

Avaliação do risco de aluviões das ribeiras da ilha da Madeira

Cláudia Cristina Tomás Caetano

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente

Júri

Presidente: Prof. António Jorge Gonçalves de Sousa

Orientador: Prof. Rodrigo de Almada Cardoso Proença de Oliveira

Vogal: Prof.^a Maria Manuela Portela Correia dos Santos Ramos da Silva

Outubro 2014

Agradecimentos

Aos pais. Além de agradecer o apoio incondicional a que sempre me habituaram, só lhes posso pedir desculpa por todos os cabelos brancos acrescentados.

Ao irmão. Por toda a pressão imposta e por ter feito o seu papel de irmão mais velho (e supostamente mais inteligente) de forma impecável.

Aos amigos de sempre. Já não desiludem, apenas estiverem presentes.

Aos amigos do Técnico. Só eles percebem o que foi fazer esta tese e sem eles não teria sido a mesma coisa.

A todas as pessoas que se cruzaram na minha vida ao longo destes meses. De alguma forma acabaram por influenciar o rumo desta dissertação.

E, principalmente, ao Professor Rodrigo Oliveira. Todo o apoio, tempo disponibilizado e conhecimentos transmitidos nos últimos meses foram realmente indispensáveis ao sucesso deste trabalho.

RESUMO

Os fenómenos naturais extremos causam profundos desequilíbrios na estrutura social, económica e ambiental de uma comunidade insular. Na ilha da Madeira, os riscos considerados mais graves devem-se, principalmente, às características geomorfológicas da ilha e às condições meteorológicas a que está sujeita. Torna-se assim pertinente determinar o caudal de ponta de cheia em secções com interesse na Madeira, como é o caso da foz de diversas bacias hidrográficas, sendo este o objetivo fundamental desta dissertação. Da caracterização detalhada das bacias hidrográficas obteve-se parte dos dados necessários a introduzir no *software* HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System*) como a sua área, o tempo de concentração (t_c) e o número de escoamento (CN). Foi, assim, possível proceder a simulações de vários acontecimentos históricos através das quais se procurou validar o modelo hidrológico que foi, posteriormente, aplicado em todo o território da ilha. Deste modo, estimaram-se os valores de caudal de ponta de cheia para as 39 bacias hidrográficas em estudo, associados aos períodos de retorno selecionados: 20, 50, 100 e 500 anos.

A escassez de dados hidrométricos e a variabilidade espacial do regime de precipitação foram um desafio permanente na realização deste trabalho. Foi, no entanto, possível selecionar e aplicar de forma consistente uma metodologia uniforme a todas as 39 bacias em estudo. Reconhece-se, porém, que os resultados estão associados a uma incerteza não desprezável que apenas poderá ser reduzida com uma aposta contínua na monitorização.

As áreas onde ocorre um maior número de fenómenos de precipitação intensa localizam-se a maiores altitudes, na zona da cordilheira central, e maioritariamente na vertente Norte da ilha. As características das bacias hidrográficas desta vertente, nomeadamente a sua maior dimensão e o maior declive, contribuem também para que sejam gerados caudais de ponta de cheia mais elevados do que na encosta sul. As bacias hidrográficas da vertente Norte da ilha são no entanto menos populosas, pelo que o impacto na população e nas actividades económicas é potencialmente menor.

PALAVRAS-CHAVE:

Ilha da Madeira; bacia hidrográfica; precipitação; aluvião; caudal de ponta de cheia; modelo hidrológico.

ABSTRACT

Extreme natural events can cause deep imbalances in social, economic and environmental structure of an insular community. In Madeira Island, the risks considered more serious are mainly due to the geomorphological characteristics of the island and there existing weather conditions. It becomes relevant to determine the flood peak discharge in certain sections with interest in Madeira, such as, the river mouth of several watersheds, which is the key objective of this Dissertation. From the detailed characterization of the watersheds, it was obtained some of the needed data to introduce in the *software* HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) such as area, concentration time (t_c) and curve number (CN). Thus, it was possible to make simulations of certain historical events that allowed proceeding with the validation of the hydrological model, which was subsequently applied in the entire extension of the island. Therefore, it was also estimated flood peak discharges for the 39 watersheds in study, according to the defined return periods of 20, 50, 100 e 500 years.

The scarcity of hydrometric data and the spatial variability of the precipitation regime were a constant challenge in this work. However, it was selected and consistently applied a uniform approach to all 39 basins in study. It is recognized that the results are associated with a non-negligible uncertainty that can only be reduced with an ongoing commitment to monitoring.

Areas where there are usually some events of intense precipitation in Madeira Island are located at higher heights as, for example, in cordilheira central, and mostly on the northside of the island. The characteristics of the watershed of this side, including its largest dimension and the largest slope also contribute to the higher flood peak discharge that are generated than on the south side of the island. Nevertheless, watersheds of the North side of the island are less populated, so the impact on the population and economic activity is potentially smaller.

KEYWORDS:

Madeira Island; watershed; precipitation; alluvium; flood peak discharge; hydrological model.

ÍNDICE

TEXTO

1.	Introdução	1
1.1	Enquadramento do tema	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura da dissertação	2
2.	Antecedentes históricos na ilha da Madeira	4
3.	Fontes de dados e metodologia	7
3.1	Caracterização da área de estudo	7
3.1.1	Orografia e hidrografia	7
3.1.2	Solos	7
3.1.3	Uso do solo	7
3.1.4	Número de escoamento	7
3.1.5	Tempo de concentração	10
3.2	Sistema HEC – HMS	13
3.3	Validação do modelo hidrológico	15
3.4	Estimativa da precipitação diária máxima anual para diferentes períodos de retorno	17
3.4.1	Metodologia geral	17
3.4.2	Séries de máximos anuais (SMA)	18
3.4.3	Séries de duração parcial (SDP)	20
3.5	Mapas de precipitação diária máxima anual	22
3.6	Ratios de Precipitação	22
3.7	Definição dos hietogramas de projeto	22
3.8	Definição dos hidrogramas de cheia	23
4.	Caracterização da área de estudo	24
4.1	Caracterização geral	24
4.2	Caracterização das bacias hidrográficas	27
4.2.1	Orografia e hidrografia	27
4.2.2	Solos	31
4.2.3	Uso do Solo	32
4.2.4	Número de escoamento	33
4.2.5	Tempo de Concentração	35
4.3	Caracterização da rede de monitorização de precipitação	36
5.	Validação do Modelo Hidrológico	45
5.1	Metodologia geral	45
5.2	Evento de 29 de Outubro de 1993	45
5.1.1	Ribeira dos Socorridos	46

5.1.2	Ribeira de S. João	46
5.2	Evento de 5 e 6 de Março de 2001	46
5.2.1	Ribeira de São Vicente	47
5.3	Evento de 22 de Dezembro de 2009	47
5.3.1	Ribeira de São Vicente	47
5.4	Evento de 20 de Fevereiro de 2010	48
5.4.1	Ribeira de João Gomes	48
5.4.2	Ribeira de Santa Luzia	49
5.4.3	Ribeira de São João	49
5.4.4	Ribeira Brava	49
5.5	Considerações finais	50
6.	Hietogramas de projeto	52
6.1	Metodologia geral	52
6.2	Avaliação da precipitação diária máxima anual	52
6.2.1	Verificação da homogeneidade da região	52
6.2.2	Análise das séries de máximos anuais (SMA)	54
6.2.3	Análise das séries de duração parcial (SDP)	57
6.2.4	Mapas da precipitação diária máxima anual	58
6.3	Ratios de Precipitação.....	64
7.	Avaliação do caudal de ponta de cheia	68
8.	Síntese e conclusões	73
	Referências Bibliográficas	76
	Anexos.....	78

FIGURAS

Figura 1: Ribeira de Santa Cruz, Novembro de 1956. Fonte: Quintal (1999).....	5
Figura 2: Ribeira da Madalena do Mar, Dezembro de 1939. Fonte: Quintal (1999).....	5
Figura 3: Funchal, Outubro de 1993. Fonte: Quintal (1999).	6
Figura 4: Funchal, Fevereiro de 2010. Fonte: dnoticias.pt (2010).	6
Figura 5: Etapas necessárias para alcançar o grupo hidrológico de cada solo da ilha da Madeira	8
Figura 6: Triângulo de textura. Fonte: (NRCS, n.d.)	9
Figura 7: Relação entre o tempo de concentração e o Lag time de um hidrograma unitário adimensional. Fonte: adaptado de Hoefl & Woodward (2010).	13
Figura 8: Esquematização de parte da metodologia aplicada nas séries de duração parcial.	21
Figura 9: Hietograma de projeto genérico.....	23
Figura 10: Localização da ilha da Madeira. Fonte:(INTERREG, 2014).	24
Figura 11: Localização das várias bacias hidrográficas da Madeira.	27
Figura 12: Rede hidrográfica da ilha da Madeira classificada de acordo com a área da bacia hidrográfica a montante de cada troço.	29
Figura 13: Distribuição espacial das estações de monitorização existentes na Madeira.	44
Figura 14: Teste de homogeneidade às estações utilizadas nos modelos de regionalização consoante a altitude, superior ou inferior a 600 m.....	53
Figura 15: Teste de homogeneidade às estações utilizadas nos modelos de regionalização consoante a vertente, Norte ou Sul.....	53
Figura 16: Representação da precipitação diária máxima anual das diversas estações em estudo consoante a sua altitude, para os períodos de retorno de 20 e 100 anos (método de SMA).	56
Figura 17: Representação da precipitação diária máxima anual segundo a divisão das estações em vertente Norte e Sul, para o período de retorno de 100 anos (método de SMA).	56
Figura 18: Representação da precipitação diária máxima anual das diversas estações em estudo consoante a sua altitude, para os períodos de retorno de 20 e 100 anos (método de SDP).	57
Figura 19: Estações utilizadas no mapeamento da distribuição espacial da precipitação diária máxima anual em todo o território da ilha da Madeira (números de identificações descritos no Quadro 17).....	58
Figura 20: Representação da precipitação diária máxima anual das diversas estações em estudo consoante a sua altitude, para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 550 anos (método de SMA e SDP).	59
Figura 21: Distribuição da precipitação diária máxima anual na Madeira para o período de retorno de 20 anos, segundo: a) krigagem; b) cokrigagem.	60
Figura 22: Distribuição da precipitação diária máxima anual na Madeira para o período de retorno de 50 anos, segundo: a) krigagem; b) cokrigagem.	61
Figura 23: Distribuição da precipitação diária máxima anual na Madeira para o período de retorno de 100 anos, segundo: a) krigagem; b) cokrigagem.	62
Figura 24: Distribuição da precipitação diária máxima anual na Madeira para o período de retorno de 500 anos, segundo: a) krigagem; b) cokrigagem.	63
Figura 25: Precipitação diária máxima anual (mm) estimada por SMA ou SDP, cokrigagem e krigagem, para diferentes postos (T= 50 anos).	64
Figura 26: Precipitação diária máxima anual (mm) estimada por SMA ou SDP, cokrigagem e krigagem, para diferentes postos (T= 500 anos).	64
Figura 27: Ratios de precipitação calculados para a duração de 1h, para cada uma das estações (organizadas da esquerda para a direita de acordo com a sua altitude).	65
Figura 28: Ratios de precipitação calculados para a duração de 3h, para cada uma das estações (organizadas da esquerda para a direita de acordo com a sua altitude).	65
Figura 29: Ratios de precipitação calculados para a duração de 6h, para cada uma das estações (organizadas da esquerda para a direita de acordo com a sua altitude).	66
Figura 30: Ratios de precipitação calculados para a duração de 12h, para cada uma das estações (organizadas da esquerda para a direita de acordo com a sua altitude).	66

Figura 31: Ratios de precipitação calculados para a duração de 24h, para cada uma das estações (organizadas da esquerda para a direita de acordo com a sua altitude).	66
Figura 32: Caudal de ponta de cheia para todas as bacias hidrográficas em estudo, consoante os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos.	69
Figura 33: Caudal específico de ponta de cheia ordenado consoante a área de cada bacia hidrográfica em estudo, para os períodos de retorno de 20 e 50 anos.	70
Figura 34: Caudal específico de ponta de cheia ordenado consoante a área de cada bacia hidrográfica em estudo, para os períodos de retorno de 20 e 50 anos.	70
Figura 35: Caudal de ponta de cheia das bacias hidrográficas em estudo consoante a localização da bacia hidrográfica em Norte ou Sul, para T= 20 anos.	72
Figura 36: Valores de r críticos para a distribuição de Gumbel. Fonte: (Naghetini & Pinto, 2007)	88
Figura 37: Valores de r críticos para a distribuição Normal e LNormal. Fonte: (Naghetini & Pinto, 2007)	88
Figura 38: Valores de r críticos para a distribuição GEV e GEV regionalizada. Fonte: (Naghetini & Pinto, 2007)	88
Figura 39: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Areeiro (IGA).	89
Figura 40: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Achada da Madeira.	89
Figura 41: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Bica da Cana (IGA).	89
Figura 42: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Bom Sucesso (JB).	89
Figura 43: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Camacha.	89
Figura 44: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Cabeço do Meio.	89
Figura 45: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Canhas.	90
Figura 46: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Caniçal.	90
Figura 47: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Cascalho.	90
Figura 48: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Caramujo.	90
Figura 49: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Chão dos Louros.	90
Figura 50: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Chão das Feiteiras (IGA).	90
Figura 51: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Curral das Freiras (Poiso).	91
Figura 52: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Curral das Freiras - Igreja.	91
Figura 53: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Encumeada de S. Vicente.	91
Figura 54: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Encumeada (EEM).	91
Figura 55: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Machico - ETA (IGA).	91
Figura 56: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da ETA do Covão.	91
Figura 57: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Funchal.	92
Figura 58: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Fajã do Penedo - LREC.	92

Figura 59: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Loural...	92
Figura 60: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Lombo Furão.....	92
Figura 61: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Machico - PF.....	92
Figura 62: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Lugar de Baixo.....	92
Figura 63: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Poiso (P. Florestal).....	93
Figura 64: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Montado do Pereiro.....	93
Figura 65: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Ponta do Pargo.....	93
Figura 66: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Ponta Delgada.....	93
Figura 67: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto das Queimadas.....	93
Figura 68: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Porto Moniz (F.Gado).....	93
Figura 69: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Ribeira Brava.....	94
Figura 70: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Rabaçal.....	94
Figura 71: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Ribeira do Alecrim.....	94
Figura 72: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Ribeira Brava - ETA.....	94
Figura 73: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Ribeiro Frio.....	94
Figura 74: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Santa Quitéria – ETA.....	94
Figura 75: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Rosário.....	95
Figura 76: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de S. Jorge - ETA.....	95
Figura 77: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Santana.....	95
Figura 78: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Santa Catarina.....	95
Figura 79: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Santo António (Trapiche).....	95
Figura 80: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Sanatório.....	95
Figura 81: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Vale do Paraíso.....	96
Figura 82: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Santo da Serra (IGA).....	96
Figura 83: Semi-variograma da variável 0 (precipitação), para T= 20 anos.....	99
Figura 84: Semi-variograma da variável 1 (altitude), para T = 20 anos.....	99
Figura 85: Semi-variograma da variável 1 (altitude), para T = 50 anos.....	99
Figura 86: Semi-variograma da variável 0 (precipitação), para T= 50 anos.....	99
Figura 87: Semi-variograma da variável 0 (precipitação), para T = 100 anos.....	99
Figura 88: Semi-variograma da variável 1 (altitude), para T = 100 anos.....	99
Figura 89: Semi-variograma da variável 1 (altitude), para T = 500 anos.....	100
Figura 90: Semi-variograma da variável 0 (precipitação), para T = 500 anos.....	100

Figura 91: Caudais específicos de ponta de cheia para o período de 100 anos. Fonte: SRA & INAG (2003). 102

QUADROS

Quadro 1: Síntese histórica das principais aluviões ocorridas na ilha da Madeira. Adaptado de IST, UMa, & LREC (2010).....	5
Quadro 2: Classificação hidrológica de solos segundo o SCS. Fonte: adaptado de: Hoefl (2009); Martins (2000).	8
Quadro 3: Classes texturais consideradas no estudo.....	9
Quadro 4: Grupos hidrológicos de solo consoante as classes texturais. Adaptado de: Brakensiek & Rawls et al (1982), Sartori & Genovez (2009).	9
Quadro 5: Solo, tipo de solo e respetivo grupo hidrológico existentes na ilha da Madeira.	9
Quadro 6: Modelos disponibilizados pelo <i>software</i> HEC-HMS.	15
Quadro 7: Métodos adotados no modelo hidrológico a aplicar na dissertação.	15
Quadro 8: Data, bacias hidrográficas e fonte de informação referente aos eventos extremos de precipitação definidos.....	16
Quadro 9: Fórmulas para estimação de probabilidades empíricas de não excedência. Fonte: adaptado de Naghettini & Portela (2011).	18
Quadro 10: Tabela de conceitos fundamentais de estatística.	19
Quadro 11: Características físicas da ilha da Madeira. Fonte: SRA & INAG (2003).	25
Quadro 12: Área, Altitude mínima, média e máxima, Altura média, Declive mínimo, médio e máximo das bacias hidrográficas da Madeira.....	28
Quadro 13: Comprimento total dos cursos de água da rede hidrográfica em função da área de drenagem (A , km^2), e desenvolvimento do curso de água principal (L , km) para cada bacia hidrográfica.	29
Quadro 14: Distribuição da percentagem de área consoante o tipo de solo, para cada bacia hidrográfica.....	31
Quadro 15: Distribuição da percentagem de área consoante as classes de ocupação do solo, para cada bacia hidrográfica.	32
Quadro 16: Valores mínimos, máximos e médios do número de escoamento em condições de humidade do solo AMCII e AMCIII.	34
Quadro 17: T_c e Lag time, para cada bacia, consoante as fórmulas de Giandotti, Kirpich, Temez e SCS.	35
Quadro 18: Estações de monitorização existentes na ilha da Madeira.	38
Quadro 19: Dados relativos à Ribeira dos Socorridos e Ribeira de S. João.	45
Quadro 20: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira dos Socorridos consoante a fórmula de tempo de concentração.	46
Quadro 21: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de S. João consoante a fórmula de tempo de concentração.	46
Quadro 22: Dados relativos à Ribeira de S. Vicente e Ribeira dos Socorridos (Curral das Freiras).....	47
Quadro 23: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de S. Vicente consoante a fórmula de tempo de concentração.	47
Quadro 24: Dados relativos à Ribeira de S. Vicente e Madalena do Mar	47
Quadro 25: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de S. Vicente consoante a fórmula de tempo de concentração.	48
Quadro 26: Dados relativos às Ribeiras do Funchal e Ribeira Brava.....	48
Quadro 27: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de João Gomes consoante a fórmula de tempo de concentração.	48
Quadro 28: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de Santa Luzia consoante a fórmula de tempo de concentração.	49

Quadro 29: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de S. João consoante a fórmula de tempo de concentração.	49
Quadro 30: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira da Ribeira Brava consoante a fórmula de tempo de concentração.	49
Quadro 31: Caudais de ponta de cheia dos estudos anteriormente realizados e caudais resultantes das simulações no HEC – HMS, usando as equações de tc de Kirpich e SCS.	50
Quadro 32: Precipitação diária máxima anual nas diversas estações em estudo, para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos, obtida através de um ajustamento da lei GEV às séries de máximos anuais.	54
Quadro 33: Altitude, nível de corte, λ , DI e precipitação diária máxima anual para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos (segundo SDP).	57
Quadro 34: Precipitação diária máxima anual das estações que contêm séries entre os 15 e 20 anos, segundo as metodologias SDP e SMA.	58
Quadro 35: Valores mínimos, máximos, médios e medianos dos ratios de precipitação referentes às durações de 1h, 3h, 6h, 12h e 24h.....	67
Quadro 36: Caudal de ponta de cheia (Q_p , m ³ /s) e caudal de ponta de cheia específico (q_p , m ³ /s/km ²) para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos.	68
Quadro 37: Listagem dos aluviões ocorridos na ilha da Madeira entre 1601 e a atualidade. Fonte: Sepúlveda (2011).	78
Quadro 38: Relação entre códigos CORINNE LandCover, tipo hidrológico do solo e número de escoamento (AMCII). Fonte: adaptada de Lobo-Ferreira 1995; APA & MAOTE, (1995a).	85
Quadro 39: Características das sub-bacias: área, CN, tc e lag time.	87
Quadro 40: Resultados da aplicação do teste de Filliben consoante as estações em estudo e as várias distribuições de probabilidade.	97
Quadro 41: Quocientes medianos dos ratios sub-diários referentes às durações de 1h, 3h, 6h, 12h e 24h.....	101

ANEXOS

Anexo A: Síntese dos acontecimentos históricos ocorridos na Madeira desde o séc. XVI.....	78
Anexo B: Tabela auxiliar para estimação do Número de Escoamento.....	85
Anexo C: Propriedades das sub-bacias definidas	87
Anexo D: Valores críticos do coeficiente de Correlação Linear do teste de filliben (r)	88
Anexo E: Representações gráficas resultantes da Análise Estatística.....	89
Anexo F: Resultados obtidos através do Teste de Filliben	97
Anexo G: Semi-variogramas associados à cokrigagem	99
Anexo H: Quocientes medianos referentes aos ratios sub-diários	101
Anexo I: Caudais específicos de ponta de cheia estimados no PRAM	102

ACRÓNIMOS

Sigla	Significado
ADIST	Associação de Desenvolvimento do IST
ANAM	Aeroportos e Navegação Aérea da Madeira
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CN	Número de Escoamento
COSRAM	Carta de Ocupação do Solo da Região Autónoma da Madeira
CPUTL	Centro de Pedologia da Universidade de Lisboa
DRAM	Direcção Regional de Agricultura da Madeira
DREM	Direcção Regional de Estatística da Madeira
DROTA	Direcção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente
EEM	Empresa de Eletricidade da Madeira
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GEV	<i>Generalized Extreme Values</i>
HEC - HMS	<i>Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System</i>
IGA	Investimentos e Gestão da Água, SA
IGP	Instituto Geográfico Português
IICT	Instituto de Investigação Científica Tropical
IM	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
INAG	Instituto Nacional da Água
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IST	Instituto Superior Técnico
JB	Jardim Botânico
JG	Junta Geral
LREC	Laboratório Regional de Engenharia Civil
MAOTE	Ministro do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia
MDT	Modelo Digital do Terreno
NRCS	<i>Natural Resources Conservation Service</i>
PF	Posto Florestal
PGRH	Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira
PRAM	Plano Regional de Água da Madeira
RAM	Região Autónoma da Madeira
RH	Rede Hidrográfica
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SDP	Séries de duração parcial
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SMA	Séries de máximos anuais
SRA	Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais
UMa	Universidade da Madeira
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
UTL	Universidade Técnica de Lisboa
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>

1. INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA

Os aluviões são fenómenos cíclicos e naturais que têm ocorrido com alguma frequência e com intensidades diversas no Arquipélago da Madeira. São provocados por precipitação intensa, que originam cheias repentinas de grande magnitude, estando estas associadas a desmoronamentos e escorregamentos de vertentes e a um enorme potencial destrutivo. Segundo Quintal (1999), “árvores, blocos rochosos, terrenos agrícolas, tudo é arrancado e transportado pelas águas em correria louca vale abaixo até o mar. Eis que o leito da ribeira se estreitou, um qualquer obstáculo se interpõe no caminho: a água abandona velozmente a secção que lhe tinham destinado e invade as casas, rouba-lhes os habitantes. É a morte, a tragédia. Mais uma aluvião.”

A ocorrência de aluviões na Madeira é histórica. Em outubro de 1803 ocorreu um aluvião que é considerado como a maior catástrofe que alguma vez atingiu a Madeira. Passados 207 anos ocorre uma nova catástrofe, a 20 de Fevereiro de 2010 (com mais de 40 mortos e centenas de feridos e desalojados) apresentando uma capacidade destrutiva semelhante. A ocorrência destas catástrofes, e o eventual agravamento das consequências deste tipo de fenómenos entre 1803 e 2010, poderá resultar da ocupação dos leitos de cheia com diversos tipos de infraestruturas como explorações agrícolas, habitações, armazéns, unidades industriais e até centrais elétricas, deixando um estreito caminho para a água se dirigir até ao mar. A construção de estradas na foz das ribeiras também pode contribuir para dificultar a passagem da água e aumentar o risco de danos e perdas de vidas humanos durante uma aluvião. A destruição da vegetação poderá ser ainda outro fator contribuinte para o agravamento das consequências destas catástrofes.

As bacias hidrográficas das ribeiras da ilha da Madeira caracterizam-se principalmente pela sua pequena dimensão, entre cerca de 30 e 50 km², uma orografia vigorosa, vales estreitos cercados por encostas com um elevado declive, linhas de água com comprimentos relativamente curtos que têm origem a grandes altitudes e estendem-se até ao nível de água do mar.

Embora não seja possível evitar completamente estes eventos, os seus efeitos poderão ser minimizados e a quantidade de danos materiais e vítimas mortais poderá ser reduzida futuramente. A consciencialização por parte dos governantes e cidadãos para a adoção de medidas de controlo e gestão de risco é fundamental para minimizar as consequências destas catástrofes. Torna-se imprescindível a diminuição da perigosidade em zonas mais sensíveis (designadamente as cidades da vertente sul, situadas junto às fozes das ribeiras, como é o caso do Funchal, Machico ou Ribeira Brava), a redução da exposição ao perigo e redução da vulnerabilidade dos bens que se encontram atualmente mais expostos. No entanto, não se poderá assegurar que uma aluvião catastrófica não voltará a ocorrer na ilha da Madeira.

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo desta dissertação de mestrado é o desenvolvimento e a aplicação consistente de uma metodologia única que possibilite a determinação do caudal de ponta de cheia em secções da rede hidrográfica com interesse na ilha da Madeira.

Para atingir devidamente o objetivo deste trabalho é importante que se concretize os seguintes aspetos:

- caracterização uniforme e completa das bacias hidrográficas da ilha;
- caracterização da rede de monitorização de precipitação que se estende por toda a área da ilha e organização dos registos existentes de precipitação;
- estimativa dos valores de precipitação diária máxima anual para vários períodos de retorno;
- mapeamento da distribuição espacial da precipitação diária máxima anual para diferentes períodos de retorno, através de ferramentas de interpolação;
- estimativa dos ratios entre a precipitação para várias durações de tempo e a precipitação diária;
- seleção e validação do modelo hidrológico que melhor se ajuste às características da ilha e estimativa dos seus parâmetros;
- cálculo dos hidrogramas de cheia e dos valores de caudal de ponta de cheia para diferentes períodos de retorno nas secções da rede hidrográfica que apresentem maior interesse.

Para concretizar esta abordagem utilizou-se a ferramenta de análise de informação geográfica ArcMap e o sistema de modelação hidrológica HEC-HMS.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura deste documento divide-se em 7 capítulos, constituindo a presente *Introdução* o capítulo 1. Os restantes capítulos apresentam as seguintes abordagens:

Capítulo 2 – *Antecedentes históricos na ilha da Madeira* – Neste capítulo identificam-se os principais eventos extremos de precipitação que têm ocorrido na Madeira, desde o século XVII, apresentando informações relacionados com a localização dos mesmos, danos e vítimas causadas.

Capítulo 3 – *Fontes de dados e metodologia* – Apresenta-se uma descrição geral da metodologia aplicada ao longo desta dissertação para atingir os objetivos definidos. Descreve-se o *software* de simulação hidrológica a utilizar (HEC- HMS), os respetivos modelos disponibilizados e indica-se o modelo hidrológico adotado no presente trabalho. Definem-se ainda as principais fontes de dados utilizadas.

Capítulo 4 – *Caracterização da área de estudo* – O primeiro sub-capítulo descreve as principais características da ilha da Madeira. O segundo sub-capítulo apresenta uma caracterização pormenorizada das bacias hidrográficas em determinados temas como orografia e hidrografia, solos e

uso do solo. São também determinados os parâmetros do modelo hidrológico selecionado, nomeadamente o tempo de concentração e o número de escoamento. A caracterização da rede de monitorização da precipitação disposta por toda a ilha, e das várias entidades responsáveis pelas estações, é descrita no terceiro sub-capítulo.

Capítulo 5 – *Validação do Modelo Hidrológico* – Apresentam-se os valores de caudal de ponta de cheia consoante as simulações definidas, baseando-se estas em quatro eventos extremos de precipitação ocorridos nos últimos anos na Madeira. Comparam-se estes valores com os caudais de ponta de cheia estimados em estudos realizados anteriormente.

Capítulo 6 – *Hietogramas de projeto* – Desenvolvem-se os métodos estatísticos de Séries de Máximos Anuais (SMA) e Séries de Duração Parcial (SDP), onde se estimam valores de precipitação diária máxima anual para diferentes períodos de retorno, sendo realizado posteriormente o mapeamento espacial de precipitação da ilha. Por fim, criam-se ratios de precipitação para durações de tempo sub-diárias.

Capítulo 7 – *Avaliação do caudal de ponta de cheia* – Exibem-se e analisam-se os valores de caudal de ponta de cheia estimados referentes à foz das bacias hidrográficas em estudo, para diferentes períodos de retorno, com recurso ao *software* HEC – HMS.

Capítulo 8 – *Síntese e conclusões* – São apresentados os resultados mais significativos obtidos ao longo da dissertação.

2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS NA ILHA DA MADEIRA

A história da ilha da Madeira está marcada por catástrofes provocadas por cheias repentinas nas ribeiras - Aluviões. Citando Pereira (1939), a quase inexistência de caudal nas ribeiras no Verão contrasta com os cursos de água da ilha no Inverno em que estes "... crescem torrencialmente, transbordam das margens e arrastam das montanhas toneladas de penedo, rolando-os e batendo uns contra os outros num ruído sinistro e aterrador, ao mesmo tempo que arrebatam terrenos de cultura, derrubam pontes, e chegam por vezes a causar enormes prejuízos em habitações, pessoas, terras e animais".

O aumento súbito do caudal das ribeiras está relacionado com chuvas torrenciais que dão origem a valores de caudal com um elevado poder erosivo e transportador de material sólido, assim como movimentos de vertente de grande dimensão. O conjunto destes fenómenos resulta em graves danos materiais e vítimas humanas, na destruição do coberto vegetal da ilha e na perda dos solos.

Têm sido diversos os episódios de enxurradas e inundações ocorridos no arquipélago da Madeira desde o século XVII até ao presente. No entanto, há autores que defendem que a frequência e o poder destes eventos aumentou substancialmente a partir de 1970 o que poderá estar relacionado com o aumento da população, a sua ocupação e conseqüente modificação dos perfis de leito de cheia das ribeiras e com a crescente impermeabilização do solo e subsolo. O facto de, atualmente, existir um maior registo e relato deste tipo de acontecimentos por parte da comunicação social contribuem também para a perceção do aumento da frequência deste tipo de fenómenos.

A primeira aluvião com alguma informação descritiva disponível sucedeu a 1 de Dezembro de 1601. Contudo, de todas as catástrofes que ocorreram, a maior foi a aluvião de 9 de Outubro de 1803, quando, segundo registos de relatos da época, deverão ter morrido entre 800 e 1000 pessoas, sendo que a maioria residia no Funchal, que na época não teria mais do que cerca de 25 000 habitantes (Quintal, 1999).

O Quadro 1 resume as principais aluviões que ocorreram nos séculos XIX, XX e início do século XXI, indicando a zona em que estas ocorreram, respetivas vítimas e danos causados. Para além dos eventos que se encontram registados seguidamente, existiram outros com conseqüências de menor gravidade. Em anexo encontra-se uma lista mais pormenorizada de aluviões que sucederam na ilha entre 1601 e 2010 (Anexo A).

Quadro 1: Síntese histórica das principais aluviões ocorridas na ilha da Madeira. Adaptado de IST, UMa, & LREC (2010).

Data	Zona	Vítimas e danos
9 de Outubro de 1803	Funchal	800 - 1000 vítimas
26 de Fevereiro de 1920	Funchal Ribeira Brava, Camacha	5 vítimas
6 de Março de 1929	S. Vicente	32 vítimas, 11 casas e 100 palheiros destruídos
30 de Dezembro de 1939	Madalena do Mar (principais danos)	4 vítimas
11 de Fevereiro de 1956	Curral das Freiras	2 vítimas
3 de Novembro de 1956	Machico, Santa Cruz	6 vítimas
3 a 6 de Janeiro de 1963	Ribeira Brava, Serra de Água	5 vítimas
9 de Janeiro de 1970	Ribeira Brava, Serra de Água	4 vítimas
21 de Setembro de 1972	Santo António	2 vítimas
20 de Dezembro de 1977	Estreito de Câmara de Lobos	4 vítimas e 45 desalojados
23 e 24 de Janeiro de 1979	Machico, Porto da Cruz, Camacha, Canhas, Calheta e Fajã do Penedo	14 vítimas
29 de Outubro de 1993	Por toda a ilha da Madeira	4 vítimas, 4 desaparecidos, 306 desalojados, 76 habitações afetadas e 27 feridos
5 e 6 de Março de 2001	Curral das Freiras e S. Vicente	4 vítimas (turistas alemães), 1 desaparecido e 120 pessoas desalojadas
22 de Dezembro de 2009	Madalena do Mar e S. Vicente	Destruição de vias de comunicação e habitações
20 de Fevereiro de 2010	Funchal, Ribeira Brava, Santa Cruz e Câmara de Lobos	45 vítimas, 6 desaparecidos, 250 feridos e 600 desalojados

As chuvas violentas que originaram valores de caudal elevados ocorreram maioritariamente no Outono e Inverno e, frequentemente, foram provocadas por sistemas frontais associados a depressões que circulam de sudoeste para nordeste, o que poderá explicar o facto de a sua maioria ter afetado a costa sul da ilha (Quintal, 2011).

Através das quatro figuras (Figuras 1, 2, 3 e 4) que se seguem é possível visualizar algumas das consequências relacionadas com este tipo de eventos extremos que se têm vindo a sentir na ilha ao longo das décadas.



Figura 2: Ribeira da Madalena do Mar, Dezembro de 1939. Fonte: Quintal (1999).



Figura 1: Ribeira de Santa Cruz, Novembro de 1956. Fonte: Quintal (1999).



Figura 3: Funchal, Outubro de 1993. Fonte: Quintal (1999).



Figura 4: Funchal, Fevereiro de 2010. Fonte: dnoticias.pt (2010).

No passado foram realizados vários estudos sobre estes fenómenos, foram apresentadas propostas de medidas especiais de controlo e gestão do risco e realizadas algumas intervenções com o objetivo de regularizar os leitos das ribeiras e, assim, proteger as zonas urbanas, como é o caso da cidade do Funchal. São de destacar o Plano Regional da Água da Madeira (PRAM) (SRA & INAG, 2003) e o Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na ilha da Madeira (EARAM) (IST et al., 2010) que além de identificar e caracterizar este tipo de risco, sugere também algumas medidas específicas.

Os avisos de alerta do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica têm, hoje em dia, um papel fundamental na prevenção através da previsão meteorológica uma vez que poderão desencadear-se medidas urgentes de evacuação das populações dos locais mais perigosos, salvando-se vidas e preservando-se bens. Contudo, as ações preventivas de última hora poderão não ser suficientes por não se conseguir evitar o rápido aumento do caudal das ribeiras e a destruição de casas, armazéns ou terrenos agrícolas que ocupam os leitos de cheia.

3. FONTES DE DADOS E METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 OROGRAFIA E HIDROGRAFIA

A definição e caracterização das bacias hidrográficas da ilha da Madeira foram realizadas através da ferramenta SIG ArcGIS, que permite, entre outras funções, visualizar, gerir, criar, editar, analisar e controlar a qualidade de diversos tipos de dados geográficos (Esri, 2013). Utilizou-se como principal elemento de base o modelo digital de terreno (MDT) com uma resolução espacial horizontal de 10x10m, obtido por aerofotogrametria num voo em 2007 (IST et al., 2010).

São vários os fatores que influenciam e definem a orografia e hidrografia da Madeira, de entre os quais considera-se a estrutura, forma e idade do edifício vulcânico e também os vários agentes erosivos externos. De referir que os principais agentes erosivos ativos são a precipitação, o escoamento e o vento (IST et al., 2010).

A rede hidrográfica e os limites das bacias hidrográficas foram geradas automaticamente e para cada bacia hidrográfica foram determinados vários parâmetros como a altitude máxima, média e mínima e o declive máximo, médio e mínimo.

3.1.2 SOLOS

Para a identificação dos vários tipos de solo utilizou-se a Carta de Solos da ilha da Madeira (IICT et al., 1992) que adopta a legenda da FAO/UNESCO (1988) para a sistematização taxonómica dos solos, com 8 grupos principais de solos, subdivididos em 15 unidades-solo.

3.1.3 USO DO SOLO

Para o estudo do uso e ocupação do solo na Madeira aplicou-se a Carta de Uso do Solo da Madeira (COSRAM, 2007), escala 1:10 000, com resolução de 0.25 ha de área mínima cartográfica. A nomenclatura desta carta é constituída por um sistema hierárquico de classes de ocupação/uso do solo com cinco níveis, em que o primeiro nível subdivide-se em: Territórios artificializados, Áreas agrícolas e agroflorestais, Florestas e meios naturais e seminaturais, Zonas húmidas e Corpos de água (IGP, 2010).

3.1.4 NÚMERO DE ESCOAMENTO

O parâmetro número de escoamento (CN, *Curve Number*) procura definir, mediante um valor numérico, a influência do terreno no comportamento do escoamento superficial. A atribuição de um valor de CN resulta da constituição pedológica e do tipo de ocupação ou uso do solo da área em análise (Gonçalves et al., 2007). A importância da definição do CN deve-se ao facto deste ser o único parâmetro do modelo de perdas proposto pelo *Soil Conservation Service* (SCS).

Segundo a metodologia apresentada pelo *Soil Conservation Service*, um solo é classificado em quatro tipos: A, B, C ou D. Um solo do tipo A apresenta uma maior condutividade hidráulica, contrastando com um solo do tipo D que está associado a uma menor condutividade hidráulica. Cada uma destas classes é baseada num conjunto de fatores, nomeadamente a entrada e transmissão de água sob as condições de humidade máxima anual, o estado de congelamento ou não congelamento do solo, a situação da superfície do solo (despida ou não despida) e a expansão máxima de argilas expansivas. É ainda de referir que o declive da superfície do solo não é diretamente considerado aquando a classificação dos mesmos (Hoeft, 2009).

O Quadro 2 apresenta as principais características de cada um destes tipos de solos.

Quadro 2: Classificação hidrológica de solos segundo o SCS. Fonte: adaptado de: Hoeft (2009); Martins (2000).

Tipo de solo	Características dos solos
Tipo A	Solos que dão origem a escoamento direto baixo ou que apresentam um valor de permeabilidade bastante elevada. Inclui áreas com arenitos espessos e muito permeáveis e também inclui áreas com pouca quantidade de limo ou argilas.
Tipo B	Solos que são menos permeáveis do que os do tipo A mas que apresentam uma permeabilidade superior à média. Estão incluídos neste grupo os solos arenosos mas que são menos espessos e os arenitos menos agregados e menos espessos do que os do tipo A.
Tipo C	Solos que originam escoamentos superiores à média e superiores aos originados pelos tipos de solos anteriores. Inserem-se aqui os solos pouco espessos e com uma quantidade considerável de argila.
Tipo D	Solos com argilas expansivas, que apresentam sub-horizontes quase impermeáveis, originando assim elevado escoamento direto.

De modo a alcançar o grupo hidrológico de cada solo foi necessário realizar várias etapas que se encontram ilustradas na Figura 5.

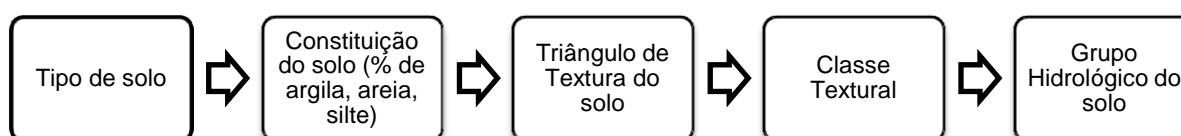


Figura 5: Etapas necessárias para alcançar o grupo hidrológico de cada solo da ilha da Madeira

A consulta da *Carta dos Solos da ilha da Madeira* (1992) permitiu conhecer a constituição dos solos existentes em toda extensão da ilha e, concretamente, as suas percentagens de argila, areia e silte. Com o auxílio do Quadro 3 e do triângulo de textura de solo (Figura 6) definiram-se as várias classes texturais consoante as quantidades de argila, areia e silte que cada tipo de solo contém.

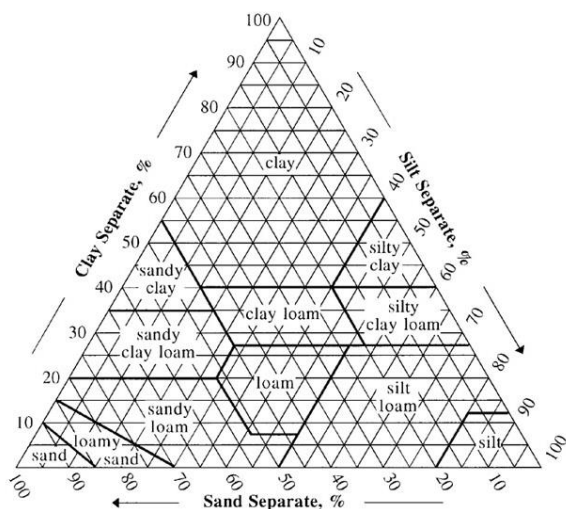


Figura 6: Triângulo de textura. Fonte: (NRCS, n.d.)

Quadro 3: Classes texturais consideradas no estudo.

Nome USDA	Nome
Clay	Argiloso
Sandy Clay	Argilo – arenoso
Silty Clay	Argilo – siltoso
Sandy Clay Loam	Franco – argiloso – arenoso
Clay Loam	Franco – argiloso
Silty Clay Loam	Franco – argiloso – siltoso
Sandy Loam	Franco – arenoso
Loam	Franco
Silt Loam	Franco – siltoso
Sand	Arenoso
Loamy Sand	Arenoso – franco
Silt	Siltoso

Quadro 4: Grupos hidrológicos de solo consoante as classes texturais. Adaptado de: Brakensiek & Rawls et al (1982), Sartori & Genovez (2009).

Grupo Hidrológico do Solo	Classe Textural
A	Areia
	Areia franca
	Franco arenoso
B	Franco
	Franco siltoso
C	Franco-argilo arenoso
D	Franco argiloso
	Franco argilo siltoso
	Argila arenosa
	Argila siltosa
	Argila

Tendo como base o Quadro 4, que relaciona as diversas classes texturais com os quatro grupos hidrológicos, obteve-se o Quadro 5 que indica o grupo hidrológico para os diferentes tipos de solo existentes na ilha da Madeira.

Quadro 5: Solo, tipo de solo e respetivo grupo hidrológico existentes na ilha da Madeira.

Solos	Tipo de Solos	Designação	Grupo hidrológico
Fluvisolos (FL)	Eutric Fluvisols	FLe	A
	Dystric Fluvisols	FLd	A
Arenosols (AR)	Calcaric Arenosols	ARc	A
Andosols (A N)	Umbric Andosols	ANu	D
	Vitric Andosols	ANz	D
Vertissolos (VR)	Eutric Vertisols	VRe	D
Cambissolos (CM)	Eutric Cambisols	CMe	D

Solos	Tipo de Solos	Designação	Grupo hidrológico
	Dystric Cambisols	CMd	D
	Humic Cambisols	CMu	D
	Chromic Cambisols	Cmx	D
	Vertic Cambisols	CMv	D
Calcissolos (CL)	Haplic Calcisols	CLh	B
Phaeozems (PH)	Haplic Phaeozems	PHh	D
Terreno Rochoso	Terreno Rochoso Êutrício	TRe	D
	Terreno Rochoso Dístrico	TRd	D
Terreno Acidentado	Terreno Acidentado Êutrício	TAe	D
	Terreno Acidentado Dístrico	TAd	D
Depósito de Praia	-	DP	A
Área urbana	-	AU	D
Áreas de Acesso muito difícil	-	AAMD	D

Para produzir um mapa do valor de CN para toda a área da ilha cruzaram-se os dados referentes ao grupo hidrológico e dados sobre os diferentes usos ou ocupações de solo. Para tal, utilizou-se uma tabela que relaciona os códigos CORINNE de uso do solo, o tipo hidrológico do solo e o valor de CN-AMCII (adaptada de Lobo-Ferreira, 1995), que se apresenta na íntegra no Anexo B. A notação AMCII significa que os solos em questão apresentam condições médias de humidade do solo.

A partir do mapa de CN-AMCII para a totalidade da ilha da Madeira, recorrendo ao *software* ArcMap, obteve-se a informação referente ao CN para as 39 bacias hidrográficas em estudo, nomeadamente os valores máximos, mínimos e médios do número de escoamento em cada uma das bacias.

