



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Faculdade de Engenharia

# **Efeito do aumento da área urbanizada nos caudais e nas alturas de escoamento em cheia numa pequena bacia hidrográfica**

**Aplicação à bacia hidrográfica de Manteigas no rio  
Zêzere**

**António José Cardino Caldas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil - Geotecnia e Ambiente**  
(2.º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutora Maria Manuela Portela C. dos Santos Ramos da Silva  
Coorientador: Prof. Doutora Isabel Maria da Conceição F. Gonçalves Falorca

**Covilhã, outubro de 2012**



## **Dedicatória**

Dedico esta dissertação de forma muito especial à minha querida amiga São, que sempre me apoiou durante esta árdua caminhada.



## Agradecimentos

A realização desta dissertação é fruto de vários meses de trabalho que culminam com a obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil. Obviamente que não teria sido possível sem a contribuição de algumas pessoas. Quero aproveitar esta oportunidade para lhes expressar o meu agradecimento:

Às minhas orientadoras Prof. Manuela Portela do IST e Prof. Isabel Falorca da UBI pelo apoio que me facultaram na realização deste trabalho.

Ao Eng. Pedro Lucas do GTF da Câmara Municipal de Manteigas pela disponibilização das cartas militares à escala 1:25000, onde se insere a BH de Manteiga.

Ao Eng. José Riscado pela criação da carta do número de escoamento CN da BH de Manteigas no laboratório técnico da UBI.

Ao Dr. Paulo Cruz da APA de Lisboa, pela digitalização das cartas do uso e utilização dos solos à escala 1:1000000.

À Prof. Ascensão Pires por todo o apoio e carinho que me dedicou nesta árdua caminhada.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram com algumas informações, muito obrigado.



## Resumo

A presente dissertação insere-se na análise de cheias, mais concretamente, quando está em causa o efeito sobre as cheias da alteração da ocupação da bacia hidrográfica por acréscimo da área urbanizada. Com efeito, o aumento da área de uma bacia hidrográfica com ocupação urbana pode originar agravamento nas condições de cheia, sendo que o estudo de tal circunstância requer a estimativa de caudais de ponta de cheia. Tendo por base um caso de estudo, consubstanciado por uma pequena bacia hidrográfica relativamente à qual se equacionaram diferentes cenários de área urbanizada, procedeu-se à caracterização do efeito do aumento dessa área nos caudais de ponta de cheia e nas correspondentes alturas de escoamento. A abordagem efectuada compreendeu a caracterização da bacia hidrográfica e das precipitações intensas, a consideração de diferentes cenários de áreas urbanizadas, a estimativa de caudais de ponta de cheia fazendo intervir modelos empíricos desenvolvidos pelo *Soil Conservation Service* (SCS) e o cálculo hidráulico de alturas de escoamento em condições de cheia.

As reduções do tempo de concentração  $t_c$  e das perdas de precipitação que decorrem do aumento da área com a ocupação urbana e que conduzem ao aumento dos caudais de ponta de cheia foram avaliadas com base no número de escoamento.

De um modo geral, os resultados mostram que o acréscimo da área urbanizada origina um aumento dos caudais de ponta de cheia e conseqüentemente um aumento das alturas de escoamento. Com efeito, se a área urbanizada aumentar para 25% da área da bacia hidrográfica os acréscimos percentuais relativamente à situação atual do caudal de ponta de cheia centenária e da correspondente altura do escoamento são de 26% e 14%, respetivamente. Os valores para um acréscimo da área urbanizada correspondente a 50% da área atual são de 57% e 29%, respetivamente.

## Palavras-chave

Cheia

Ocupação urbana

Modelo de perdas do SCS

Número de escoamento



## Abstract

This thesis intends to investigate the floods, mainly the effects of floods in the modification of the occupancy of the hydrographic basin due to the increase of the urbanized area. In fact, the increase of the urbanized area around the hydrographic basin may cause the aggravation in the flood conditions and, to study that circumstance, it requires an evaluation of the flow when it reaches its peak. By studying a little hydrographic basin, for which different scenarios of urbanized area were presented, the study made possible the characterization of the effect on the flow on its peak and the determination of the corresponding level of drainage. This approach contains a characterization of the hydrographic basin and of the intense rainfall, considering different scenarios of urbanized areas and an estimation of the flow in a peak of flooding, using empirical models developed by Soil Conservation Service (SCS) and the hydraulic calculation of the level of drainage when a flood occurs.

The reduction of the time of concentration  $t_c$  and the losses of rainfall that occur during the increase of the urbanized area that lead to an increase in the flow of a river in the peak of the flood were evaluated based on the number of discharges.

At large, the results show that the increase of the urbanized area originates an increase in the volume of flow in floods and, therefore, an increase in the level of discharges. In fact, if the urbanized area raises to 25% of the hydrographic basin during a century, the increase rate of the current water capacity in the peak of the flood will be 26%, and the increase in the discharge level will be 14%. By increasing in the urbanized area 50% during a century, the increase rate will be 57% and 29% respectively.

## Keywords

Flood

Urban occupancy

Model of losses developed by the SCS

Number of discharges



# Índice

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA E OBJETIVOS</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 MATERIAL DE APOIO</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 METODOLOGIA E ORGANIZAÇÃO</b> .....	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>5</b>
<b>BACIA HIDROGRÁFICA DA ESTAÇÃO DE MANTEIGAS</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 BACIA HIDROGRÁFICA DE MANTEIGAS</b> .....	<b>5</b>
2.2.1 <i>Localização da Bacia</i> .....	<b>5</b>
2.2.2 <i>Delimitação da Bacia</i> .....	<b>12</b>
2.2.3 <i>Enquadramento Territorial</i> .....	<b>13</b>
<b>2.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA BACIA</b> .....	<b>15</b>
2.3.1 <i>Forma</i> .....	<b>15</b>
2.3.2 <i>Relevo</i> .....	<b>20</b>
2.3.3 <i>Declive Médio</i> .....	<b>23</b>
<b>2.4 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE DRENAGEM</b> .....	<b>26</b>
2.4.1 <i>Regime do Escoamento</i> .....	<b>26</b>
2.4.2 <i>Hierarquização dos Cursos de Água</i> .....	<b>31</b>
2.4.3 <i>Densidade de Drenagem</i> .....	<b>35</b>
2.4.4 <i>Perfil Longitudinal do Curso de Água Principal</i> .....	<b>38</b>
<b>2.5 OUTRAS CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA</b> .....	<b>45</b>
2.5.1 <i>Geologia</i> .....	<b>45</b>
2.5.2 <i>Tipo de Solo</i> .....	<b>52</b>
2.5.3 <i>Unidades Hidrogeomorfológicas</i> .....	<b>56</b>
2.5.4 <i>Uso e Ocupação do Solo</i> .....	<b>60</b>
2.5.5 <i>Número de Escoamento</i> .....	<b>63</b>
<b>2.6 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO</b> .....	<b>67</b>
<b>2.7 SÍNTESE DA CARATERIZAÇÃO</b> .....	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>73</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES INTENSAS NA BACIA</b> .....	<b>73</b>
<b>3.1 CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS</b> .....	<b>73</b>
<b>3.2 DADOS DE BASE</b> .....	<b>74</b>

3.2.1 Seleção das Séries de Precipitação.....	74
3.2.2 Imagens dos Postos de Penhas Douradas e da Covilhã.....	75
3.2.3 Processamento dos Dados.....	82
3.2.3.1 Método dos polígonos de Thiessen.....	89
<b>3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS.....</b>	<b>91</b>
3.3.1 Características Estatísticas.....	91
3.3.2 Frequências Empíricas.....	93
3.3.3 Ajuste das Leis Estatísticas.....	96
3.3.4 Precipitações de Projeto.....	104
<b>3.4 SÍNTESE DAS PRECIPITAÇÕES.....</b>	<b>106</b>
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>109</b>
<b>CÁLCULOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS.....</b>	<b>109</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	109
4.2 CENÁRIOS NA BH DE MANTEIGAS.....	110
4.3 CAUDAIS DE PONTA DE CHEIA.....	113
4.3.1 Fórmula Racional.....	113
4.3.2 Síntese dos Caudais de Ponta de Cheia.....	116
4.4 ALTURA DE ESCOAMENTO DOS CAUDAIS DE PONTA DE CHEIA.....	117
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>121</b>
<b>CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....</b>	<b>121</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Localização da Secção de Referência da BH de Manteigas (Google Earth).....	7
Figura 2.2 - Secção de Referência da BH de Manteigas .....	7
Figura 2.3 - Régua graduada na cabina da Estação Hidrométrica.....	8
Figura 2.4 - Cabina na Estação Hidrométrica (Secção de Referência) .....	8
Figura 2.5 - BH de Manteigas; a) Secção de Referência; b) Secção Hidrométrica; c) Vale Glaciar .....	9
Figura 2.6 - Portugal Continental com a localização esquemática das falhas tectónicas .....	10
Figura 2.7 - Carta das BH de Portugal Continental com a localização esquemática da BH de Manteigas .	11
Figura 2.8 - Extrato da carta das BH de Portugal com a localização esquemática da BH de Manteigas...	12
Figura 2.9 - Bacia Hidrográfica de Manteigas sobre as Cartas Militares nº223 e nº224.....	13
Figura 2.10 - Portugal Continental com a localização esquemática da BH de Manteigas.....	14
Figura 2.11 - BH de Manteigas sobre as Cartas Militares nº223 e 224 à escala 1:25000.....	15
Figura 2.12 - Perímetros real e adoçado da BH de Manteigas .....	17
Figura 2.13 - Retângulo equivalente genérico.....	17
Figura 2.14 - Retângulo equivalente da BH de Manteigas.....	19
Figura 2.15 - Áreas entre curvas de nível assinaladas, utilizadas na obtenção da curva hipsométrica....	20
Figura 2.16 - Curva hipsométrica com unidades e adimensional. Altitudes e alturas características .....	21
Figura 2.17 - Curvas de nível adoçadas múltiplas de 50 m na BH de Manteigas .....	24
Figura 2.18 - Imagem modelo do ciclo da água.....	26
Figura 2.19 - BH de Manteigas em 3D (Google Earth) com principais imagens fotográficas localizadas: a) Torre Alta; b) Cântaros; c) Nave de Sto. António; d) Fonte da Jonja; e) Covão da Ametade; f) Fonte Paulo Luís Martins; g) Vale glaciar de Manteigas; h) Parque de lazer; i) Levada de regadio; j) Estação hidrométrica; k) Secção de Referência.....	27
Figura 2.20 - Fonte da Jonja de 1954 na Bacia Hidrográfica de Manteigas.....	28
Figura 2.21 - Fonte Paulo Luís Martins de 1951 na Bacia Hidrográfica de Manteigas.....	29
Figura 2.22 - Derivação do Rio Zêzere para uma Levada de Regadio na BH de Manteigas .....	30
Figura 2.23 - Espaço de lazer junto à margem direita do Rio Zêzere na BH de Manteigas .....	31
Figura 2.24 - Classificação das linhas de água da BH de Manteigas através do método de Stralher .....	32
Figura 2.25 - Classificação das linhas de água da BH de Manteigas através do método de Horton.....	34
Figura 2.26 - Densidade de drenagem $D_d$ num quadrado com $1 \text{ km}^2$ de área ( $D_d = 1 \text{ km}/\text{km}^2$ ).....	36
Figura 2.27 - Densidade de drenagem $D_d$ num retângulo com $1 \text{ km}^2$ de área ( $D_d = 2 \text{ km}/\text{km}^2$ ).....	37
Figura 2.28 - Linha principal de água em planta e em perfil (imagem de Satélite-Google Earth) .....	39
Figura 2.29 - Declive equivalente $d_{eq}$ em dimensões proporcionais .....	42
Figura 2.30 - Cálculo geométrico do declive equivalente $d_{eq}$ em dimensões proporcionais .....	42
Figura 2.31 - Declives do perfil longitudinal da linha de água principal da BH de Manteigas.....	43
Figura 2.32 - Bloco diagrama esquemático da geologia da Serra da Estrela.....	46
Figura 2.33 - Carta geológica de Portugal Continental com a localização da BH de Manteigas.....	47
Figura 2.34 - Legenda da figura 2.33 .....	48

Figura 2.34 - Legenda da figura 2.33 (continuação).....	49
Figura 2.35 - Bacia Hidrográfica de Manteigas sobre a carta geológica 20 B .....	50
Figura 2.36 - Legenda da figura 2.35 .....	50
Figura 2.36 - Legenda da figura 2.35 (continuação).....	51
Figura 2.36 - Legenda da figura 2.35 (continuação).....	52
Figura 2.37 - Carta do Tipo de Solos de Portugal Continental com a localização BH de Manteigas .....	53
Figura 2.38 - Legenda da figura 2.37 .....	54
Figura 2.38 - Legenda da figura 2.37 (continuação).....	55
Figura 2.39 - Estrato da Carta Tipo de Solos com a localização esquemática da BH de Manteigas.....	56
Figura 2.40 - Unidades hidrogeomorfológicas da Bacia Hidrográfica de Manteigas .....	57
Figura 2.41 - Carta do Uso e Ocupação do Solo de Portugal com a localização da BH de Manteigas.....	60
Figura 2.42 - Legenda da figura 2.41 .....	61
Figura 2.42 - Legenda da figura 2.41 (continuação).....	62
Figura 2.43 - Excerto da Carta do Uso e Ocupação do Solo com a localização da BH de manteigas.....	62
Figura 2.44 - Bacia Hidrográfica do Tejo em Portugal com a localização da BH de Manteigas.....	64
Figura 2.45 - Carta do número de escoamento CN da Bacia Hidrográfica de Manteigas .....	67
Figura 2.46 - Gráfico com os resultados do tempo de concentração $t_c$ .....	70
Figura 3.1 - Estação meteorológica de Penhas Douradas; a) Termógrafo; b) Psicómetro, termómetros de temperatura máxima e mínima e higrómetros de vidro e metálico; c) Udómetro.....	75
Figura 3.2 - Abrigo da estação meteorológica clássica de Penhas Douradas.....	76
Figura 3.3 - Higrótermógrafo de Penhas Douradas .....	77
Figura 3.4 - Higrómetro metálico de Penhas Douradas .....	77
Figura 3.5 - a) Evaporímetro de Piche; b) e c) Higrómetro de vidro ou psicómetro; d) e e) Termómetros de temperatura máxima e mínima de Penhas Douradas.....	79
Figura 3.6 - Udógrafo ou pluviómetro de Penhas Douradas .....	80
Figura 3.7 - Anemómetro e cata-vento de Penhas Douradas.....	81
Figura 3.8 - Posto udométrico da Covilhã; a) Cata-vento; b) Anemómetro; d) Painel fotovoltaico; e) Antena de emissão de dados.....	82
Figura 3.9 - Áreas de influência da BH de Manteigas pelo método dos polígonos de Thiessen.....	90
Figura 3.10 - Ajuste das distribuições teóricas à distribuição empírica correspondente à amostra 1....	100
Figura 3.11 - Ajuste das distribuições teóricas à distribuição empírica correspondente à amostra 2....	104
Figura 4.1 - Secção transversal trapezoidal com a altura do caudal para o cenário 2. ....	119
Figura 4.2 - Imagens do talvegue no trecho da secção transversal trapezoidal no rio Zêzere .....	120
Figura 4.3 - Configuração e cotas reais da secção hidrométrica atual de Manteigas (ver figura 2.2). ....	120

## Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Dados da Secção de Referência (Estação Hidrométrica) da BH de Manteigas .....	6
Quadro 2.2 - Área da BH de Manteigas distribuída pelos Concelhos de: Manteigas, Seia e Covilhã .....	15
Quadro 2.3 - Parâmetros do índice de compacidade de Gravelius.....	16
Quadro 2.4 - Valores característicos da BH de Manteigas.....	19
Quadro 2.5 - Divisão da BH de Manteigas em sete áreas.....	21
Quadro 2.6 - Resultados das áreas entre cotas da BH de Manteigas.....	22
Quadro 2.7 - Resultados do cálculo da curva hipsométrica.....	22
Quadro 2.8 - Valores auxiliares no cálculo da altitude mediana $Z_{med}$ .....	23
Quadro 2.9 - Comprimento das curvas de nível adoçadas da BH de Manteigas. ....	25
Quadro 2.10 - Valores de referência para a relação de bifurcação.....	31
Quadro 2.11 - Classificação das linhas de água da BH de Manteigas pelo método de Stralher (1957) .....	33
Quadro 2.12 - Classificação das linhas de água da BH de Manteigas pelo método de Horton (1945) .....	35
Quadro 2.13 - Valores de referência da densidade de drenagem $D_d$ .....	37
Quadro 2.14 - Comprimento das linhas de água da BH de Manteigas.....	37
Quadro 2.15 - Resultados da densidade de drenagem $D_d$ da BH de Manteigas .....	38
Quadro 2.16 - Valores de apoio no cálculo da cota $Z_{85}$ .....	41
Quadro 2.17 - Valores de apoio no cálculo da cota $Z_{10}$ .....	41
Quadro 2.18 - Caracterização do perfil longitudinal.....	44
Quadro 2.19 - Coordenadas do Centro Geométrico da BH de Manteigas.....	57
Quadro 2.20 - Características hidrogeomorfológicas .....	58
Quadro 2.20 - Características hidrogeomorfológicas (continuação à direita) .....	59
Quadro 2.21 - Classificação hidrológica de solos segundo SCS (adaptado de Lencastre e Franco, 1992)..	63
Quadro 2.22 - Condições de humidade antecedente AMC.....	65
Quadro 2.23 - Valores de CN (condição II - $13 \text{ mm} < P_{5\text{dias}} < 53 \text{ mm}$ ) AMC II.....	66
Quadro 2.24 - Resumo da caraterização.....	71
Quadro 3.1 - Caracterização dos postos udográfico e udométrico.....	74
Quadro 3.2 - Valores das precipitações diárias máximas anuais nos postos udométricos e na bacia .....	83
Quadro 3.2 - Valores das precipitações diárias máximas anuais nos postos udométricos e na bacia (continuação) .....	84
Quadro 3.3 - Relatório das falhas nas séries de Precipitação diária.....	85
Quadro 3.4 - Precipitações diárias do ano hidrológico 1946/1947 no posto udométrico da Covilhã .....	86
Quadro 3.5 - Precipitações diárias do ano hidrológico 1946/1947 no posto udométrico de P. Douradas ..	87
Quadro 3.6 - Precipitações diárias máximas no ano hidrológico 1946/1947 na BH de Manteigas .....	88
Quadro 3.7 - Área de influência dos postos udométrico e udográfico na BH de Manteigas .....	90
Quadro 3.8 - Amostra 1 e amostra 2 ponderada na bacia.....	91
Quadro 3.8 - Amostra 1 e amostra 2 ponderada na bacia (continuação) .....	92
Quadro 3.9 - Frequências empíricas da amostra 1 e amostra 2 .....	94

