO PRECIPITAÇÃO/ESCOAMENTO - SÍTIO (RIBEIRA GRANDE)74	
FIGURA 6.6- PRECIPITAÇÃO PONDERADA E ESCOAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DA ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA DO ROSÁRIO (RIBEIRA DA VARGEM)	74
FIGURA 6.7- DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DA RETA DE REGRESSÃO PRECIPITAÇÃO/ESCOAMENTO - ROSÁRIO (RIBEIRA DA VARGEM).....	75
FIGURA 6.8- PRECIPITAÇÃO DO POSTO CHÃO DOS LOUROS E ESCOAMENTO NA ESTAÇÃO DO SÍTIO (RIBEIRA GRANDE)	76
FIGURA 6.9- DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DA RETA DE REGRESSÃO PRECIPITAÇÃO/ESCOAMENTO - SÍTIO (RIBEIRA GRANDE)76	
FIGURA 6.10- PRECIPITAÇÃO DO POSTO BICA DA CANA E ESCOAMENTO NA ESTAÇÃO DO ROSÁRIO (RIBEIRA DA VARGEM) ...	77
FIGURA 6.11- DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DA RETA DE REGRESSÃO PRECIPITAÇÃO/ESCOAMENTO - ROSÁRIO (RIBEIRA DA VARGEM).....	77
FIGURA 6.12- FOTOGRAFIA SECÇÃO 1 (ROSÁRIO, RIBEIRA DA VARGEM).....	87
FIGURA 6.13- FOTOGRAFIA SECÇÃO 2 (SÍTIO, RIBEIRA GRANDE).....	88

Índice de Tabelas

TABELA 3.1- ÁREA E COMPRIMENTO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DAS RIBEIRAS GRANDE E DA RIBEIRA DA VARGEM.....	17
TABELA 3.2- SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DAS BACIAS EM ESTUDO	22
TABELA 4.1- CARACTERIZAÇÃO DOS POSTOS UDOMÉTRICOS EM ESTUDO	24
TABELA 4.2- POSTOS UDOMÉTRICOS/UDOGRÁFICOS UTILIZADOS PARA O PREENCHIMENTO DE FALHAS	25
TABELA 4.3- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS BICA DA CANA, PREENCHIDAS PELA CORRELAÇÃO.....	28
TABELA 4.4- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS BICA DA CANA, PREENCHIDAS PELO U.S.W.B.....	28
TABELA 4.5- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS BICA DA CANA, PREENCHIDAS PELA MÉDIA.	29
TABELA 4.6- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS ENCUMEADA, PREENCHIDAS PELA CORRELAÇÃO.....	30
TABELA 4.7- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS ENCUMEADA, PREENCHIDAS PELO U.S.W.B.....	31
TABELA 4.8- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS ENCUMEADA, PREENCHIDAS PELA MÉDIA	31
TABELA 4.9- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS LOURAL, PREENCHIDA PELA CORRELAÇÃO	32
TABELA 4.10- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS LOURAL, PREENCHIDA PELO U.S.W.B	32
TABELA 4.11- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS LOURAL, PREENCHIDA PELA MÉDIA.....	32
TABELA 4.12- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS CARAMUJO, PREENCHIDA PELA CORRELAÇÃO	33
TABELA 4.13- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS CARAMUJO, PREENCHIDO PELO U.S.W.B.	33
TABELA 4.14- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS CHÃO DOS LOUROS, PREENCHIDA PELA CORRELAÇÃO	34
TABELA 4.15- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS CHÃO DOS LOUROS, PREENCHIDA PELO U.S.W.B.....	34
TABELA 4.16- FALHAS DE REGISTOS PLUVIOMÉTRICOS CHÃO DOS LOUROS, PREENCHIDA PELA MÉDIA	34
TABELA 5.1- PRECIPITAÇÃO MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA, BICA DA CANA.....	39
TABELA 5.2- DESVIO MÁXIMO, CALCULADO E TABELADO BICA DA CANA	40
TABELA 5.3- PERÍODO DE RETORNO (T) BICA DA CANA	40
TABELA 5.4- PRECIPITAÇÃO MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA, ENCUMEADA.....	41
TABELA 5.5- DESVIO MÁXIMO, CALCULADO E TABELADO ENCUMEADA	42
TABELA 5.6- PERÍODO DE RETORNO (T) ENCUMEADA	43
TABELA 5.7- PRECIPITAÇÃO MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA, LOURAL.....	44
TABELA 5.8- DESVIO MÁXIMO, CALCULADO E TABELADO LOURAL	45

TABELA 5.9- PERÍODO DE RETORNO (T) LOURAL	45
TABELA 5.10- PRECIPITAÇÃO MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA, CARAMUJO	47
TABELA 5.11- DESVIO MÁXIMO, CALCULADO E TABELADO CARAMUJO	48
TABELA 5.12- PERÍODO DE RETORNO (T) CARAMUJO	48
TABELA 5.13- PRECIPITAÇÃO MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA DO CHÃO DOS LOUROS	49
TABELA 5.14- DMAX, CALCULADO E TABELADO CHÃO DOS LOUROS	50
TABELA 5.15- VALORES DE PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL E PERÍODO DE RETORNO - CHÃO DOS LOUROS.....	50
TABELA 5.16- MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS - BICA DA CANA	51
TABELA 5.17- PERÍODO DE RETORNO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL - BICA DA CANA.....	52
TABELA 5.18- MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS - ENCUMEADA	53
TABELA 5.19- PERÍODO DE RETORNO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL - ENCUMEADA	54
TABELA 5.20- MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS - LOURAL	54
TABELA 5.21- PERÍODO DE RETORNO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL - LOURAL	55
TABELA 5.22- MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS - CARAMUJO	56
TABELA 5.23- PERÍODO DE RETORNO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL - CARAMUJO	57
TABELA 5.24- MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS - CHÃO DOS LOUROS.....	57
TABELA 5.25- PERÍODO DE RETORNO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL - CHÃO DOS LOUROS.....	58
TABELA 5.26- COEFICIENTES DE THIESSEN PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DA VARGEM	59
TABELA 5.27- PRECIPITAÇÃO PONDERADA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DA VARGEM	59
TABELA 5.28- COEFICIENTES DE THIESSEN PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA GRANDE	60
TABELA 5.29- PRECIPITAÇÃO PONDERADA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA GRANDE	60
TABELA 5.30- AJUSTAMENTO À LEI DE GUMBEL - BICA DA CANA	62
TABELA 5.31- AJUSTAMENTO À LEI DE GUMBEL - CHÃO DOS LOUROS	63
TABELA 5.32- VALORES DE PRECIPITAÇÃO E PERÍODO DE RETORNO - BICA DA CANA	63
TABELA 5.33- VALORES DE PRECIPITAÇÃO E PERÍODO DE RETORNO - CHÃO DOS LOUROS.....	64
TABELA 5.34- VALORES DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS, PARA DIFERENTES DURAÇÕES E VÁRIOS PERÍODOS DE RETORNO - POSTO DO FUNCHAL-OBSERVATÓRIO	65
TABELA 5.35- CURVAS DE POSSIBILIDADE UDOMÉTRICA OBTIDAS	65

TABELA 5.36-PRECIPITAÇÕES ANUAIS MÍNIMAS E MÁXIMAS NOS POSTOS EM ESTUDO.....	66
TABELA 6.1- CAUDAL MÉDIO MENSAL REFERENTE À RIBEIRA GRANDE - SÍTIO	69
TABELA 6.2- CAUDAL MÉDIO MENSAL REFERENTE À RIBEIRA DA VARGEM- ROSÁRIO	70
TABELA 6.3- ALTURA DE ESCOAMENTO REFERENTE À RIBEIRA GRANDE - E.H. SÍTIO.....	71
TABELA 6.4- ALTURA DE ESCOAMENTO REFERENTE À RIBEIRA DA VARGEM - E.H ROSÁRIO.....	72
TABELA 6.5- COMPARAÇÃO DOS VALORES DO ESCOAMENTO OBSERVADO E CALCULADO, UTILIZANDO A PRECIPITAÇÃO PONDERADA.	75
TABELA 6.6- COMPARAÇÃO DOS VALORES DO ESCOAMENTO OBSERVADO E CALCULADO, UTILIZANDO A PRECIPITAÇÃO DO POSTO MAIS SIGNIFICATIVO.	78
TABELA 6.7- DETERMINAÇÃO DO CAUDAL DE PONTA QP (FORMULA RACIONAL) – RIBEIRA DA VARGEM.....	80
TABELA 6.8- DETERMINAÇÃO DO CAUDAL DE PONTA QP (FORMULA RACIONAL) – RIBEIRA GRANDE.....	80
TABELA 6.9- PARÂMETROS UTILIZADOS PARA AS RIBEIRAS DA VARGEM E GRANDE	82
TABELA 6.10- DETERMINAÇÃO DO CAUDAL DE PONTE DE CHEIA PARA A RIBEIRA DA VAGEM E DA RIBEIRA GRANDE.....	83
TABELA 6.11- DETERMINAÇÃO DO CAUDAL DE PONTA DE CHEIA PARA DIFERENTES PERCENTAGENS DE ALTURA DO ESCOAMENTO NA SEÇÃO DO ROSÁRIO	88
TABELA 6.12- DETERMINAÇÃO DO CAUDAL DE PONTA DE CHEIA PARA DIFERENTES PERCENTAGENS DE ALTURA DO ESCOAMENTO NA SEÇÃO DO SÍTIO	89
TABELA 6.13- CAUDAL CALCULADO PELA FÓRMULA RACIONAL E PELO MÉTODO DO SOIL CONSERVATION SERVICE	90
TABELA 7.1-ESCOAMENTO SUPERFICIAIS, OBSERVADOS E CALCULADOS NA SEÇÃO DO ROSÁRIO E NA SECÇÃO DO SÍTIO – PRECIPITAÇÃO PONDERADA.....	92
TABELA 7.2- ESCOAMENTO SUPERFICIAIS, OBSERVADOS E CALCULADOS NA SEÇÃO DO ROSÁRIO E NA SECÇÃO DO SÍTIO – POSTO MAIS SIGNIFICATIVO	92
TABELA 7.3-ESCOAMENTO SUPERFICIAL OBSERVADO E CALCULADO POR GASPAR, M, (2001) NA SEÇÃO DO ROSÁRIO E NA SECÇÃO DO SÍTIO	93
TABELA 7.4 CAUDAL DE PONTA DE CHEIA QP DETERMINADO PELA FORMULA RACIONAL.....	94
TABELA 7.5- CAUDAL DE PONTA DE CHEIA QP DETERMINADO PELO MÉTODO DO SOIL CONSERVATION SERVICE	94
TABELA 7.6- CAUDAL DE PONTA DE CHEIA, DETERMINADO A PARTIR DOS VÁRIOS NÍVEIS DE ALTURA DE ESCOAMENTO	95

SIGLAS

FCT- Faculdade de Ciências e Tecnologia

IGA- Investimentos e Gestão da Água

INAG- Instituto da Água

IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IST- Instituto Superior Técnico

JG- Junta Geral do Funchal

LREC- Laboratório Regional de Engenharia Civil

PDM- Plano Diretor Municipal

SNIRH- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

UMA- Universidade da Madeira

USWB- United States Weather Bureau

1- Introdução

1.1- Enquadramento do tema e objetivos

O conhecimento do regime hídrico numa bacia hidrográfica é fundamental nos estudos hidrológicos, que servem como base para a definição dos diferentes usos da água, tornando estes estudos um fator indispensável para uma boa e adequada gestão dos recursos hídricos.

Concretamente, a investigação desenvolvida teve como objetivo verificar a existência de falhas nos registos de postos udométricos/udográficos e a respetiva influência sobre a estimativa dos valores do escoamento de superfície na freguesia de São Vicente na ilha da Madeira, mais concretamente na ribeira da Vargem e na ribeira Grande. Muitas vezes, face à ausência de registos hidrométricos, recorre-se aos dados da precipitação para estimar os valores do escoamento de superfície, pelo que se considera que o objetivo do trabalho realizado se reveste de considerável importância.

As principais dificuldades encontradas na elaboração deste trabalho relacionaram-se com a alguma escassez dos dados udométricos/udográficos e hidrográficos, contribuindo para tal o reduzido número de pontos de medição, bem como as dimensões das séries de registos disponíveis. Por forma a extrair a maior quantidade possível de informação dos registos de precipitação e de escoamento disponíveis, tornou-se imperativo levar a cabo uma análise crítica dos mesmos tendo em vista o preenchimento de falhas exibidas pelas séries históricas, sendo frequente recorrer a diferentes métodos de estimativa baseados noutros registos tanto da precipitação como do escoamento.

De forma a atingir os objetivos previstos, serão analisadas as questões inerentes ao ajuste de leis de distribuição e ao preenchimento de falhas. De seguida será aprofundado o estudo e a análise dos dados de precipitação recolhidos nos postos udográficos e udométricos localizados na envolvente das bacias hidrográficas, que foram consideradas como caso de estudo. Com suporte nestes dados, será determinada a incerteza dos valores de precipitação associada a várias durações e períodos de retorno, e face a vários tipos de falhas. Será igualmente estudada a influência dessas falhas sobre a estimativa dos valores do escoamento de superfície.

No trabalho a realizar foram estudados vários postos udométricos e udográficos nos quais se observaram falhas diárias, mensais e anuais, muitas vezes inviabilizando a utilização dessas séries. A existência de falhas nas séries históricas deve-se, basicamente, à ausência do observador, falhas nos mecanismos de registo, perda das anotações e encerramento das observações, sendo que estas são apenas algumas situações possíveis nestes acontecimentos.

No entanto, como existe a necessidade de se trabalhar com séries contínuas, essas falhas necessitam de ser preenchidas. Para esse efeito é recomendada a seleção de postos que se situem em regiões com o mesmo clima e altitude.

Segundo Kundzewic (2008), *in* Vaz, C.M., (2008), os registos de precipitações diárias máximas anuais são fundamentais para a análise de cheias que, por sua vez, constituem os desastres naturais mais relatados, afetando cerca de 100 milhões de pessoas todos os anos.

O estudo desenvolvido assenta igualmente na caracterização biofísica do sistema hidrográfico da freguesia de São Vicente e na análise das condições de escoamento.

As características do escoamento são determinadas por fatores ao nível das bacias hidrográficas que foram objeto de estudo nomeadamente:

- Fatores fisiográficos, com destaque para a morfometria, a rede de drenagem e o relevo.
- Fatores climáticos, principalmente relacionados com a pluviosidade e a sua distribuição.

As componentes fisiográficas condicionam fundamentalmente o tempo de concentração numa bacia hidrográfica. Contudo o escoamento superficial também depende das condições antecedentes de armazenamento de água nos solos da bacia hidrográfica, do tipo de cobertura vegetal e do uso do solo.

1.2- Antecedentes

A presente dissertação dá seguimento, de algum modo, a estudos antecedentes sobre o comportamento de séries de precipitação e escoamento, nos quais foram desenvolvidos alguns métodos que relacionam estas duas variáveis. Dois destes estudos fizeram referência especificamente às bacias hidrográficas da ribeira Grande e da ribeira da Vargem, nomeadamente:

- O estudo realizado pelo Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC) (Lopes, S.S., Aguiar N., 2009). Este estudo, para além da abordagem feita à caracterização fisiográfica e à monitorização (udométrica/udográfica e hidrométrica) nas bacias de ribeira da Vargem e da ribeira Grande, inclui para o caso de ausência de informação da altura do escoamento numa determinada secção, uma análise pelo método da secção-velocidade de uma eventual situação de cheia gerada na sequência de uma pluviosidade extrema, tendo por base vários níveis da altura na secção do canal.

- A dissertação de Doutoramento com o tema “Contribuição para a caracterização dos recursos hídricos na ilha da Madeira” (Gaspar M. A., 2001) onde foram estudadas várias bacias hidrográficas da ilha da Madeira, incluindo as da ribeira Grande e da ribeira da Vargem. Relativamente aos temas de interesse deste estudo no presente trabalho, a autora realizou uma análise entre precipitações e escoamentos tendo por base as precipitações mensais (determinadas usando o método de Thiessen para os postos com maior influencia nas bacias) correspondentes ao número de registos mensais de escoamento existentes.

Para suprimir os escassos dados hidrométricos a referida autora, mesmo reconhecendo que se trata de matéria discutível, admitiu que no estabelecimento do modelo de regressão linear para a transformação de precipitação em escoamento, estes dois parâmetros se referissem sempre ao mês ao invés do ano hidrológico. Esta abordagem só foi realizada porque o número de anos é, em qualquer estação hidrométrica, notoriamente insuficiente para o desenvolvimento de uma análise de regressão linear simples, aumentando deste modo os pares de valores dos parâmetros necessários para a referida análise.

- O estudo realizado pelo Instituto Superior Técnico (IST), a Universidade da Madeira (UMA) e o Laboratório Regional de Engenharia Civil “Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões” (Almeida, A.B; *et al*, 2010) realizado para a Secretaria Regional do Equipamento Social da Região Autónoma da Madeira, na sequência do evento de 20 de Fevereiro de 2010. O relatório apesar de não abordar especificamente as bacias hidrográficas estudadas no presente trabalho, apresenta os principais resultados do trabalho desenvolvido e uma proposta de princípios de “Proteção contra Aluviões” na ilha da Madeira, contribuindo com um grande registo de informação para o presente estudo.

1.3- Estrutura da Dissertação

O presente documento encontra-se organizado em sete capítulos, dos quais o primeiro corresponde à Introdução.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica, envolvendo definições como aspetos da precipitação, a monitorização, a hidrografia, udómetros/udógrafos que, embora de carácter geral, se julgou de interesse incluir no presente estudo.

O capítulo 3 estabelece uma caracterização das bacias hidrográficas da ribeira da Vargem e da ribeira Grande, envolvendo aspetos como características geométricas e do sistema de drenagem, a geologia, os solos e o tipo de cobertura vegetal.

No capítulo 4 apresentam-se, em pormenor, os postos udométricos e udográficos existentes nas bacias hidrográficas em estudo e na sua envolvente, bem como a metodologia aplicada no preenchimento de falhas e /ou extensão das séries históricas de registos de modo a aumentar a representatividade destas séries e, conseqüentemente, possibilitar a mais correta interpretação dos processos que as mesmas caracterizam.

No capítulo 5 apresenta-se a análise da precipitação com suporte nos dados udométricos/udográficos disponíveis, bem como o regime de precipitação nas bacias hidrográficas em estudo, procede-se à recolha de dados pluviométricos diários (já com o preenchimento das falhas diárias, mensais e anuais correspondentes) e máximos diários anuais em postos udométricos e udográficos inseridos nas referidas bacias hidrográficas.

No capítulo 6 apresentam-se os modelos desenvolvidos no âmbito do presente trabalho, para avaliar o escoamento superficial a partir de precipitações. Especificam-se, também, os procedimentos que foram aplicados às séries de escoamentos observados, por forma a estabelecer, a partir das mesmas, séries que se admitem representar as parcelas dos escoamentos observados que são consequência direta da precipitação ocorrida nas bacias. Foram também feitas análises às situações de cheia.

No capítulo 7 apresentam-se as conclusões relativas aos procedimentos aplicados, compreendendo a análise dos resultados obtidos, a comparação destes últimos com estudos antecedentes e a apresentação de algumas recomendações, para desenvolvimentos futuros.

2-Revisão bibliográfica

2.1- Precipitação

“Tucci (1993) define precipitação como sendo — toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (...). Dada a sua capacidade de produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a Hidrologia” (Sepúlveda, S.M, 2011).

Quando é realizado o estudo de uma bacia hidrográfica, um dos fatores climáticos indispensáveis nesse estudo é a precipitação. Também é necessário conhecer-se os outros processos que influenciam o ciclo hidrológico tais como a evapotranspiração, a infiltração e o escoamento superficial.

Existem dois processos fundamentais que explicam a formação da precipitação:

- Processo da colisão/coalescência
- Por condensação do vapor de água

O processo de colisão/coalescência caracteriza-se pelo aumento do tamanho de microgotas de água através de vários mecanismos como a atração electrostática, indução magnética atração hidromecânica, colisões de microturbulência ou arrastamento pela queda de gotas já formadas. (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006).

O processo por condensação do vapor de água pode ocorrer de três maneiras diferentes, sendo uma delas quando uma nuvem contiver no mesmo espaço gotículas de água e cristais de gelo, fato que explica grande parte das chuvas nas zonas temperadas, um outro processo será quando existir uma diferença de temperatura brusca entre as gotículas inseridas na mesma nuvem, explicando o processo de maior parte das chuvas tropicais. Finalmente, quando se dá o processo da condensação do vapor de água atmosférico sobre núcleos higroscópicos de sal, formando assim na nuvem quantidades de gotas constituídas por uma solução salina (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006).

2.2- Tipos de Precipitação

Existem, no essencial, três tipos de precipitação de acordo com o movimento vertical das massas de ar:

- Precipitações frontais

- Precipitações convectivas
- Precipitações orográficas

A precipitação frontal ou ciclônica é geralmente associada à passagem de perturbações ciclônicas, podendo assim, a ascensão do ar ser provocada por uma depressão barométrica ou pelo contato entre duas massas de ar (Rodrigues, C.M, *et al* 2011), apresentando desta maneira diversas formas consoante o tipo de frente a que está associada. Estão ligadas aos movimentos de massas de ar de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão, provocadas pelo aquecimento desigual da superfície terrestre.

Se o ar frio é substituído por ar quente passa a designar-se como frente quente. Neste caso, a nebulosidade é essencialmente estratiforme, no qual predomina a chuva e o chuveiro. Numa frente oclusa ocorre normalmente a precipitação sob a forma de aguaceiros, chuva e chuveiro, uma vez que o tipo de nebulosidade predominante é, simultaneamente, o de ambas as frentes, tanto frentes quentes como frias (Costa, T., Lança, R. 2011). Nestes casos de precipitações frontais ou ciclônicas, uma forte circulação ciclônica pode provocar grandes precipitações (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006).

As precipitações convectivas são formadas por nuvens de desenvolvimento verticais ou convectivas, resultam do aquecimento direto de uma massa de ar sobre a superfície terrestre e a sua ascensão rápida de camadas de ar quente, atingirá a sua temperatura de condensação com a consequente formação das nuvens, muitas vezes originando precipitação. As precipitações convectivas são características das regiões tropicais sendo estas geralmente de grande intensidade e reduzida duração, muito localizadas e normalmente acompanhadas de trovoadas. A sua ocorrência pode ser um fator de inundações nas bacias hidrográficas de reduzida dimensão (Rodrigues, C.M, *et al* 2011).

As precipitações orográficas são formadas quando uma massa de ar ajudada pela força do vento encontra uma cadeia montanhosa que a obriga a elevar-se e conseqüentemente a arrefecer, formando as nuvens e posteriormente dando origem à precipitação. Como consequência, a maior parte da humidade é descarregada durante a ascensão a barlavento, originando deste modo a que as grandes quantidades de precipitação nas regiões montanhosas ocorram nesta zona (Rodrigues, C.M, *et al* 2011)

2.3- Precipitação Oculta

Apesar destes valores não serem conhecidos nem entrarem diretamente nos cálculos realizados ao longo deste trabalho, será certamente interessante ter uma perspectiva sobre a influência deste processo na hidrologia da ilha da Madeira.

Na ilha da Madeira os nevoeiros são quase exclusivamente orográficos, o ar húmido marítimo ao entrar em contacto com a cadeia montanhosa da ilha, perpendicular ao vento predominantemente de nordeste, sobe forçosamente. Durante esta subida, há arrefecimento do ar que se condensa em pequenas partículas que ficam em suspensão na atmosfera, formando as nuvens (se a condensação ocorre em altitude) ou os nevoeiros (se a condensação ocorre junto à superfície terrestre). Assim, estes nevoeiros formam-se a barlavento da elevação, tendo tendência a dissiparem a sotavento (Prada, S., *et al* 2005).

A condensação pode ocorrer em altitudes variáveis, tanto a altitudes baixas, a partir dos 400 m, como altas, de cerca de 1600 m. A cobertura nebulosa encontra-se entre os 600-800 m e os 1600 m, no Inverno, descendo mais abaixo, no Verão. Esta persistente e espessa cobertura nebulosa, associada a vegetação, é responsável pelo fenómeno da precipitação oculta, um recurso de elevado potencial hídrico. Foram obtidas precipitações médias de 30 mm/dia, o que corresponde a 5 100 mm/ano (30 mm/dia x 170 dias produtivos), valor bastante superior ao da precipitação anual média daquela zona (Prada, S., *et al* 2005).

Foi assim considerado, que existem duas fontes de recarga dos recursos hídricos da ilha da Madeira, nomeadamente a precipitação direta sob a forma de chuva (média anual para a ilha de 1636 mm), principal fonte de recarga contribuindo com cerca de 363 mm (267 500 000 m³/ano) para os recursos hídricos subterrâneos e a proveniente da interação do nevoeiro com a vegetação arbórea das zonas altas da ilha, designada por precipitação oculta (Prada, S., *et al* 2005).

2.4- Medição da Precipitação

A quantidade de precipitação (P) é medida pela altura da água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. É medida em pontos previamente escolhidos utilizando-se aparelhos denominados udómetros e udógrafos, conforme permitam medir ou medir e registar a precipitação.

As leituras dos dados utilizados neste estudo, foram feitas em intervalos de 24 horas pelas diferentes estações udométricas/udográficas, nomeadamente, às 9 horas da manhã.

As grandezas, usualmente, determinadas e usadas para medir a precipitação são:

a) **Altura de precipitação:** medidas realizadas nos udómetros e expressas em milímetros, ou seja a altura da lâmina de água que se forma sobre o solo como resultado da chuva que caiu em determinado período, caso não houvesse escoamento, infiltração ou evapotranspiração da água precipitada.

b) **Intensidade média de precipitação (\bar{i}):** É a relação entre a altura de precipitação e a duração do evento de precipitação, ou seja durante um certo intervalo de tempo Δt , o quociente entre a altura de precipitação Δh e o intervalo de tempo considerado (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006), normalmente é expressa em mm/h. Uma chuva de 1mm/min corresponde, portanto a um caudal equivalente a 1 l/min afluindo a uma área de 1 m².

$$\bar{i} = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Quando o intervalo de tempo tende para zero define-se a intensidade de precipitação instantânea, exemplificada na expressão seguinte (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006):

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{dh}{dt} \quad (2.2)$$

c) **Duração:** Período de tempo contado desde o início até ao fim da precipitação (dias, horas ou minutos).

2.5- Estações Udométricas/Udográficas utilizadas

A quantidade de precipitação que ocorre num determinado período é medida em recipientes designados por udómetros. Estes recipientes, quando equipados com dispositivos que permitam o registo contínuo da água acumulada, denominam-se udógrafos (Instituto da Água, 2004)

Qualquer superfície que retenha a chuva pode, em princípio, servir de udómetro. No entanto, a fim de que as medições sejam comparáveis, é indispensável utilizar udómetros normalizados (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006).

A necessidade de comparação dos valores de precipitação entre os diversos locais conduziu à padronização dos equipamentos de medida. Surgiram, assim, os udómetros padronizados (Rodrigues, C.M, *et al* 2011).

Estes aparelhos (Figura 2.1), que possibilitam a medição da precipitação, são, habitualmente, constituídos por:

- Anel circular que limita a área de receção;
- Funil cuja projeção constitui a superfície recetora (100 a 1000 cm²);
- Recipiente para acumulação de água;
- Proveta graduada.

Se, por exemplo, a secção do recipiente for 1/10 da superfície de receção, 1cm de água no recipiente equivale a 1mm de chuva. A colocação do udómetro obedece a algumas restrições, devendo evitar-se obstáculos que possam alterar os valores da medição de precipitação como por exemplo uma árvore. O vento também tem muita influência numa medição correta, colocando-se por vezes um dispositivo de proteção (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006). Salvo exceções, a altura da boca do udómetro, em relação ao terreno, não deve ser superior a 1.5 metros, nem inferior a 0.5 metros. A distância aos obstáculos mais próximos deve ser, no mínimo, 2 vezes superior a altura do respetivo obstáculo (Rodrigues, C.M, *et al* 2011).