Tendo como base os valores de CN-AMCII, calcularam-se os valores referentes ao número de escoamento em condições de solo particularmente húmidas, CN-AMCIII, que ocorrem na sequência de eventos de precipitação significativa. Nestas condições o solo encontra-se quase saturado e a formação de cheias de maior dimensão é mais provável. Aplicou-se a Equação 3.1 para obter os valores de CN-AMCIII a partir dos valores de CN-AMCII (Chow et al., 1988).

$$CN (AMIII) = \frac{23 \times CN (AMII)}{10 + 0.13 \times CN (AMII)} \quad (3.1)$$

3.1.5 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Define-se tempo de concentração, t_c , como o tempo requerido para que uma gota de água se desloque do ponto cinematicamente mais afastado da secção da bacia hidrográfica. Este ponto é aquele que apresenta o maior tempo de percurso até à secção final da bacia e não o que se encontra mais distante. O t_c é normalmente aplicado na análise do escoamento de superfície e pode ser calculado por meio de diferentes métodos. Considera-se que é uma propriedade intrínseca da bacia hidrográfica, assumindo-se ainda que é independente da precipitação. Este parâmetro varia

consoante a inclinação e o caráter da bacia hidrográfica e também com o caminho percorrido pelo escoamento (Hoeft & Woodward, 2010).

Embora esteja dependente de diversos fatores, em termos práticos admite-se que o t_c depende das características da bacia hidrográfica à qual está associado. De entre as propriedades das bacias, tem-se: área da bacia, comprimento do curso de água principal, altura média da bacia, declive médio do curso de água principal e ainda da diferença de cotas do curso de água principal (Chow et al., 1988).

Para efetuar o cálculo do tempo de concentração das bacias hidrográficas da ilha da Madeira utilizaram-se três fórmulas empíricas e uma semi-empírica. As equações empíricas aplicadas foram propostas por Giandotti, Kirpich e Temez, sendo que este tipo de métodos são relativamente simples por se basearem nos parâmetros geométricos das bacias hidrográficas. Quanto aos métodos semi-empíricos, estes consideram, para além das características geométricas, as características biofísicas das bacias, como o número de escoamento usado no caso da fórmula do *Soil Conservation Service* (Gonçalves et al., 2007).

- **Fórmula de Giandotti**

A fórmula de Giandotti (1953) tem origem após a análise de diversas bacias hidrográficas italianas, em grande parte com áreas superiores a 300 km² (Hipólito & Vaz, 2011). De acordo com esta fórmula, o tempo de concentração é calculado a partir da Equação 3.2.

$$t_c = \frac{4 \times \sqrt{A} + 1.5 \times L}{0.8 \times \sqrt{h_m}} \quad (3.2)$$

Sendo:

t_c – Tempo de concentração (h)

A – Área da bacia hidrográfica (km²)

L – Desenvolvimento do curso de água principal (km)

h_m – Altura média da bacia hidrográfica (m)

- **Fórmula de Kirpich** (segundo Chow)

Kirpich (1940) apresentou uma expressão (Equação 3.3) de tempo de concentração que é fortemente recomendada para o caso de bacias hidrográficas rurais (Chow et al., 1988). Tem-se:

$$t_c = 0.95 \times \frac{L^{1.155}}{H^{0.385}} \quad (3.3)$$

Sendo:

t_c – Tempo de concentração (h)

L – Desenvolvimento do curso de água principal (km)

H – Diferença de cotas do curso de água principal (m)

- **Fórmula de Temez**

Temez (1978), após analisar várias bacias espanholas, propôs uma equação de tempo de concentração que é recomendada a aplicar-se em bacias hidrográficas que apresentem áreas até cerca de 3 000 km² (Hipólito e Vaz, 2011). Sendo esta traduzida pela Equação 3.4.

$$t_c = 0.3 \times \left[\frac{L}{d_m^{0.25}} \right]^{0.76} \quad (3.4)$$

Sendo:

t_c – Tempo de concentração (h)

L – Desenvolvimento do curso de água principal da bacia (km)

d_m – Declive médio do curso de água principal da bacia (-)

- **Fórmula do Soil Conservation Service (SCS)**

A fórmula proposta pelo *Soil Conservation Service* (Equação 3.5) do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA, 2004), que atualmente se encontra integrado no NRCS (*Natural Resources Conservation Service*), é aconselhada para bacias relativamente pequenas e rurais, com áreas não superiores a 50 km² (Hipólito e Vaz, 2011).

$$t_c = 0.057 \times \frac{L_{SCS}^{0.8}}{i_m^{0.5}} \times \left[\frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7} \quad (3.5)$$

Sendo:

t_c – Tempo de concentração (h)

L_{SCS} – Distância à secção de referência do ponto cinematicamente mais afastado (km)

i_m – Declive médio da bacia hidrográfica (-)

CN – Número de escoamento da bacia hidrográfica, em condições AMCII e AMCIII (-)

A adoção do hidrograma unitário do *Soil Conservation Service* no HEC – HMS exige a introdução do valor referente ao *Lag time*, sendo segundo Scharffenber (2013), como “*the length of time between the centroid of precipitation mass and the peak flow of the resulting hydrograph*” como se encontra representado na Figura 7. Estudos realizados pelo SCS admitem que, de um modo geral, o *Lag time* corresponde a 60% do tempo de concentração, tendo sido este valor aplicado às bacias hidrográficas em estudo (Scharffenberg, 2013).

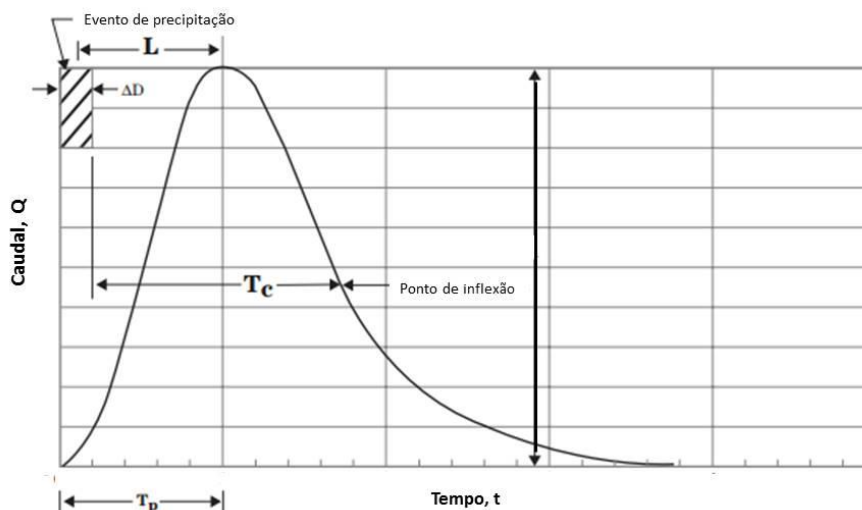


Figura 7: Relação entre o tempo de concentração e o Lag time de um hidrograma unitário adimensional.
Fonte: adaptado de Hoefl & Woodward (2010).

Sendo:

t_c – Tempo de concentração (h)

L – Lag time (h)

T_p – Tempo do pico (h)

ΔD – Duração do evento de precipitação (h)

3.2 SISTEMA HEC – HMS

O sistema de modelação hidrológica HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System*) foi projetado com o intuito de simular os processos de transformação da precipitação em escoamento que ocorrem em sistemas de bacias hidrográficas durante períodos de tempo restritos. Foi criado de forma a poder ser aplicado a uma vasta gama de áreas geográficas e, assim, resolver diversos problemas. Os hidrogramas produzidos pelo programa podem ser diretamente utilizados ou poderão ser usados em conjunto com outros programas informáticos, nomeadamente em estudos de drenagem urbana, previsão de escoamento, impacte de urbanizações futuras, projecção de descarregadores de reservatórios, redução dos danos causados por cheias, regulação da planície de inundação e ainda, entre outros, operação de sistemas (Scharffenberg, 2013).

A simulação hidrológica no sistema HEC-HMS exige a definição prévia do esquema das sub-bacias e troços fluviais que compõem a bacia, a indicação do evento pluvioso a simular e a especificação do modelo hidrológico a aplicar. Um conjunto de controlo de especificações define o intervalo de tempo de uma simulação através da indicação, para cada simulação, das datas e horas de início e fim da simulação, assim como do intervalo de tempo (passo de cálculo) da simulação.

- **Descrição física das bacias hidrográficas**

A representação física de uma bacia hidrográfica é realizada com um modelo de bacia (*basin model*) em que os elementos hidrológicos estão ligados numa rede dendrítica de modo a simular os processos de escoamento. Os elementos disponíveis neste *software* são: *subbasin*, *reach*, *junction*, *reservoir*, *diversion*, *source*, e *sink*.

A criação de sub-bacias baseia-se na divisão das bacias hidrográficas em montante e jusante entre, aproximadamente, os 500 e 800 m de altitude, consoante as características das mesmas. No entanto, bacias hidrográficas com cerca de 1000 m de altitude na sua totalidade irão manter-se indivisíveis. Os valores referentes às áreas de cada sub-bacia, tal como outras propriedades poderão ser observados em anexo (Anexo C).

- **Descrição dos eventos pluviosos**

A análise dos dados meteorológicos é efetuada pelo modelo meteorológico (*meteorologic model*) incluindo-se neste a radiação de ondas curtas, a precipitação, a evapotranspiração e o degelo (*shortwave radiation*, *precipitation*, *evapo-transpiration* e *snowmelt*). Contudo, não é necessário aplicar todos os componentes simultaneamente numa simulação. Frequentemente, eventos simples de simulações requerem apenas a precipitação enquanto, por exemplo, simulações contínuas requerem precipitação e evapotranspiração.

Para descrever a precipitação histórica o programa disponibiliza quatro métodos diferentes, tendo-se entre estes: *User-specified hyetograph method*, *Gage weights method*, *Inverse distance method* e *Gridded precipitation method*. De referir que, relativamente ao modelo meteorológico de precipitação estabelecido, a seleção deste está dependente do número de séries temporais consideradas para cada simulação. No caso de existir apenas uma série temporal, utiliza-se o modelo *Specified Hietograph*, caso contrário, aplica-se o modelo *Gage Weights*. Nesta situação, os pesos associados a cada um dos postos estabelecidos têm origem no método dos polígonos de Thiessen.

- **Simulação hidrológica**

São vários os modelos que o HEC-HMS tem disponíveis, sendo que serão identificados de seguida os principais, de entre os quais se apresenta: modelos das perdas por infiltração (*infiltration losses*), modelos de transformação (*transform method*), modelos de contribuição do escoamento de base e, ainda, modelos de movimento da água em canais abertos (*hydrologic routing methods*).

Quadro 6: Modelos disponibilizados pelo software HEC-HMS.

<u>Modelos de perdas por infiltração</u>	<u>Modelos de transformação</u>	<u>Modelos de contribuição do escoamento de base</u>	<u>Modelos de movimento da água em canais abertos</u>
<i>Deficit and constant loss</i>	<i>Clark</i>	<i>Recession method</i>	<i>Lag method</i>
<i>Gridded Deficit constant loss</i>			
<i>Gridded Soil Moisture Accounting</i>	<i>Snyder</i>	<i>Constant monthly method</i>	<i>Muskingum method</i>
<i>Smith Parlange loss</i>			
<i>Exponential loss</i>	<i>SCS techniques</i>	<i>Linear reservoir method</i>	<i>Straddle stagger method</i>
<i>Gridded Green-Ampt loss</i>			
<i>Initial and constant loss</i>	<i>User-specified unit hydrograph</i>	<i>Nonlinear Boussinesq method</i>	<i>Puls method</i>
<i>Soil Moisture Accounting loss</i>			
<i>Green-Ampt loss</i>	<i>ModClark</i>	<i>Kinematic wave</i>	<i>Muskingum-Cunge method</i>
<i>Gridded SCS Curve Number loss</i>			
<i>SCS Curve Number loss</i>	<i>Kinematic wave</i>		

Entre os modelos que foram mencionados anteriormente (Quadro 6), optou-se por utilizar os descritos no Quadro 7. A seleção do *SCS Curve Number* como modelo deve-se ao facto deste se apresentar como um método simples, objetivo e muito utilizado e eficiente na determinação da quantidade aproximada de escoamento em situações de eventos chuvosos. Além disto, este método requer apenas os valores de precipitação e número de escoamento (Purdue, 2011).

Relativamente ao *Routing method* definido, o *Lag method* não tem em consideração a atenuação, ou seja, a água que escoar é apenas atrasada uma certa quantidade de tempo (*Lag*). Segundo William Scharffenberg (2013), este método é apropriado para segmentos de cursos de água relativamente curtos, sendo este o caso das ribeiras da Madeira, como será verificado posteriormente.

Quadro 7: Métodos adotados no modelo hidrológico a aplicar na dissertação.

<u>Componente do modelo</u>	<u>Método adotado</u>
Perdas por infiltração (<i>Infiltration losses</i>)	<i>SCS Curve Number</i>
Transformação da precipitação excessiva em escoamento de superfície (<i>Transformation</i>)	<i>SCS Unit Hydrograph</i>
<i>Hydrologic Routing</i>	<i>Lag method</i>
Precipitação no modelo meteorológico (<i>Precipitation</i>)	<i>Specified Hyetograph</i> ou <i>Gage Weights</i>

3.3 VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO

Para a validação do modelo hidrológico selecionaram-se quatro eventos extremos de precipitação, que ocorreram na ilha nos últimos anos e que causaram danos materiais e vítimas mortais. A informação relativa aos eventos encontra-se resumida no Quadro 8, onde se observa a data, a bacia hidrográfica onde ocorreram os danos e/ou vítimas e os estudos que disponibilizam dados de caudal de ponta de cheia para posterior comparação.

Quadro 8: Data, bacias hidrográficas e fonte de informação referente aos eventos extremos de precipitação definidos.

Data	Bacia hidrográfica	Fonte de informação
29 de Outubro de 1993	Ribeira dos Socorridos	Estudo Hidrológico e Hidráulico da Ribeira dos Socorridos na Madeira (LNEC, 1997)
	Ribeira de S. João	Auto Zarco, Ribeira de S. João, Funchal (HP, 1993)
5 e 6 de Março de 2001	Ribeira de S. Vicente	-
22 de Dezembro de 2009	Ribeira de S. Vicente	-
20 de Fevereiro de 2010	Ribeira de João Gomes	Estudo de avaliação do risco de aluviões na ilha da Madeira, (IST et al., 2010)
	Ribeira de Santa Luzia	
	Ribeira de S. João	
	Ribeira Brava	

Adiante reuniram-se informações relacionadas com os danos materiais, número de vítimas mortais, feridos e desalojados e a ocorrência de transbordo das ribeiras em estudo tendo como base diversas fontes: jornais nacionais e regionais, sites oficiais, artigos publicados e estudos realizados sobre os eventos.

Para o cálculo de caudais de ponta de cheia utilizou-se séries de precipitação horárias e sub-horárias. Isto porque, dados diários, mensais ou anuais não permitem obter valores próximos da realidade por atenuarem significativamente os valores máximos de caudais de ponta.

Nesta etapa utilizou-se o *software* de simulação hidrológica HEC - HMS para gerar hidrogramas de cheia a partir de hietograma de precipitação com um intervalo de tempo de 30 minutos. Os registos de precipitação foram disponibilizados pelo LREC (Laboratório Regional de Engenharia Civil), IGA (Investimentos e Gestão da Água) ou recolhidos em estudos existentes, tendo-se identificado os postos mais próximos dos locais onde ocorreram os eventos extremos. O número de postos que se apresentam nas condições pretendidas e, conseqüentemente, a reduzida quantidade de dados reunidos poderão ter um efeito significativo nos valores de caudal de ponta de cheia simulados, afastando-se estes dos valores reais. Relativamente às séries temporais de precipitação usadas, estas contêm originalmente valores de precipitação de 10 em 10 minutos ou de 1 em 1 hora, variando consoante a entidade que cedeu os dados ou, por exemplo, o tipo de equipamento instalado. No que respeita à duração total das simulações, considerou-se um período de tempo de vários dias de modo a abranger o evento de precipitação extremo por completo, incluindo os momentos que o antecederam e sucederam.

Para aproximar o modelo hidrológico à realidade criaram-se sub-bacias no HEC – HMS, tal como já foi mencionado anteriormente, o que permite melhorar os resultados estimados de caudais de ponta de cheia. No anexo C é possível consultar os valores referentes a alguns dos principais parâmetros das secções definidas, de entre os quais, os exigidos pelo *software* (área, CN e *lag time* e t_c).

Quanto aos valores de caudal de ponta determinados consoante os vários parâmetros do modelo, comparou-se com estimativas anteriores e desta validação resultou uma apreciação dos modelos e valores de parâmetros que melhor se adequam à ilha da Madeira.

3.4 ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA MÁXIMA ANUAL PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

3.4.1 METODOLOGIA GERAL

No presente estudo estimaram-se os valores da precipitação diária máxima anual e os hietogramas de projeto para quatro períodos de retorno distintos: 20, 50, 100 e 500 anos (Capítulo 3.7). A aplicação do modelo hidrológico permitiu posteriormente estimar os hidrogramas de cheia resultantes desses hietogramas, assumindo-se que o período de retorno se mantém (Capítulo 3.8).

Adotaram-se duas metodologias para analisar estatisticamente as séries de precipitação diária: a análise das séries de máximos anuais (SMA) e a análise das séries de duração parcial (SDP). A adoção destes dois procedimentos deve-se ao facto de existir um número significativo de estações que apresentam séries de dados de precipitação diária, ou sub-diária, relativamente curtas. Assim, definiu-se que às estações com séries entre os 10 e os 20 anos se aplicaria o método de SDP enquanto às estações que contenham dados iguais ou superiores a 15 anos se adotaria o método de SMA. As estações com um registo entre 15 e 20 anos são estudadas por ambos os métodos para se poder comparar os resultados das duas abordagens.

Os dados de precipitação utilizados foram cedidos pelo LREC e IGA. No conjunto de postos ditos do IGA encontram-se um conjunto de dados históricos proveniente de uma rede antiga gerida pela antiga Junta Geral da Madeira.

A identificação da função de distribuição que melhor se ajusta a cada amostra de valores de precipitação foi realizada por apreciação visual e recorrendo ao teste de Filiben (Stendinger et al., 1993). Este teste baseia-se no coeficiente de correlação linear (r), entre as observações da amostra e os vários quantis teóricos das distribuições estatísticas em estudo. Da comparação do coeficiente de correlação linear calculado com o valor crítico tabelado ($r_{\text{crítico}}$), variando este consoante o tipo de distribuição, é possível rejeitar (ou não rejeitar) a hipótese nula de que o comportamento probabilístico da variável aleatória pode ser modelado por uma determinada distribuição. Deste modo, considera-se um nível de significância de 5% (Naghetini & Pinto, 2007). Para observar os valores de $r_{\text{críticos}}$ tabelados, consultar o Anexo D.

Na avaliação do ajustamento de cada função de distribuição às diferentes amostras utilizou-se a fórmula de Gringorten para calcular a probabilidade empírica de não excedência, q_i , conforme é sugerido em Stendinger et al. (1993). O Quadro 9 apresenta esta fórmula, em conjunto com outras alternativas.

Quadro 9: Fórmulas para estimação de probabilidades empíricas de não excedência. Fonte: adaptado de Naghettini & Portela (2011).

Fórmula	Autor	Atributos de aplicação
$q_i = \frac{i}{N+1}$	Weibull	Probabilidades de excedência não enviesadas para todas as distribuições
$q_i = \frac{i-0.44}{N+0.12}$	Gringorten	Usada para quantis das distribuições de Gumbel, GEV e Weibull
$q_i = \frac{i-0.375}{N+0.25}$	Blom	Quantis não enviesados para as distribuições Normal e Log-Normal
$q_i = \frac{i-0.5}{N}$	Hazen	Usada para quantis da distribuição Pearson3
$q_i = \frac{i-0.4}{N+0.2}$	Cunnane	Quantis aproximadamente não enviesados para todas as distribuições

Sendo:

N – Dimensão da amostra

i – Ordem de classificação

3.4.2 SÉRIES DE MÁXIMOS ANUAIS (SMA)

Foi possível identificar 44 postos com registos de de precipitação diária máxima anual com mais de 15 anos. Os primeiros registos disponíveis remontam ao ano hidrológico de 1935/1936, estendendo-se até ao presente.

A análise estatística da precipitação diária máxima anual considerou as distribuições derivadas a partir da distribuição Normal, como é o caso da Log-Normal de dois parâmetros (lei de Galton) e a Log-Normal de três parâmetros; as distribuições derivadas da distribuição generalizada de extremos (*Generalized Extreme Values*, GEV), destacando-se as distribuições de dois parâmetros de Gumbel (GEV tipo I) e a de três parâmetros de ajustamento, GEV; considerou-se ainda as distribuições que se baseiam na função gama, como a Pearson tipo III e a Log-Pearson tipo III, tendo também estas três parâmetros associados. As principais características das distribuições enumeradas poderão ser consultadas em vários textos, nomeadamente Stendinger et al. (1993) e Naghettini & Portela (2011).

Os parâmetros destas funções de distribuição foram estimados pelo método dos momentos, com exceção dos parâmetros da GEV que foram estimados pelo método dos momentos lineares. No caso das distribuições com 3 parâmetros, mais concretamente GEV, Pearson3 e Log-Pearson3, o parâmetro de forma, dependente do 3º momento, foi também estimado por regionalização (Stendinger et al., 1993). Esta metodologia é sugerida quando se está perante amostras de pequena dimensão que induzem uma incerteza muito significativa na estimativa do 3º momento e dos quantis associados a períodos de retorno elevados, como é o caso de 500 anos. Nestes casos, utiliza-se o coeficiente de assimetria ou o 3º momento linear regional, calculado a partir de uma amostra que integra as observações de vários locais da região.

A tabela que se segue contém diversos parâmetros que permitem efetuar a descrição estatística da amostra em questão, sendo parte destes utilizados nas equações das funções de distribuição (Quadro 10).

Quadro 10: Tabela de conceitos fundamentais de estatística.

Notação	Designação e/ou fórmula de cálculo
X	Variável aleatória
Y	Logaritmo da variável aleatória
X_p	Valor da variável aleatória X para uma dada probabilidade p , $X_p = F^{-1}(F(x)) = F^{-1}(p)$
$F(x) = p$	Probabilidade de não excedência ou função de distribuição acumulada
Z_p	Normal reduzida
\bar{X}	Média dos valores da amostra da variável aleatória X , $\bar{X} = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N x_i$
X_{MD}	Mediana, 50% dos valores ordenados abaixo e 50% acima
S_x	Desvio padrão da amostra da variável aleatória X , $S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}{N-1}}$
SV_x	Coefficiente de variação da amostra da variável aleatória X , $CV_X = \frac{S_x}{\bar{X}}$
Ca_x	Coefficiente de assimetria da variável aleatória X , $Ca_x = \frac{N \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^3}{(N-1)(N-2)S_x^3}$
K	Fator de probabilidade, consoante a função de distribuição (K_G , K_{P3} , K_{LP3})
T	Período de retorno, ou seja, período médio em anos entre eventos, $T = \frac{1}{1-p}$

Apresentam-se de seguida as fórmulas utilizadas para estimar os valores de precipitação diária máxima anual associados a um determinado valor de probabilidade de não excedência, assim como os parâmetros das várias distribuições de probabilidade.

- Normal:

$$X_p = \bar{X} + S_x \times Z_p \quad (3.6)$$

- Log-normal:

$$X_p = \text{Exp}(\bar{Y} + S_y \times Z_p) \quad (3.7)$$

- Log-normal 3 parâmetros:

$$X_p = u + \text{exp}(\bar{Y} + S_y \times Z_p) \quad (3.8)$$

$$u = \hat{\varepsilon}_X = \frac{X_{(1)} \times X_{(n)} - X_{\text{mediana}}^2}{X_{(1)} + X_{(n)} - 2 \times X_{\text{mediana}}} \quad (3.9)$$

- Gumbel:

$$X_p = \bar{X} + K_G \cdot S_x \quad (3.10)$$

$$K_G = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} [0,5772 + \ln(-\ln(p))] \quad (3.11)$$

- Pearson3:

$$X_p = \bar{X} + K_{P3} \cdot S_x \quad (3.12)$$

$$K_{P3} = z_p + (z_p^2 - 1) \cdot k + \frac{1}{3}(z_p^2 - 6z_p) \cdot k^2 - (z_p^2 - 1) \cdot k^3 + z_p \cdot k^4 + \frac{1}{3}k^5 \quad (3.13)$$

$$k = \frac{Ca_x}{6} \quad (3.14)$$

- Log –Pearson3:

$$X_p = \text{Exp}(\bar{Y} + K_{LP3} \cdot S_Y) \quad (3.15)$$

$$K_{LP3} = z_p + (z_p^2 - 1) \cdot k + \frac{1}{3}(z_p^2 - 6z_p) \cdot k^2 - (z_p^2 - 1) \cdot k^3 + z_p \cdot k^4 + \frac{1}{3}k^5 \quad (3.16)$$

$$k = \frac{Ca_Y}{6} \quad (3.17)$$

- GEV – Generalizada de extremos:

$$X_p = u + \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\kappa}} \times (1 - [-\ln(p)]^{\hat{\kappa}}) \quad (3.18)$$

$$\hat{\kappa} = 7.8590c + 2.9554c^2 \quad (3.19)$$

$$c = \frac{2\beta_1 - \beta_0}{3\beta_2 - \beta_0} - \frac{\ln 2}{\ln 3} \quad (3.20)$$

$$\hat{\beta}_r = \frac{1}{r+1} \times \sum_{j=1}^{n-r} \frac{\binom{n-j}{r} \times X_{(j)}}{\binom{n}{r+1}} \quad (3.21)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\hat{\kappa} \times (2\beta_1 - \beta_0)}{\Gamma(1 + \hat{\kappa}) \times (1 - 2^{-\hat{\kappa}})} \quad (3.22)$$

$$\hat{\varepsilon} = \bar{X} + \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\kappa}[\Gamma(1 + \hat{\kappa}) - 1]} \quad (3.23)$$

3.4.3 SÉRIES DE DURAÇÃO PARCIAL (SDP)

A análise de séries de duração parcial exige a disponibilidade de amostras completas de valores de precipitação diária (ou sub-diária) referentes aos 365 dias de cada ano. Neste estudo, restringiu-se a análise às estações com registos superiores a 10 anos e inferiores a 20 anos, perfazendo um total de 12 postos.

A análise de séries de duração parcial inicia-se com a seleção de valores de uma variável X , no caso presente a precipitação diária, que se encontrem acima de um certo valor base definido (nível de corte), x_0 . Entende-se por série de duração parcial todos os valores que excedem x_0 . A análise estatística desta série assemelha-se à análise utilizada sobre as séries de máximos anuais, sendo no entanto necessário proceder à conversão dos resultados preliminares, uma vez que dependem do

nível de corte fixado. Após esta conversão os resultados são comparáveis com os valores obtidos da análise de máximos anuais.

Segundo Cunnane (1979), a função de distribuição de Poisson descreve o número de valores que excedem o nível de corte num ano, considerando a hipótese de que as ocorrências de X acima de x_0 são independentes entre si, ou seja, a probabilidade de um valor superior a x_0 ocorrer não depende das ocorrências anteriores. Esta hipótese tem que ser validada quando se seleciona o nível de corte mais adequado, assegurando que o índice de dispersão (DI) se aproxima de 1 (Oliveira & Simões, 2014).

Na descrição da distribuição dos valores que excedem o nível de corte x_0 adota-se geralmente a Lei Generalizada de Pareto devido ao seu bom desempenho, recorrendo-se a diversos testes, gráficos e quantitativos, para avaliar o ajustamento desta função à amostra de $Y = X - X_0$. A distribuição Generalizada de Pareto possui três parâmetros que indicam a posição, a escala e a forma da distribuição dos valores da amostra.

Um fator crucial nesta análise estatística prende-se com a escolha do valor do nível de corte x_0 , uma vez que este condiciona o intervalo de tempo entre valores que excedem x_0 e a sua independência. A adoção de um valor de x_0 elevado assegura a independência dos valores de excedência, mas com o risco de se desprezar informação da série e de aumentar a incerteza associadas às estimativas de precipitação. A seleção de um nível de corte relativamente baixo poderá conduzir a uma amostra com demasiadas excedências com intervalos de tempo curtos, o que representa uma dependência temporal não desprezável. Diversos autores têm vindo a indicar a utilização de um x_0 que conduza a um número médio de valores acima de x_0 (λ) entre 1.5 e 5 por ano (Askar e Rouselle, 1987) ou próximo de 3 por ano (Rosbjerg e Madsen, 1992). Neste estudo, ter-se-á em consideração valores de x_0 que conduzam a λ entre 1 e 6 (Oliveira & Simões, 2014).

Resumidamente, a análise de uma série de duração parcial deverá iniciar-se com a seleção de um nível de corte x_0 que assegure a verificação da hipótese de Poisson e, paralelamente, que os valores superiores a x_0 sigam uma distribuição Generalizada de Pareto.

A metodologia que permitiu calcular os valores de precipitação diária máxima anual, para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos, encontra-se descrita pormenorizadamente no documento produzido por Oliveira e Simões (2014), sendo possível representar parte dessa metodologia esquematicamente (Figura 8).

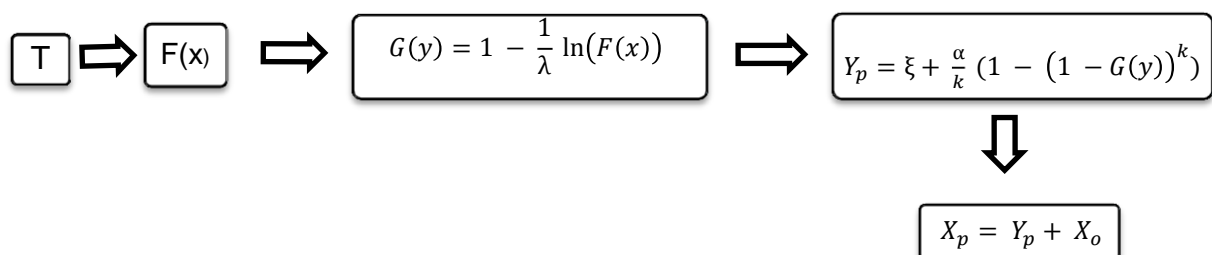


Figura 8: Esquematização de parte da metodologia aplicada nas séries de duração parcial.

3.5 MAPAS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA MÁXIMA ANUAL

Recorrendo ao *software* ArcMap, procedeu-se ao mapeamento da distribuição espacial da precipitação diária máxima anual em todo o território da ilha da Madeira, a partir das estimativas de precipitação nos locais das estações. Consideraram-se duas técnicas de geo-estatística, a krigagem e a cokrigagem, sendo que nesta última utilizou-se a altitude como segunda variável. Foram produzidos mapas de precipitação diária máxima anual para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos, sendo as estimativas de caudal de ponta de cheia calculadas apenas com os valores de precipitação diária máxima anual obtidos por cokrigagem.

3.6 RATIOS DE PRECIPITAÇÃO

Para permitir o cálculo de precipitações associadas a duração sub-diárias analisaram-se os valores dos ratios entre os valores de precipitação com durações de tempo de 1h, 3h, 6h, 12h e 24h e a precipitação diária. Nesta análise utilizaram-se as séries de precipitação disponíveis que apresentam valores de precipitação horária ou em intervalos de 10 minutos. Foram identificados 34 postos, por regra, com dados disponíveis a partir do ano hidrológico de 2003/2004. O posto do Funchal é a exceção, uma vez que este apresenta dados desde cerca de 1980.

Para obter as relações entre as precipitações horárias e a precipitação diária máxima anual, ocorrida entre as 9h de um dia e as 9h do dia seguinte, aplicou-se a metodologia:

- a. Determinação da precipitação anual máxima ocorrida em 1h, 3h, 6h, 12h e 24h, nos 34 postos.
- b. Determinação da precipitação diária máxima anual, relativamente aos mesmos postos.
- c. Cálculo da relação entre os valores de precipitação calculados em a e b, para os vários anos de dados disponíveis. Ou seja, cálculo dos seguintes quocientes: $P_{\max 1h}/P_{\max 1D}$; $P_{\max 3h}/P_{\max 1D}$; $P_{\max 6h}/P_{\max 1D}$; $P_{\max 12h}/P_{\max 1D}$; $P_{\max 24h}/P_{\max 1D}$.
- d. Cálculo da relação mediana referente aos valores médios anuais alcançadas no ponto c.

Os valores dos ratios $P_{\max d}/P_{\max 1D}$ podem depender do período de retorno, conforme é o caso de Portugal Continental (Brandão et al., 2001), mas neste estudo não se disponha de dados suficientes para validar essa hipótese. Optou-se, por isso, por utilizar a mediana de cada um destes ratios para o cálculo da precipitação associada a durações sub-diárias a partir dos valores da precipitação diária máxima anual. Os trabalhos em curso no âmbito da segunda fase do projeto “Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na ilha da Madeira” que está a ser conduzido pelo Instituto Superior Técnico (IST), ADIST (Associação para o Desenvolvimento do IST) e Universidade da Madeira (UMa) podem vir a esclarecer esse assunto.

3.7 DEFINIÇÃO DOS HIETOGRAMAS DE PROJETO

Os hietogramas de projeto que definem a precipitação que ocorre sobre cada uma das sub-bacias consideradas neste estudo foram obtidos pelo procedimento que a seguir se descreve:

- a. Obtenção da média espacial dos valores de precipitação diária máxima anual sobre cada uma das sub-bacias consideradas para os quatro períodos de retorno, recorrendo ao *software* ArcMap e aos mapas criados através de cokrigagem.
- b. Cálculo dos valores de precipitação máxima referente às durações de 1h, 3h e 6h tendo como também calculado base os valores obtidos no passo a) e os ratios sub-diários de precipitação estimados. Foi também calculado a precipitação máxima anual em 30 min, assumido que este pico corresponde a 75% da soma da precipitação máxima ocorrida numa 1 hora, tendo-se obtido este pico através de dados disponibilizados no PRAM (SRA & INAG, 2003). Este passo é aplicado a todas as sub-bacias e para cada um dos períodos de retorno em estudo.
- c. Definição dos hietogramas de projeto com blocos de precipitação de 15 minutos cada, formando na totalidade uma duração de 6h, na qual se estabeleceu um pico de precipitação de 30 minutos. Uma vez mais, este passo é realizado para cada sub-bacia, repetindo-se o processo para T= 20, 50, 100 e 500 anos.

A título de exemplo, pode-se observar seguidamente um hietograma genérico (Figura 9).

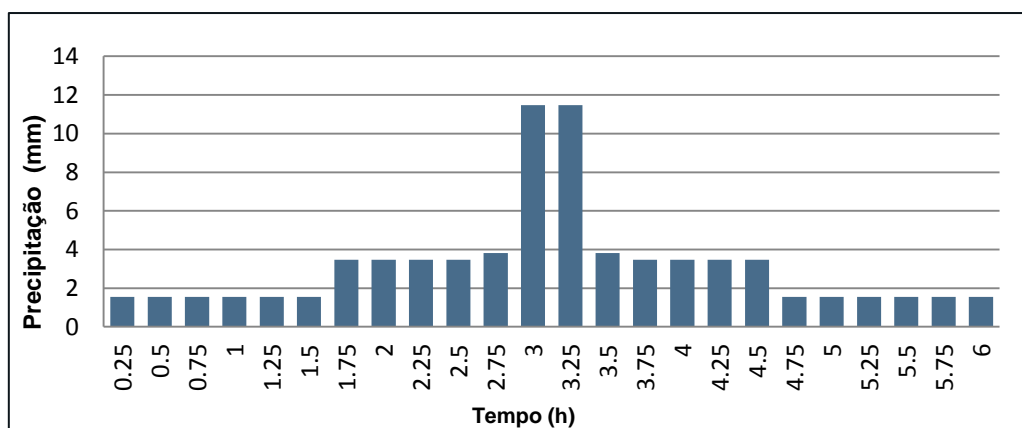


Figura 9: Hietograma de projeto genérico.

3.8 DEFINIÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE CHEIA

Para proceder à definição dos hidrogramas de cheia, recorreu-se ao *software* HEC – HMS, de modo a simular valores de caudal de ponta de cheia para as 39 bacias hidrográficas em estudo, consoante cada um dos períodos de retorno. Para tal, aplicaram-se os modelos hidrológicos já definidos, os valores de *lag time* e CN (em condições de humidade do solo AMCIII) referentes a cada sub-bacia hidrográfica e ainda, introduziu-se os valores de precipitação referentes aos hietogramas de projeto definidos anteriormente.

Quadro 11: Características físicas da ilha da Madeira. Fonte: SRA & INAG (2003).

Características Físicas:	Ilha da Madeira
Altitude média	646 m
Pico mais alto	Pico Ruivo (1 862 m)
Declive médio	56%
Perímetro	177.3 km
Área	742 km ²
Solos predominantes	Andossolos (42 %)
Temperatura média diária:	
Máxima (Agosto)	23° C
Mínima (Fevereiro)	5.4 ° C
Ventos predominantes:	
Direção	N – NE
Velocidade média máxima (e direção)	30 km/s (S – SW)
Precipitação anual média ponderada	1 628 mm

A Ilha da Madeira apresenta ainda uma “forma geral alongada a tender para o retangular, com um comprimento de cerca de 58 km segundo a direção E - W e uma largura de 23 km segundo a direção N - S” (Ribeiro, 1949). Possui uma área de 742 km² e apresenta uma altitude média de 646 m, sendo que apenas 8% da área da ilha se encontra abaixo dos 100 m de altitude. Aproximadamente 25% da área superficial está a uma altitude superior a 1 000 m e 4% da ilha acima dos 1 800 m. Os picos Ruivo e do Areeiro, com uma altitude de 1 862 m e 1 818 m, respetivamente, são os dois maiores pontos da ilha, e duas das maiores montanhas de Portugal. O declive médio da ilha, 56%, evidencia que esta tem um relevo muito acentuado e formas vigorosas, com vales encaixados e profundos (SRA & INAG, 2003; SRA & DROTA, 2013).

Em termos geológicos, a Madeira é um bom exemplo de magmatismo oceânico intraplaca, sendo essencialmente constituída por rochas eruptivas, materiais piroclásticos e, em menor quantidade, por formações sedimentares. As principais unidades geológicas que compõem a vulcano-estratigrafia da ilha são: complexo vulcânico antigo, calcários marinho dos Lameiros, depósito conglomerático – brechóide, complexo vulcânico principal, complexo vulcânico S. Roque/Paul, episódios vulcânicos recentes, depósitos de vertente, fajãs, quebradas, depósitos de enxurrada recentes, areias da praia, dunas fósseis, terraços e aluviões (SRA & DROTA, 2013).

Relativamente à hidrogeologia, os diversos estratos horizontais pouco permeáveis criam condições para a ocorrência de aquíferos suspensos que podem alimentar nascentes ou galerias, entre 1000 e 1600 m. Uma zona saturada estende-se pela base de toda a ilha, sem uma superfície piezométrica contínua, dada a existência de filões subverticais do tipo fissural criando barreiras que dão origem a aquíferos compartimentados. A produtividade dos aquíferos é muito variável: aquíferos locais e descontínuos de elevada produtividade (muito associados ao complexo vulcânico principal), aquíferos de moderada a elevada produtividade e aquíferos pouco produtivos ou de boa produtividade, associados ao complexo vulcânico antigo (Prada et al., 2003; SRA & DROTA, 2013).

O clima na ilha da Madeira é fortemente condicionado pela localização e intensidade do anticiclone subtropical dos Açores e também pela configuração e orientação do relevo da ilha. Este anticiclone transporta massas de ar tropical marítimo subsidente que dão origem aos ventos de nordeste (Alísios). Orientada perpendicularmente à direção predominante do vento, a ilha da Madeira está sujeita a uma elevada variabilidade espacial na distribuição da temperatura do ar e da precipitação. Os ventos dominantes de norte e nordeste dão origem a maiores valores de precipitação na vertente norte da ilha e provocam queda de neve nas terras mais altas. Os ventos de sul e de leste usualmente são os mais raros e de curta duração, estão muito relacionados com o aumento da temperatura acima dos 30°C. Aos ventos de oeste associa-se também a ocorrência de eventos de precipitação (Prada et al., 2003).

Os valores anuais médios de precipitação aumentam com a altitude, sendo normalmente mais elevados na encosta norte da ilha. Os valores mais baixos de precipitação registam-se nas terras baixas da encosta sul da ilha, como é o caso do Lugar de Baixo, com valores na ordem dos 583 mm. Em contraste, a Bica na Cana apresenta valores de precipitações de cerca de 2 966 mm/ano. Em termos classificativos, o clima da RAM é *moderadamente chuvoso* (precipitação anual média entre 500 mm e 1 000 mm) em grande parte da área da vertente Sul e *excessivamente chuvoso* (precipitação superior a 1 000 mm) nas áreas mais elevadas (Prada et al., 2003; SRA & INAG, 2003).

Relativamente à temperatura, o papel termorregulador do Oceano Atlântico tem um efeito significativo na regularidade térmica da ilha. Os valores médios da temperatura do ar estão dependentes da altitude do local em questão, diminuindo quando a altitude aumenta. Verifica-se que a encosta sul atinge valores mais elevados, 19.4°C e 18.8°C no Lugar de Baixo e Funchal, respetivamente, comparativamente com a encosta norte onde se regista 17.5°C nas regiões litorais do norte. Em termos climáticos, a temperatura da ilha classifica-se como sendo *frio* nas áreas elevadas, *temperado* (temperatura média anual do ar entre os 13°C e 19°C) e também *oceânico* (amplitude média da variação anual da temperatura do ar inferior a 10°C) (SRA & DROTA, 2013; SRA & INAG, 2003).

A humidade relativa do ar varia consoante o local, classificando-se como *seco* (humidade relativa anual média do ar às 9 horas inferior a 75%) nas zonas do Funchal, Lugar de Baixo e Areeiro e, para as restantes zonas da ilha, considera-se *húmido* (valor médio compreendido entre 75 e 90%) (SRA & INAG, 2003).

Em termos de evapotranspiração potencial anual média da Madeira, o valor mais elevado corresponde ao setor sul da ilha (cerca de 910 mm), enquanto o mais baixo ocorre no Paúl da Serra (cerca de 600 mm). Por outro lado, a evapotranspiração real anual média apresenta um intervalo de valores na ordem dos 513 e 673 mm, em que valores mais elevados se situam na vertente norte, na zona de Ponta Delgada (SRA & DROTA, 2013).

Tendo como base dados observados, no conjunto dos 11 concelhos - Calheta, Câmara de Lobos, Funchal, Machico, Ponta do Sol, Porto Moniz, Porto Santo, Ribeira Brava, Santa Cruz, Santana e São Vicente – residiam, em 2012, cerca de 263 091 habitantes e a densidade populacional era de,

aproximadamente, 328 habitantes por km², sendo este valor muito acima ao padrão de Portugal Continental (112.4 hab./km²) (DREM, 2013).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Apesar de as bacias hidrográficas da ilha da Madeira já se apresentarem definidas em estudos realizados anteriormente, considerou-se vantajoso realizar esta etapa a partir do modelo digital de terreno, de modo a controlar o processo de caracterização das bacias hidrográficas e produzir um conjunto completo e coerente de dados. A Figura 11 apresenta as 39 bacias hidrográficas consideradas no estudo, que na sua esmagadora maioria coincidem com as consideradas no PRAM e no PGRH (Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira).

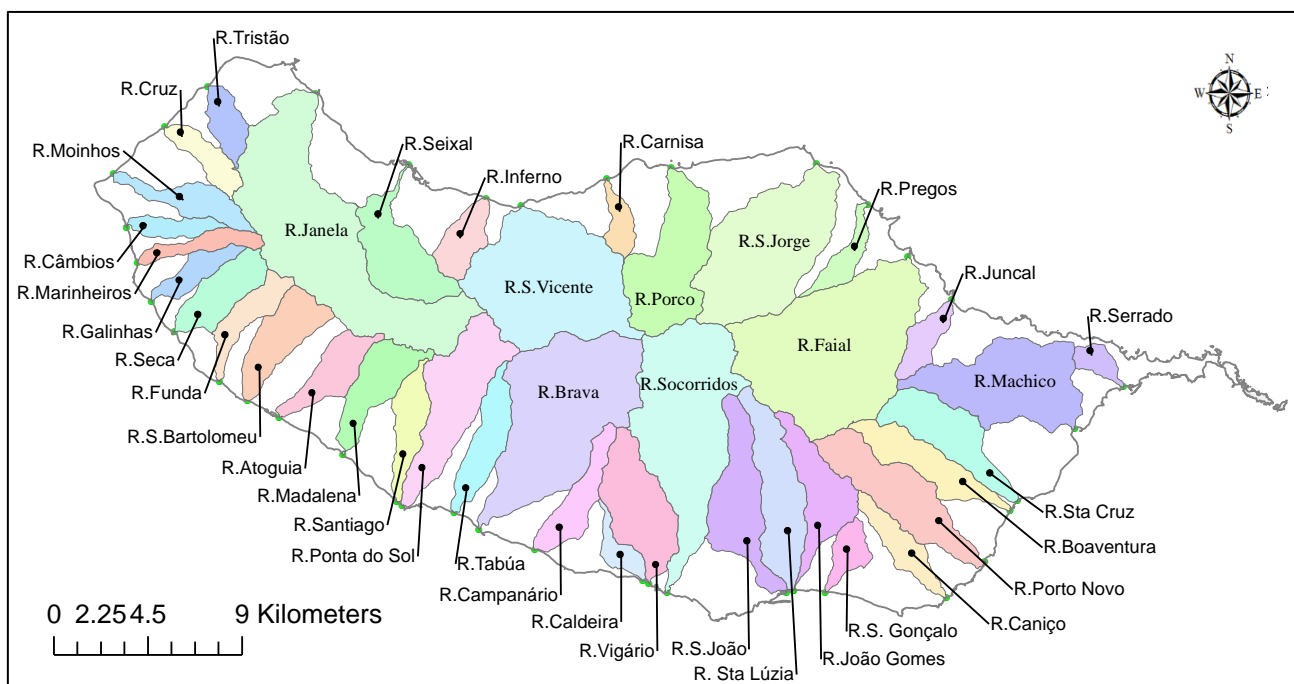


Figura 11: Localização das várias bacias hidrográficas da Madeira.