Quadro 3.9 - Frequências empíricas da amostra 1 e amostra 2 (continuação) .....	95
Quadro 3.10 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 1 .....	97
Quadro 3.10 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 1 (continuação).....	98
Quadro 3.10 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 1 (continuação).....	99
Quadro 3.10 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 1 (continuação).....	100
Quadro 3.11 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 2.....	101
Quadro 3.11 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 2 (continuação).....	102
Quadro 3.11 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 2 (continuação).....	103
Quadro 3.12 - Precipitações diárias máximas anuais para diferentes períodos de retorno.....	105
Quadro 3.13 - Precipitações máximas anuais com duração igual a $t_c$ para diferentes períodos de retorno T .....	105
Quadro 3.14 - Precipitações diárias máximas anuais na bacia para um período de retorno T=100 anos .....	107
Quadro 4.1 - Cenários correspondentes ao aumento da área urbanizada. Valores do número de escoamento para condições antecedentes de humidade médias - CN(II) ou CN (AMC II) e mais húmidas - CN(III) ou CN (AMC III) .....	110
Quadro 4.2 - Precipitação máxima para condições antecedentes de humidade mais húmidas - AMC III.	111
Quadro 4.3 - Resultados da aplicação do modelo de perdas do SCS à precipitação de projeto para o período de retorno de 100 anos.....	112
Quadro 4.4 - Resultados dos caudais e respetivas alturas para a situação atual e para os cenários 1 e 2 .....	115
Quadro 4.5 - Caudais de ponta de cheia na secção de referência da BH de Manteigas na situação atual e nos cenários considerados de expansão da área urbana.....	116
Quadro 4.6 - Cálculo do declive médio (i) num trecho de 4608 m com início na secção hidrométrica ..	118
Quadro 4.7 - Cálculo da altura h para o caudal de ponta igual a 274,7 m <sup>3</sup> /s, cenário 2 .....	119

## Lista de Acrónimos

AMC	Antecedent Moisture Conditions
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
BH	Bacia Hidrográfica
CG	Centro Geométrico
CN	Curve Number
DSRH	Direção dos Serviços de Recursos Hídricos
EH	Estação Hidrométrica
EN	Estrada Nacional
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologia
FG	Fundação Gulbenkian
GPS	Global Positioning System
GTF	Gabinete Técnico Florestal
HEC	Hydrologic Engineering
INAG	Instituto da Água
IST	Instituto Superior Técnico
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NE	Nordeste
Pa	Pascal
RRH	Revista de Recursos Hídricos
SCS	Soil Conservation Service
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIG	Sistema Nacional de Informação Geográfica
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SR	Secção de Referência
SW	Sudoeste
UBI	Universidade da Beira Interior
UNL	Universidade Nova de Lisboa



## Lista de Símbolos

$\bar{X}$	Média aritmética
$\Delta_H$	Diferença entre cotas
A	Área da bacia
$A_{\text{adoçada}}$	Área adoçada
$A_{\text{bacia}}$	Área da bacia
$A_{\text{real}}$	Área real
B	Base da secção transversal trapezoidal do rio
b	Largura
C	Coefficiente de rugosidade
$C_a$	Coefficiente de assimetria
$C_v$	Coefficiente de variação
$d_{10,85}$	Declive entre 10% e 85% do comprimento do rio
$D_d$	Densidade de drenagem
$d_{\text{eq}}$	Declive equivalente
$d_m$	Declive médio da linha de água principal
Fi	Frequência
$h_{\text{eq}}$	Altura equivalente
hi	Altura da lâmina de água dos caudais
$h_{\text{méd}}$	Altura média
I	Intensidade de precipitação
la	Perdas iniciais de precipitação
$K_b$	Coefficiente de rugosidade Manning Strickler na base do rio
$K_c$	Índice de compacidade de Gravelius
KG	Lei estatística de Gumbel
kl	Coefficiente de rugosidade Manning Strickler nas laterais do rio
$K_L$	Índice de alongamento
KLn	Lei estatística log normal ou de Galton
KN	Lei estatística normal

KP	Lei estatística de Pearson III
L	Comprimento
$L_{\text{rio}}$	Comprimento do rio
m	Declive das pendentes do rio
P	Precipitação
$P_{\text{adoçado}}$	Perímetro adoçado
$P_{\text{bacia}}$	Perímetro da bacia
$P_e$	Precipitação efetiva
$P_i$	Precipitação
$P_{\text{real}}$	Perímetro real
Q	Caudal de ponta de cheia
$R_b$	Relação da bifurcação
S	Desvio padrão
S	Retenção potencial máxima
$S_m$	Declive médio da bacia
T	Tempo de retorno
$t_c$	Tempo de concentração
z	Normal reduzida
$Z_{10}$	Cota a 10% do comprimento do rio
$Z_{85}$	Cota a 85% do comprimento do rio
$Z_{\text{eq}}$	Cota equivalente da linha de água principal
$Z_{\text{máx}}$	Altitude máxima
$Z_{\text{méd}}$	Altitude média
$Z_{\text{med}}$	Altitude mediana
$Z_{\text{mín}}$	Altitude mínima

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Enquadramento do Tema e Objetivos

As atividades de engenharia, particularmente as atividades relacionadas com a construção civil, podem influenciar o escoamento na rede hidrográfica por alteração das condições fisiográficas numa bacia hidrográfica. Destaca-se a alteração do uso e ocupação do solo, geralmente traduzida em aumento da percentagem de área impermeabilizada na bacia, cujas consequências mais frequentes são as cheias, em certas condições também denominadas por inundações. As cheias podem provocar a perda de vidas, a deslocação de populações, danos no ambiente, comprometer gravemente o desenvolvimento económico e prejudicar as atividades económicas da Comunidade (Directiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 23 de Outubro de 2007). Para delimitar as zonas susceptíveis de sofrer inundação é fundamental proceder ao cálculo de caudais de ponta de cheia.

É neste contexto sucintamente delineado que se insere a presente dissertação, tendo por base um caso de estudo, consubstanciado por uma pequena bacia hidrográfica (BH) relativamente à qual se equacionam diferentes cenários de área urbanizada com vista à caracterização do efeito do aumento dessa área no aumento dos caudais de ponta de cheia e das cotas da superfície livre correspondentes aos escoamentos desses caudais.

A análise efetuada pretende sustentar a ideia geral sobre os problemas que sucedem quando não são realizados estudos prévios que contemplem todas as alterações que se pretendem implementar numa dada bacia hidrográfica. Para o efeito, apresenta uma metodologia que incorpora na análise de cheias o parâmetro que habitualmente permite atender à alteração da utilização/ocupação do solo numa bacia hidrográfica, por exemplo, tendo também em

conta a incidência das áreas impermeáveis, ou seja, o número de escoamento ou curve number, CN.

## 1.2 Material De Apoio

A informação de base cartográfica utilizada para este estudo foi a cartografia digital à escala 1/25000 do Instituto Geográfico do Exército (IgeoE), bem como algumas cartas temáticas: geológica e uso do solo à escala 1/1000000 da Agência Portuguesa do Ambiente, mapas e cartas do território português que foram consultados no site, <http://mapas.igeo.pt/> e também foi utilizado o Google Earth no fornecimento de imagens via satélite, bem como de coordenadas de alguns pontos. A conversão das coordenadas GPS para coordenadas retangulares (militares) e vice versa foi feita on line no site <http://www.igeoe.pt/utilitarios/coordenadas/trans.aspx>.

Os registos das precipitações e caudais desde o ano de 1946, bem como a localização e códigos das estações hidrométrica (secção de referência), e udométricas e udográfica com influência na bacia hidrográfica seleccionada como caso de estudo, obtiveram-se através do site do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, SNIRH, da responsabilidade do Instituto da água, INAG, com o endereço <http://snirh.pt/>.

Utilizaram-se alguns softwares como o ArcGis para calcular o número de escoamento CN (Curve Number), o quantum GIS Lisboa para tratamento de algumas cartas geográficas no site <http://www.qgis.org/> e também o AutoCad para referenciar pontos com coordenadas nas cartas topográficas.

## 1.3 Metodologia E Organização

Em linhas gerais, o estudo compreendeu as seguintes tarefas:

- Selecção de uma pequena bacia hidrográfica a adotar como caso de estudo e sua caracterização detalhada, compreendendo aspetos como a orografia, a rede de drenagem, o uso e ocupação do solo e a geologia.
- Recolha de informação hidrológica relevante para a análise de cheias (precipitações diárias, precipitações diárias máximas anuais), sua análise estatística e subsequente estimativa das precipitações de projeto.
- Consideração de diferentes cenários de áreas urbanizadas.
- Aplicação de modelos hidrológicos conducentes à estimativa de caudais de ponta de cheia.

- Aplicação de modelos hidráulicos para cálculo das alturas de escoamento correspondentes aos anteriores caudais, considerando, para o efeito, uma geometria simplificada da secção transversal do curso de água principal.

A descrição detalhada das anteriores tarefas, assim como os procedimentos de cálculo adoptados, são apresentados no texto principal da presente dissertação, que se encontra organizado por capítulos.

No capítulo 2 é apresentada uma descrição das principais características fisiográficas da bacia hidrográfica definida pela estação hidrométrica de Manteigas. Começa-se por delimitar a bacia hidrográfica, traçando-se uma linha poligonal fechada pelos pontos de cumeada, e em seguida caracteriza-se a bacia quanto à forma e ao relevo. Depois procede-se à caracterização do sistema de drenagem superficial da bacia, em particular do curso de água principal. É feita uma breve caracterização da geologia e do uso e ocupação do solo, que antecede a avaliação do número de escoamento (CN) para a situação atual. Por fim, é calculado o tempo de concentração da bacia,  $t_c$ . O capítulo termina com um quadro síntese das características fisiográficas da bacia com interesse para a análise de cheias.

No capítulo 3 é apresentada uma descrição do procedimento de cálculo das precipitações de projeto que intervêm na estimativa de caudais de ponta de cheia. Começa-se por constituir as séries de precipitação diária máxima anual na bacia, tendo por base os valores das leituras de precipitações diárias nos postos udográfico de Penhas Douradas e udométrico da Covilhã, de modo a incluir no estudo a situação mais frequente de consideração da simultaneidade temporal da máxima precipitação diária em cada posto. De seguida é feita a análise estatística das séries, identificando a lei estatística de extremos que melhor se ajusta à amostra, de forma a estimar a precipitação diária máxima anual na BH de Manteigas com o período de retorno de 100 anos. A partir da estimativa da precipitação diária máxima anual na bacia é calculada a precipitação de projeto, com um período de retorno de 100 anos, considerando uma duração da precipitação igual ao tempo de concentração da bacia.

O capítulo 4 apresenta o procedimento adoptado para o cálculo dos caudais de ponta de cheia centenária e para o estabelecimento da configuração da superfície livre. Começa-se por calcular os valores do número de escoamento que refletem os cenários de áreas urbanizadas, corrigidos para as condições antecedentes de humidade "mais húmidas", obtendo-se em seguida os diferentes valores do tempo de concentração da bacia mediante a aplicação do método empírico desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS). Depois estimam-se os correspondentes valores da precipitação efetiva e dos caudais de ponta de cheia. Termina-se a análise de cheias atribuindo alturas de escoamento aos anteriores caudais considerando para o efeito uma geometria simplificada da secção transversal do curso de água principal.

Por último, no capítulo 5, sintetizam-se as conclusões mais relevantes e sugerem-se, como resultado do conhecimento adquirido com o estudo desenvolvido, algumas perspetivas para o desenvolvimento de trabalhos futuros no âmbito do tema abordado.

Em linhas gerais, pode realçar-se que o estudo efetuado evidenciou que o aumento do caudal de ponta de cheia devido ao aumento da área impermeabilizada em consequência da maior ocupação urbana numa pequena bacia hidrográfica pode ser muito elevado. A redução das perdas de precipitação, com consequente aumento da precipitação efectiva, foi o fator que mais contribui para aquele aumento. No entanto, o aumento de caudal que advém da redução do tempo de concentração,  $t_c$ , em consequência da maior área impermeável, também pode ser significativo.

## Capítulo 2

### Bacia Hidrográfica da Estação de Manteigas

#### 2.1 Introdução

Na análise de cheias são utilizadas diversas características, principalmente geométricas e físicas, denominadas por características fisiográficas da Bacia Hidrográfica.

Neste capítulo é feita a caracterização fisiográfica da Bacia Hidrográfica da Estação Hidrométrica de Manteigas, referida abreviadamente mais à frente por BH de Manteigas. A mesma é feita sobretudo a partir de informação disponível em Cartas Militares, fotografias aéreas adequadas e reconhecimento de campo. Também é avaliada a estimativa do tempo de concentração  $t_c$  da BH de Manteigas.

Este capítulo termina com uma discussão dos resultados obtidos, contemplando a influência das características da bacia nos caudais e volumes de cheia.

#### 2.2 Bacia Hidrográfica De Manteigas

##### 2.2.1 Localização da Bacia

A BH de Manteigas situa-se na nascente do Rio Zêzere a montante da Vila de Manteigas no Vale Glaciar da mesma vila, com vertentes abruptas e perfil transversal em "U", onde predominam testemunhos tais como rochas polidas, blocos erráticos, covões, moreias, depósitos glaciares, entre outros.

Tem uma área aproximada de 28,31 km<sup>2</sup> e uma altitude que varia entre 876 m e 1993 m, na Estação Hidrométrica de Manteigas (Secção de Referência) e no Alto da Torre (Nascente do Rio Zêzere), respetivamente.

O relevo deste setor da Serra da Estrela é denominado por dois planaltos principais separados pelo vale do Rio Zêzere de orientação NNE-SSW;

- Planalto da Torre-Penhas Douradas (1450-1993 m) situado a ocidente.
- Planalto do Alto da Pedrice-Curral do Vento (1450-1761 m) Situado a oriente.

A sua definição é feita pela Secção de Referência no Rio Zêzere com as coordenadas retangulares (metros), distâncias à meridiana e à perpendicular no sistema Hayford - Gauss Militar Datum Lisboa, bem como pelas coordenadas geográficas GPS (Global Positioning System), como ilustra o quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Dados da Secção de Referência (Estação Hidrométrica) da BH de Manteigas

<b>Dados de base</b>						
<b>Informação sobre o ponto de monitorização na Secção de Referência</b>						
Nome	Código	Altitude (m)	Coordenadas Geográficas Datum Lisboa		Coordenadas Retangulares Datum Lisboa	
			Latitude (°N)	Longitude (°W)	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
Manteigas	11L/01H	876	40,379397	7,547363	249638,28	379304,69

A Secção de Referência da BH de Manteigas encontra-se a montante do Viveiro das Trutas, a cerca de 300 m de distância. Este Viveiro instalou-se no Posto Agrícola da Fonte Santa, para aproveitar as águas cristalinas e bravas que irrompem das abruptas encostas do Vale Glaciar. Aqui pode-se encontrar a truta Fário e a Arco-Íris, sendo que a segunda também habita no Rio Zêzere, tornando-se por conseguinte um motivo de atração para os praticantes de pesca desportiva, como ilustra a figura 2.1.

A Secção de Referência é composta por uma pequena obra transversal de betão (paredão que liga as duas margens do Rio Zêzere) com um descarregador de cheia à escala da mesma, para possibilitar a leitura dos vários caudais durante o ano hidrológico, como ilustra a figura 2.2.

A Estação Hidrométrica encontra-se no interior desta pequena albufeira criada pelo pequeno paredão referido atrás. É composta de uma régua graduada afixada no exterior da cabina, a qual atinge verticalmente o fundo da pequena albufeira e, tem como objetivo medir as várias cotas do nível da água naquela pequena albufeira durante o ano hidrológico, como ilustram as figuras, 2.3 e 2.4.

De salientar, que devido à conjuntura económica que tem vindo a assolar cada vez mais estabilidade de Portugal, os registos destas leituras deixaram de ser efetuados desde há alguns anos a esta parte.

A localização da Secção de Referência da BH de Manteigas é apresentada através de uma imagem de satélite (Google Earth) na figura 2.1.



Figura 2.1 - Localização da Secção de Referência da BH de Manteigas (Google Earth)

A imagem da Secção de Referência da BH de Manteigas é apresentada na figura 2.2.



Figura 2.2 - Secção de Referência da BH de Manteigas

A imagem da régua graduada afixada no exterior da cabina, na pequena albufeira da Secção de Referência é apresentada na figura 2.3.



Figura 2.3 - Régua graduada na cabina da Estação Hidrométrica

A imagem da cabina na albufeira da Secção de Referência é apresentada na figura 2.4.



Figura 2.4 - Cabina na Estação Hidrométrica (Secção de Referência)

A Secção de Referência a), bem como a Estação Hidrométrica b) situam-se ao fundo do vale Glaciar de Manteigas, à esquerda e à direita respetivamente, a uma distância linear de 2,5 km da Câmara Municipal de Manteigas.

Porém, a BH de Manteigas c) desenvolve-se com vertentes abruptas em forma de "U" desde o Covão da Ametade até à Secção de Referência, como ilustra a figura 2.5.



Figura 2.5 - BH de Manteigas; a) Secção de Referência; b) Secção Hidrométrica; c) Vale Glaciar

A tectónica da área estudada é denominada pela mega estrutura regional designada por zona de falha de Bragança-Vilariça-Manteigas. A mesma situa-se a NE de Portugal com um comprimento aproximado de 220 km. De salientar que esta falha encontra-se relativamente estável.

Em Portugal Continental encontram-se cinco falhas tectónicas cujos nomes são:

- Falha de Bragança-Vilariça-Manteigas.
- Falha da Nazaré.
- Falha de Vale inferior do Tejo.
- Falha de Messejana.
- Falha de Loulé.

As falhas tectónicas supra referidas são apresentadas na figura 2.6.