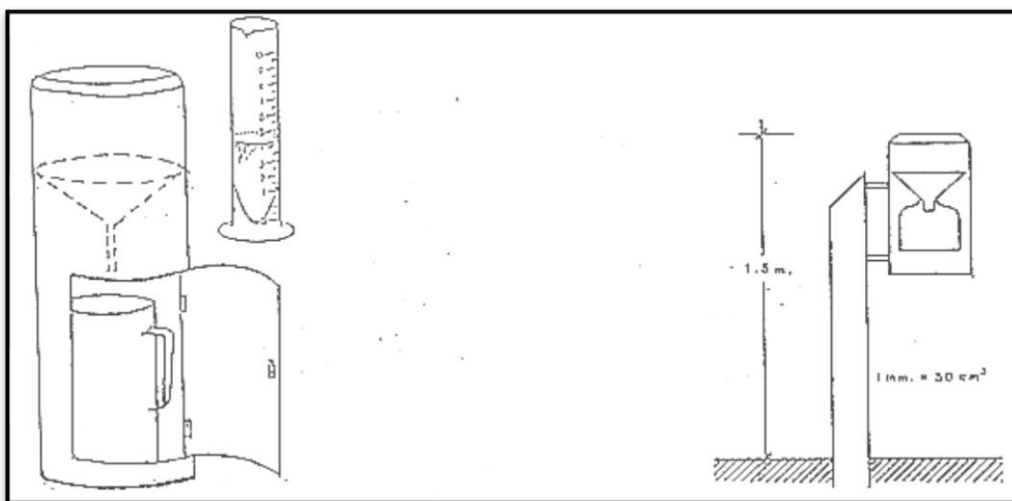


Figura 2.1- Esquema de Udómetros

Fonte- (Rodrigues, C.M, Moreira, M., Guimarães, R.C., 2011)

No que diz respeito aos udógrafos, estes fornecem registos contínuos da precipitação que se designam por udogramas. Nestes aparelhos as quantidades de precipitação são medidas por mecanismos de registos gráficos ou eletromecânicos. Os mais comuns são os de bóia sifão e os basculantes, cujos princípios de funcionamento serão de seguida descritos.

- Os udógrafos de sifão, são constituídos por um funil que recolhe a água e a encaminha para um depósito como representado na Figura 2.2. Neste compartimento existe um flutuador, cujo movimento ascendente resultante da entrada da água é registada num gráfico. Estes gráficos são denominados por udogramas e permitem conhecer a evolução da precipitação ao longo de um determinado período de tempo. Quando a precipitação atinge um certo valor o sifão do udógrafo descarrega toda a água armazenada até então e inicia novamente a partir do ponto de referência, um novo armazenamento. Assim, a precipitação total, para uma dada duração, é a diferença entre o valor da altura verificado no tempo final e o valor da altura do tempo inicial (Pereira, C., 1995).
- Os udógrafos de recetáculos basculantes, cujo princípio de funcionamento é quando a água recolhida vai enchendo um depósito, e assim que este tenha uma certa quantidade de água bascula em torno do eixo começando assim o enchimento de um outro depósito. Um dispositivo mecânico transmite o movimento de basculamento a um estilete, que regista num papel colocado num cilindro rotativo de eixo vertical. Este cilindro efetua uma rotação completa num dia a uma semana. A água é recolhida num recipiente graduado que serve de controlo dos dados globais fornecidos pelo registador. Com efeito, acontece por vezes o basculamento poder ser efetuado devido à grande intensidade das precipitações, pelo que há toda a conveniência em ficar acumulada a precipitação total (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006).

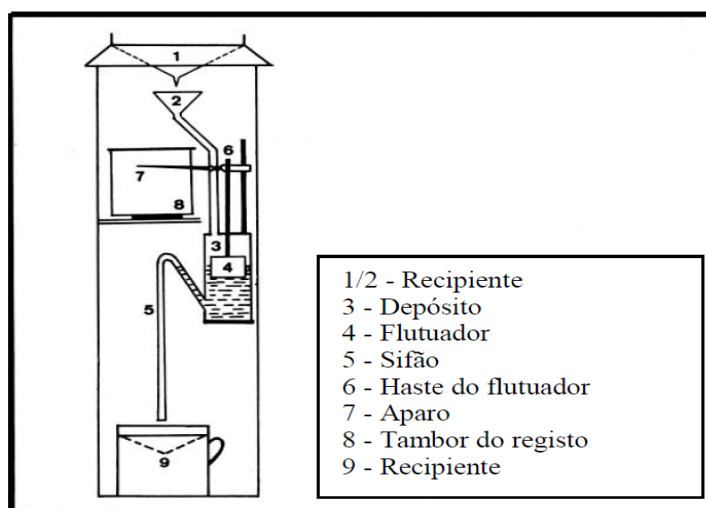


Figura 2.2- Esquema de um Udógrafo de sifão

Fonte: (INAG, 2004)



Figura 2.3- Udógrafo do Chão dos Louros, situado na bacia hidrográfica da ribeira Grande

2.6- Estações hidrométricas

Os primeiros dados hidrométricos recolhidos com alguma periodicidade consistiam em leituras diárias efetuadas geralmente à mesma hora. Analisadas as alturas das escalas hidrométricas são posteriormente convertidas em caudais através da respetiva curva de vazão. Em períodos de baixo caudal estas leituras são aceitáveis, mas em caso de cheia podem dispersar-se muito da realidade. As estações hidrométricas podem ser limnimétricas, quando estão capacitadas unicamente de uma escala hidrométrica para a leitura periódica de níveis, e limnigráficas, quando providas de um limnógrafo para registo contínuo de níveis (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006).

Estas mesmas estações, podem ser classificadas em:

- Principais ou de base, estações permanentes que funcionam em regime contínuo e destinam-se a fornecer os elementos de base para o estudo estatístico do escoamento.
- Secundárias, o seu funcionamento é limitado a um determinado número de anos, e destinam-se a fornecerem dados adicionais que poderão ser extrapoláveis para além do seu tempo de funcionamento.
- Especiais ou terciárias, destinam-se à obtenção de elementos para estudos específicos e não fazem parte da rede hidrométricas

Com os valores fornecidos pelos limnógrafos, pode-se calibrar balanços hídricos, efetuar estudos hidrológicos e avaliar os caudais das ribeiras para cada uma das bacias hidrográficas. Estes são constituídos por um mecanismo de medição de nível de água na secção e por um mecanismo de

registo contínuo dos mesmos níveis. Segundo Lencastre, A., e Franco, F.M., (2006) o respetivo mecanismo de medição dos níveis, os limnígrafos podem ser classificados por:

- Limnígrafos de flutuador - Como o próprio nome indica, os registos são feitos através da deslocação de um flutuador ou de uma boia que permaneça à superfície da água.
- Limnígrafos pneumáticos – os registos são feitos pela variação de pressão no interior de um cilindro colocado no fundo da secção, e que desta forma comunica com o aparelho registador.

Quanto ao registo contínuo dos níveis, segundo Lencastre, A. e Franco, F.M., (2006) os limnígrafos podem ser dos seguintes tipos:

- Limnígrafos de Gráfico – são constituídos por um tambor giratório, em volta do qual se desloca uma folha de papel de registo, no qual uma caneta inscreve a cada momento o correspondente valor do nível.
- Limnígrafos de registo digital – São provido com um aparelho para o registo dos valores das alturas hidrométricas, facilitando assim a utilização dos dados por computador, para os eventuais diferentes tipos de cálculos.

2.7- Monitorização

A monitorização não se resume à mera manutenção e exploração de uma rede de pontos de medição, nem o seu objetivo se restringe a assegurar a transferência no espaço de informação recolhida através do seu relacionamento com outros fatores. A monitorização é entendida assim num âmbito mais amplo que engloba, para além das redes de medição, os sistemas de bases de dados e os modelos de simulação a eles associados.

Por forma a corresponder ao objetivo do presente trabalho – avaliar a precipitação e as disponibilidades hídricas superficiais na ribeira da Vargem e na ribeira Grande – procedeu-se a uma recolha exaustiva da informação relativa aos postos udométricos/udográficos e hidrométricos situados na área em estudo. Para o efeito obteve-se, junto das entidades responsáveis pela medição e divulgação de valores de variáveis hidrológicas e hidrométricas, a identificação, a localização e as séries de registos referentes a postos ou estações de medição em exploração ou que funcionaram no passado.

Os dados relativos a este trabalho, foram resultado de uma pesquisa no Investimentos e Gestão da Água (IGA), Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e no Observatório Meteorológico do Funchal delegação regional do IPMA.

Os registos udométricos/udográficos recolhidos englobam precipitações observadas em estações climatológicas da responsabilidade do IPMA, e nos postos udométricos explorados pelo IGA, tendo sido alguns destes últimos instalados no início da década de 40 pela antiga Junta Geral do Funchal. Os registos hidrométricos foram fornecidos diretamente pelo IGA.

Relativamente à base de dados do SNIRH, esta permitiu de uma forma relativamente rápida e simples fazer uma pesquisa e análise dos dados pluviométricos de alguns postos udométricos/udográficos inseridos na área em estudo, sendo que teve como condicionalismo apenas apresentar a precipitação diária em todos estes postos.

2.8-Período de retorno

“O estudo do regime de escoamento de uma bacia, a partir da informação udométrica, deverá basear-se na hipótese de que chuvadas com determinado período de retorno originam cheias de igual período de retorno, o que poderá não ser necessariamente verdade uma vez que a humidade inicial do solo e a variação da intensidade de precipitação ao longo da chuvada também condicionam a magnitude da cheia. No entanto, a hipótese considerada é aceitável, principalmente para chuvadas com elevados períodos de retorno” (Martins, F. J. P, 2000).

A ocorrência de uma precipitação é um fenómeno geralmente aleatório que não possibilita previsões com grande antecedência. O tratamento dos dados da precipitação com o objetivo de estimar a magnitude dos eventos pluviosos em função de uma dada probabilidade de ocorrência, tornam-se assim de extrema importância (Rodrigues, C.M, *et al* 2011). É possível determinar a precipitação associada a um determinado período de retorno (T) expresso em anos, desde que se determine, a partir de uma função estatística ajustada, o valor correspondente à probabilidade de não excedência (F(x)), podendo considerar-se nestas situações que:

$$T = \frac{1}{1-F(x)} \quad (2.3)$$

sendo F(x) a função que traduz a probabilidade de não excedência de um certo acontecimento pluviométrico, ou seja, corresponde à probabilidade de um determinado valor de precipitação não ser superado $F(x)=P(x<x)$, e $1-F(x)$ a probabilidade de excedência (Rodrigues, C.M, *et al* 2011).

Como tal, o conhecimento do valor do fenómeno com um dado período de retorno pressupõe uma análise de frequência da série histórica do fenómeno. (Pereira, C., 1995)

2.9- Curvas de possibilidade Udométrica

Determinada a duração e o período de retorno de um evento pluvioso, dispõe-se dos elementos necessários para fazer uma análise deste mesmo evento, recorrendo-se geralmente a relações entre a altura máxima precipitação, a duração e a frequência, denominadas por curvas de possibilidade udométrica, a desenvolver ou anteriormente desenvolvidas, para esse local ou para locais com características semelhantes (Pereira, C., 1995).

Quando as curvas de possibilidade udométrica relacionam a altura máxima da precipitação com a duração, para uma dada frequência, a expressão é dada por:

$$h = at^n \quad (2.4)$$

sendo **h** a altura de precipitação em (mm), **t** o tempo de precipitação em horas e **n** e **a** constantes características de um dado local e função do período de retorno, representando deste modo o acréscimo da altura de água precipitada com a duração do evento.

Pelo método dos mínimos quadrados, é possível obter os valores das correspondentes constantes, após a logaritmação da expressão anterior e consequente análise gráfica da reta obtida, dando seguimento à implantação dos valores máximos de precipitação (**h**) associados a cada uma das diferentes durações consideradas (t_1, t_2, \dots, t_n) no plano de coordenadas Log **h** e Log **t**.

$$\text{Log } h = \text{Log } a + n \cdot \text{Log } t \quad (2.5)$$

A função $h=h(t)$ é chamada curva de possibilidade udométrica. (Portela M. M., 2002 *in* Santos, J., 2009).

Por outro lado as curvas de possibilidade udométrica também podem ser representadas com os valores da intensidade de precipitação para uma dada duração e frequência, sendo comumente designadas por curvas IDF (I-intensidade; D-duração; F-frequência). Assim, conhecendo duas das variáveis (duração e período de retorno, por exemplo), é possível determinar a terceira (intensidade) (Pereira, C., 1995), sendo a expressão que as define dada por:

$$i = \frac{h}{t} = \frac{at^n}{t} = at^{n-1} \quad (2.6)$$

3-Caraterização da área em estudo

3.1- Bacias Hidrográficas da ribeira da Vargem e da ribeira Grande

Define-se como bacia hidrográfica, uma área limitada topograficamente, drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água, tal que todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006).

Segundo Lencastre, A. e Franco, F.M. (2006), o contorno de uma bacia hidrográfica é definido pela linha de separação de águas que divide as precipitações que caem na bacia das que caem em bacias vizinhas, e que encaminha o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial. A linha de separação de águas segue pelas linhas de cumeada em torno da bacia, atravessando o curso de água somente na secção de referência. Passa pelos pontos de máxima cota entre bacias, o que não impede que no interior de uma bacia existam picos isolados com cota superior.

As bacias hidrográficas em estudo são as da ribeira da Vargem e a da ribeira Grande, situadas na freguesia de São Vicente na ilha da Madeira como é identificada na Figura 3.1. Estas duas linhas de água, ao se encontrarem na sua confluência, dão origem à ribeira de São Vicente, tal como é apresentado na Figura 3.2.

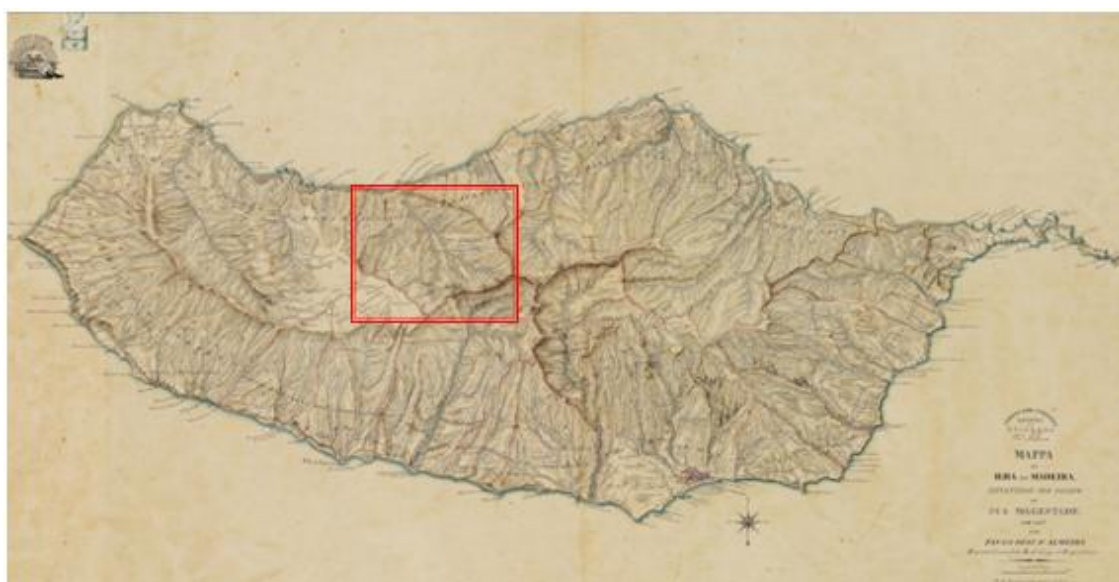


Figura 3.1- Mapa da Ilha da Madeira (1817), com identificação da freguesia de São Vicente

Fonte: Prof. João Duarte Mendes

Existem outras linhas de água, cujas bacias hidrográficas se integram também na freguesia de São Vicente, como exemplo, e referenciadas na Figura 3.2, duas destas linhas de água situam-se a Oeste da ribeira Grande, nomeadamente a ribeira do Salto e a ribeira da Feiteira, e a Este a ribeira Seca e a ribeira do Passo.

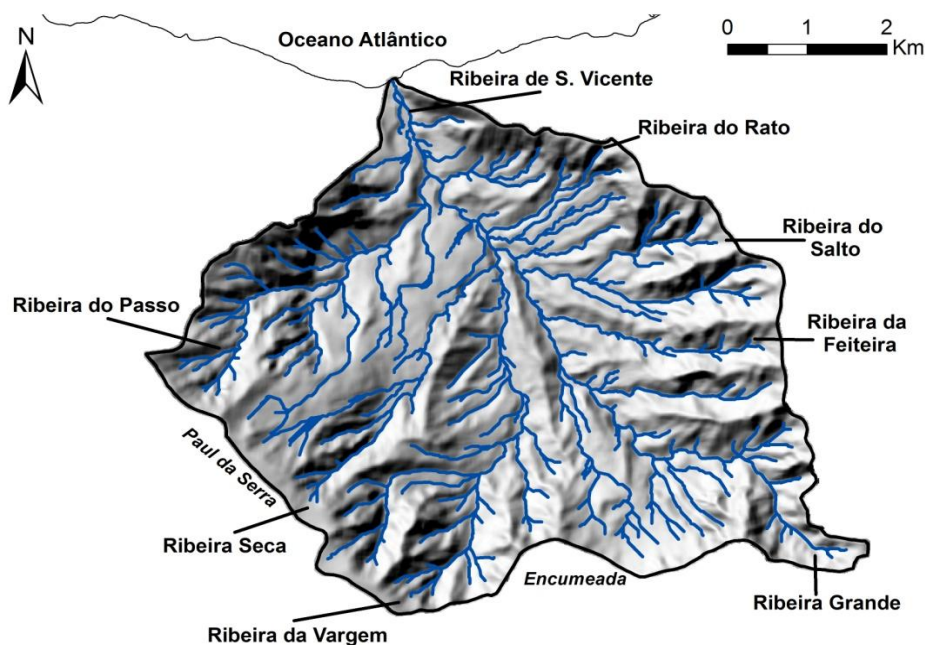


Figura 3.2- Bacia hidrográfica de São Vicente, identificação da ribeira da Vargem e da ribeira Grande.

Fonte: Lopes, S.S., Aguiar N., (2009b)

3.2- Características geométricas

Nas bacias hidrográficas das ribeiras em estudo, com uma orientação predominante S-N, foram obtidos, na bibliografia consultada em Gaspar M. A., (2001), parâmetros como a área, perímetro e comprimento do curso de água principal. Estes serão posteriormente apresentados e utilizados no cálculo de vários índices e indicadores fisiográficos.

As áreas de cada bacia hidrográfica e os respetivos comprimentos do curso de água principal são representados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Área e comprimento das bacias hidrográficas das Ribeiras Grande e da ribeira da Vargem.

	Ribeira Grande	Ribeira da Vargem
Área da bacia hidrográfica (km²)	6,3	5,7
Comprimento do curso principal (km)	4,24	3,30

3.2.1- Fator de forma

O fator de forma k_f é a relação entre a largura média (lm) e o comprimento da linha de água principal (L). Também pode ser exprimido como o fator que relaciona a maior ou menor tendência para cheias numa bacia. Um valor elevado do fator de forma significa que a bacia hidrográfica tende a apresentar uma forma mais circular do que alongada, o que potencia a probabilidade de ocorrência de cheias, de acordo com o anteriormente referido.

Largura Média:

$$lm = \frac{A}{L} \quad (3.2)$$

Fator de Forma:

$$k_f = \frac{lm}{L} \quad (3.3)$$

No presente caso de estudo para comprimentos de 4,24 km e 3,30 km com uma área de 6,3 km² e 5,7 km², o valor de k_f para as bacias da ribeira Grande e da ribeira da Vargem são respetivamente 0,52 e 0,35.

3.2.2- Densidade de drenagem

A densidade de drenagem (λ) representa um indicador importante para o estudo e compreensão da maior ou menor ocorrência de cheias numa bacia hidrográfica, correspondendo ao quociente entre o comprimento total dos cursos de água (Λ) pela área da bacia (A). (sejam perenes, intermitentes ou efémeros) dada pela expressão:

$$\lambda = \frac{\Lambda}{A} \quad (3.4)$$

Sendo:

Λ - Comprimento total dos cursos de água- km

A - Área da bacia – km²

O valor desta característica da bacia hidrográfica exprime-se em km/km² e normalmente varia de 0,5 km/ km² para bacias com pouca capacidade de drenagem e 3,5 km/km² para bacias bem drenadas, ou mesmo mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006).

Sendo que os cursos de água da área estudada, a ribeira da Vargem a ribeira Grande apresentam valores segundo (Gaspar, M, 2001) de 8,09 km²/km e 6,63 km²/km respetivamente.

3.2.3- Relevo da área em estudo

O relevo é certamente uma das características físicas mais influentes no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica.

A área em estudo tem predominantemente um relevo muito acentuado para uma superfície tão pequena, também possui vales e arribas por vezes com várias centenas de metros de altitude. Os vales são profundos e estreitos, os leitos dos cursos de água encontram-se cobertos por blocos de grande variabilidade dimensional, o que pode ajudar a explicar o carácter torrencial que estas ribeiras podem ter. Ainda em relação ao relevo, a altitude tem grande influência no aumento da precipitação. Relativamente à altitude, distinguem-se imponentes maciços montanhosos estendendo-se por vezes até ao mar.

Além destes maciços distinguem-se também superfícies subestruturais, constituindo pequenos planaltos, comumente designados por achadas, que ocorrem alternadamente um pouco por toda a área em estudo.

A legenda da Figura 3.2 de acordo com (Gaspar, M, 2001), permite verificar que as bacias hidrográficas em estudo possuem uma altitude média de 604 m para a ribeira Grande e de 676 m para a ribeira da Vargem.

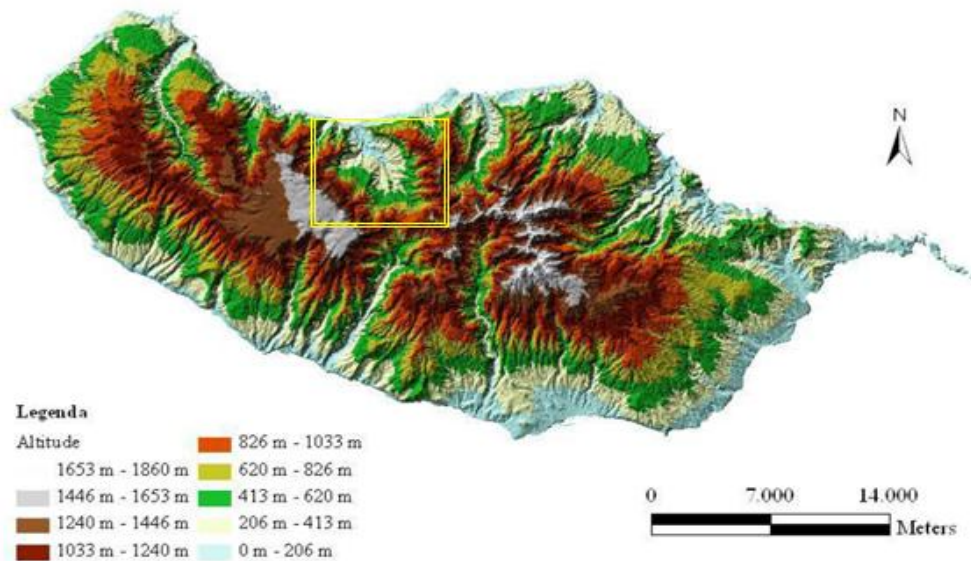


Figura 3.3- Orografia da Ilha da Madeira, com identificação da área em estudo

Fonte: PRAM

3.2.4- Tempo de concentração

Tempo de concentração, t_c , de uma bacia hidrográfica, numa dada secção de um curso de água, é o tempo para que a totalidade da bacia contribua para o escoamento superficial na secção considerada. Pode também ser definido como o tempo necessário para que uma gota de água caída num ponto mais afastado da bacia atinja a secção em consideração.

Segundo (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006) o tempo de concentração é considerado uma característica constante da bacia, esta característica é aplicada na determinação do caudal de ponta de cheia quando se utilizam expressões cinemáticas, que entram em linha de conta com as características do movimento de água na bacia hidrográfica.

Para calcular os tempos de concentração das bacias hidrográficas, pode-se recorrer a algumas fórmulas empíricas que permitem ter um valor da ordem de grandeza do tempo de concentração

de uma determinada bacia hidrográfica, sendo que para este trabalho foram utilizadas a fórmula proposta por Giandotti seguidamente representada:

$$tc = \frac{4\sqrt{A}+1,5L}{0,80\sqrt{H}} \quad (3.8)$$

como também a formula proposta por Kirpich:

$$tc = 0,0663 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (3.9)$$

Em que o tempo de concentração (tc) é em horas, L é o comprimento da linha de água principal (km) e A a área da bacia hidrográfica (km²) e H a sua altura média (m) e S o respetivo declive médio

Tendo em consideração a extensão de 4,24 km e 3,3 km relativa ao comprimento do curso de água mais extenso, respetivamente para a ribeira Grande e para a ribeira da Vargem, com uma altura média de 603,98 m e 675,95 m e uma área de 6,3 km² e 5,7 km², e com base na aplicação da fórmula (3.8) proposta por Giandotti em cima transcrita, determinou-se um tempo de concentração de 0,845 e 0,697 horas, para cada uma das bacias consideradas anteriormente.

De acordo com a expressão proposta por Kirpich, determinou-se os tempos de concentração de 0,821 horas e 0,631 horas para a ribeira Grande e para a ribeira da Vargem, sendo que os respetivos declives médios (S) de 30% e 36% foram retirados da bibliografia de Gaspar, M, 2001.

3.3- Geologia e solos

Os vales do conselho de São Vicente são profundos e estreitos, encontrando-se os leitos dos cursos de água cobertos por um amontoado de blocos de dimensão variada, evidenciando um regime torrencial e uma elevada capacidade de transporte de material sólido. O declive das ribeiras é mais acentuado quando estas atravessam formações brandas, como é o caso dos materiais piroclásticos. De facto, quando atravessam basaltos compactos, o declive acentua-se.

As vertentes constituídas por materiais alterados encontram-se numa situação instável, ocorrendo, por vezes, escorregamentos e desmoronamentos, cujas massas movimentadas se

acumulam temporariamente no fundo dos vales ou na base das arribas. Os fenómenos de alteração atuam com diferentes intensidades em função da litologia, da altitude e dos declives. Até cerca da cota 1000 m são frequentes as terras avermelhadas e amareladas de natureza argilosa; acima destes níveis, predomina a lixiviação das rochas que assim, têm cores mais claras (PDM São Vicente, 1992).

Do ponto de vista geológico, a área em estudo é constituída por formações sedimentares (cascalheira e areais de praias modernas, depósitos de vertente e de fajãs, cascalheiras fluviais e marinhas quaternárias, intercalações calcárias marinhas, fossilíferas miocénicas do vale de São Vicente), materiais piroclásticos e aparelhos vulcânicos, cones de escórias e materiais piroclásticos grosseiros e complexos vulcânicos (complexos vulcânicos mio-pliocénicos, complexos vulcânicos pós-miocénicos com intercalações piroclásticas, complexos vulcânicos pós-miocénicos das lombadas superiores, complexo basáltico do Paul da Serra e lavas basálticas recentes do vale de São Vicente) (PDM São Vicente, 1992).

3.4- Vegetação

Para a caracterização da flora e da vegetação natural da bacia hidrográfica, recorreu-se a elementos bibliográficos disponíveis. O fator comum a toda a área do concelho, que mais tem feito sentir a sua ação sobre o coberto vegetal, e que de várias formas o tem condicionado, tem sido o próprio homem.