4.2.1 OROGRAFIA E HIDROGRAFIA

- Orografia

A caracterização geomorfológica das bacias hidrográficas foi realizada através do ArcMap, tendo-se determinado os seguintes parâmetros: área, altitude mínima, média e máxima, altura média; declive mínimo, médio e máximo (Quadro 12). As maiores bacias hidrográficas são as bacias da Ribeira da Janela e da Ribeira Brava, com mais de 40 km². No extremo oposto encontram-se as bacias hidrográficas da Ribeira do Serrado e Ribeira da Caldeira, com menos de 3.1 km².

A Ribeira do Seixal é aquela que apresenta a maior altitude média (cerca de 1086 m) e a Ribeira do Serrado a que apresenta a menor altitude média (aproximadamente 285 m). Quanto à altura média, a Ribeira do Seixal e Ribeira do Serrado apresentam igualmente o maior e menor valor com, 1 084 m e 283.9 m, respetivamente. O declive médio da bacia varia entre 45.5° (Ribeira do Inferno) e 17.2° (Ribeiro dos Pregos).

Quadro 12: Área, Altitude mínima, média e máxima, Altura média, Declive mínimo, médio e máximo das bacias hidrográficas da Madeira.

Bacia	Área (km ²)	Altitude mínima (m)	Altitude máxima (m)	Altitude média (m)	Altura média (m)	Declive mínimo (°)	Declive máximo (°)	Declive médio (°)
Ribeira Brava	40.9	1.0	1 689.0	790.8	789.8	0.0	84.6	36.7
Ribeira da Atouguia	7.6	4.1	1 415.2	772.5	768.4	0.0	74.5	26.3
Ribeira da Boaventura	10.4	0.5	1 392.9	762.0	761.4	0.0	75.8	24.5
Ribeira da Caldeira	3.1	7.4	951.0	402.5	395.2	0.0	65.6	24.7
Ribeira da Cruz	5.0	3.4	1 143.9	780.6	777.2	0.0	79.5	25.0
Ribeira da Janela	51.7	2.0	1 601.2	934.6	932.6	0.0	80.5	27.9
Ribeira da Madalena	9.6	0.3	1 420.8	919.8	919.4	0.0	75.4	25.9
Ribeira da Ponta do Sol	19.2	1.0	1 608.5	948.5	947.5	0.0	79.0	29.8
Ribeira da Tabua	8.8	1.0	1 573.5	720.2	719.2	0.0	74.4	32.8
Ribeira das Galinhas	4.5	5.0	1 260.0	758.4	753.4	0.0	74.2	24.1
Ribeira de João Gomes	11.4	1.1	1 595.6	914.8	913.8	0.0	73.4	25.2
Ribeira de Machico	24.3	0.2	1 081.5	413.9	413.8	0.0	68.2	25.5
Ribeira de S. Bartolomeu	10.0	3.6	1 263.1	690.2	686.6	0.0	70.6	28.8
Ribeira de S. Jorge	32.2	1.8	1 856.1	769.1	767.2	0.0	83.8	34.4
Ribeira de Santa Cruz	12.9	0.8	1 300.0	672.7	672.0	0.0	76.3	21.2
Ribeira de Santa Luzia	15.6	0.2	1 782.5	782.2	782.1	0.0	83.7	26.7
Ribeira de Santiago	6.9	28.0	1 417.9	756.6	728.6	0.0	66.2	24.3
Ribeira de São Gonçalo	3.9	0.3	935.7	507.5	507.2	0.0	61.4	22.9
Ribeira de São João	15.1	2.1	1 762.7	715.6	713.6	0.0	76.7	24.3
Ribeira de São Vicente	38.3	2.0	1 715.0	751.3	749.3	0.0	82.8	34.6
Ribeira do Campanário	7.7	2.8	1 434.5	687.0	684.2	0.0	76.0	27.2
Ribeira do Faial	49.5	1.0	1 860.4	843.5	842.5	0.0	83.9	35.6
Ribeira do Inferno	5.9	3.0	1 638.0	899.6	896.6	0.0	82.2	45.5
Ribeira do Juncal	4.6	3.6	1 026.0	405.3	401.7	0.0	71.0	32.2
Ribeira do Porco	20.1	1.0	1 715.0	768.6	767.6	0.0	83.0	41.0
Ribeira do Porto Novo	17.1	0.6	1 418.8	780.4	779.8	0.0	74.1	23.8
Ribeira do Seixal	13.9	2.0	1 635.9	1086.0	1 084.0	0.0	82.6	31.0
Ribeira do Serrado	2.6	1.1	619.0	285.0	283.9	0.0	59.5	24.0
Ribeira do Tristão	4.8	7.0	1030.3	659.5	652.5	0.0	73.4	25.9
Ribeira do Vigário	15.4	2.8	1410.0	664.5	661.7	0.0	71.6	24.4
Ribeira dos Câmbios	3.6	6.0	1129.0	746.8	740.8	0.0	76.3	21.3
Ribeira dos Marinheiros	4.3	6.0	1313.0	904.4	898.4	0.0	82.3	24.5
Ribeira dos Moinhos	6.8	40.9	1275.0	821.5	780.6	0.0	74.3	24.1
Ribeira dos Socorridos	38.7	0.4	1855.0	932.2	931.8	0.0	84.6	40.4
Ribeira Funda	6.2	18.0	1294.6	763.6	745.6	0.0	75.6	27.9
Ribeira Seca	8.8	1.0	1315.0	800.2	799.2	0.0	78.7	23.2
Ribeiro da Carnisa	3.3	6.0	1456.4	794.6	788.6	0.0	73.3	38.5
Ribeiro do Caniço	6.1	4.3	1078.5	556.0	551.7	0.0	64.0	19.7
Ribeiro dos Pregos	4.2	8.0	1236.9	622.1	614.1	0.0	77.1	17.2

- **Hidrografia**

As linhas de água que constituem a rede hidrográfica da Madeira iniciam-se nos picos centrais da ilha e correm em vales geralmente profundos e estreitos com um acentuado declive que lhes confere uma grande capacidade de erosão e de transporte. Em geral, os cursos de água são curtos, estreitos, aproximadamente lineares e apresentam uma orientação perpendicular à linha da costa. Mais ainda, o relevo e regime de precipitação da ilha refletem o carácter torrencial que estas linhas de água apresentam (Sepúlveda, 2011).

A rede hidrográfica da Madeira foi obtida a partir do modelo digital do terreno tendo os seus troços sido classificados em cinco classes distintas consoante a área a montante (Figura 12; Quadro 13). A classe que apresenta maiores comprimentos é “Área > 1 ha” dado que engloba a rede hidrográfica de cada bacia na sua totalidade. Nem todas as bacias hidrográficas apresentam troços nas classes “Área > 20 km²” e “Área > 10 km²”.

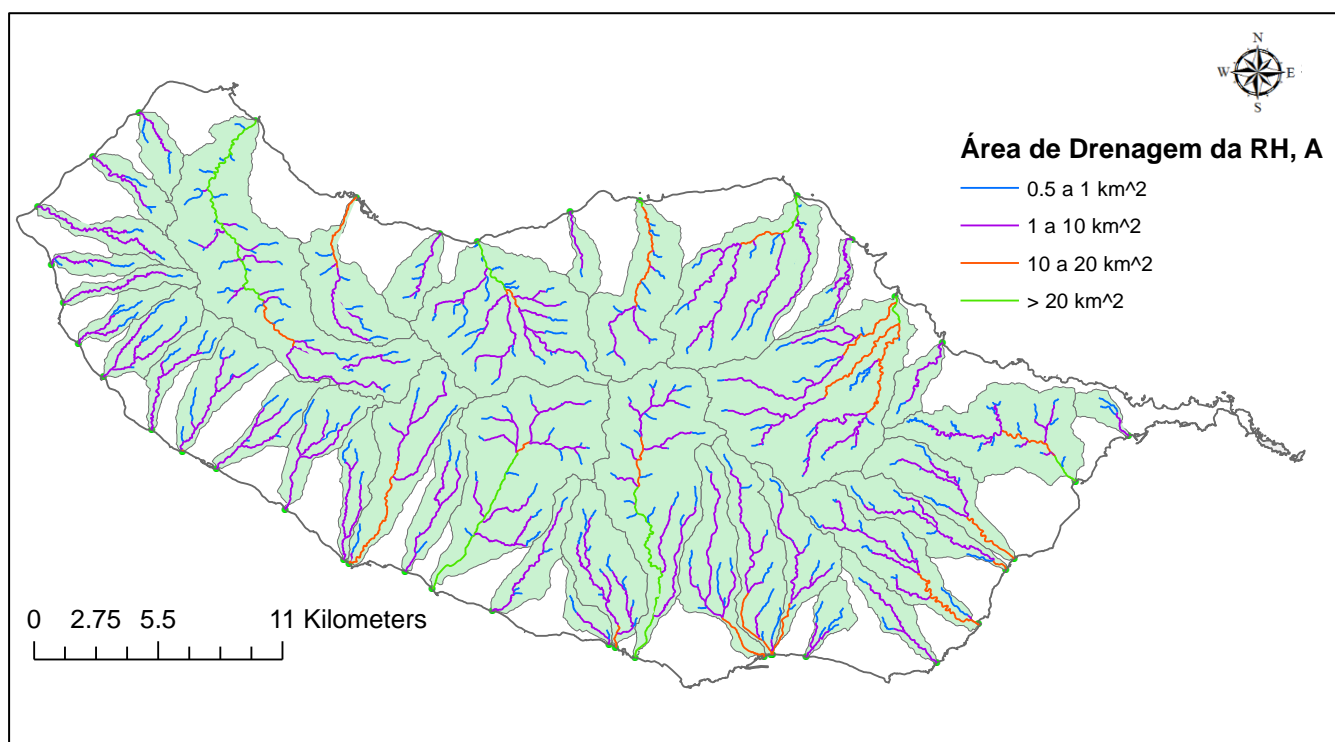


Figura 12: Rede hidrográfica da ilha da Madeira classificada de acordo com a área da bacia hidrográfica a montante de cada troço.

Quadro 13: Comprimento total dos cursos de água da rede hidrográfica em função da área de drenagem (A, km²), e desenvolvimento do curso de água principal (L, km) para cada bacia hidrográfica.

Bacia	A > 20 km ²	A > 10 km ²	A > 1 km ²	A > 0.5 km ²	A > 1 ha	L (km)
Ribeira Brava	7.80	8.64	30.46	39.11	248.19	12.71
Ribeira da Atouguia	0.00	0.00	8.17	11.04	39.87	3.52
Ribeira da Boaventura	0.00	0.77	11.08	15.61	54.21	9.80
Ribeira da Caldeira	0.00	0.00	2.30	3.66	18.55	3.18
Ribeira da Cruz	0.00	0.00	4.61	6.62	27.44	4.64

Bacia	A> 20 km ²	A> 10 km ²	A> 1 km ²	A> 0.5 km ²	A> 1 ha	L (km)
Ribeira da Janela	12.16	15.07	38.68	55.56	309.21	21.76
Ribeira da Madalena	0.00	0.00	9.96	13.89	58.36	6.74
Ribeira da Ponta do Sol	0.00	6.38	16.97	21.57	112.22	11.89
Ribeira da Tabua	0.00	0.00	8.57	11.38	49.14	7.38
Ribeira das Galinhas	0.00	0.00	4.00	7.72	25.18	4.09
Ribeira de João Gomes	0.00	2.64	11.99	15.51	60.33	9.72
Ribeira de Machico	1.49	4.78	15.97	24.58	142.62	11.46
Ribeira de S. Bartolomeu	0.00	0.06	7.83	12.46	50.86	6.22
Ribeira de S. Jorge	2.19	4.43	33.11	41.83	174.87	11.04
Ribeira de Santa Cruz	0.00	3.53	11.85	15.39	73.30	9.11
Ribeira de Santa Luzia	0.00	3.48	14.12	20.33	91.58	10.16
Ribeira de Santiago	0.00	0.00	8.54	11.15	36.42	6.52
Ribeira de São Gonçalo	0.00	0.00	3.05	6.73	21.53	3.16
Ribeira de São João	0.00	2.93	15.53	19.98	86.06	10.90
Ribeira de São Vicente	2.88	4.21	28.59	43.89	239.27	9.18
Ribeira do Campanário	0.00	0.00	6.72	8.46	43.96	7.24
Ribeira do Faial	1.46	17.26	49.19	61.28	279.96	12.74
Ribeira do Inferno	0.00	0.00	3.77	5.36	35.42	4.04
Ribeira do Juncal	0.00	0.00	4.44	5.27	25.44	5.17
Ribeira do Porco	0.40	5.88	11.80	17.05	122.23	9.61
Ribeira do Porto Novo	0.00	5.64	19.32	25.27	89.95	12.14
Ribeira do Seixal	0.00	3.71	10.66	15.62	87.88	9.34
Ribeira do Serrado	0.00	0.00	1.39	3.50	13.81	2.43
Ribeira do Tristão	0.00	0.00	2.76	5.22	29.01	3.79
Ribeira do Vigário	0.00	1.12	15.12	20.80	88.31	8.06
Ribeira dos Câmbios	0.00	0.00	3.56	5.68	20.61	4.77
Ribeira dos Marinheiros	0.00	0.00	6.24	7.00	22.00	6.96
Ribeira dos Moinhos	0.00	0.00	9.37	10.85	35.96	8.36
Ribeira dos Socorridos	9.97	12.57	33.19	43.29	223.21	16.91
Ribeira Funda	0.00	0.00	6.38	9.58	29.91	6.56
Ribeira Seca	0.00	0.00	9.19	13.21	45.31	5.44
Ribeiro da Carnisa	0.00	0.00	2.87	3.28	21.55	3.25
Ribeiro do Caniço	0.00	0.00	6.00	7.51	34.50	6.03
Ribeiro dos Pregos	0.00	0.00	6.38	8.14	26.92	6.40

As bacias hidrográficas da Ribeira da Janela, Ribeira do Faial e Ribeira Brava com comprimentos aproximados de 309.21 km, 279.96 km e 248.19 km, respectivamente, são aquelas que apresentam um maior comprimento da rede hidrográfica. De forma contrária, as bacias que apresentam os menores valores de comprimento da rede hidrográfica são: Ribeira do Serrado, Ribeira da Caldeira e Ribeira dos Câmbios, com comprimentos de cerca de 13.81 km, 18.55 km e 20.61 km, respetivamente. Relativamente ao desenvolvimento dos cursos de água principais da ilha, verifica-se que a Ribeira do Serrado e a Ribeira dos Socorridos são as bacias hidrográficas que apresentam um menor e maior valor, respetivamente, 2.43 km e 16.91 km.

4.2.2 SOLOS

O cruzamento da carta de solos referida com o limite das bacias hidrográficas permitiu identificar os solos pertencentes a cada bacia e analisar a sua distribuição (Quadro 14). A maioria das bacias hidrográficas apresenta uma elevada percentagem do tipo de solo “Umbric Andosols” (ANu), verificando-se também uma ocorrência significativa de solo do tipo “Terreno Acidentado Dístrico” (TAd). Da soma das percentagens de todas as bacias hidrográficas, consoante o tipo de solo, confirma-se que ANu e TAd são os dois tipos de solos mais frequentes com valores de 2112% e 949.5%, respetivamente.

Quadro 14: Distribuição da percentagem de área consoante o tipo de solo, para cada bacia hidrográfica.

Bacia	Tipo de solo (%)															
	FLe	FLd	ANu	ANz	VRe	CMe	CMd	CMu	CMx	VRe	PHh	TRe	TRd	TAe	TAd	AU
Ribeira Brava	2.7	-	10.2	-	0.2	-	-	1.1	-	-	1.7	-	-	4.0	80.0	0.1
Ribeira da Atouguia	-	-	69.4	-	0.2	-	-	-	21.2	-	2.0	-	-	7.1	-	-
Ribeira da Boaventura	-	-	83.0	-	-	-	-	-	3.3	-	0.7	-	-	5.5	7.5	-
Ribeira da Caldeira	-	-	22.6	-	-	0.1	-	8.8	52.9	-	15.6	-	-	-	-	-
Ribeira da Cruz	-	-	57.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	42.7	-
Ribeira da Janela	0.2	-	33.9	2.4	-	-	-	-	0.2	-	0.5	-	-	2.1	60.6	-
Ribeira da Madalena	-	-	74.6	-	-	-	-	1.9	0.2	-	3.0	-	-	10.1	10.2	-
Ribeira da Ponta do Sol	-	-	31.6	-	1.7	0.7	-	1.8	4.6	-	0.6	-	-	4.2	54.9	-
Ribeira da Tabua	-	-	11.5	-	11.1	-	-	3.7	0.6	-	3.1	-	-	5.4	64.7	-
Ribeira das Galinhas	-	-	83.9	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	4.1	11.8	-
Ribeira de João Gomes	-	-	83.8	-	-	-	-	1.7	2.1	-	0.6	-	-	5.2	5.7	0.8
Ribeira de Machico	2.7	-	72.6	-	6.4	-	-	3.4	3.5	-	9.7	1.1	-	0.0	0.2	0.5
Ribeira de S. Bartolomeu	-	-	74.5	-	1.5	-	-	-	2.4	-	18.6	-	-	3.0	-	-
Ribeira de S. Jorge	0.99	-	47.0	-	-	-	0.08	-	-	-	-	-	1.61	0.57	49.8	-
Ribeira de Santa Cruz	-	-	79.2	-	-	-	-	-	3.3	-	0.9	-	-	5.5	10.6	0.4
Ribeira de Santa Luzia	-	-	33.9	-	-	-	-	6.8	12.2	-	9.4	-	-	3.8	29.9	4.0
Ribeira de Santiago	-	-	67.2	-	2.0	-	-	10.1	4.1	-	6.4	-	-	1.7	8.5	-
Ribeira de São Gonçalo	-	-	63.5	-	-	-	-	-	23.2	-	-	-	-	12.3	-	1.0
Ribeira de São João	-	-	34.1	0.7	-	-	-	7.2	21.5	-	-	-	-	0.0	32.0	4.5
Ribeira de São Vicente	1.9	-	17.0	0.6	-	-	-	-	-	-	17.8	-	-	62.4	-	0.2
Ribeira do Campanário	-	-	56.8	-	-	-	-	10.7	-	-	19.8	-	-	0.2	12.5	-
Ribeira do Faial	2.3	-	32.8	-	-	1.1	0.3	-	0.3	-	2.0	0.8	35.2	9.7	15.5	-
Ribeira do Inferno	-	-	9.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.4	80.0	-
Ribeira do Juncal	-	-	46.6	-	-	-	-	-	-	-	42.3	-	10.2	0.7	-	0.2
Ribeira do Porco	-	-	6.0	-	-	-	-	-	-	-	15.4	-	-	1.9	76.8	-
Ribeira do Porto Novo	0.5	-	71.7	-	-	-	3.3	-	4.1	-	-	-	-	9.2	11.2	-
Ribeira do Seixal	-	2.9	30.9	0.3	-	-	-	-	-	-	1.3	-	-	0.4	64.2	0.1
Ribeira do Serrado	-	-	23.5	-	-	4.6	-	-	-	2.3	63.9	3.3	-	0.2	-	2.2
Ribeira do Tristão	-	-	74.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	23.5	-
Ribeira do Vigário	-	-	72.8	0.7	-	6.6	-	-	9.2	-	2.3	-	-	-	8.5	0.0

Bacia	Tipo de solo (%)															
	FLe	FLd	ANu	ANz	VRe	CMe	CMd	CMu	CMx	VRe	PHh	TRe	TRd	TAe	TAd	AU
Ribeira dos Câmbios	-	-	94.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	5.5	-
Ribeira dos Marinheiros	-	-	87.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4	9.0	-
Ribeira dos Moinhos	-	-	94.3	0.1	-	-	-	1.6	-	-	1.6	-	-	1.2	1.1	-
Ribeira dos Socorridos	1.1	-	21.1	-	-	-	-	0.1	0.2	-	0.8	-	-	3.0	73.8	-
Ribeira Funda	-	-	87.1	-	-	-	-	-	0.6	-	2.2	-	-	10.1	0.1	-
Ribeira Seca	-	-	87.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.32	9.76	-
Ribeiro da Carnisa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.0	-	-	-	89.0	-
Ribeiro do Caniço	-	-	67.9	7.4	3.5	-	-	-	15.3	-	-	-	-	5.9	-	-
Ribeiro dos Pregos	-	-	95.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.7	2.5	-	-
Total	12.3	2.9	2112	12.1	26.5	13.1	3.7	58.8	185.0	2.3	253.4	5.2	48.6	200.7	949.5	14.2

Legenda: “Eutric Fluvisols” (FLe), “Dystric Fluvisols” (FLd), “Umbric Andosols” (ANu), “Vitric Andosols” (ANz), “Eutric Vertisols” (VRe), “Eutric Cambisols” (CMe), “Dystric Cambisols” (CMd), “Humic Cambisols” (CMu), “Chromic Cambisols” (CMx), “Vertic Cambisols” (CMv), “Haplic Phaeozems” (PHh), “Terreno Rochoso Êutrico” (TRe), “Terreno Rochoso Dístico” (TRd), “Terreno Acidentado Êutrico” (TAe), “Terreno Acidentado Dístico” (TAd) e “Área urbana”.

4.2.3 USO DO SOLO

O cruzamento da carta de uso e ocupação do solo com as bacias hidrográficas permitiu analisar a distribuição das várias classes de ocupação do solo. O Quadro 15 apresenta as estatísticas de uso de solo, adotando-se o primeiro nível da legenda CORINNE. A classe dominante, em praticamente todo o território, é a número 3, “Florestas e meios naturais e seminaturais”, atingindo valores máximos de 99.8% e 99.7% nas bacias hidrográficas da Ribeira da Cruz e Ribeira do Inferno, respetivamente. Verifica-se igualmente que as classes 4 e 5, “Zonas Húmidas” e “Corpos de água”, respetivamente, apresentam valores de distribuição praticamente insignificantes, em comparação com as restantes classes.

Quadro 15: Distribuição da percentagem de área consoante as classes de ocupação do solo, para cada bacia hidrográfica.

Bacia	1. Territórios artificializados	2. Áreas agrícolas e agroflorestais	3. Florestas e meios naturais e seminaturais	4. Zonas húmidas	5. Corpos de água
Ribeira Brava	3.4	7.4	88.7	0.0	0.5
Ribeira da Atougua	5.2	13.2	81.6	0.0	0.0
Ribeira da Boaventura	5.0	12.9	81.9	0.0	0.1
Ribeira da Caldeira	25.9	44.6	29.6	0.0	0.0
Ribeira da Carnisa	0.4	4.4	95.1	0.2	0.0
Ribeira da Cruz	0.2	0.0	99.8	0.0	0.0
Ribeira da Janela	0.5	1.9	96.8	0.0	0.8
Ribeira da Madalena	1.4	5.7	91.7	0.0	1.2
Ribeira da Ponta do Sol	3.5	7.6	88.1	0.0	0.9
Ribeira da Tabua	2.6	10.1	87.0	0.2	0.1

Bacia	1. Territórios artificializados	2. Áreas agrícolas e agroflorestais	3. Florestas e meios naturais e seminaturais	4. Zonas húmidas	5. Corpos de água
Ribeira das Galinhas	2.6	10.4	87.0	0.0	0.0
Ribeira de João Gomes	6.4	1.9	91.6	0.0	0.2
Ribeira de Machico	14.1	22.2	63.1	0.0	0.5
Ribeira de S. Bartolomeu	3.6	13.9	82.2	0.0	0.3
Ribeira de S. Jorge	1.4	9.7	88.2	0.0	0.5
Ribeira de Santa Cruz	9.0	13.5	77.3	0.0	0.2
Ribeira de Santa Luzia	25.2	3.1	70.8	0.0	0.8
Ribeira de Santiago	6.1	15.9	77.9	0.0	0.0
Ribeira de São Gonçalo	22.2	5.8	72.0	0.0	0.1
Ribeira de São João	27.0	7.1	64.8	0.0	1.2
Ribeira de São Vicente	3.4	10.7	85.6	0.1	0.2
Ribeira do Campanário	9.2	18.2	72.7	0.0	0.0
Ribeira do Faial	1.5	6.1	91.9	0.1	0.5
Ribeira do Inferno	0.0	0.0	99.7	0.0	0.3
Ribeira do Juncal	4.9	23.9	70.8	0.0	0.4
Ribeira do Porco	1.0	8.9	89.4	0.0	0.7
Ribeira do Porto Novo	11.6	12.0	76.1	0.0	0.2
Ribeira do Seixal	0.1	2.0	96.7	0.0	1.1
Ribeira do Serrado	8.4	4.9	86.7	0.0	0.0
Ribeira do Tristão	1.5	5.1	93.4	0.0	0.0
Ribeira dos Câmbios	1.8	12.6	84.7	0.9	0.0
Ribeira dos Marinheiros	0.8	0.9	98.2	0.2	0.0
Ribeira dos Moinhos	1.1	2.8	96.1	0.0	0.0
Ribeira dos Socorridos	3.2	5.6	89.7	0.0	1.4
Ribeira Funda	5.1	2.4	92.3	0.0	0.3
Ribeira Seca	3.8	11.9	84.2	0.1	0.0
Ribeiro do Caniço	20.8	12.5	66.6	0.0	0.0
Ribeiro do Vigário	16.0	35.9	48.0	0.0	0.0
Ribeiro dos Pregos	7.3	20.2	72.5	0.0	0.0

4.2.4 NÚMERO DE ESCOAMENTO

O Quadro 16 apresenta os valores mínimos, máximos e médios do número de escoamento, em condições normais (AMCII) e também os valores relativos ao CN médio em condições de humidade AMCIII. As bacias hidrográficas da Ribeira do Inferno e Ribeira do Seixal são aquelas que apresentam um menor valor de CN (AMCIII), de 88.1, indicando uma maior propensão para a infiltração. As bacias hidrográficas da Ribeira da Caldeira e da Ribeira de S. João apresentam os maiores valores de CN da ilha, respectivamente 93.5 e 92.1 para condições AMCIII.

Quadro 16: Valores mínimos, máximos e médios do número de escoamento em condições de humidade do solo AMCII e AMCIII.

Bacia	CN (AMCII)			CN (AMCIII)
	Mínimo	Máximo	Médio	Médio
Ribeira Brava	30.0	100.0	78.0	89.1
Ribeira da Atouguia	76.0	100.0	78.8	89.5
Ribeira da Boaventura	76.0	100.0	79.2	89.7
Ribeira da Caldeira	76.0	100.0	86.1	93.5
Ribeira da Cruz	76.0	94.0	77.8	89.0
Ribeira da Janela	30.0	100.0	77.3	88.7
Ribeira da Madalena	76.0	100.0	78.3	89.2
Ribeira da Ponta do Sol	76.0	100.0	78.8	89.5
Ribeira da Tabua	76.0	100.0	78.6	89.4
Ribeira das Galinhas	76.0	100.0	80.2	90.3
Ribeira de João Gomes	0.0	100.0	77.1	88.6
Ribeira de Machico	30.0	100.0	79.6	90.0
Ribeira de S. Bartolomeu	76.0	100.0	78.6	89.4
Ribeira de S. Jorge	30.0	100.0	77.3	88.7
Ribeira de Santa Cruz	76.0	100.0	78.7	89.5
Ribeira de Santa Luzia	76.0	100.0	82.6	91.6
Ribeira de Santiago	76.0	100.0	78.9	89.6
Ribeira de São Gonçalo	76.0	100.0	81.2	90.9
Ribeira de São João	76.0	100.0	83.5	92.1
Ribeira de São Vicente	30.0	100.0	77.3	88.7
Ribeira do Campanário	76.0	100.0	79.6	90.0
Ribeira do Faial	30.0	100.0	76.9	88.4
Ribeira do Inferno	76.0	100.0	76.3	88.1
Ribeira do Juncal	76.0	100.0	79.1	89.7
Ribeira do Porco	76.0	100.0	77.5	88.8
Ribeira do Porto Novo	30.0	100.0	79.5	89.9
Ribeira do Seixal	30.0	100.0	76.3	88.1
Ribeira do Serrado	76.0	100.0	79.7	90.0
Ribeira do Tristão	76.0	94.0	77.4	88.8
Ribeira do Vigário	76.0	100.0	82.7	91.6
Ribeira dos Câmbios	76.0	100.0	80.0	90.2
Ribeira dos Marinheiros	76.0	100.0	78.3	89.2
Ribeira dos Moinhos	76.0	100.0	79.9	90.1
Ribeira dos Socorridos	30.0	100.0	78.6	89.4
Ribeira Funda	76.0	100.0	78.3	89.2
Ribeira Seca	76.0	100.0	78.9	89.6
Ribeiro da Carnisa	76.0	96.0	76.7	88.3
Ribeiro do Caniço	76.0	100.0	81.3	90.9
Ribeiro dos Pregos	76.0	100.0	79.5	89.9

4.2.5 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O Quadro 17 apresenta os valores de tempo de concentração e *Lag time* para cada uma das bacias hidrográficas, calculados com base nas metodologias descritas no Capítulo 3.1.5. No caso do método do SCS, são apresentados dois conjuntos de valores de t_c e *Lag time* para as duas condições antecedentes de humidade do solo.

Quadro 17: T_c e *Lag time*, para cada bacia, consoante as fórmulas de Giandotti, Kirpich, Temez e SCS.

Bacia	Giandotti		Kirpich		Temez		SCS			
	t_c (h)	Lag time (min)	t_c (h)	Lag time (min)	t_c (h)	Lag time (min)	CN-AMCII		CN-AMCIII	
							t_c (h)	Lag time (min)	t_c (h)	Lag time (min)
Ribeira Brava	1.99	71.50	1.25	44.83	3.35	120.51	1.38	49.62	0.94	34.01
Ribeira da Atouguia	0.74	26.51	0.29	10.29	0.99	35.76	0.79	28.58	0.55	19.71
Ribeira da Boaventura	1.25	45.04	0.87	31.45	2.55	91.64	1.41	50.78	0.98	35.12
Ribeira da Caldeira	0.75	26.84	0.31	11.32	1.00	36.08	0.61	21.86	0.45	16.19
Ribeira da Cruz	0.71	25.69	0.40	14.32	1.30	46.79	0.90	32.53	0.62	22.25
Ribeira da Janela	2.51	90.46	2.00	72.02	5.19	186.78	2.54	91.44	1.73	62.33
Ribeira da Madalena	0.93	33.38	0.54	19.61	1.75	62.98	1.11	40.02	0.76	27.48
Ribeira da Ponta do Sol	1.44	51.69	0.98	35.28	2.90	104.39	1.45	52.14	1.00	35.95
Ribeira da Tabua	1.07	38.48	0.61	22.11	1.92	69.14	1.05	37.69	0.72	25.94
Ribeira das Galinhas	0.66	23.90	0.36	12.88	1.18	42.32	0.87	31.47	0.61	21.95
Ribeira de João Gomes	1.16	41.83	0.79	28.61	2.42	87.20	1.50	53.84	1.02	36.64
Ribeira de Machico	2.27	81.63	1.25	45.16	3.23	116.28	1.57	56.51	1.09	39.21
Ribeira de S. Bartolomeu	1.05	37.76	0.57	20.66	1.74	62.66	0.96	34.49	0.66	23.74
Ribeira de S. Jorge	1.77	63.78	0.96	34.57	2.79	100.47	1.32	47.57	0.90	32.42
Ribeira de Santa Cruz	1.35	48.63	0.88	31.78	2.49	89.61	1.50	54.15	1.04	37.32
Ribeira de Santa Luzia	1.39	49.97	0.82	29.48	2.50	90.00	1.23	44.22	0.88	31.52
Ribeira de Santiago	0.94	33.87	0.58	20.91	1.78	64.17	1.18	42.64	0.82	29.42
Ribeira de São Gonçalo	0.70	25.30	0.31	11.32	1.00	35.99	0.70	25.12	0.49	17.68
Ribeira de São João	1.49	53.72	0.91	32.62	2.70	97.17	1.32	47.68	0.95	34.30
Ribeira de São Vicente	1.76	63.31	0.79	28.49	2.37	85.15	1.16	41.61	0.79	28.37
Ribeira do Campanário	1.05	37.80	0.64	23.09	1.95	70.12	1.08	38.71	0.75	26.87
Ribeira do Faial	2.03	73.25	1.16	41.62	3.23	116.28	1.45	52.26	0.99	35.52
Ribeira do Inferno	0.66	23.74	0.36	12.99	1.18	42.30	0.55	19.74	0.37	13.36
Ribeira do Juncal	1.02	36.64	0.56	20.25	1.61	57.82	0.75	26.88	0.52	18.58
Ribeira do Porco	1.46	52.55	0.90	32.23	2.56	92.07	1.03	37.18	0.71	25.39
Ribeira do Porto Novo	1.56	55.98	1.12	40.28	3.12	112.32	1.70	61.16	1.18	42.40
Ribeira do Seixal	1.10	39.53	0.76	27.35	2.33	84.00	1.31	47.22	0.89	31.95
Ribeira do Serrado	0.75	26.93	0.32	11.44	0.91	32.73	0.58	20.76	0.40	14.42
Ribeira do Tristão	0.71	25.42	0.34	12.29	1.12	40.18	0.79	28.27	0.54	19.29
Ribeira do Vigário	1.35	48.63	0.74	26.70	2.18	78.48	1.13	40.60	0.80	28.97
Ribeira dos Câmbios	0.67	24.29	0.42	15.18	1.35	48.66	0.97	34.96	0.68	24.34
Ribeira dos Marinheiros	0.78	28.12	0.60	21.45	1.85	66.62	1.11	40.07	0.76	27.51

Bacia	Giandotti		Kirpich		Temez		SCS			
	t _c (h)	Lag time (min)	t _c (h)	Lag time (min)	t _c (h)	Lag time (min)	CN-AMCII		CN-AMCIII	
							t _c (h)	Lag time (min)	t _c (h)	Lag time (min)
Ribeira dos Moinhos	1.03	37.00	0.77	27.60	2.25	80.90	1.29	46.30	0.89	32.20
Ribeira dos Socorridos	2.06	74.07	1.55	55.77	4.16	149.60	1.55	55.70	1.07	38.35
Ribeira Funda	0.91	32.60	0.59	21.42	1.81	65.08	1.00	36.12	0.69	24.80
Ribeira Seca	0.89	31.88	0.46	16.51	1.48	53.32	0.99	35.57	0.68	24.55
Ribeiro da Carnisa	0.54	19.49	0.28	10.25	0.96	34.64	0.57	20.44	0.39	13.87
Ribeiro do Caniço	1.01	36.19	0.59	21.12	1.74	62.62	1.13	40.80	0.80	28.73
Ribeiro dos Pregos	0.90	32.24	0.64	23.20	1.86	67.09	1.40	50.29	0.97	34.86

A análise do Quadro 17 revela que as fórmulas de Kirpich e SCS (AMCIII) conduzem aos menores valores de t_c , o que indica que estas deverão originar, posteriormente, os caudais de ponta de cheia mais elevados. Uma vez que a equação de Kirpich (segundo Chow) desenvolvida foi baseada em bacias hidrográficas com encostas íngremes e com declives a variar entre 3 e 10%, e tendo em consideração as características geomorfológicas da ilha da Madeira, confirma-se que esta equação de t_c deverá ser uma das mais adequadas a aplicar nas bacias hidrográficas em estudo. Contudo, é importante referir que a Madeira é um lugar de exceção, pois apresenta características muito próprias, não havendo ainda nenhuma fórmula relativa ao tempo de concentração que tenha sido criada especificamente para esta ilha. Além disso, os declives apresentados para a ilha são significativamente superiores à gama de declives proposta na equação de Kirpich.

Realizou-se ainda uma estimativa das velocidades de escoamento em cada bacia hidrográfica através dos valores de comprimento dos cursos de água principal e admitindo 2/3 do tempo de concentração, da fórmula do SCS em condições de humidade de solo AMCIII. Posto isto, obtiveram-se velocidades de escoamento médias que variam entre os 2 e os 6 m/s.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE MONITORIZAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO

Atualmente, a Região Autónoma da Madeira possui três redes de monitorização de precipitação, com representatividade significativa, que se encontram a ser geridas por entidades diferentes, sendo estas o IGA (Investimentos e Gestão de Água, SA), o LREC (Laboratório Regional de Engenharia Civil) e o IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera). Em conjunto, estas redes contêm diversos postos udométricos, udográficos e estações meteorológicas que permitem complementar informação e assim obter dados relativos a quase toda a extensão da ilha. No entanto, existem situações em que ocorre redundância e inconsistência de dados de precipitação como, por exemplo, nos casos em que as entidades instalam postos em locais próximos, ou quando estes são transferidos para outros pontos sem que haja uma atualização da respetiva informação. Além disto, é importante referir que a existência de três entidades distintas cria algumas dificuldades no que toca à recolha, organização e análise dos dados por estas apresentarem diferentes procedimentos e mecanismos de medição.

Nas décadas de 1960 e 1970, a antiga Junta Geral (JG) foi a primeira entidade a instalar udométros totalizadores em locais que se encontram actualmente a cargo do IGA. A atual rede do IGA estende-se praticamente por toda a ilha e inclui postos que possuem registos diários de precipitação que nos últimos anos têm vindo a ser substituídos por udógrafos automáticos, analógicos e digitais, que medem a precipitação em intervalos horários e sub-horários. A rede mais recente instalada é gerida pelo LREC e é constituída por udógrafos, associados a *dataloggers* digitais (HOBO e DATATAKER), medindo, na sua generalidade, a precipitação de 10 em 10 minutos. (IST et al., 2010). A rede do IPMA inclui o posto mais antigo da ilha, no Funchal, tendo sido recentemente expandida com outros postos. Existe ainda o posto de Santa Catarina que se encontra localizado no Aeroporto do Madeira e que é gerido pela ANAM (Aeroportos e Navegação Aérea da Madeira).

O Quadro 18 resume as informações referentes às várias estações de monitorização identificadas, enquanto a Figura 13 apresenta o mapa das estações distribuídas por toda a ilha da Madeira. No processo de tratamento dos dados recebidos das entidades em questão, deparou-se com lacunas de dados e informações contraditórias e ambíguas que impediram o preenchimento completo do quadro e resultou nalguma incerteza na informação apresentada. O facto de na Figura 13 existirem certas estações localizadas junto à costa no Oceano Atlântico também indica a existência de erros nas coordenadas de algumas estações. Os dados das estações utilizadas neste estudo foram, no entanto, validados e não devem apresentar erros significativos.

Quadro 18: Estações de monitorização existentes na ilha da Madeira.