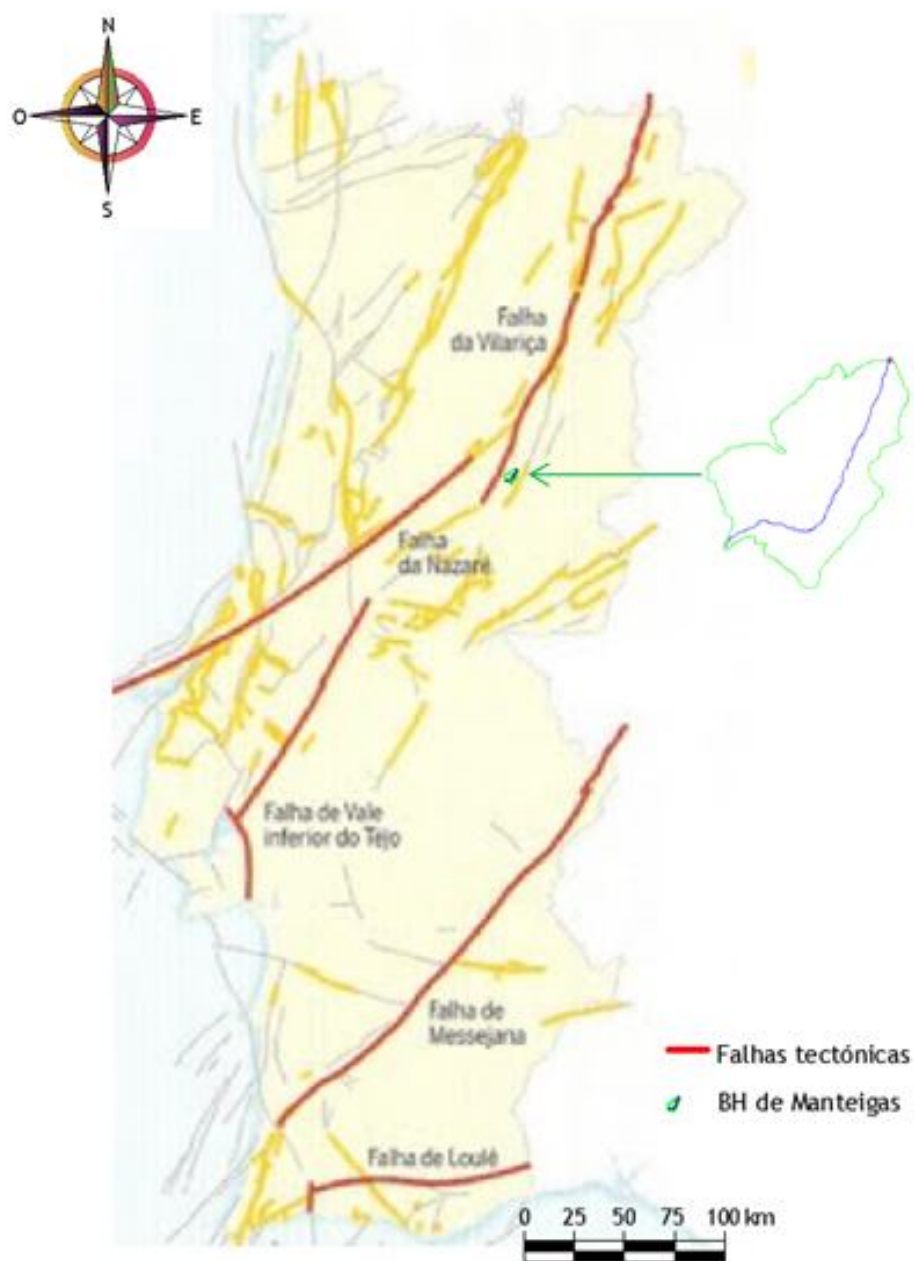


Figura 2.6 - Portugal Continental com a localização esquemática das falhas tectónicas

A BH de Manteigas localiza-se no início do Rio Zêzere, no extremo da vertente do lado direito da Bacia Hidrográfica do Tejo.

A Bacia Hidrográfica do Zêzere ocupa cerca de 5080 km<sup>2</sup>, ou seja, 20,5% da área da Bacia Hidrográfica do Tejo em território português e contribui com um escoamento médio anual na ordem dos 3292 hm<sup>3</sup>/ano.

A Carta das Bacias Hidrográficas de Portugal Continental facultada pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente) é apresentada na figura 2.7.



Figura 2.7 - Carta das BH de Portugal Continental com a localização esquemática da BH de Manteigas

A Bacia Hidrográfica do Tejo em termos de área é a quinta Bacia Hidrográfica dos rios da Europa Comunitária, a terceira na Península Ibérica e a primeira em Portugal Continental, como ilustra a figura 2.7.

A Bacia Hidrográfica do Tejo Internacional ocupa uma área total de cerca de 80629 km<sup>2</sup>, dos quais 24800 km<sup>2</sup>, ou seja, 30,8% da área total localizam-se em território português e, tem um comprimento total de cerca de 1100 km, dos quais 230 km pertencem ao território português, ou seja, 20,9% do comprimento total e ainda, 43 km na fronteira entre Portugal/Espanha, ou seja, 3,9% do comprimento total.

A BH de Manteigas faz fronteira com a Bacia Hidrográfica do Mondego e, localiza-se quase no topo Norte da Bacia Hidrográfica do Tejo, como ilustra a figura 2.8.

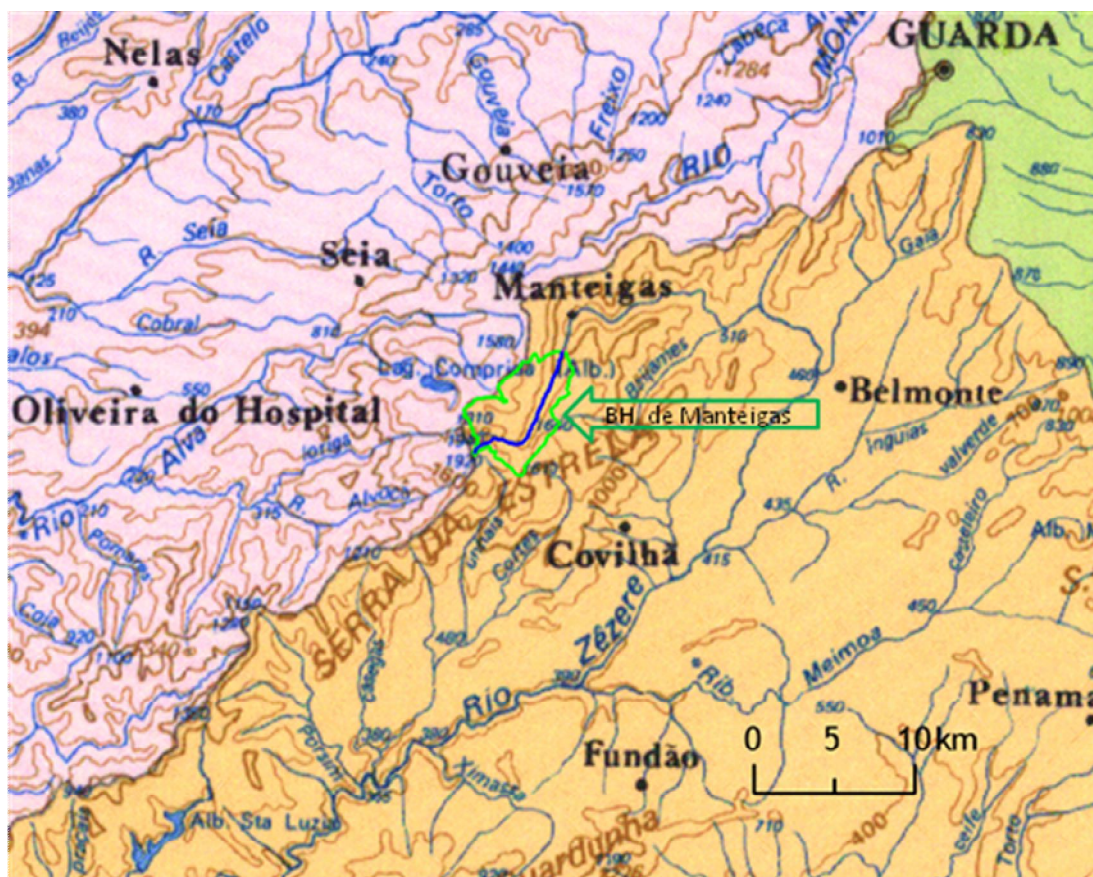


Figura 2.8 - Extrato da carta das BH de Portugal com a localização esquemática da BH de Manteigas

### 2.2.2 Delimitação da Bacia

A delimitação da bacia foi obtida por análise da drenagem natural do terreno (delimitação topográfica) tendo em conta as alterações provocadas pela drenagem artificial.

Com base na informação recolhida, não é notória a existência de transferências assinaláveis de águas pluviais entre Bacia em estudo e as Bacias adjacentes.

O estudo desta bacia foi feito com o apoio das Cartas Militares nº223 e 224 à escala 1:25000. Traçou-se uma linha poligonal fechada (a verde), a qual se fez passar pelos pontos de cumeadas por forma a garantir que toda a água que se encontra no interior daquela linha venha convergir naturalmente para o interior da Bacia Hidrográfica passando pelos afluentes (azul claro), que por sua vez vão desaguar no Rio Zêzere (azul) e por fim, toda a água escoada irá passar obrigatoriamente pela Secção de Referência, como ilustra a figura 2.9.

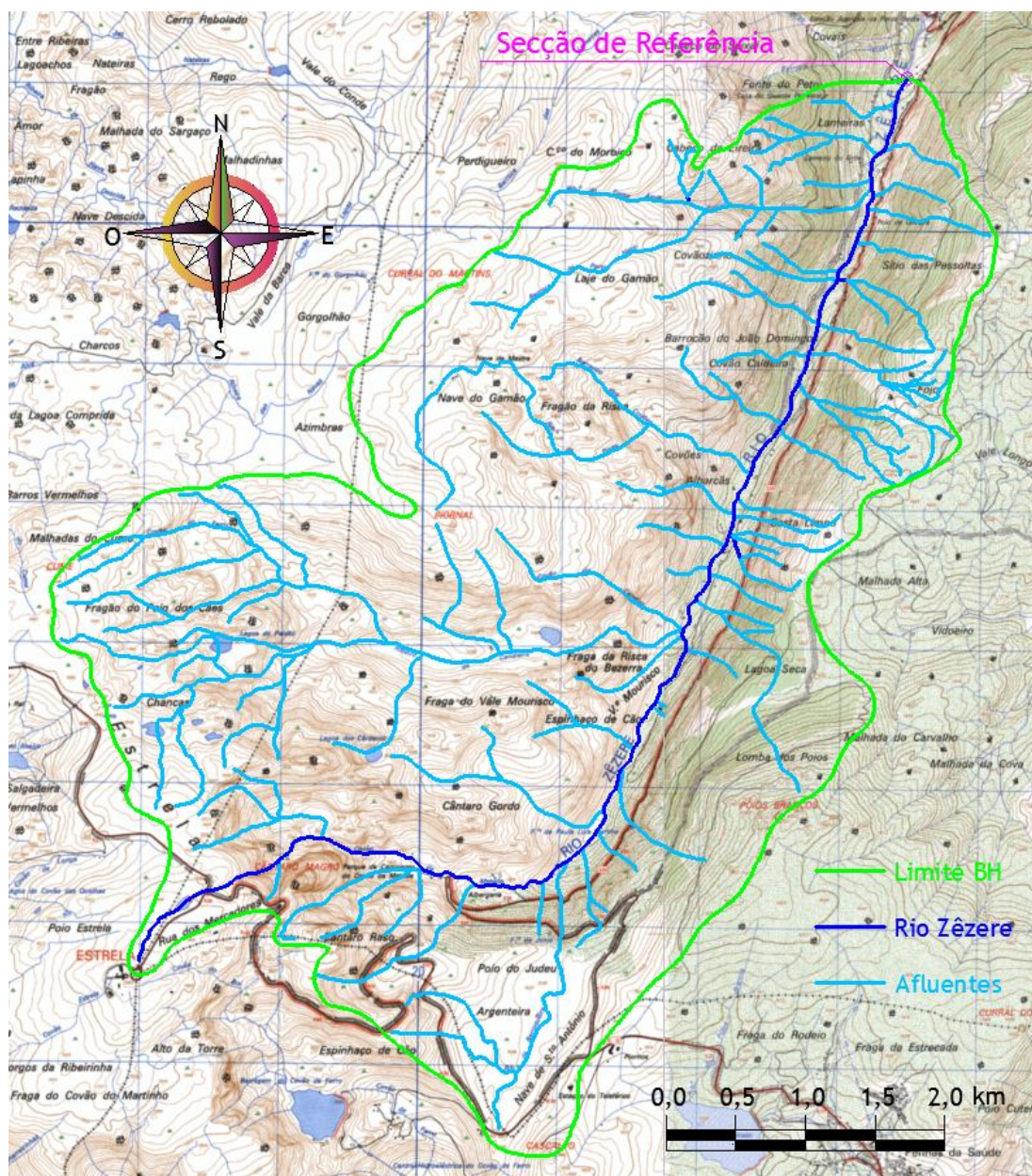


Figura 2.9 - Bacia Hidrográfica de Manteigas sobre as Cartas Militares nº223 e nº224

### 2.2.3 Enquadramento Territorial

A BH de Manteigas situa-se a Sul do distrito da Guarda, no concelho de Manteigas, integrada no Parque Natural da Serra da Estrela. A bacia desenvolve-se no sentido sudoeste-nordeste, desde a nascente do Rio Zêzere (Torre Alta) até à entrada de Manteigas (Secção de

Referência). Esta orientação é fixada pela disposição da cadeia montanhosa intracontinental de orientação ENE-WSW-Cordilheira Central.

A mesma bacia está localizada, em termos gerais, entre os paralelos 40° e 41° N, na Beira Interior Norte em Portugal Continental, como ilustra a figura 2.10.

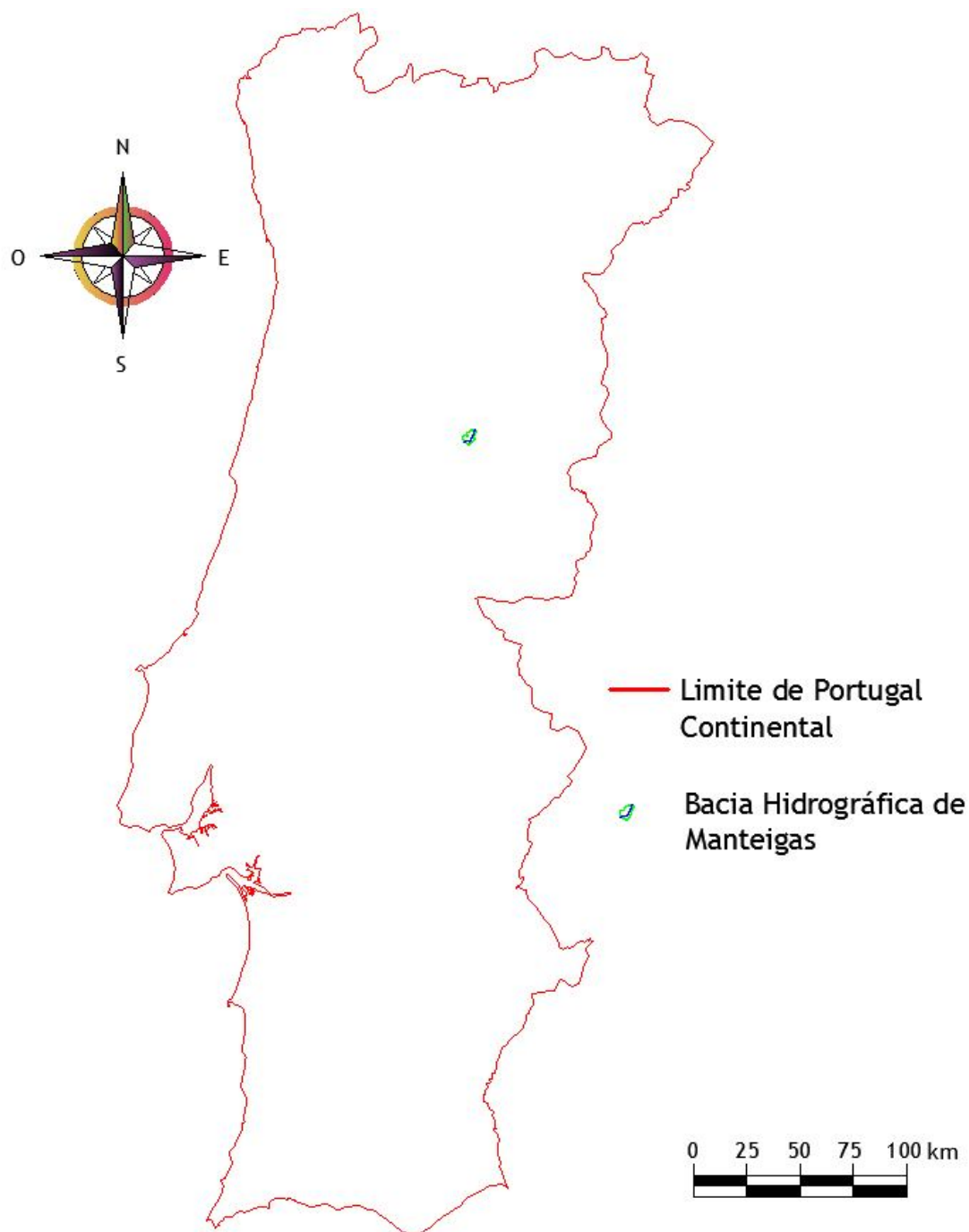


Figura 2.10 - Portugal Continental com a localização esquemática da BH de Manteigas

Geograficamente, a BH de Manteigas localiza-se nas Cartas Militares n°223 e 224 à escala 1:25000. A mesma apanha os concelhos de Manteigas, Seia e Covilhã, estando praticamente inserida no concelho de Manteigas, como ilustra a figura 2.11.

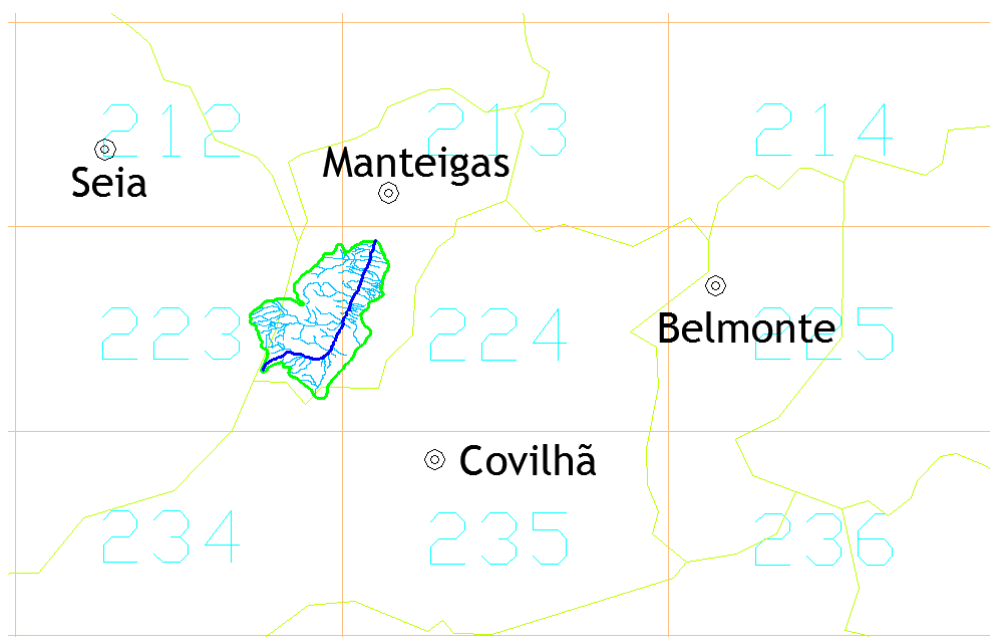


Figura 2.11 - BH de Manteigas sobre as Cartas Militares nº223 e 224 à escala 1:25000

A BH de Manteigas está inserida nos concelhos de Manteigas, Seia e Covilhã, cada uma ocupando uma determinada área, como ilustra o quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Área da BH de Manteigas distribuída pelos Concelhos de: Manteigas, Seia e Covilhã

Área e Ocupação da BH de Manteigas		
Concelhos	Áreas (km <sup>2</sup> )	(%)
Manteigas	25,75	90,96
Seia	2,31	8,16
Covilhã	0,25	0,88
Total	28,31	100,00

## 2.3 Características Geométricas Da Bacia

### 2.3.1 Forma

A forma de uma Bacia Hidrográfica pode contribuir para uma situação de cheia, pois se se tratar de uma bacia de forma arredondada, esta tende a favorecer o escoamento superficial dando origem a cheias de maior ponta, pois conduz a uma maior simultaneidade da concentração do escoamento na Secção de Referência.