A vincada expressão da ação humana sobre o clímax vegetal da área de estudo constitui aspeto comum na sua paisagem e reflete-se na áreas cultivadas e matos, constituídas por plantas subespontâneas ou naturalizadas, que têm sido introduzidas ao longo dos anos e que atualmente existem na flora indígena, contribuindo para as descaracterizações e/ou degradação da vegetação primitiva. Uma das áreas observadas, considerada com maior diversidade florística, na qual se identificaram vários estratos de vegetações ricas em espécies endémicas é o vale da Encumeada (PDM São Vicente, 1992).

A zona litoral da freguesia de São Vicente reveste-se igualmente de elevado interesse ecológico e/ou fitossociológico, tendo aí sido identificadas algumas espécies endémicas. Salienta-se ainda, dada a sua importância, as áreas da floresta Laurissilva, com destaque para as vertentes com características orográficas difíceis onde o clima é mais frio e húmido devido à exposição predominante aos ventos alísios de Nordeste, nestes locais ainda é possível detetar fragmentos da floresta primitiva nos vales profundos onde estão presentes as formações vegetais de

características higrófilas, de grande diversidade florística, sobretudo a nível de estrato herbáceo-inferior, onde ocorrem grande parte dos endemismos (PDM São Vicente, 1992).

3.5- Síntese

A bacia hidrográfica pode ser considerada como uma área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água, tal que todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída. As bacias em estudo serão a ribeira da Vargem e a ribeira Grande, situadas na freguesia de São Vicente, ilha da Madeira.

Algumas das características apresentadas neste capítulo constam na Tabela 3.2, tendo sido calculados ao longo deste trabalho os valores de kf, sendo que as restantes apresentadas na Tabela 3.2 foram recolhidas da bibliografia consultada em Gaspar M.A., 2001.

Tabela 3.2- Síntese das características fisiográficas das bacias em estudo

Características Fisiográficas		
Bacia Hidrográfica	Ribeira Grande	Ribeira da Vargem
Área da B.H (km ²)	6,3	5,7
Comprimento do troço principal (km)	4,24	3,30
Fator de Forma - kf	0,52	0,35
Densidade de Drenagem- (km/km ²)	6,63	8,09
Altura média da bacia (m)	603,98	675,95
Declive médio do troço principal (%)	30	36

No que diz respeito ao tempo de concentração e tendo em consideração a extensão de 4,37 km relativa ao comprimento do curso de água mais extenso-ribeira Grande e 3,30km da ribeira da Vargem, com uma altura média de 603,98 m e 675,95 m e área de 6,3 e 5,7 km² respetivamente, e com base na aplicação das fórmulas 3.8 e 3.9, apurou-se um tempo de concentração de 0,845 e 0,697 horas para a expressão proposta por Giandotti, e de 0,821 e 0631 para a proposta por Kirpich.

4. Preenchimento de Falhas da Precipitação

4.1- Introdução

Neste capítulo, pretende-se abordar alguns métodos utilizados para preenchimento de falhas em séries de precipitação. A identificação da rede udométrica/udográfica suscetível de ser utilizada na caracterização pluviométrica da área em estudo, baseou-se nos elementos precedentes e no facto de se pretender a obtenção de séries de precipitação completas para o período que varia de 1941/42 a 2010/1 recorrendo, para o efeito, ao preenchimento de falhas de registo.

4.2- Rede udométrica

Neste trabalho, nomeadamente nas bacias hidrográficas da ribeira da Vargem e da ribeira Grande, estão ou estiveram em funcionamento vários postos udométricos e udográficos, três deles situados em plenas bacias hidrográficas (Caramujo, Chão dos Louros e Loural) e dois nas imediações das mesmas (Bica da Cana e Encumeada), representados na Figura 4.1. Embora se tenham identificado todos os postos inseridos naquela zona, e recolhido os correspondentes registos diários, optou-se por restringir a recolha de registos apenas aos postos com 25 ou mais anos de observação completos no período em estudo (1941/42-2010/11) para que a excessiva ausência de informação pluviométrica na zona não inviabilizasse o preenchimento de falhas dos postos, o ideal seria ter no mínimo 30 anos de registos, no mesmo período temporal, mas apesar de muito próximo isso não foi possível.

Foram assim estudados cinco postos, três udométricos e dois udográficos com estas exigências, que serão analisados com mais pormenor nas secções seguintes. Foram recolhidos registos diários da precipitação nestes postos, sendo que todos se inserem na zona e imediações das bacias hidrográficas em estudo.

Para assegurar a qualidade da informação de base destinada a sustentar estudos antecedentes, (Lopes, S.S., Aguiar N., 2009) e (Gaspar M. A. 2001), eliminando possíveis erros de medição ou de transcrição de registos, optou-se por analisar com algum detalhe os dados udométricos disponíveis. Não obstante aqueles estudos apenas fazerem intervir precipitações mensais, foi necessário proceder à verificação das séries de precipitação diária para concluir acerca da qualidade das correspondentes séries mensais.

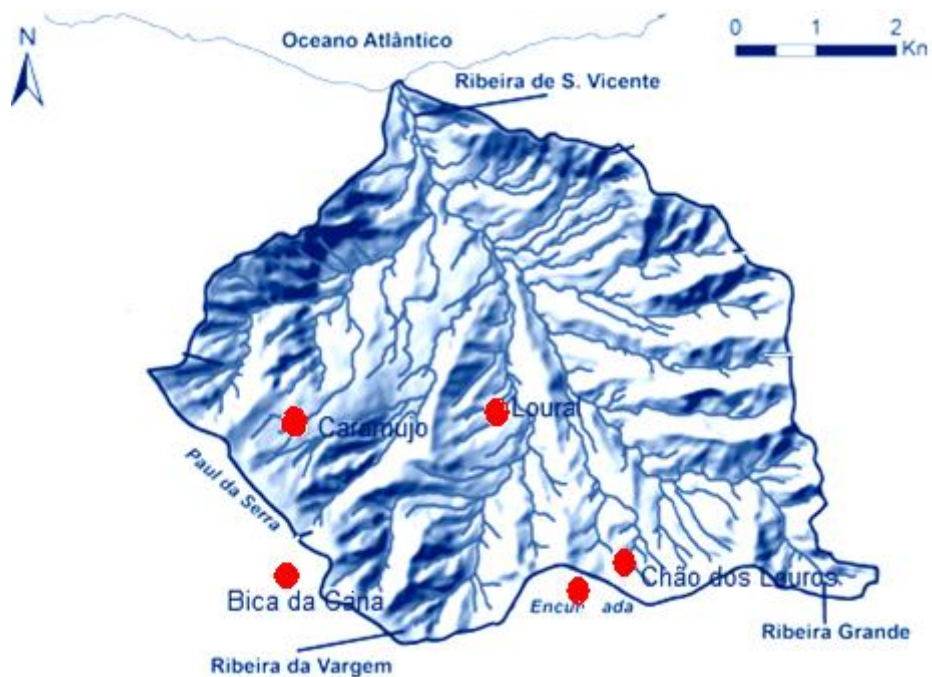


Figura 4.1- Postos udométricos/udográficos em estudo.

Na Tabela 4.1 sistematizam-se algumas das características dos postos, designadamente a identificação (código e nome), altitude, o período de registos, o tipo de posto (udométrico ou udográficos) e as entidades responsáveis pela exploração.

Tabela 4.1- Caracterização dos postos udométricos em estudo

Nome	Entidade	Tipo	Altitude (m)	Período de Registo	Estado
1-Bica da Cana	I.P.M.A	Udom.	1560	01-01-1961	Ativa
2-Caramujo	J.G	Udom.	1260	01/02/41 a 30/06/69	Extinta
3-Encumeada (S.Vicente)	J.G	Udom.	-	01/01/37 a 30/09/86	Extinta
4-Loural	I.G.A	Udom.	320	01/05/45 a 31/12/74	Extinta
5-Chão dos Louros	I.G.A	Udog.	900	01-10-1986	Ativa

De referir que outros postos udométricos/udográficos situados na ilha foram considerados neste capítulo. Não foi realizado nenhum estudo estatístico sobre os postos em questão de modo a avaliar as séries dos mesmos, servindo apenas as suas séries de registo para preencher as falhas

existentes nos postos em estudo, tendo em atenção a proximidade, e as características dos mesmos, sendo estes representados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2- Postos udométricos/udográficos utilizados para o preenchimento de falhas

Nome	Entidade	Tipo	Altitude (m)	Período de Registo	Estado
Santo da Serra	I.G.A	Udog.	920	01-12-1936	Ativa
Ribeira Brava	J.G	Udom.	-	-	Extinta
Ribeiro Frio	J.G	Udom.	-	-	Extinta
Rosário	I.G.A	Udom.	357	01/04/87 a 31/12/98	Extinta

Assim, atendendo a que o número de postos inseridos na área em estudo é relativamente pequeno, é determinante que se retire o maior partido possível da informação existente na caracterização pluviométrica da zona. Os cinco postos inseridos na área em estudo, têm períodos com falhas de registo compreendidos entre dias, meses e anos.

Da observação das Tabelas 4.3, a 4.16, nas secções 4.7, a 4.11, verifica-se que as séries de precipitação nos postos anteriormente identificados, para além de apresentarem numerosas falhas de registo, respeitam a diferentes períodos de observação. De forma a obter séries mensais de precipitação com um período comum razoável no maior número possível de postos udométricos, optou-se por proceder ao preenchimento de falhas ou ao prolongamento das séries históricas.

Para completar os registos associados a uma estação da rede pode recorrer-se aos dados disponíveis nas estações vizinhas, com regime similar de funcionamento. Este problema pode ser resolvido pela utilização de vários métodos. Neste trabalho serão utilizados apenas três, seguidamente descritos.

4.3- Média aritmética

É um método pouco fiável a menos que, aplicado em regiões onde a variação espacial da precipitação anual seja pequena. Na sua formulação P_x corresponde ao valor a calcular e P_i o valor de precipitação em cada um dos n postos considerados, para o mesmo período do valor em falta.

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (4.1)$$

4.4- Rácio médio (U.S. Weather Bureau)

O método proposto pelo United States Weather Bureau pode ser descrito pela equação (4.2), que determina a precipitação pretendida a partir do valor médio em três postos vizinhos (Chow, V. T. 1964)

Este método é utilizado para o preenchimento de precipitações de séries mensais ou anuais e tem por base o registo pluviométrico de, pelo menos, três estações climaticamente homogêneas e preferencialmente com as mesmas características que a estação que apresenta falhas.

Ao longo deste estudo, utilizou-se para este método apenas três estações para o cálculo de P_x , sendo as falhas mensais e anuais preenchidas pela seguinte equação:

$$P_x = \frac{\bar{P}_x}{3} \left(\frac{P_{y1}}{\bar{P}_{y1}} + \frac{P_{y2}}{\bar{P}_{y2}} + \frac{P_{y3}}{\bar{P}_{y3}} \right) \quad (4.2)$$

onde P_x é a precipitação a ser estimada para o posto com falha, P_{y1} , P_{y2} , P_{y3} , são as precipitações correspondentes dos postos vizinhos ao mês ou ano que se deseja preencher, \bar{P}_x a precipitação média do posto com falha e \bar{P}_{y1} , \bar{P}_{y2} e \bar{P}_{y3} representam as precipitações médias nas três estações que se utilizou para o preenchimento da respetiva falha.

4.5- Correlação

Um método que prima pela sua simplicidade é a regressão linear simples pois faz intervir apenas os valores de precipitação de dois postos, a partir da qual se avalia a correlação entre as precipitações em falta e a precipitação de um outro posto com características semelhantes a uma dada escala temporal, como seja a mensal (Vaz, J.A., 2010). Os dois postos têm de ser tais que o período comum com registos no mês a preencher seja suficientemente longo. Anote-se que este processo não atende à influência de fatores fisiográficos e climáticos nos valores de precipitação, como sejam a proximidade em relação ao mar ou a exposição aos ventos portadores de humidade. Tal circunstância é atenuada se os dois postos em consideração forem suficientemente próximos o que faz esperar padrões de precipitação correlacionáveis.

4.6- Metodologia

No presente capítulo foi aplicada a seguinte metodologia para preenchimento de falhas em séries mensais de precipitação, pela ordem apresentada, isto é, a metodologia ii) só foi aplicada quando a metodologia i) não forneceu resultados aceitáveis e a metodologia iii) só foi aplicada quando as restantes duas não se mostraram adequadas.

i) Utilizou-se o preenchimento com o valor médio mensal, sempre que num dado mês os valores diários não apresentassem uma correlação maior que 0,7.

ii) Correlação foi utilizada quando os valores não foram superiores a 15 dias de falhas. A pesquisa de postos vizinhos cuja série de precipitação nos meses em que se pretende preencher a falha apresenta boa correlação com a série do posto em consideração. Estabelecimento da equação que traduz a regressão e utilização dessa equação para preenchimento da falha. Optou-se por utilizar um coeficiente de correlação no mínimo de 0,7, sendo este menor utilizou-se a metodologia (i).

iii) Rácio médio foi utilizado nos restantes tipos de falhas, ou seja sempre que as falhas foram superiores a 15 dias, considerando sempre o valor mensal.

4.7- Bica da Cana

Quando o método da correlação foi utilizado para determinar as falhas do posto da Bica da Cana, foram usados os postos da Encumeada primeiramente para todas as falhas deste tipo desde o ano de 1969 ao ano de 1985 como demonstra a Tabela 4.3. A partir de 1985 até ao final da série as falhas foram determinadas em função da correlação do posto da Bica da Cana com o posto do Chão dos Louros.

Tabela 4.3- Falhas de registos pluviométricos Bica da Cana, preenchidas pela correlação

Bica da Cana-Correlação				
Ano	Mês	Duração (dias)	Postos utilizados	Coefficiente
1969	Dezembro	2	Encumeada	0,77
1982	Maio, Julho	5, 1,	Encumeada	0,94; 0,93
1983	Set., Out.	2, 1	Encumeada	0,73; 0,7
1984	Jan., Fev., Nov.	5, 3, 4	Encumeada	0,88; 0,97; 0,89
1985	Jul., Ago., Nov.	2, 8, 3	Encumeada	0,95; 0,7; 0,8
1989	Maio	9	Chão dos Louros	0,96
1991	Fevereiro	2	Chão dos Louros	0,92
1992	Agosto	2	Chão dos Louros	0,91
1993	Jun., Ago., Out.	5, 5, 7	Chão dos Louros	0,92; 0,98; 0,86
1995	Julho	2	Chão dos Louros	0,84
2007	Dezembro	2	Chão dos Louros	0,9
2008	Janeiro	4	Chão dos Louros	0,71
2009	Dezembro	6	Chão dos Louros	0,92
2010	Janeiro	2	Chão dos Louros	0,78

Tabela 4.4- Falhas de registos pluviométricos Bica da Cana, preenchidas pelo U.S.W.B.

Bica da Cana-U.S.W.B			
Ano	Mês	Duração (mês)	Postos utilizados
1981	Novembro	1	Enc., Rbr.Fr., St° S.
1983	Mai., Jun.	1	Enc., Rbr.Fr., St° S.
1996	Fev., Mar.	1	C.L, Ros., St° S.

Tabela 4.5- Falhas de registos pluviométricos Bica da Cana, preenchidas pela média.

Bica da Cana-Média		
Ano	Mês	Duração (dias)
1982	Outubro	2
1983	Jul., Ago., Nov., Dez.	8; 1; 1; 6
1985	Jun., Set.	2; 3
1989	Abr., Ago.	8; 4
1998	Dezembro	3
2005	Dezembro	2

As falhas mensais de precipitação nos registos deste posto começaram a ocorrer sobretudo na década de 1980, mais propriamente no mês de Novembro de 1981. O método utilizado para fazer o preenchimento desta falha mensal foi o (**U.S. Weather Bureau**) utilizando para o cálculo os registos pluviométricos deste mesmo mês, no posto da Encumeada, pertencente à região da bacia hidrográfica do Santo da Serra e também do Ribeiro Frio. Estes dois últimos postos mesmo não pertencendo à bacia em estudo situam-se em regiões com características semelhantes, para além de ter uma vasta série de anos de registos, o que leva a que os valores calculados sejam mais fiáveis. A Média também foi utilizada para o preenchimento de falhas deste posto, como indicado na Tabela 4.5.

4.8- Encumeada

O posto da Encumeada é aquele que apresenta mais falhas de registo da precipitação. Começando pelas falhas mensais, este posto tem no mês de Fevereiro de 1944 uma falha de 15 dias, pelo que se optou por utilizar o método de **U.S. Weather Bureau**, para cálculo do preenchimento destas falhas do valor mensal. Julho de 1945, Agosto e Setembro de 1958, Dezembro de 1959, Fevereiro, Junho, Novembro e Dezembro de 1979, Fevereiro, Março e Maio de 1980, Dezembro de 1982 e de 1983 e, finalmente, Janeiro e Abril de 1986 foram também eles preenchidos por este método. No entanto é de referir, que entre Novembro de 1954 a Novembro de 1956 não houve registos pluviométricos, sendo estes igualmente preenchidos com o método **U.S. Weather Bureau**.

Relativamente às falhas diárias, e preenchidas com a correlação, Dezembro de 1942, Maio, Setembro e Outubro de 1943, Março de 1944, Janeiro, Fevereiro, Maio, Junho e Agosto de 1945, Abril de 1946, Maio e Junho de 1947, Outubro de 1954, Agosto de 1966, Abril de 1969 e de 1980. De referir que apesar das inúmeras falhas, estas não foram em geral, superiores a quatro dias.

Utilizou-se também um terceiro método, atrás referido e mais simplificado que os dois anteriores, que foi o da média aritmética. Este foi utilizado pela simples razão que não existia para esses mesmos dias ou meses dados de registo que fosse possível utilizar para o cálculo do preenchimento das respetivas falhas, ou ainda os valores de correlação serem inferiores a 0,7.

Tabela 4.6- Falhas de registos pluviométricos Encumeada, preenchidas pela correlação

Encumeada-Correlação				
Ano	Mês	Duração (dias)	Postos utilizados	Coefficiente
1942	Dezembro	5	Caramujo	0,77
1943	Mai. Set. Out.	2, 3, 1	Caramujo	0,75; 0,95; 0,78
1944	Março	1	Car., Car., Stº S	0,85
1945	Jan., Fev., Mai., Jun., Ago.	2, 1, 1, 4, 1	Caramujo	0,7; 0,89; 0,88; 0,7; 0,92
1946	Abril	1	Caramujo	0,92
1947	Mai., Jun.	2, 1	Caramujo	0,94; 0,73
1954	Outubro	2	Caramujo	0,98
1966	Agosto	1	Caramujo	0,97
1969	Abril	5	Caramujo	0,76
1980	Abril	3	Ribeiro Frio	0,98

Tabela 4.7- Falhas de registos pluviométricos Encumeada, preenchidas pelo U.S.W.B

Encumeada-U.S.W.B			
Ano	Mês	Duração (mês)	Postos utilizados
1944	Fevereiro	15 dias	Car., Rbr.B., St° S.
1945	Julho	1	Car., Lou., St° S.
1954/1956	Nov. a Nov	2 anos	Car., Lou., St° S.
1958	Agosto	1	Car., Lou., St° S.
1958	Setembro	1	Car., Lou., St° S.
1959	Dezembro	1	Car., Lou., St° S.
1979	Fev., Jun., Nov., Dez	1	B.C., Rbr.Fr., St° S.
1980	Fev., Mar., Mai.	1	B.C., Rbr.Fr., St° S.
1982	Dezembro	1	B.C., Rbr.Fr., St° S.
1983	Dezembro	1	B.C., Rbr.Fr., St° S.
1986	Jan., Abr.	1	B.C., Rbr.Fr., St° S.

Tabela 4.8- Falhas de registos pluviométricos Encumeada, preenchidas pela média

Encumeada-Média		
Ano	Mês	Duração (dias)
1944	Mai., Jun., Ago., Set.	1, 3, 4

4.9- Loural

No posto udométrico do Loural o método do **U.S. Weather Bureau** foi utilizado apenas no mês de Novembro de 1960.

Nas restantes falhas foi utilizada a correlação mais propriamente para o mês de Maio de 1945, Outubro de 1953 e Abril de 1969. Em Janeiro de 1963 o coeficiente de correlação com o posto da Encumeada foi demasiado baixo, tendo-se optado fazer o preenchimento pela média aritmética do mês em questão.

Tabela 4.9- Falhas de registos pluviométricos Loural, preenchida pela correlação

Loural-Correlação				
Ano	Mês	Duração	Postos utilizados	Coefficiente
1945	Maio	5	Encumeada	0,83
1953	Outubro	1	Encumeada	0,79
1969	Abril	5	Encumeada	0,85

Tabela 4.10- Falhas de registos pluviométricos Loural, preenchida pelo U.S.W.B

Loural-U.S.W.B			
Ano	Mês	Duração (mês)	Postos utilizados
1960	Novembro	1	Enc., Car., St° S.

Tabela 4.11- Falhas de registos pluviométricos Loural, preenchida pela média

Loural-Média		
Ano	Mês	Duração (dias)
1963	Janeiro	1

4.10- Caramujo

No posto do Caramujo houve dois momentos distintos que influenciaram o preenchimento de falhas. O primeiro regista-se no ano de 1944, que apesar de não ter tido demasiadas falhas diárias como em outras estações em estudo, registou-se falhas em metade dos meses do ano, sendo sobretudo apenas para este período a dimensão das falhas de precipitação

Assim sendo, em Maio, Junho Setembro e Dezembro de 1944 as falhas mensais foram preenchidas pelo método **U.S. Weather Bureau**, bem como para o mês de Agosto do ano de 1956.

As restantes falhas foram preenchidas pelo método da correlação e deram-se nos no mês Outubro de 1944.

Tabela 4.12- Falhas de registos pluviométricos Caramujo, preenchida pela correlação

Caramujo-Correlação				
Ano	Mês	Duração (dias)	Postos utilizados	Coefficiente
1944	Outubro	6	Encumeada	0,85

Tabela 4.13- Falhas de registos pluviométricos Caramujo, preenchido pelo U.S W.B.

Caramujo-U.S.W.B			
Ano	Mês	Duração (mês)	Postos utilizados
1944	Maio	1	Enc., Rbr.B., St° S.
1944	Junho	1	Enc., Rbr.B., St° S.
1944	Setembro	1	Enc., Rbr.B., St° S.
1944	Dezembro	1	Enc., Rbr.B., St° S.
1956	Agosto	1	Enc., Rbr.B., St° S.

4.11- Chão dos Louros

No posto do Chão dos Louros a maior parte das falhas corresponde a falhas diárias, sendo que por cinco vezes no período da série de precipitação não houve registo de dados mensais. O primeiro data do ano de 1995, sendo que nos quatro anos seguintes cada um conteve igualmente um mês sem registo. Assim em Novembro (95 e 97), Agosto (96) e Fevereiro (98 e 99) as falhas mensais foram preenchidas pelo método **U.S. Weather Bureau**. As restantes falhas foram preenchidas pelo método da correlação e pela média.

Tabela 4.14- Falhas de registos pluviométricos Chão dos Louros, preenchida pela correlação

Chão dos Louros-Correlação				
Ano	Mês	Duração (dias)	Postos utilizados	Coefficiente
2001	Abr., Nov., Dez.	13, 6	Bica da Cana	0,75; 0,96
2002	Mar., Dez.	12, 6	Bica da Cana	0,81; 0,91
2003	Jan., Mar., Dez.	9, 5, 3	Bica da Cana	0,91; 0,97; 0,86
2004	Jul., Set.	7, 9	Bica da Cana	0,83; 0,76
2006	Abril	2	Bica da Cana.	0,97
2009	Setembro	7	Bica da Cana	0,98

Tabela 4.15- Falhas de registos pluviométricos Chão dos Louros, preenchida pelo U.S.W.B

Chão dos Louros-U.S.W.B			
Ano	Mês	Duração (Mês)	Postos utilizados
1995	Novembro	1	B.C, Ros, Stº S.
1996	Agosto	1	B.C, Ros, Stº S.
1997	Novembro	1	B.C, Ros, Stº S.
1998	Fevereiro	1	B.C, Ros, Stº S.
1999	Fevereiro	1	B.C, Ros, Stº S.

Tabela 4.16- Falhas de registos pluviométricos Chão dos Louros, preenchida pela média

Chão dos Louros-Média		
Ano	Mês	Duração (dias)
1989	Dezembro	2
1991	Junho	1
2006	Maio	3

4.12- Síntese

Para assegurar a qualidade da informação de base destinada a sustentar os estudos, eliminando possíveis erros de medição ou de transcrição de registos, optou-se por analisar com algum detalhe os dados udométricos disponíveis, sendo assim necessário proceder à verificação das séries de precipitação diária para concluir acerca da qualidade das correspondentes séries mensais.

Este problema pode ser resolvido pela utilização de vários métodos de preenchimento de falhas da precipitação, como é o caso da média aritmética, mesmo tratando-se este de um método pouco fiável a menos que aplicado em regiões onde a variação espacial da precipitação anual seja pequena, o rácio médio proposto pelo United States Weather Bureau, que determina a precipitação pretendida a partir do valor médio em três postos vizinhos, e, por último, a correlação, um método que prima pela sua simplicidade e faz intervir apenas dois postos a partir dos quais se avalia a correlação entre as precipitações em falta a uma dada escala temporal.

Relativamente às falhas dos postos em estudo do Lournal e Caramujo não foram muito comuns em comparação com os postos da Encumeada e Bica da Cana. Relativamente ao posto do Chão dos Louros, as falhas observadas foram distribuídas entre falhas diárias e mensais, tal como nos outros postos em estudo, salientando-se o período correspondente a 1995/1996 – 1999/2000, em que cada um dos anos teve uma falha relativa a um mês sem registo.

5-Análise da Precipitação

5.1- Introdução

Com suporte nos dados meteorológicos disponíveis e o regime de precipitações na área de estudo, procedeu-se à análise de dados pluviométricos diários (já com o preenchimento das falhas diárias, mensais e anuais correspondentes).

Os registos dados mensais e anuais de precipitação intervieram na quantificação da variável, hidrológica em causa e na correspondente caracterização da sua variabilidade temporal e espacial.

Para a caracterização pluviométrica a nível anual e mensal da área em estudo, utilizou-se conforme referido, séries de precipitação em cinco postos num período mínimo de 25 anos (Chão dos Louros) e máximo de 50 anos (Bica da Cana).

A partir dos valores da precipitação diária dos postos em estudo, obtiveram-se as precipitações anuais e mensais e sistematizaram-se estas séries por forma a proceder-se ao cálculo das correspondentes estatísticas amostrais, designadamente das suas médias e período de retorno.

Também foram apresentadas as séries de dados da precipitação com os correspondentes coeficientes de Thiessen, utilizadas para o capítulo 6, nomeadamente para a estimativa do escoamento de superfície, bem como para a análise às séries de dados a utilizar para a determinação de uma cheia, onde foram escolhidas as séries dos postos com mais representatividade nas ribeiras Grande e da Vargem, respetivamente à Bica da Cana e ao Chão dos Louros. Posteriormente procedeu-se à análise das precipitações totais anuais e dos máximos diários anuais nos respetivos postos udométricos/udográficos. Os registos de precipitação máxima diária anual possibilitaram assim, uma caracterização das precipitações intensas na bacia hidrográfica.

5.2- Precipitações anuais

No que concerne ao estudo das precipitações anuais, as secções seguintes contêm, para os cinco postos analisados, as características estatísticas das respetivas séries de precipitação anual, bem como as estimativas da precipitação máxima diária para os diferentes períodos de retorno adotados, ou seja para 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

5.2.1- Bica da Cana

A maior série de registos existente na área em estudo, pertence á estação da Bica da Cana. Na Figura 5.1, podemos constatar uma série com 50 anos de registo.