Nº Ident.	Acrónimo	Nome	Ent.	Tipo/Equipamento	Alt. (m)	Concelho	Estado	Início func.	Fim func.	Coord. X	Coord. Y
1	Ach. Cruz	Achada da Cruz	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Ach. Grande	Achada Grande (Areeiro)	LREC	Automático	1590	Funchal	Ativa	2004	-	320743	3621556
3	Ach. Madeira	Achada da Madeira	IGA	Udógrafo (1989/90-2003/04); U.Autom. (2005/06-2011/12)	521	S. Vicente	Desativada	1989/90	2011/12	314958	3628482
4	Ach. Teixeira	Achada do Teixeira	IGA	U.Autom.	968	Santana	Ativa	2007	-	322730	3628113
5	Ach. Til	Achada do Til	LREC	U.Autom.	300	S. Vicente	Ativa	2004	-	310756	3628512
6	Alegria-ETA	Alegria-ETA	IGA	U.Autom.	611	Funchal	Ativa	jun/07	-	320261	3617220
7	Areeiro-IGA	Areeiro - IGA	IGA	Udógrafo (desde 1997); U.Autom (desde 2004)	1590; 1603	Funchal	Ativa	1997	-	320746; 320791	3621552;36 21820
8	Areeiro-IM	Areeiro - IM	IM	EMA	1590	Funchal	Ativa	fev/02	-	320847	3621744
9	Areeiro-JG	Areeiro antigo	JG	Udógrafo	1601	Funchal	Desativada	1936/37	mar/95	320754	3621821
10	B.Cana-IM	Bica da Cana - IM	IM	-	1560	S.Vicente	Ativa	ago/10	-	-	-
11	B.Cana-JG-IGA	Bica da Cana - IGA	JG	Udómetro(1946/47-?); Udógrafo (1996-2004); U.Autom.(2004-)	1585	S. Vicente	Ativa	out/46	-	307604	3625815
12	B.Cana-LREC	Bica da Cana - LREC	LREC	Automático (EMA)	1600; 1622	S. Vicente	Ativa	1997	-	307827;3 07834	3625777;36 25780
13	B.Morte	Boa Morte	LREC	Automático	540	Rib. Brava	Ativa	2004	-	309006	3617172
14	B.Sucesso (JB)	Bom Sucesso (J. Botânico)	JG	Udómetro	292	Funchal	Desativada	jan/59	abr/82	322571	3615052
15	C.Barreiro	Casa do Barreiro	LREC	Automático	995	Funchal	Ativa	2004	-	321308	3618835
16	C.Burro	Casa do Burro	LREC	Automático	-	-	Ativa	-	-	-	-
17	C.Freiras (C.Augusta)	Curral das Freiras (C. da Augusta)	IGA	Udógrafo	771	C. Lobos	Desativada	jan/05	out/06	316409	3624244
18	C.Freiras (Igreja)	Curral das Freiras (Igreja)	JG	Udómetro	636	C. Lobos	Desativada	jan/41	dez/74	316214	3621608
19	C.Freiras (L.Branca)	Curral das Freiras (Lapa Branca)	IGA	Udómetro	636	C. Lobos	Desativada	mar/87	ago/97	316222	3621455
20	C.Freiras (Poiso)	Curral das Freiras (Poiso)	IGA	Udógrafo	775	C. Lobos	Desativada	out/86	dez/07	315926	3624203
21	C.Freiras-ETA	ETA Curral das Freiras	IGA	Udógrafo	743	C. Lobos	Ativa	out/09	-	316474	3622007
22	C.Freiras-LREC	Curral das Freiras - LREC	LREC	Automático	800	C. Lobos	Ativa	2004	-	316426	3624439

Nº Ident.	Acrónimo	Nome	Ent.	Tipo/Equipamento	Alt. (m)	Concelho	Estado	Início func.	Fim func.	Coord. X	Coord. Y
23	C.Grande	Cova Grande	IGA	U.Autom.	1340	Machico	Ativa	2004	-	303473	3624185
24	C.Meiro	Cabeço do Meio	IGA	Udógrafo	615	Santana	Ativa	out/97	-	322133	3623831
25	C.Sardinha	Casa do Sardinha	LREC	Automático	50	Machico	Desativada	2004/05	2009/10	342259	3623998
26	C.Velha	Casa Velha	LREC	Automático	880	Sta Cruz	Ativa	2004	-	327713	3620703
27	Camacha	Camacha	JG	Udómetro	-	Sta Cruz	Desativada	1936/37	1981/82	327464	3616914
28	Camacha-LREC	Camacha - LREC	LREC	Automático	675	Sta Cruz	Ativa	2005	-	327137	3616171
29	Canhas	Canhas	JG	Udómetro	419	Pta do Sol	Desativada	1943/44	1974/75	302343	3619504
30	Caniçal	Caniçal	JG	Udómetro	47	Machico	Desativada	jan/53	nov/98	337102	3623126
31	Caniçal-IM	Caniçal/Ponta de S. Lourenço - IM	IM	-	133	Machico	Ativa	jul/09	-	-	-
32	Caramujo	Caramujo	JG	Udómetro	1260	S. Vicente	Desativada	fev/41	jun/69	307186	3627603
33	Cascalho	Cascalho	JG	Udómetro	630	Santana	Desativada	mar/68	abr/82	320142	3633581
34	Ch.Feiteiras-IGA	Chão das Feiteiras - IGA	IGA	Udógrafo	1170	Machico	Ativa	jan/89	-	323633	3622413
35	Ch.Feiteiras-LREC	Chão das Feiteiras - LREC	LREC	Automático	1180	Machico	Ativa	2007	-	323780	3622386
36	Ch.Louros	Chão dos Louros	IGA	Udógrafo	900	S. Vicente	Ativa	out/86	-	311346	3625775
37	Ch.Ribeira	Chão da Ribeira	IGA	Udógrafo	482	P.Moniz	Desativada	out/90	mai/95	302426	3630390
38	Covão-ETA	ETA do Covão	IGA	Udómetro	510	C. Lobos	Ativa	out/97	-	316274	3616629
39	E.Z.Madeira	Estação Zootécnica da Madeira	LREC	Automático	675	P.Moniz	Desativada	2004	2011	295835	3635847
40	Encum.-EEM	Encumeada (EEM)	IGA	Udómetro	1010	S. Vicente	Ativa	out/97	-	310999	3625497
41	Encum.-IGA	Encumeada - IGA	IGA	U.Autom.	854	S. Vicente	Ativa	2004	-	310655	3625037
42	Encum.-LREC	Encumeada - LREC	LREC	Automático	1017	Rib. Brava	Desativada	2004	2008	311241	3625463
43	Encum. S.Vicente	Encumeada de S. Vicente	JG	Udómetro	994	S. Vicente	Desativada	jan/37	set/86	311042	3625405
44	Estanquinhos	Estanquinhos	LREC	Automático	1590	S. Vicente	Ativa	2004	-	306003	3627380
45	F.Bispo	Fonte do Bispo	IGA	U.Autom.	1245	P.Moniz	Ativa	mar/02	-	296175	3629969
46	F.Nogueira-IGA	Fajã da Nogueira - IGA	IGA	U.Autom.	628	Santana	Ativa	2004	-	322092	3623586

Nº Ident.	Acrónimo	Nome	Ent.	Tipo/Equipamento	Alt. (m)	Concelho	Estado	Início func.	Fim func.	Coord. X	Coord. Y
47	F.Nogueira-LREC	Fajã da Nogueira - LREC	LREC	Automático	629	Santana	Ativa	2007	-	321744	3624081
48	F.Ovelha	Fajã da Ovelha	LREC	Automático	635	Calheta	Ativa	2004	-	291387	3628549
49	F.Penedo-IGA	Fajã do Penedo - IGA	IGA	Udómetro	620	S. Vicente	Ativa	out/97	-	316868	3629581
50	F.Penedo-LREC	Fajã do Penedo - LREC	LREC	Automático	637	S. Vicente	Ativa	2004	-	316872	3629584
51	F.Rodrigues	Fajã Rodrigues (Rosário)	IGA	U.Autom.	575	S. Vicente	Ativa	mar/10	-	309809	3626634
52	Fanal	Fanal	LREC	Automático	1170	P.Moniz	Ativa	2004	-	299962	3631817
53	Funchal-antigo	Funchal - Palácio de S. Lourenço	JG	Udómetro	26	Funchal	Desativada	1936/37	1950	321226	3613452
54	Funchal-Lido	Funchal - Lido - IM	IM	-	25	Funchal	Ativa	-	-	-	-
55	Funchal-Observat.	Funchal - Observatório - IM	IM	-	58	Funchal	Ativa	1950	-	322874	3613446
56	J.Serra	Jardim da Serra (Esc. Dos Cavaleiros)	IGA	Udómetro	870	C. Lobos	Ativa	jan/04	-	314460	3618194
57	L.Baixo-IM	Lugar de Baixo - IM autom.	IM	Udógrafo (desde 2002); Automático (desde 2004)	40; 52	Pta do Sol	Ativa	fev/02	-	304155	3617531
58	L.Baixo-JG	Lugar de Baixo - JG	JG	Udómetro	18	Pta do Sol	Desativada	1940/41	2004	304639	3617411
59	L.Furão-IGA	Lombo Furão	IGA	Udógrafo (1986/87-2006); U.Autom.(2006-)	994	Santana	Desativada	1986/87	-	321375	3624670
60	L.Palheiros	Lombo dos Palheiros	LREC	Automático	212	Santana	Ativa	2007	-	326922	3627559
61	Lamaceiros	Lamaceiros	IGA	U.Autom.	785	S. Vicente	Ativa	2004	-	327573	3623789
62	Loural	Loural	IGA	Udómetro	307	S. Vicente	Desativada	mai/45	dez/74	309941	3627916
63	LREC	LREC	LREC	Automático (registo em papel até 2004)	250; 260	Funchal	Desativada	2001	2012	318250;3 18246	3614000;36 13999
64	M.Légua	Meia Légua	LREC	Automático	494	Rib. Brava	Desativada	2004	2010	309936	3621410
65	M.Paúl	Meio Paúl	IGA	Ud. semanal	1410	Rib. Brava	Ativa	out/49	-	304188	3626158
66	M.Pereiro	Montado do Pereiro	JG	Udómetro	1260	Funchal	Desativada	jan/41	abr/82	323413	3619809
67	M.Serra	Meia Serra	IGA	Udógrafo	1119	Sta Cruz	Desativada	fev/92	jul/01	325125	3619453
68	Machico-ETA-IGA	Machico - ETA - IGA	IGA	Udómetro	160	Machico	Ativa	out/97	-	333328	3622654
69	Machico-ETA-LREC	Machico (ETA) - LREC	LREC	Automático	170	Machico	Ativa	jun/05	-	333327	3622644

Nº Ident.	Acrónimo	Nome	Ent.	Tipo/Equipamento	Alt. (m)	Concelho	Estado	Início func.	Fim func.	Coord. X	Coord. Y
70	Machico-PF/Piquinho	Machico (Piquinho/P.Florestal)	LREC	Udómetro (JG); Automático (desde 1998)	154; 170	Machico	Ativa	mar/41	-	333732; 333714	3621863;36 21852
71	Machico-PF	Machico (Posto Florestal)	JG	Udómetro	154	Machico	Ativa	mar/41	-	333714	3621852
72	Massapez	Massapez	LREC	Automático	300	Calheta	Ativa	2004	-	298017	3621602
73	Monte	Monte (P.E.F.)	LREC	Automático	1300	Funchal	Ativa	2005	-	322346	3619700
74	Ovil	Ovil	IGA	U.Autom.	1014	Sta Cruz	Ativa	2004	-	326691	3620502
75	P.Delgada	Ponta Delgada	JG	Udómetro	108	S. Vicente	Desativada	1949/50	1981/82	313877	3633111
76	P.Forá	Pinheiro de Fora	LREC	Automático	750	Calheta	Ativa	jun/05	-	300875	3622649
77	P.Moniz	Porto Moniz (Santa)	LREC	Automático	675	P.Moniz	Desativada	2005	-	295830	3635845
78	P.Moniz (F.Gado)	Porto Moniz (Feira do Gado)	JG	Udómetro	670	P.Moniz	Desativada	mai/42	abr/79	295043	3636032
79	P.Moniz-ETA	Porto Moniz - ETA	IGA	Udómetro	411	P.Moniz	Desativada	nov/97	out/02	297595	3636640
80	P.Moniz-PF	Porto Moniz - Posto Florestal	LREC	Automático	660	P.Moniz	Desativada	2004	2007	295044	3636028
81	P.Pargo	Ponta do Pargo	JG	Udómetro	483	Calheta	Desativada	1942/43	1973/74	290384	3632850
82	P.Pargo-IM	Ponta do Pargo (Farol) IM	IM	Udómetro (mudança de equip. em 2004?)	298; 310	Calheta	Ativa	fev/02	-	288513; 288480	3632570; 3632562
83	P.Pedras	Pico das Pedras	LREC	Automático (registo em papel até 2004); mudança de equip. em 2010 ?	910; 920	Santana	Ativa	1994	-	322630;3 22626	3627931;36 27926
84	P.S.Lourenço	Ponta de S. Lourenço	LREC	Automático	50	Machico	Desativada	2004	2010	342625	3623642
85	P.Sol	Ponta do Sol	LREC	Automático	130	Pta do Sol	Ativa	2004	-	303491	3618066
86	P.Urze	Pico da Urze	LREC	Automático	1365	Calheta	Ativa	2004	-	301978	3625102
87	P.Verde	Pico Verde	LREC	Automático (registo em papel até 2004); mudança de equip. em 2005	1020	Calheta	Desativada	1999	2010	296237; 296238	3627393;36 27388
88	Poiso (PF)	Poiso (Posto Florestal)	IGA	Udógrafo	1360	Funchal	Ativa	jan/60	-	323500	3620648
89	Prazeres	Prazeres - QP	LREC	Automático	632	Calheta	Desativada	2004	2012	294078	3625824
90	Prazeres-PF	Posto Florestal (Prazeres)	LREC	Automático	648	Calheta	Ativa	2011	-	294230	3626108
91	Q.Grande-IM	Quinta Grande - IM	IM	-	580	C. Lobos	Ativa	ago/10	-	-	-
92	Queimadas	Queimadas	JG	Udómetro	860	Santana	Desativada	dez/38	abr/82	321860	3628847

Nº Ident.	Acrónimo	Nome	Ent.	Tipo/Equipamento	Alt. (m)	Concelho	Estado	Início func.	Fim func.	Coord. X	Coord. Y
93	R.Alecrim	Ribeira do Alecrim	IGA	Udógrafo (até 2004) ; Automático (desde 2004)	1280	Calheta	Avariado	nov/88	-	301089	3625572
94	R.Brava	Ribeira Brava	JG	Udómetro	10	Rib. Brava	Desativada	jan/37	mai/73	306894	3616657
95	R.Brava-ETA	Ribeira Brava-ETA	IGA	Udómetro	500	Rib. Brava	Ativa	abr/97	-	309005	3617169
96	R.Frio	Ribeiro Frio	JG	Udómetro	892	Santana	Desativada	jan/41	nov/99	323551	3623025
97	Rabaçal	Rabaçal	JG	Udómetro	1054	Calheta	Desativada	fev/41	out/61	300361	3626520
98	Rosário	Rosário udóm.	IGA	Udómetro	302	S. Vicente	Desativada	abr/87	dez/98	310088	3627953
99	Rosário_a	Rosário autom.	IGA	U.Autom.	575	S. Vicente	Ativa	2004	-	309809	3626634
100	S.Água	Serra de Água	IGA	Udómetro	586	Rib. Brava	Desativada	1986/87	1997/98	311124	3624104
101	S.Gonçalo	São Gonçalo	LREC	Automático	220	Funchal	Desativada	2005	2012	324253	3613536
102	S.Jorge-ETA	S.Jorge-ETA	IGA	Udómetro (1997-2004); U.Autom. (2004-)	548	Santana	Ativa	dez/97	-	320102	3632187
103	S.Jorge-Farol	São Jorge - Farol	LREC	Automático	269; 270	Santana	Ativa	2003	-	321913; 321935	3634108;36 34191
104	S.Jorge-Farol-IM	S.Jorge Farol IM	IM	-	257	Santana	Ativa	fev/02	-	-	-
105	S.Serra-IGA	Santo da Serra - IGA	IGA	Udógrafo	660	Machico	Ativa	dez/36	-	330110	3622009
106	S.Serra-IM	Santo da Serra - IM	IM	-	660	Machico	Ativa	ago/10	-	-	-
107	S.Vicente - Passo	S. Vicente - Passo	LREC	Automático	120	S. Vicente	Ativa	jun/05	-	309111	3630269
108	S.Vicente-IM	São Vicente - IM	IM	-	97	S. Vicente	Ativa	ago/10	-	-	-
109	S.Vicente-PF	S. Vicente - Posto Florestal	LREC	Automático	120	S. Vicente	Ativa	2004	-	308718	3630612
110	Sanatório	Sanatório	JG	Udómetro	380	Funchal	Desativada	1940/41	1981/82	321777	3616160
111	Santana	Santana	JG	Udómetro	415	Santana	Ativa	1936/37	-	323757	3631253
112	Santana-IM	Santana-IM	IM	-	380	Santana	Ativa	ago/10	-	-	-
113	Santana-LREC	Santana - LREC	LREC	Automático	920	Santana	Ativa	mai/10	-	333732	3621863
114	Seixal	Seixal	LREC	Automático	70	P.Moniz	Ativa	2005	-	302852	3633360
115	Sta Catarina	Santa Catarina	ANAM	Udógrafo	58	Funchal	Ativa	1959/60	-	333915	3618351
116	Sta Cruz - Lmoinhos	Santa Cruz - Lombo dos Moinhos	LREC	Automático	-	Santa Cruz	Desativada	-	-	-	-

Nº Ident.	Acrónimo	Nome	Ent.	Tipo/Equipamento	Alt. (m)	Concelho	Estado	Início func.	Fim func.	Coord. X	Coord. Y
117	Sta Cruz -S.Relva	Santa Cruz - Sítio da Relva	LREC	Automático	601	Santana	Desativada	2004	2006	330811	3619862
118	Sta Quitéria-ETA	Santa Quitéria - ETA	IGA	Udómetro	320	Funchal	Ativa	out/97	-	317452	3615056
119	Terça-IM	Terça - IM	IM	-	931	Rib. Brava	Ativa	jul/09	-	-	-
120	Tornos	Tornos	LREC	Automático (registo em papel até 2004)	-	Funchal	Desativada	1997.00	2002	-	-
121	Trapiche-LREC	Trapiche LREC	LREC	Automático (mudança de equip. em 2011)	590	Funchal	Ativa	2004	-	317762;317825	3616934;3616964
122	Sto António (Trapiche)	Santo António (Trapiche)	JG	Udómetro	525	Funchal	Desativada	1940/41	1974/75	317545	3617136
123	Trapiche-Sto Ant.	Trapiche (Santo António)	IGA	Udógrafo	495	Funchal	Ativa	ago/06	-	317859	3616687
124	Tropica	Tropica	LREC	Automático	1188	C. Lobos	Ativa	2004	-	311937	3620330
125	V. Paraíso	Vale Paraíso	IGA	Udómetro	730	Sta Cruz	Ativa	jun/97	-	325774	3616654
126	V.Lapa	Vale da Lapa	JG	Udómetro	910	Santana	Desativada	mar/68	dez/75	319893	3633407
127	Viveiros	Viveiros	LREC	Automático (registo em papel até 2004)	-	-	Desativada	2000	2001	-	-

5. VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO

5.1 METODOLOGIA GERAL

Na ausência de registos hidrométricos que permitam calibrar o modelo hidrológico, optou-se por validar a ordem de grandeza dos resultados do modelo adotado, comparando-os com resultados de estudos anteriores ou com avaliações qualitativas da magnitude do caudal gerado em determinados eventos.

Foram selecionados 4 eventos de precipitação intensa para os quais há alguma informação sobre os valores de precipitação ocorridos e os danos provocados em uma ou mais bacias hidrográficas. Foram assim analisadas 8 situações de cheia ou de aluvião, desencadeadas por 4 eventos de precipitação.

Os hidrogramas de cheia destas situações foram estimados utilizando o hidrograma unitário do SCS, assumindo dois valores do número de escoamento e quatro valores do tempo de concentração, estimados pelas fórmulas apresentadas no capítulo 3.1.5. Foram assim obtidas oito estimativas do caudal de ponta de cheia para cada situação analisada, o que proporciona uma ideia da sensibilidade dos resultados do modelo à incerteza dos seus parâmetros. As estimativas do caudal de ponta de cheia obtidas com tempos de concentração calculados pela fórmula de Kirpich e pela equação do SCS são as mais elevadas. A estimativa do tempo de concentração de Temez conduz aos valores mais baixos do caudal de ponta de cheia.

5.2 EVENTO DE 29 DE OUTUBRO DE 1993

O evento ocorrido em Outubro de 1993 originou caudais relativamente mais elevados na bacia hidrográfica da Ribeira dos Socorridos e em toda a extensão do Funchal, incluindo assim as bacias da Ribeira de São João, Ribeira de Santa Luzia e Ribeira de João Gomes. Foram várias as vítimas mortais e desaparecidas e inúmeros os estragos registados, como pode ser observado no Quadro 19.

O údometro localizado na estação do Funchal (Observatório) registou uma precipitação na ordem dos 89 mm, entre as 9 horas do dia 28 e as 9 horas do dia 29. Verificou-se a ocorrência de precipitação ao longo de todo o dia 28, mas entre as 21 e as 3 horas registou-se uma precipitação de 66.4 mm (Quintal, 1999).

Quadro 19: Dados relativos à Ribeira dos Socorridos e Ribeira de S. João.

	Descrição
Vítimas	4 vítimas, 4 desaparecidos, 27 feridos, 306 desalojados e 76 habitações afetadas.
Inundações	Transbordo das três ribeiras que atravessam o Funchal e a Ribeira dos Socorridos.
Danos materiais	Armazéns e lojas comerciais destruídas, estradas rebentadas, falta de água potável durante 15 dias, uma escola destruída, 9 embarcações inutilizadas e muitas viaturas danificadas.

5.1.1 RIBEIRA DOS SOCORRIDOS

O Quadro 20 apresenta os valores de caudal de ponta estimados para a foz da bacia hidrográfica dos Socorridos quando se adota a série de precipitação registada no posto do Curral das Freiras (Lapa Branca). Existem registos relativos a este posto que demonstram a ocorrência de precipitação máxima, dia 29 de Outubro pelas 3h, que rondaram os 36 mm (HP, 1993). As estimativas do caudal de ponta de cheia variam entre 300 e 390 m³/s, sendo que as fórmulas de tempo de concentração que apresentam valores mais elevados são as de Kirpich e do SCS (387 e 385 m³/s, respetivamente).

Quadro 20: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira dos Socorridos consoante a fórmula de tempo de concentração.

Simulação		Postos usados	Caudal de ponta simulado, Q _p (m ³ /s)							
			Giandotti		Kirpich		Temez		SCS	
Início	Fim		AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII
28/10/1993 09:00	31/10/1993 09:00	Curral das Freiras (Lapa Branca)	329	374	345	385	302	346	343	387

5.1.2 RIBEIRA DE S. JOÃO

Tendo por base os valores de precipitação da estação do Funchal (Observatório) (29.8 mm entre as 2 e as 3 horas) e os valores das estações Areeiro, Sanatório e Santo António (116.8 mm, 45.8 mm e 40.9 mm, respetivamente) que estão publicados no estudo “AUTO ZARCO, Ribeira de S. João, Funchal” (HP, 1993), estimaram-se os caudais de ponta de cheia na foz da Ribeira de S. João (Quadro 21). As estimativas de caudal variam entre 144 e 206 m³/s.

Quadro 21: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de S. João consoante a fórmula de tempo de concentração.

Simulação		Postos usados	Caudal de ponta simulado, Q _p (m ³ /s)							
			Giandotti		Kirpich		Temez		SCS	
Início	Fim		AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII
28/10/1993 09:00	29/10/1993 09:00	Areeiro, Funchal- Observat., Sanatório, Santo António	156	195	168	206	117	144	161	197

5.2 EVENTO DE 5 E 6 DE MARÇO DE 2001

Os dias 5 e 6 de Março de 2001 foram marcados por 48 horas de precipitação quase ininterrupta, geradas por uma depressão que afetou grande parte da ilha da Madeira (Quintal, 1999). Para além das vítimas mortais a lamentar, foram vários os danos materiais que se registaram e as dificuldades causadas a diversas famílias (Quadro 22). Apesar da bacia da Ribeira de São Vicente não ter sido a única área afetada pela ocorrência deste fenómeno, tendo sido também registados alguns danos na Ribeira dos Socorridos (zona de Curral das Freiras), foi em São Vicente que mais se sentiram os efeitos da aluvião.

Quadro 22: Dados relativos à Ribeira de S. Vicente e Ribeira dos Socorridos (Curral das Freiras)

	Descrição
Vítimas	4 vítimas (turistas alemães), 1 desaparecido e 120 pessoas desalojadas.
Inundações	Transbordo das ribeiras.
Danos materiais	Movimentos de vertente em vários sítios. Queda da ponte da ribeira das Balseiras. Casas inundadas de lama, viaturas danificadas, terrenos agrícolas devastados e acessos completamente soterrados.

5.2.1 RIBEIRA DE SÃO VICENTE

A simulação realizou-se tendo por base os valores de precipitação referentes aos postos da Bica da Cana (LREC) e de São Vicente (Passo), tendo-se registado, nos dias 5 e 6 de Março, precipitações na ordem dos 2217 mm e 460mm em cada um dos postos. As estimativas de caudal de ponta de cheia variam entre 412 m³/s e 515 m³/s (Quadro 23).

Quadro 23: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de S. Vicente consoante a fórmula de tempo de concentração.

Simulação		Postos usados	Caudal de ponta simulado (m ³ /s)							
			Giandotti		Kirpich		Temez		SCS	
Início	Fim		AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII
03/03/2001 09:00	09/03/2001 07:00	B. Cana - LREC , S. Vicente - Passo	435	462	487	517	412	434	470	515

5.3 EVENTO DE 22 DE DEZEMBRO DE 2009

Segundo o Boletim Meteorológico do IM, na segunda quinzena de Dezembro de 2009 o arquipélago encontrava-se condicionado por depressões com superfícies frontais associadas, tendo ocorrido períodos de chuva, ou aguaceiros, frequentemente fortes e muito fortes (IM, 2009). A zona da Ribeira de São Vicente sofreu danos elevados devido à precipitação extrema e a ribeira da freguesia da Madalena do Mar, no concelho de Ponta do Sol, transbordou do seu leito (Quadro 24).

Quadro 24: Dados relativos à Ribeira de S. Vicente e Madalena do Mar

	Descrição
Vítimas	Não houve vítimas mortais a registar.
Inundações	Transbordo das ribeiras.
Danos materiais	Destruição de vias de comunicação, habitações, armazéns, lojas comerciais e viaturas. Desaparecimento de várias parcelas de terrenos.

5.3.1 RIBEIRA DE SÃO VICENTE

Neste caso, a simulação tem por base os registos de precipitação dos postos da Achada do Til (LREC), da Bica da Cana (LREC), da Encumeada (LREC), de Estanquinhos e de São Vicente (Posto Florestal), tendo estes registado precipitações de, respetivamente, 203.4 mm, 19 mm e 28.8 mm, no

dia 22 de Dezembro. As estimativas do caudal de ponta de cheia na foz da ribeira de S.Vicente variam entre 299 m³/s e 501 m³/s, sendo este um intervalo de valores bastante largo (Quadro 25).

Quadro 25: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de S. Vicente consoante a fórmula de tempo de concentração.

Simulação		Postos usados	Caudal de ponta simulado, Q _p (m ³ /s)							
			Giandotti		Kirpich		Temez		SCS	
Início	Fim		AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII
18/12/2009 09:00	24/12/2009 23:30	Ach. Til-LREC, B.Cana - LREC, Encum.-LREC, Estanquinhos, S. Vicente-PF	370	396	467	501	299	320	381	488

5.4 EVENTO DE 20 DE FEVEREIRO DE 2010

Este evento recente é o mais grave que sucedeu na ilha nas últimas décadas. O temporal que se fez sentir iniciou-se na madrugada e estendeu-se pela manhã de 20 de Fevereiro. O número de vítimas mortais e desaparecidos foi elevado, assim como foram as infraestruturas destruídas e os danos materiais ocorridos (Quadro 26). A aluvião causada pelo período chuvoso prolongado na ilha atingiu, com uma maior intensidade, os concelhos do Funchal e Ribeira Brava, na vertente Sul da Madeira, onde se inserem as bacias hidrográficas da Ribeira de S. João, Ribeira de Santa Luzia, Ribeira de João Gomes e Ribeira Brava.

Quadro 26: Dados relativos às Ribeiras do Funchal e Ribeira Brava.

	Descrição
Vítimas	45 vítimas (29 no Funchal), 6 desaparecidos, 250 feridos e 600 desalojados.
Inundações	Transbordo de todas as ribeiras.
Danos materiais	Problemas em diversas áreas: abastecimento de água, sistema sanitário básico danificado, rede de eletricidade e vias de comunicação. Danos em infraestruturas: estradas, pontes, sistemas de abastecimento de água e saneamento, produção e transporte de energia elétrica, linhas de comunicação, portos, entre outros. Deslizamentos, enxurradas, inundações e arrastamento de grandes volumes de inertes e outros materiais

5.4.1 RIBEIRA DE JOÃO GOMES

Na simulação na Ribeira de João Gomes utilizaram-se os postos da Achada Grande, Areeiro (IGA), Funchal (Observatório) e Monte (P.E.F.) tendo-se registado no posto do Areeiro uma precipitação acumulada de 333.8 mm, no dia 20 de Fevereiro. Obtiveram-se os resultados apresentados no Quadro 27.

Quadro 27: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de João Gomes consoante a fórmula de tempo de concentração.

Simulação		Postos usados	Caudal de ponta simulado, Q _p (m ³ /s)							
			Giandotti		Kirpich		Temez		SCS	
Início	Fim		AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII
17/02/2010 09:00	23/02/2010 23:30	Ach. Grande, Areeiro – IGA, Funchal (Observat.), Monte (P.E.F.),	227	237	246	257	199	207	225	254

5.4.2 RIBEIRA DE SANTA LUZIA

Neste caso, as séries de precipitação utilizadas provêm dos postos da Achada Grande, Areeiro (IGA) e Monte (P.E.F.). No posto do Areeiro (IGA) registou-se um valor máximo de precipitação, em 10 minutos, de 47.3 mm, comprovando a ocorrência de precipitação intensa naquele dia. Obtendo-se assim os valores de caudal de ponta de cheia apresentados no Quadro 28.

Quadro 28: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de Santa Luzia consoante a fórmula de tempo de concentração.

Simulação		Postos usados	Caudal de ponta simulado, Q_p (m ³ /s)							
Início	Fim		Giandotti		Kirpich		Temez		SCS	
			AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII
17/02/2010 09:00	23/02/2010 23:30	Achada Grande, Areeiro - IGA, Monte (P.E.F.)	316	323	334	342	282	289	311	354

5.4.3 RIBEIRA DE SÃO JOÃO

Na simulação deste evento na bacia hidrográfica de S. João, utilizou-se o posto udográfico de Trapiche (LREC) onde se registou um máximo de precipitação horária de 88.4 mm, entre as 9h e 10h do dia 20 de Fevereiro. Posto isto, os valores estimados encontram-se no Quadro 29.

Quadro 29: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira de S. João consoante a fórmula de tempo de concentração.

Simulação		Postos usados	Caudal de ponta simulado, Q_p (m ³ /s)							
Início	Fim		Giandotti		Kirpich		Temez		SCS	
			AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII
17/02/2010 09:00	23/02/2010 23:30	Trapiche - LREC	321	328	325	332	275	282	323	352

5.4.4 RIBEIRA BRAVA

Para a simulação de caudal de ponta de cheia na Ribeira Brava utilizaram-se as séries de precipitação dos postos da Encumeada (LREC) e de Trompica, tendo este posto registado um total diário de precipitação de 240.8 mm, referente ao dia 20 de Fevereiro. Resultaram os seguintes valores de caudal de ponta de cheia (Quadro 30).

Quadro 30: Caudal de ponta de cheia na foz da Ribeira da Ribeira Brava consoante a fórmula de tempo de concentração.

Simulação		Postos usados	Caudal de ponta simulado, Q_p (m ³ /s)							
Início	Fim		Giandotti		Kirpich		Temez		SCS	
			AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII
17/02/2010 09:00	23/02/2010 23:30	Encumeada - LREC, Trompica	506	579	601	689	486	566	572	686

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assumindo que as condições de aplicabilidade das equações do tempo de concentração de Kirpich e do SCS são as que mais se identificam com as características das bacias hidrográficas da ilha da Madeira, apresenta-se no Quadro 31 a informação referente aos caudais de ponta de cheia estimados com estas fórmulas, juntamente com os valores de caudais calculados em vários estudos. Não foi possível encontrar estudos com valores estimados de caudais de ponta de cheia referentes aos eventos extremos de precipitação que ocorreram a 5 e 6 de Março de 2001 e 22 de Dezembro de 2009, ambos na Ribeira de São Vicente.

Quadro 31: Caudais de ponta de cheia dos estudos anteriormente realizados e caudais resultantes das simulações no HEC – HMS, usando as equações de tc de Kirpich e SCS.

Evento	Bacia	Q _p (m ³ /s) Estudos anteriores	Caudal de ponta, Q _p (m ³ /s)			
			Kirpich		SCS	
			AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII
29 Outubro 1993	Ribeira dos Socorridos ¹	380	345	385	343	386
	Ribeira de S. João ²	250	168	205	160	197
5 e 6 Março 2001	Ribeira de São Vicente	-	486	516	470	515
22 Dezembro 2009	Ribeira de São Vicente	-	467	501	381	488
20 Fevereiro 2010	Ribeira de São João ³	305	324	331	322	351
	Ribeira de Santa Luzia ³	303	334	341	310	353
	Ribeira de João Gomes ³	234	245	256	224	253
	Ribeira Brava ³	663	601	688	572	685

No Quadro 31 constata-se que os valores de caudal de ponta de cheia estimados nesta tese estão próximos dos valores estimados anteriormente. Como seria de esperar, os valores estimados de caudal de ponta de cheia associados às condições de humidade do solo AMCIII são superiores aos valores das simulações em condições médias de humidade do solo AMCII. Em condições de humidade do solo mais elevadas (AMCIII), as taxas de infiltração de água são menores.

No caso da Ribeira de S. João, no evento de Outubro de 1993, observa-se uma maior discrepância entre os caudais estimados nesta tese e o valor apresentado no estudo do Auto Zarco (HP, 1993).

No que respeita às estimativas do caudal de ponta de cheia nos dias 5 e 6 de Março de 2001 e 22 de Dezembro de 2009 na Ribeira de São Vicente, é de referir que a aplicação da fórmula de Manning-Strickler ao troço final desta ribeira resulta numa estimativa da capacidade de vazão deste troço de cerca de 400 m³/s. O registo que houve transbordo de água durante estes eventos permite validar os resultados deste estudo.

¹ Estudo Hidrológico e Hidráulico da Ribeira dos Socorridos na Madeira (LNEC, 1997)

² Auto Zarco, Ribeira de S. João, Funchal (HP, 1993)

³ Estudo de avaliação do risco de aluviões na Ilha da Madeira, (IST et al., 2010)

Em síntese, a proximidade entre os valores dos estudos efetuados anteriormente e os caudais de ponta de cheia estimados nesta tese permite afirmar que o modelo hidrológico definido está satisfatoriamente validado, o que possibilita a aplicação deste a toda a extensão da ilha da Madeira.

6. HIETOGRAMAS DE PROJETO

6.1 METODOLOGIA GERAL

Neste capítulo apresentam-se os resultados da análise das séries de precipitação diária por duas abordagens (séries de máximos anuais e séries de duração parcial) resultando num conjunto de mapas que apresentam a precipitação diária máxima anual para diferentes períodos de retorno. Os hietogramas de projecto para as várias bacias hidrográficas associados aos diferentes períodos de retorno foram determinados a partir desses mapas e dos ratios entre a precipitação numa dada duração e a precipitação diária máxima anual.

6.2 AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA MÁXIMA ANUAL

6.2.1 VERIFICAÇÃO DA HOMOGENEIDADE DA REGIÃO

Por se ter aplicado modelos de regionalização nas distribuições de Pearson3, LPearson3 e GEV, foi necessário verificar que as estações da Madeira utilizadas pertencem à mesma região, assegurando que esse conjunto de estações é relativamente homogéneo. Esta hipótese é confirmada através de dois testes: teste gráfico e teste de Wilthshire.

A Figura 14 apresenta os valores dos coeficientes de assimetria e de variação dos valores de precipitação diária máxima anual observados em cada estação, distinguindo-as por altitude (superiores e inferiores a 600 m). A Figura 15 distingue as estações por vertente (Norte e Sul). Observando ambas as figuras, verifica-se que não é possível identificar duas ou mais regiões distintas, o que significa que, possivelmente, as estações fazem parte da mesma região.

Aplicou-se também o teste de Wilthshire (*CV based-test*) que se baseia na estatística S, Equação 6.1, (Wiltshire, 1986) que segue uma distribuição de χ^2 , com (N-1) graus de liberdade, sendo N o número de estações consideradas na região.

$$S = \sum_{j=1}^N \frac{(C_{vj} - C_{vo})^2}{U_j} \quad (6.1)$$

Sendo C_{vj} o coeficiente de variação da estação j, e o C_{vo} e U_j dados pelas Equações 6.2 e 6.3.

$$C_{vo} = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{C_{vj}}{U_j}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{U_j}} \quad (6.2)$$

$$U_j = \frac{V}{n_j} \quad (6.3)$$

Na equação 6.3, n_j entende-se como o comprimento do registo de dados, ou seja, a quantidade de anos hidrológicos considerados e o V é a variância regional que é dada pela Equação 6.4.

$$V = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N n_j v_j \quad (6.4)$$

Em que o v_j é constituído pela Equação 6.5.

$$v_j = (n_j - 1) \cdot \sum_{i=1}^{n_j} \left[C_{v_{n-1}}^{(i)} - \left(\sum_{k=1}^{n_j} C_{v_{n-1}}^{(k)} \right) / n_j \right]^2 / n_j \quad (6.5)$$

O $C_{v_{n-1}}^{(k)}$ é o coeficiente de variação, C_v , de uma amostra com o tamanho $(n_j - 1)$ em que se removeu o valor k .

Quando o valor de S calculado é superior ao valor crítico de χ^2 para um certo nível de significância, a hipótese da região ser homogénea é rejeitada. O valor de S obtido foi 28.27, inferior ao valor crítico associado à distribuição qui-quadrada, com 43 graus de liberdade ($N=44$) e um nível de significância de 5% ($\alpha=0.95$) que é 28.99. Confirma-se que a hipótese nula não é rejeitada e que se pode assumir estar perante uma região homogénea.

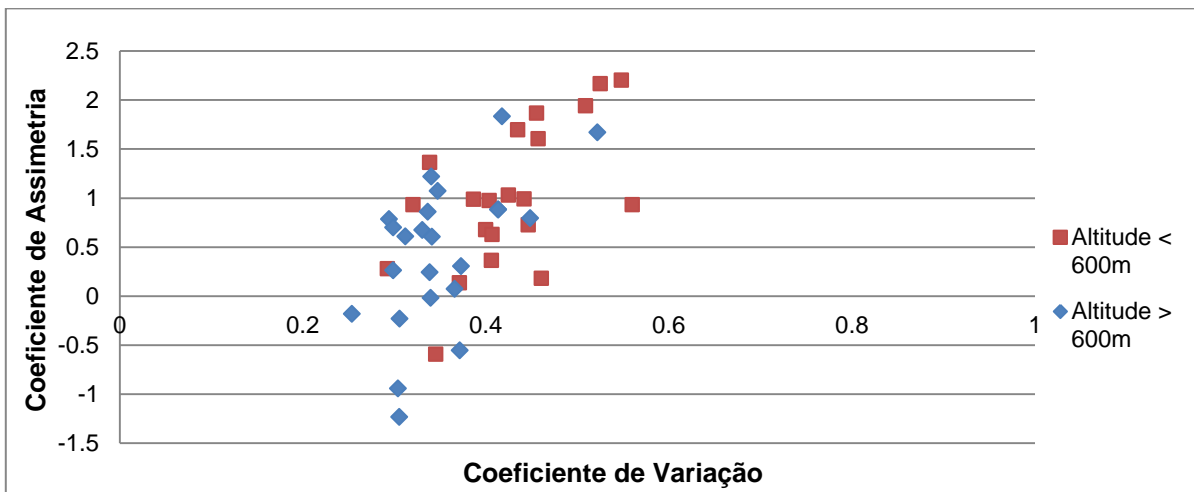


Figura 14: Teste de homogeneidade às estações utilizadas nos modelos de regionalização consoante a altitude, superior ou inferior a 600 m.

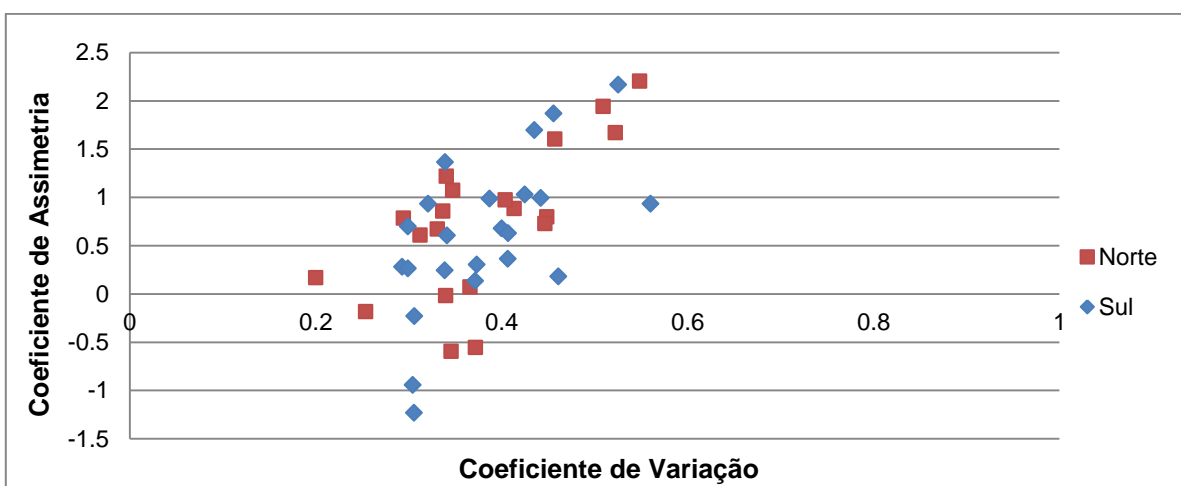


Figura 15: Teste de homogeneidade às estações utilizadas nos modelos de regionalização consoante a vertente, Norte ou Sul.

6.2.2 ANÁLISE DAS SÉRIES DE MÁXIMOS ANUAIS (SMA)

O Anexo E apresenta as representações gráficas do ajustamento das várias funções de distribuição aos registos de precipitação diária máxima anual dos vários postos de precipitação e o Anexo F os resultados do teste de Filliben a esses ajustamentos. Conclui-se que a lei de GEV, na qual se utilizou o método dos momentos lineares para estimar os parâmetros é aquela que genericamente apresenta um melhor ajustamento. Na maioria dos postos os valores das amostras ajustam-se satisfatoriamente a esta lei, o que também é confirmado pelo teste de Filliben. Uma vez que não rejeita a hipótese de que o comportamento probabilístico da variável é modelado pela distribuição teórica GEV em grande parte dos postos. O facto de a função de distribuição GEV ser constituída por três parâmetros concede-lhe uma maior flexibilidade e permite-lhe ajustar-se melhor à amostra.

Apesar de existirem outros postos onde outras distribuições apresentam pontualmente ajustamentos melhores, optou-se por adoptar uma única lei estatística para todo território da ilha da Madeira. Assim sendo, apresenta-se no Quadro 32 as precipitações diárias máximas anuais relativas aos períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos, para cada estação considerada.

Quadro 32: Precipitação diária máxima anual nas diversas estações em estudo, para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos, obtida através de um ajustamento da lei GEV às séries de máximos anuais.

Estação	Altitude (m)	Precipitação diária máxima anual (mm)			
		T=20	T=50	T=100	T=500 ⁴
Ribeira Brava	10.0	97.8	111.9	122.3	145.7
Lugar de Baixo	18.0	97.8	119.8	138.0	186.8
Caniçal	47.0	107.4	117.7	124.1	135.5
Funchal-Observatório	58.0	107.9	124.7	136.8	163.7
Santa Catarina	58.0	119.7	144.6	164.3	213.6
Ponta Delgada	108.0	196.9	264.5	328.5	536.3
Machico (PF)	154.0	146.8	179.6	205.2	268.2
Machico (ETA-IGA)	160.0	220.8	248.2	265.9	299.0
Bom Sucesso (JB)	290.0	104.3	115.1	122.3	136.4
Rosário	302	273.3	354.5	427.8	648.9
Loural	306.0	194.3	202.4	206.4	211.6
ETA de Santa Quitéria	320.0	153.3	178.3	196.5	236.6
Sanatório	380.0	156.4	194.5	226.7	315.3
Santana	415.0	201.6	241.3	271.9	345.8
Canhas	418.0	106.3	124.2	138.2	172.6
Ponta do Pargo	483.0	155.4	206.1	253.4	404.0
Ribeira Brava (ETA)	500.0	138.5	155.6	166.8	188.6
ETA do Covão	510	187.4	218.1	240.4	290.0

⁴ Segundo Chow et al. (1988), a fórmula do fator de probabilidade utilizado na função de distribuição de Pearson3 e Log-Pearson3 é recomendada para períodos de retorno que não sejam superiores a 200 anos e para coeficiente de assimetria que variem entre 3 e -3. Como tal, apesar de se ter estimado valores de precipitação diária máxima anual para T= 500 anos, é de ressaltar que estes podem estar associados a um maior erro.

Estação	Altitude (m)	Precipitação diária máxima anual (mm)			
		T=20	T=50	T=100	T=500 ⁴
Achada da Madeira	521.0	211.4	284.5	356.3	601.8
Santo António (Trapiche)	525.0	139.0	157.9	171.0	198.6
S. Jorge (ETA)	548	245.8	301.0	346.6	468.3
Cabeço do Meio	615.0	256.4	263.5	266.6	270.0
Fajã do Penedo - IGA	620	274.9	298.5	312.7	336.6
Cascalho	630	158.8	189.9	215.0	279.5
Curral das Freiras (Igreja)	636.0	192.3	195.3	196.5	197.6
Santo da Serra-IGA	660.0	203.7	224.4	237.8	263.0
P. Moniz (F. Gado)	670.0	159.8	208.6	252.5	385.4
Camacha	680.0	169.0	177.8	182.5	189.4
Vale Paraíso	730	201.2	224.0	239.0	267.6
Curral das Freiras (Poiso)	775.0	249.2	301.1	347.1	482.6
Queimadas	860.0	159.2	166.8	171.2	178.3
Ribeiro Frio	892.0	242.8	270.9	290.2	329.9
Chão dos Louros	900.0	253.5	289.2	315.2	372.8
Encumeada.S. Vicente	994.0	247.6	286.3	315.3	382.9
Lombo Furão-IGA	994.0	262.1	316.8	361.0	474.6
Encumeada (EEM)	1010.0	216.4	246.1	268.0	317.3
Rabaçal	1054.0	173.9	181.4	185.2	190.5
Chão das Feiteiras-IGA	1170.0	303.2	368.1	419.8	549.8
Caramujo	1260.0	199.3	208.7	213.7	221.2
Montado do Pereiro	1260.0	222.4	241.6	253.8	275.8
Ribeira do Alecrim	1280	242.1	279.4	307.9	375.1
Poiso (PF)	1360.0	228.0	257.6	278.3	322.2
Bica da Cana-IGA	1560.0	234.7	267.8	292.1	346.3
Areiro-IGA	1610.0	321.2	386.7	439.5	575.1

A Figura 16 apresenta a variação da precipitação diária máxima anual em função da altitude das estações, confirmando o que foi anteriormente referido que nas altitudes mais elevadas ocorrem valores mais elevados. A precipitação diária máxima anual aumenta gradualmente com a elevação da altitude. Para o caso do T= 20 anos, os valores de precipitação diária máxima anual variam entre, aproximadamente, os 100 mm e 320 mm enquanto para o caso de T= 100 anos, as precipitações encontram-se entre cerca de 120 mm e 440 mm. Este aumento da precipitação com a subida da altitude relaciona-se com o facto de os ventos de Nordeste estarem enriquecidos em humidade, devido à sua passagem pelo Oceano Atlântico, ascenderem ao atingirem a ilha e encontrarem a barreira orográfica da Madeira, o que provoca as precipitações nas zonas mais altas. No entanto, existem casos excepcionais, como as estações de Ponta Delgada e Rosário que atuam como *outliers*, considerando o T = 100 anos, uma vez que estes postos apresentam altitudes inferiores a 500 m e precipitações diárias máximas anuais superiores a 300 mm.

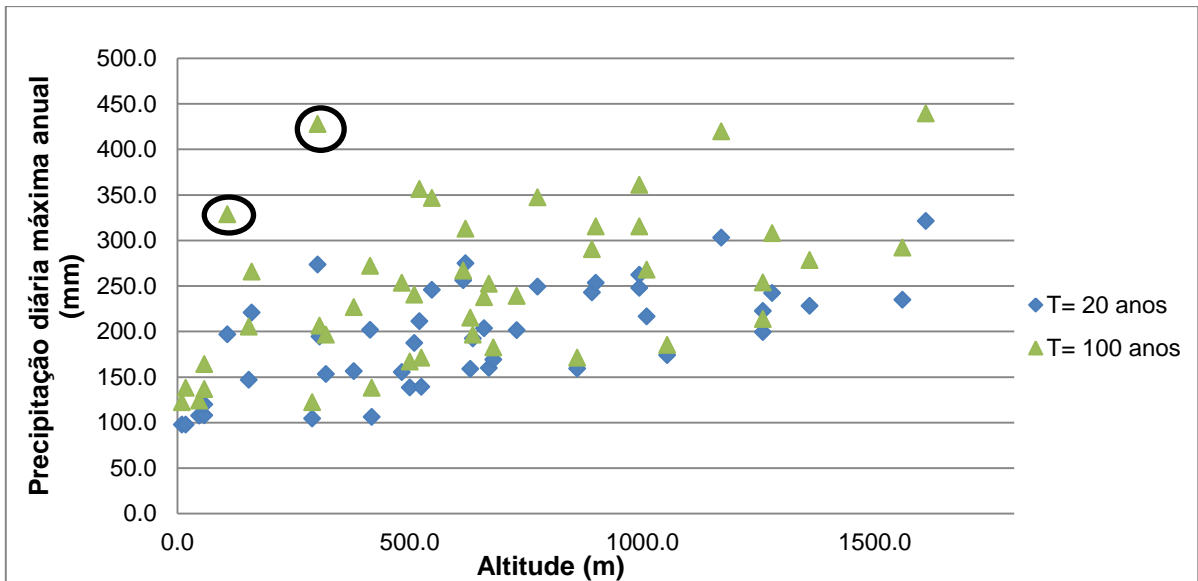


Figura 16: Representação da precipitação diária máxima anual das diversas estações em estudo consoante a sua altitude, para os períodos de retorno de 20 e 100 anos (método de SMA).

Apresenta-se também uma outra análise sobre a distribuição da precipitação em duas regiões distintas, as vertentes Norte e Sul da Ilha da Madeira (Figura 17). Com exceção da estação do Areeiro, que apresenta o maior valor de precipitação diária máxima anual, de um modo geral observa-se que grande parte das estações do Norte exibe valores superiores às estações da vertente Sul da ilha. Confirma-se assim que é a região Norte da Madeira que detém frequentemente valores extremos de precipitação superiores. Isto deve-se principalmente, tal como já foi mencionado, às massas de ar que ao depararem-se com a barreira orográfica da ilha, ascendem rapidamente ao longo da encosta Norte, acabando por arrefecer e, posteriormente, condensar a partir de cerca dos 400 m de altitude.