Como caracterização da forma de uma bacia, recorre-se ao índice de compacidade de Gravelius  $K_c$ . Este dá-nos a relação entre o perímetro adoçado da bacia  $P_{\text{adoçado}}$  (km) e o perímetro de uma hipotética bacia com igual área, mas de forma circular.

A forma da Bacia Hidrográfica avalia-se com base nos intervalos de valores que são apresentados no quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Parâmetros do índice de compacidade de Gravelius

Índice de compacidade de Gravelius ( $K_c$ )	Forma da BH
1,00 a 1,25	Quase redonda a oval redonda
1,25 a 1,50	Oval redonda a oval oblonga
1,50 a 1,75	Oval oblonga a retangular oblonga

O índice de compacidade de Gravelius resulta da equação (2.1).

$$k_c = \frac{P_{\text{adoçado}}}{2\sqrt{\pi} \cdot A_{\text{bacia}}} \quad (2.1)$$

$$k_c = \frac{21,53}{2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot 28,31} \Leftrightarrow k_c = 1,14$$

em que:

- $k_c$  - coeficiente de compacidade de Gravelius (-).
- $P_{\text{adoçado}}$  - perímetro adoçado da Bacia Hidrográfica (km).
- $A_{\text{bacia}}$  - área da Bacia Hidrográfica (km<sup>2</sup>).

Se o índice de compacidade de Gravelius tender para a unidade, a Bacia Hidrográfica tem uma forma quase redonda ou mesmo redonda e, por conseguinte, maiores picos de cheia. Este fenómeno deve-se ao facto de as águas se acumularem nas encostas e atingirem o volume de escoamento em concomitância.

O perímetro adoçado é a linha poligonal fechada (vermelha), que contém uma área equivalente à da linha do perímetro real (verde). A linha do perímetro adoçado obtem-se arredondando os vértices mais acentuados da linha do perímetro real. Este tratamento tem como objetivo diminuir o perímetro da Bacia Hidrográfica.

Os cálculos do perímetro real  $P_{\text{real}}$ , bem como o perímetro adoçado  $P_{\text{adoçado}}$  foram efetuados através do software AutoCad, uma vez que se trata de duas figuras bastante irregulares.

A configuração do perímetro real  $P_{\text{real}}$ , bem com do perímetro adoçado  $P_{\text{adoçado}}$  são apresentados na figura 2.12.

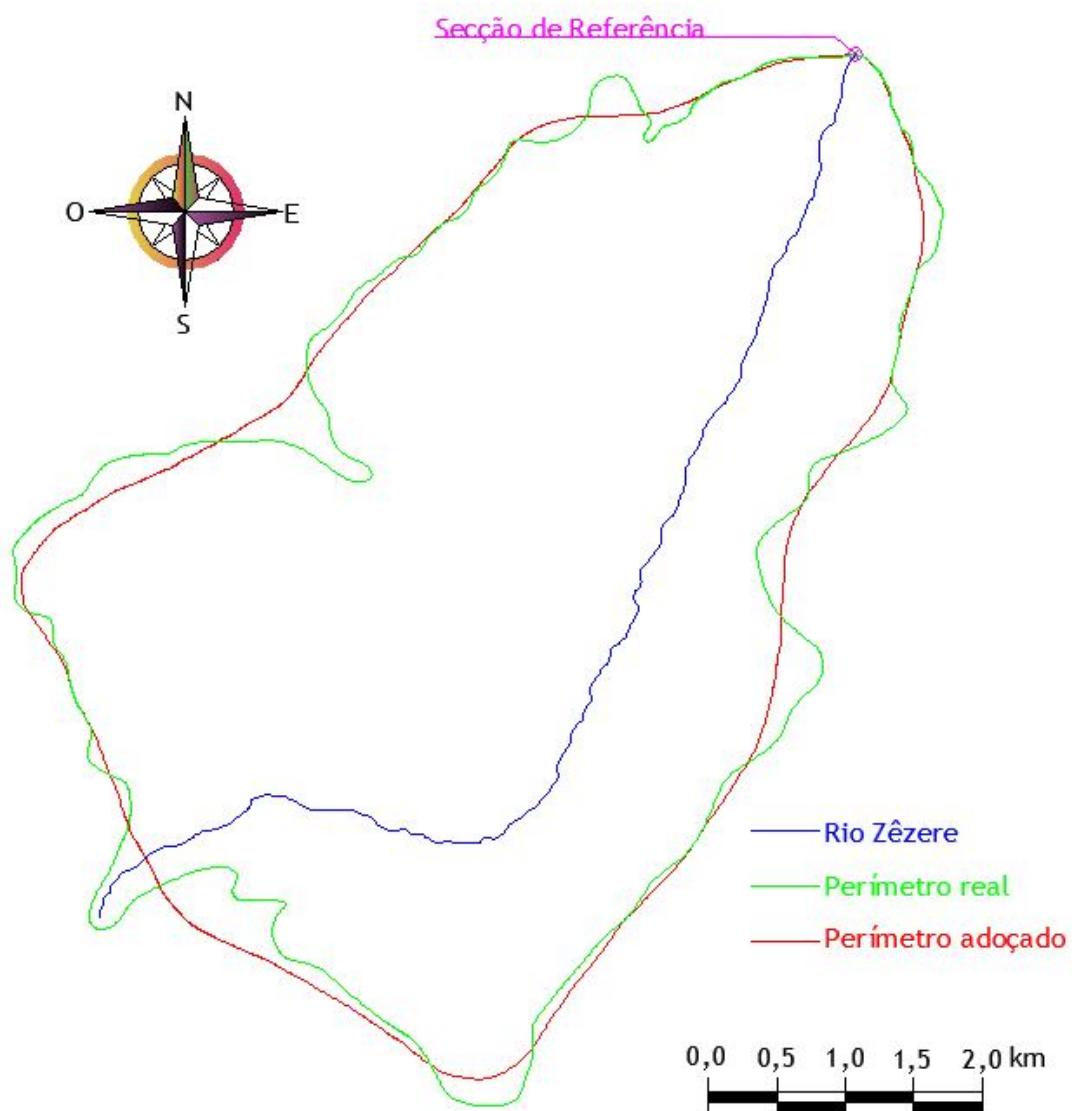


Figura 2.12 - Perímetros real e adoçado da BH de Manteigas

Para calcular o índice de compacidade de Gravelius, considera-se um retângulo equivalente de base  $L$  e altura  $b$ , como ilustra a figura 2.13.

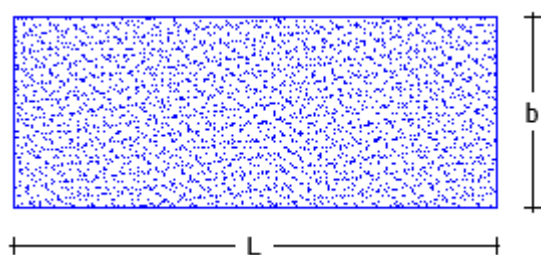


Figura 2.13 - Retângulo equivalente genérico

Os valores de L e b do retângulo equivalente podem ser calculados através do sistema das duas equações 2.2 e 2.3, a duas incógnitas.

$$A_{bacia} = L \cdot b \quad (2.2)$$

$$P_{adoçado} = 2 \cdot (L + b) \quad (2.3)$$

$$28,31 = L \cdot b \quad L \approx 6,20 \text{ km}$$

⇔

$$21,53 = 2 \cdot (L + b) \quad b \approx 4,60 \text{ km}$$

em que:

- $A_{bacia}$  - área da Bacia Hidrográfica (km<sup>2</sup>)
- $P_{adoçado}$  - perímetro adoçado da Bacia Hidrográfica (km).

Os valores de L e b do retângulo equivalente também podem ser calculados através do sistema das duas equações 2.4 e 2.5, a duas incógnitas.

$$L = \frac{K_c \cdot \sqrt{A_{bacia}}}{1,128} \cdot \left| 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right| \quad (2.4)$$

$$b = \frac{K_c \cdot \sqrt{A_{bacia}}}{1,128} \cdot \left| 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right| \quad (2.5)$$

$$L = \frac{1,14 \cdot \sqrt{28,31}}{1,128} \cdot \left| 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{1,14} \right)^2} \right| \quad L \approx 6,20 \text{ km}$$

⇔

$$b = \frac{1,14 \cdot \sqrt{28,31}}{1,128} \cdot \left| 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{1,14} \right)^2} \right| \quad b \approx 4,60 \text{ km}$$

em que:

- $k_c$  - coeficiente de compacidade de Gravellius (-).
- $A_{bacia}$  - área da Bacia Hidrográfica (km<sup>2</sup>)

Os resultados de L e b do retângulo equivalente são apresentados em proporção, na figura 2.14.

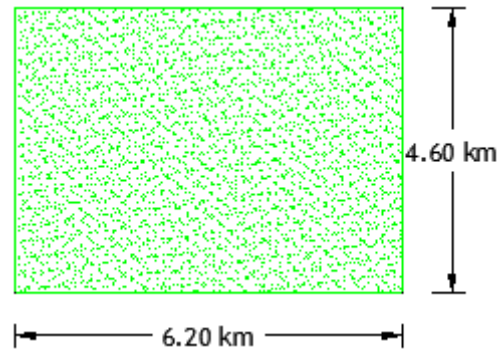


Figura 2.14 - Retângulo equivalente da BH de Manteigas

O índice de alongamento  $k_L$  resulta da equação (2.6).

$$k_L = \frac{L}{b} \quad (2.6)$$

$$k_L = \frac{6,20}{4,60} \Leftrightarrow k_L = 1,35$$

em que:

- $k_L$  - índice de alongamento da Bacia Hidrográfica (-).
- L - comprimento do retângulo equivalente (km).
- b - largura do retângulo equivalente (km).

Quando o índice de alongamento  $k_L$  é superior a duas unidades, a Bacia é alongada.

Logo, os resultados do quadro 2.4 quando comparados com os parâmetros do índice de compacidade de Gravelius  $K_c$  no quadro 2.3, a forma da BH de Manteigas está entre quase redonda a oval redonda.

Os resultados do índice de compacidade de Gravelius, indica-nos se a BH tende para uma forma arredondada ou alongada, como ilustra o quadro 2.4.

Quadro 2.4 - Valores característicos da BH de Manteigas

Caracterização da BH de Manteigas							
$A_{real}$ (km <sup>2</sup> )	$P_{real}$ (km)	$A_{adocada}$ (km <sup>2</sup> )	$P_{adocado}$ (km)	$L_{retanguloeq}$ (km)	$b_{retanguloeq}$ (km)	$K_c$ (-)	$k_L$ (-)
28,31	26,89	28,31	21,53	6,20	4,60	1,14	1,35

### 2.3.2 Relevo

O relevo de uma Bacia Hidrográfica condiciona intrinsecamente o escoamento à superfície do terreno.

Para efetuar os cálculos da curva hipsométrica optou-se por dividir a BH de Manteigas em sete áreas aproximadamente iguais entre si denominadas por; A'0, A'1, A'2, A'3, A'4, A'5 e A'6.

Tais áreas estão identificadas entre curvas de nível assinaladas com a indicação das cotas utilizadas no cálculo da curva hipsométrica, como ilustra a figura 2.15.

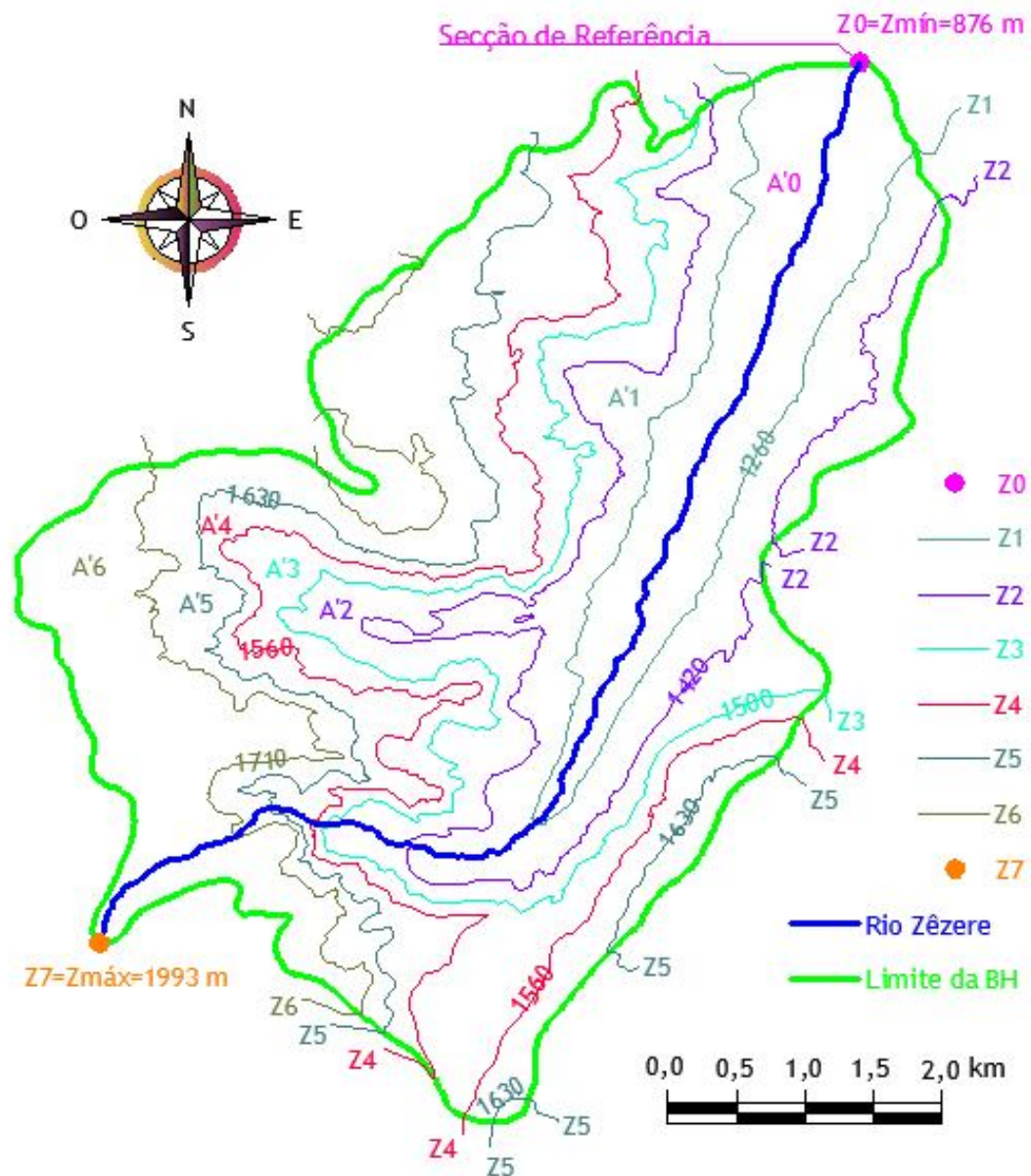


Figura 2.15 - Áreas entre curvas de nível assinaladas, utilizadas na obtenção da curva hipsométrica

A curva hipsométrica fornece uma caracterização sintética relativamente à repartição da área da bacia por altitudes, ou seja, para cada cota em ordenadas obtem-se a área da bacia situada acima dessa cota em abcissas.

A demonstração da divisão da BH de Manteigas é apresentada na figura 2.5.

Quadro 2.5 - Divisão da BH de Manteigas em sete áreas

Cota (m)	Área acima da cota (km <sup>2</sup> )
Z7	0
Z6	$A_6=A'_6$
Z5	$A_5=A'_6+A'_5$
Z4	$A_4=A'_6+A'_5+A'_4$
Z3	$A_3=A'_6+A'_5+A'_4+A'_3$
Z2	$A_2=A'_6+A'_5+A'_4+A'_3+A'_2$
Z1	$A_1=A'_6+A'_5+A'_4+A'_3+A'_2+A'_1$
Z0	$A_0=A'_6+A'_5+A'_4+A'_3+A'_2+A'_1+A'_0=A_{\text{bacia}}$

A curva hipsométrica, é apresentada no gráfico da figura 2.16.

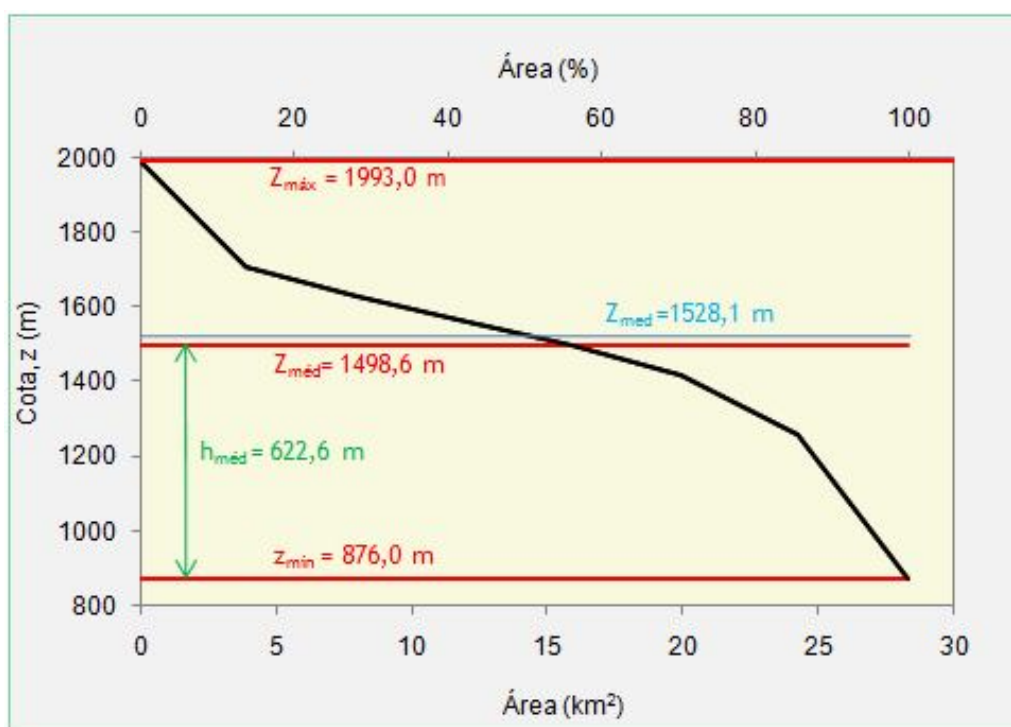


Figura 2.16 - Curva hipsométrica com unidades e adimensional. Altitudes e alturas características

O cálculo da curva hipsométrica é efetuado utilizando os valores do quadro 2.6.

Os resultados das áreas, bem como das cotas entre as curvas de nível da BH de Manteigas são apresentados no quadro 2.6.