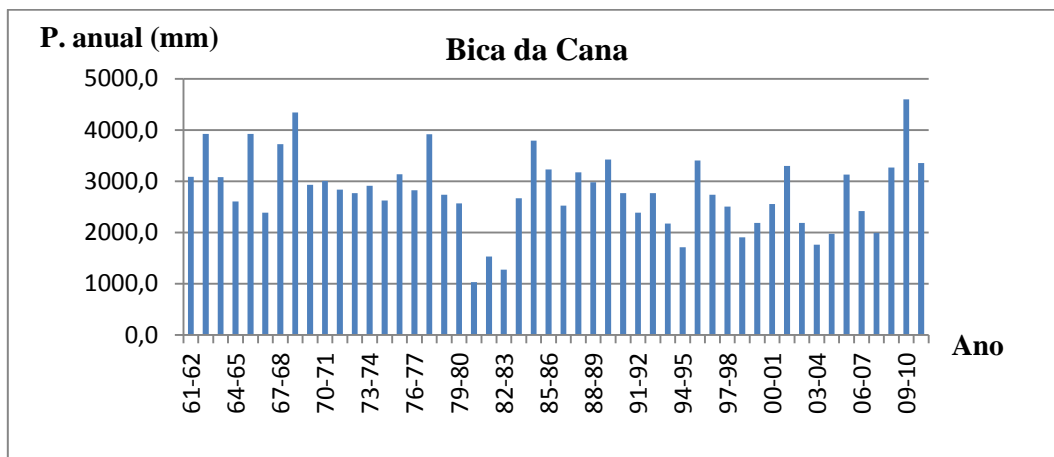


Figura 5.1- Variação da precipitação total anual da Bica da Cana

A análise da Figura 5.1 permite verificar que o ano com precipitações acentuadamente menores foi o de 1980/81 (1028,6 mm) e imediatamente seguido pelas segundas e terceiras precipitações anuais mais baixas na bacia hidrográfica com 1527,4 mm e 1273,8mm para os anos de 1981/82 e 1982/83 respetivamente.

Os anos mais húmidos, foram curiosamente o ano de 2009/2010 (4598,3 mm), ano de má memória para a população madeirense pelos acontecimentos extremos de precipitação ocorridos, sobretudo no mês de Fevereiro, estudados em (Almeida, A.B; *et al*, 2010) e o de 1968/69 (4339,4 mm).

O maior período de anos consecutivos com precipitação anual inferior à média (2799,9 mm) foi de seis anos, entre 1978/79 e 1983/84 (média da precipitação anual neste período de 1988,7 mm).

O maior período de anos consecutivos com precipitação anual superior à média foi de apenas cinco anos, tendo ocorrido entre 1967/68 e 1971/72 (média de 3365,9 mm).

Tabela 5.1- Precipitação máxima, mínima e média, Bica da Cana

Bica da Cana	
Máximo	4598,3 (mm)
Mínimo	1028,6 (mm)
Média	2799,9 (mm)

Por último, observa-se que os valores mais frequentes da precipitação anual se concentram entre os 2400 mm e os 4000 mm, representando cerca de 72% das ocorrências.

Em seguida ajustou-se a função de distribuição Normal às séries de valores precipitação total anual da Bica da Cana.

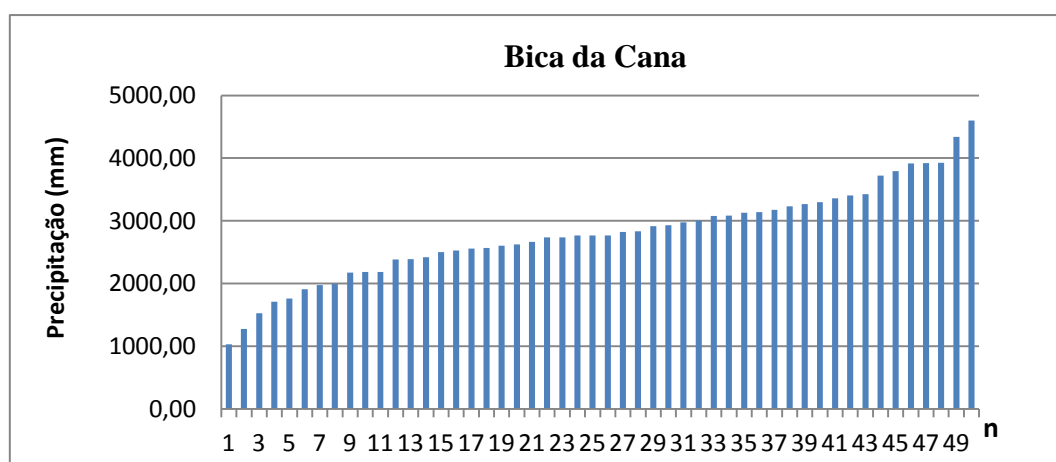


Figura 5.2- Valores de precipitação total anual ordenada no posto udográfico da Bica da Cana, sendo n a numeração ordenada da menor precipitação até a maior, da correspondente série.

A partir da função de distribuição ajustada, calculou-se os valores de precipitação correspondentes a anos muito secos, secos, médios, húmidos e muito húmidos (probabilidades acumuladas de, respetivamente, 5%, 20%, 50%, 80% e 95%).

Tabela 5.2- Desvio máximo, calculado e Tabelado Bica da Cana

Bica da Cana	
DMAX. Calculado	0,0684
DMAX. Tabelado	0,1523

Para este caso do posto udográfico da Bica da Cana, não se rejeita a hipótese da série de valores da precipitação total anual pertencer à distribuição normal, com um grau de confiança de 95%.

Tabela 5.3- Período de Retorno (T) Bica da Cana

Varição Anual	PTA (mm)
Ano muito seco (5%)	1577,9
Ano seco (20%)	2174,7
Ano médio (50%)	2799,9
Ano húmido (80%)	3425,2
Ano muito húmido (95%)	4022,0

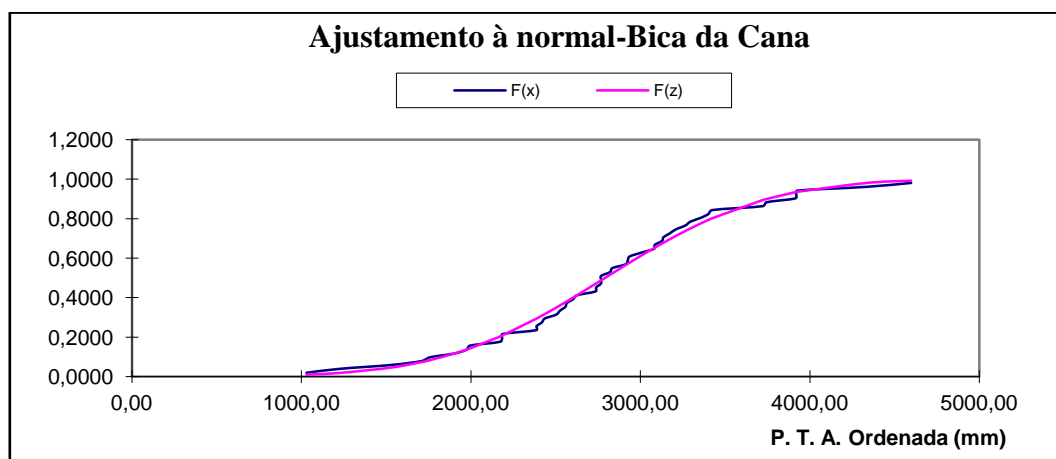


Figura 5.3- Ajustamento à distribuição normal - Bica da Cana

5.2.2- Encumeada

A análise dos seguintes registos do posto da Encumeada, permite verificar que o ano com precipitações acentuadamente menores foi o de 1944/45 (1563,0mm), como demonstra a Figura 5.4 seguidamente apresentada.

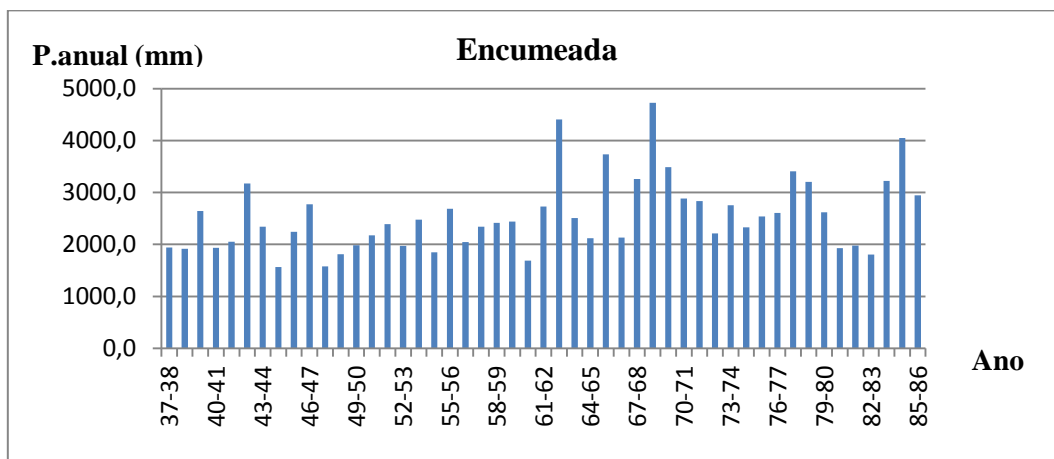


Figura 5.4- Variação da precipitação total anual da Encumeada

Os anos mais húmidos foram os de 1968/69 (4725,5 mm) e com valores próximos de 4000mm, os de 1962/63 (4403,6 mm), 1984/85 (4049 mm), 1965/66 (3736,4 mm).

O maior período de anos consecutivos com precipitação anual inferior à média (2548,1 mm) foi de oito anos, entre 1947/48 e 1954/55 (média de 2029,7 mm). O maior período de anos consecutivos com precipitação anual superior à média foi de cinco anos, tendo ocorrido entre 1967/68 e 1971/72 (média de 3438,8 mm).

Tabela 5.4- Precipitação máxima, mínima e média, Encumeada

Encumeada	
Máximo	4725,5 (mm)
Mínimo	1563,0 (mm)
Média	2548,1 (mm)

A caracterização da distribuição espacial da precipitação máxima anual associada aos diferentes períodos de retorno foi também efetuada neste trabalho. De referir uma vez mais, que o valor máximo encontrado foi no ano hidrológico de 1968/1969 com um valor de 4725,5 mm.

Foi também realizado um ajustamento através da distribuição normal aos registos do posto da Encumeada.

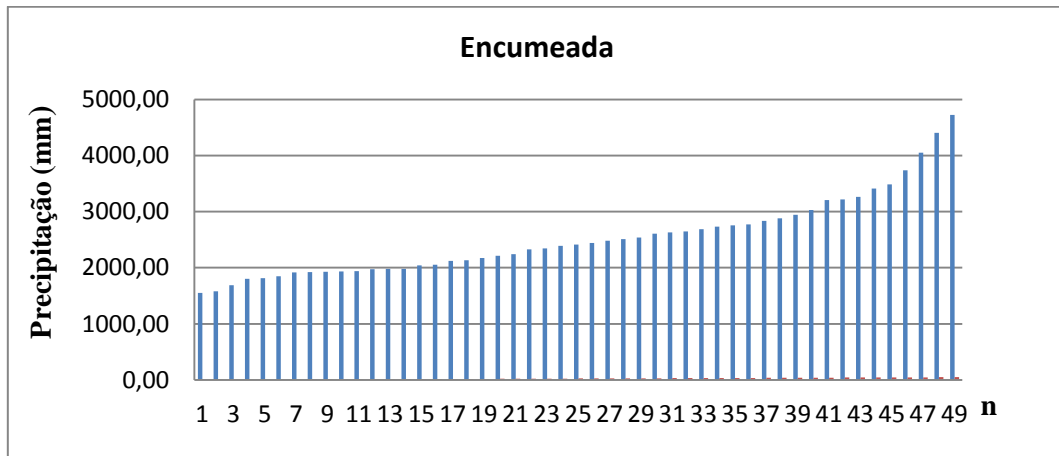


Figura 5.5- Valores de precipitação total anual ordenada no posto udográfico da Encumeada, sendo n a numeração ordenada da menor precipitação até a maior, da correspondente série.

A partir da função de distribuição ajustada, calculou-se os valores de precipitação correspondentes a anos muito secos, secos, médios, húmidos e muito húmidos (probabilidades acumuladas de, respetivamente, 5%, 20%, 50%, 80% e 95%).

Tabela 5.5- Desvio máximo, calculado e Tabelado Encumeada

Encumeada	
DMAX. Calculado	0,1098
DMAX. Tabelado	0,1538

Para o posto udográfico da Encumeada, não se rejeita a hipótese da série de valores da precipitação total anual pertencer à distribuição normal, com um grau de confiança de 95%.

Tabela 5.6- Período de Retorno (T) Encumeada

Varição Anual	PTA (mm)
Ano muito seco (5%)	1387,3
Ano seco (20%)	1954,2
Ano médio (50%)	2548,2
Ano húmido (80%)	3142,1
Ano muito húmido (95%)	3709,0

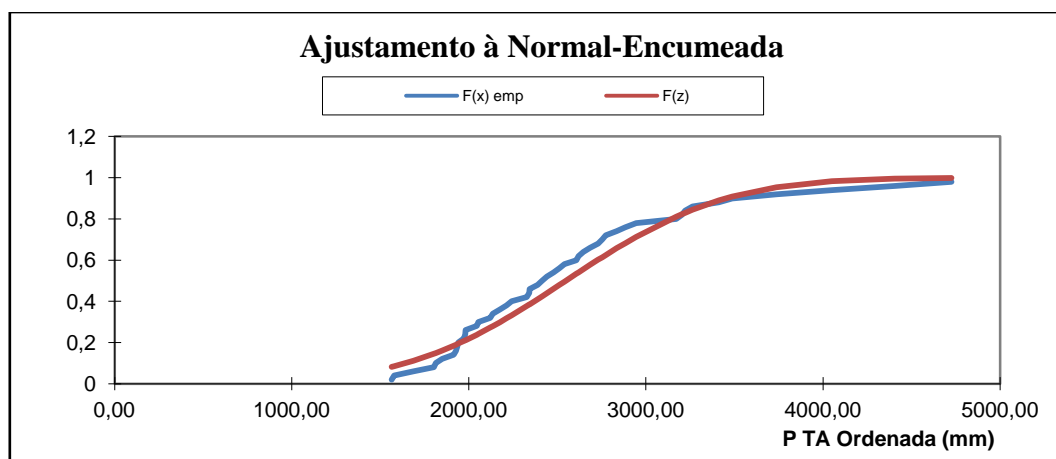


Figura 5.6- Ajustamento à distribuição normal - Encumeada

5.2.3- Loural

Relativamente á Figura 5.7, com os valores da precipitação do Loural, serviu mais uma vez para fazer uma análise que permite verificar que o ano com precipitações acentuadamente menores foi o de 1960/61 (951,4mm), que já havia sido antecedido por um ano hidrológico abaixo da média.

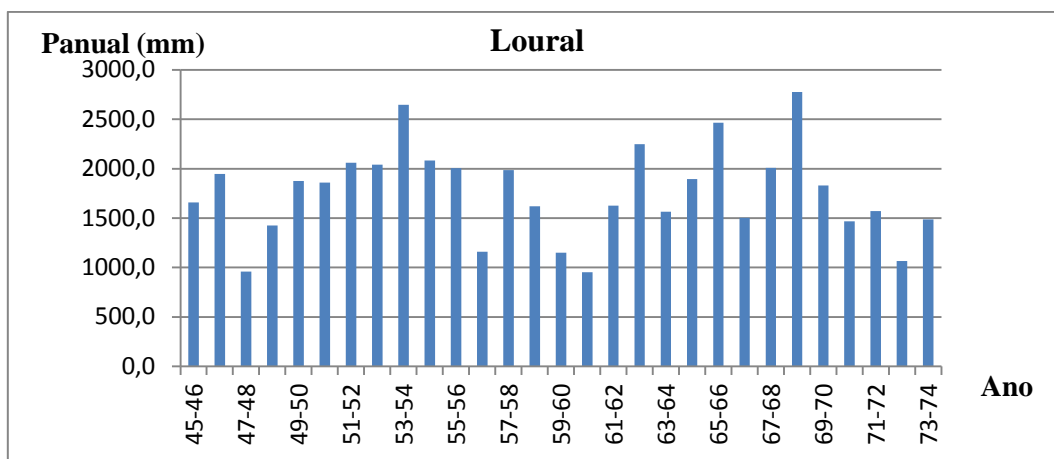


Figura 5.7- Variação da precipitação total anual do Loural

Os anos mais húmidos foram os de 1968/69 (2777,0 mm) e com valores próximos de 2500 mm, os de 1965/66 (2465,2 mm) e de 1953/54 (2647,3mm).

O maior período de anos consecutivos com precipitação anual inferior à média (1756,9 mm) foi de quatro anos, entre 1958/59 e 1962/63 (média da precipitação anual neste período de 1337,0 mm) e na sequência 1970/71 a 1973/74. O maior período de anos consecutivos com precipitação anual superior à média foi de sete anos, tendo ocorrido entre 1949/50 e 1955/56 (média de 2082,0 mm). Por último, observa-se que os valores mais frequentes da precipitação anual se concentram entre os 1000 mm e os 2100mm, representando cerca de 80% das ocorrências.

Tabela 5.7- Precipitação máxima, mínima e média, Loural

Loural	
Máximo	2777,0 (mm)
Mínimo	951,4 (mm)
Média	1756,9 (mm)

Tal como nos postos anteriores, calculou-se os valores de precipitação correspondentes a anos muito secos, secos, médios, húmidos e muito húmidos.

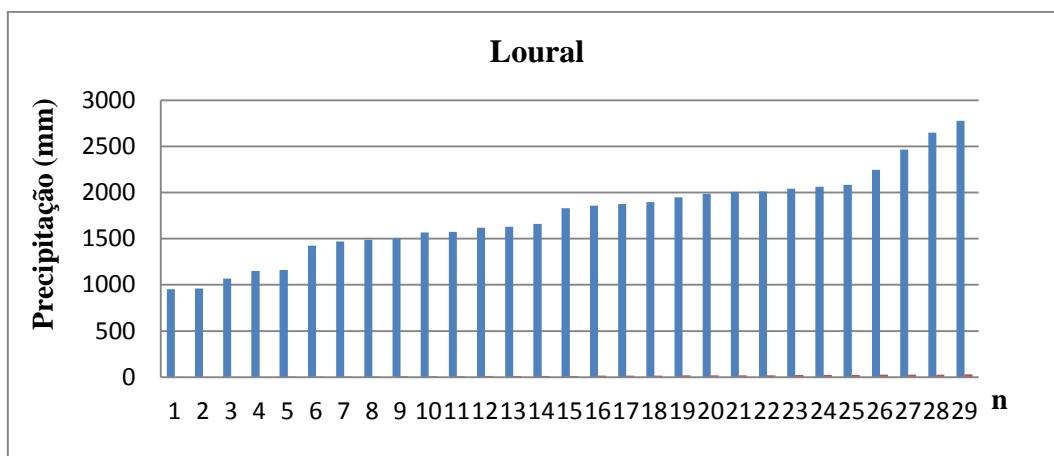


Figura 5.8- Valores de precipitação total anual ordenada no posto udográfico do Loural, sendo n a numeração ordenada da menor precipitação até a maior, da correspondente série.

Tabela 5.8- Desvio máximo, calculado e Tabelado Loural

Loural	
DMAX. Calculado	0,1034
DMAX. Tabelado	0,1977

Para o posto udográfico do Loural, não se rejeita a hipótese da série de valores da precipitação total anual serem bem descritos pela distribuição normal, com um grau de confiança de 95%, ou seja com um nível de significância de 5%.

Tabela 5.9- Período de Retorno (T) Loural

Variação Anual	PTA (mm)
Ano muito seco (5%)	992,3
Ano seco (20%)	1365,7
Ano médio (50%)	1756,9
Ano húmido (80%)	2148,2
Ano muito húmido (95%)	2521,6

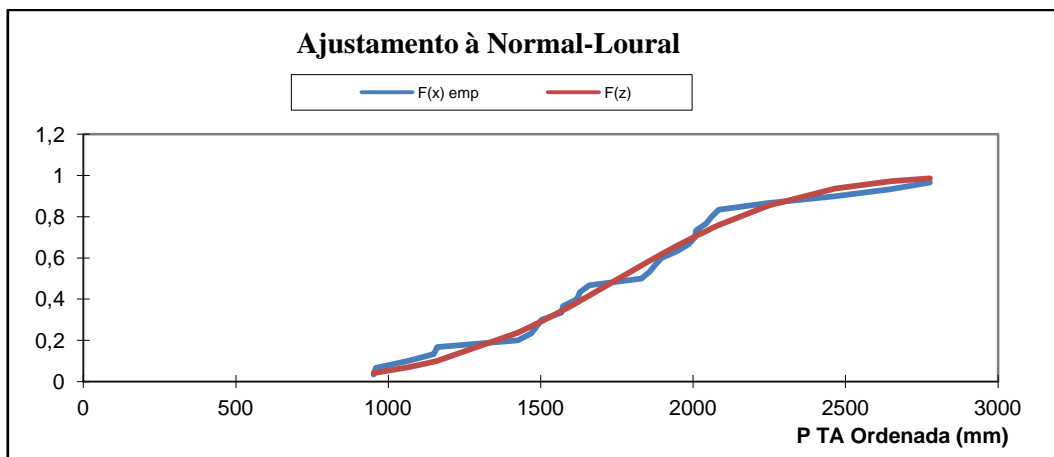


Figura 5.9- Ajustamento à distribuição normal - Lourel

5.2.4- Caramujo

Na Figura 5.10 verificou-se que o ano com precipitações acentuadamente menores foi, tal como na estação da Encumeada, o de 1944/45 (1922,3 mm) e o ano de 1947/1948 (1915,9 mm).

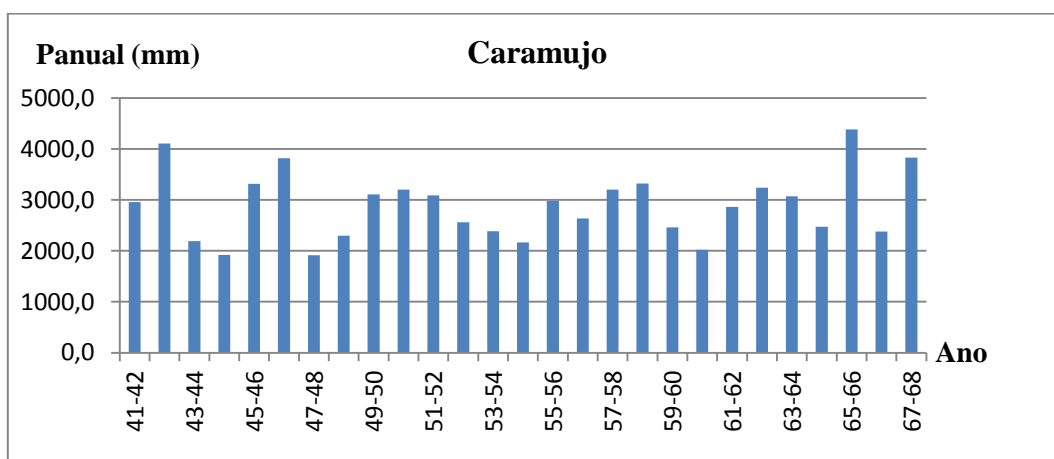


Figura 5.10- Variação da precipitação total anual do Caramujo

Os anos mais húmidos registados foram os de 1965/66 (4382,9 mm) registando assim o valor máximo nesta série de precipitação.

Com valores próximos de 4000 mm, os anos de 1942/43 (4106,2 mm), 1946/47 (3817,8 mm) e 1967/68 (3831,5 mm) foram os que registaram maiores valores de registos pluviométricos.

O maior período de anos consecutivos com precipitação anual inferior à média (2886,1 mm) foi de três anos, entre 1952/53 e 1954/55 (média da precipitação anual neste período de 2372,3 mm).

O maior período de ano consecutivo com precipitação anual superior à média foi também ele de apenas três anos, tendo ocorrido entre 1949/50 e 1951/52 (média de 3135,6 mm).

Por último, observa-se que os valores mais frequentes da precipitação anual se concentram entre os 2000 mm e os 4000 mm, representando cerca de 85,2% das ocorrências.

Tabela 5.10- Precipitação máxima, mínima e média, Caramujo

Caramujo	
Máximo	4382,9 (mm)
Mínimo	1915,9 (mm)
Média	2886,1 (mm)

Tal como nos postos anteriores, calculou-se os valores de precipitação correspondentes a anos muito secos, secos, médios, húmidos e muito húmidos.

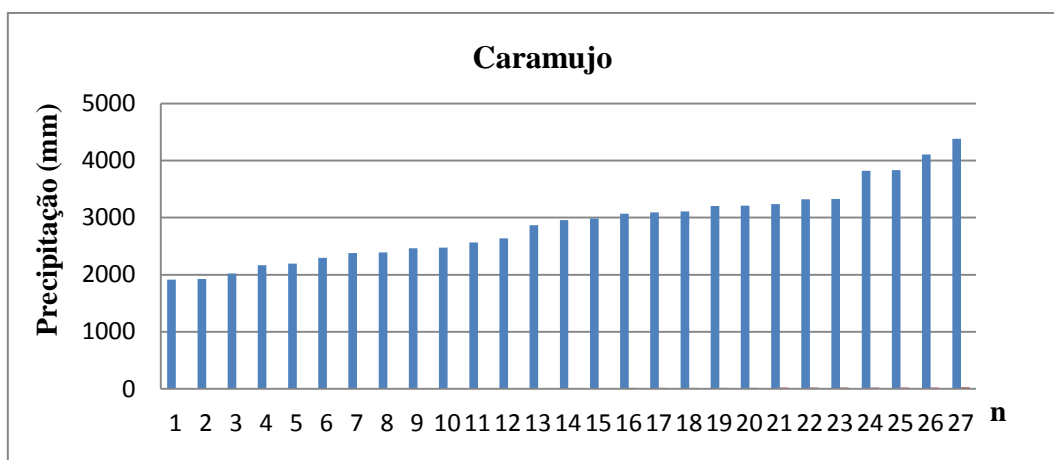


Figura 5.11- Valores de precipitação total anual ordenada no posto udoográfico do Caramujo, sendo n a numeração ordenada da menor precipitação até a maior, da correspondente série.

Tabela 5.11- Desvio máximo, calculado e Tabelado Caramujo

Caramujo	
DMAX. Calculado	0,1055
DMAX. Tabelado	0,2044

Para este caso do posto udográfico do Caramujo, não se rejeita a hipótese da série de valores da precipitação total anual ser bem descrita pela distribuição normal, com um grau de confiança de 95%.

Tabela 5.12- Período de Retorno (T) Caramujo

Varição Anual	PTA (mm)
Ano muito seco (5%)	1800,3
Ano seco (20%)	2330,6
Ano médio (50%)	2886,1
Ano húmido (80%)	3441,7
Ano muito húmido (95%)	3971,9

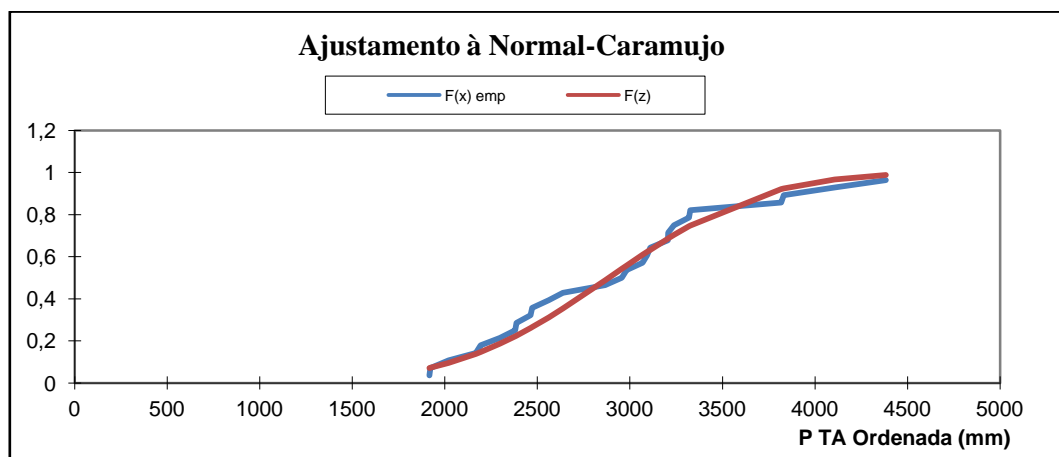


Figura 5.12- Ajustamento à distribuição normal - Caramujo

5.2.5- Chão dos Louros

Relativamente ao posto de Chão dos Louros, os registos das séries de precipitação são mais recentes, tendo sido registado, o maior registo de precipitação total anual no ano de 1995/96 com um valor de (4492,7 mm) como mostra a Figura 5.13. Verificou-se também que o ano com precipitações acentuadamente menores foi o de 2003/2004 (1446,2 mm).