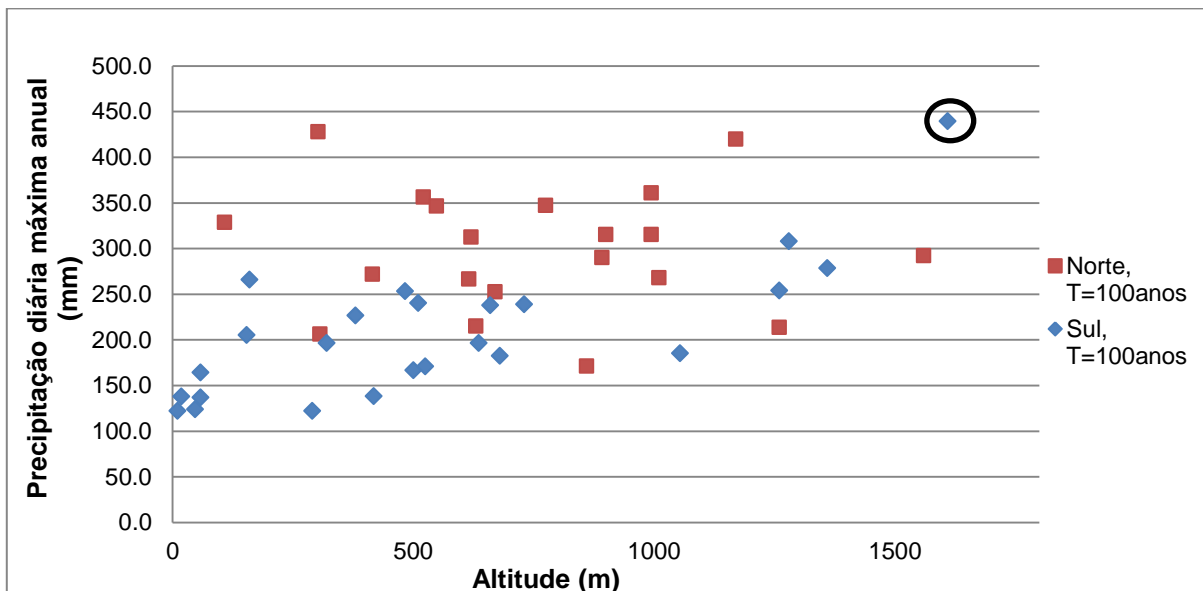


Figura 17: Representação da precipitação diária máxima anual segundo a divisão das estações em vertente Norte e Sul, para o período de retorno de 100 anos (método de SMA).

6.2.3 ANÁLISE DAS SÉRIES DE DURAÇÃO PARCIAL (SDP)

A aplicação da metodologia associada às séries de duração parcial descrita no capítulo 3.4.2 conduziu aos valores de precipitação diária máxima anual estimados no Quadro 33. Da validação das hipóteses enunciadas verifica-se ainda que o valor de nível de corte definido conduz a um número médio de valores acima de x_0 (λ) entre 1 e 6 e o índice de dispersão tende a aproximar-se de 1. Constata-se, mais uma vez, que a precipitação diária máxima anual assume valores progressivamente mais elevados à medida que altitude aumenta (Figura 18).

Quadro 33: Altitude, nível de corte, λ , DI e precipitação diária máxima anual para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos (segundo SDP).

Estação	Altitude (m)	Nível de corte (mm)	λ	Índice de dispersão, DI	Precipitação diária máxima anual (mm)			
					T=20	T=50	T=100	T=500
Machico (ETA-IGA)	160.0	40.0	5.7	0.4	166.7	205.0	238.8	337.2
B. Sucesso (JB)	290.0	28.1	6.0	0.6	110.9	130.0	145.3	183.9
Santa Quitéria (ETA)	320.0	26.7	5.9	0.4	119.3	143.3	162.8	213.0
Ribeira Brava (ETA)	500.0	31.7	5.8	0.4	117.3	135.2	149.3	183.4
ETA do Covão	510.0	37.3	5.7	0.4	170.4	227.9	286.2	495.1
Achada da Madeira	521.0	51.9	5.9	0.6	188.6	224.0	254.5	340.2
S. Jorge (ETA)	548.0	52.2	6.0	0.6	211.4	256.4	295.4	405.4
Cabeço do Meio	615.0	74.4	6.0	0.6	245.9	274.2	295.1	342.4
Fajã do Penedo (IGA)	620.0	54.7	5.3	0.4	191.0	226.9	258.6	350.6
Cascalho	630.0	50.3	5.4	0.3	155.9	166.8	173.8	186.6
Vale Paraíso	730.0	45.6	5.8	0.4	187.2	222.7	251.8	327.4
Curral das Freiras (Poiso)	775.0	77.1	5.9	0.4	241.3	256.4	265.5	281.1
Encumeada (EEM)	1010.0	61.8	5.3	0.6	234.3	262.4	282.1	323.1
Rabaçal	1054.0	59.2	5.5	0.6	207.8	230.0	245.5	277.5

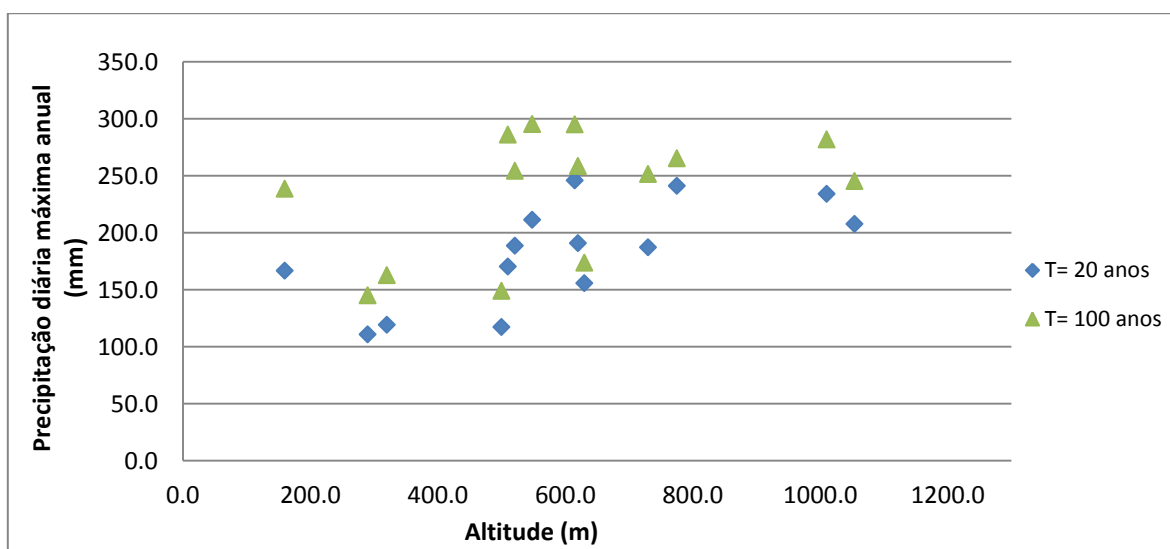


Figura 18: Representação da precipitação diária máxima anual das diversas estações em estudo consoante a sua altitude, para os períodos de retorno de 20 e 100 anos (método de SDP).

Com os resultados obtidos é possível comparar os valores de precipitação diária máxima anual estimados através de ambos os métodos (SMA e SDP) para as estações com durações de registo entre 15 e 20 anos (Quadro 34). Verifica-se que os resultados de ambos os métodos são da mesma ordem de grandeza mas que, na maioria dos casos, a análise das séries de duração parcial conduz a valores de precipitação diária máxima anual mais elevados. Por essa razão utilizaram-se os resultados da SDP nos passos de cálculo subsequentes para os postos com duração de registo entre 15 e 20 anos.

Quadro 34: Precipitação diária máxima anual das estações que contêm séries entre os 15 e 20 anos, segundo as metodologias SDP e SMA.

Estação	Altitude (m)	Precipitação diária máxima anual (mm)							
		T= 20 anos		T= 50 anos		T= 100 anos		T= 500 anos	
		SDP	SMA	SDP	SMA	SDP	SMA	SDP	SMA
B. Sucesso (JB)	290.0	110.9	104.3	130.0	115.1	145.3	122.3	183.9	136.4
S. Jorge (ETA)	548.0	211.4	245.8	256.4	301.0	295.4	346.6	405.4	468.3
Encumeada (EEM)	1010.0	234.3	216.4	262.4	246.1	282.1	268.0	323.1	317.3
Rabaçal	1054.0	207.8	173.9	230.0	181.4	245.5	185.2	277.5	190.5

6.2.4 MAPAS DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA MÁXIMA ANUAL

Tendo como base os valores de precipitação diária máxima anual estimados através dos métodos de SMA e SDP para as 44 estações do estudo, produziram-se dois mapas para cada um dos períodos de retorno definidos, T= 20, 50, 100 e 500 anos, segundo as duas técnicas geo-estatísticas, krigagem e cokrigagem (Figuras 21, 22, 23 e 24). A distribuição espacial das 44 estações utilizadas no estudo não é uniforme no território da ilha, e existem algumas zonas onde o número de estações não é satisfatório, como é o caso do sudoeste da ilha entre a Ponta do Sol e a Ponta do Pargo (Figura 19). Resulta daqui que as estimativas da precipitação para aquela zona estarem associadas a uma incerteza importante.

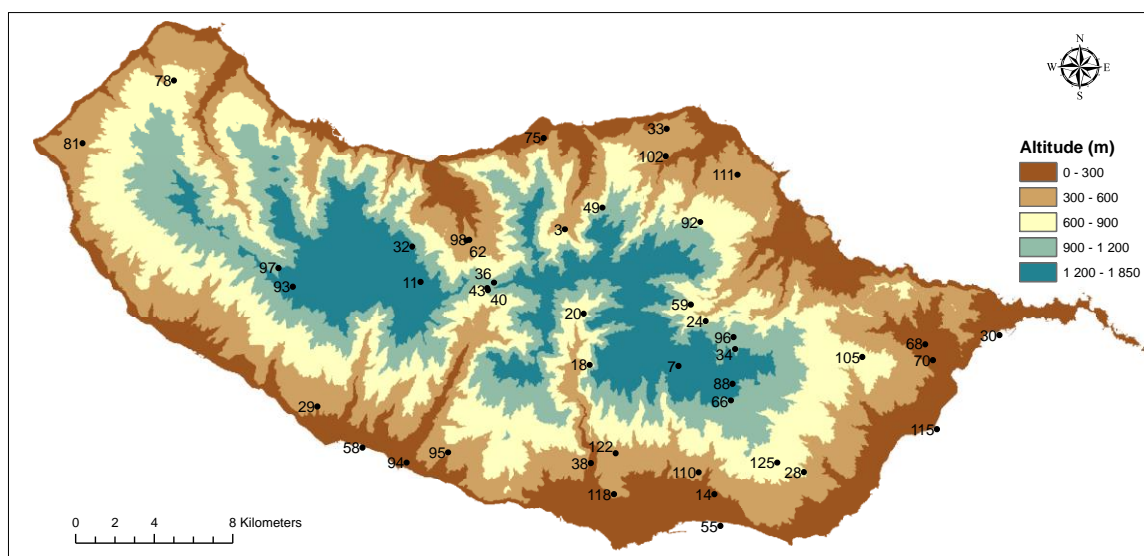


Figura 19: Estações utilizadas no mapeamento da distribuição espacial da precipitação diária máxima anual em todo o território da ilha da Madeira (números de identificações descritos no Quadro 17).

A reunião dos valores estimados de precipitação, através das análises SMA e SDP (Figura 20), serviu de base à realização da krigagem e cokrigagem e posterior obtenção dos mapas de distribuição espacial da precipitação diária máxima anual (Figuras 21, 22, 23 e 24). Os semi-variogramas associados à co-krigagem são apresentados no Anexo G.

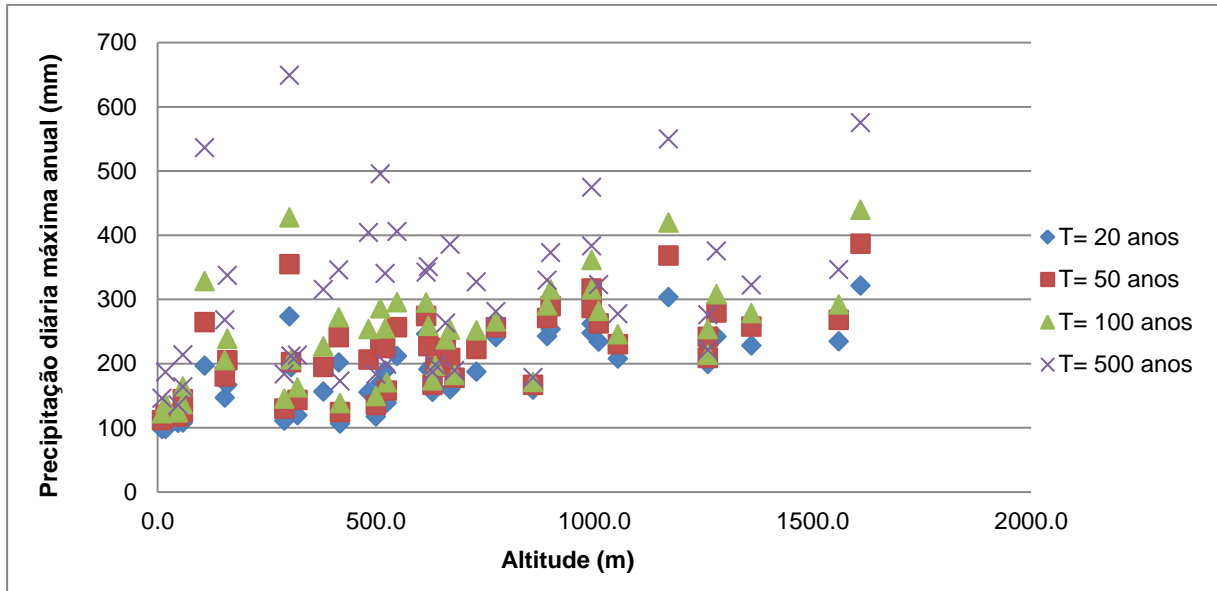
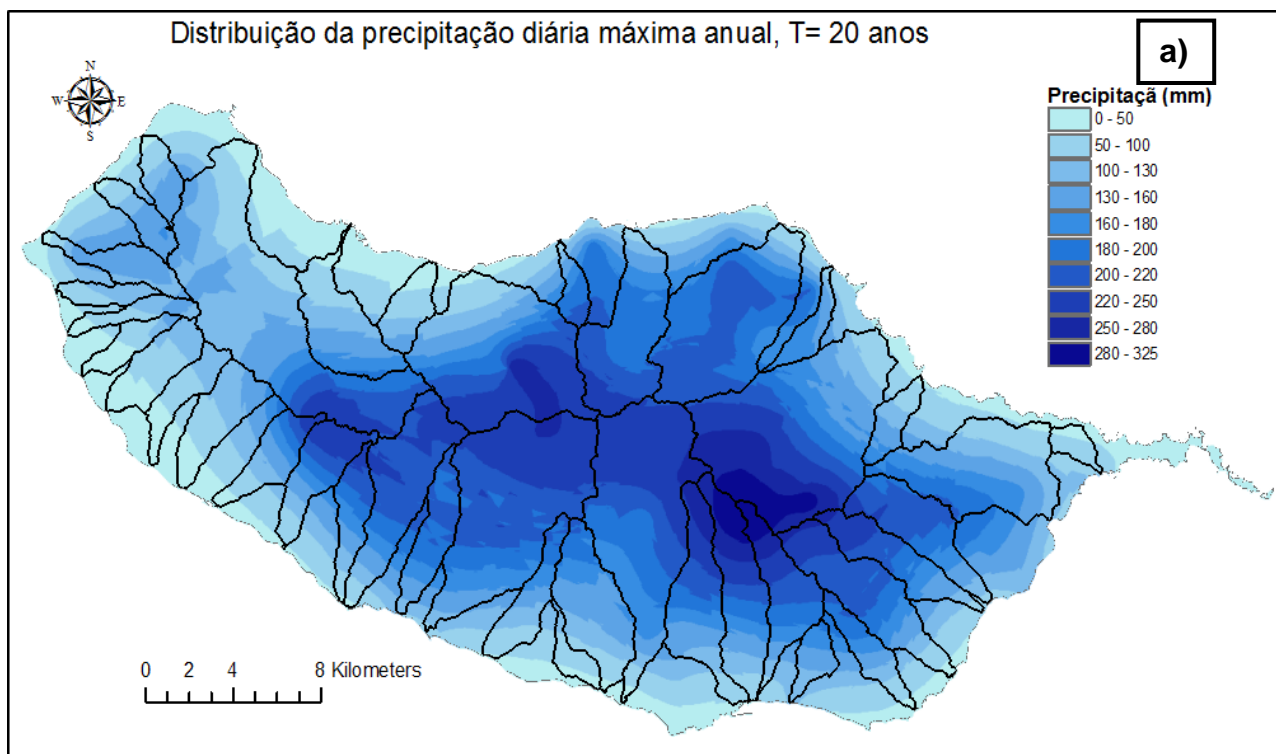


Figura 20: Representação da precipitação diária máxima anual das diversas estações em estudo consoante a sua altitude, para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 550 anos (método de SMA e SDP).



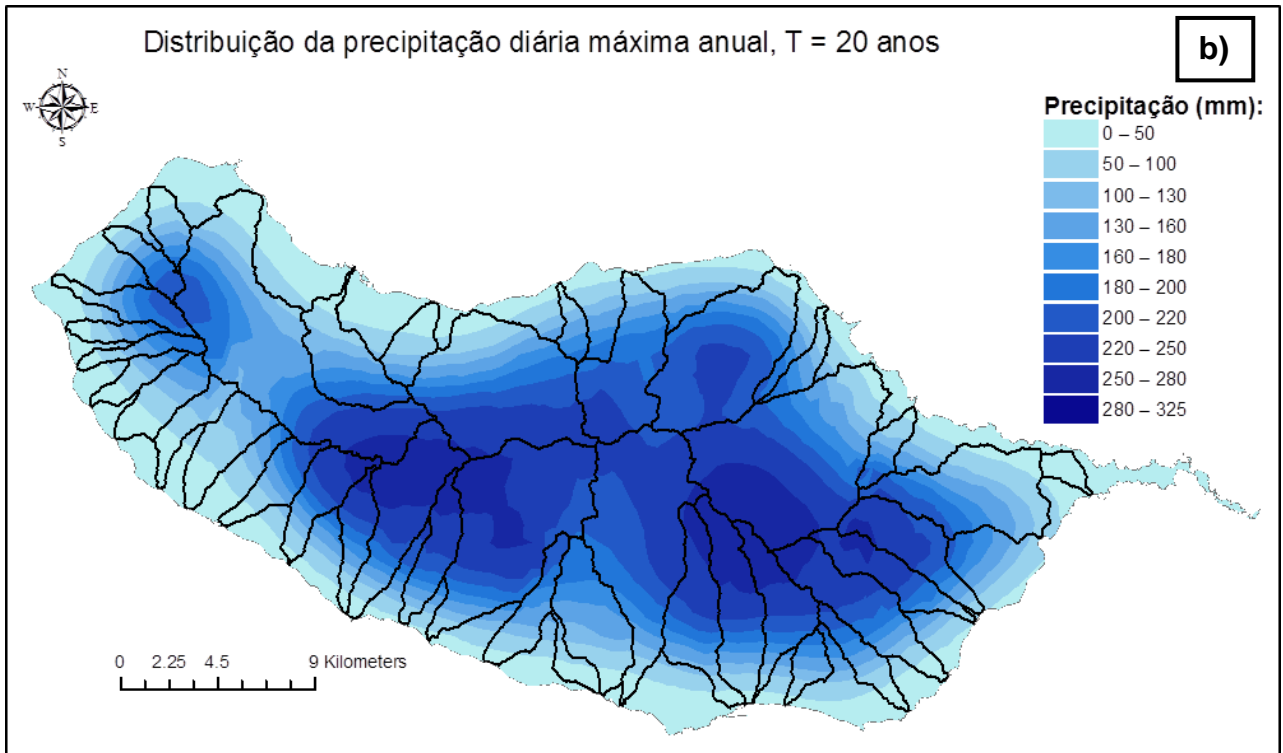
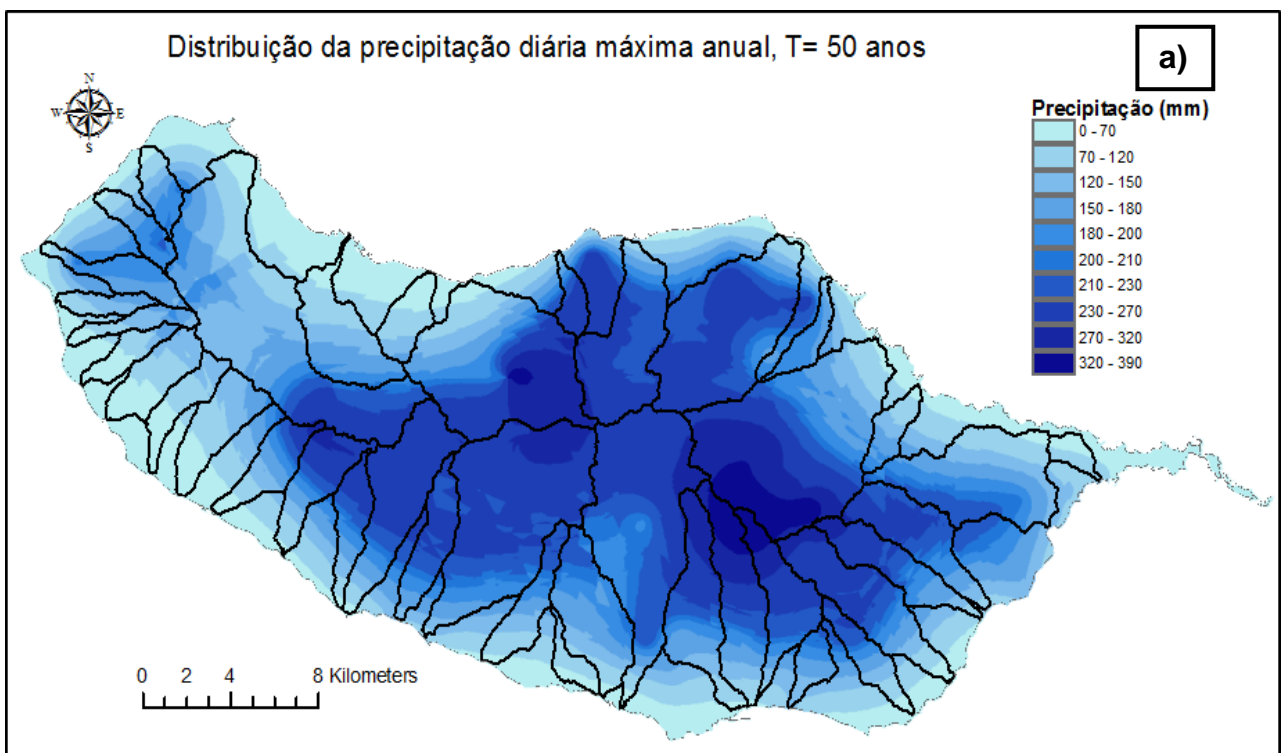


Figura 21: Distribuição da precipitação diária máxima anual na Madeira para o período de retorno de 20 anos, segundo: a) krigagem; b) cokrigagem.



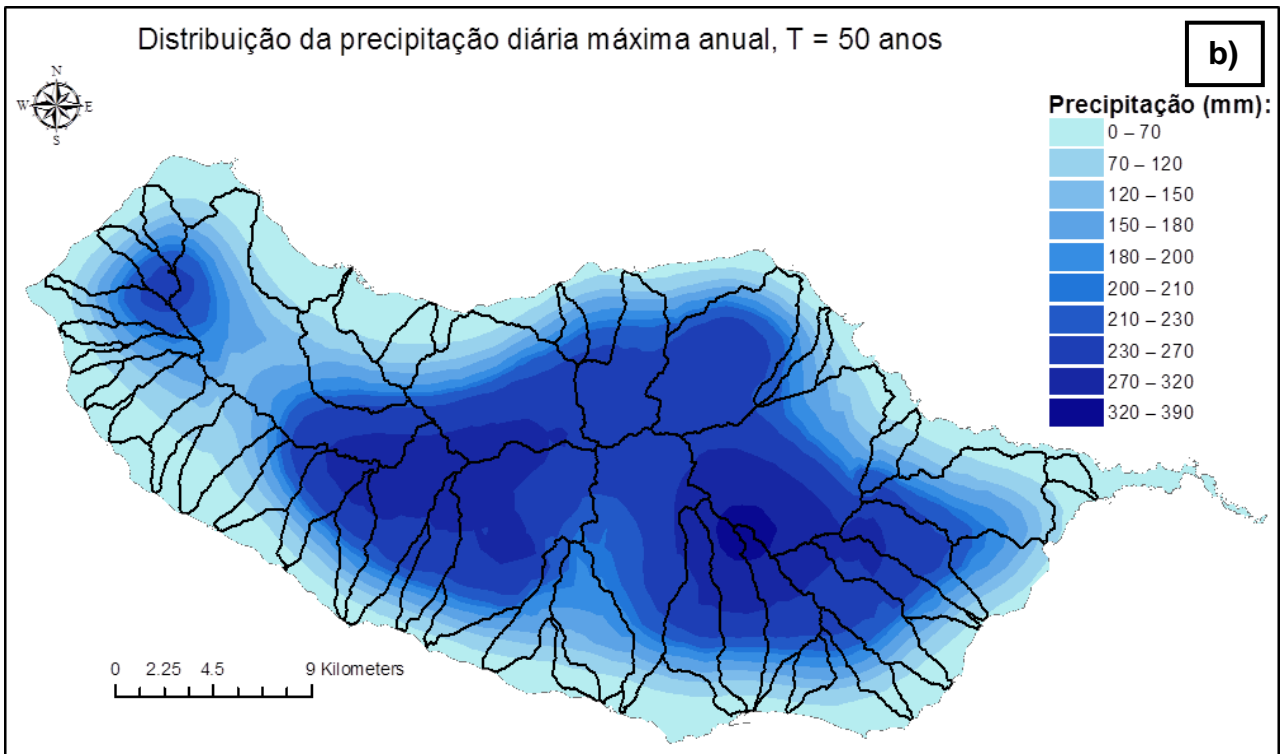
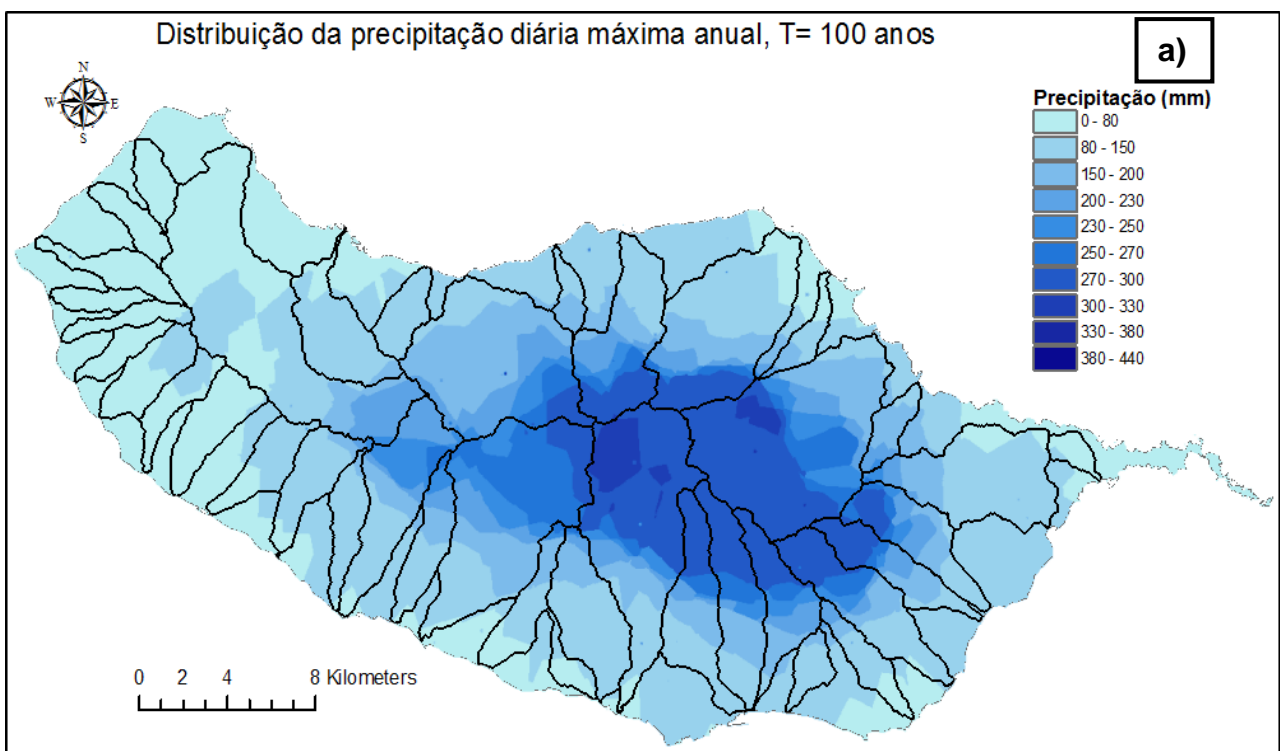


Figura 22: Distribuição da precipitação diária máxima anual na Madeira para o período de retorno de 50 anos, segundo: a) krigagem; b) cokrigagem.



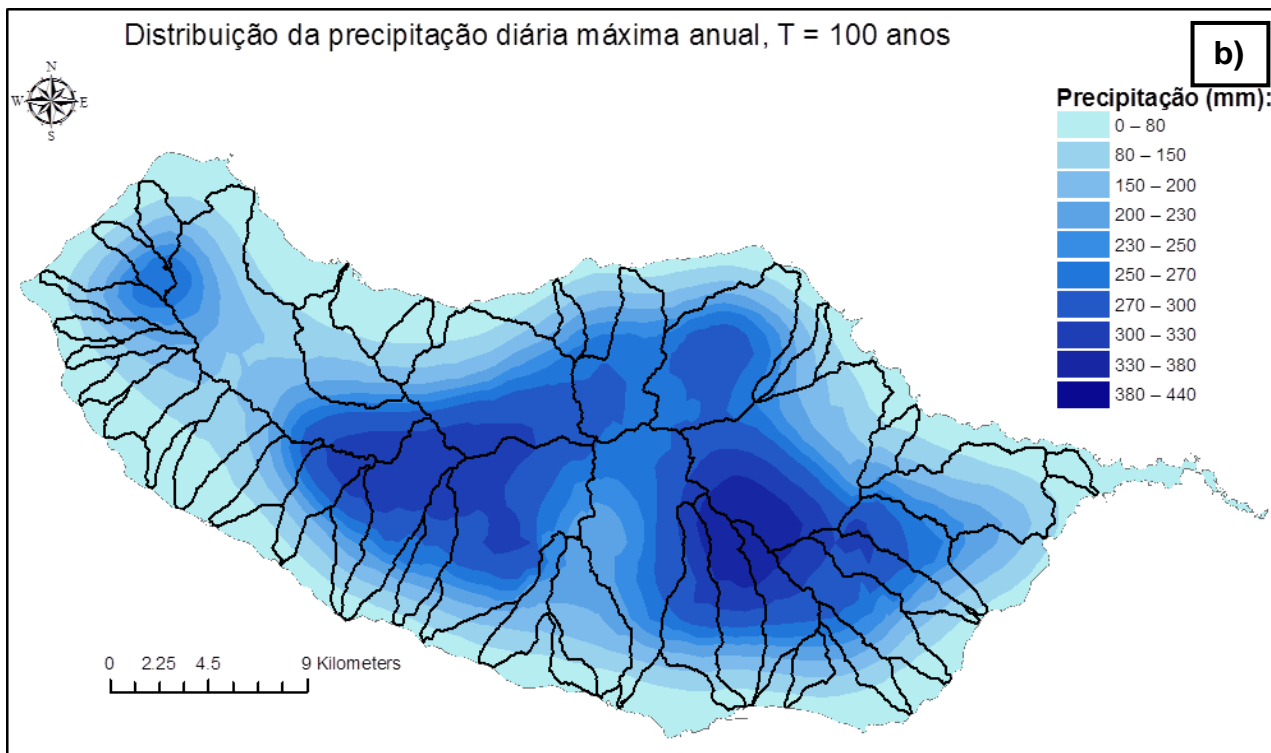
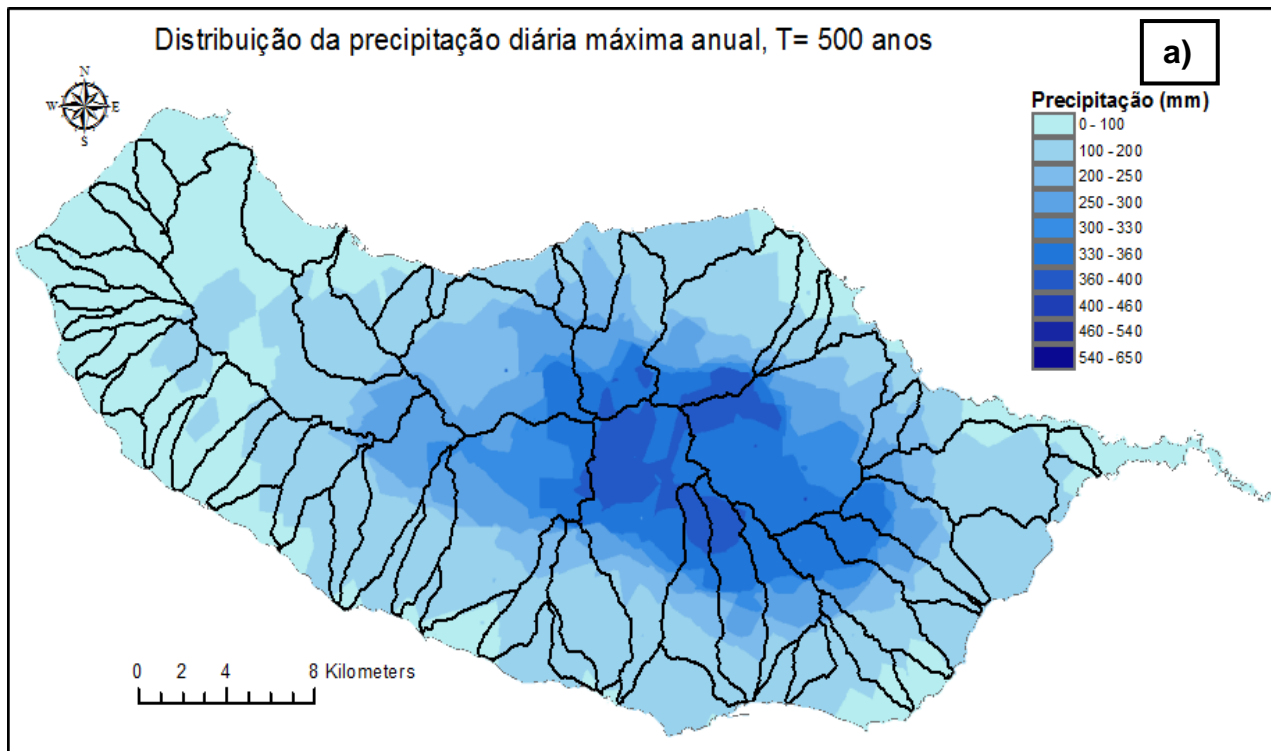


Figura 23: Distribuição da precipitação diária máxima anual na Madeira para o período de retorno de 100 anos, segundo: a) krigagem; b) cokrigagem.



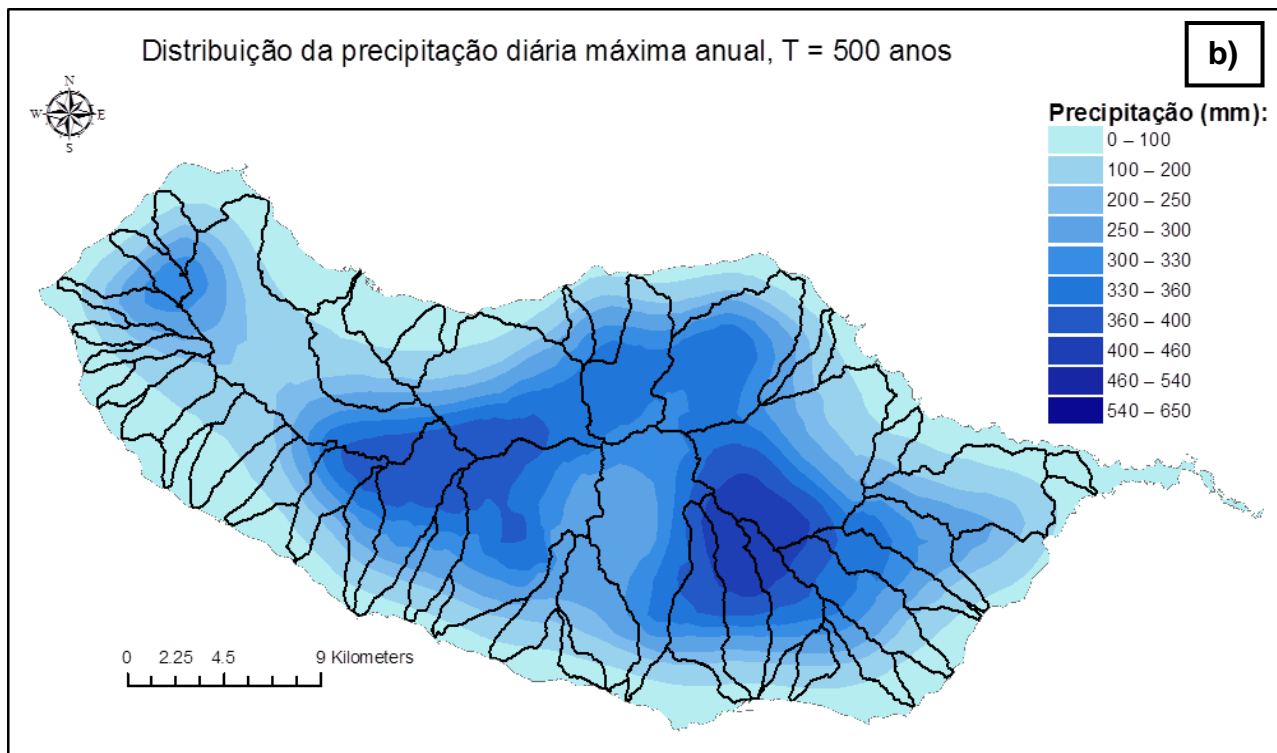


Figura 24: Distribuição da precipitação diária máxima anual na Madeira para o período de retorno de 500 anos, segundo: a) krigagem; b) cokrigagem.

Na generalidade dos mapas são perceptíveis as zonas da ilha onde normalmente ocorrem precipitações mais elevadas, uma vez que estas se associam aos locais com altitudes mais elevadas, como é o caso da zona da cordilheira central da Madeira. Ainda que não seja tão evidente, verifica-se também nos mapas que na vertente Norte ocorrem precipitações ligeiramente mais elevadas. Observa-se ainda que certas bacias hidrográficas como, por exemplo, Ribeira Brava, Ribeira dos Socorridos, Ribeira de São Vicente e as três bacias constituintes da zona do Funchal (Ribeira de São João, Ribeira de Santa Luzia e Ribeira de João Gomes), apresentam a montante elevados valores de precipitações, o que corrobora o facto de estas serem zonas bastante afetadas em situações de eventos extremos de precipitação na ilha da Madeira.

A comparação dos valores de precipitação diária máxima anual calculados nos vários postos (por SMA ou SDP) com os valores estimados, para o mesmo local, por krigagem e cokrigagem, sugere uma subestimação da precipitação estimada por cokrigagem, principalmente nos postos que se localizam a baixas altitudes para períodos de retorno de 20 e 50 anos. Este efeito é evidente na Figura 25 que apresenta os valores de precipitação diária máxima anual para T= 50 anos obtidos pelas duas técnicas estatísticas e compara-os com os valores estimados para os vários postos. Uma análise semelhante para os períodos de retorno de 500 anos revela que em alguns postos as duas técnicas geo-estatísticas subestimam os valores de precipitação diária máxima anual estimados, sendo que essa diferença é mais significativa para as estimativas por krigagem (Figura 26). Esta incerteza nas estimativas da precipitação diária máxima anual origina incerteza e potenciais incoerências nos valores de caudal de ponta de cheia.

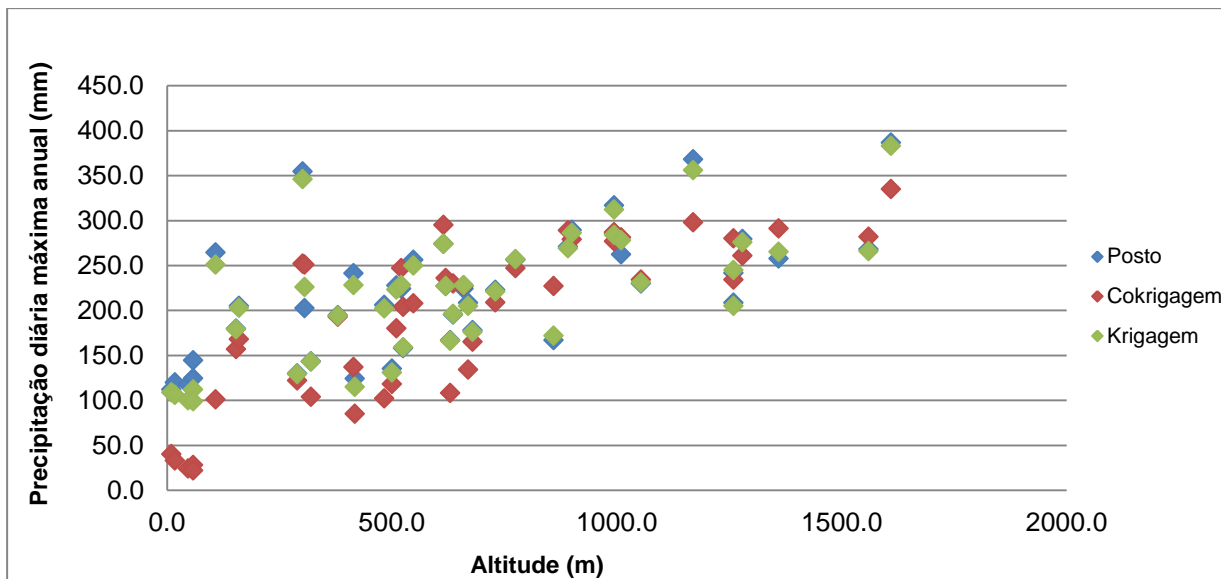


Figura 25: Precipitação diária máxima anual (mm) estimada por SMA ou SDP, cokrigagem e krigagem, para diferentes postos (T= 50 anos).

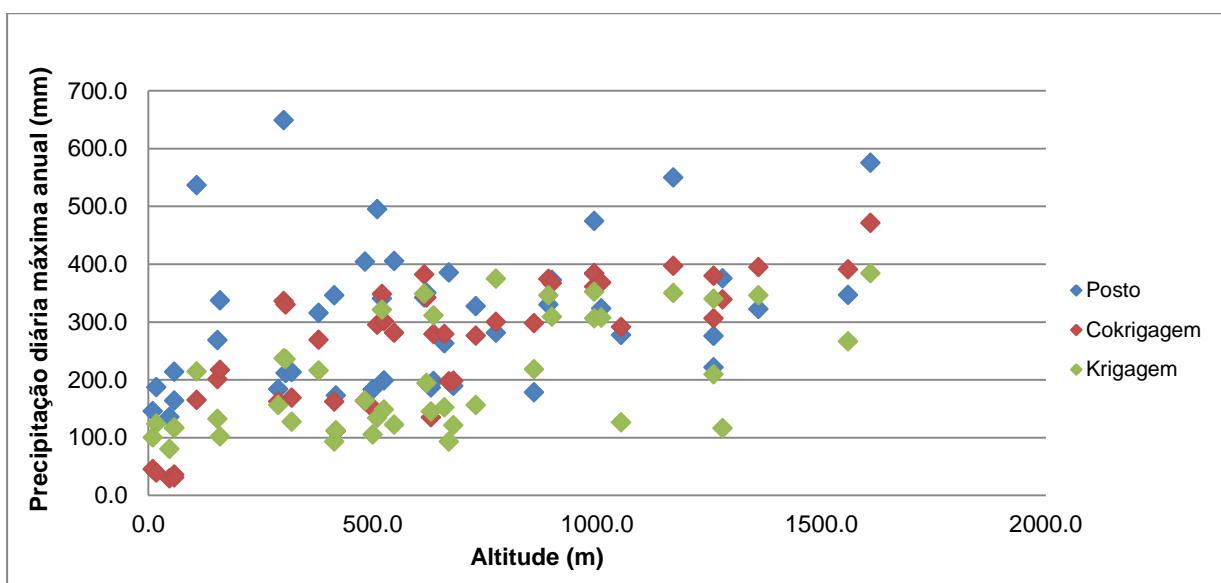


Figura 26: Precipitação diária máxima anual (mm) estimada por SMA ou SDP, cokrigagem e krigagem, para diferentes postos (T= 500 anos).