Quadro 2.6 - Resultados das áreas entre cotas da BH de Manteigas

Cota (m)		Áreas	Área entre cotas (km <sup>2</sup> )	Volume sob a curva hipsométrica (km <sup>2</sup> ·m)	Área acima da cota	
					(km <sup>2</sup> )	(%)
Z <sub>0</sub>	876				28,31	100,00
Z <sub>1</sub>	1260	A' <sub>1</sub>	4,12	7294,91	24,19	85,45
		A' <sub>2</sub>	4,26	6796,90		
Z <sub>2</sub>	1420	A' <sub>3</sub>	3,98	6539,50	19,93	70,40
		A' <sub>4</sub>	3,84	5875,20		
Z <sub>3</sub>	1500	A' <sub>5</sub>	4,10	5810,80	15,95	56,34
		A' <sub>6</sub>	4,07	5708,40		
Z <sub>4</sub>	1560	A' <sub>7</sub>	4,07	5708,40	12,11	42,78
		A' <sub>8</sub>	4,10	5810,80		
Z <sub>5</sub>	1630	A' <sub>9</sub>	4,07	5708,40	8,01	28,29
		A' <sub>10</sub>	4,07	5708,40		
Z <sub>6</sub>	1710	A' <sub>11</sub>	3,94	4400,16	3,94	13,92
		A' <sub>12</sub>	3,94	4400,16		
Z <sub>7</sub>	1993	A' <sub>13</sub>	3,94	4400,16	0,00	0,00
		<b>Total</b>	<b>28,31</b>	<b>42425,87</b>		

Para uma melhor perceção da repartição das áreas é corrente utilizar-se um eixo das abcissas com as áreas indicadas em fração da área total denominada curva hipsométrica adimensional, como ilustra a figura 2.16.

Os resultados apurados no cálculo da curva hipsométrica são apresentados no quadro 2.7.

Quadro 2.7 - Resultados do cálculo da curva hipsométrica

Resultados da curva hipsométrica		
Altitude máxima (m)	Z <sub>máx</sub>	1993,0
Altitude mínima (m)	Z <sub>mín</sub>	876,0
Altitude média (m)	Z <sub>méd</sub>	1498,6
Altitude mediana (m)	Z <sub>med</sub>	1528,1
Altura média (m)	h <sub>méd</sub>	622,6

em que:

- A altitude máxima  $Z_{m\acute{a}x}$  é a cota do ponto mais elevado, ou seja, da Torre Alta.
- A altitude mínima  $Z_{m\acute{i}n}$  é a cota onde se encontra a Secção de Referência.
- A altitude média  $Z_{m\acute{e}d}$  é a razão entre o volume abaixo da superfície do terreno até à cota zero e a área total da bacia, como ilustra a equação (2.7).

$$Z_{m\acute{e}d} = \frac{1}{A_t} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{2} (Z_i + Z_{i+1}) \cdot A_{i+1} \quad (2.7)$$

$$Z_{m\acute{e}d} = \frac{V_{sobcurvahipsométrica\acute{a}t\acute{e}cot\ azero}}{A_{totalbacia}} \Leftrightarrow Z_{m\acute{e}d} = \frac{42425,87}{28,31} \Leftrightarrow Z_{m\acute{e}d} = 1498,6 \text{ m}$$

- A altitude mediana  $Z_{med}$  é equivalente à altitude correspondente a 50% da área total da BH.

Desta forma é possível determinar a  $Z_{med}$ , por interpolação linear utilizando os valores do quadro 2.8.

Quadro 2.8 - Valores auxiliares no cálculo da altitude mediana  $Z_{med}$

Cota (m)	(%)
1500,0	56,34
$Z_{med}=?$	50,00
1560,0	42,78

Por interpolação linear vem;

$$\frac{1560 - 1500}{42,78 - 56,34} = \frac{1560 - Z_{med}}{42,78 - 50,00} \Leftrightarrow Z_{med} = 1528,1 \text{ m}$$

- A altura média  $h_{m\acute{e}d}$  é a diferença entre a altitude média  $Z_{m\acute{e}d}$  e a altitude mínima ( $Z_{m\acute{i}n}$ ), como ilustra a equação (2.8).

$$h_{m\acute{e}d} = Z_{m\acute{e}d} - Z_{m\acute{i}n} \quad (2.8)$$

$$h_{m\acute{e}d} = 1498,6 - 876,0 \Leftrightarrow h_{m\acute{e}d} = 622,6 \text{ m}$$

### 2.3.3 Declive Médio

O declive médio da BH de Manteigas  $S_m$  é determinado através do Método de Alvord. Para se aplicar este método é necessário determinar o comprimento de todas as curvas de nível múltiplas de 50 m depois de adoçadas, como ilustra a figura 2.17.

Para determinar o declive médio  $S_m$  é necessário conhecer a área da Bacia, bem como o desenvolvimento total das curvas de nível nela inscritas, como ilustra o quadro 2.6.

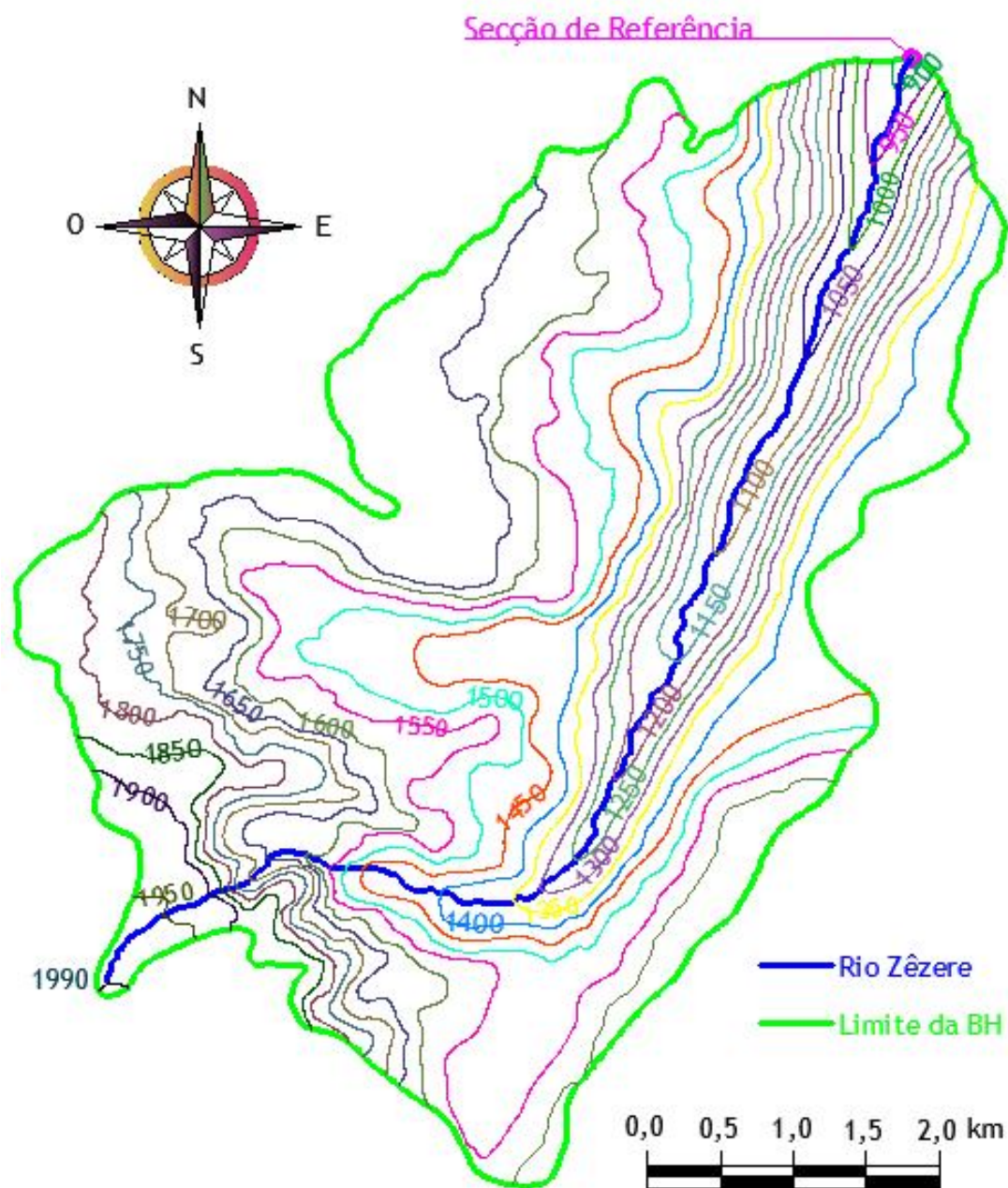


Figura 2.17 - Curvas de nível adoçadas múltiplas de 50 m na BH de Manteigas

O declive médio  $S_m$  da bacia hidrográfica de Manteigas é determinado pelo método de Alvord através da equação (2.9).

$$S_m = \frac{D \cdot L}{A} \quad (2.9)$$

$$S_m = \frac{50 \cdot 188419,7}{28310000} \cdot 100 \Leftrightarrow S_m = 33,3\%$$

em que:

- D - diferença de cotas entre curvas de nível. Aplica-se um valor constante (m).
- L - comprimento das curvas de nível múltiplas de 50 m inseridas na Bacia (m).
- A - área total da B H de Manteigas (m<sup>2</sup>).

O comprimento das curvas de nível adoçadas múltiplas de 50 m é apresentado no quadro 2.9.

Quadro 2.9 - Comprimento das curvas de nível adoçadas da BH de Manteigas.

<b>Curvas de nível adoçadas múltiplas de 50 m</b>	
Cota (m)	Comprimento (m)
900	503,6
950	1479,9
1000	2602,2
1050	4167,8
1100	7025,7
1150	8574,8
1200	10268,8
1250	11440,1
1300	12012,6
1350	12532,4
1400	13708,0
1450	13375,8
1500	15326,3
1550	18937,5
1600	16336,5
1650	12717,9
1700	7867,1
1750	6959,7
1800	6462,3
1850	3772,5
1900	1693,2
1950	655,0
<b>Total</b>	<b>188419,7</b>

## 2.4 Características Do Sistema De Drenagem

### 2.4.1 Regime do Escoamento

A água atinge os pontos mais altos da superfície terrestre através dum ciclo um pouco complexo. Uma certeza porém, este ciclo decorre entre a terra e a atmosfera.

Os ventos marítimos deslocam-se dos oceanos para o interior dos campos onde esbarram em montanhas sendo forçados a elevarem-se para a atmosfera. À medida que vão subindo diminui a sua temperatura de tal ordem que se transformam em pequenas gotículas de água. A seu tempo, quando estas atingem um diâmetro médio de 0,45 mm descem ao solo atingindo uma velocidade de 2,0 m/s proporcionando assim a chuva leve. Por outro lado, considera-se chuva forte (15 a 20 mm/h) quando as gotas de água apresentam um diâmetro médio de 3,0 mm, as quais atingem uma velocidade de queda de 8,0 m/s.

As mesmas gotículas de água podem descer ao solo em forma de água, gelo ou neve, pois depende da altitude a que se encontram.

Indubitavelmente, que aquela água vai alojar-se em solos mais ou menos permeáveis, com mais ou menos vegetação, mais ou menos inclinados e em albufeiras.

O escoamento pode ser superficial (num solo impermeável e com alguma inclinação), hipodérmico (entra no subsolo e volta à superfície), ou subterrâneo (recarga dos aquíferos).

Os rios recebem todos os escoamentos, que por sua vez afluem aos oceanos para dar início a um novo ciclo rotativo. Obviamente que uma floresta mais densa é propícia a maior pluviosidade, como ilustra a figura 2.18.



Figura 2.18 - Imagem modelo do ciclo da água

Ora, como a BH de Manteigas se encontra entre as cotas 1993 m e 876 m, naturalmente que aqui a temperatura do ar, bem como a pressão atmosférica, são menores quando comparadas com a cota do Marégrafo de Cascais (zero de referência), ou seja, 101325 Pa.

Desta forma, habitualmente nos meses mais frios do ano, o maciço central da Serra da Estrela costuma estar coberto por um manto de neve, ao ponto das estradas nacionais ficarem cortadas ao trânsito rodoviário. Isto significa que todos os efluentes do Rio Zêzere participam em larga escala na reposição do seu caudal, assim como na recarga dos aquíferos.

Durante o verão e final de estiagem, toda a área da BH de Manteigas fica seca à exceção de apenas duas fontes, as quais contribuem para a recarga do Rio Zêzere durante o ano.

A temperatura média anual nas partes mais elevadas da Serra da Estrela ronda os 7°C e é inferior a 4°C no alto da Torre, onde se registam valores mínimos na ordem dos -20°C.

O cenário de verão é ilustrado na figura 2.19.



Figura 2.19 - BH de Manteigas em 3D (Google Earth) com principais imagens fotográficas localizadas: a) Torre Alta; b) Cântaros; c) Nave de Sto. António; d) Fonte da Jonja; e) Covão da Ametade; f) Fonte Paulo Luís Martins; g) Vale glacial de Manteigas; h) Parque de lazer; i) Levada de regadio; j) Estação hidrométrica; k) Secção de Referência

A Torre Alta apresentada na figura 2.19 através da imagem a) é um monumento em pedra com 7 m de altura, que adicionados aos 1993 m de altitude (cota mais elevada da Serra da Estrela) completa por assim dizer os 2000 metros de altitude no maciço central da Serra da Estrela.

Aquele monumento localiza-se no interior de uma rotunda rodoviária, no Concelho de Seia, e também é materializado por um Marco Geodésico de 1ª ordem.

A fonte da Jonja, já apresentada na figura 2.19 através da imagem d) situada a cerca de 1500 m de altitude e a uma distância de 6600 m da Secção de Referência, é uma de duas fontes que contribui para a recarga do Rio Zêzere durante todo o ano.

Naturalmente que o caudal diminui no final do tempo de estiagem mas não chega a secar, como ilustra a figura 2.20.



Figura 2.20 - Fonte da Jonja de 1954 na Bacia Hidrográfica de Manteigas

À beira da EN 338, a cerca de 1400 m de altitude e a uma distância de 5600 m da Secção de Referência, na margem direita do Rio Zêzere encontra-se a fonte Paulo Luís Martins apresentada na figura 2.19 através da imagem f), que também não seca durante todo o ano. Daí tratar-se de uma nascente bastante poderosa, pois é daqui que sai a água que abastece a Fábrica de engarrafamento das águas Glaciar sita em Manteigas, como ilustra a figura 2.21 através das imagens a) e b).

A Empresa das águas Glaciar sediada em Manteigas consegue engarrafar cerca de 250 milhões litros de água por ano. A mesma conseguiu entrar no mercado internacional e,

consequentemente, ocupar um lugar bastante conceituado. A propósito disto, já recebeu alguns prémios internacionais, fruto das propriedades químicas da água.

Independentemente daquela nascente estar canalizada para a Fábrica Glaciár sita em Manteigas, como aliás já foi descrito atrás, tem de assegurar que um determinado caudal (ecológico) seja lançado no Rio Zêzere, por forma a manter a vida animal nos seus habitats, como se pode comprovar observando as duas bicas a jorrar água na figura 2.21 através da imagem c).



Figura 2.21 - Fonte Paulo Luís Martins de 1951 na Bacia Hidrográfica de Manteigas

Em alguns pontos estratégicos do Rio Zêzere foram construídas derivações em forma de levada, que têm por missão conduzir uma dada quantidade de água até aos terrenos agrícolas pela lei da gravidade, isto é, através de declives e curvas adequadas.

Aquelas derivações do Rio são construídas mais a montante dos terrenos a irrigar, devido à topografia ser bastante acentuada nesta zona e, por conseguinte, descrevem tantas curvas quantas as necessárias para levarem a água até ao lugar pretendido de modo a não causar estragos nos terrenos e nas culturas. Algumas levadas estão revestidas com argamassa de cimento, para que as perdas por infiltração sejam menores, como se pode observar um exemplo na figura 2.22, também apresentada na figura 2.19, através da imagem i).

O proprietário de um dado terreno tem direito a um determinado caudal durante algum tempo que lhe foi atribuído através de um foral de acordo com a área do terreno para onde é encaminhada a água.

Cada vez que um proprietário necessita de regar as suas culturas tem de pedir autorização ao Sr. Almotacel. Este inspetor controla o desvio parcial das águas do Rio, de forma a assegurar que o leito deste nunca chegue a secar.

Na contingência de existir um indivíduo mais insistente, o Sr. Almotacel tem poderes para lhe aplicar uma coima.

Um exemplo de uma levada de derivação do rio para regadio é apresentada na figura 2.22.



Figura 2.22 - Derivação do Rio Zêzere para uma Levada de Regadio na BH de Manteigas

Devo aludir ainda que, dentro da BH de Manteigas, a cerca de 1000 m de altitude e 1200 m de distância da Secção de Referência, na margem direita do Rio existe um espaço de lazer com muita sombra equipado com fornos comunitários que funcionam a lenha ou carvão. Neste lugar do Rio existem umas pequenas represas de modo a possibilitar uns banhos naturais e assim complementar o tempo de lazer, como ilustra a figura 2.23.



Figura 2.23 - Espaço de lazer junto à margem direita do Rio Zêzere na BH de Manteigas

## 2.4.2 Hierarquização dos Cursos de Água

Existem dois métodos de hierarquização da rede de drenagem:

- Método de Stralher (1957).
- Método de Horton (1945).

A hierarquização da rede hidrográfica corresponde à atribuição de uma numeração, designada por ordem, a todos os cursos de água da BH segundo a sua importância relativa. Este tratamento faculta-nos o grau de bifurcação ou ramificação existente na BH.

Quanto maior for a ordem de uma BH, maior será o número de ramificações.

Desta forma, os comprimentos das encostas serão menores, o que implica menor infiltração e maior escoamento anual, ou seja, a bacia drena facilmente atingindo rapidamente a rede hidrográfica dando lugar a cheias maiores, como ilustram os valores do quadro 2.10.

Quadro 2.10 - Valores de referência para a relação de bifurcação

Relação de bifurcação $R_b$ (-)	Eficiência de drenagem da BH
$R_b = 2$	Valor mínimo teórico (raramente se encontra na natureza)
$3 < R_b < 5$	As estruturas geológicas não distorcem o padrão de drenagem
$R_b > 5$	As estruturas geológicas distorcem o padrão de drenagem (verifica-se nas montanhas)

A caracterização geomorfológica da BH de Manteigas pelo método de Stralher efetua-se realizando os passos seguintes:

- 1.º passo - Começa-se pelas cabeceiras de montante para jusante atribuindo linhas de de água de 1ª ordem a todas aquelas que não têm afluentes.
- 2.º passo - Aplica-se a regra, quando se encontram duas linhas de água de igual ordem a linha de água seguinte passa à ordem superior.
- 3.º passo - Aplica-se a regra do 2º passo para todas as ordens seguintes.