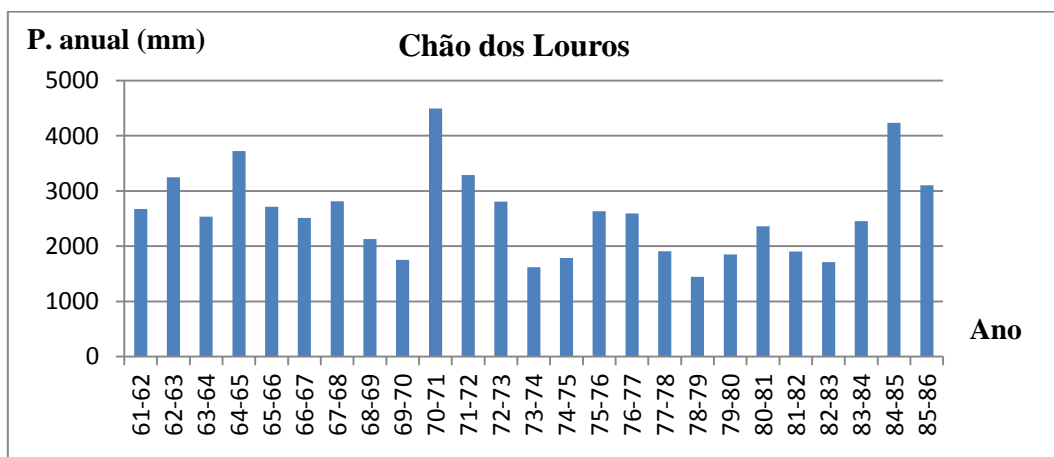


Figura 5.13- Variação da precipitação total anual do Chão dos Louros

Tabela 5.13- Precipitação máxima, mínima e média do Chão dos Louros

Chão dos Louros	
Máximo	4492,7(mm)
Mínimo	1446,2(mm)
Média	2571,2(mm)

Para o posto do Chão dos Louros também foram determinados os valores de precipitação correspondentes a anos muito secos, secos, médios, húmidos e muito húmidos.

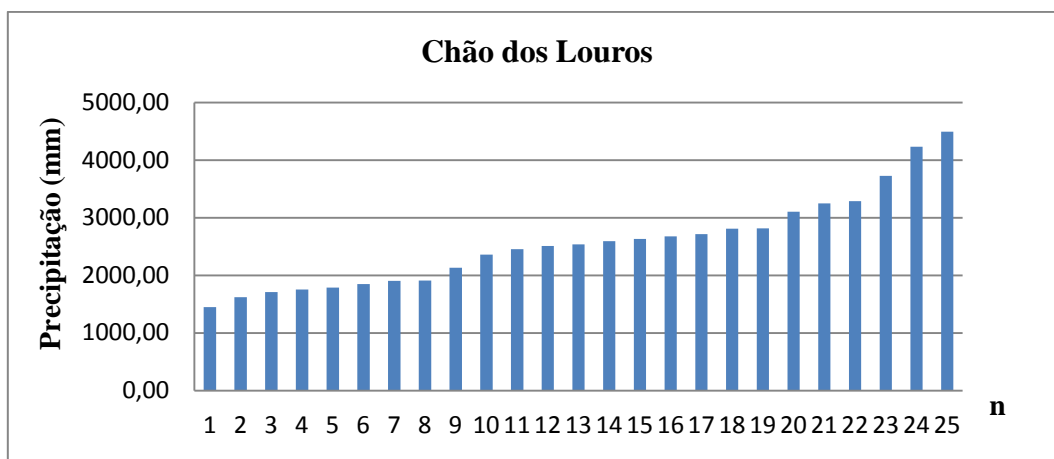


Figura 5.14 - Valores de precipitação total anual ordenada no posto udográfico do Chão dos Louros, sendo n a numeração ordenada da menor precipitação até a maior, da correspondente série.

Tabela 5.14- DMAX, calculado e Tabelado Chão dos Louros

Chão dos Louros	
DMAX. Calculado	0,1391
DMAX. Tabelado	0,2120

Para o posto udográfico do Chão dos Louros, não se rejeita a hipótese da série de valores da precipitação total anual ser bem descrita pela distribuição normal, com um grau de confiança de 95%.

Tabela 5.15- Valores de precipitação total anual e período de retorno - Chão dos Louros

Variação Anual	PTA (mm)
Ano muito seco (5%)	1268,5
Ano seco (20%)	1904,6
Ano médio (50%)	2571,2
Ano húmido (80%)	3237,8
Ano muito húmido (95%)	3873,9

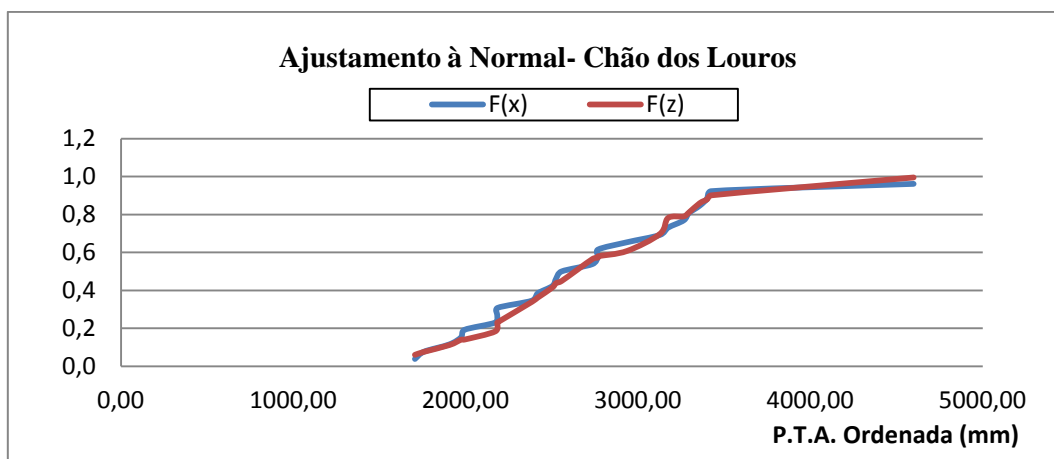


Figura 5.15- Ajustamento à distribuição normal - Chão dos Louros

5.3- Precipitações mensais

Na análise das precipitações mensais utilizou-se, para cada um dos meses das séries de anos hidrológicos e para cada um dos postos udométrico/udográficos, um tratamento estatístico que permitiu analisar as estimativas das precipitações mensais máximas, médias e mínimas, bem como os respetivos valores para períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

5.3.1- Bica da Cana

No posto da Bica da Cana, foi possível confirmar que Dezembro é o mês em que mais chove. Registou-se que Abril é o mais chuvoso dos meses do semestre seco, e que Julho e Agosto são os meses em que chove menos durante o ano.

Tabela 5.16- Máximo, mínimo e média das precipitações mensais - Bica da Cana

Mês	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Máximo	1016,9	882,7	1265,4	1200,8	1562,4	660,9	505,1	393,3	456,4	121,2	145,1	554,6
Mínimo	32,8	0,0	77,1	45,9	16,0	16,6	53,5	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0
Média	321,8	366,4	443,1	380,3	341,6	306,7	211,5	131,5	88,9	29,7	41,0	137,4

O maior valor de precipitação mensal registou-se no posto da Bica da Cana no mês de Fevereiro de 1968/69 com um valor de 1562,4 mm.

Relativamente ao valor mínimo registado, e ao contrário dos outros quatro postos, registou-se no mês de Novembro um mês sem precipitação no ano 1963/64, sendo que os outros meses sem precipitação registaram-se no semestre seco, sendo estes representados por Julho (1984 e 1993), Agosto (1984) e Setembro (1988).

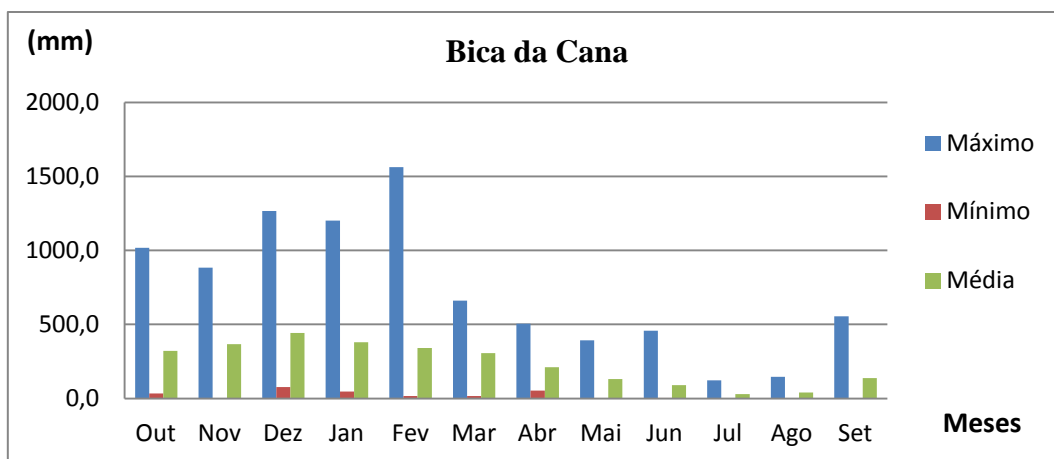


Figura 5.16- Máximo, mínimo e média das precipitações mensais - Bica da Cana.

Na Tabela 5.17 foram calculados os períodos de retorno para 5, 10, 20, 50 e 100 anos de cada um dos valores máximos registados de cada mês.

Tabela 5.17- Período de Retorno da precipitação mensal - Bica da Cana

Período de Retorno - Bica da Cana												
Tr	Out.	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
5	470,34	513,7	657,84	585,17	541,87	430,7	293,9	203,1	154,4	48,3	64,67	220,02
10	591,17	633,6	832,45	751,76	704,71	531,5	360,9	261,3	207,7	63,39	83,91	287,17
20	707,07	748,5	999,94	911,55	860,92	628,1	425,2	317,2	258,8	77,86	102,4	351,59
50	857,1	897,3	1216,7	1118,4	1063,1	753,3	508,5	389,5	324,9	96,59	126,3	434,97
100	969,52	1009	1379,2	1273,4	1214,6	847	570,8	443,7	374,5	110,6	144,2	497,45

5.3.2-Encumeada

Da análise destes resultados finais é possível confirmar que Janeiro é o mês com maior precipitação com uma média de 394,0 mm e que Julho e Agosto são os meses em que menos chove durante o ano.

Tabela 5.18- Máximo, mínimo e média das precipitações mensais - Encumeada

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Máximo	976,0	783,0	1236,6	1602,4	1782,9	780,3	471,1	400,4	281,8	97,5	180,2	534,5
Mínimo	19,1	28,5	65,3	35,7	14,0	34,5	9,1	0,0	0,0	0,0	2,0	11,4
Média	258,1	356,8	344,0	394,0	350,0	294,6	200,3	117,2	59,1	21,0	29,7	123,4

Fevereiro apresenta-se como o mês no qual houve nesta série de anos do posto da Encumeada, o maior registo de precipitação no ano hidrológico de 1968/69 com 1782,9 mm.

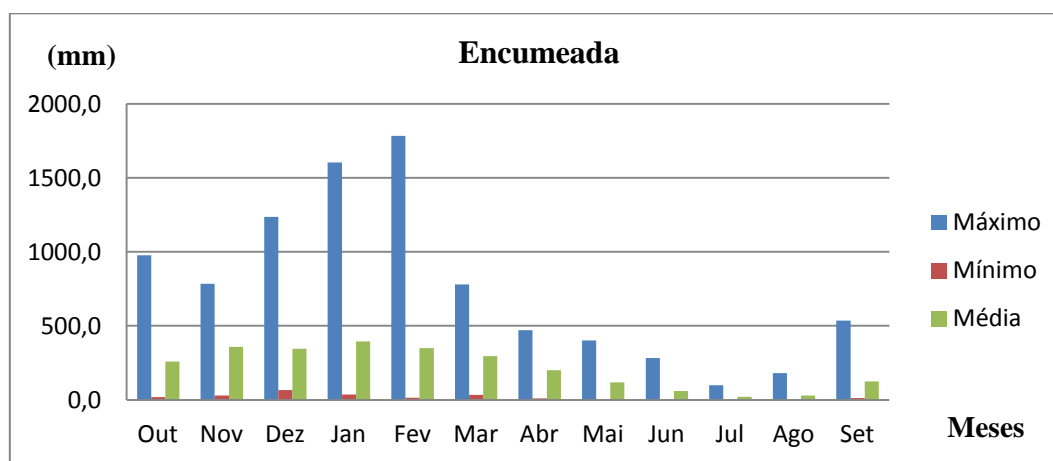


Figura 5.17- Máximo, mínimo e média das precipitações mensais - Encumeada

Na série temporal do posto da Encumeada os únicos meses em que não houve registo de precipitação foram os de Maio (1964), Junho (1943, 1946, 1967 e 1982) e Julho (1946, 1961, 1967, 1984, 1986). Curiosamente o mês de Agosto com uma média mensal de (29,5 mm) não apresentou em nenhum dos anos hidrológicos valores menores que dois mm.

Na Tabela 5.19 são apresentados os valores de máximos de precipitação de cada mês, para os períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, no posto da Encumeada.

Tabela 5.19- Período de retorno da precipitação mensal - Encumeada

Período de Retorno- Encumeada												
Tr	Out.	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
5	392,4	502,6	539,0	632,1	565,7	421,6	284,4	181,8	104,4	38,1	53,6	205,9
10	501,6	621,1	697,6	825,8	741,2	524,8	352,8	234,4	141,3	52,1	73,1	273,1
20	606,3	734,8	849,8	1011,6	909,5	623,9	418,4	284,8	176,7	65,6	91,7	337,5
50	741,9	881,9	1046,8	1252,1	1127,3	752,1	503,3	350,1	222,4	82,9	115,9	420,9
100	843,5	992,2	1194,4	1432,3	1290,5	848,2	567	399,0	256,7	96,0	134,0	483,4

5.3.3-Loural

Da análise dos resultados apresentados na Tabela 5.20 é possível verificar que Novembro é o mês com maior precipitação e Abril o mais chuvoso dos meses do segundo semestre seco, sendo que Julho e Agosto são os meses em que chove menos durante o ano.

Tabela 5.20- Máximo, mínimo e média das precipitações mensais - Loural.

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Máximo	638,1	761,0	603,7	791,2	1288,0	507,1	328,2	205,1	214,6	22,7	80,0	290,3
Mínimo	14,5	19,0	29,6	18,7	9,5	6,2	11,9	10,3	0,0	0,0	0,0	2,7
Média	188,7	299,1	221,6	281,7	263,8	190,2	124,2	68,9	37,0	7,3	14,3	60,1

O maior valor de precipitação mensal registou-se no posto do Loural no mês Fevereiro de 1968/69 com um valor de 1288,0 mm.

Relativamente ao valor mínimo registado, este coube aos meses de Verão nesta região ou seja Junho (1973), Julho (1957, 1960 e 1961) e Agosto (1949, 1953, 1959 a 1962 e 1973) sendo que este último registou por sete vezes precipitação nula na série temporal de 29 anos estudada.

Os períodos de retorno também foram calculados para os valores máximos de cada mês, sendo o que registou menor probabilidade de ser ultrapassado o do mês de Fevereiro (1228,0 mm) com um período de retorno estimado de 300,88 anos, curiosamente, como já tinha sido referido, este também foi o maior valor registado nesta série pluviométrica.

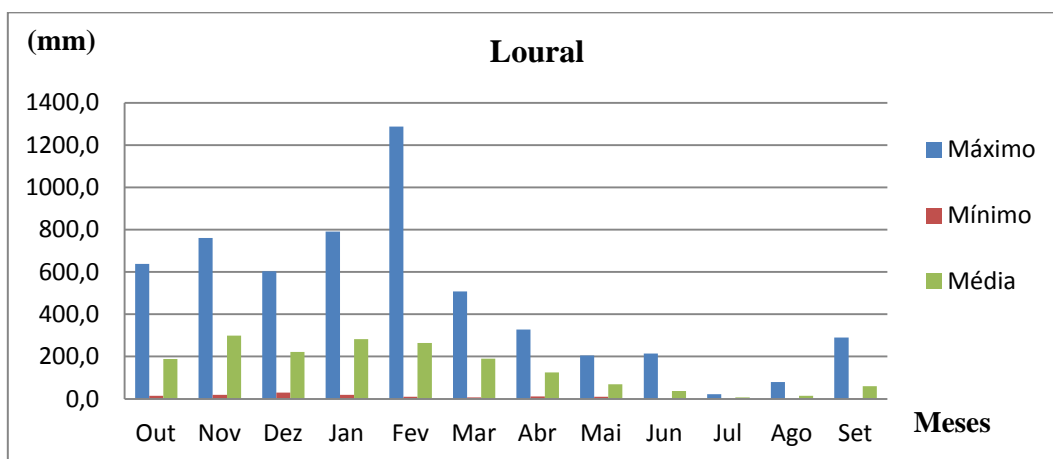


Figura 5.18- Máximo, mínimo e média das precipitações mensais - Loural

Na Tabela 5.21 foram calculados os períodos de retorno para 5, 10, 20, 50 e 100 anos de cada um dos valores máximos registados de cada mês.

Tabela 5.21- Período de retorno da precipitação mensal - Loural.

Período de Retorno- Loural												
Tr	Out.	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
5	302,93	425,2	331,29	438,2	448,14	279,5	193,81	103	75,74	12,27	27,07	107,2
10	395,85	527,7	420,49	565,5	598,02	352,2	250,42	130,8	107,2	16,33	37,47	145,5
20	484,99	626	506,05	687,6	741,78	421,9	304,72	157,5	137,4	20,22	47,45	182,2
50	600,36	753,3	616,79	845,6	927,87	512,1	375	192	176,5	25,26	60,37	229,7
100	686,82	848,7	699,78	964	1067,3	579,7	427,67	217,8	205,8	29,04	70,05	265,3

5.3.4-Caramujo

No posto de Caramujo, tal como no posto do Loural, Novembro é o mês com maior precipitação no semestre húmido e Abril o mais chuvoso dos meses do semestre seco.

Tabela 5.22- Máximo, mínimo e média das precipitações mensais - Caramujo

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Máximo	965,8	917,1	836,5	1027,2	897,5	942,0	571,1	422,1	271,2	178,3	105,1	279,8
Mínimo	27,0	60,8	87,2	13,3	10,5	50,2	18,4	13,5	0,0	0,0	0,0	32,6
Média	325,0	460,5	371,0	395,3	312,7	366,9	233,1	146,5	72,9	40,5	45,6	112,3

O maior valor de precipitação mensal registou-se no posto do Caramujo no mês Janeiro de 1962/63 com um valor de 1027,2 mm. No que diz respeito ao valor mínimo registado, este coube aos meses de Verão nesta região ou seja Junho (1943 e 1967), Julho (1961) e Agosto (1949, 1962 e 1967), sendo que este último registou por três vezes precipitação nula na série de 27 anos estudada.

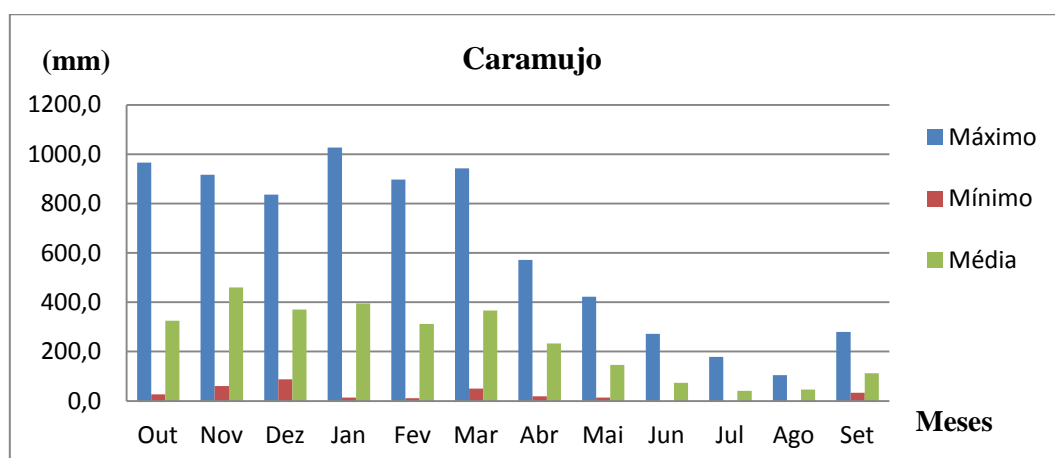


Figura 5.19- Máximo, mínimo e média das precipitações mensais - Caramujo

Na Tabela 5.23 foram calculados os períodos de retorno para 5, 10, 20, 50 e 100 anos de cada um dos valores máximos registados de cada mês.

Tabela 5.23- Período de retorno da precipitação mensal - Caramujo

Período de Retorno- Caramujo												
Tr	Out.	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
5	487,6	626,1	527,7	605,9	483	537,7	333,1	218,9	126	69,3	66,9	169,1
10	619,8	760,7	655	777,3	621,5	676,6	414,5	277,9	168,7	92,7	85,5	211,4
20	746,7	889,8	777,2	941,7	754,4	809,8	492,5	334,5	209,6	115,2	103,3	251,9
50	910,8	1057	935,4	1154,5	926,4	982,3	593,5	407,7	262,6	144,3	126,4	304,4
100	1033,9	1182,3	1054	1313,9	1055	1111	669,1	462,5	302,3	166,1	143,7	343,8

5.3.5-Chão dos Louros

Relativamente ao posto do Chão dos Louros verifica-se que Dezembro é o mês com maior média de precipitação (515,6 mm), sendo Abril o mais chuvoso dos meses do semestre seco, e Julho e Agosto os meses em que menos chove durante o ano hidrológico.

Tabela 5.24- Máximo, mínimo e média das precipitações mensais - Chão dos Louros

Ano	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Máximo	670,0	783,2	1231,2	971,9	999,7	697,8	561,2	520	371,2	63,2	79,5	498,5
Mínimo	22,2	80,3	107,6	37,0	3,0	16	36,8	4,7	3,0	0,0	0,0	4,0
Média	336,3	320,6	515,6	291,1	268,0	278,2	183,5	139,1	68,9	19,9	25,0	124,9

O valor máximo de precipitação mensal registou-se no posto do Chão dos Louros no mês de Dezembro do ano de 1996/1997 com um valor de (1231,2 mm). É de referir os valores de precipitação nos meses de Dezembro e Fevereiro do ano hidrológico de 2009/2010, 1136,2 mm e 999,7 mm respetivamente, que contribuíram para que este fosse o ano com maior precipitação total anual deste posto.

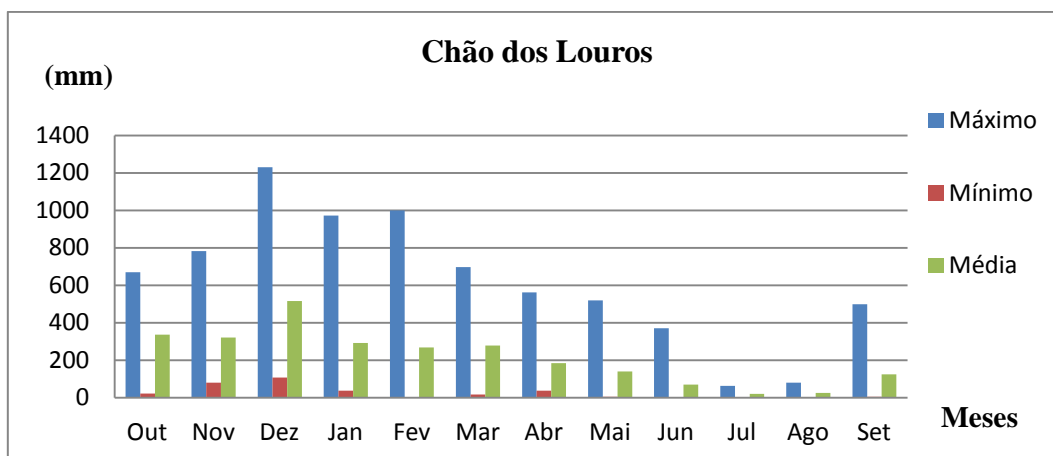


Figura 5.20- Máximo, mínimo e média das precipitações mensais - Bica da Cana

Na Tabela 5.25, foram calculados os períodos de retorno para 5, 10, 20, 50 e 100 anos de cada um dos valores máximos registados de cada mês.

Tabela 5.25- Período de retorno da precipitação mensal - Chão dos Louros

Período de Retorno- Chão dos Louros												
Tr	Out.	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
5	480,2	446,1	786,1	465,7	413,6	399,3	282,2	234,8	130,5	29,8	38,9	213,6
10	597,3	548,1	1006,1	607,7	532,1	497,7	362,5	312,5	180,7	37,9	50,3	285,8
20	709,5	646,0	1217,1	743,9	645,7	592,1	439,4	387,1	228,8	45,7	61,1	355,1
50	854,9	772,7	1490,3	920,2	792,8	714,3	539,1	483,6	291,0	55,7	75,2	444,7
100	963,8	867,6	1695,0	1052,4	903,0	805,9	613,7	556,0	337,7	63,2	85,8	511,9

5.4- Precipitações utilizadas na determinação do escoamento superficial

Os valores das séries de precipitações dos postos udométricos em estudo, a utilizar na determinação do escoamento superficial na secção 6.3, tiveram em consideração para todos os postos em estudo os valores de precipitação do mesmo mês e do mesmo ano hidrológico (86-87 a 92/93) das séries dos caudais medidos na ribeira da Vargem e na ribeira Grande.

No presente estudo, foram utilizados os mesmos postos udométricos/udográficos, bem como as secções de referência para cada uma das bacias hidrográficas (estação hidrométrica do Sitio na ribeira Grande e a estação hidrométrica do Rosário na ribeira da Vargem) utilizadas por Gaspar

2004, tendo a autora determinado os respectivos valores dos coeficientes de Thiessen como mostram as Tabelas 5.26 e 5.28, tendo tido em consideração para todos os postos interessados, o mesmo mês do mesmo ano hidrológico.

Tabela 5.26- Coeficientes de Thiessen para a bacia hidrográfica da ribeira da Vargem

Coeficientes de Thiessen - Bacia Hidrográfica de ribeira da Vargem				
	(Encumeada)	(Bica da Cana)	(Rosário)	(Chão dos Louros)
Coeficiente de Thiessen (%)	17	43	34	6

Na determinação da precipitação ponderada para a ribeira da Vargem, conclui-se que o posto da Bica da Cana é o que mais contribui, seguido do posto udográfico do Rosário, local onde se situa a estação hidrométrica estudada no capítulo seguinte.