Apesar das limitações verificadas, optou-se por recorrer à cokrigagem para obter os valores de precipitação diária máxima anual média a utilizar. No entanto, admite-se que os valores de caudal de ponta de cheia das bacias hidrográficas localizadas na orla costeira poderão estar a ser subestimados devido ao efeito da altitude.

6.3 RATIOS DE PRECIPITAÇÃO

O conhecimento dos valores dos ratios entre a precipitação máxima anual para durações sub-diárias e a precipitação diária máxima anual permite determinar os valores de precipitação máxima anual

para durações sub-diárias em locais equipados com udómetros que apenas registem a precipitação diária. Aplicando a metodologia apresentada no Capítulo 3.6 estimaram-se os valores dos ratios de precipitação para cada um dos anos do registo de 34 postos. As Figuras 27, 28, 29, 30 e 31 apresentam esses resultados e o valor da mediana em cada posto. O Anexo H apresenta os valores dos quocientes que deram origem às figuras aqui apresentadas.

Os postos estão ordenados da esquerda para a direita por ordem crescente de altitude para procurar verificar alguma eventual variabilidade espacial destes valores de ratios. Apesar de ocorrerem variações ao longo dos postos à medida que a altitude destes aumenta, de um modo geral, a relação entre as precipitações (de 1h, 3h, 6h, 12h e 24h) e a precipitação diária vai-se mantendo, usualmente, dentro de um determinado intervalo de valores. Por exemplo, para o caso do ratio 24h/1D (Figura 31), observa-se que os valores do ratio de precipitação variam entre 1 e 1.4.

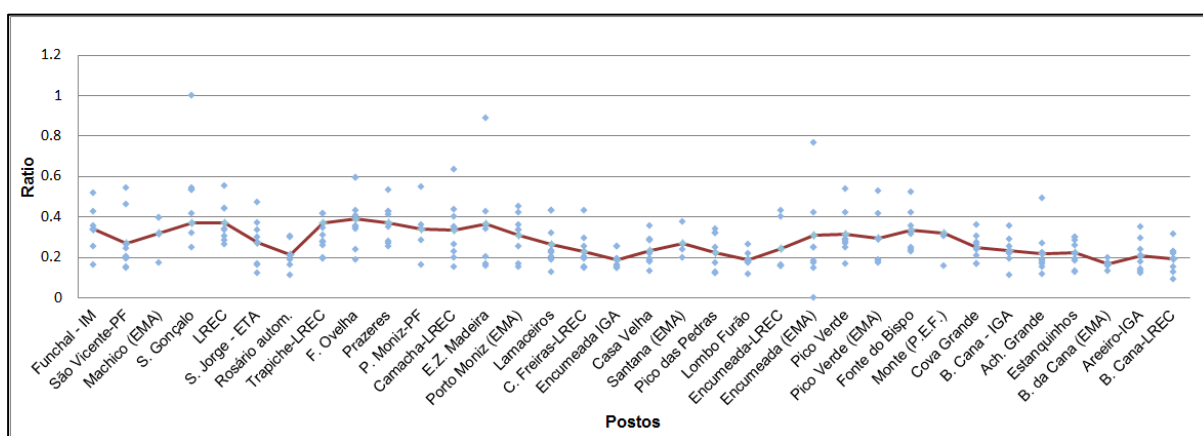


Figura 27: Ratios de precipitação calculados para a duração de 1h, para cada uma das estações (organizadas da esquerda para a direita de acordo com a sua altitude).

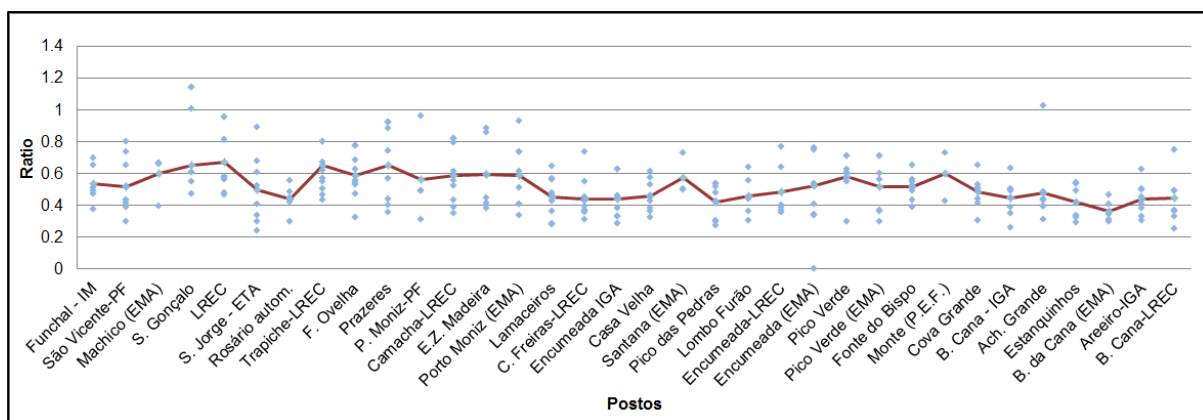


Figura 28: Ratios de precipitação calculados para a duração de 3h, para cada uma das estações (organizadas da esquerda para a direita de acordo com a sua altitude).

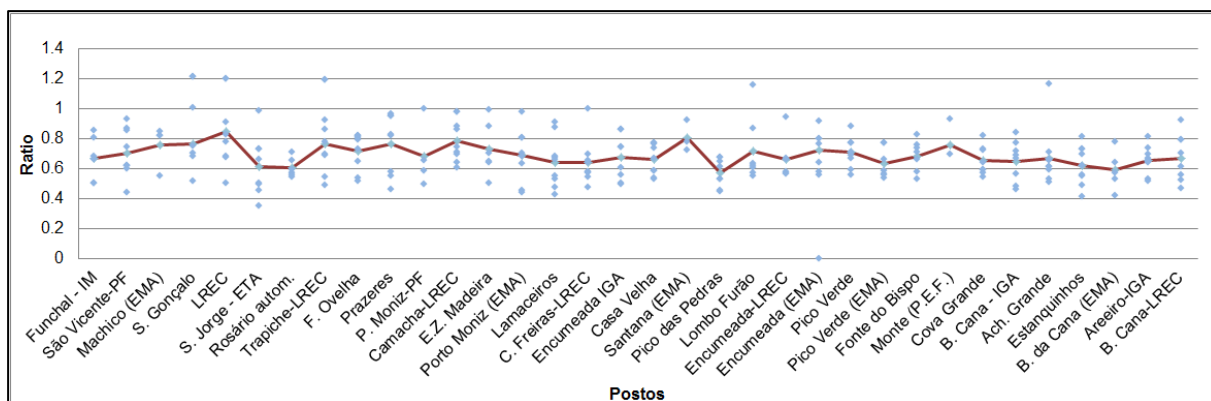


Figura 29: Ratios de precipitação calculados para a duração de 6h, para cada uma das estações (organizadas da esquerda para a direita de acordo com a sua altitude).

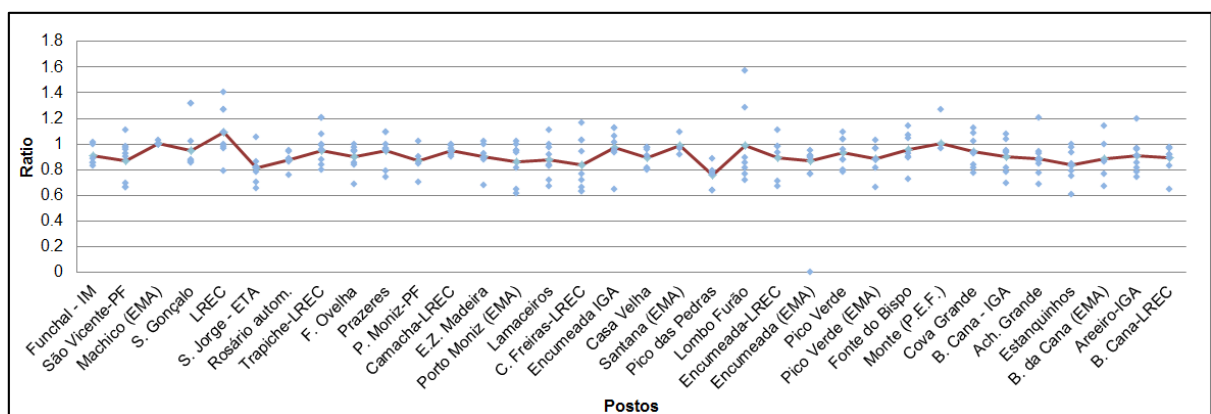


Figura 30: Ratios de precipitação calculados para a duração de 12h, para cada uma das estações (organizadas da esquerda para a direita de acordo com a sua altitude).

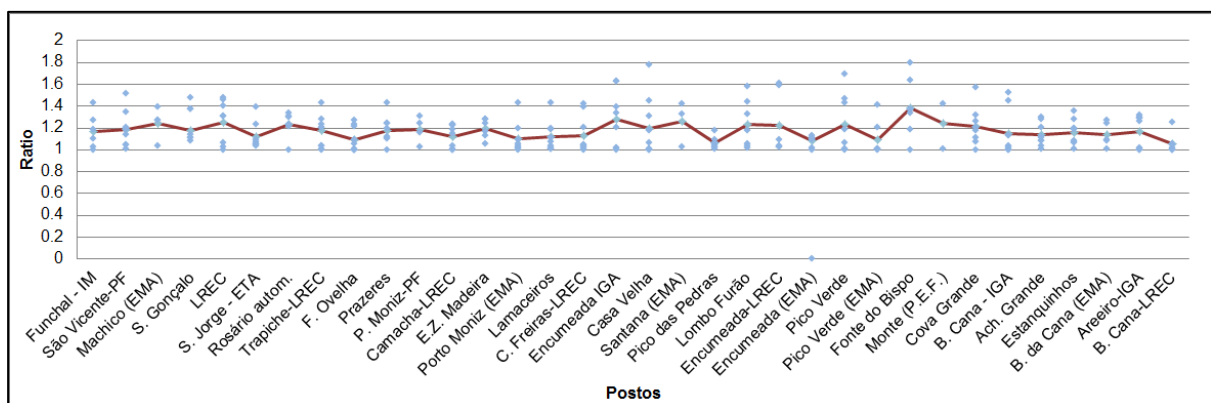


Figura 31: Ratios de precipitação calculados para a duração de 24h, para cada uma das estações (organizadas da esquerda para a direita de acordo com a sua altitude).

O Quadro 35 apresenta os valores mínimos, máximos, médios e medianos dos ratios de precipitação para as durações de tempo de 1h, 3h, 6h, 12h e 24h. Apesar de a diferença entre os valores referentes aos ratios médios e medianos não ser significativa, neste estudo optou-se por utilizar o valor da mediana dos diferentes ratios, em detrimento da média, para atenuar o efeito dos *outliers*. Refira-se a título de exemplo, o caso do ratio de 6h/1D em que se verifica que o valor da média é ligeiramente superior ao da mediana por estar a ser afetado por valores de precipitação (e consequentemente ratios) elevados.

Quadro 35: Valores mínimos, máximos, médios e medianos dos ratios de precipitação referentes às durações de 1h, 3h, 6h, 12h e 24h.

	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
1h/1D	0.17	0.51	0.28	0.27
3h/1D	0.36	0.79	0.52	0.52
6h/1D	0.57	0.87	0.70	0.68
12h/1D	0.76	1.11	0.92	0.90
24h/1D	1.05	1.39	1.18	1.18

7. AVALIAÇÃO DO CAUDAL DE PONTA DE CHEIA

Conforme descrito no Capítulo 3.8, os caudais de ponta de cheia referentes às 39 bacias hidrográficas em estudo com diferentes períodos de retorno foram calculados pelo *software* HEC-HMS, assumindo o hidrograma unitário do SCS e um número de escoamento CN para condições de humidade do solo AMCIII. Os valores de caudal de ponta de cheia estimados para as bacias hidrográficas em estudo, dispostos por ordem crescente de área são apresentados no Quadro 36 e Figura 32.

As situações que têm um maior risco de cheia associada verificam-se, usualmente, nas povoações localizadas junto à beira-mar, próximas dos leitos das ribeiras, coincidindo estas com as áreas com maiores aglomerados urbanos da ilha da Madeira como, por exemplo, o Funchal, Ribeira Brava, a Ponta do Sol, São Vicente, Machico e Santa Cruz.

Quadro 36: Caudal de ponta de cheia (Q_p , m^3/s) e caudal de ponta de cheia específico (q_p , $m^3/s/km^2$) para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos.

Bacia	Área (km^2)	T= 20 anos		T= 50 anos		T= 100 anos		T= 500 anos	
		Q_p (m^3/s)	q_p ($m^3/s/km^2$)	Q_p (m^3/s)	q_p ($m^3/s/km^2$)	Q_p (m^3/s)	q_p ($m^3/s/m^2$)	Q_p (m^3/s)	q_p ($m^3/s/m^2$)
Ribeira do Serrado	2.6	0.8	0.3	1.9	0.7	1.9	0.7	3.2	1.2
Ribeira da Caldeira	3.1	9.2	2.9	12.9	4.1	14.6	4.6	21.7	6.9
Ribeiro da Carnisa	3.3	34.0	10.2	48.5	14.6	53.1	16.0	71.4	21.5
Ribeira dos Câmbios	3.6	24.1	6.8	29.1	8.2	31.2	8.8	38.4	10.8
Ribeira de São Gonçalo	3.9	39.5	10.1	48.7	12.4	53.7	13.7	67.4	17.2
Ribeiro dos Pregos	4.2	30.0	7.2	36.9	8.9	39.1	9.4	47.3	11.4
Ribeira dos Marinheiros	4.3	35.8	8.3	38.8	9.0	41.2	9.6	48.1	11.2
Ribeira das Galinhas	4.5	21.1	4.7	22.9	5.1	23.4	5.3	27.2	6.1
Ribeira do Juncal	4.6	43.8	9.5	47.8	10.4	46.8	10.2	51.7	11.3
Ribeira do Tristão	4.8	30.5	6.4	43.5	9.1	49.0	10.3	66.3	13.9
Ribeira da Cruz	5.0	48.0	9.6	59.1	11.8	66.2	13.2	83.4	16.7
Ribeira do Inferno	5.9	28.1	4.7	29.4	5.0	30.2	5.1	36.7	6.2
Ribeiro do Caniço	6.1	51.8	8.6	61.7	10.2	67.2	11.1	82.7	13.7
Ribeira Funda	6.2	24.5	4.0	26.0	4.2	26.3	4.3	30.6	4.9
Ribeira dos Moinhos	6.8	73.8	10.9	88.8	13.1	98.3	14.5	122.3	18.0
Ribeira de Santiago	6.9	77.0	11.1	89.2	12.9	97.5	14.1	115.9	16.7
Ribeira da Atoguia	7.6	79.9	10.5	92.5	12.1	96.3	12.6	111.2	14.6
Ribeira do Campanário	7.7	59.9	7.8	68.3	8.8	75.9	9.8	95.3	12.3
Ribeira Seca	8.8	40.9	4.7	42.4	4.8	42.5	4.8	48.9	5.6
Ribeira da Tabúa	8.8	121.0	13.8	136.8	15.5	149.0	16.9	175.5	19.9
Ribeira da Madalena	9.6	128.8	13.5	147.3	15.4	160.4	16.8	189.8	19.8
Ribeira de S. Bartolomeu	10.0	47.1	4.7	53.6	5.4	54.2	5.4	63.5	6.3
Ribeira da Boaventura	10.4	136.9	13.1	151.7	14.5	165.1	15.8	195.3	18.7
Ribeira de João Gomes	11.4	159.5	14.0	188.0	16.5	214.4	18.8	275.8	24.2
Ribeira de Santa Cruz	12.9	158.6	12.3	176.1	13.7	188.9	14.7	218.3	17.0

Bacia	Área (km ²)	T= 20 anos		T= 50 anos		T= 100 anos		T= 500 anos	
		Q _p (m ³ /s)	q _p (m ³ /s/km ²)	Q _p (m ³ /s)	q _p (m ³ /s/km ²)	Q _p (m ³ /s)	q _p (m ³ /s/m ²)	Q _p (m ³ /s)	q _p (m ³ /s/m ²)
Ribeira do Seixal	13.9	117.4	8.4	125.0	9.0	131.5	9.5	151.7	10.9
Ribeira de São João	15.1	194.2	12.9	229.4	15.2	260.3	17.3	337.4	22.4
Ribeira do Vigário	15.4	116.0	7.5	135.3	8.8	155.5	10.1	218.4	14.2
Ribeira de Santa Lúzia	15.6	213.4	13.7	252.8	16.2	286.1	18.3	366.8	23.5
Ribeira do Porto Novo	17.1	175.7	10.3	199.0	11.6	220.3	12.9	269.2	15.8
Ribeira da Ponta do Sol	19.2	273.3	14.3	308.9	16.1	344.4	18.0	418.5	21.8
Ribeira do Porco	20.1	243.6	12.1	291.3	14.5	325.2	16.2	421.4	20.9
Ribeira de Machico	24.3	183.8	7.6	221.7	9.1	232.7	9.6	280.4	11.6
Ribeira de S. Jorge	32.2	346.7	10.8	410.5	12.7	460.3	14.3	587.7	18.2
Ribeira de São Vicente	38.3	443.4	11.6	530.8	13.9	580.8	15.2	727.6	19.0
Ribeira dos Socorridos	38.7	430.1	11.1	482.9	12.5	522.2	13.5	633.3	16.4
Ribeira Brava	40.9	548.0	13.4	616.0	15.1	674.5	16.5	809.5	19.8
Ribeira do Faial	49.5	650.8	13.2	760.5	15.4	829.2	16.8	1014.4	20.5
Ribeira da Janela	51.7	330.1	6.4	368.2	7.1	400.4	7.8	477.8	9.2

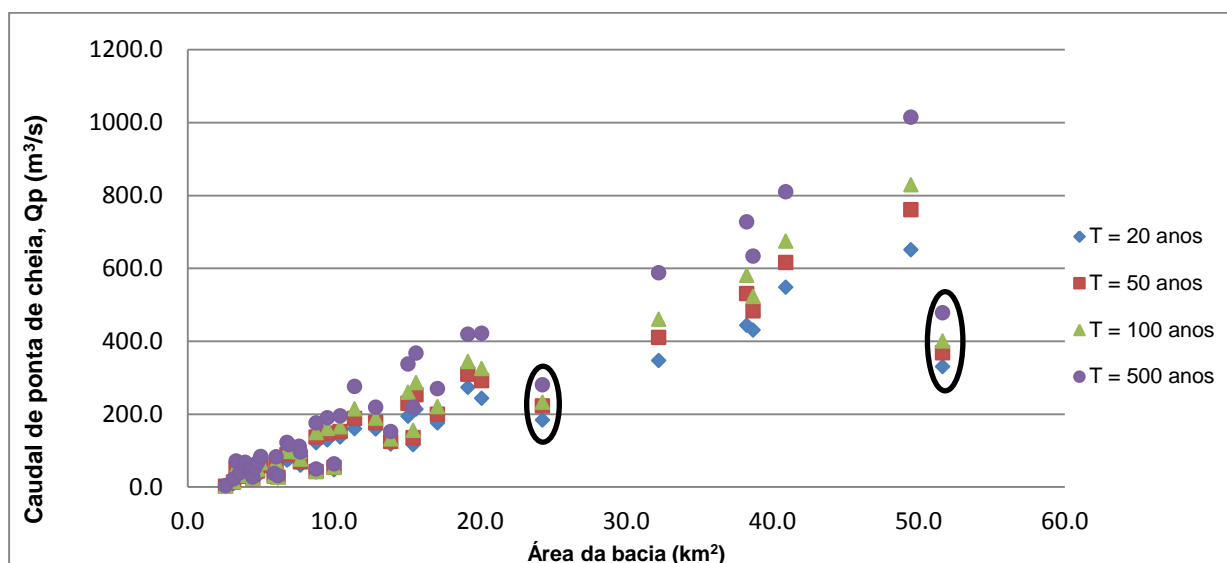


Figura 32: Caudal de ponta de cheia para todas as bacias hidrográficas em estudo, consoante os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos.

O Quadro 36 e a Figura 32 apresentam a relação esperada de aumento do caudal de ponta de cheia com a área da bacia hidrográfica. Destacam-se principalmente duas exceções a esta regra, tanto na bacia hidrográfica da Ribeira de Machico como na Ribeira da Janela, sendo que estas se encontram assinaladas na figura. Apesar da área das bacias ser consideravelmente elevada, os caudais de ponta associados a estas apresentam-se menores do que seria suposto, o que poderá relacionar-se com o facto de as precipitações resultantes do mapeamento (por cokrigagem) naquelas zonas serem relativamente baixas (Figuras 21, 22, 23 e 24). Existem ainda outros fatores como, por exemplo, o tipo de solos existentes (associado ao número de escoamento), uso do solo, as características da

rede hidrográfica e orografia das bacias hidrográficas que também influenciam os valores de caudais estimados.

As figuras que se seguem apresentam os valores de caudal de ponta específico (i.e caudal de ponta de cheia por unidade de superfície) para os períodos de retorno de 20 e 50 anos (Figura 33) e períodos de retorno 100 e 500 anos (Figura 34).

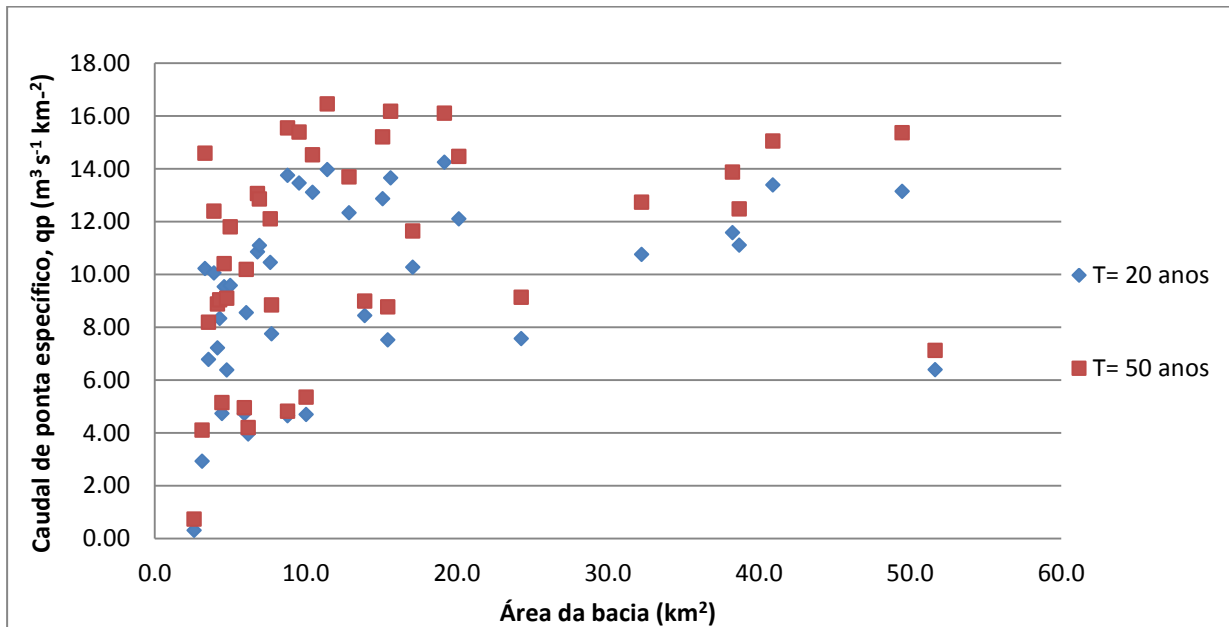


Figura 33: Caudal específico de ponta de cheia ordenado consoante a área de cada bacia hidrográfica em estudo, para os períodos de retorno de 20 e 50 anos.

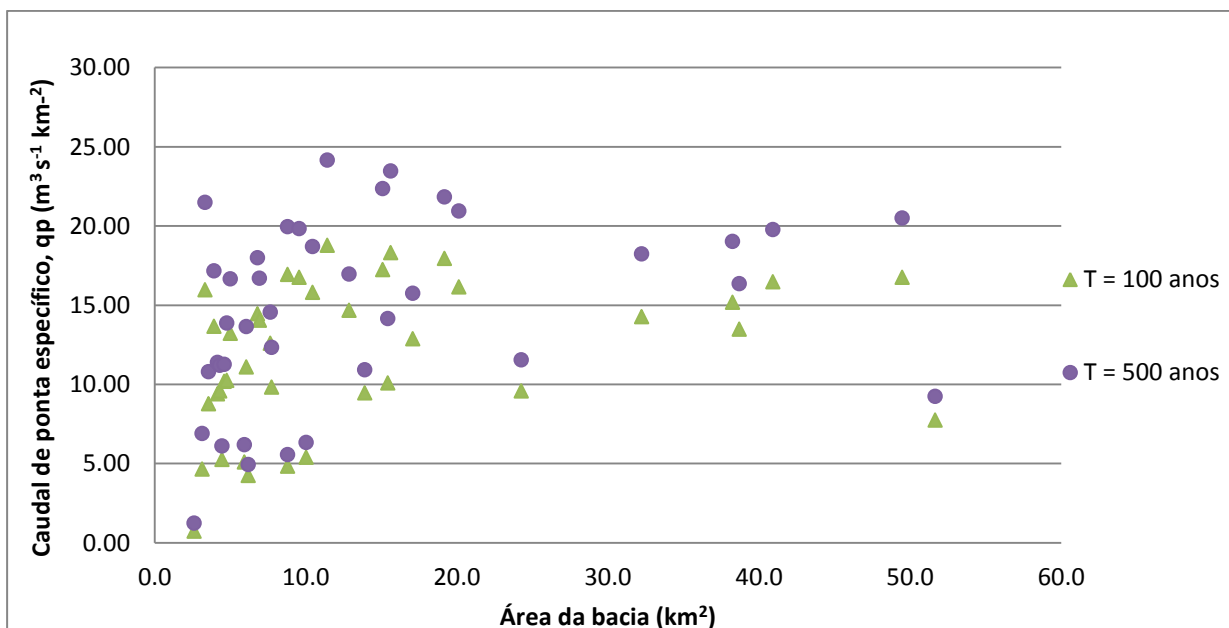


Figura 34: Caudal específico de ponta de cheia ordenado consoante a área de cada bacia hidrográfica em estudo, para os períodos de retorno de 20 e 50 anos.

Da observação das figuras anteriores verifica-se que, para áreas relativamente pequenas existe uma maior variabilidade do caudal de ponta específico uma vez que este varia entre cerca de 1 e 25 $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$, para o período de retorno de 500 anos (Figura 34). A existência de valores de caudal de ponta de cheia específico muito baixos poderá dever-se ao facto de parte das bacias hidrográficas apresentarem áreas relativamente pequenas e estarem localizadas na costa da vertente Sul da Madeira, o que usualmente tem associado menores valores de precipitação. Para bacias hidrográficas com áreas superiores, a partir dos 30 km^2 , constata-se que o caudal específico de ponta de cheia varia apenas entre cerca de 10 e 20 $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$ (para T = 500 anos).

O PRAM (SRA & INAG, 2003) apresenta valores de caudais específicos de ponta de cheia para o período de retorno de 100 anos, tendo estes sido calculados com base em intensidades de precipitação avaliadas no âmbito do PRAM e, paralelamente, tendo em consideração os valores obtidos anteriormente por Faria & Godinho (1983). Para observar os referidos dados, consultar Anexo I. Ao comparar-se os valores disponíveis no Plano Regional com os valores calculados neste estudo, para T= 100 anos (Figura 34), verifica-se que os caudais específicos estimados segundo intensidades de precipitação do PRAM tendem para 8 $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$ enquanto os caudais específicos estimados nesta tese e os valores calculados através das intensidades de precipitação de Faria & Godinho (1983) tendem para valores na ordem dos 14 e 15 $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$, à medida que a área das bacias hidrográficas aumenta. Enquanto os dados obtidos do PRAM demonstram uma tendência em que os valores de caudal de ponta específico diminuem com o aumento da área, tal efeito não se verifica neste estudo (Figuras 33 e 34). Esta diferença observada poderá dever-se às condições impostas, nos dois estudos, e sobretudo à incerteza associada aos valores de precipitação nas bacias hidrográficas da orla costeira que é transportado para as estimativas de caudal de ponta de cheia.

A Figura 35 analisa os valores de caudal de ponta de cheia, distinguindo bacias hidrográficas consoante a sua localização nas vertentes Norte ou Sul da ilha. Não é evidente uma distinção clara entre estas duas vertentes. Tem-se os casos das bacias da Ribeira dos Socorridos e Ribeira Brava que, apesar de se localizarem na vertente Sul da ilha apresentam caudais relativamente elevados, na ordem dos 430 e 550 m^3/s , por possuírem uma área considerável que abrange zonas de cabeceiras com altitude elevada onde ocorrem precipitações elevadas.

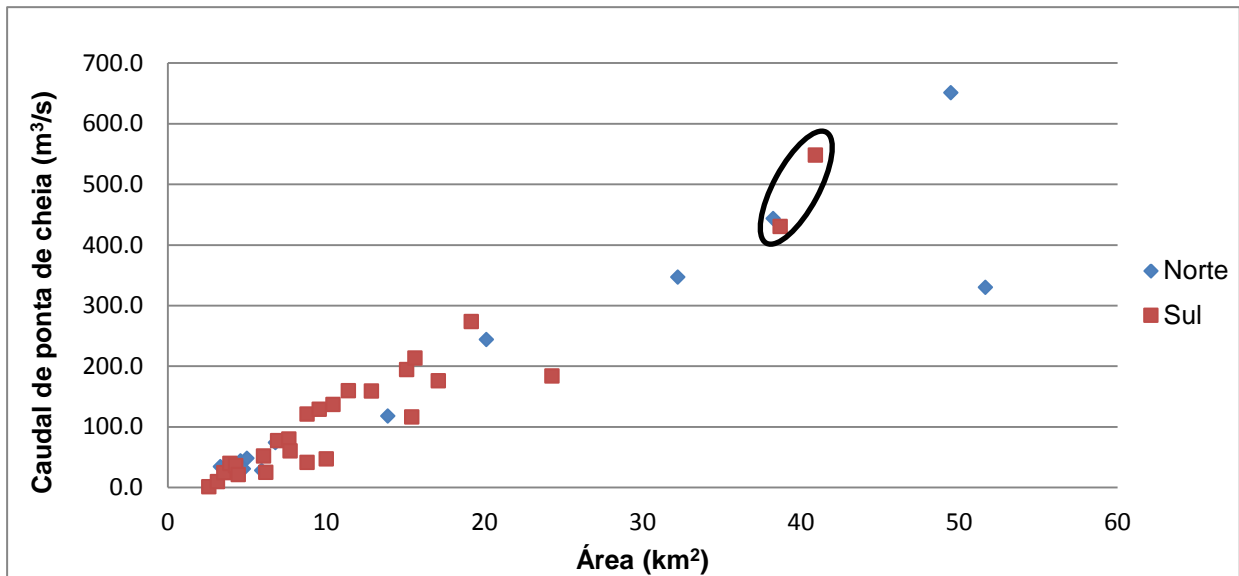


Figura 35: Caudal de ponta de cheia das bacias hidrográficas em estudo consoante a localização da bacia hidrográfica em Norte ou Sul, para T= 20 anos.

8. SÍNTESE E CONCLUSÕES

Ao longo da história, a Madeira tem sido fortemente fustigada por eventos extremos de precipitação que, devido às características peculiares que a ilha apresenta, originam fortes aluviões e causam vítimas mortais, feridos, desalojados e inúmeros danos materiais por todo o território. As situações que têm um maior risco de cheia associada verificam-se, usualmente, nas povoações localizadas junto à beira-mar, próximas dos leitos das ribeiras, coincidindo estas com as áreas com maiores aglomerados populacionais da ilha da Madeira como, por exemplo, o Funchal, Ribeira Brava, a Ponta do Sol, São Vicente, Machico e Santa Cruz.

Com uma área de 742 km², a ilha da Madeira é constituída por bacias hidrográficas relativamente pequenas que não ultrapassam os 55 km². No entanto, é a sua geomorfologia que a torna num local único com características muito específicas. As altitudes elevadas que caracterizam as montanhas são, em parte, responsáveis pelo tipo de rede hidrográfica que a constitui, tendo-se ribeiras curtas, estreitas, relativamente lineares, com declives muito acentuados e uma enorme capacidade de erosão e transporte.

Quanto ao tipo de solo que caracteriza a ilha, de uma forma geral, a maioria das 39 bacias hidrográficas em estudo apresentam elevadas percentagens da associação de solo “Umbric Andosols” (ANu), embora com menores quantidades, segue-se o tipo de solo “Terreno Acidentado Dístrico” (TAd). Em termos de uso/ocupação do solo, a classe maioritária é a 3, designada por “Florestas e meios naturais e seminaturais” pertencente ao nível 1 da COSRAM 2007 enquanto classes como “Zonas Húmidas” e “Corpos de água”, classes 4 e 5, respetivamente, exibem percentagens mínimas, considerando-se estas praticamente insignificantes no contexto geral.

Os valores elevados de número de escoamento estimados, tanto em condições de solo AMCII como em AMCIII, demonstram que os solos da Madeira apresentam características mais impermeáveis. Como exemplo, tem-se os casos mais extremos das bacias hidrográficas da Ribeira da Caldeira e da Ribeira de S. João que exibem valores médios de CN de cerca de 94 e 92, respetivamente, em condições de solo AMCIII.

Este trabalho recorreu ao sistema de simulações hidrológica HEC-HMS para estimar os valores de caudal de ponta de cheia em 39 bacias hidrográficas da ilha. Foram estudadas várias fórmulas para estimar o de tempo de concentração, nomeadamente Giandotti, Kirpich, Temez e SCS. As fórmulas de Kirpich e do SCS são aquelas que propiciam as menores estimativas do tempo de concentração e que, por isso, determinam caudais de ponta de cheia mais elevados. A equação de Kirpich foi desenvolvida para bacias hidrográficas com encostas íngremes e declives altos enquanto a fórmula do SCS foi concebida para bacias maioritariamente rurais com áreas que não ultrapassem cerca de 50 km².

Na validação do modelo hidrológico constatou-se que a adoção do hidrograma unitário do *Soil Conservation Service* e o número de escoamento em condições de maior humidade AMCIII resultava

em valores do caudal de ponta de cheia próximos dos calculados em estudos realizados anteriormente. Foi esse o modelo hidrológico utilizado nos cálculos subsequentes.

A análise estatística das séries de máximos anuais aplicada aos registos das estações com mais de 15 anos permitiu concluir que o modelo teórico de probabilidade que melhor se ajusta às amostras de precipitação dos vários postos é a lei de GEV. Este resultado foi confirmado através do teste estatístico de aderência de Filliben e pela observação das representações gráficas. Uma vez que a função de distribuição GEV se baseia em três parâmetros, este fator confere-lhe uma maior flexibilidade e consequentemente maior facilidade na adaptação às amostras.

Os registos dos postos com durações entre 10 e 20 anos foram analisados pelo método de séries de duração parcial. A comparação dos resultados de ambos os métodos que foram aplicados aos postos com registos entre 15 e 20 anos são da mesma ordem de grandeza mas, na maioria dos casos, a análise das séries de duração parcial conduziu a valores de precipitação diária máxima anual mais elevados.

Através do mapeamento espacial de precipitação realizado através da cokrigagem e krigagem, para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos, constatou-se que as zonas com maior ocorrência de precipitação estão associadas a locais com altitudes mais elevadas, tendo-se como exemplo a zona da cordilheira central da Madeira. Confirma-se também que a vertente Norte apresenta precipitações ligeiramente superiores às que ocorrem na vertente Sul da ilha. Da comparação entre os resultados obtidos por cokrigagem e krigagem, apesar de por vezes ambos subestimarem os valores de precipitação diária máxima anual, principalmente para os postos localizados na zona costeira, optou-se pela cokrigagem, tendo em consideração a incerteza nos valores estimados associada a esta técnica.

Ao longo do processo que permitiu alcançar os hietogramas de projeto, para diferentes períodos de retorno, aplicaram-se os valores referentes aos ratios sub-diários medianos, em lugar dos valores médios. Tal decisão deveu-se ao facto de os valores medianos originarem um efeito atenuador perante valores de precipitação *outliers*. Caso se utilizasse os ratios sub-diários médios estes produziram caudais de ponta de cheia superiores. Quanto ao processo de criação dos hietogramas de projeto, verificou-se que é necessário definir um pico de precipitação com uma duração inferior à hora uma vez que parte das bacias hidrográficas em estudo são relativamente pequenas e apresentam tempos de concentração baixos, principalmente as bacias que se encontram localizadas junto à costa na vertente Sul da ilha da Madeira.

Verificou-se na análise do caudal de ponta de cheia estimado que, de modo geral, o crescimento da área das bacias está associado a um aumento dos valores de caudal de ponta de cheia, tal como seria esperado. Nas bacias onde não ocorre esta tendência (Ribeira de Machico e Ribeira da Janela) observaram-se valores relativamente baixos de precipitação o que poderá ser o fator determinante nestes casos. Do estudo do caudal de ponta específico, uma vez que este permite realizar a comparação entre bacias que apresentam dimensões distintas, confirma-se que as bacias

hidrográficas que têm sido fortemente afetadas por graves aluviões, ao longo dos anos, possuem valores de caudais específicos relativamente elevados.

Da análise realizada consoante a localização das bacias hidrográficas, variando esta em vertente Norte ou Sul da Madeira, constatou-se que não existe uma relação clara entre a vertente em que se localiza a bacia hidrográfica e a superioridade, ou inferioridade, dos caudais de ponta das mesmas. Novamente, reconhece-se que o parâmetro da precipitação tem um efeito significativo mas não é o único fator influenciador.

Ao longo deste estudo foram várias as dificuldades encontradas ao lidar com a rede de monitorização da ilha da Madeira. O facto de existirem entidades diferentes responsáveis pela gestão dos postos, com equipamentos e metodologias distintas, tem gerado alguns problemas sendo, um deles a identificação e caracterização dos postos que estão atualmente ativos. Em termos futuros, seria útil proceder à organização da informação e, por exemplo, à criação de uma base de dados comum que permitisse um acesso facilitado aos valores de precipitação medidos.

É notória a elevada suscetibilidade da ilha da Madeira à ocorrência de fenómenos extremos, mais concretamente, as aluviões, tendo em conta as suas características particulares e outro tipo de fatores adversos, como os naturais e/ou sociais, que influenciam fortemente o nível de risco público. Para uma diminuição do risco associado a estes fenómenos, deverá implementar-se diversos tipos de medidas, que variem entre medidas estruturais até medidas mais educacionais como, por exemplo, ações de formação a alertar o público acerca do risco a que estão sujeitos, permitindo que este participe ativamente na defesa da ilha contra as aluviões. Além disto, investir eficazmente na melhoria das infraestruturas já existentes e adequar as zonas próximas da foz, de cada bacia hidrográfica, de modo a suportarem a ocorrência de eventos de precipitação extremos poderão ser outras medidas a executar. Crê-se assim que é de enorme importância as autoridades responsáveis estudarem e conceberem os métodos mais eficazes a aplicar com o intuito de diminuir os danos materiais e, principalmente, evitar vítimas mortais que usualmente se associam a aluviões na ilha da Madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brandão, C., Rodrigues, R., & Costa, J. (2001). *Análise de fenómenos extremos. Precipitações intensas em Portugal Continental*. Lisboa, Portugal.
- Chow, V. Te, Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Applied Hydrology* (1st ed., pp. 132–152). McGRAM-HILL International Editions.
- dnoticias.pt. (2010). Associação 20 de Fevereiro procura respostas na Câmara do Funchal. Retrieved from <http://m.dnoticias.pt/actualidade/madeira/220700-associacao-20-de-fevereiro-procura-respostas-na-camara-do-funchal>
- DREM. (2013). *Madeira em Números 2012*. (M. Teixeira, Ed.) (p. 8). Funchal, Madeira: Direção Regional de Estatística.
- Esri. (2013). O que são os SIG? Retrieved from <http://www.esriportugal.pt/para-comecar/conceitos-basicos/o-que-sao-os-sig/>
- Faria, J. M., & Godinho, S. F. (1983). *O Clima de Portugal - Intensidade, Duração e Frequência de Precipitação no Arquipélago da Madeira*.
- Gonçalves, M., Caetano, H., Carvalho, J., & Raminhos, C. (2007, September). Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas : integração de métodos e aplicação a um estudo de caso, *60*(3), 525–530.
- Hipólito, J. R., & Vaz, Á. C. (2011). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. (J. J. Ramos, Ed.) (1ª Edição., pp. 504–506; 513–520). Lisboa, Portugal: IST Press.
- Hoef, C. C. (U. S. D. of A. (2009). Hydrologic Soil Groups. In *National Engineering Handbook* (pp. 1–3). Washington, EUA.
- Hoef, C. C. (U. S. D. of A., & Woodward, D. E. (2010). Time of Concentration. In L. Owens (Ed.), *National Engineering Handbook* (pp. 2–4). Washington, EUA.
- HP, H. P. (1993). *Ribeira de S. João. Funchal* (pp. 12–19: Figura 2). Funchal, Madeira.
- IGP. (2010). *Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal para 2007 (COS2007)* (pp. 17–53). Lisboa, Portugal.
- IICT, CPUTL, UTL, & DRAM. (1992). *Carta dos Solos da Ilha da Madeira*. (J. Paz, A. Constantino, A. Adelino, I. Roseira, E. Salvador, & C. Silva, Eds.). Lisboa, Portugal: Sogapal, Lda.
- IM. (2009). *Boletim Climatológico Mensal – Dezembro 2009* (p. 13). Lisboa, Portugal.
- INTERREG, I. (Governo das C. (2014). Macaronésia - Madeira. Retrieved from http://www.gobiernodecanarias.org/cmayer/interreg/indice/observatorio_macaronesia/pt/macaronesia/ma/madeira.html
- IST, UMa, & LREC. (2010). *Estudo de avaliação do risco de aluviões na ilha da Madeira* (pp. 6–7; 15; 25; 31–38; 85–89).
- LNEC. (1997). *Estudo Hidrológico e Hidráulico da Ribeira dos Socorridos na Madeira* (pp. 27 – 33). Lisboa, Portugal.

- Mata, J., Fonseca, P. E., Prada, S., Rodrigues, D., Martins, S., Ramalho, R., ... Matias, M. J. (2013). *III.8.2. O arquipélago da Madeira*. (J. C. Dias, R. ; Araújo, A. ; Terrinha, P. ; Kullberg, Ed.) *Geologia de Portugal, Volume II* (Vol. II, pp. 692–695). Escolar Editora. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10174/7569>
- Naghettini, M., & Pinto, É. (2007). *Hidrologia Estatística*. (E. Sperling & J. Soares, Eds.) (pp. 271–285). Belo Horizonte, Brasil: CPRM.
- Naghettini, M., & Portela, M. M. (2011). *Probabilidade e Estatística aplicadas à Hidrologia* (pp. 24–27). Lisboa, Portugal.
- NRCS. (n.d.). Soil Texture Calculator. Retrieved from http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167
- Oliveira, R. P., & Simões, J. (2014). *STAWAT 2.0, Statistics for Water Resources* (No. 2) (pp. 9–12). Lisboa, Portugal.
- Prada, S., Gaspar, M. A., Silva, M. O., Cruz, J. V, Portela, M. M., & Hora, G. R. (2003). Recursos Hídricos da Ilha da Madeira. *Comunicações Do Instituto Geológico E Mineiro*, (c), 4–10.
- Purdue, U. (2011). SCS Curve Number Method. *Purdue University*. Retrieved from <https://engineering.purdue.edu/mapserve/LTHIA7/documentation/scs.htm>
- Quintal, R. (1999). Aluviões da Madeira - desde o Século XIX. *Territorium*, 6, 2–28.
- Quintal, R. (2011). *Aluviões da Madeira* (pp. 1–3). Câmara de Lobos, Madeira.
- Ribeiro, O. (1949). *Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico* (p. 270). Lisboa, Portugal: Coimbra Editora, Coimbra.
- Scharffenberg, W. A. (2013). *Hydrologic Modeling System - User's Manual* (pp. 153–254). Washington, EUA.
- Sepúlveda, S. (2011). *Avaliação da Precipitação Extrema na Ilha da Madeira Engenharia do Ambiente*. Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa.
- SRA, & DROTA. (2013). *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira (RH10)* (pp. 13–19; 25–27). Funchal, Madeira.
- SRA, & INAG. (2003). *Plano Regional da Água da Madeira* (p. 7; 43–46;). Funchal, Madeira.
- Stendinger, J. R., Vogel, R. M., & Foufoula-Georgiou, E. (1993). Frequency Analysis of extreme events. In D. R. Maidment (Ed.), *Handbook of Hydrology*. Nova Iorque, EUA: MacGraw Hill.
- Wiltshire, S. (1986). Regional flood frequency analysis I : Homogeneity statistics. *Hydrological Sciences - Des Sciences Hydrologiques*, 323–324.

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO A: SÍNTESE DOS ACONTECIMENTOS HISTÓRICOS OCORRIDOS NA MADEIRA DESDE O SÉC. XVI

Quadro 37: Listagem dos aluviões ocorridos na ilha da Madeira entre 1601 e a atualidade. Fonte: Sepúlveda (2011).