A caracterização da BH de Manteigas realizada pelo método de Stralher é apresentada na figura 2.24

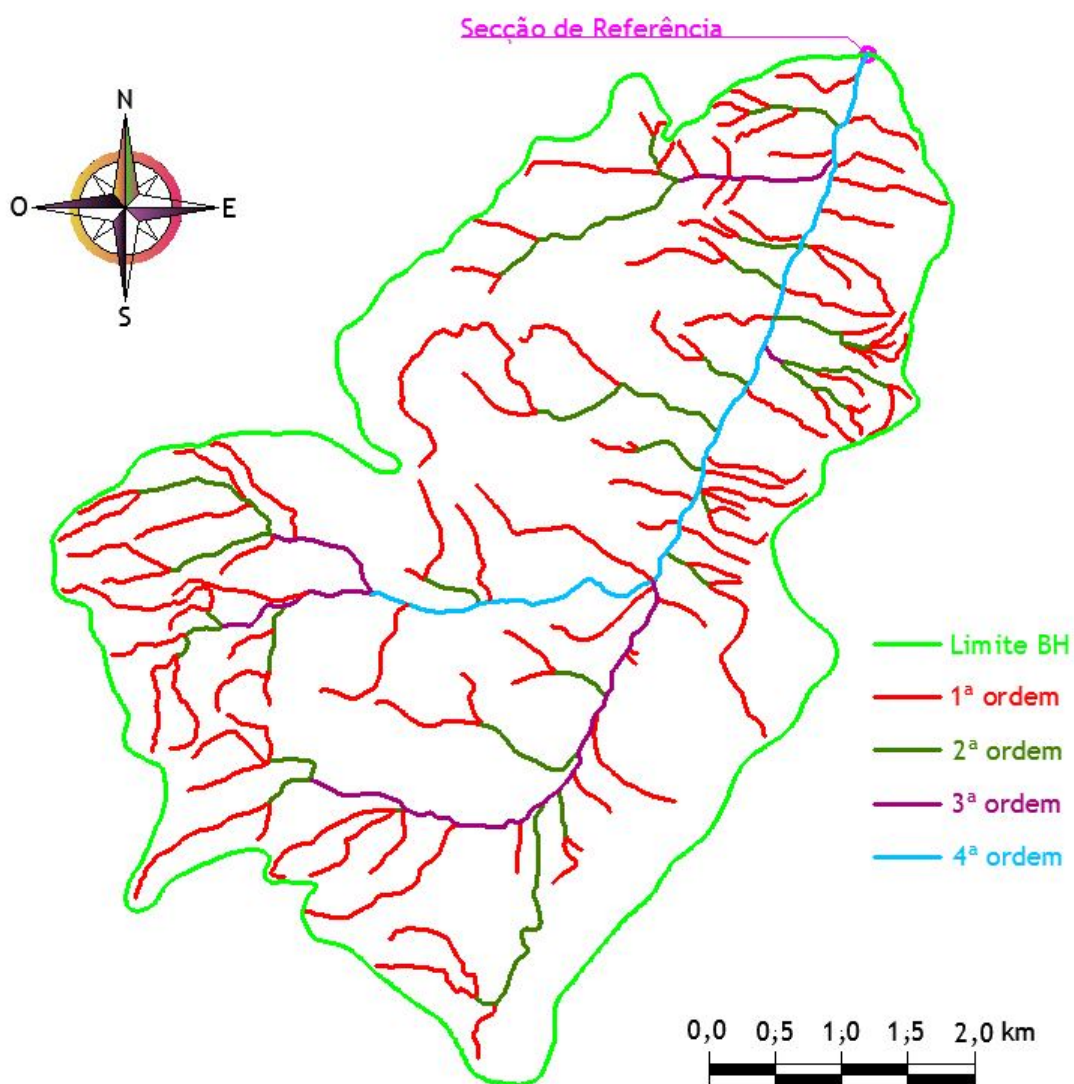


Figura 2.24 - Classificação das linhas de água da BH de Manteigas através do método de Stralher

Os resultados da caracterização geomorfológica da BH de Manteigas utilizando o método de Stralher são apresentados na figura 2.11.

Quadro 2.11 - Classificação das linhas de água da BH de Manteigas pelo método de Stralher (1957)

Ordens de Stralher (u)	Nº de cursos de água (Nu)	Relação da bifurcação (Rb)
1. <sup>a</sup> ordem	108	4,15
2. <sup>a</sup> ordem	26	5,20
3. <sup>a</sup> ordem	5	5,00
4. <sup>a</sup> ordem	1	
	Média geométrica $\bar{R}_b$	4,76

A Relação de bifurcação é calculada através da equação (2.10).

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (2.10)$$

$$R_b = \frac{108}{26} \Leftrightarrow R_b = 4,15$$

$$R_b = \frac{26}{5} \Leftrightarrow R_b = 5,20$$

$$R_b = \frac{5}{1} \Leftrightarrow R_b = 5,00$$

A Relação de bifurcação média ou geométrica é calculada através da equação (2.11).

$$\bar{R}_b = \sqrt[n-1]{\prod_{u=1}^{n-1} \frac{N_u}{N_{u+1}}} \quad (2.11)$$

$$\bar{R}_b = \sqrt[4]{4,15 \cdot 5,20 \cdot 5,00} \Leftrightarrow \bar{R}_b = \sqrt[3]{107,90} \Leftrightarrow \bar{R}_b = 4,76$$

Os resultados do quadro 2.11 quando comparados com os valores do quadro 2.10 (referência), revelam claramente que a BH de Manteigas se situa numa montanha.

A caracterização geomorfológica da BH de Manteigas utilizando o método de Horton resulta da aplicação dos passos seguintes:

- 1.º passo - Começa-se por definir a linha de água principal seguindo de jusante para montante utilizando os seguintes critérios nas bifurcações:

Maior área da BH de Manteigas.

Maior comprimento do curso de água.

Menor ângulo com a linha de água que continua para jusante.

- 2.º passo - Repete-se o procedimento para as linhas de água afluentes e determina-se quais são as principais utilizando os critérios atrás descritos.
- 3.º passo - Atribuem-se as ordens a todas as linhas de água desde a 1ª ordem até à maior.

A caracterização da BH de Manteigas realizada através da aplicação do método de Horton é apresentada na figura 2.25.

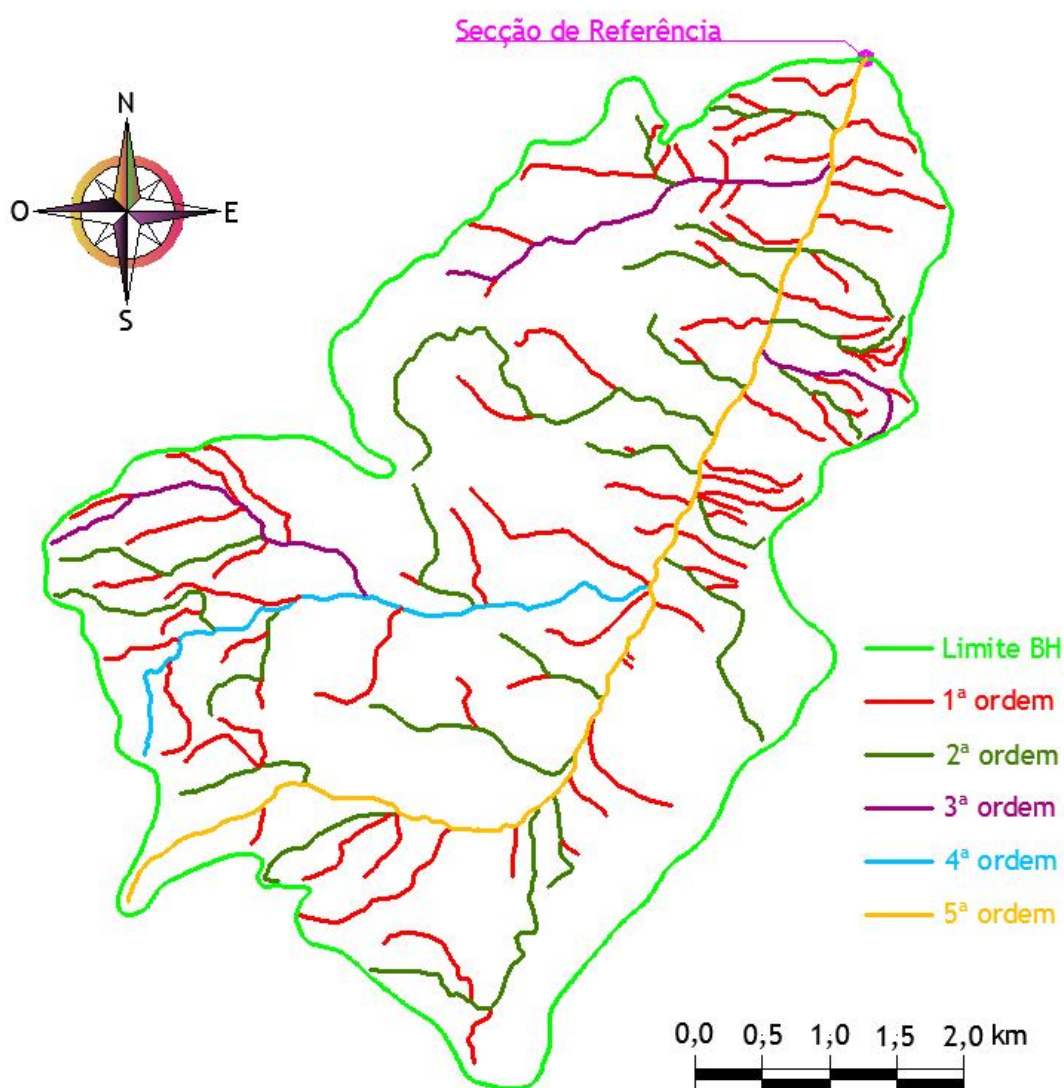


Figura 2.25 - Classificação das linhas de água da BH de Manteigas através do método de Horton

Os resultados da caracterização geomorfológica da BH de Manteigas utilizando o método de Horton são apresentados no quadro 2.12.

Quadro 2.12 - Classificação das linhas de água da BH de Manteigas pelo método de Horton (1945)

Ordens de Horton (u)	Nº de cursos de água (Nu)	Relação da bifurcação (Rb)
1. <sup>a</sup> ordem	81	3,7
2. <sup>a</sup> ordem	22	7,3
3. <sup>a</sup> ordem	3	3,0
4. <sup>a</sup> ordem	1	1,0
5. <sup>a</sup> ordem	1	1,0
	Média geométrica $\bar{R}_b$	3,0

Os cálculos da relação de bifurcação  $R_b$  bem como da média geométrica  $\bar{R}_b$  apresentados no quadro 2.12 foram efetuados de forma análoga aos do quadro 2.11.

O método de Horton indica claramente o curso de água principal, bem como os seus afluentes com maior relevância. Contudo, a aplicação deste método suscita alguma dificuldade quando se está perante uma bacia bastante bifurcada. Esta é a razão fundamental pela qual se opta amiúde pela aplicação do método de Stralher.

### 2.4.3 Densidade de Drenagem

Quanto maior for a densidade de drenagem  $D_d$  menores serão os comprimentos das encostas e, por conseguinte, a infiltração também será menor, dando lugar a um maior escoamento anual. A água atinge rapidamente a rede hidrográfica em virtude da bacia drenar facilmente, provocando por assim dizer menores cheias.

A densidade de drenagem  $D_d$  determina-se através da razão entre a soma do comprimento de todos os cursos de água e a área total da bacia, como ilustra a equação (2.12).

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A_{bacia}} \quad (2.12)$$

$$D_d = \frac{97,09}{28,31} \Leftrightarrow D_d = 3,43$$

em que:

- L - comprimento de todas as linhas de água (km).
- $A_{bacia}$  - área da Bacia Hidrográfica (km<sup>2</sup>).

Se os valores da densidade de drenagem  $D_d$  são baixos conclui-se que estamos perante zonas de declive acentuado e conseqüentemente solos de baixa erodibilidade.

Se, por outro lado, aqueles valores são altos, estamos perante zonas de declive suave e, por conseguinte, solos de elevada erodibilidade.

A densidade de drenagem  $D_d$  depende da escala da carta sobre a qual é medida, ou seja:

- Habitualmente considera-se; ( $1 \text{ km/km}^2 < D_d < 100 \text{ km/km}^2$ ).
- Para Esc. 1:25000 (valores em Portugal) considera-se; ( $3 \text{ km/km}^2 < D_d < 5 \text{ km/km}^2$ ).
- Para Esc. 1:1000000 (média nacional) considera-se; ( $D_d = 0,3 \text{ km/km}^2$ ).

O percurso médio sobre o terreno desde o limite da bacia até ao curso de água é dado pela equação (2.13).

$$\bar{P}_L = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{D_d} \quad (2.13)$$

$$\bar{P}_L = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,43} \Leftrightarrow \bar{P}_L = 0,15$$

O percurso médio sobre o terreno até ao curso de água é dado pela equação (2.14).

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \cdot \bar{P}_L \quad (2.14)$$

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \cdot 0,15 \Leftrightarrow \bar{P} = 0,07$$

Um exemplo tipo da densidade de drenagem ( $D_d = 1 \text{ km/km}^2$ ), é apresentado na figura 2.26.

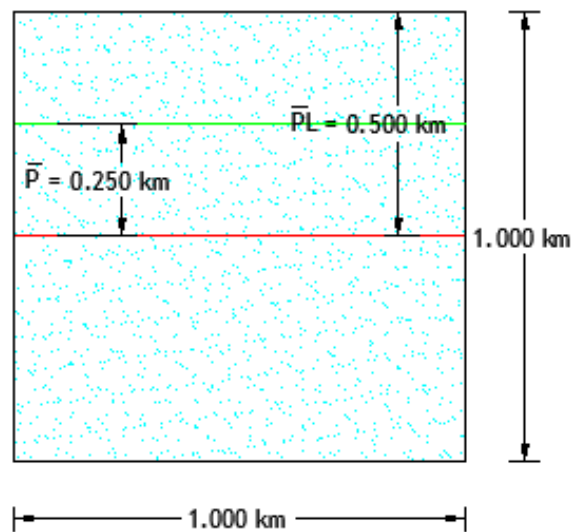


Figura 2.26 - Densidade de drenagem  $D_d$  num quadrado com  $1 \text{ km}^2$  de área ( $D_d = 1 \text{ km/km}^2$ )

Efeito do aumento da área urbanizada nos caudais e volumes de cheia na bacia de Manteigas

Um exemplo tipo da densidade de drenagem ( $D_d = 2 \text{ km/km}^2$ ), é apresentado na figura 2.27.

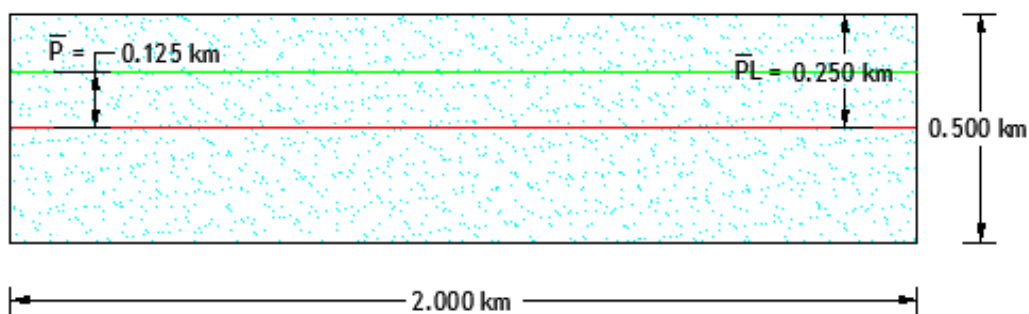


Figura 2.27 - Densidade de drenagem  $D_d$  num retângulo com  $1 \text{ km}^2$  de área ( $D_d = 2 \text{ km/km}^2$ )

Os valores de referência para a densidade de drenagem são apresentados no quadro 2.13.

Quadro 2.13 - Valores de referência da densidade de drenagem  $D_d$

Densidade de drenagem $D_d$ ( $\text{km/km}^2$ )	Eficiência de drenagem da BH
$D_d < 0,5$	Baixa densidade de drenagem (mal drenada)
$0,5 < D_d < 3,5$	Densidade de drenagem média
$D_d > 3,5$	Alta densidade de drenagem

Os resultados do comprimento de todas as linhas de água existentes na BH de Manteigas são apresentados no quadro 2.14.

Quadro 2.14 - Comprimento das linhas de água da BH de Manteigas

Linhas de água da BH de Manteigas	Comprimento das linhas de água L (km)
Rio Zêzere	10,06
Afluentes	87,03
<b>Total</b>	<b>97,09</b>

Os resultados da densidade de drenagem da BH de Manteigas são apresentados no quadro 2.15.

Quadro 2.15 - Resultados da densidade de drenagem  $D_d$  da BH de Manteigas

Valores da densidade de drenagem da BH de Manteigas				
$A_{\text{bacia}}$ (km)	$L_{\text{linhas de água}}$ (km)	$D_d$ (-)	$\bar{P}_L$ (-)	$\bar{P}$ (-)
28,31	97,07	3,43	0,15	0,07

A densidade de drenagem  $D_d$  da BH de Manteigas apurada no quadro 2.15, quando comparada com os valores de referência no quadro 2.13 indica que a BH em estudo se aproxima do início do intervalo de valores de referência que caracterizam uma bacia com uma eficiência de alta densidade de drenagem.

#### 2.4.4 Perfil Longitudinal do Curso de Água Principal

O perfil longitudinal do curso de água principal (Rio Zêzere) é uma das características fisiográficas relevante da rede de drenagem de uma Bacia Hidrográfica a nível de análise de cheias. Contudo, a partir do perfil longitudinal é possível estimar as medidas de inclinação do curso de água e conseqüentemente o cálculo do tempo de concentração  $T_c$  da bacia.

O traçado do perfil longitudinal da BH de Manteigas desenvolve-se a montante da Secção de Referência desde a Torre com 1993 m de altitude, até à Estação Hidrométrica de Manteigas com 876 m de altitude numa extensão de 10,06 km, como ilustra a imagem de satélite (Google Earth) na figura 2.28.

Através desta imagem é possível verificar com alguma exatidão o traçado da linha principal em planta, bem como o traçado do perfil longitudinal em corte, como ilustra a figura 2.28.