Tabela 5.27- Precipitação ponderada para a bacia hidrográfica da ribeira da Vargem

Precipitação Ponderada - Bacia Hidrográfica de ribeira da Vargem								
	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94
Out.	214,8	431,5	355,7	500,4	148,0	237,7	343,6	475,2
Nov.	232,7	330,9	626,0	610,5	379,4	324,5	85,7	315,7
Dez.	214,0	883,8	168,5	527,5	533,2	410,5	642,5	228,1
Jan.	500,5	255,9	262,5	144,0	66,7	100,4	120,4	118,3
Fev.	268,2	174,7	219,7	9,1	283,5	503,9	127,9	106,4
Mar.	299,7	240,0	148,6	176,8	376,5	133,7	355,4	102,6
Abr.	189,9	88,4	196,2	309,7	145,6	61,2	99,6	107,7
Mai.	82,3	113,3	178,5	43,2	109,3	27,9	325,3	94,5
Jun.	85,8	74,1	12,0	113,1	8,2	97,8	13,6	5,0
Jul.	23,6	5,1	43,8	11,1	2,4	19,7	1,3	21,9
Ago.	32,4	32,8	84,2	31,8	14,6	62,8	40,3	36,8
Set.	138,7	0,5	200,0	513,6	180,1	104,4	170,6	34,4

Relativamente à precipitação ponderada para a ribeira Grande, temos os coeficientes de Thiessen representados na Tabela 5.28.

Tabela 5.28- Coeficientes de Thiessen para a bacia hidrográfica da ribeira Grande

Coeficientes de Thiessen - Bacia Hidrográfica de ribeira Grande			
	(Rosário)	(Chão dos Louros)	Curral da Freiras (Poiso)
Coeficiente de Thiessen (%)	4	92	4

Tabela 5.29- Precipitação ponderada para a bacia hidrográfica da ribeira Grande

Precipitação Ponderada - Bacia Hidrográfica de ribeira Grande								
	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94
Out.	147,9	508,3	314,1	561,7	183,6	246,7	331,7	327,7
Nov.	132,7	335,7	717,0	762,8	473,6	417,6	77,2	416,7
Dez.	154,9	1032,3	241,7	794,4	573,9	538,2	730,0	580,8
Jan.	650,8	362,4	236,5	188,2	121,1	99,1	138,6	256,7
Fev.	322,0	216,4	248,4	3,0	266,0	533,4	221,6	258,7
Mar.	386,7	288,0	131,9	201,1	511,4	112,4	407,3	291,3
Abr.	250,9	110,6	157,9	346,8	174,2	90,2	79,1	172,8
Mai.	73,6	128,2	173,6	47,7	70,8	58,3	480,9	147,6
Jun.	84,2	94,2	10,9	124,3	2,5	98,9	27,4	63,2
Jul.	26,5	15,8	33,7	12,6	8,0	22,3	10,5	18,5
Ago.	43,0	36,4	18,8	16,9	32,1	74,6	42,5	37,8
Set.	326,2	3,7	181,0	495,7	185,7	144,8	176,7	216,2

5.5- Precipitações utilizadas na determinação de cheia

No que diz respeito às precipitações utilizadas na determinação de uma situação de cheia, foram utilizados os dados dos postos mais representativos da ribeira da Vargem e da ribeira Grande, sendo estes o posto da Bica da Cana com 50 anos de registos e o de Chão dos Louros com 25 anos de registos. Os modelos apresentados foram executados pelo seguinte enquadramento.

Relativamente a amostra de valores anuais de precipitação máxima diária, referentes ao posto mais representativo a cada bacia hidrográfica em estudo, no caso, Bica da Cana e Chão dos Louros. Primeiramente foi analisada a precipitação anual máxima diária, para os dois postos.

O Posto da Bica da Cana, tal como foi referido na seção anterior apresenta 50 anos de registos, sendo que a Figura 5.21, representa os valores máximos ordenados para cada ano hidrológico desta série.

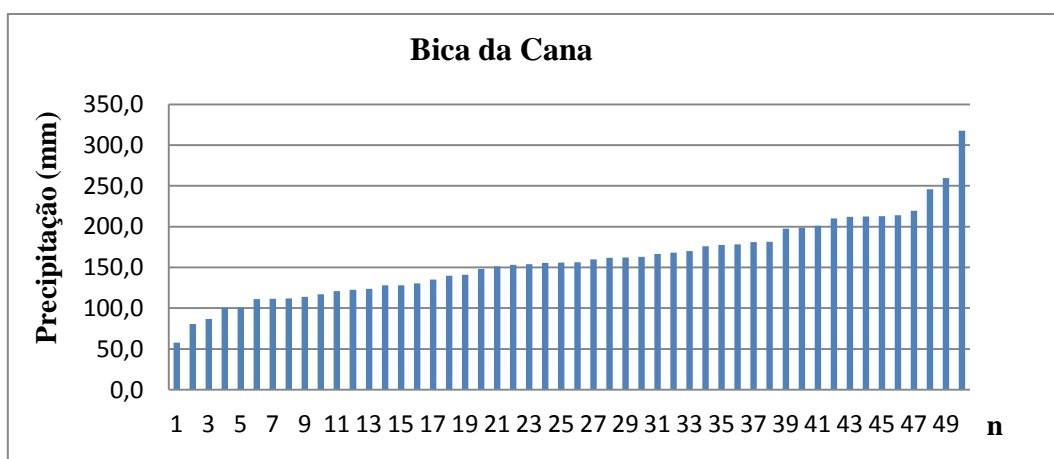


Figura 5.21- Valores de precipitação anual máxima diária ordenada, Bica da Cana, sendo n a numeração ordenada da menor precipitação até a maior, da correspondente série.

Na Figura 5.22, no posto do Chão dos Louros, também são apresentados os valores máximos de cada ano para a série de 25 anos de registo dos valores de precipitação.

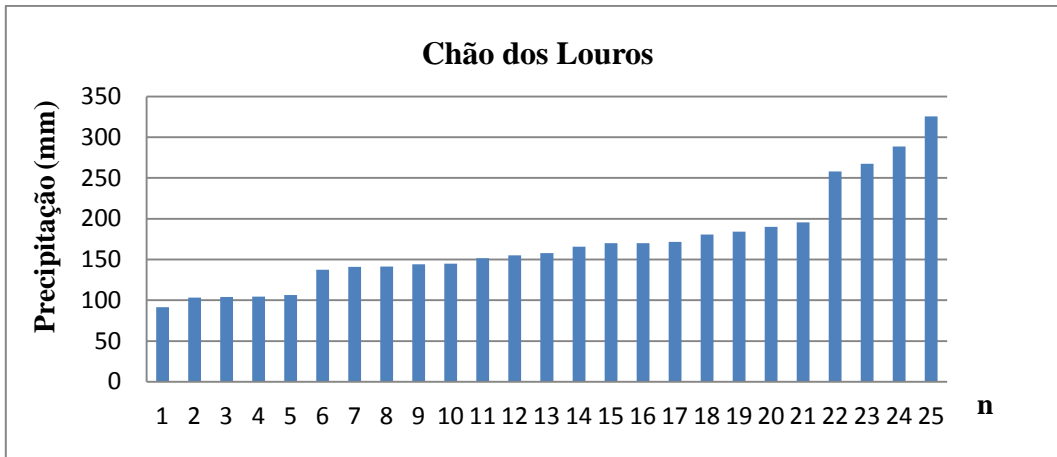


Figura 5.22- Valores de precipitação anual máxima diária ordenada, Chão dos Louros, sendo n a numeração ordenada da menor precipitação até a maior, da correspondente série.

Seguidamente, foi ajustada uma função de distribuição assintótica de extremos do Tipo I, lei de Gumbel a cada uma destas duas séries.

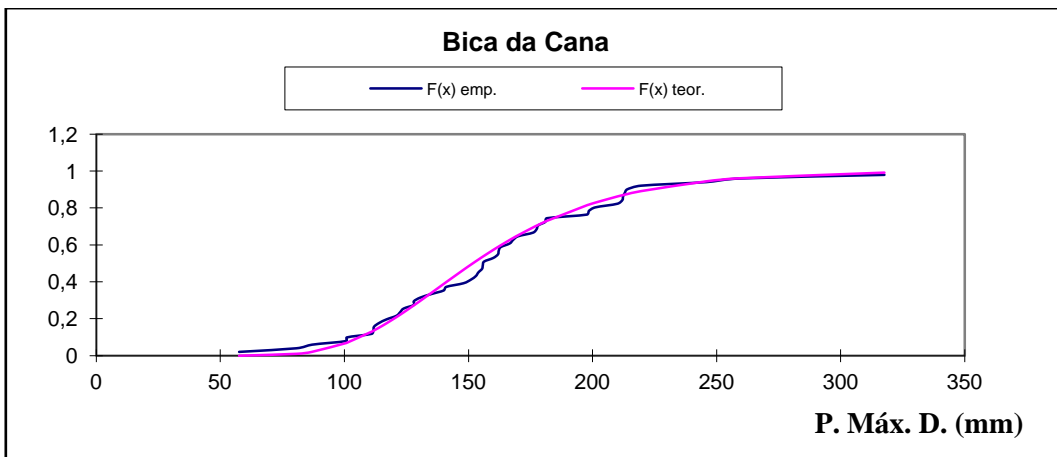


Figura 5.23- Ajustamento à lei de Gumbel - Bica da Cana

Tabela 5.30- Ajustamento à lei de Gumbel - Bica da Cana

Bica de Cana	
DMAX. Calculado	0,0934
DMAX. Tabelado	0,1302

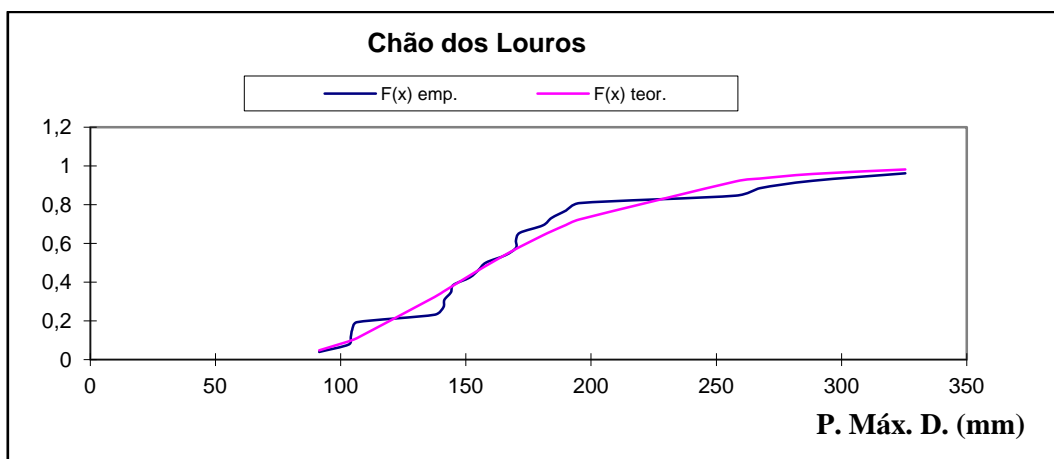


Figura 5.24- Ajustamento à lei de Gumbel - Chão dos Louros

Tabela 5.31- Ajustamento à lei de Gumbel - Chão dos Louros

Chão dos Louros	
DMAX. Calculado	0,1224
DMAX. Tabelado	0,1812

Donde se conclui que não se rejeita a hipótese da amostra em análise ser adequadamente descrita pela distribuição de Gumbel, com um grau de confiança de 95%, ou seja, com um nível de significância de 5%.

A partir da função de distribuição ajustada, também foram calculados os valores correspondentes aos períodos de retorno de 10, 20, 50, 100 anos.

Tabela 5.32- Valores de precipitação e período de retorno - Bica da Cana

T(x) anos	F(x)	PMD (mm)
10	0,9000	222,9
20	0,9500	250,0
50	0,9800	285,2
100	0,9900	311,6

Tabela 5.33- Valores de precipitação e período de retorno - Chão dos Louros

T(x) anos	F(x)	PMD (mm)
10	0,9000	247,5
20	0,9500	280,9
50	0,9800	324,1
100	0,9900	356,5

Não tendo sido encontradas curvas de possibilidade udométrica para qualquer dos postos situados na área em estudo, foram adotadas as curvas de possibilidade udométrica do posto udométrico do Funchal-Observatório (Figura 5.25 e Tabela 5.34), utilizadas em Almeida, A.B, *et al*, (2010).

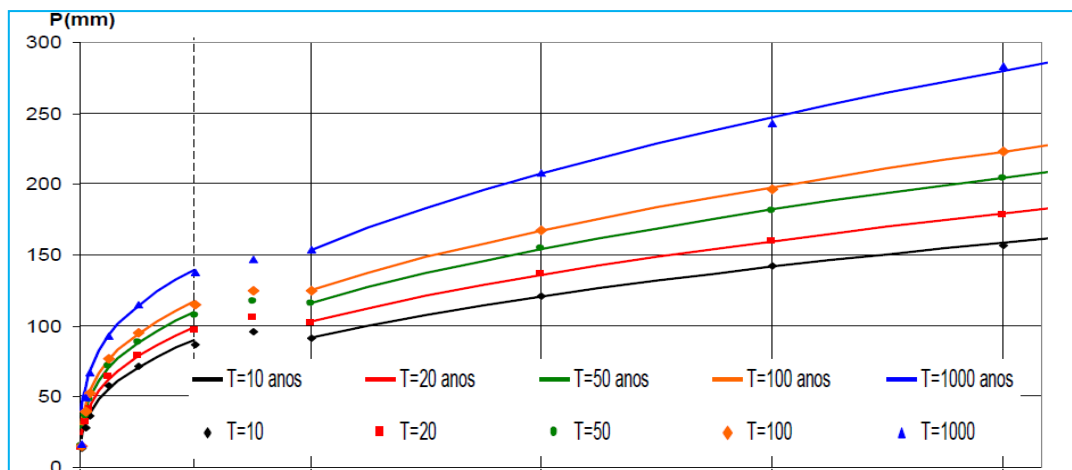


Figura 5.25- Curvas de Possibilidade Udométrica do Posto do Funchal-Observatório

Fonte: (Almeida, A.B, *et al*, 2010)

Note-se que os valores de precipitação máxima diária (valores para 24 horas) são bastante inferiores aos valores obtidos anteriormente, isto deve-se ao facto de o Funchal ser uma zona com níveis inferiores de precipitação, pois para além de se situar na vertente Sul da ilha, ao contrário da área em estudo neste trabalho que se situa na vertente Norte, os postos em consideração estão a altitudes muito distintas, sendo que os postos da Bica da Cana e Chão dos Louros se situam a altitudes de 1560 m e 900 m respetivamente, e o posto do Funchal aproximadamente a 60 m.

Mais uma vez é de notar que estas curvas de possibilidade udométrica só foram adotadas por não se ter encontrado mais nenhuma referência para a ilha da Madeira e visto que este posto é o único com uma série longa de precipitação com valores inferiores a um dia.

Tabela 5.34- Valores das precipitações máximas, para diferentes durações e vários períodos de retorno - posto do Funchal-Observatório

Duração	Dimensão da Amostra	Amostra de Precipitações Máximas Anuais			Precipitações Máximas Anuais			
		Média (mm)	Desvio-Padrão (mm)	Coef. Assimetria (-)	T=10 anos (mm)	T=20 anos (mm)	T=50 anos (mm)	T=100 anos (mm)
1 hora	29	23,5	9,6	0,941	36,4	41,4	47,8	52,3
3 horas		39,9	13,4	0,6	57,7	64	71,6	77
6 horas		48,9	17	0,544	71,5	79,3	88,7	93,3
12 horas		58,8	21,5	0,396	87,2	96,5	107,5	115,1
24 horas		59,9	23,6	0,595	91,3	102,3	115,7	125,1

Aplicando a expressão $h=a.t^n$ apresentada na secção 2.9 do capítulo 2, determinou-se as constantes da mesma pelo método dos mínimos quadrados, após a sua logaritmização.

Posteriormente determinou-se e utilizou-se as mesmas curvas de possibilidade udométrica para o posto da Bica da Cana relativo à bacia hidrográfica da ribeira da Vargem e para o posto do Chão dos Louros relativo à bacia hidrográfica da ribeira Grande, representadas na Tabela 5.35.

Tabela 5.35- Curvas de possibilidade udométrica obtidas

Curvas de Possibilidade Udométrica	
T=10anos	$h=39,357*t^{0,297}$
T=20anos	$h=44,314*t^{0,292}$
T=50anos	$h=50,539*t^{0,285}$
T=100anos	$h=54,927*t^{0,281}$

5.6- Síntese

Para a caracterização pluviométrica, a nível anual e, também a nível mensal, das bacias hidrográficas em estudo, utilizaram-se séries de precipitação de cinco postos num período mínimo de 25 anos e máximo de 50 anos entre 1937/38 e 2010/11.

Nas precipitações anuais, no posto da Bica da Cana, Encumeada, Loural, Caramujo e Chão dos Louros, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 5.36.

Tabela 5.36-Precipitações anuais mínimas e máximas nos postos em estudo

Precipitação Anual (mm)			
Postos	Dimensão (anos)	Mínima	Máxima
Bica da Cana	50	1028,6	4598,3
Encumeada	49	1563,0	4725,5
Loural	29	951,4	2777,0
Caramujo	27	1915,9	4382,9
Chão dos Louros	25	1446,2	4492,7

Na análise das precipitações mensais, utilizou-se para cada um dos meses das séries de anos hidrológicos e para cada um dos postos udométrico/udográficos, um tratamento estatístico que permitiu analisar as estimativas das precipitações mensais máximas, médias e mínimas, bem como os respetivos períodos de retorno para 5, 10, 20, 50, 100 anos.

Verificou-se que Julho e Agosto são, para os cinco postos em estudo, os meses em que menos chove durante o ano. Relativamente ao semestre húmido, mais importante no teor do estudo, nos postos da Bica da Cana e Encumeada foi possível confirmar que Janeiro é o mês em que mais chove, seguindo-se Novembro, o mês com maior precipitação nos postos do Loural e Caramujo e, por último, o mês de Dezembro no posto do chão dos Louros.

Neste capítulo foram ainda analisadas as precipitações a utilizar na determinação do escoamento superficial, tendo para isso sido determinada a precipitação ponderada pelo método dos polígonos de Thiessen para cada uma das bacias hidrográficas em estudo.

6- Escoamento Superficial

6.1- Introdução

A forma e a elevada altitude média da freguesia de São Vicente, associada a uma elevada pluviosidade, é uma característica modeladora do relevo. A vertente Norte da ilha da Madeira, onde se situam as bacias hidrográficas em estudo, é preenchida por numerosas e pequenas ribeiras, as quais, mesmo no Verão, apresentam caudal, embora diminuto, contrariamente às ribeiras da encosta Sul da ilha, que praticamente secam nesse mesmo período.

A história da ilha da Madeira está muito ligada às ribeiras e às torrentes que nelas correm, vulgarmente designadas por aluviões, que também são sinónimo de inundações, e que provocaram ao longo dos tempos perdas materiais e humanas, a última das quais, ainda bem presente na memória de todos, ocorreu a 20 Fevereiro de 2010.

A incerteza associada às disponibilidades hídricas, nomeadamente no que diz respeito ao escoamento na ilha da Madeira é muito elevada. Tal facto deve-se principalmente à escassez de dados, uma vez que a exploração e manutenção da rede são bastante difíceis, em consequência do regime torrencial dos cursos de água naturais, associado ao acidentado relevo, e ao facto dos frequentes, sobretudo nos meses de Inverno, desprendimentos e arrastamentos de blocos rochosos que obstruem as secções de medição ou danificam os equipamentos e estruturas nelas existentes, com conseqüente interrupção da medição das alturas hidrométricas. Surgem, deste modo, inúmeras falhas de registos durante períodos por vezes extensos ou mesmo abandono de estações. (Prada, S., *et al* 2005).

Relativamente aos aspetos anteriormente referidos, os modelos destinados a avaliar o escoamento na ilha da Madeira, propostos por Gaspar M. A. (2001) apenas puderam utilizar os registos fornecidos por seis estações hidrométricas (Prada, S., *et al* 2005), sendo que duas destas são, a estação do Rosário, referente à ribeira da Vargem e a estação do Sítio, referente à ribeira Grande.

6.2- Rede hidrométrica

A rede hidrométrica considerada no presente estudo, é constituída por uma estação na ribeira da Vargem (Rosário) e outra na ribeira Grande (Sítio), que por sua vez, após a sua confluência dão origem á ribeira de São Vicente.

É fundamental a existência de séries históricas de observações hidrométricas, isto é, de registos de medições efetuadas ao longo de um período de tempo alargado. Uma série de dados

hidrométricos, para ser realmente representativa, necessita de ter pelo menos 20 anos de observações, ou ainda mais, quando se trata de bacias de regime muito irregular. Neste trabalho as séries hidrométricas são de seis anos, sendo este número notoriamente escasso para o tratamento de dados hidrológicos, o que determinou a adoção de estratégias para suprimir este problema, seguidamente explicadas nas seções seguintes deste capítulo.



Figura 6.1- Estações hidrométricas na área de estudo

As séries hidrométricas inerentes às estações do Rosário (ribeira da Vargem) e do Sítio (ribeira Grande), foram analisadas de modo a analisar o andamento geral das séries hidrológicas e a detetar eventuais especificidades das mesmas.

Para tal, foram fornecidos pelo IGA os registos históricos dos caudais registados na ribeira da Vargem entre os anos hidrológicos de 86/87 a 93/94 e, na ribeira Grande, entre os anos hidrológicos 86/87 a 92/93, reconhecendo que este número de anos é notoriamente reduzido. As coordenadas geográficas dos limnígrafos instalados na ribeira Grande (à cota 300m) e na ribeira da Vargem (à cota 400m) correspondem a $x= 310780$ m; $y=3627917$ m e $x=309956$ m; $y=3627888$, respetivamente. O Sistema de Projeção Cartográfica é o UTM (fuso 28) Elipsoide Internacional, datum Porto Santo, Coordenadas UTM (unidades em metros).

Tabela 6.1- Caudal médio mensal referente à ribeira Grande - Sítio

Caudal médio mensal (m ³ /s) ribeira Grande-Sítio												
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
86-87	0,20	0,27	0,30	1,04	0,60	0,74	0,48	0,15	0,13	0,08	0,07	0,23
87-88	0,51	0,44	1,20	0,30	0,36	0,67	0,16	0,18	0,16	0,12	0,10	0,09
88-89	0,21	0,70	0,28	0,44	0,38	0,31	0,35	0,29	0,20	0,19	0,08	0,19
89-90	0,64	0,67	0,83	0,35	0,20	0,34	0,51	0,21	0,32	0,18	0,12	0,40
90-91	0,31	0,53	0,85	0,19	0,43	0,46	0,27	0,25	0,13	0,11	0,07	0,14
91-92	0,13	0,39	0,52	0,11	0,44	0,23	0,11	0,12	0,13	0,07	0,11	0,11
92-93	0,29	0,15	0,57	0,11	0,11	0,09	0,07	0,14	0,11	0,06	0,06	0,07

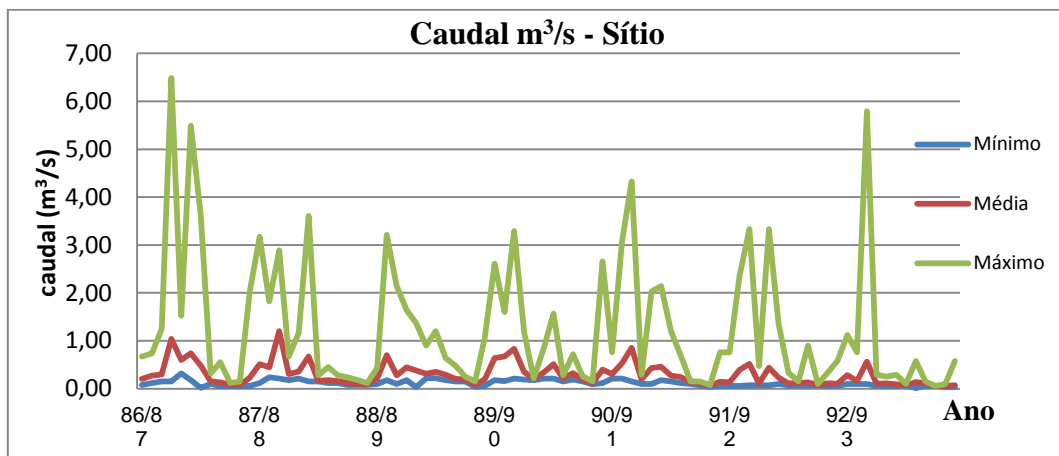


Figura 6.2- Variação do caudal médio mensal, mínimo mensal e máximo mensal na ribeira Grande - Sítio

Os hidrogramas assim obtidos revelaram a existência de períodos frequentes, especialmente no semestre húmido (de Abril a Setembro), com caudais médios mensais abaixo da média, de acordo com o que seria de esperar.

A partir da Tabela 6.2 e da Figura 6.3, é possível observar a evolução dos caudais na ribeira da Vargem, obtidos pelo limnígrafo situado na povoação do Rosário em São Vicente.

Tabela 6.2- Caudal médio mensal referente à ribeira da Vargem- Rosário

Caudal médio mensal (m ³ /s) ribeira da Vargem- Rosário												
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
86-87	0,41	0,35	0,23	0,70	0,50	0,45	0,22	0,18	0,19	0,14	0,12	0,36
87-88	0,32	0,38	1,59	0,30	0,30	0,23	0,13	0,11	0,08	0,07	0,06	0,05
88-89	0,12	0,74	0,22	0,24	0,19	0,13	0,18	0,16	0,11	0,08	0,07	0,09
89-90	0,48	0,82	1,18	0,28	0,13	0,13	0,30	0,12	0,10	0,11	0,05	0,39
90-91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91-92	0,09	0,26	0,43	0,12	0,25	0,15	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
92-93	0,20	0,06	0,49	0,12	0,18	0,31	0,09	0,30	0,08	0,07	0,06	0,05

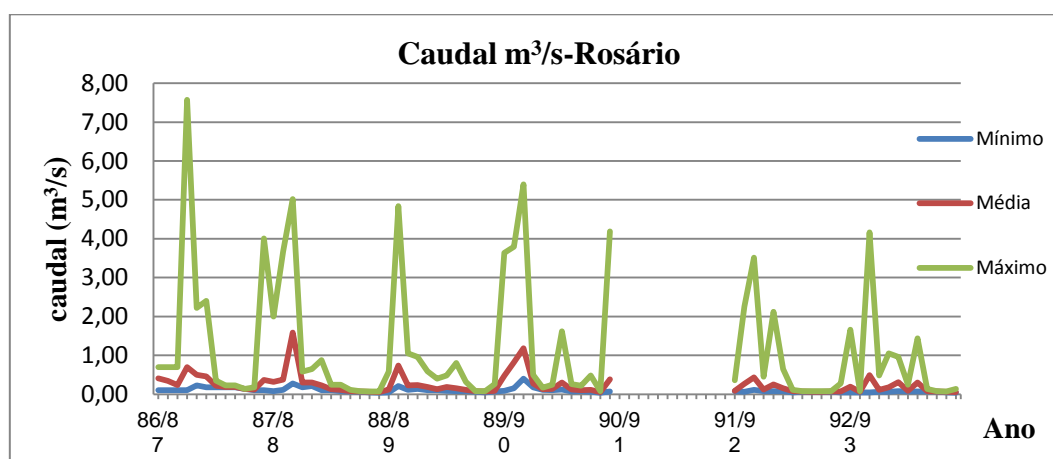


Figura 6.3- Variação do caudal médio mensal, mínimo mensal e máximo mensal na ribeira da Vargem - Rosário

Das Tabelas 6.1 e 6.2 verifica-se a insuficiência de registos hidrométricos, constatando-se que o período de valores hidrométricos para as estações do Rosário (ribeira da Vargem) e do Sítio (ribeira Grande) é de apenas seis anos, inerente à estação hidrométrica do Sítio.