Século	Ano	Dia /Mês	Local e acontecimento
XVII	1601	-	Primeira cheia rápida de que há registo.
	1611	-	Grande enchente no Funchal.
XVIII	1707	-	Cheias rápidas por toda a ilha.
	1724	18 de Novembro	Os estragos desta aluvião fizeram-se principalmente sentir na freguesia de Machico, morrendo 26 pessoas e abatendo-se mais de 80 habitações. No Ano Histórico, referindo-se o Padre Francisco de Santa Maria a esta aluvião, diz que "padeceu a ilha da Madeira uma tormenta e dilúvio tão grande, que destruiu a vila de Machico, parte da de Santa Cruz e muitos outros lugares e sítios da mesma ilha, e também a cidade do Funchal experimentou grande dano e muitas ruínas, assim nas suas muralhas como na povoação, com a enchente da Ribeira do Pinheiro (Santa Luzia) que a divide".
	1764	18 de Novembro	Fortes chuvas provocaram aluviões nas ribeiras que atravessam a cidade Funchal.
XIX	1803	9 de Outubro	Cheia rápida mais destruidora do século, por toda a ilha, sobretudo no Funchal, mas também em Machico, Santa Cruz, Calheta e Ribeira Brava, vitimando 800-1000 pessoas. "Há quem a tenha considerado a maior calamidade que ocorreu na ilha no período de cinco séculos. (...) Tinham caído algumas chuvas, com várias intermitências, nos dez ou doze dias que precederam este dia." (Silva e Menezes, 1997)
	1815	26 de Outubro	Chuvas intensas provocaram enchentes nas Ribeiras do Funchal e inundações um pouco por toda a ilha.
	1842	24 de Outubro	"Resultado das fortes chuvas que caíram durante a manhã e início da tarde, as águas saíram dos seus leitos e espalharam-se pelos terrenos marginais, causando grandes estragos. No Funchal algumas ruas da cidade converteram-se em caudalosas ribeiras..." (Elucidário Madeirense)
		26 de Outubro	Tempestade no Funchal.
	1848	17,18,19,20 Novembro	Grandes inundações, principalmente no concelho de Santana.
	1856	5, 6 de Janeiro	Após chuvas abundantes, a Baixa da cidade do Funchal foi invadida pelas águas que galgaram as ribeiras, provocando grandes destroços. Na Ribeira Brava, Tabua, Serra de Água, Ponta do Sol, Paul do Mar e noutras localidades houve também grandes destruições devido à força das águas.
		14, 15 de Março	Na Ribeira Brava, "a ribeira arruinou quase toda a muralha que defende o lugar". Também na Serra de Água se verificaram grandes prejuízos.
	1865	-	Uma cheia rápida na freguesia da Madalena do Mar causou importantíssimos danos materiais e vítimas.
	1876	1 de Janeiro	Inundações com prejuízos notáveis na freguesia da Madalena do Mar.
		29, 30, 31 de Outubro	Elevados quantitativos de precipitação caíram durante a noite e o dia. As três ribeiras do Funchal, transportavam elevado quantitativo de água e detritos que destruíram partes da muralha e transbordaram, causando grandes prejuízos. Na vertente Norte da ilha também houve problemas, sobretudo no Faial e em São Vicente.
		3 de Novembro	Por toda a ilha as enchentes danificaram estradas, pontes e obstruíram leitos das ribeiras.
		29, 30, 31 de Dezembro	Um grande temporal (chuva e vento) abateu-se sobre o Funchal, aumentando o caudal das ribeiras, o que causou grandes estragos nas propriedades rurais da cidade.
	1877	6 de Janeiro	Chuvas intensas danificaram gravemente a estrada marginal da costa Sul. Desde a Ribeira Brava até à Madalena ocorreram inúmeros desabamentos. Um deles provocou um morto.
1895	2, 3 de Outubro	"A aluvião que se deu nestes dias produziu grandes estragos nas freguesias de São Vicente, Faial, Ponta Delgada, Boa Ventura e Seixal. Tendo nesta última freguesia morrido um homem".	
1896	(Fonte: Fernandes, 2009)	A ilha foi assolada por uma violenta tempestade. Vários foram os navios e outras embarcações, que ficaram destruídos no Funchal. O temporal provocou trinta vítimas, sendo a maioria, tripulantes dos navios e embarcações. No Campanário morreram três pessoas e na	

Século	Ano	Dia /Mês	Local e acontecimento
			Camacha duas.
XX	1901	8, 9 de Novembro	Chuvas abundantes no Funchal. As águas inundaram as ruas, causando muitos danos e alguns desmoronamentos.
	1920	24, 25 de Fevereiro	Violento temporal (vento e chuva) causou inúmeros prejuízos em toda a ilha. Em toda a ilha, ficaram mais de quinhentas pessoas sem-abrigo. Ribeira Brava “correu grande risco de ser destruída pelas águas” (Silva e Menezes (1997) e Quintal (1999)). Na freguesia da Camacha morreu uma mulher e uma criança. Desapareceram com os tripulantes alguns barcos de pesca de Câmara de Lobos.
	1921	5, 6 de Março	Chuvas abundantes acompanhadas de trovoadas em toda a ilha, provocaram inundações e estragos em Machico, Ribeira Brava e em muitos outros pontos da ilha. Em Machico as águas subiram ao primeiro andar das casas. Na Ribeira Brava morreram quatro crianças, “três em virtude do desmoronamento de um prédio e uma arrastada pelas águas” (Silva e Menezes (1997) e Quintal (1999)).
	1929	6 de Março	Na sequência das “chuvas torrenciais” que se registaram, verificou-se a cheia da ribeira na freguesia de São Vicente, seguida de um desabamento, que causou cerca de 32 mortes e incalculáveis estragos – ficaram destruídas 11 casas e 100 palheiros, perdendo-se, mais de 100 cabeças de gado. Para Silva e Menezes (1997) e Quintal (1999), tratou-se da mais pavorosa e confrangedora catástrofe de que até à data havia memória na ilha da Madeira, só tendo paralelo com a aluvião de 1803.
	1931	2 de Outubro	Registaram-se várias inundações no Funchal, resultado de chuvas intensas.
		4 de Outubro	Chuvas torrenciais acompanhadas de uma violenta trovoada, no Funchal. Algumas ruas transformaram-se em leito de torrente caudalosa que tudo arrastava.
	1933	31 de Janeiro	A água das chuvas avolumou o caudal das ribeiras, ameaçando vidas, destruindo propriedades e danificando casas. Registou-se uma vítima mortal.
	1936	4 de Dezembro	No Funchal e arredores ocorreram chuvas abundantes. “Durante longo tempo choveu sem interrupção, vendo-se algumas ruas transformadas em ribeiras” (Quintal, 1999). A água invadiu as ruas, estabelecimentos e residências. Registaram-se dois desabamentos. Verificaram-se inundações, desabamentos e muitos prejuízos por toda a ilha.
	1939	30 de Dezembro	A freguesia da Madalena do Mar foi assolada por uma cheia rápida, resultado do forte temporal com “chuva contínua e vento forte”. As chuvas quase ininterruptas engrossaram o caudal da ribeira de Santa Maria Madalena, que transbordou e arrastou uma parte considerável da sua área, foi levada para o mar sob “o fulminante impulso da aluvião,” que arrastou cerca de 40 casas e vários terrenos de cultura, 4 mortos foi o resultado da tragédia” (Quintal, 1999).
	1956	3 de Novembro	“Admite-se a hipótese de uma grande tromba de água ter caído na zona da Portela, acentuadamente para os lados do Porto da Cruz, Ribeira de Machico, estendendo-se até à zona de Santa Cruz. Só assim se pode explicar o engrossamento imediato dos caudais das ribeiras e das inundações repentinas desta região” (Quintal, 1999). Os prejuízos causados na lavoura, nas propriedades urbanas, nas pontes, nos caminhos e nas estradas, foram incalculáveis. Em Machico danificou estradas, pontes, rede de água potável, casas e culturas. Para além dos muitos feridos que ocasionou, morreram cinco pessoas. No concelho vizinho, Santa Cruz, foram três pontes e duas casas destruídas, houve muitos danos, ruas cheias de lama e rochas e uma criança desapareceu.
	1958	21 de Dezembro	Uma violenta tempestade levou a que as ribeiras aumentassem consideravelmente o seu caudal, provocando desabamentos e grandes estragos por toda a ilha.
	1970	9 de Janeiro	Na Ribeira Brava “a força das águas destruiu a estrada em sete pontos, entre a vila e a Serra de Água, tendo sido levado o miradouro, que desapareceu, juntamente com duas pessoas” (Quintal, 1999).
	1972	21 de Setembro	Durante a madrugada, o caudal da Ribeira de Santo António aumentou repentinamente, tendo atingido um bairro de barracas localizado perto do Campo da Imaculada Conceição. Duas crianças e uma mulher não resistiram à força das águas.
	1979	23 e 24 de Janeiro	Aluviões atingiram Machico, Porto da Cruz, Camacha, Canhas, Calheta, e Fajã do Penedo, vitimando 14 pessoas.
	1985	2, 3 de Outubro	Uma cheia rápida provocou várias inundações e graves prejuízos. Alguns mortos, muitas casas soterradas, estradas e pontes destruídas foi o balanço do temporal que se abateu sobre a ilha.
1990	18 de Janeiro	A queda de um muro esmagou um automóvel que circulava na Rua Carvalho Araújo, provocando a morte aos dois ocupantes. “O desmoronamento terá sido fruto da forte precipitação ocorrida” (DNM, 19 Set. 1990). Em vários pontos do Funchal verificaram-se inundações e estragos em habitações e estabelecimentos comerciais; “viram-se automóveis a boiar e a embater uns nos outros, entre outros casos”.	
	18 de Setembro	Queda de blocos no Curral das Freiras: “O desmoronamento terá ocorrido na sequência da forte precipitação verificada entre as 14h e as 15h” (DNM, 19 Set. 1990). Ocorreram, também, inundações no Funchal.	
	31 de Novembro e 1, 2 de Dezembro	Fortes chuvas ao longo do dia provocaram um desabamento na Ponte de Vasco Gil (Santo António) e inundações devido ao transbordo da Ribeira de Santa Luzia e na Ribeira Brava.	

Século	Ano	Dia /Mês	Local e acontecimento	
	1991	24 de Outubro	Machico foi inundada devido à grande quantidade de água “que uma chuva intensa espalhou por todo aquele vale”. Esta chuva levou ao aumento do caudal da ribeira que inundou algumas artérias e residências. Também em Santana se verificaram algumas inundações.	
	1991	29 de Outubro	Os concelhos de Machico e de Santa Cruz foram os mais atingidos pelas fortes chuvadas que ocorreram em toda a ilha. Em Machico registaram-se várias inundações em casas, queda de pontes, estradas cortadas. Vários desabamentos na estrada regional 101 no troço compreendido entre Machico e o Santo da Serra. No sítio dos Landeiros (Machico) uma grande derrocada arrasou completamente um muro de suporte. No concelho de Santa Cruz aconteceram cerca de cinquenta pequenas inundações. A área mais afetada foi a do Garajau. As fortes chuvas levaram a que um ribeiro situado por baixo da estrada enchesse levantando o piso da via. As águas misturadas com diversos detritos no seu percurso arrastaram carros e contentores de lixo e provocaram a inundações de residências. No Funchal a chuva provocou inundações e diversos estragos na rede de esgotos.	
		13 de Dezembro	Fajã Grande e Fajã do Cedro Gordo (Santana) foram fortemente fustigadas pelas chuvas. Elevados danos em terrenos cultivados, caminhos municipais quase intransitáveis e estradas totalmente bloqueadas foram os resultados de seis desabamentos que ocorreram no espaço de uma hora.	
	1992	28, 29 de Setembro	No Funchal verificaram-se inundações com lama, pedras e entulho, provenientes do entupimento de sarjetas, esgotos e outras condutas. Ocorreram cheias em vários pontos da baixa da cidade, devido ao transbordo de alguns ribeiros.	
		14 de Outubro	Um desabamento cortou a circulação automóvel nas imediações da Encumeada. “Eram cerca das 17 horas quando a estrada, ficou obstruída por um grande desmoronamento de terras, provocado pelas grandes chuvadas que caíram em toda a região” (DNM, 15 Out. 1992).	
		18 de Outubro	Na Fundoa de Fora uma grande porção de pedras e terra caiu sobre uma casa. “Presume-se que resultaram das fortes chuvas que ocorreram durante todo o dia” (DNM, 19 Out. 1992).	
	1993	10 de Outubro	O forte temporal que se abateu sobre a ilha teve como consequência um desabamento no Caminho do Curral dos Romeiros, que ficou parcialmente impedido, bem como pequenas inundações no Funchal.	
		16, 17 de Outubro	Desmoronamentos de terra em resultado das chuvas fortes no Funchal.	
		29 de Outubro	“O Funchal acordou em sobressalto. As chuvas intensas e ribeiras cheias de entulho fizeram a catástrofe. Por onde a água passou tudo levou e a morte saiu à rua. O balanço foi trágicoll. As chuvas foram anormais e só tiveram paralelo com as de 87. —Obviamente que o facto das ribeiras, estarem atulhadas também não ajudoull (Quintal, 1999). A tragédia atingiu vários pontos da ilha.	
	1994	7 de Outubro	A grande precipitação registada durante todo o dia provocou algumas inundações e desabamentos de terras em diversos locais da ilha.	
	1995	25 de Outubro	Como resultado das primeiras chuvas outonais, registaram-se cerca de uma dezena de inundações na baixa da cidade do Funchal.	
		17 de Novembro	Chuva e vento atingiram toda a ilha. Sucederam-se inundações, desabamentos e queda de árvores. No Funchal e na Ribeira Brava verificaram-se inundações e desabamentos com relativa dimensão.	
		17 de Dezembro	Vento forte e chuva torrencial durante todo o dia, em particular nas áreas da Camacha, Santa Cruz, Machico, Ribeira Brava e São Vicente. A forte ondulação marítima fustigou durante o dia toda a faixa da Costa Oeste da Região.	
			26, 27, 28 de Dezembro	Por toda a ilha, a elevada precipitação provocou inundações, quedas de pedras, desabamentos de terras, esgotos entupidos e quedas de árvores. Muitos troços de estrada ficaram obstruídos e o grande caudal de água, com pedras e terras provocou pânico na população e o abandono das residências ameaçadas. O concelho do Funchal foi o mais atingido, mas os desmoronamentos, que ocorreram por toda a ilha, tiveram maior incidência no Monte e em toda a Estrada Regional.
	1996		7, 8 de Janeiro	Muita chuva e vento assolaram a Madeira. —Muitos desabamentos e árvores a obstruir estradas estiveram na —ordem do dia!!! (DNM, 9 Jan. 1996). A Estrada Regional entre São Vicente e Seixal esteve bloqueada durante algumas horas, devido ao mar alteroso e a alguns desabamentos que fustigaram norte da ilha. Verificaram-se pequenas inundações por toda a ilha.
		28, 29, 31 de Janeiro	Enormes pedras e terra desprenderam-se no sítio da Alegria (São Roque). Em Santa Cruz, as chuvas torrenciais e o vento forte provocaram diversas inundações. A escola de Santa Cruz encerrou devidas às inundações que provocaram avultados estragos, também nas Estações de Tratamento de Resíduos Sólidos do Funchal e de Câmara de Lobos. Na área rural, um dos casos mais graves registou-se na Calheta, onde o mar provocou elevados estragos junto ao cais. Na estrada para o Curral das Freiras, verificaram-se dois desabamentos.	
		22, 23, 24 de Março	Forte temporal com grande descarga de água em toda a ilha. Verificaram-se desabamentos, quedas de árvores e obstrução de estradas.	
		12 de Dezembro	A água da chuva provocou inundações um pouco por toda a ilha. Os casos mais relevantes registaram-se na capital madeirense, onde o túnel da —Cota 40ll ficou inundado e várias casas sofreram inundações.	
		15, 16 de Dezembro	Chuva copiosa na Travessa dos Três Paus. Um desabamento terá entupimento da Levada do Pico do Cardo, —As terras lamacentas deslizaram de rompante pela encosta, destruindo duas casasll (DNM, 17 Dez. 1996). Na enxurrada foram arrastadas duas viaturas.	
1997		30 de Setembro	A chuva que se registou durante a tarde no Funchal alagou ruas onde as sarjetas estavam entupidas e inundou algumas casas e estabelecimentos. Ocorreram derrocadas no início da	

Século	Ano	Dia /Mês	Local e acontecimento
XXI	1997		cota 200.
		17, 18, 19, 20 de Outubro	Como consequência das fortes chuvas que ocorreram durante o fim de semana, no dia 17 a Estrada Regional 222 ficou totalmente obstruída devido a um deslizamento de terras. Nos dias 18 e 19 ocorreram graves inundações e derrocadas por toda a ilha. A —anormal precipitação que se registou no sítio do Ribeiro Serrão (DNM, 21 Out. 1997), provocou um deslizamento de terras e o rebentamento de um cano de água, água que foi desaguar à estrada do Ribeiro Serrão, a mais de 600 m acima da estrada e —provocou uma impressionante descida de lama por uma vereda, servindo a estrada como recetor final desta —ondall de lamall (DNM, 21 Out. 1997).
		23 de Outubro	Um pouco por todo o lado houve caudais de água lamacenta a provocar diversas inundações, pequenos desabamentos e estradas intransitáveis.
		25 de Outubro	As fortes chuvadas que se abateram sobre toda a ilha, com especial incidência na zona norte, provocaram alguns estragos, aluimentos de terras e desabamentos. O mais grave incidente ocorreu no Lombo do Mouro, na estrada que liga a Encumeada ao Paul da Serra.
		2 de Novembro	Em consequência do mau tempo, no Pico do Lombo (Monte) houve terras arrastadas que ameaçaram casas. Ocorreram inundações, desabamentos e árvores caídas no Funchal. —As chuvas que caíram durante a madrugada varreram terras e pedras pelas encostas, cujo resultado viria a ser notório nas estradas de toda a ilhall (DNM, 3 Nov. 1997).
		5, 6, 7, 8 de Dezembro	Fortes chuvas provocaram diversos desabamentos um pouco por toda a ilha. A forte ondulação também deixou rasto de destruição no Garajau e na Praia Formosa, as ondas galgaram o perímetro da praia, tal como na Ribeira Brava e na Ponta do Sol.
		17 de Dezembro	O mau tempo deixou rasto de destruição um pouco por toda a ilha, tendo ocorrido diversas inundações, quedas de árvores e desabamentos. O caudal das ribeiras aumentou significativamente, a orla costeira foi assolada por forte ondulação.
		21 de Dezembro	Ocorreram enxurradas que arrastaram pedregulhos de mais de 4 toneladas. —A precipitação dos últimos dias e uma suposta fenda na rocha fez desabar a encosta no leito do ribeiro íngreme. A derrocada chegou à estrada e ameaçou bens patrimoniais e vidas humanas, na Meia Légua (Ribeira Brava) (DNM, 22 Dez. 1997).
	1998	11, 12 de Janeiro	Devido a forte precipitação, registaram-se inundações e desabamentos um pouco por toda a ilha. As zonas mais afetadas foram Funchal e Machico.
		31 de Janeiro	"A enxurrada de terras e pedras, arame de latadas, estacas e árvores atingiu o malogrado levando-o à morte (...). Um morto no Garachico (Estreito de Câmara de Lobos), dois transbordos de ribeiros, três dezenas de inundações e duas dezenas de desabamentos foi o balanço do temporall (DNM, Fev. 1998). Entre as 9h de Sábado e as 9h de Domingo, a maior precipitação aconteceu em Santa Cruz (82,7 litros por m ²), Lugar de Baixo e Ponta do Sol (71 litros), Funchal (64,2 litros), Quinta Magnólia (64,2 litros), Santana (48 litros) e Porto Santo (32,2 litros). O vento atingiu os 80 km/h.
		7 de Fevereiro	"Um pouco por todo o lado, os terrenos estão a ceder devido ao peso da água da chuvall (DNM, 8 Fev. 1998).
		9 de Maio	Como resultado das chuvas que caíram de madrugada, vários foram os estragos ocorridos, sobretudo no início da vereda do Livramento (Funchal).
		17, 18 de Outubro	Fortes chuvas durante a madrugada do dia 17, provocaram diversas inundações e lamaçais no Funchal, Santo António, Encumeada e Ribeira Brava.
		1999	12, 13 de Janeiro
	10 de Outubro		Fortes chuvas no Funchal, seguidas de desmoronamentos.
	27 de Outubro		"Fortes chuvas por toda a ilha provocaram desabamentos, inundações, desmoronamentos de muros, terrenos e de parte de residênciasll (DNM, 28 Out. 1999).
	29, 30 de Outubro		"Em resultado das últimas chuvas, algumas casas tremeram e ruíram parcialmente. Outras ameaçam ruir caso a chuva teime em cair com tamanha intensidade (DNM, 30 Out. 1999). As inundações foram incontáveis, sobretudo no Funchal e no na Vertente Norte.
	4 de Dezembro		A chuva que caiu de madrugada e durante o dia, arrastou lama e alagou algumas áreas e residências.
	7 de Dezembro		Uma pessoa morreu na sequência de uma enxurrada ocorrida no sítio do Ribeiro Serrão (Camacha).
	2000	18 de Janeiro	Forte precipitação nas zonas mais altas provocou um deslizamento no Santo da Serra.
		31 de Março	Forte precipitação por toda a ilha.
		6 de Abril	Chuva intensa um pouco por toda a ilha: na Terra Chã, Curral das Freiras (fez transbordar a ribeira, causando inundações e derrocadas); no Carvalhal (Canhas) e no Pomar D. João, concelho da Ponta do Sol; na Estrada Regional 101 entre a Bica da Cana e a Encumeada (provocando a queda de várias pedras na estrada).
		12 de Abril	Queda de pedras de consideráveis dimensões na estrada marginal entre Ribeira Brava e Tabua, como consequência de precipitações intensas.
15 de Abril		Desabamento no Curral das Freiras, conseqüente de precipitações intensas.	

Século	Ano	Dia /Mês	Local e acontecimento
		15 de Maio	Desabamentos e quedas de blocos devido a precipitações intensas na Boaventura.
		13 de Agosto	Chuva intensa na vertente Norte, com inundações em S. Vicente.
		8 de Setembro	Inundações e derrocadas provocadas por precipitações intensas em toda a ilha.
	2000	21 de Setembro	Inundações, derrocadas e queda de árvores provocadas por precipitações intensas em toda a ilha.
		24 de Dezembro	Temporal por toda a ilha.
	2001	2 de Março	Temporal por toda a ilha.
		5, 6 e 7 de Março	Forte precipitação por toda a ilha. No dia 6, ocorreu um forte temporal sobre S. Vicente e o Curral das Freiras.
		21 de Setembro	Precipitação intensa causou diversas inundações no Funchal.
		18 e 19 de Novembro	Temporal sobretudo na Vertente Sul da ilha provocou inundações, desabamentos e queda de árvores.
	2002	9 de Dezembro	Temporal por toda a ilha, sobretudo na Vertente Sul.
		1 e 2 de Janeiro	Temporal por toda a ilha.
		14, 18, 24 e 27 de Setembro	Precipitações intensas sobretudo nas zonas altas.
		26 de Setembro	Precipitação intensa provocou inundações no Funchal.
		19 e 20 de Outubro	Precipitação intensa, sobretudo em altitude, provocaram um desabamento na Encumeada, inundações no Funchal e queda de blocos na Calheta.
		12 de Novembro	Precipitações intensas sobretudo nas zonas altas.
		24 de Novembro	Temporal por toda a ilha, sobretudo a Sul e Oeste, provocou aluimentos de terras, inundações e obstruções de estradas.
		12 de Dezembro	Precipitações intensas sobretudo nas zonas altas.
		15,16,17,18 Dezembro	Temporal na Vertente Sul da ilha.
	2003	22 de Dezembro	Precipitações intensas por toda a ilha, sobretudo nas zonas altas.
		18, 20, 23 Fevereiro	Precipitações intensas por toda a ilha.
		12, 13, 26, 27 Março	Precipitações intensas por toda a ilha.
		6 e 7 de Abril	Precipitações intensas por toda a ilha.
		12 e 21 de Abril	Precipitações intensas sobretudo nas zonas altas.
	2004	2, 3, 10 de Outubro	Precipitações intensas por toda a ilha.
		6 e 7 de Novembro	Precipitações intensas por toda a ilha.
		20 e 22 de Fevereiro	Precipitações intensas por toda a ilha.
		25 de Março	Precipitações intensas sobretudo nas zonas altas.
		17, 18 e 19 de Outubro	Precipitações intensas por toda a ilha.
	2005	12, 13 e 14 Dezembro	Forte temporal por toda a ilha.
		16 de Janeiro	Precipitações intensas por toda a ilha.
27 e 31 de Janeiro		Precipitações intensas sobretudo na zona do Areeiro.	
Fevereiro		Chuva intensa ao longo do mês, um pouco por toda a ilha (destacam-se os dias 5, 6, 7, 8, 14, 23, 26, 27 e 28)	
2, 3 e 4 de Março		Chuva intensa um pouco por toda a ilha.	
7, 8, 26, 27, 29 Outubro		Chuva intensa um pouco por toda a ilha.	
18 de Novembro	Desabamento na estrada entre Bica de Cana e Encumeada, devido às chuvas intensas registadas nos dias anteriores.		

Século	Ano	Dia /Mês	Local e acontecimento	
		27 a 29 de Novembro	Chuva intensa e vento, com inundações sobretudo em Câmara de Lobos devido ao difícil escoamento das águas pluviais. A tempestade desfigurou o litoral do Funchal à Calheta.	
		17 de Dezembro	Chuva intensa um pouco por toda a ilha.	
		20, 21 e 22 Dezembro	O aumento do leito da Ribeira Grande, em Machico, fez transbordar a ribeira com violência e inundou habitações do Moinho da Serra e estradas.	
		2005	24,25,27,28 Dezembro	Chuva intensa por todo o arquipélago.
		2006	9, 16, 17, 24, 25, 27 Janeiro	Chuva intensa um pouco por toda a ilha.
			7, 8, 9, 14, 27, 28 Fevereiro	Chuva intensa um pouco por toda a ilha.
			1, 16, 17 de Março	Chuva intensa um pouco por toda a ilha.
			8 e 9 de Abril	Chuva intensa um pouco por toda a ilha.
			13 de Junho	Chuva intensa um pouco por toda a ilha.
			23 de Setembro	Chuva intensa um pouco por toda a ilha.
			15 de Outubro	Chuva intensa um pouco por toda a ilha.
			22, 23, 24, 25, 28, 29 Outubro de	Temporal por toda a ilha.
			1, 2 e 3 de Novembro	"Bastou meia hora de chuva e logo os estragos foram visíveis, quer na baixa funchalense, quer nas zonas altas da capital" (DNM, 2 Nov. 2006). Temporal por toda a ilha.
			15, 24 e 28 Novembro	Chuva intensa por toda a ilha.
		8 a 12, 28 Dezembro	Chuva copiosa um pouco por toda a ilha.	
		2007	1 de Janeiro	Chuva copiosa um pouco por toda a ilha.
			25 de Janeiro	Chuva intensa por toda a ilha.
			5, 15 de Fevereiro	Chuva intensa por toda a ilha.
			13, 17, 20, 21 Março	Chuva intensa por toda a ilha.
			7 e 8 de Abril	Chuva intensa provocou inundações no Funchal.
			10 e 11 de Abril	Chuva intensa provocou queda de pedras na estrada de acesso ao Curral das Freiras, para além de inundações.
			20, 21, 22, 25, 26 Maio	Chuva intensa por toda a ilha.
			23 de Outubro	Chuva Intensa na zona oeste da ilha.
			7 de Novembro	Chuva intensa por todo o arquipélago.
		17 a 23 Novembro	Chuva intensa por toda a ilha, com maior incidência na costa norte, provocou inundações e inúmeros desabamentos.	
		2008	16 e 17 de Fevereiro	Como resultado de chuva intensa, lama e pedras invadiram a estrada no sítio da Caldeira, na Tabua.
			7, 8 e 9 de Abril	O temporal vindo de sudoeste abateu-se sobretudo sobre a costa sul da ilha. A precipitação caiu em abundância nos concelhos da Ribeira Brava, São Vicente, Câmara de Lobos, Funchal e Santa Cruz.
			5, 6, 7, 8 e 9 de Maio	Temporal por toda a ilha.
			Setembro	Chuva intensa por toda a ilha vários dias ao longo do mês (destacam-se os dias 11, 19, 20, 24, 26).
			22, 28, 29 Outubro	Chuva intensa por toda a ilha.
			1, 2, 3, 26 Novembro	Chuva intensa sobretudo nas zonas altas.
			12, 14, 15 Dezembro	Chuva intensa por toda a ilha.
	24-30 de Dezembro	Temporal por toda a ilha.		

Século	Ano	Dia /Mês	Local e acontecimento
	2009	18 de Dezembro	O Arquipélago da Madeira foi colocado sob —alerta laranjall, pelo Instituto de Meteorologia. As fortes chuvas aliadas a entulhos e outros detritos entupiram linhas de água que transbordaram provocando inundações.
	2010	22 e 23 de Dezembro	O mau tempo vindo de sudoeste, acompanhado por vento forte e trovoadas, possuidor de elevada precipitação, que se fez sentir na Madeira, nestes dias, aumentou os caudais dos ribeiros e das ribeiras, espalhando o caos e estragos um pouco toda a Ilha.
	2010	1 e 2 de Fevereiro	A Madeira esteve sobre forte precipitação, acompanhada de rajadas de vento que deixaram marcas de destruição um pouco por toda da Ilha, e causaram dissemelhantes prejuízos em várias localidades. Estas condições atmosféricas foram de tal forma adversas que o Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros, emitiu um —alerta vermelholl, justamente, para a ocorrência de forte precipitação e vento que, nas zonas montanhosas, poderia atingir os 70 quilómetros por hora. A Ilha, ainda não refeita do último temporal de 22 e 23 de Dezembro de 2009, viu os seus concelhos de Machico, de Santana, de Santa Cruz e do Funchal mais uma vez afetados.
		18, 19 e 20 de Fevereiro	Na noite do dia 19 chovia copiosamente e o caudal dos ribeiros e ribeiras remoçavam num ruído permanente; a precipitação era contínua nas montanhas da ilha. Pelas 10h, a água aparecia por todo lado e não havia modo de conter o caudal pluvial. Tudo, estava mergulhado em água castanha, com o odor a terra vegetal, fazendo recordar outros fenómenos idênticos no passado recente. De repente, o turbilhão já descia as encostas e atingia os vales e aumentava cada vez mais, arrastando tudo o que encontrava pela frente. As águas lamacentas galgaram pontes e as estradas tornaram-se ribeiras, instalando o pânico nas pessoas que conduziam carros sem controlo. O ruído da enxurrada apagava tudo à sua volta. Por fim, o silêncio humano. E assim aconteceu (talvez) a pior catástrofe dos últimos 200 anos na Madeira, que afetou em particular os concelhos do Funchal (a baixa da cidade e as zonas altas das freguesias do Monte e de Santo António), da Ribeira Brava (Tabua e Serra de Água), de Câmara de Lobos (Curral das Freiras e Jardim da Serra), de Toda a vertente sul da Madeira foi afetada pela intempérie. O balanço oficial indica que morreram 43 pessoas, oito permanecem desaparecidas, 120 ficaram feridas e 800 habitações sofreram danos, 400 das quais com perda total ou a precisar de uma intervenção profunda, num prejuízo avaliado em 36 milhões de euros. A Comissão Paritária Mista, criada mais tarde por elementos dos governos Regional e da República, definiu o valor dos prejuízos em 1.080 milhões de euros, mais 300 milhões do que a estimativa feita uma semana depois do temporal pelas autoridades regionais. (in http://madeira-gentes-lugares.blogspot.com)
	21 de Outubro	Chuva intensa por toda a ilha provocou várias inundações, quedas de árvores e obrigou ao encerramento de algumas estradas. As águas das ribeiras não transbordaram evitando um mal maior.	

ANEXO B: TABELA AUXILIAR PARA ESTIMAÇÃO DO NÚMERO DE ESCOAMENTO

Quadro 38: Relação entre códigos CORINNE LandCover, tipo hidrológico do solo e número de escoamento (AMCII). Fonte: adaptada de Lobo-Ferreira 1995; APA & MAOTE, (1995a).

Código LanCov	Designação	Classe	HYD_A	HYD_B	HYD_C	HYD_D
111	Tecido Urbano Contínuo	Espaços artificiais	100	100	100	100
112	Tecido Urbano Descontínuo	Espaços artificiais	69	80	86	89
121	Zonas Industriais, Comerciais e de Equipamentos Gerais	Espaços artificiais	85	90	92	94
122	Empresas de Redes Auto e Ferroviárias	Espaços artificiais	82	88	93	94
123	Zonas Portuárias	Espaços artificiais	81	88	91	93
124	Aeroportos	Espaços artificiais	98	98	98	98
131	Pedreiras, Britadeiras, Minas a Céu Aberto	Espaços artificiais	81	88	91	93
132	Descargas Industriais, Estéreis, Vazadouros	Espaços artificiais	81	88	91	93
133	Estaleiros	Espaços artificiais	81	88	91	93
141	Espaços Verdes Urbanos	Espaços artificiais	44	65	76	82
142	Equipamentos Desportivos E De Lazer	Espaços artificiais	44	65	76	82
211	Terras Aráveis fora dos Perímetros Irrigados	Áreas agrícolas	60	73	80	85
212	Perímetros Irrigados	Áreas agrícolas	60	73	80	85
213	Arrozais	Áreas agrícolas	62	74	82	85
221	Vinhas	Áreas agrícolas	62	74	82	85
222	Pomares	Áreas agrícolas	62	74	82	85
223	Olivais	Áreas agrícolas	62	74	82	85
224	Desconhecido Assume-se = 223	Áreas agrícolas	74	82	85	231
231	Prados	Áreas agrícolas	38	61	77	83
234	Desconhecido Assume-se = 231	Áreas agrícolas	61	77	83	241
241	Culturas Anuais Associadas a Culturas Permanentes	Áreas agrícolas	62	74	82	85
242	Sistemas Culturais e Parcelares Complexos	Áreas agrícolas	62	74	82	85
243	Terras Principalmente Agrícolas com Espaços Naturais Importantes	Áreas agrícolas	46	61	72	77
244	Áreas Agroflorestais	Áreas agrícolas	36	60	70	76
311	Folhosas	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
312	Coníferas	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
313	Florestas Mistas	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
321	Pastagens Pobres, Caminhos	Florestas e meios seminaturais	30	58	71	78
322	Charnecas E Matos	Florestas e meios seminaturais	30	58	71	78
323	Vegetação Esclerófito (Maquis e Garrigue)	Florestas e meios seminaturais	30	58	71	78
324	Áreas Florestais Degradadas	Florestas e meios seminaturais	56	75	86	91
331	Praias, Dunas, Areias e Solos Nus	Florestas e meios seminaturais	30	60	70	80
332	Rochas Nusas	Florestas e meios seminaturais	100	100	100	100
334	Áreas Áridas Recentemente	Florestas e meios seminaturais	30	58	71	78

Código LanCov	Designação	Classe	HYD_A	HYD_B	HYD_C	HYD_D
344	Desconhecido Assume-se = 334	30	58	71	78	411
411	Pântanos Interiores	Meios aquáticos	90	92	94	96
412	Turfeiras	Meios aquáticos	90	92	94	96
421	Sapais Marinhos	Meios aquáticos	90	92	94	96
422	Salinas	Meios aquáticos	100	100	100	100
423	Zonas Interditais	Meios aquáticos	100	100	100	100
511	Cursos De Agua	Planos de água	100	100	100	100
512	Planos De Agua, Lagos	Planos de água	100	100	100	100
521	Lagoas Litorais, Lagunas	Planos de água	100	100	100	100
522	Estuários	Planos de água	100	100	100	100
523	Mares e Oceanos	Planos de água	100	100	100	100
2112	Desconhecido Assume-se = 211	60	73	80	85	2131
2131	Desconhecido Assume-se = 213	62	74	82	85	2212
2212	Vinha + Pomar	Áreas agrícolas	62	74	82	85
2213	Vinha + Olival	Áreas agrícolas	62	74	82	85
2221	Pomar + Vinha	Áreas agrícolas	62	74	82	85
2223	Pomar + Olival	Áreas agrícolas	62	74	82	85
2231	Olival + Vinha	Áreas agrícolas	62	74	82	85
2232	Olival + Pomar	Áreas agrícolas	62	74	82	85
3111	Sobreiro	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
3112	Azinhreira	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
3113	Sobreiro + Azinhreira	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
3114	Castanheiro	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
3115	Carvalho	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
3116	Eucalipto	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
3121	Pinheiro Bravo	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
3122	Pinheiro Manso	Florestas e meios seminaturais	36	60	70	76
3211	Desconhecido Assume-se = A 321	30	58	71	78	9999
9999	Desconhecido Assume-se Cn=100	100	100	100	100	0

ANEXO C: PROPRIEDADES DAS SUB-BACIAS DEFINIDAS

Quadro 39: Características das sub-bacias: área, CN, t_c e lag time.

Bacia	Área (km ²)	CN-AMCIII	t_c (h)	Lag time (min)	Bacia	Área (km ²)	CN-AMCIII	t_c (h)	Lag time (min)
Rib. Atouguia Jus	1.05	91.22	0.22	8.04	Rib. Moinhos Jus	1.05	91.22	0.22	8.04
Rib. Atouguia Mont	6.59	89.27	0.38	13.55	Rib. Moinhos Mont	6.59	89.27	0.38	13.55
Rib. Boaventura Jus	4.29	90.33	0.41	14.73	Rib. Ponta do Sol Jus	4.29	90.33	0.41	14.73
Rib. Boaventura Mont	6.15	89.34	0.71	25.63	Rib. Ponta do Sol Mont	6.15	89.34	0.71	25.63
Rib. Brava Jus	19.75	88.94	0.63	22.50	Rib. Porco Jus	19.75	88.94	0.63	22.50
Rib. Brava M1	15.47	89.19	0.47	16.95	Rib. Porco Mont	15.47	89.19	0.47	16.95
Rib. Brava M2	5.71	89.30	0.32	11.60	Rib. Porto Novo Jus	5.71	89.30	0.32	11.60
Rib. Câmbios Jus	2.27	89.87	0.42	15.25	Rib. Porto Novo Mont	2.27	89.87	0.42	15.25
Rib. Câmbios Mont	1.28	90.70	0.35	12.67	Rib. Pregos Jus	1.28	90.70	0.35	12.67
Rib. Campanário Jus	4.73	90.76	0.45	16.33	Rib. Pregos Mont	4.73	90.76	0.45	16.33
Rib. Campanário Mont	2.99	88.75	0.40	14.55	Rib. S. Bartolomeu Jus	2.99	88.75	0.40	14.55
Rib. Carnisa Jus	1.48	88.56	0.22	7.95	Rib. S. Bartolomeu Mont	1.48	88.56	0.22	7.95
Rib. Carnisa Mont	1.84	88.11	0.22	7.97	Rib. S. Gonçalo	1.84	88.11	0.22	7.97
Rib. Cruz Jus	2.99	88.57	0.35	12.75	Rib. S. João Jus	2.99	88.57	0.35	12.75
Rib. Cruz Mont	2.02	89.51	0.39	13.90	Rib. S. João Mont	2.02	89.51	0.39	13.90
Rib. da Caldeira	3.14	93.46	0.45	16.19	Rib. S. Jorge Jus	3.14	93.46	0.45	16.19
Rib. do Caniço	6.06	90.90	0.80	28.73	Rib. S. Jorge Mont	6.06	90.90	0.80	28.73
Rib. Faial Jus	21.51	88.30	0.63	22.85	Rib. S. Vicente Jus	21.51	88.30	0.63	22.85
Rib. Faial M1	11.77	88.43	0.60	21.54	Rib. S. Vicente Mont	11.77	88.43	0.60	21.54
Rib. Faial M2	8.57	88.66	0.35	12.69	Rib. Santiago Jus	8.57	88.66	0.35	12.69
Rib. Faial M3	7.63	88.58	0.45	16.25	Rib. Santiago Mont	7.63	88.58	0.45	16.25
Rib. Funda Jus	3.88	89.42	0.50	17.93	Rib. Seca Jus	3.88	89.42	0.50	17.93
Rib. Funda Mont	2.30	88.88	0.29	10.30	Rib. Seca Mont	2.30	88.88	0.29	10.30
Rib. Galinhas Jus	2.48	89.66	0.29	10.58	Rib. Seixal Jus	2.48	89.66	0.29	10.58
Rib. Galinhas Mont	1.97	91.14	0.41	14.77	Rib. Seixal Mont	1.97	91.14	0.41	14.77
Rib. Inferno Jus	3.88	88.10	0.27	9.80	Rib. Serrado	3.88	88.10	0.27	9.80
Rib. Inferno Mont	2.05	88.08	0.15	5.40	Rib. Socorridos Jus	2.05	88.08	0.15	5.40
Rib. Janela Jus	32.75	88.45	1.01	36.36	Rib. Socorridos Mont	32.75	88.45	1.01	36.36
Rib. Janela Mont	18.92	89.08	1.06	38.32	Rib. Sta Cruz Jus	18.92	89.08	1.06	38.32
Rib. João Gomes Jus	9.86	88.48	0.77	27.84	Rib. Sta Cruz Mont	9.86	88.48	0.77	27.84
Rib. João Gomes Mont	1.56	88.98	0.46	16.40	Rib. Sta Luzia Jus	1.56	88.98	0.46	16.40
Rib. Juncal	4.59	89.72	0.52	18.58	Rib. Sta Luzia Mont	4.59	89.72	0.52	18.58
Rib. Machico Jus	21.87	90.12	0.80	28.97	Rib. Tabua Jus	21.87	90.12	0.80	28.97
Rib. Machico Mont	2.40	88.60	0.45	16.34	Rib. Tabua Mont	2.40	88.60	0.45	16.34
Rib. Madalena Jus	1.98	90.26	0.22	7.91	Rib. Tristão Jus	1.98	90.26	0.22	7.91
Rib. Madalena Mont	7.59	88.97	0.63	22.61	Rib. Tristão Mont	7.59	88.97	0.63	22.61
Rib. Marinheiros Jus	1.25	90.02	0.22	7.99	Rib. Vigário Jus	1.25	90.02	0.22	7.99
Rib. Marinheiros Mont	3.05	88.89	0.65	23.39	Rib. Vigário Mont	3.05	88.89	0.65	23.39

ANEXO D: VALORES CRÍTICOS DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DO TESTE DE FILLIBEN (R)

Tabela 7.10 – Valores críticos $r_{crit,\alpha}$ para a distribuição Normal, com $\alpha = 0,375$ na equação 7.32.

N	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
10	0,9347	0,9180	0,8804
15	0,9506	0,9383	0,9110
20	0,9600	0,9503	0,9290
30	0,9707	0,9639	0,9490
40	0,9767	0,9715	0,9597
50	0,9807	0,9764	0,9664
60	0,9835	0,9799	0,9710
75	0,9865	0,9835	0,9757
100	0,9893	0,9870	0,9812

Figura 37: Valores de r críticos para a distribuição Normal e LNormal. Fonte: (Naghettini & Pinto, 2007)

Tabela 7.11 – Valores críticos $r_{crit,\alpha}$ para a distribuição Gumbel, com $\alpha = 0,44$ na equação 7.32.

N	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
10	0,9260	0,9084	0,8630
20	0,9517	0,9390	0,9060
30	0,9622	0,9526	0,9191
40	0,9689	0,9594	0,9286
50	0,9729	0,9646	0,9389
60	0,9760	0,9685	0,9467
70	0,9787	0,9720	0,9506
80	0,9804	0,9747	0,9525
100	0,9831	0,9779	0,9596

Figura 36: Valores de r críticos para a distribuição de Gumbel. Fonte: (Naghettini & Pinto, 2007)

Tabela 7.12 – Valores críticos $r_{crit,\alpha}$ para a distribuição GEV, com $\alpha = 0,40$ na equação 7.32

α	N	$\kappa = -0,30$	$\kappa = -0,20$	$\kappa = -0,10$	$\kappa = 0$	$\kappa = 0,10$	$\kappa = 0,20$
0,01	5	0,777	0,791	0,805	0,817	0,823	0,825
	10	0,836	0,845	0,856	0,866	0,876	0,882
	20	0,839	0,855	0,878	0,903	0,923	0,932
	30	0,834	0,858	0,89	0,92	0,942	0,953
	50	0,825	0,859	0,902	0,939	0,961	0,97
0,01	100	0,815	0,866	0,92	0,959	0,978	0,985
0,05	5	0,853	0,863	0,869	0,874	0,877	0,88
	10	0,881	0,89	0,9	0,909	0,916	0,92
	20	0,898	0,912	0,926	0,938	0,948	0,953
	30	0,903	0,92	0,937	0,952	0,961	0,967
	50	0,908	0,929	0,95	0,965	0,974	0,979
0,05	100	0,914	0,94	0,963	0,978	0,985	0,989
0,10	5	0,888	0,892	0,896	0,899	0,901	0,903
	10	0,904	0,912	0,92	0,927	0,932	0,936
	20	0,92	0,932	0,943	0,952	0,958	0,962
	30	0,928	0,941	0,953	0,962	0,969	0,973
	50	0,935	0,95	0,963	0,973	0,979	0,982
0,10	100	0,944	0,961	0,974	0,983	0,988	0,991

Figura 38: Valores de r críticos para a distribuição GEV e GEV regionalizada. Fonte: (Naghettini & Pinto, 2007)

ANEXO E: REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS RESULTANTES DA ANÁLISE ESTATÍSTICA

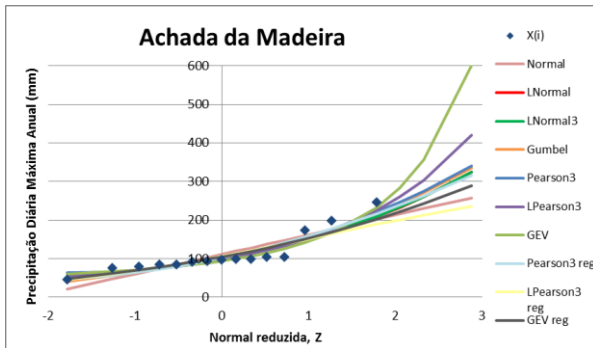


Figura 40: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Achada da Madeira.