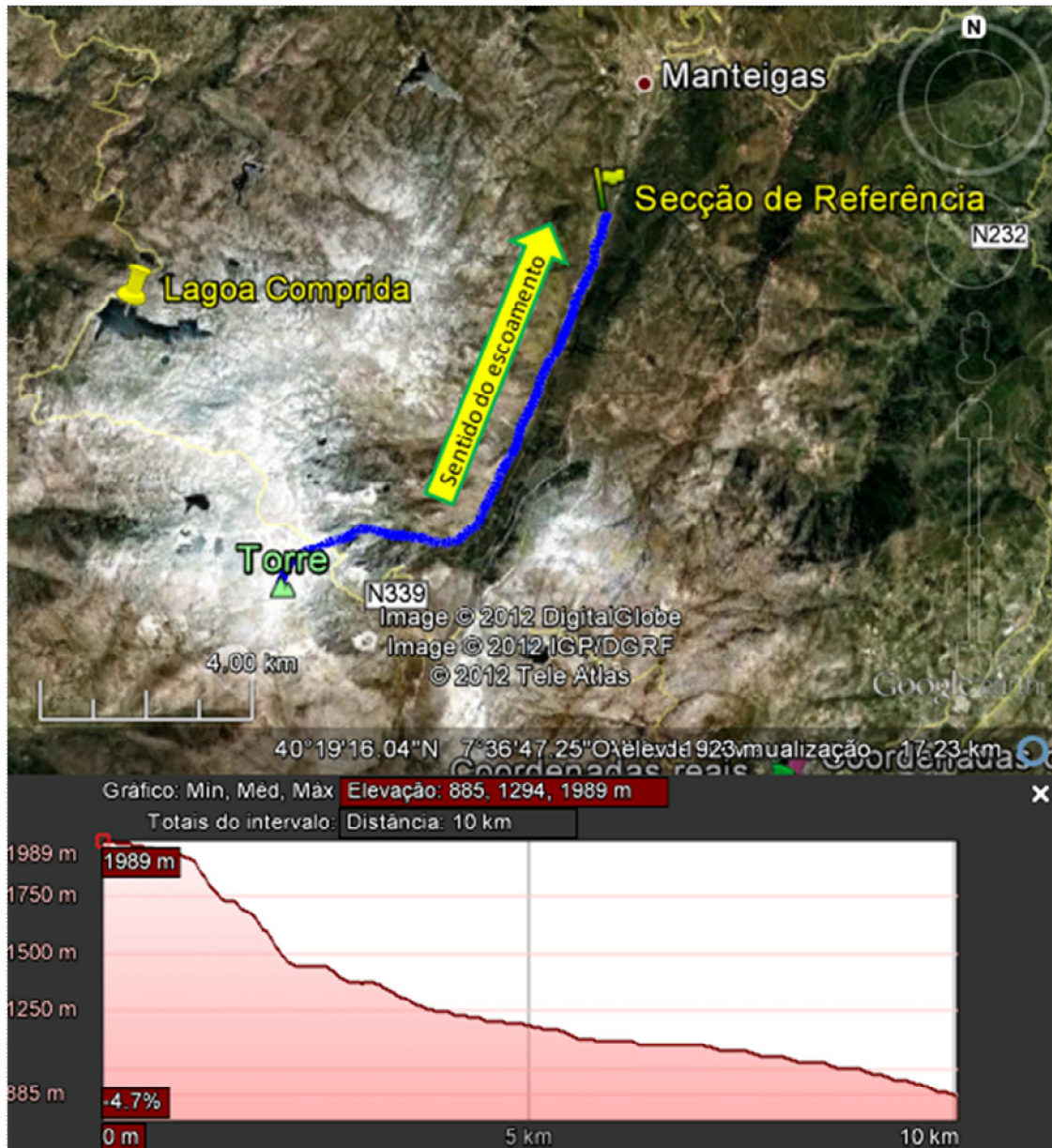


Figura 2.28 - Linha principal de água em planta e em perfil (imagem de Satélite-Google Earth)

O perfil longitudinal de um rio pode ser obtido através de mapas ou cartas topográficas, desde que apresentem as curvas de nível suficientes para se conseguir uma ótima conformação do terreno. Se as curvas de nível tiverem uma equidistância de 10 m já se obtém um traçado de perfil longitudinal muito bom.

A inclinação do talvegue condiciona fundamentalmente a velocidade do escoamento do rio.

O declive entre dois pontos do talvegue é a razão entre o desnível e o comprimento reduzido do horizonte, ou seja, a tangente do ângulo de inclinação.

Neste estudo vão ser determinados três declives diferentes;

- Declive médio ( $d_m$ ).
- Declive ( $d_{10;85}$ ).
- Declive equivalente ( $d_{eq}$ ).

Declive médio - dado pela razão entre a diferença entre as cotas máxima e mínima e o comprimento da linha de água principal, como ilustra a equação (2.15).

$$d_m = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{L_{rio}} \quad (2.15)$$

$$d_m = \frac{1990 - 876}{10060} \Leftrightarrow d_m = 0,11$$

em que:

- $d_m$  - declive médio da linha de água principal (-).
- $Z_{\max}$  - cota máxima da linha principal de água (m).
- $Z_{\min}$  - cota mínima da linha principal de água (m).
- $L_{rio}$  - comprimento da linha principal de água (m).

Declive 10:85 - dado pela razão entre a diferença das cotas de 10% e 85% do comprimento do rio e o comprimento do rio entre aqueles pontos, como ilustra a equação (2.16).

$$d_{10;85} = \frac{Z_{85} - Z_{10}}{0,75 \cdot L_{rio}} \quad (2.16)$$

$$d_{10;85} = \frac{1646,4 - 966,4}{0,75 \cdot 10060} \Leftrightarrow d_{10;85} = 0,09$$

em que:

- $d_{10;85}$  - declive entre 10 e 85% da linha principal de água (-).
- $Z_{85}$  - cota a 85% do comprimento da linha principal de água (m).

Sendo que, 85% do comprimento da linha de água principal (Rio) é dado por:

$$0,85 \cdot L_{rio} = 0,85 \cdot 10060 = 8551,0 \text{ m}$$

- $Z_{10}$  - cota a 10% do comprimento da linha principal de água (m).

Sendo que, 10% do comprimento da linha de água principal (Rio) é dado por:

$$0,10 \cdot L_{rio} = 0,10 \cdot 10060 = 1006 \text{ m}$$

- $L_{rio}$  é o comprimento da linha de água principal (m).

Os valores de apoio ao cálculo da cota que fica a 85% do comprimento da linha principal de água da BH de Manteigas são apresentados no quadro 2.16.

Quadro 2.16 - Valores de apoio no cálculo da cota  $Z_{85}$

Cálculo do $Z_{85}$	
$L_{rio}$ (m)	Cota (m)
8292,3	1600
8551,0	$Z_{85}=?$
8571,1	1650

Por interpolação linear retira-se o  $Z_{85}$ ;

$$\frac{8571,1 - 8292,3}{1650 - 1600} = \frac{8571,1 - 8551,0}{1650 - Z_{85}} \Leftrightarrow Z_{85} = 1646,4 \text{ m}$$

Os valores de apoio ao cálculo da cota que fica a 10% do comprimento da linha principal de água da BH de Manteigas são apresentados no quadro 2.17.

Quadro 2.17 - Valores de apoio no cálculo da cota  $Z_{10}$

Cálculo do $Z_{10}$	
$L_{rio}$ (m)	Cota (m)
803,0	950
1006,0	$Z_{10}=?$
1421,4	1000

Por interpolação linear retira-se o  $Z_{10}$ ;

$$\frac{1421,4 - 803,0}{1000 - 950} = \frac{1421,4 - 1006}{1000 - Z_{10}} \Leftrightarrow Z_{10} = 966,4 \text{ m}$$

Declive equivalente - dado pela diferença entre a cota máxima e mínima de uma linha reta oblíqua (cuja área sob a mesma é equivalente à área sob o perfil longitudinal da linha de água principal) sobre o comprimento do rio, como ilustra a equação (2.17).

$$d_{eq} = \frac{Z_{eq} - Z_{min}}{L_{rio}} \quad (2.17)$$

$$d_{eq} = \frac{(1679,3 - 876)}{10060} \Leftrightarrow d_{eq} = 0,08$$

em que:

- $d_{eq}$  - declive equivalente da linha de água principal (-).
- $Z_{eq}$  - cota equivalente da linha de água principal (m).

A altitude equivalente  $Z_{eq}$  é dada pela equação (2.18).

$$Z_{eq} = \frac{1}{L_{rio}} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (Z_i + Z_{i+1}) \cdot X_{i+1} \quad (2.18)$$

$$Z_{eq} = \frac{2 \cdot (\text{áreasoblinhaáguaprincipal})}{L_{rio}} + Z_{mín} \Leftrightarrow Z_{eq} = \frac{2 \cdot (4040746,4)}{10060} + 876$$

$$\Leftrightarrow Z_{eq} = 803,3 + 876 \Leftrightarrow Z_{eq} = 1679,3 \text{ m}$$

Os cálculos da área sob a linha de água principal são apresentados no quadro 2.18.

De outra forma, a altitude equivalente  $Z_{eq}$  é uma cota que depois de lhe ser retirada a cota do  $Z_{mín}$  obtém-se uma altura equivalente  $h_{eq}$  cujo seu valor multiplicado pelo comprimento da linha de água principal (rio Zêzere), dá-nos uma área equivalente à que se encontra sob a linha de água principal até à cota mín  $Z_{mín}$  (Secção de Referência).

De salientar, que a área sob a linha de água principal (azul) é equivalente à área do triângulo fictício (verde) cuja altura é  $h_{eq}$ , como ilustra a figura 2.29.

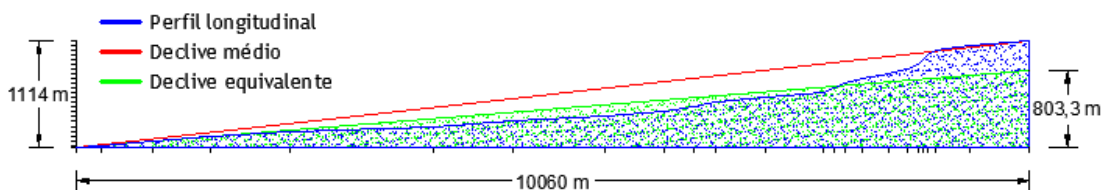


Figura 2.29 - Declive equivalente  $d_{eq}$  em dimensões proporcionais

Em termos geométricos, se se colocar sobre a área a azul escuro, uma área equivalente mas invertida, ou seja, fazendo-a rodar 180° (azul claro), obtém-se um retângulo com uma lacuna no seu interior (vermelha), como se pode observar na figura 2.30.

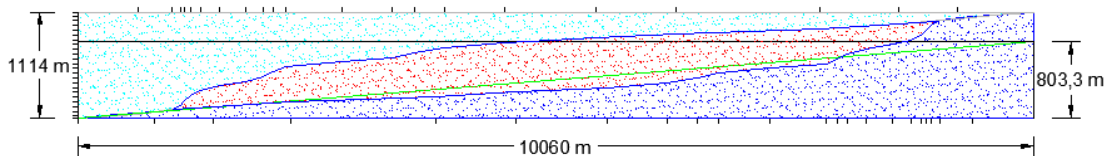


Figura 2.30 - Cálculo geométrico do declive equivalente  $d_{eq}$  em dimensões proporcionais

Portanto, a altura equivalente  $h_{eq}$ , desde a cota mínima  $Z_{mín}$  até à linha horizontal a preto, (803,3 m) resulta do quociente entre a soma das duas áreas (azul claro e azul escuro), pelo comprimento da linha de água principal, como ilustra a equação 2.19.

Efeito do aumento da área urbanizada nos caudais e volumes de cheia na bacia de Manteigas

$$h_{eq} = \frac{Área_{azulclaro} + Área_{azulescuro}}{Comprimento_{linha\águaprincipal}} \quad (2.19)$$

$$h_{eq} = \frac{4040746,4 + 4040476,4}{10060} \Leftrightarrow h_{eq} = 803,3 \text{ m}$$

A área do retângulo, que fica acima da linha horizontal a preto, é equivalente à área a vermelho no interior do retângulo global.

Genericamente, a razão entre a área A de um retângulo e o comprimento L ou a altura h do mesmo dá-nos a sua altura h ou o seu comprimento, respetivamente. Assim sendo, a altura equivalente do retângulo  $h_{eq}$  é aquela que permite inserir duas vezes a área sob a linha de água principal. Desta forma obtém-se um retângulo totalmente preenchido pelas duas áreas (azul claro e azul escuro), cuja altura é igual ao  $h_{eq}$ .

Porém, a altitude equivalente  $Z_{eq}$  resulta da equação 2.20.

$$Z_{eq} = h_{eq} + Z_{min} \quad (2.20)$$

$$Z_{eq} = 803,3 + 876,0 \Leftrightarrow Z_{eq} = 1679,3 \text{ m}$$

em que:

- $Z_{min}$  - cota da linha de água principal na Secção de Referência (m).

Os três declives supra mencionados e respetivos valores, são apresentados na figura 2.31.

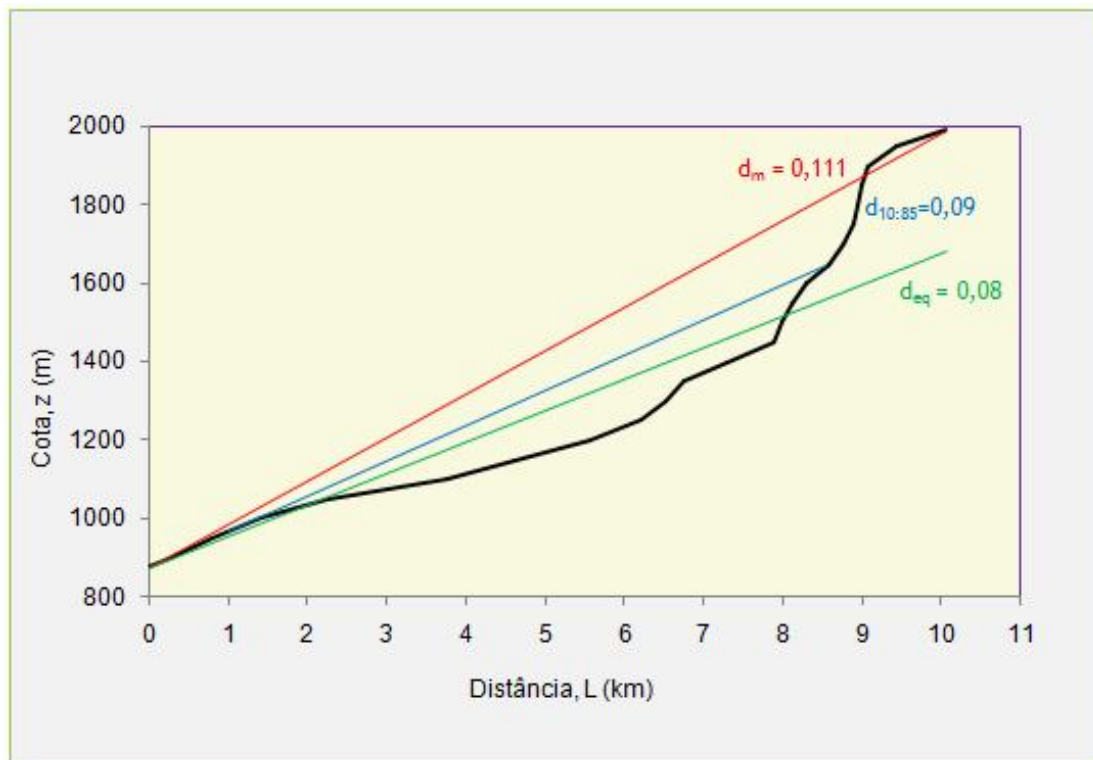


Figura 2.31 - Declives do perfil longitudinal da linha de água principal da BH de Manteigas

A caracterização do perfil longitudinal é apresentada no quadro 2.18.

Quadro 2.18 - Caracterização do perfil longitudinal

Perfil longitudinal			
Lrio (Km)	Lrio (m)	Cotas do rio (m)	Áreas sob o perfil do rio (m <sup>2</sup> )
0,000	0,0	876	0,0
0,261	261,2	900	3134,9
0,803	803,0	950	26548,0
1,421	1421,4	1000	61220,2
2,247	2246,7	1050	122964,1
3,767	3767,4	1100	302623,7
4,608	4608,2	1150	209354,7
5,571	5570,7	1200	287786,7
6,204	6204,1	1250	221058,8
6,521	6520,6	1300	126296,0
6,748	6748,3	1350	102221,0
7,279	7279,3	1400	264978,1
7,875	7874,9	1450	326980,8
7,996	7996,4	1500	72757,0
8,105	8104,6	1550	70250,6
8,292	8292,3	1600	131173,7
8,571	8571,1	1650	208877,0
8,766	8766,3	1700	155922,1
8,876	8876,2	1750	93290,2
8,930	8930,1	1800	48441,3
8,978	8978,1	1850	45550,9
9,067	9067,1	1900	88940,0
9,420	9420,0	1950	370170,1
10,060	10060,0	1990	700206,5
Total das áreas sob o perfil longitudinal			4040746,4

## 2.5 Outras Características da Bacia Hidrográfica

### 2.5.1 Geologia

A BH de Manteigas situa-se no maciço montanhoso da Serra da Estrela que constitui a parte oriental de um alinhamento, o qual se estende cerca de 115 km, desde a região da Guarda até ao maciço da Lousã.

Esta montanha é constituída por planaltos alongados na direção SW-NE, sendo que as altitudes mais elevadas encontram-se no lado Sudoeste. O Planalto da Torre atinge a maior altitude de Portugal Continental com 1993 metros.

A topografia acentuada deve-se essencialmente às deslocações tectónicas que levantaram a montanha dos planaltos envolventes, tendo-a deslocado para Nordeste. As escarpas que a circundam são de falha com uma evolução de pelo menos 200 milhões de anos.

Todavia, os grandes desníveis que se observam na Serra da Estrela não são fruto apenas das deslocações tectónicas, pois também se devem em grande parte aos profundos entalhes dos rios induzidos pelo próprio levantamento da montanha a partir dos planaltos marginais. As falhas que cindem o interior da montanha também são responsáveis pelos entalhes fluviais mais profundos, uma vez que o esmagamento tectónico das rochas facilitou o encaixe dos rios. A BH de Manteigas situa no vale do Zêzere é exemplo disso mesmo.

Em suma, houve uma interação permanente entre a tectónica e a erosão fluvial na formação das linhas gerais da Serra da Estrela.

A Serra da Estrela ficou coberta por glaciares há cerca de 20000 anos, em virtude da temperatura atmosférica ter descido pelo menos 10°C.

Na Serra da Estrela podemos distinguir cinco vales glaciários;

- Vale Glaciar do Zêzere
- Covão do Urso
- Covão Grande
- Loriga
- Alforfa

Um corte geológico da Serra da Estrela é apresentado na figura 2.32.

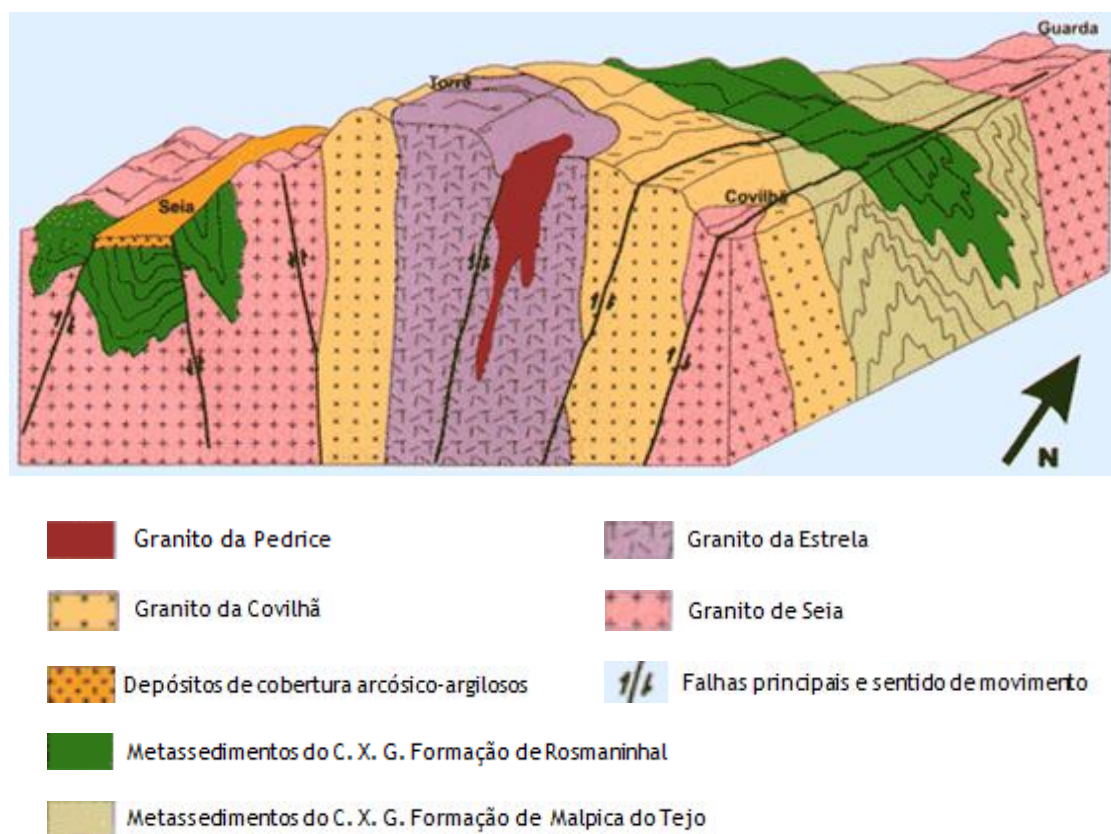


Figura 2.32 - Bloco diagrama esquemático da geologia da Serra da Estrela

É de salientar que o Vale Glaciar da Serra da Estrela, alimentado pelos amplos circos do Covão da Ametade da Candeeira e dos Covões deu origem à mais extensa língua glaciária da Serra da Estrela, a qual terá atingido 13 km de comprimento e 680 metros de altitude.