6.3 Estimativa do escoamento de superfície na ausência de medições hidrométricas

Um dos objetivos do estudo de Gaspar, M. A. (2001) foi a obtenção de estimativas de valores de escoamento de superfície na bacia hidrográfica da ribeira de São Vicente, a partir dos valores de precipitação.

De modo a analisar o registo das séries hidrológicas e a detetar eventuais especificidades das mesmas, Gaspar M. A. (2001) elaborou diagramas cronológicos das precipitações mensais e dos escoamentos mensais, expressos em altura de água, nas secções de referência das bacias hidrográficas dominadas pelas estações hidrométricas selecionadas, sendo estes obtidos a partir dos caudais médios diários registados, atendendo ao número de dias de cada mês e às áreas das respetivas bacias.

Nas Tabelas 6.3 e 6.4, são apresentados os valores de altura de escoamento determinados por Gaspar M. A. (2001), com base nos registos dos caudais referidos na seção anterior.

Tabela 6.3- Altura de escoamento referente à ribeira Grande - E.H. Sítio

Alturas de escoamento (mm) ribeira Grande - E.H. Sítio												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
86-87	85,0	111,1	127,5	442,2	238,6	314,6	197,5	63,8	53,5	34,0	26,8	94,6
87-88	216,8	181,0	510,2	127,5	143,2	284,9	65,8	76,5	65,8	51,0	42,5	37,0
88-89	89,4	287,9	118,6	187,9	150,1	132,8	143,2	124,0	82,7	80,6	36,1	79,4
89-90	272,1	263,3	352,9	148,8	76,8	144,6	209,8	89,3	131,7	76,5	51,0	164,6
90-91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91-92	55,3	160,5	221,1	46,8	175,0	97,8	45,3	51,0	53,5	29,8	46,8	45,3
92-93	123,3	61,7	242,3	46,8	43,8	38,3	28,8	59,5	45,3	25,5	25,5	28,8

Tabela 6.4- Altura de escoamento referente à ribeira da Vargem - E.H Rosário

Alturas de escoamento (mm) ribeira da Vargem - E.H. Rosário												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
86-87	47,0	50,0	61,1	328,9	219,8	211,5	100,0	84,6	86,4	75,2	56,4	163,7
87-88	150,4	172,8	742,4	141,0	131,9	108,1	59,1	51,7	36,4	32,9	28,2	22,7
88-89	47,0	359,2	103,4	112,8	80,6	61,1	81,9	75,2	50,0	37,6	32,9	40,9
89-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90-91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91-92	37,6	113,7	206,8	56,4	109,9	70,5	40,9	32,9	40,9	32,9	32,9	31,8
92-93	94,0	27,3	230,3	56,4	79,1	145,7	40,9	141,0	36,4	32,9	28,2	22,7

Na ausência de medições hidrométricas numa determinada secção, podem os valores da altura de escoamento na mesma secção ser estimados por processos indiretos, sendo que, para valores anuais, pode recorrer-se apenas a registos de precipitação ou simultaneamente a registos de precipitação e de temperatura.

Com base apenas em medições da precipitação na bacia hidrográfica definida pela secção em causa, recorre-se a uma regressão estatística precipitação/escoamento determinada para outra secção, na mesma bacia ou noutra vizinha, e que se considere aplicável à secção em causa. Em geral admite-se que esta regressão é traduzida pela equação:

$$R = a + bP \quad (6.1)$$

Em que: R e P são os valores anuais, respetivamente, do escoamento na secção e da precipitação na bacia por ela definida, nas mesmas unidades de altura água, usualmente mm, a e b são os parâmetros da regressão.

O anterior modelo descreve a relação entre a precipitação e o escoamento desde que o intervalo de tempo subjacente ao mesmo seja o ano hidrológico. De facto, verifica-se que, no fim de cada ano hidrológico, a variação do armazenamento subterrâneo na bacia hidrográfica é praticamente nulo pelo que se os volumes de água postos em jogo pela ação humana foram desprezados, a

diferença entre P e R pode ser explicada unicamente pelo retorno à atmosfera, sob a forma de vapor, da água precipitada e que não originou escoamento (Gaspar M. A. (2001).

A análise dos modelos de precipitação escoamento ao longo deste capítulo foi feita tendo em conta que as precipitações mensais foram determinadas usando o método dos polígonos de Thiessen

Assumiu-se que o escoamento num determinado mês depende apenas da precipitação nesse mesmo mês.

Esta análise foi suportada num reduzido número de dados, sendo sempre discutível a fiabilidade dos resultados finais, embora já tenha sido utilizada noutros estudos, nomeadamente em Gaspar M. A. (2001).

Utiliza-se assim a expressão:

$$R_{xy}=a+bP_{xy} \quad (6.2)$$

R_{xy} e P_{xy} são o escoamento e a precipitação no mês y do ano x do período de registos. Os parâmetros a e b são respetivamente o declive e a ordenada na origem da reta, ambos deduzidos com base no método dos mínimos quadrados.

Nas Figuras 6.4 a 6.7, representam-se os valores (R_{xy} e P_{xy}) utilizados na dedução dos modelos, bem como as retas decorrentes da análise de regressão linear simples, as correspondentes equações e os coeficientes de correlação.

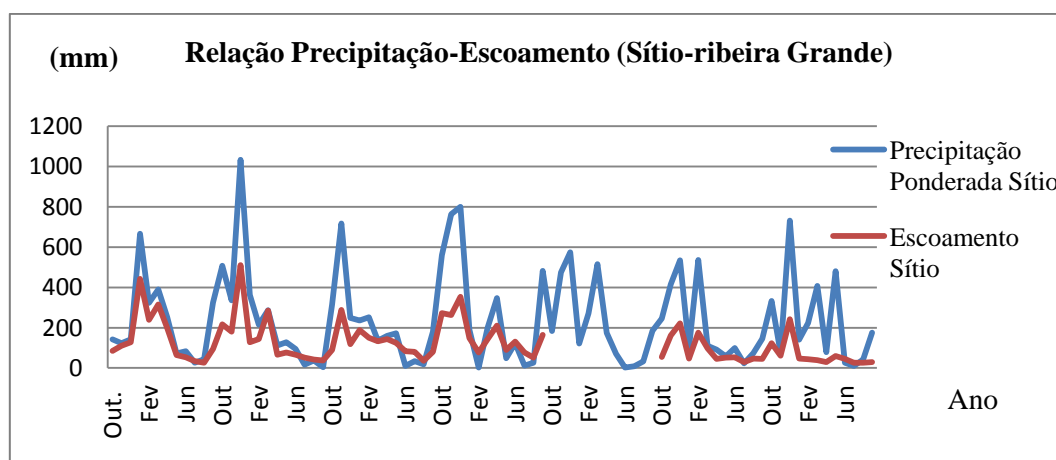


Figura 6.4- Precipitação ponderada e escoamento na bacia hidrográfica da estação hidrométrica do Sítio (ribeira Grande)

Na Figura 6.5, pode-se observar a equação da reta da análise de regressão linear entre a precipitação ponderada para a bacia hidrográfica da ribeira Grande e o escoamento na secção da estação hidrométrica do Sítio em que foi determinado um coeficiente de correlação de 0,838.

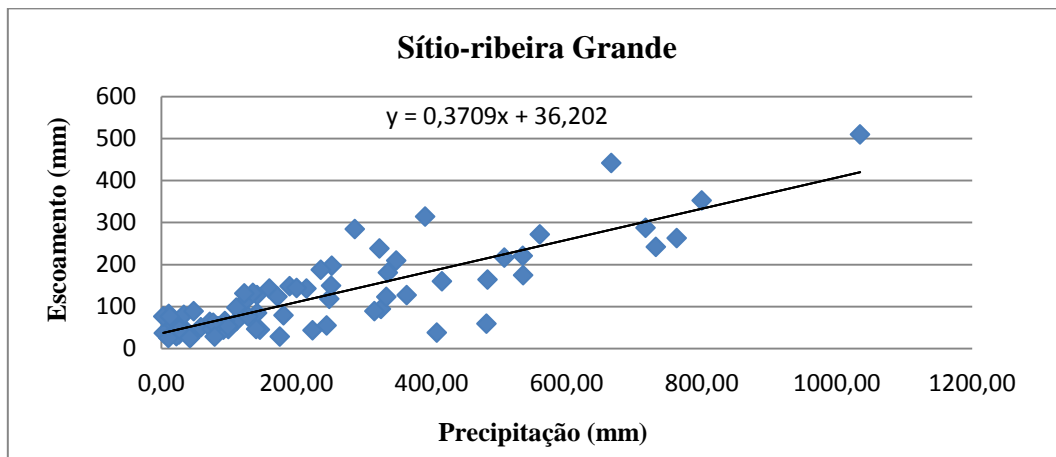


Figura 6.5- Determinação da equação da reta de regressão precipitação/escoamento - Sítio (ribeira Grande)

O mesmo procedimento foi considerado na determinação do escoamento superficial relativamente à estação hidrométrica do Rosário, na bacia hidrográfica da ribeira da Vargem, com a determinação da precipitação ponderada, realizada na secção 5.4, e subsequente comparação com o escoamento observado.

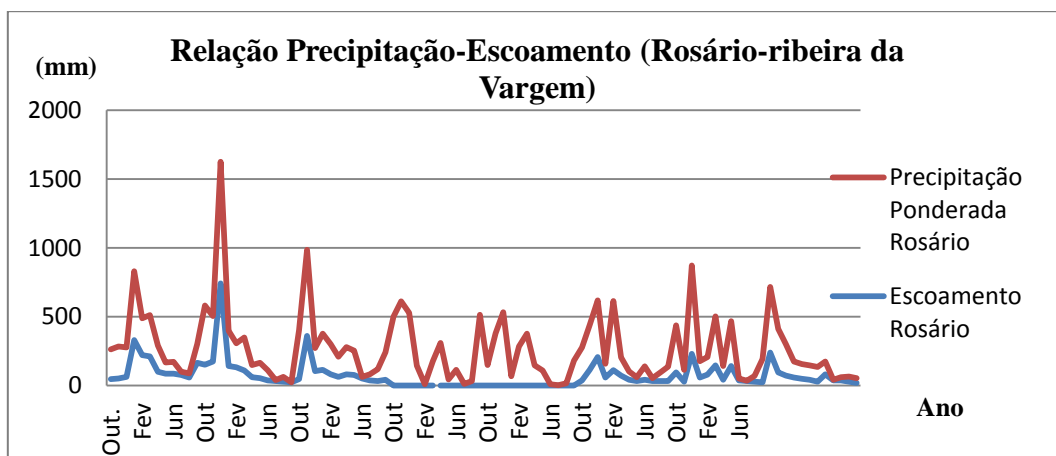


Figura 6.6- Precipitação ponderada e escoamento na bacia hidrográfica da estação hidrométrica do Rosário (ribeira da Vargem)

Na Figura 6.7, o coeficiente de correlação determinado na análise da equação da reta de regressão entre a precipitação ponderada para a bacia hidrográfica da ribeira da Vargem e o escoamento de superfície na estação hidrométrica do Rosário foi de 0,830.

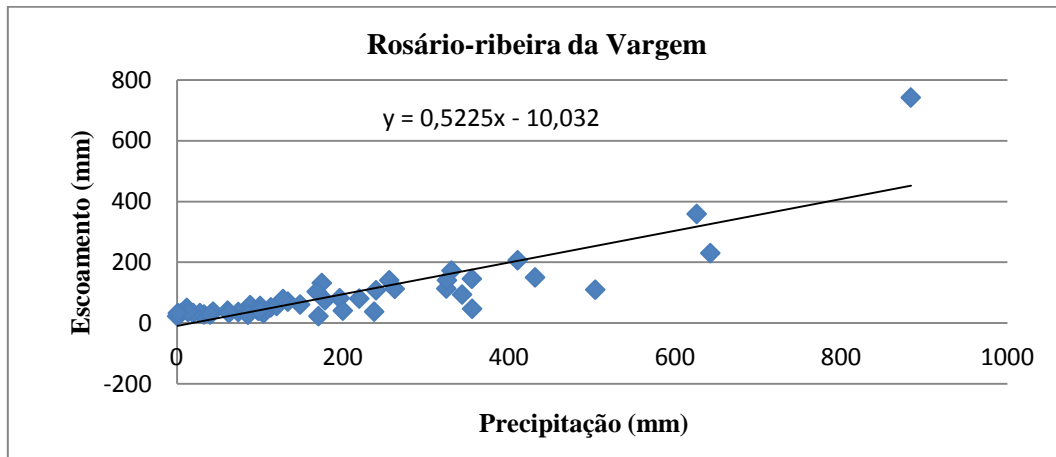


Figura 6.7- Determinação da equação da reta de regressão precipitação/escoamento - Rosário (ribeira da Vargem)

Posteriormente, compararam-se os escoamentos anuais deduzidos a partir de observações hidrométricas nas bacias hidrográficas analisados com os escoamentos decorrentes dos modelos. Tal como foi apresentado no capítulo 5, e sugerido por Gaspar, M. A. (2001) foi utilizando o método dos polígonos de Thiessen, para determinar as precipitações médias mensais para cada bacia hidrográfica, considerando os períodos completos de registos nos postos com influência nas mesmas. Por aplicação dos modelos de regressão a essas precipitações, estimaram-se escoamentos mensais e, por acumulação destes valores, o correspondente escoamento anual médio, que foi comparado com a média dos escoamentos anuais superficiais observados. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.5.

Tabela 6.5- Comparação dos valores do escoamento observado e calculado, utilizando a precipitação ponderada.

	Rosário(mm)	Sítio(mm)
Escoamento calculado	1076,6	1333,5
Escoamento observado	1127,8	1480,5

Foi também realizado o mesmo procedimento para os valores da precipitação apenas do posto mais significativo de cada bacia hidrográfica, isto é, para o posto da Bica da Cana-ribeira da

Vargem e para o posto do Chão dos Louros-ribeira Grande, exemplificado nas Figuras 6.8 a 6.11.

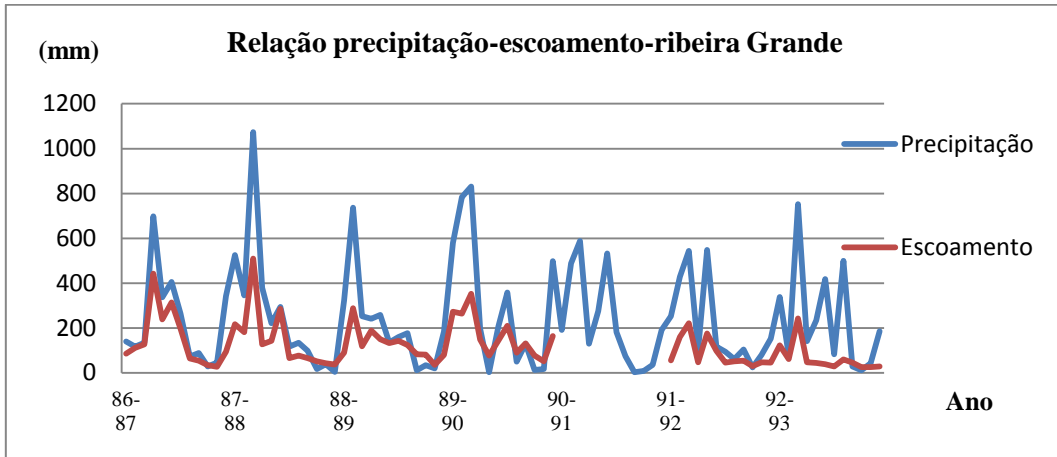


Figura 6.8- Precipitação do posto Chão dos Louros e escoamento na estação do Sítio (ribeira Grande)

Para este caso foi determinada, para a série temporal de 86/87 a 92/93, um coeficiente de correlação, entre a precipitação do Chão dos Louros e o escoamento observado, de 0,84.

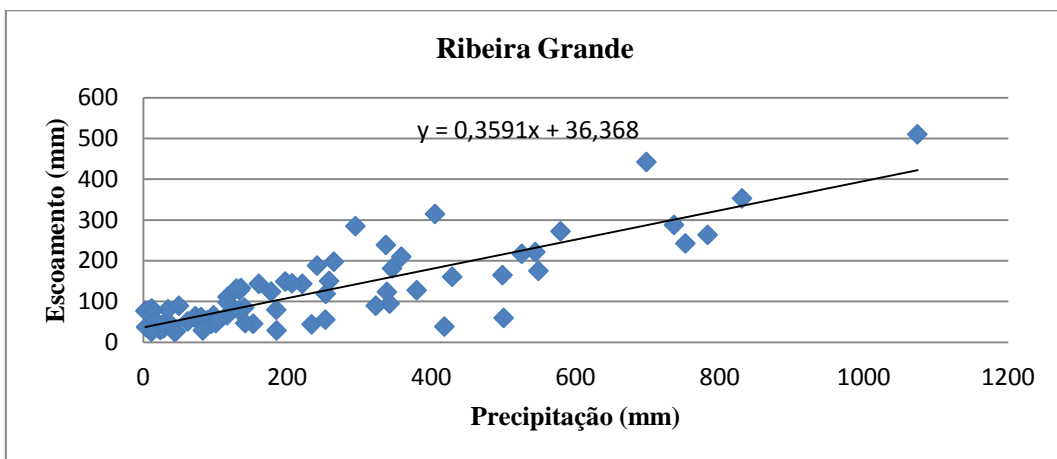


Figura 6.9- Determinação da equação da reta de regressão precipitação/escoamento - Sítio (ribeira Grande)

Também foi realizado a mesma sequência de análise para a ribeira da Vargem.

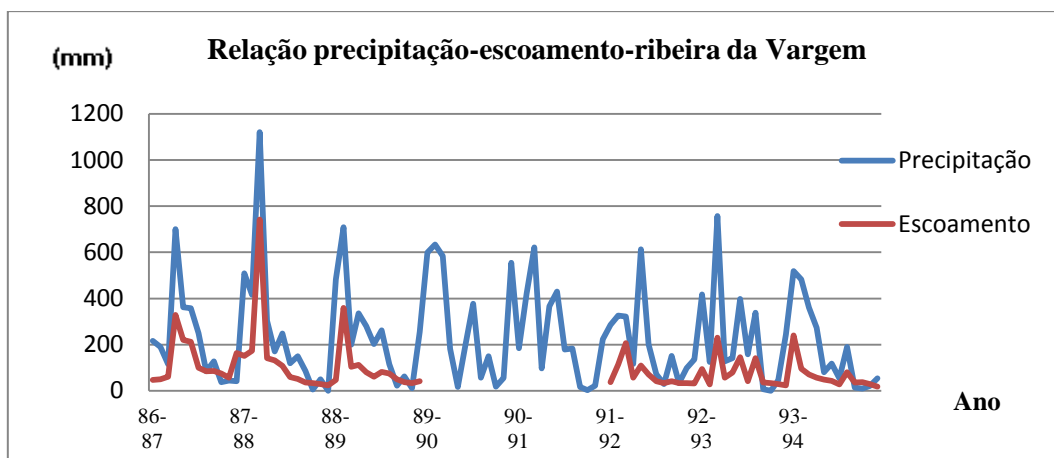


Figura 6.10- Precipitação do posto Bica da Cana e escoamento na estação do Rosário (ribeira da Vargem)

Para este caso de estudo, foi determinado para a série temporal de (86/87 a 93/94) um coeficiente de correlação entre a precipitação registada na Bica da Cana e o escoamento observado na estação do Rosário de 0,82.

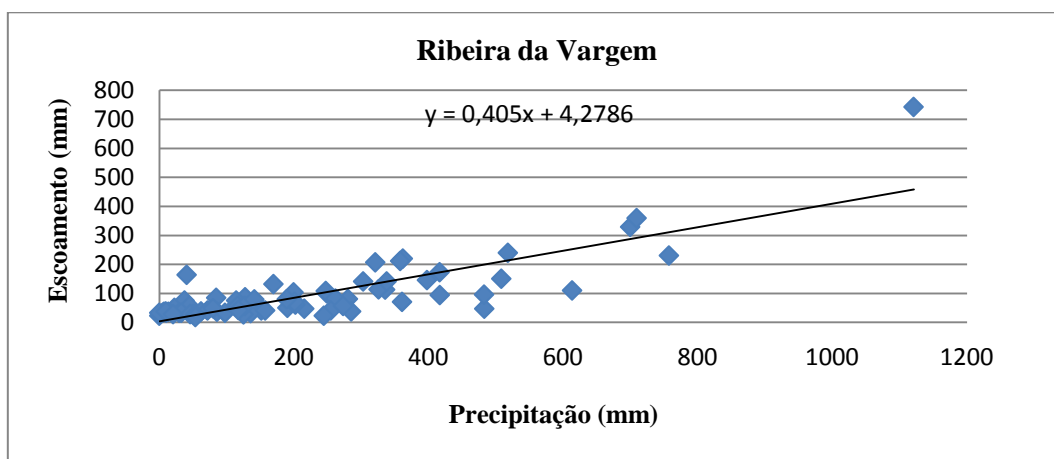


Figura 6.11- Determinação da equação da reta de regressão precipitação/escoamento - Rosário (ribeira da Vargem)

Os resultados obtidos e apresentados na Tabela 6.6 surgiram da aplicação dos modelos de regressão às precipitações da Bica da Cana e Chão dos Louros, estimando-se doze escoamentos superficiais mensais e, por acumulação destes valores, o correspondente escoamento anual médio que foi comparado com a média dos escoamentos anuais superficiais observados.

Tabela 6.6- Comparação dos valores do escoamento observado e calculado, utilizando a precipitação do posto mais significativo.

	Rosário (mm)	Sítio (mm)
Escoamento calculado	1138,7	1347,1
Escoamento observado	1127,8	1480,5

6.4- Estudo de uma situação de cheia

“Por cheia podemos considerar a ocorrência de um valor muito elevado de caudal num curso de água (J. S. ROCHA, 1995), sendo a inundação provocada pelo transbordamento do rio durante a cheia, ou seja, a sua saída do leito ordinário” (Teles, V.M.B, 2011).

Sob o ponto de vista estritamente hidrológico, as cheias são fen menos naturais extremos e temporários numa se o de um curso de água, que são provocados sempre que a precipita o d  origem   ocorrência de escoamento superficial direto, que se traduz na forma o de um hidrograma de cheia. Este excesso de precipita o faz aumentar o caudal dos cursos de água, originando o extravase do leito normal e a inunda o das margens e áreas circundantes, dando origem a danos físicos e prejuízos materiais (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006).

Uma cheia diz-se progressiva ou rápida em fun o do tempo de progressão. Na primeira, t pica de grandes bacias hidrográficas continentais o caudal aumenta progressivamente. Na cheia rápida t pica de pequenas bacias hidrográficas, como nas da ilha da Madeira, os caudais máximos podem ocorrer em poucas horas. Estas cheias resultam do contributo do escoamento superficial direto. Normalmente por serem muito repentinas são mais perigosas e as consequências que podem produzir são sempre muito variáveis e imprevisíveis.

No estudo das cheias os conceitos de ocorrência são distintos. Para averiguar da maior ou menor frequência de ocorrência de cheias recorre-se aos registos históricos que relatam tais acontecimentos, sendo possível a partir desses dados definir quais as áreas mais afetadas pelos fen menos das cheias.   ainda possível averiguar a época do ano mais propícia   sua ocorrência. A recorrência das cheias refere-se   probabilidade de determinados caudais de ponta voltarem a ocorrer (Teles, V.M.B, 2011).

As inunda es convocam, assim, a participa o de vários elementos do clima, da hidrologia, da geomorfologia e da vegeta o, mas estão também relacionadas com as modifica es impostas pelo Homem no uso do solo, que favorecem um maior significado do escoamento, tanto em quantidade como em velocidade. Entre essas modifica es, a diminui o do espaço florestal

devido aos incêndios e, sobretudo, o aumento das áreas impermeabilizadas (áreas urbanas, industriais e comerciais) assumem particular relevo (Teles, V.M.B, 2011).

Para o estudo das cheias decidiu-se usar, duas fórmulas, a racional e a do Soil Conservation Service, seguidamente analisadas:

Fórmula Racional:

$$Q_p = c \bar{I} A \quad (6.3)$$

Em que, Q_p é o caudal de ponta de cheia, c , o coeficiente da fórmula racional, adimensional, baseado no tipo de características da superfície do terreno, e que se admite constante para cada bacia hidrográfica desde que aquelas não sejam alterados, \bar{I} , a intensidade média correspondente ao valor máximo de precipitação para determinada frequência de ocorrência, com duração igual ao tempo de concentração da bacia; A área total da bacia. As unidades a utilizar deverão ser coerentes.

Esta fórmula, como aliás todas as que relacionam o caudal de ponta de cheia com a intensidade da chuvada que lhe deu origem, admite que a frequência de ocorrência dos dois fenómenos é a mesma. No entanto, outros dos pressupostos em que a fórmula se baseia afastam-se ainda muito da realidade, retirando-lhe o carácter racional que o nome indica. Entre eles, podem-se citar o do coeficiente c ser igual para todas as intensidades de chuvadas, e o de ignorarem os efeitos do armazenamento na rede hidrográfica.

Além disso, o coeficiente c também não é um verdadeiro coeficiente de escoamento que exprima a proporção entre o escoamento ou precipitação útil e a precipitação total que lhe deu origem, dado que a proporção entre a ponta de cheia e a intensidade da chuvada é normalmente muito superior à proporção entre os volumes totais do escoamento e da precipitação (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006). No presente estudo, foram utilizados os seguintes valores, para $T(x) = 10$ anos $c = 0,3$; $T(x) = 20$ anos $c = 0,32$; $T(x) = 50$ anos $c = 0,35$ e finalmente para $T(x) = 100$ anos $c = 0,40$. Também foi determinado para a ribeira da Vargem um tempo de concentração $t_c = 0,845$ horas, segundo a fórmula de Giandotti.

Tabela 6.7- Determinação do caudal de ponta Qp (Formula Racional) – ribeira da Vargem

Ribeira da Vargem				
T(x) (anos)	h (mm)	i (mm/h)	i (m/s)	Qp (m ³ /s)
10anos	35,36	50,72	1,409E-05	24,09
20anos	39,88	57,21	1,589E-05	28,99
50anos	45,60	65,41	1,817E-05	36,25
100anos	49,63	71,19	1,978E-05	45,09

Para um tempo de concentração tc=0,697 horas, temos para a ribeira Grande:

Tabela 6.8- Determinação do caudal de ponta Qp (Formula Racional) – ribeira Grande

Ribeira Grande				
T(x) (anos)	h (mm)	i (mm/h)	i (m/s)	Qp (m ³ /s)
10anos	37,44	44,30	1,231E-05	23,26
20anos	42,19	49,93	1,387E-05	27,96
50anos	48,17	57,01	1,584E-05	34,92
100anos	52,39	62,00	1,722E-05	43,40

Soil Consevation Service:

$$Qp = \frac{0,277 k A hu}{tp} \quad (6.4)$$

Em que Qp é o caudal de ponta de cheia, em m³/s, k um fator de ponta que pode variar entre um, no caso de bacias muito declivosas e 0,5 no caso de bacias planas, A a área da bacia em km², hu, a altura de precipitação útil em mm, tp, o tempo de crescimento ou tempo para a ponta, em horas. O fator 0,277 é o fator de conversão das unidades utilizadas.

Para uma dada altura de precipitação total, h , a altura de precipitação útil correspondente, h_u , é calculada de acordo com a expressão:

$$h_u = \frac{(h-h_0)^2}{h+4h_0} \text{ se } (h>h_0) \text{ (6.5)}$$

$$h_u=0 \text{ se } (h<h_0)$$

em que h_0 exprime as perdas iniciais da chuvada, antes de se iniciar o escoamento de superfície. O valor de h_0 , em mm, é calculado pela expressão seguinte:

$$h_0 = \frac{5080}{N} - 50,8 \text{ (6.6)}$$

em que N é o número de escoamento, que depende do tipo hidrológico do solo, da sua utilização e das condições antecedentes de humidade no solo.