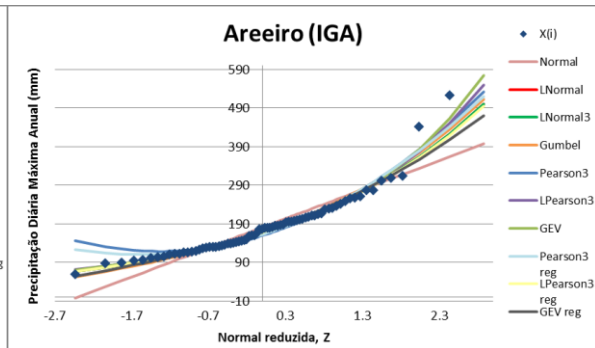


Figura 39: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Areiro (IGA).

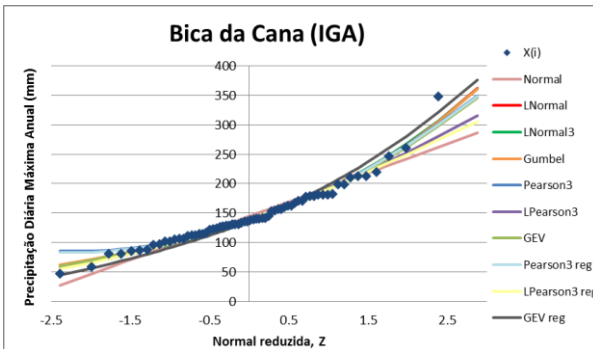


Figura 41: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Bica da Cana (IGA).

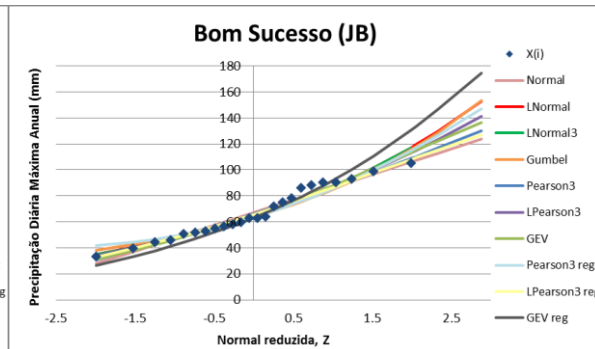


Figura 42: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Bom Sucesso (JB).

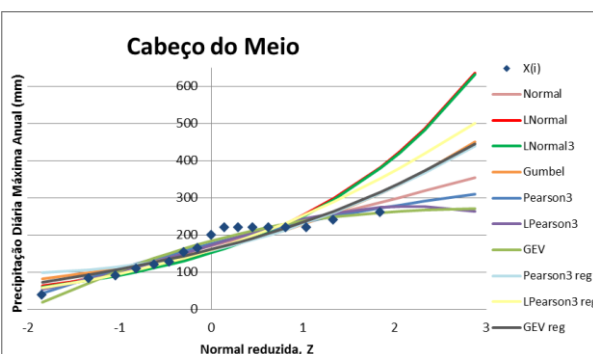


Figura 44: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Cabeço do Meio.

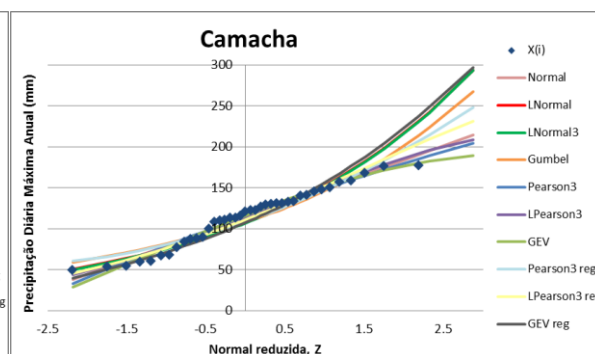


Figura 43: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Camacha.

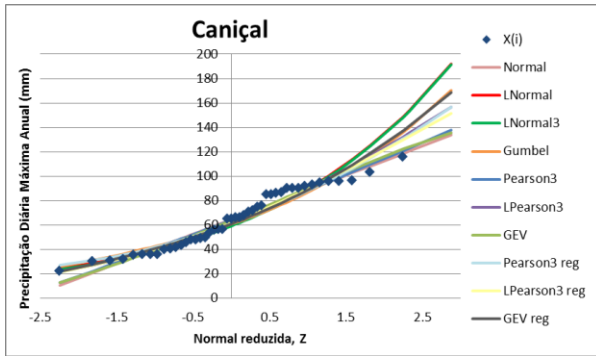


Figura 46: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Caniçal.

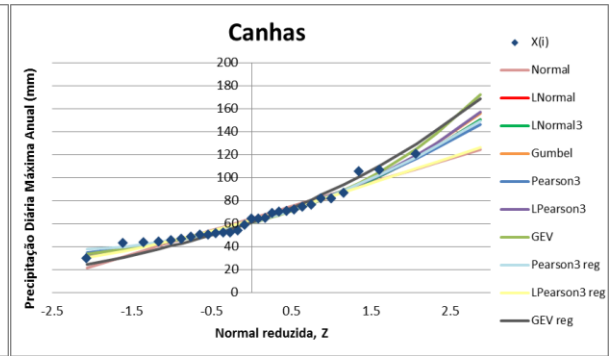


Figura 45: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Canhas.

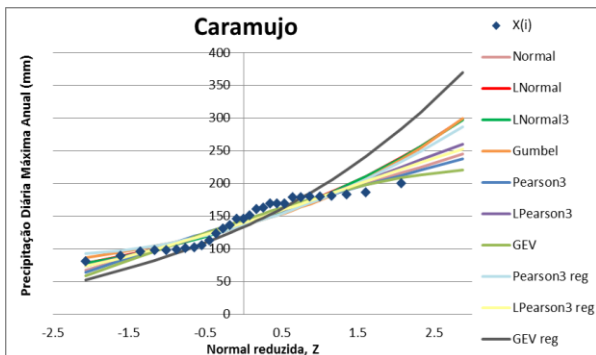


Figura 48: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Caramujo.

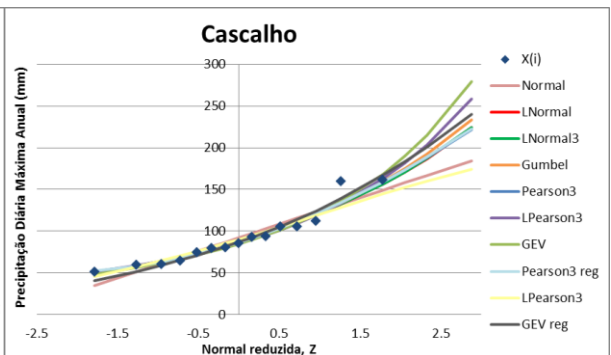


Figura 47: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Cascalho.

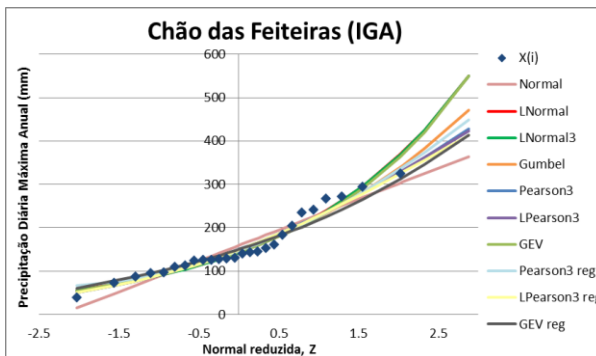


Figura 50: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Chão das Feiteiras (IGA).

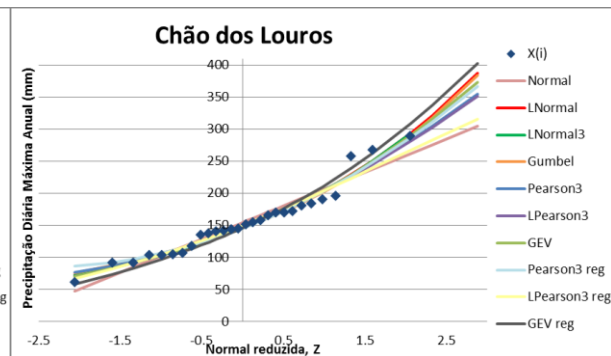


Figura 49: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Chão dos Louros.

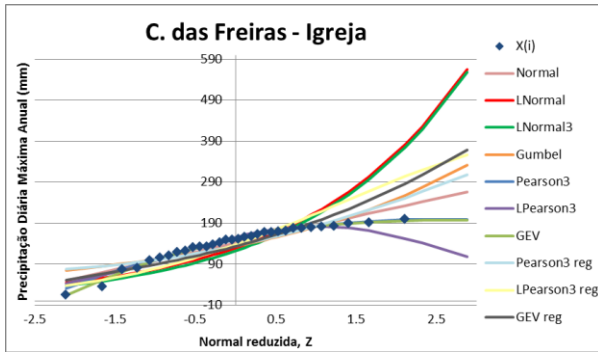


Figura 52: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Curral das Freiras - Igreja.

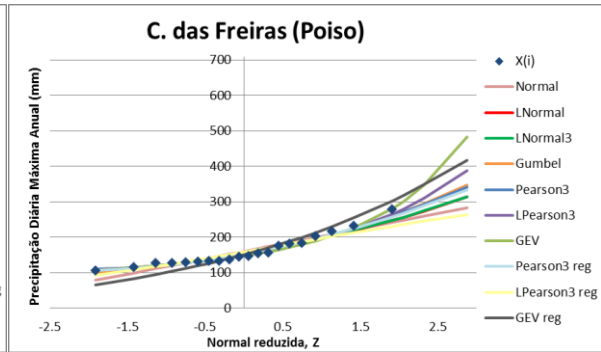


Figura 51: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Curral das Freiras (Poiso).

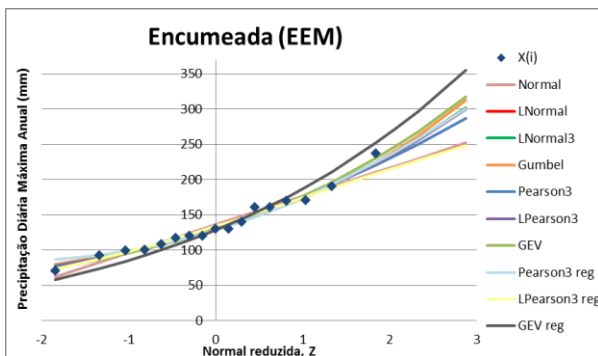


Figura 54: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Encumeada (EEM).

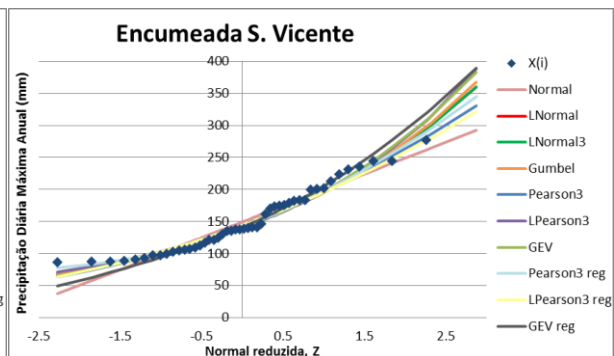


Figura 53: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Encumeada de S. Vicente.

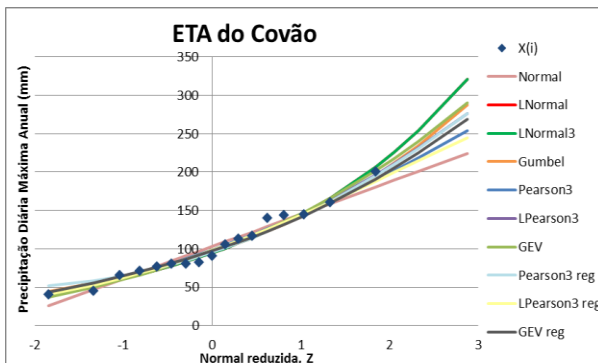


Figura 56: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da ETA do Covão.

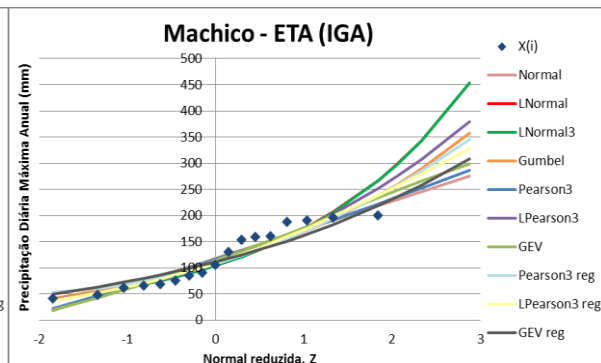


Figura 55: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Machico - ETA (IGA).

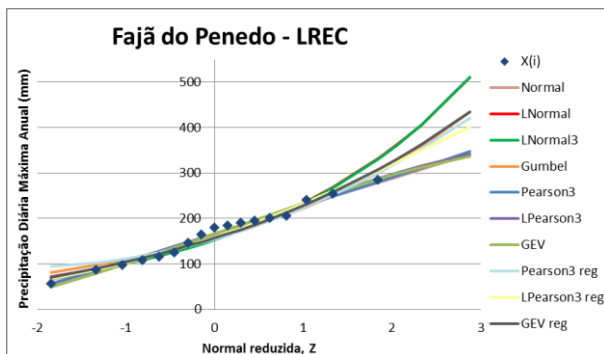


Figura 58: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Fajã do Penedo - LREC.

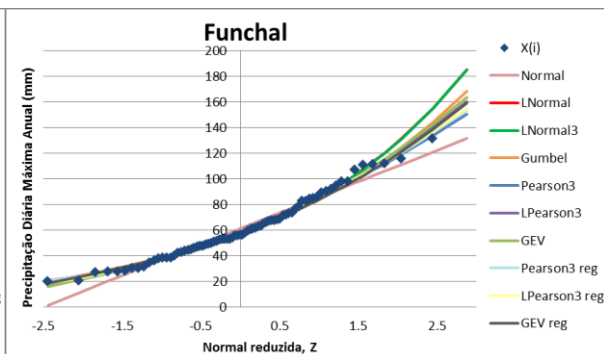


Figura 57: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Funchal.

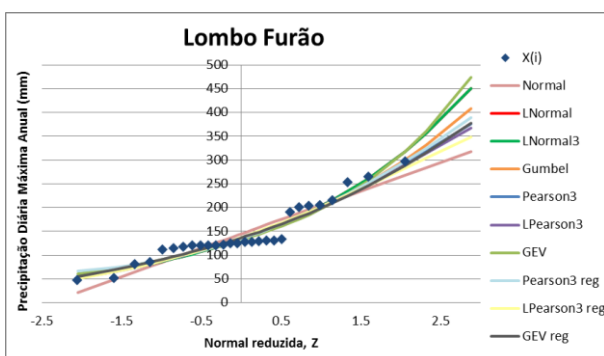


Figura 60: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Lombo Furão.

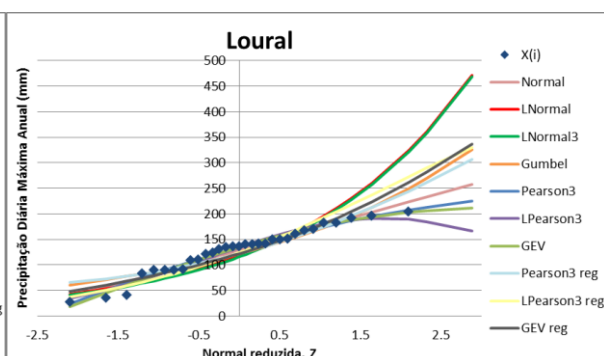


Figura 59: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Loural.

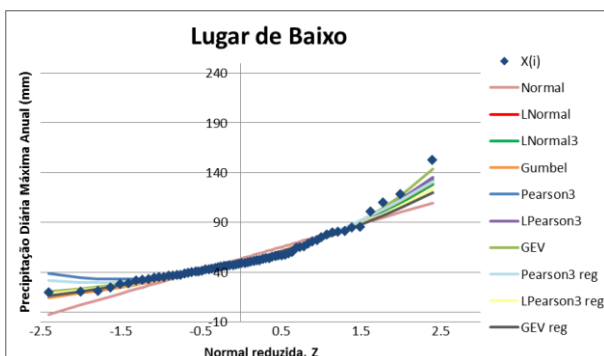


Figura 62: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Lugar de Baixo.

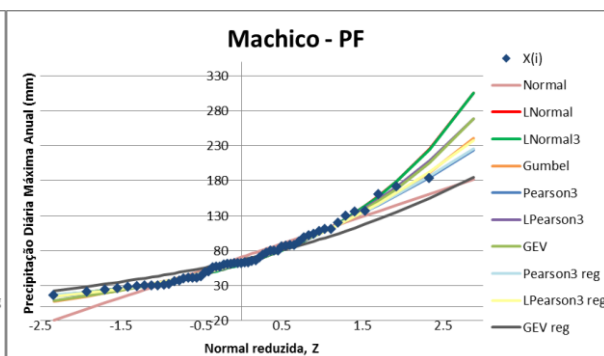


Figura 61: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Machico - PF.

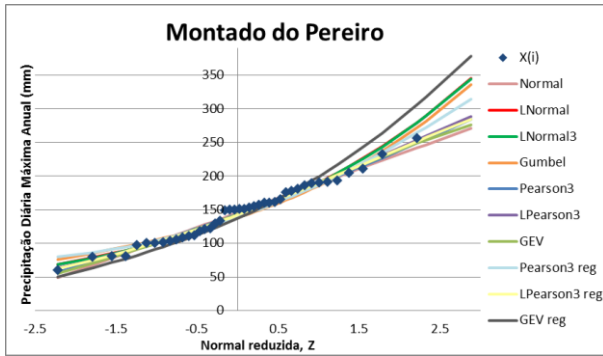


Figura 64: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Montado do Pereiro.

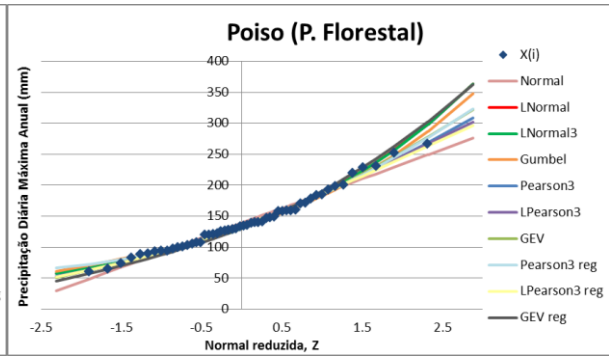


Figura 63: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Poiso (P. Florestal).

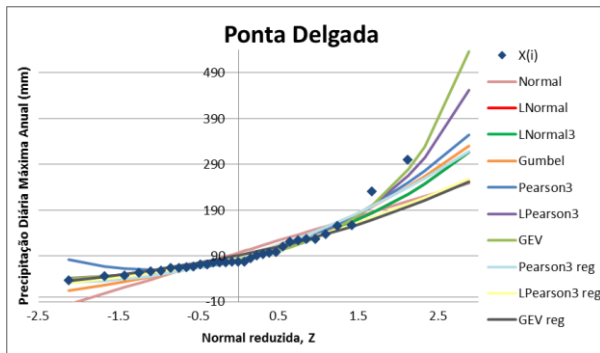


Figura 66: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Ponta Delgada.

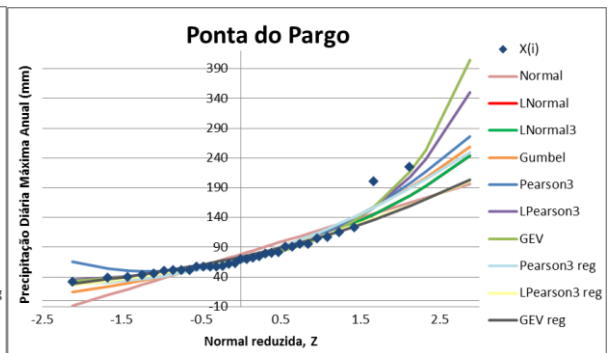


Figura 65: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Ponta do Pargo.

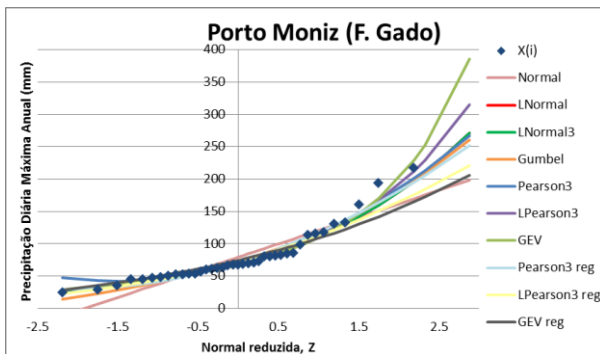


Figura 68: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Porto Moniz (F. Gado).

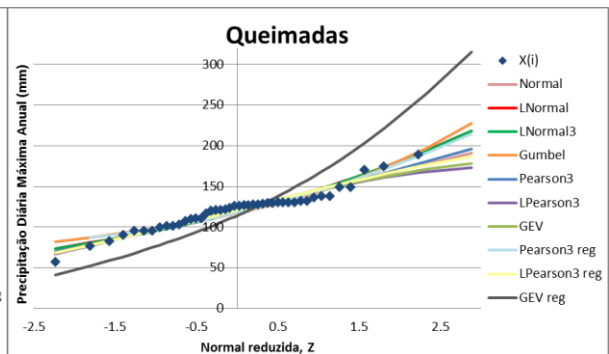


Figura 67: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto das Queimadas.

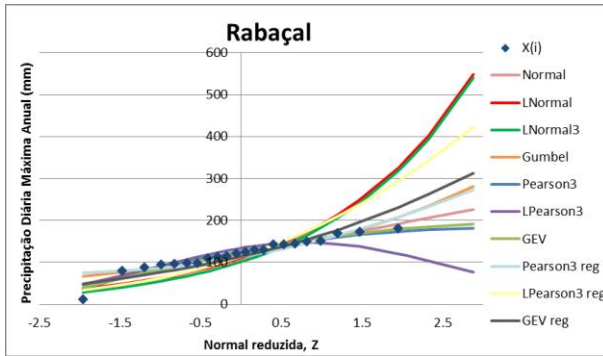


Figura 70: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Rabaçal.

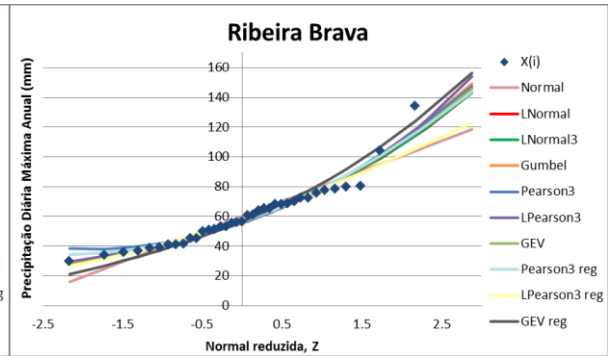


Figura 69: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Ribeira Brava.

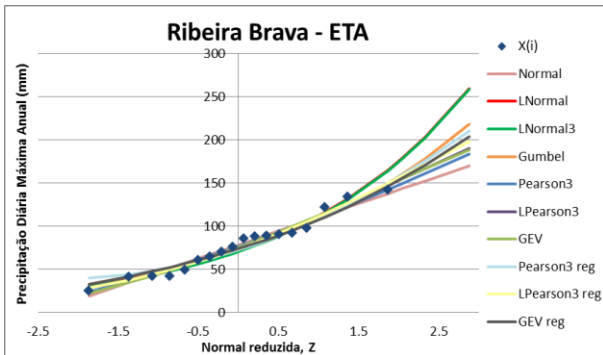


Figura 72: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Ribeira Brava - ETA.

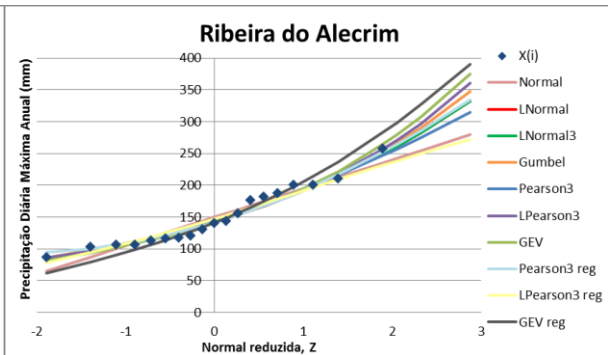


Figura 71: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Ribeira do Alecrim.

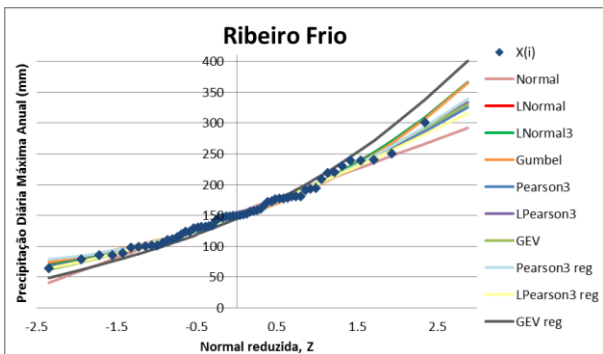


Figura 73: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Ribeiro Frio.

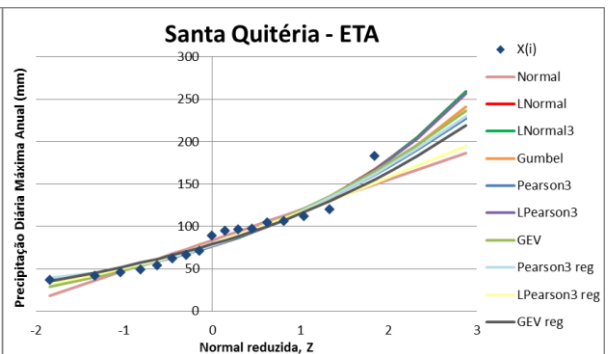


Figura 74: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Santa Quitéria - ETA.

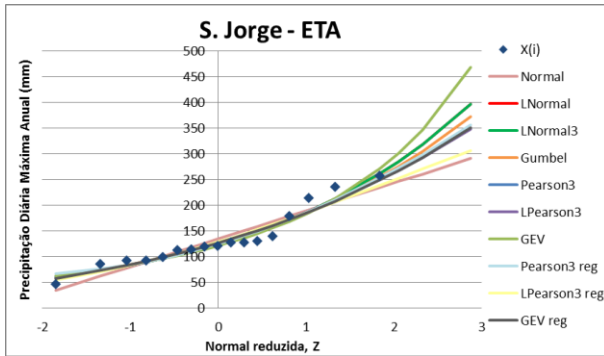


Figura 76: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de S. Jorge - ETA.

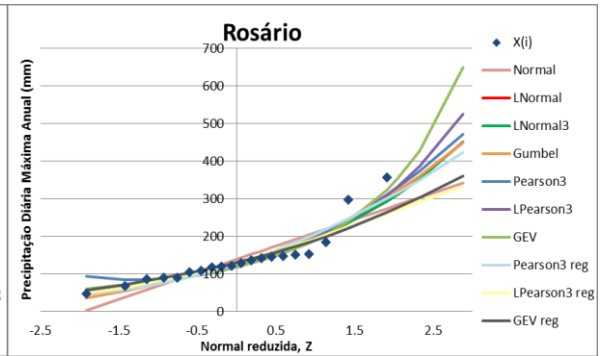


Figura 75: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Rosário.

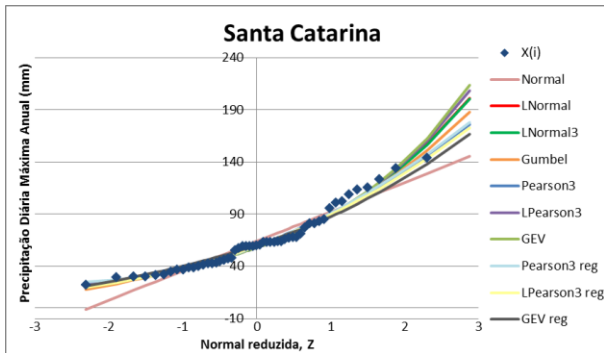


Figura 78: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Santa Catarina.

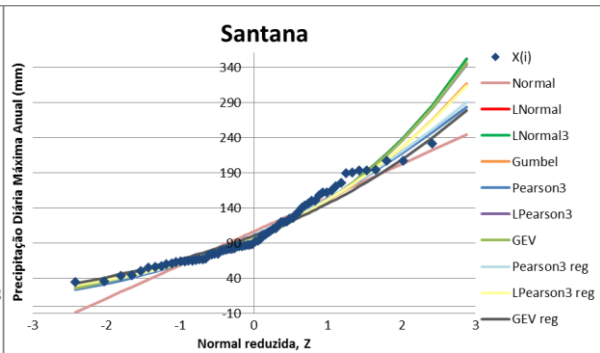


Figura 77: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto da Santana.

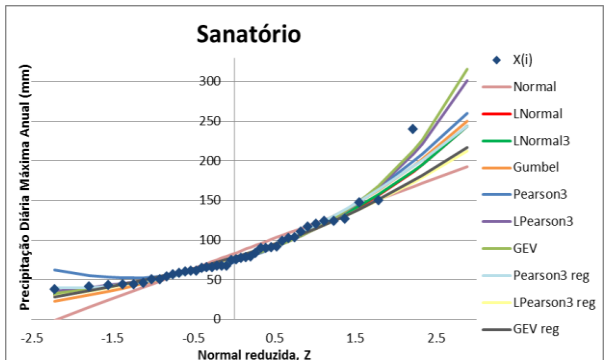


Figura 80: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Sanatório.

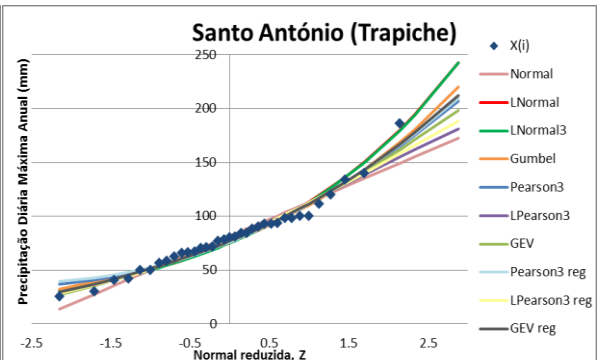


Figura 79: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto de Santo António (Trapiche).

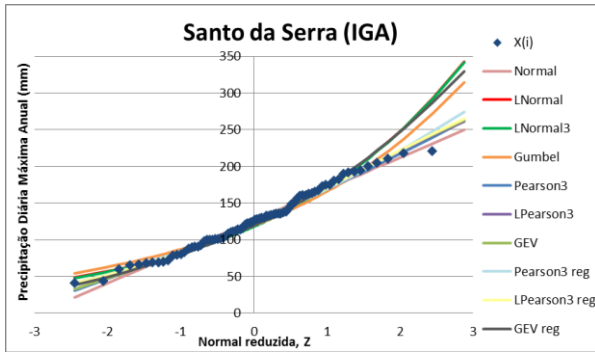


Figura 82: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Santo da Serra (IGA).

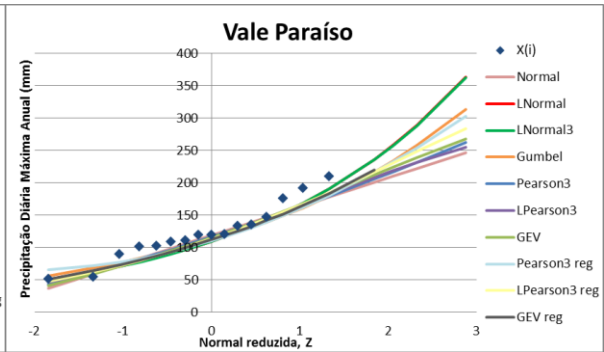


Figura 81: Precipitação diária máxima anual segundo várias leis estatísticas para o posto do Vale do Paraíso.

ANEXO F

ANEXO F: RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO TESTE DE FILLIBEN

Quadro 40: Resultados da aplicação do teste de Filliben consoante as estações em estudo e as várias distribuições de probabilidade.

Estação	Normal	LNormal	LNormal 3	Gumbel	Pearson3	Pearson 3 reg	LPearson3	LPearson 3 reg	GEV	GEV reg
Bom Sucesso (JB)	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Achada da Madeira	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.
Areeiro-IGA	Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
B. da Cana-IGA	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
C. Freiras (Igreja)	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.
C. Freiras (Poiso)	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.
Cabeço do Meio	N Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.
Camacha	N Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	Rej.
Canhas	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Caniçal	N Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.	Rej.
Caramujo	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.
Cascalho	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Ch. Feiteiras-IGA	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Ch. Louros	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Encum. S.Vicente	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Encumeada (EEM)	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
ETA do Covão	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Fajã do Penedo-IGA	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Funchal-Observatório	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
L. Baixo	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
L. Furão-IGA	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Loural	N Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.
M. Pereiro	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Machico (ETA-IGA)	N Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Machico (PF)	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
P. Delgada	Rej.	N Rej.	N Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
P. do Pargo	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.
P. Moniz (F. Gado)	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Poiso (PF)	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Queimadas	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	Rej.
R. Brava	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
R. Frio	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Rabaçal	N Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.
Ribeira Brava (ETA)	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Ribeira do Alecrim	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.

Estação	Normal	LNormal	LNormal 3	Gumbel	Pearson3	Pearson 3 reg	LPearson3	LPearson 3 reg	GEV	GEV reg
Rosário	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.
S. Jorge (ETA)	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
S. Serra-IGA	N Rej.	Rej.	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	Rej.
Sanatório	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Santa Quitéria (ETA)	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Santana	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Sta Catarina	Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Sto António (Trapiche)	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.
Vale Paraíso	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.	N Rej.

ANEXO G: SEMI-VARIOGRAMAS ASSOCIADOS À COKRIGAGEM

- T = 20 anos

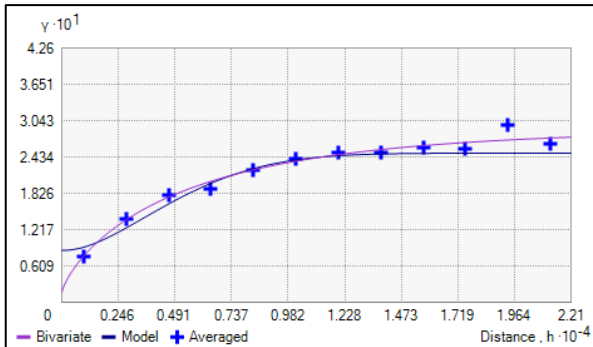


Figura 83: Semi-variograma da variável 0 (precipitação), para T= 20 anos.

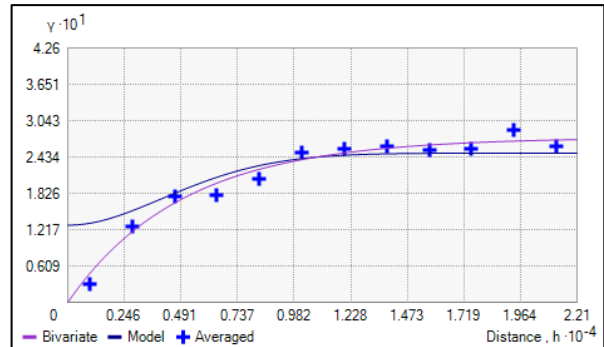


Figura 84: Semi-variograma da variável 1 (altitude), para T = 20 anos.

- T = 50 anos

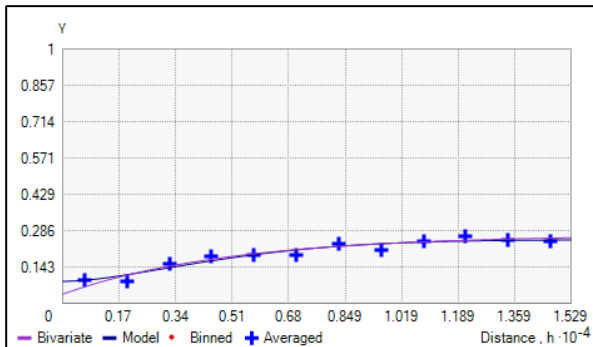


Figura 86: Semi-variograma da variável 0 (precipitação), para T= 50 anos.

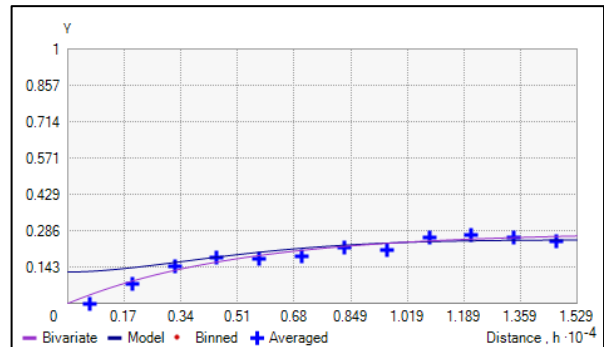


Figura 85: Semi-variograma da variável 1 (altitude), para T = 50 anos.

- T = 100 anos

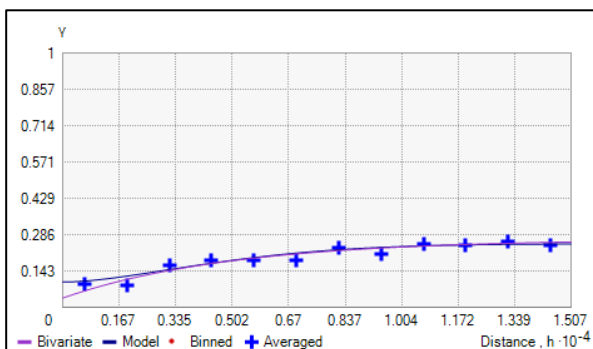


Figura 87: Semi-variograma da variável 0 (precipitação), para T = 100 anos.

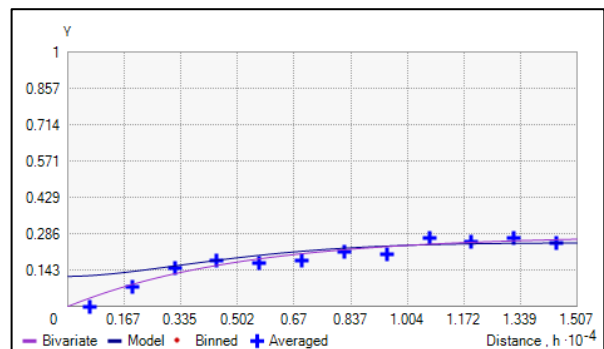


Figura 88: Semi-variograma da variável 1 (altitude), para T = 100 anos.

- T = 500 anos

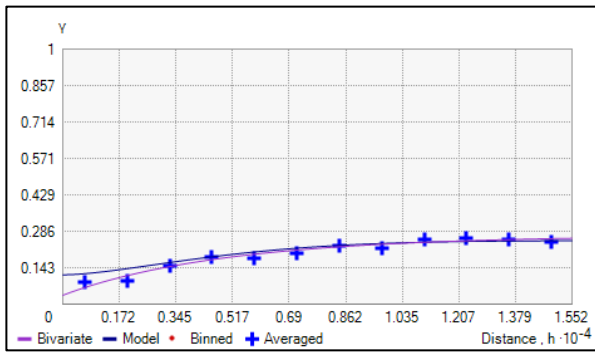


Figura 90: Semi-variograma da variável 0 (precipitação), para T = 500 anos.

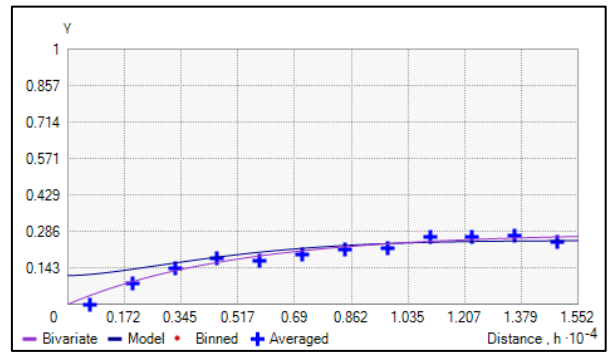


Figura 89: Semi-variograma da variável 1 (altitude), para T = 500 anos.

ANEXO H: QUOCIENTES MEDIANOS REFERENTES AOS RATIOS SUB-DIÁRIOS**Quadro 41: Quocientes medianos dos ratios sub-diários referentes às durações de 1h, 3h, 6h, 12h e 24h.**

Estação/Ratio	1h/1D	3h/1D	6h/1D	12h/1D	24h/1D
Ach. Grande	0.219	0.480	0.672	0.888	1.136
B. Cana-LREC	0.194	0.444	0.671	0.890	1.052
Camacha_LREC	0.335	0.588	0.790	0.950	1.119
C. Freiras-LREC	0.226	0.441	0.639	0.841	1.129
Encumeada-LREC	0.245	0.488	0.666	0.896	1.228
E.Z. Madeira	0.363	0.597	0.729	0.898	1.192
Estanquinhos	0.222	0.424	0.625	0.840	1.160
F. Ovelha	0.389	0.588	0.721	0.905	1.097
Casa Velha	0.235	0.459	0.664	0.889	1.199
Pico das Pedras	0.222	0.421	0.574	0.756	1.061
P. Moniz-PF	0.338	0.565	0.686	0.867	1.184
São Vicente-PF	0.269	0.520	0.701	0.872	1.186
Pico Verde	0.312	0.584	0.708	0.933	1.231
Prazeres	0.369	0.655	0.765	0.948	1.181
S. Gonçalo	0.513	0.792	0.871	1.015	1.241
Trapiche-LREC	0.299	0.602	0.822	0.995	1.161
B. da Cana (EMA)	0.166	0.365	0.591	0.887	1.140
Encumeada (EMA)	0.312	0.525	0.724	0.870	1.082
LREC	0.369	0.673	0.849	1.095	1.256
Machico	0.319	0.599	0.763	1.006	1.244
Monte (P.E.F.)	0.233	0.579	0.816	1.115	1.215
Pico Verde (EMA)	0.295	0.516	0.637	0.884	1.092
Porto Moniz	0.310	0.586	0.689	0.865	1.106
Santana-LREC	0.271	0.577	0.808	0.992	1.260
Areiro-IGA	0.208	0.439	0.657	0.910	1.166
B. Cana - IGA	0.234	0.447	0.652	0.903	1.148
Cova Grande	0.248	0.483	0.653	0.940	1.215
Encumeada IGA	0.189	0.438	0.675	0.975	1.278
S. Jorge - ETA	0.274	0.498	0.615	0.813	1.124
Fonte do Bispo	0.333	0.515	0.687	0.955	1.386
Lamaceiros	0.265	0.454	0.643	0.876	1.118
Lombo Furão	0.189	0.457	0.717	0.986	1.233
Rosário autom.	0.213	0.441	0.607	0.880	1.233
Funchal - IM	0.342	0.534	0.669	0.906	1.170

ANEXO I: CAUDAIS ESPECÍFICOS DE PONTA DE CHEIA ESTIMADOS NO PRAM

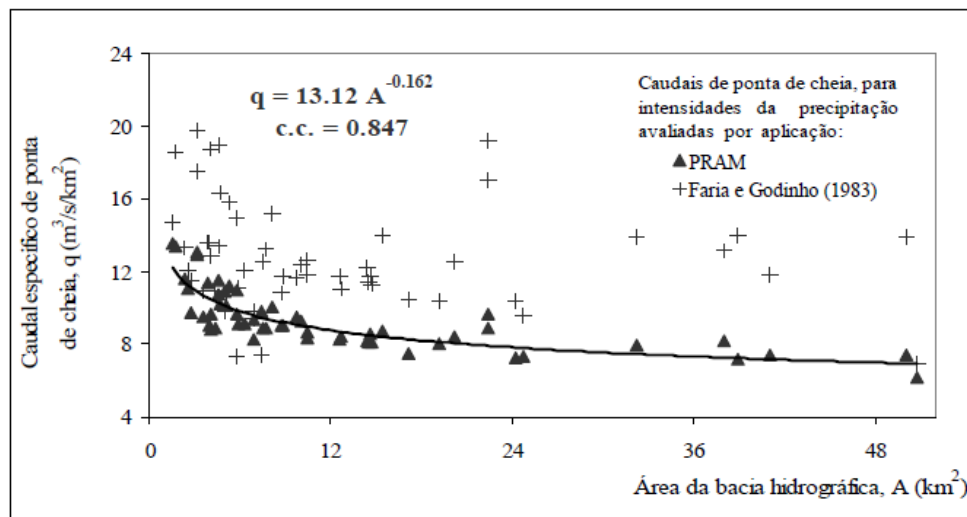


Figura 91: Caudais específicos de ponta de cheia para o período de 100 anos. Fonte: SRA & INAG (2003).