O tempo de crescimento, t_p é calculado por:

$$t_p = \frac{1}{2} t_r + 0,6 t_c \text{ (6.7)}$$

Em que t_r é a duração da precipitação útil em horas, t_c o tempo de concentração da bacia em horas. A duração t_r da chuvada útil pode ser calculada subtraindo à duração t da precipitação total o tempo necessário para choverem as perdas iniciais, h_0 , considerando a intensidade média, $\bar{I}=h(t)/t$, constante durante toda a chuvada.

Ter-se-á assim que:

$$t_r = t - \frac{h_0}{h(t)/t} \text{ (6.8)}$$

Dado que a relação entre h_u e h não é linear, exceto para $N=100$, o processo de cálculo do valor máximo de Q_p , para dada frequência estatística, tem que ser feito iterativamente, para valores

de $t_r > t_c$. O valor de t_r correspondente ao valor máximo de Q_p será tanto menos afastado de t_c , quanto mais elevado for N (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006).

Assim temos como resultado desta fórmula do Soil Conservation Service para dados da precipitação dos postos udométricos mais significativos de cada bacia os seguintes valores.

Tabela 6.9- Parâmetros utilizados para as ribeiras da Vargem e Grande

Ribeira da Vargem		Ribeira Grande	
k =	0,75	k =	0,75
$t_c =$	0,845 h	$t_c =$	0,697 h
A =	5,7 km ²	A =	6,3 km ²
N = 79 (AMC II)		N = 79 (AMC II)	
N = 91 (AMC III)		N = 91 (AMC III)	
$h_0 =$	5,024	$h_0 =$	5,024

em que N é o número de escoamento, escolhido com base nos valores dos quadros apresentados por Lencastre, A., Franco, F.M., 2006 em que o primeiro passo corresponde em avaliar as condições médias de humedecimento do solo, AMC-II «antecedent moisture conditions». Quando estas condições de humedecimento do solo se aproximam dos seus valores extremos, AMC-I para o limite inferior, e AMC-III para o limite superior, os valores deverão ser corrigidos com base nos valores de AMC-II. Para a determinação de caudais de cheia segundo Lencastre, considera-se o solo bem humedecido e utiliza-se por isso os valores do número de escoamento para AMC-III.

Tabela 6.10- Determinação do caudal de ponte de cheia para a ribeira da Vagem e da ribeira Grande.

Ribeira da Vagem						
T(x) anos	tr (h)	tp (h)	t (h)	h (mm)	hu (mm)	Qp (m ³ /s)
10	0,697	0,767	0,807	36,928	17,849	27,563
20	0,697	0,767	0,793	41,418	21,532	33,249
50	0,697	0,767	0,780	47,091	26,338	40,672
100	0,697	0,767	0,773	51,096	29,815	46,041
Ribeira Grande						
T(x) anos	tr (h)	tp (h)	t (h)	h (mm)	hu (mm)	Qp (m ³ /s)
10	0,834	0,918	0,958	38,859	19,418	27,698
20	0,834	0,918	0,946	43,597	23,360	33,321
50	0,834	0,918	0,932	49,528	28,447	40,577
100	0,834	0,918	0,920	53,660	32,071	45,747

Pode-se considerar os resultados obtidos através dos dois métodos considerados (fórmula Racional e Soil Conservation Service) se aproximam para cada uma das secções.

6.5- Situação de cheia- método secção-velocidade

Na sequência do trabalho realizado por Lopes, S.S. e Aguiar N., (2009) e na ausência de informação sobre a altura do escoamento, gerado na sequência de uma pluviosidade extrema e consequente situação de cheia, os autores analisaram as características do escoamento, tendo por base três níveis relativos da altura máxima do canal de escoamento: 25%, 50%, 75%.

As secções analisadas tiveram como referência as estações hidrométricas estudadas nas secções anteriores deste capítulo. Foi efetuada uma observação de campo com o objetivo de uma melhor análise destas duas secções, o que se revelou um processo relativamente difícil, dado que as estações hidrométricas já não se encontram em funcionamento e após os fenómenos recentes, sobretudo o de 20 de Fevereiro de 2010, poder ter alterado de alguma forma a geometria das secções.

A secção do Rosário na ribeira da Vargem foi relativamente simples de identificar, ao contrário da do Sítio na ribeira Grande. Contudo, após a visita efetuada em Setembro de 2012 foram encontrados três pontos muito próximos da possível secção em estudo tendo destes sido escolhido um, o que certamente não influenciara muito o objetivo do estudo.

Apresenta-se de seguida o resumo dos princípios teóricos e metodológicos considerados na teoria da análise dimensional em hidráulica, nomeadamente no que se refere às condições de escoamento de superfície livre com suporte em Lencastre, A. e Franco, F.M., (2006).

Diz-se que o escoamento é com superfície livre sempre que um líquido se escoar em contato com a atmosfera (Lencastre, A., Franco, F.M., 2006). Este pode ter um movimento ou regime permanente se numa determinada secção de vazão as suas características, caudal, altura e velocidade, forem constantes no tempo, caso contrário diz-se variável.

O escoamento pode ainda ser classificado em função da variabilidade espacial num determinado segmento do canal ou curso de água. O escoamento diz-se de regime uniforme quando a sua velocidade não varia ao longo do espaço o que, normalmente ocorre num canal com inclinação, secção, rugosidade e caudal constantes e suficientemente longo. As mudanças destes parâmetros ao longo de um determinado segmento considerado, devido ao estreitamento, alargamento ou descontinuidades do fundo do canal, provocam a perda localizada de energia e a conseqüente alteração da superfície livre. Nestas circunstâncias o escoamento diz-se de regime variado (Lopes, S.S., Aguiar N., 2009).

Segundo Lencastre, A. e Franco, F.M., (2006), no processo de estimativa das condições dos escoamentos turbulentos, movimento em que cada partícula, além da velocidade no sentido do escoamento, está animada de movimento de agitação, com velocidades transversais ao escoamento, pode ser aplicada a fórmula de Manning-Strickler:

$$U=K_s R^{2/3} i^{1/2} \quad (6.9)$$

$$Q=K_s S R^{2/3} i^{1/2} \quad (6.10)$$

em que:

U-velocidade do escoamento (m/s)

Q-caudal (m^3/s)

K_s -coeficiente de Manning-Strickler , obtido em função da rugosidade das paredes e do fundo do canal ($\text{m}^{1/3}/\text{s}$)

R-raio hidráulico (m)

i-perda de carga unitária (ou declive do fundo do canal admitindo regime uniforme) (m/m)

S-secção molhada ou secção ocupada pelo escoamento (m^2)

O caudal líquido, é proporcional à área da superfície da secção molhada, S, e à velocidade de escoamento, U, daí a sua estimativa se fazer através de:

$$Q=US \quad (6.11)$$

O raio hidráulico corresponde ao quociente entre a secção molhada e o perímetro molhado:

$$R=S/P \quad (6.12)$$

com:

P-Perímetro ou contorno da secção molhada (m), em contacto com o líquido escoado.

Para uma secção transversal retangular a secção molhada e o perímetro molhado calculam-se do seguinte modo:

$$S=h.l \quad (6.13)$$

$$P=2h+l \quad (6.14)$$

com:

h- altura da água ou do escoamento (m), que corresponde à distancia entre o fundo do canal e a superfície livre

l- largura de fundo ou largura de rasto (m)

Nas secções transversais de perfil irregular, como ocorre na maioria dos cursos de água naturais e semi-naturais, o S e o P foram calculados, no presente trabalho através de levantamentos de campo, pelo método de medição de h a intervalos regulares na secção.

Na análise dimensional dos escoamentos com superfície livre são ainda definidos os seguintes elementos geométricos:

L-largura superficial;

h_m - altura média que resulta do quociente entre a secção molhada e a largura superficial:

$$h_m = S/L \quad (6.15)$$

O escoamento com superfície livre pode também ser caracterizado em função do número de Froude, em regime rápido, lento ou crítico. O número de Froude é um parâmetro adimensional que representa a influência da gravidade em relação às forças de inércia do fluido:

$$Fr = U/\sqrt{ghm} \quad (6.16)$$

A velocidade de propagação das pequenas perturbações, num canal retangular de largura indefinida é designada de velocidade crítica, V_c , e é calculada do seguinte modo:

$$V_c = \sqrt{ghm} \quad (6.17)$$

Num canal de largura indefinida, se a velocidade média da corrente, U, for superior a V_c , ou seja, se o número de Froude, F_r , for superior a 1 as pequenas perturbações não se propagam para montante e o movimento diz-se rápido ou torrencial. Se F_r for inferior a 1 as pequenas perturbações propagam-se para montante e o regime diz-se lento ou fluvial. Se F_r for igual a 1 o regime designa-se de crítico.

6.5.1- Apresentação e análise dos resultados

Nas Tabelas 6.11 e 6.12, são apresentados os valores da análise das condições de escoamento nas duas secções anteriormente estudadas, estas secções estão localizadas na ribeira da Vargem (Rosário) e na ribeira Grande (Sítio).

Realizou-se a análise dos resultados para quatro cenários possíveis ou seja 25%, 50%, 75% e 100% da altura de escoamento, nas duas secções. O coeficiente de rugosidade utilizado neste estudo consoante o tipo de revestimento do canal onde se processa o escoamento foi de $33 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ e corresponde ao valor máximo apresentado por Lencastre, A. e Franco, F.M., (2006), para um curso de água de montanha sem vegetação no canal, margens declivosas e vegetação ao longo das margens inundadas, ao nível máximo com fundo de cascalho, seixo rolado e pouco saibro. A inclinação utilizada para as duas secções foi de 0,15 m/m determinada em (Lopes, S.S., Aguiar N., 2009). Determinou-se que a forma da secção seria aproximadamente retangular, dado que o valor da inclinação é constante, sendo assim possível relacionar o caudal com a percentagem de enchimento da secção de vazão para os dois pontos e estudo (Rosário- ribeira da Vargem e Sítio - ribeira Grande) correspondentes aos locais onde se situaram as estações hidrométricas estudadas ao longo do presente trabalho.

6.5.1.1 Secção1: Ribeira da Vargem



Figura 6.12- Fotografia secção 1 (Rosário, ribeira da Vargem)

A secção 1 localiza-se na ribeira da Vargem, mais propriamente no Rosário, num local bem marcado. Esta secção faz fronteira a jusante com a ponte rodoviária da estrada de acesso local que faz a ligação do Rosário ao Estreito da Vargem. As coordenadas geográficas são dadas por $x= 309956\text{m}$; $y=3627888$, respetivamente. O Sistema de Projeção Cartográfica é o UTM (Fuso 28) Elipsoide Internacional, datum Porto Santo, Coordenadas UTM (unidades em metros).

O canal de escoamento nesta secção tem aproximadamente uma largura de 10,25 metros e uma altura de 2,8 metros. Para os cenários das diferentes alturas da coluna de água, as características do escoamento são apresentadas na Tabela 6.11.

Tabela 6.11-Determinação do caudal de ponta de cheia para diferentes percentagens de altura do escoamento na seção do Rosário

Percentagem de enchimento da secção de vazão	Parâmetros geométricos			Características do escoamento	
	h (%)	S (m ²)	P (m)	R (m)	V (m/s)
25	7,18	11,65	0,62	9,25	66,40
50	14,35	13,05	1,10	13,62	195,38
75	21,53	14,45	1,49	16,67	358,73
100	28,70	15,85	1,81	18,98	544,72

6.5.1.2 Secção 2: Ribeira Grande



Figura 6.13- Fotografia secção 2 (Sítio, ribeira Grande)

A secção 2 localiza-se na ribeira Grande (Sítio), imediatamente a jusante de uma pequena povoação. A altitude no fundo do canal de escoamento é de cerca 300 metros. Esta secção considerou-se aproximadamente retangular. A secção de vazão apresenta uma largura de 9,1 metros e uma altura de 4,2 m.

Neste segmento da ribeira a dimensão do canal de escoamento é pouco variável. O fundo do canal encontra-se em estado natural, bem como o seu leito, que apresenta uma fina camada sedimentar, composta por material de granulometria intermédia, nomeadamente calhaus rolados.

Tabela 6.12- Determinação do caudal de ponta de cheia para diferentes percentagens de altura do escoamento na secção do Sítio

Percentagem de enchimento da secção de vazão	Parâmetros geométricos			Características do escoamento	
	h (%)	S (m ²)	P (m)	R(m)	V (m/s)
25	9,56	11,20	0,85	11,50	109,86
50	19,11	13,30	1,44	16,27	310,92
75	28,67	15,40	1,86	19,33	554,14
100	38,22	17,50	2,18	21,50	821,85

6.6- Síntese

As zonas do Sítio de São Vicente e Rosário, nomeadamente a ribeira Grande e a ribeira da Vargem, foram analisadas de modo a apreciar o andamento geral das séries hidrológicas e a detetar eventuais especificidades das mesmas. A insuficiência de registos hidrométricos, é notória, constatando-se, que o mais longo período sem falhas é de apenas sete anos, correspondendo à série de registos da estação hidrométrica do Sítio.

Períodos tão curtos conduzem quase certamente a que os registos sejam afetados por elevados erros, uma vez que as correspondentes compensações de erros aleatórios ao longo do tempo são bastante reduzidas.

Na ausência de medições hidrométricas numa determinada secção, podem os valores do escoamento de superfície na mesma secção ser estimados por processos indiretos, sendo que para valores anuais pode recorrer-se apenas a registos de precipitação ou simultaneamente a registos de precipitação e de temperatura. Usando a regressão linear precipitação/escoamento chegou-se a um valor de escoamento para o Rosário (ribeira da Vargem) de 1076,5 mm e para o

Sítio (ribeira Grande) de 1333,4 mm e foram comparados com os registos observados sendo estes para o Rosário de 1127,7 mm e para o Rosário de 1480,4 mm respetivamente.

Para o estudo das cheias decidiu-se usar, duas fórmulas, a racional e a do Soil Conservation Service, sendo os valores finais, obtidos para os diferentes tempos de retorno, semelhantes, tanto para a Ribeira da Vargem no Rosário como para o Sítio na Ribeira Grande.

Tabela 6.13- Caudal calculado pela fórmula racional e pelo método do Soil Conservation Service

T(x) (anos)	Rib ^a Vargem		Rib ^a Grande	
	Racional (m ³ /s)	S.C.S (m ³ /s)	Racional (m ³ /s)	S.C.S (m ³ /s)
10	24,09	27,56	23,26	27,70
20	28,99	33,25	27,96	33,32
50	36,25	40,67	34,92	40,58
100	45,09	46,04	43,40	45,75

7- Conclusões

Todo o conhecimento relativo das características de eventos de precipitação que possam originar cheias naturais contribuirá para o rigor dos estudos hidrológicos.

Esta dissertação procurou verificar a existência de falhas nos registos de postos udométricos/udográficos, e ainda da respetiva influência sobre a estimativa dos valores de escoamento. Esta necessidade de obter estimativas válidas torna-se de grande utilidade, pois geralmente as séries de dados pluviométricos permitem utilizar registos incomparavelmente mais extensos que os hidrométricos.

As duas bacias estudadas têm uma área de $6,3 \text{ km}^2$ - ribeira Grande - e $5,7 \text{ km}^2$ - ribeira da Vargem - e apresentam um comprimento total do troço principal de 4,24 km e 3,3 km, respetivamente. O fator de forma, 0,52 e 0,35 para a bacia hidrográfica da ribeira Grande e para a bacia hidrográfica da ribeira da Vargem, e a densidade de drenagem de $6,63 \text{ km/km}^2$ e $8,09 \text{ km/km}^2$, bem como a forma arredondada destas duas bacias hidrográficas, potencia a probabilidade de ocorrência de cheias.

Julga-se que a existência de falhas nas séries históricas deve-se, muitas vezes, à ausência do observador, falhas nos mecanismos de registo, perda das anotações e encerramento das observações, sendo que estas são apenas algumas situações possíveis nestes acontecimentos.

De forma a realizar uma análise das precipitações dos postos udométricos/udográficos em estudo, observou-se que os valores de precipitação totais anuais mostram que a ocorrência de chuva é superior nas áreas montanhosas sendo que estas se localizam a cotas bastante elevadas, o que se traduz no facto de a precipitação anual média registada nas mesmas superar significativamente a precipitação anual média estimada para a ilha da Madeira.

Verificou-se também, que nos valores do escoamento de superfície se observa, para as duas secções estudadas, a existência de alguns períodos, principalmente entre Abril e Setembro, em que as alturas de escoamento num dado mês excedem as precipitações nesse mês. Para estas situações, certamente terão influência a contribuição do caudal das nascentes subterrâneas e das levadas em cada bacia hidrográfica, algo que não foi tomado em linha de conta no presente estudo, na medida que apenas foi considerado que o escoamento de superfície é resultado da precipitação.

Para caraterizar o fenómeno dos acontecimentos pluviosos que dão origem ao escoamento de superfície, utilizou-se uma análise suportada pela aplicação de métodos estatísticos.

Devido à reduzida série temporal de registos disponível para o escoamento superficial nas duas seções em estudo, admitiu-se que no estabelecimento do modelo de regressão linear precipitação/escoamento, estes dois parâmetros se referissem sempre ao mês ao invés do ano hidrológico. Esta abordagem já tinha sido realizada em trabalhos anteriores, nomeadamente em Gaspar M. A. (2001) e com resultados satisfatórios, admitindo porém que se trata de um assunto de matéria discutível, na medida em que corresponde a assumir que o escoamento num dado mês depende apenas da precipitação nesse mês.

Relativamente à precipitação utilizada neste modelo, foram considerados para a determinação da equação de regressão, todos os valores mensais da precipitação ponderada dos postos mais influentes em cada uma das bacias hidrográficas em estudo, nos anos hidrológicos de 86/87 a 92/93.

Numa segunda análise, foi utilizado apenas o posto com mais representatividade para cada uma das bacias em estudo.

Tabela 7.1-Escoamento superficiais, observados e calculados na seção do Rosário e na secção do Sítio – precipitação ponderada

Com precipitação ponderada		
	Rosário (mm)	Sítio (mm)
Escoamento calculado	1076,6	1333,5
Escoamento observado	1127,8	1481,0

Tabela 7.2- Escoamento superficiais, observados e calculados na seção do Rosário e na secção do Sítio – posto mais significativo

Com posto mais significativo		
	Rosário (mm)	Sítio (mm)
Escoamento calculado	1138,7	1347,1
Escoamento observado	1127,8	1481,0

Da análise dos resultados apresentados nas tabelas 7.1 e 7.2, para os valores do escoamento calculado pelo método da regressão linear, observou-se que para as duas análises efetuadas (precipitação ponderada *versus* posto mais significativo) a diferença dos valores do escoamento para o Sítio (ribeira Grande) e Rosário (ribeira da Vargem) são reduzidas.

Salienta-se que, em comparação com os resultados obtidos por Gaspar, M., (2001) representados na Tabela 7.3, tanto o escoamento observado, como o escoamento calculado nas duas estações em estudo são ligeiramente diferentes.

Esta diferença de valores pode ser causada pelo preenchimento das falhas de precipitação realizado no presente trabalho.

O preenchimento das falhas nas séries de registos em estudo, não tendo aumentando significativamente as médias dos valores de precipitação dos postos udométricos/udográficos, pode justificar a diferença dos valores obtidos.

No que diz respeito ao escoamento calculado, essas diferenças, embora não muito significativas, podem ter como causa as correções que Gaspar M. A. (2001) apresentou no seu trabalho, ao nível das contribuições subterrâneas, das nascentes e das levadas que atravessam as bacias em estudo.

Tabela 7.3-Escoamento superficial observado e calculado por Gaspar, M, (2001) na secção do Rosário e na secção do Sítio

Precipitação ponderada (Gaspar, M., (2001))		
	Rosário (mm)	Sítio (mm)
Escoamento calculado	914,8	1143,7
Escoamento observado	1127,8	1481,0

De uma forma geral, pode-se concluir que, apesar da referida insuficiência de dados hidrométricos, e face aos resultados obtidos, o modelo de regressão linear adotado no decurso deste trabalho pode ser aplicado à obtenção do escoamento de superfície na área de estudo.

Relativamente ao estudo de uma situação de cheia, não foi possível estabelecer os valores da precipitação ponderada sobre cada bacia em estudo.

Este fato deve-se às séries de registo disponíveis não terem uma dimensão suficiente . Por este fato, optou-se por apenas utilizar o posto mais significativo para cada uma das bacias, o que mostrou ter dado bons resultados no cálculo do escoamento de superfície no modelo de regressão linear.

Usaram-se as curvas de possibilidade udométrica do posto do Funchal, para os períodos de retorno de 10, 20, 50 e 100 anos .

Observou-se, a partir da caracterização da relação da intensidade de precipitação e com o período de retorno que, para a função de distribuição analisada, não se rejeita a hipótese da amostra pertencer à distribuição de Gumbel, com um grau de confiança de 95%, ou seja, com um nível de significância de 5%. Verificou-se também que, de acordo com os resultados obtidos, a intensidade de precipitação, para a mesma duração e período de retorno, é mais elevada no posto udográfico do Chão dos Louros e mais baixa no posto udográfico da Bica da Cana.

Deste modo foi calculado, pela fórmula Racional e pelo método do Soil Conservation Service, o caudal de ponta de cheia para a ribeira Grande e para a ribeira da Vargem, representado nas Tabelas 7.4 e 7.5.

Tabela 7.4 Caudal de ponta de cheia Q_p determinado pela Formula Racional

	Ribeira Grande	Ribeira da Vargem
T(x) anos	Qp (m3/s)	Qp (m3/s)
10	23,26	24,09
20	27,96	28,99
50	34,92	36,25
100	43,40	45,09

Tabela 7.5- Caudal de ponta de cheia Q_p determinado pelo método do Soil Conservation Service

	Ribeira Grande	Ribeira da Vargem
T(x) anos	Qp (m3/s)	Qp (m3/s)
10	27,70	27,56
20	33,32	33,25
50	40,58	40,67
100	45,75	46,04

Observou-se que, tanto para a fórmula Racional como para o método do Soil Conservation Service, os valores do caudal de ponta de cheia, calculados para a ribeira Grande e para a ribeira da Vargem apresentam diferenças pouco significativas. Julga-se que os resultados obtidos podem ser considerados como os expetáveis, tendo em conta as semelhanças entre as duas bacias hidrográficas.

Por último, foi estudada a situação de cheia pelo método da secção velocidade, na sequência do trabalho realizado sobre a ribeira de São Vicente por Lopes, S.S. e Aguiar N., (2009), tendo por base quatro níveis relativos da altura do escoamento: 25%, 50%, 75% e 100%, tanto na ribeira Grande, mais concretamente no Sítio de São Vicente, como no Rosário, situado na ribeira da Vargem. Os valores determinados são representados na Tabela 7.6.

Tabela 7.6- Caudal de ponta de cheia, determinado a partir dos vários níveis de altura de escoamento

	Ribeira Grande	Ribeira da Vargem
h (%)	Qp (m3/s)	Qp (m3/s)
25	109,86	66,40
50	310,92	195,38
75	554,14	358,73
100	821,85	544,72

A partir dos valores determinados para as duas secções em estudo (Sítio e Rosário), verificou-se que a altura máxima do canal, não será transbordada segundo os valores do caudal de ponta de cheia obtidos pela fórmula Racional e pelo método do Soil Conservation Service, o que não implica que estes valores de escoamento possam vir a ser determinantes para uma cheia em todo o troço correspondente a estas duas bacias hidrográficas, como se tem vindo a verificar ao longo dos anos. De referir que para o mesmo tipo de canal se o coeficiente de rugosidade, ao invés de ter sido usado o valor máximo, fosse usado o valor mínimo, os resultados seriam aproximadamente metade dos valores obtidos.

Para futuros desenvolvimentos do trabalho realizado, deverá ser tida em conta a falta de postos udométricos/udográficos na zona Oeste da ribeira Grande, e simultaneamente na freguesia de São Vicente, pois o posto mais próximo desta ribeira é o do Chão dos Louros, podendo este não ser suficiente para caracterizar a precipitação em toda a bacia hidrográfica da ribeira Grande.

8- Bibliografia

- [1] ALMEIDA, A. B; OLIVEIRA, R. P; et al. *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*. Relatório Síntese, Instituto Superior Técnico, Universidade da Madeira e Laboratório Regional de Engenharia Civil. 2010.
- [2] ALMEIDA, C.; ROMARIZ, C., SILVA, M.O. *Hidroquímica da ilha da Madeira*. Recursos Hídricos, 1984. 5(13) 33-42.
- [3] CASTRO, S.B., CARVALHO, T.M. *Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo – GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento*. Instituto de Estudos Socio Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Instituto de Pesquisas da Amazônia, INPA, CPBA. 2009.
- [4] CHOW, V. T. *Handbook of Applied Hydrology*. Mc Graw-Hill. 1964.
- [5] COSTA, T.; LANÇA, R. *Hidrologia de Superfície*. Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia Universidade do Algarve. 2011.
- [6] GASPAR, M. A. *Contribuição para a caracterização dos recursos hídricos na ilha da Madeira*. Projeto Final de Curso, IST. Lisboa. 2001.
- [7] Instituto da Água - *Água em Portugal*. 2004.
- [8] KUNDZEWIC, Z. W. Heavy precipitation and flood: Cambio Climático y Fenómenos Extremos (Climate Change and Water Extremes). *Tribuna del Agua (Water Tribune)*. Saragoça. 2008.
- [9] LENCASTRE, A., FRANCO, F. M. *Lições de Hidrologia*, Fundação Faculdade de Ciências e tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. 2006.
- [10] LOPES, S. S., Aguiar N. *Caracterização e monitorização da bacia hidrográfica de São Vicente*. Relatório Técnico DHTE 03, Laboratório Regional de Engenharia Civil. 2009b.
- [11] MARTINS, F. J. P. *Dimensionamento Hidrológico e Hidráulico de Passagens Inferiores Rodoviárias para Águas Pluviais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Especialização em Hidráulica e Recursos Hídricos da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Junho de 2000.
- [12] PDM São Vivente. *Plano Director Municipal de São Vicente*, 1992
- [13] PEREIRA, C. *Análise de Precipitações Intensas*. Lisboa. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico. 1995.

- [14] PRADA, S. *Geologia e Recursos Hídricos subterrâneos da ilha da Madeira*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Geologia, Universidade da Madeira. 2000.
- [15] PRADA, S.; GASPAR, M. A.; SEQUEIRA, M. M., NUNES, A., FIGUEIRA, C., CRUZ, J. V. Disponibilidades Hídricas da Ilha da Madeira: *AQUAMAC-Técnicas y métodos para la gestion sostenible del agua en la Macaronesia*. Edição do Instituto Tecnológico de Canarias, Cabildo de Lanzarote e Consejo Insular de Aguas de Lanzarote. 2005.
- [16] PRADA, S., SILVA, M. O. *Fog Precipitation on the Island of Madeira*. 2001.
- [17] RODRIGUES, C.M; MOREIRA, M.; GUIMARÃES, R.C. *Apontamentos Para as Aulas de Hidrologia*. Universidade de Évora, Departamento de Engenharia Rural. 2011.
- [18] SANTOS, J. - *Sebenta Recursos Hídricos e Ambientais (Precipitações intensas, avaliação e caracterização de cheias)*. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Beja. Beja. 2009.
- [19] SEPÚLVEDA, S. M - *Avaliação da Precipitação Extrema na Ilha da Madeira*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade Técnica de Lisboa, IST, Lisboa. 2011.
- [20] TELES, V. M. B, A (IN) - *Consciência dos Riscos Naturais em Meio Urbano. Estudo de Caso*. O Risco de Inundação no Concelho de Braga, Tese de Doutoramento em Geografia, Universidade do Minho. Braga. 2011.
- [21] VAZ, C.M., *Análise de tendências em séries de precipitação diária máxima anual*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico. 2008.
- [22] VAZ, J. A. - *Modelos de transformação da precipitação escoamento à escala mensal: Aplicação a três casos de estudo em Moçambique*. Lisboa. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, IST, Lisboa. 2010.