A Carta Geológica de Portugal Continental facultada pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente) é apresentada na figura 2.33.

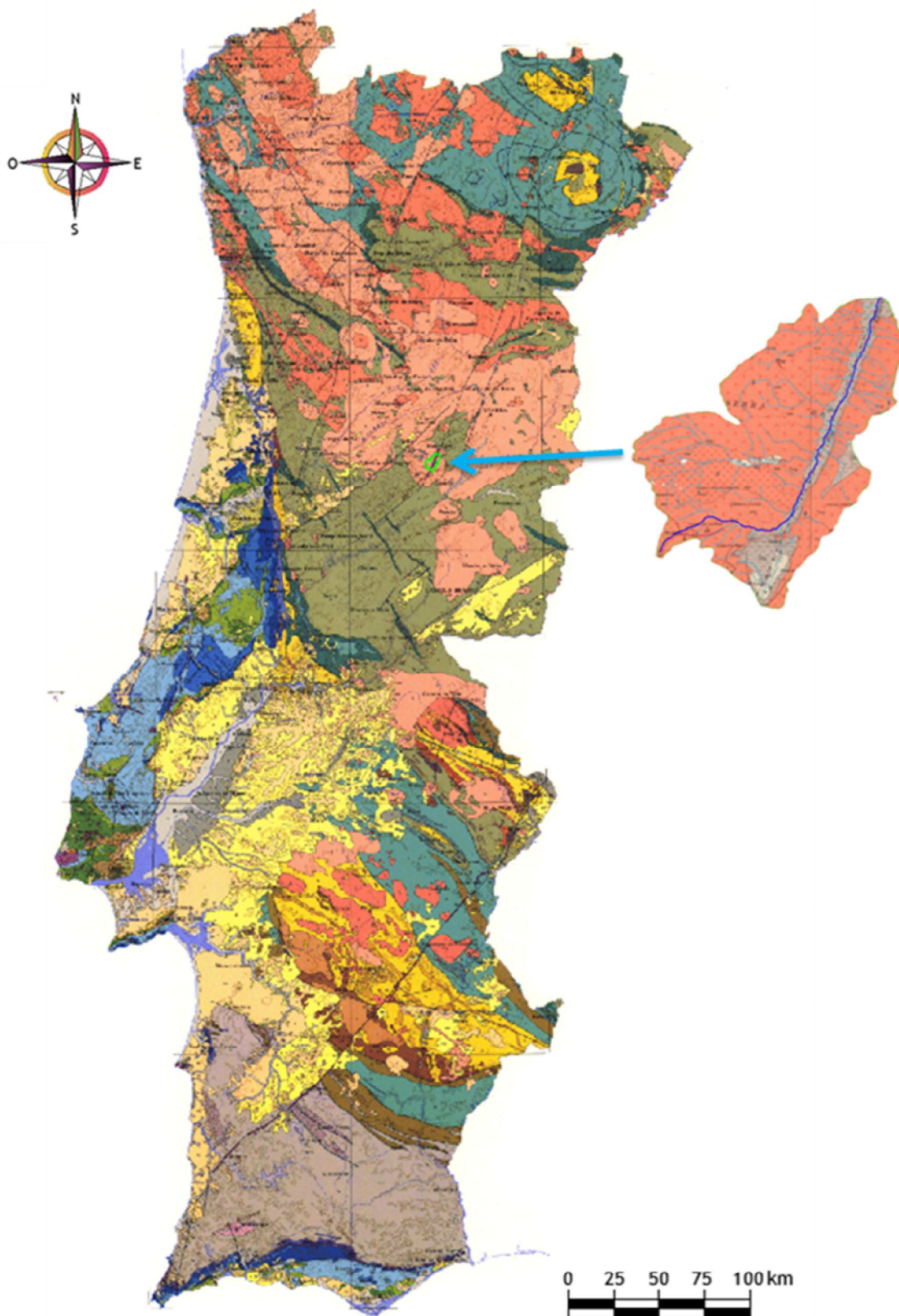


Figura 2.33 - Carta geológica de Portugal Continental com a localização da BH de Manteigas

ESTRATIGRAFIA E OROGENIA

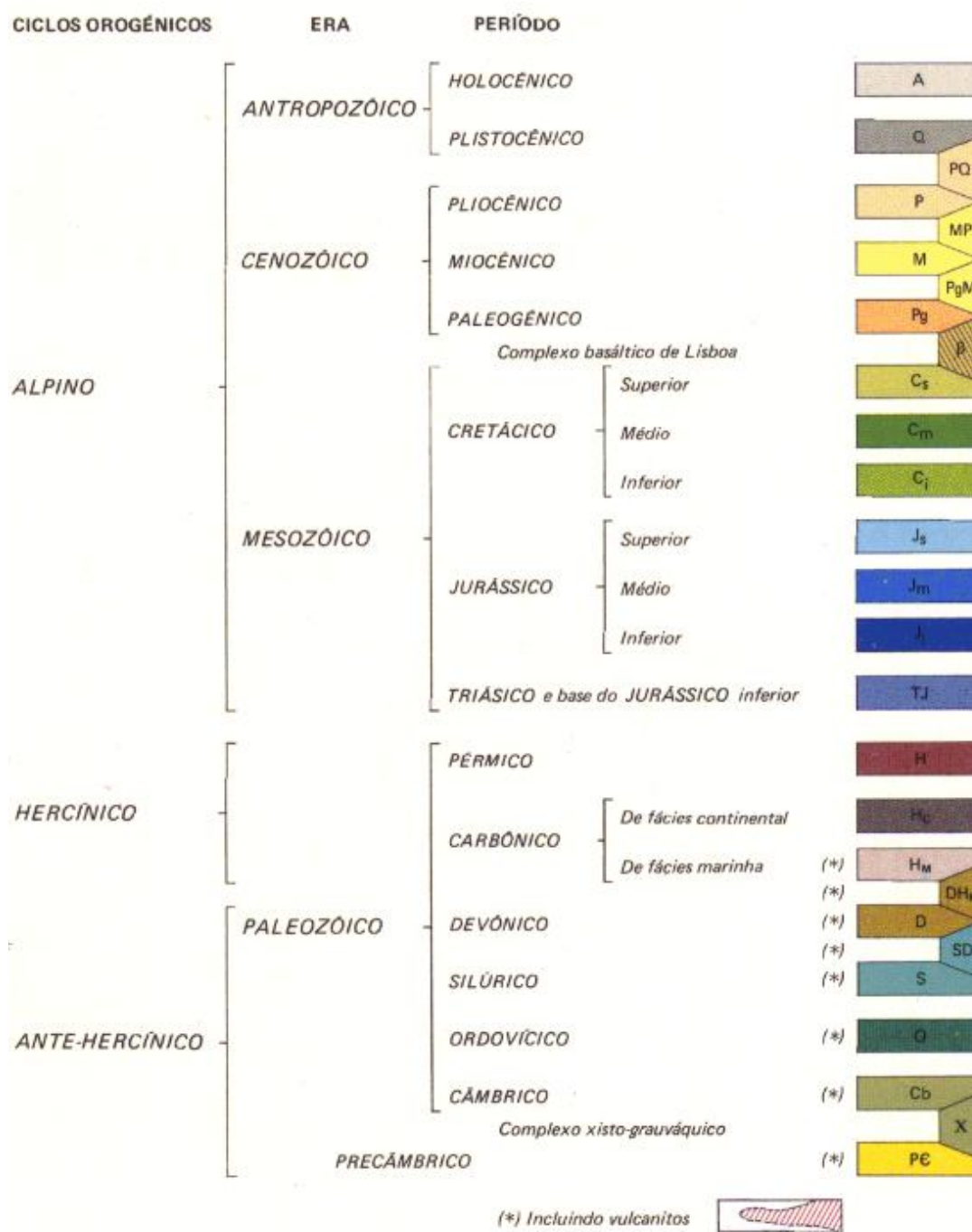


Figura 2.34 - Legenda da figura 2.33

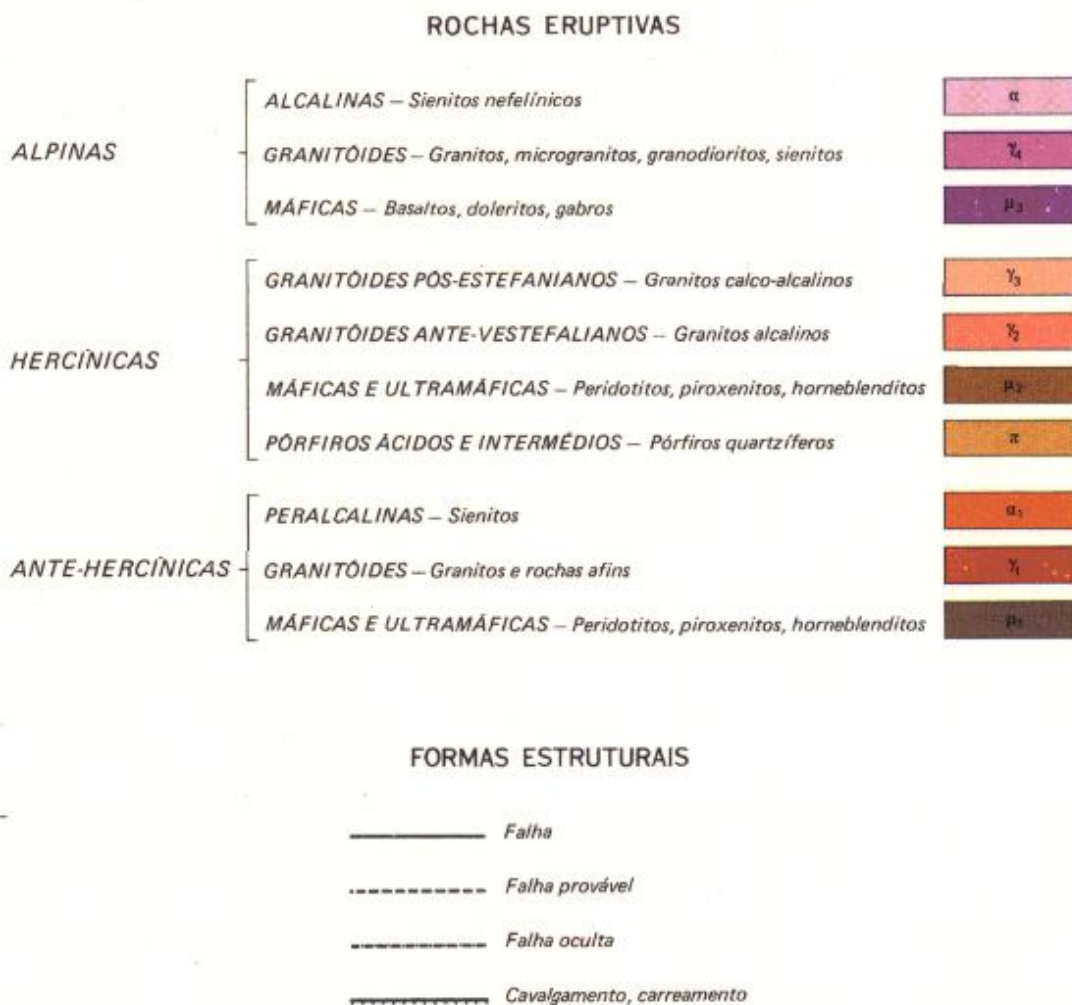


Figura 2.34 - Legenda da figura 2.33 (continuação)

A cúpula de gelo de planalto ocupava uma superfície de 70 km<sup>2</sup> e uma espessura na ordem dos 80 metros.

Por outro lado, a espessura dos gelos nos vales poderia ser muito maior. As moreias da lagoa seca são exemplo disso, pois permitem afirmar que a língua glaciária do Zêzere atingia 300 metros de altitude.

A BH de Manteigas, bem como a troço do Rio Zêzere nela inserido e seus afluentes, são apresentados num excerto da carta geológica apenas da zona em estudo, logo a uma escala muito maior, facultando por assim dizer uma maior aproximação da realidade, como ilustra a figura 2.35.

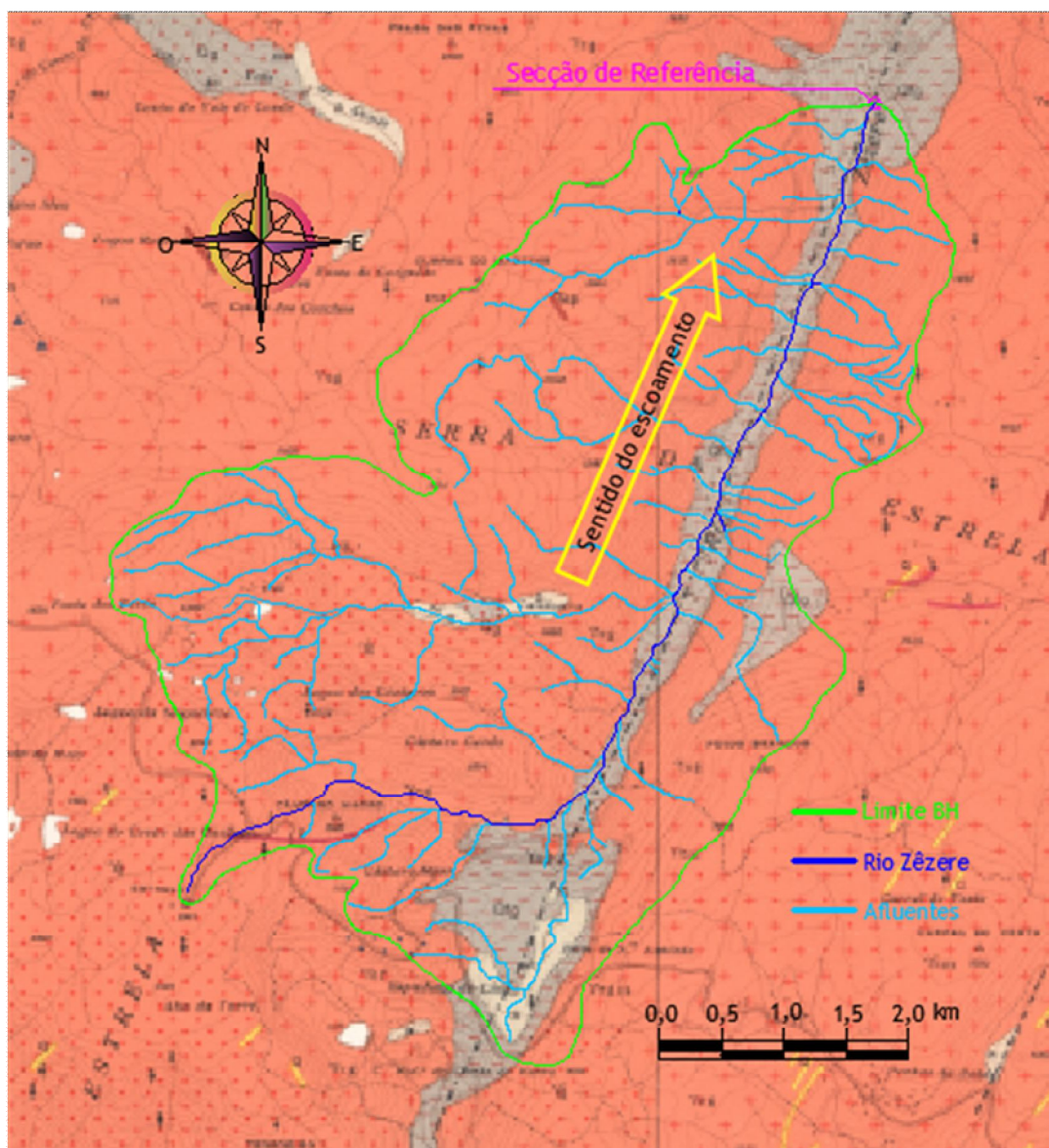


Figura 2.35 - Bacia Hidrográfica de Manteigas sobre a carta geológica 20 B

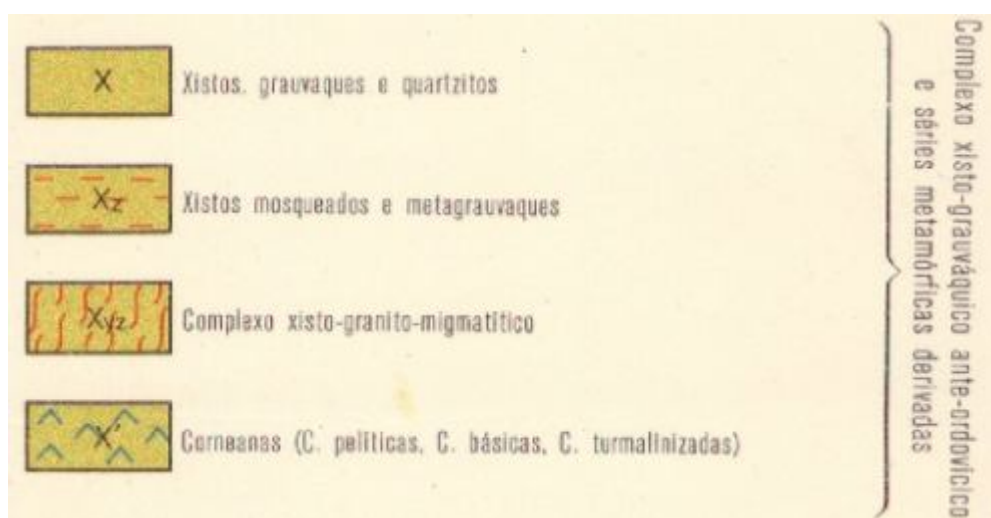


Figura 2.36 - Legenda da figura 2.35

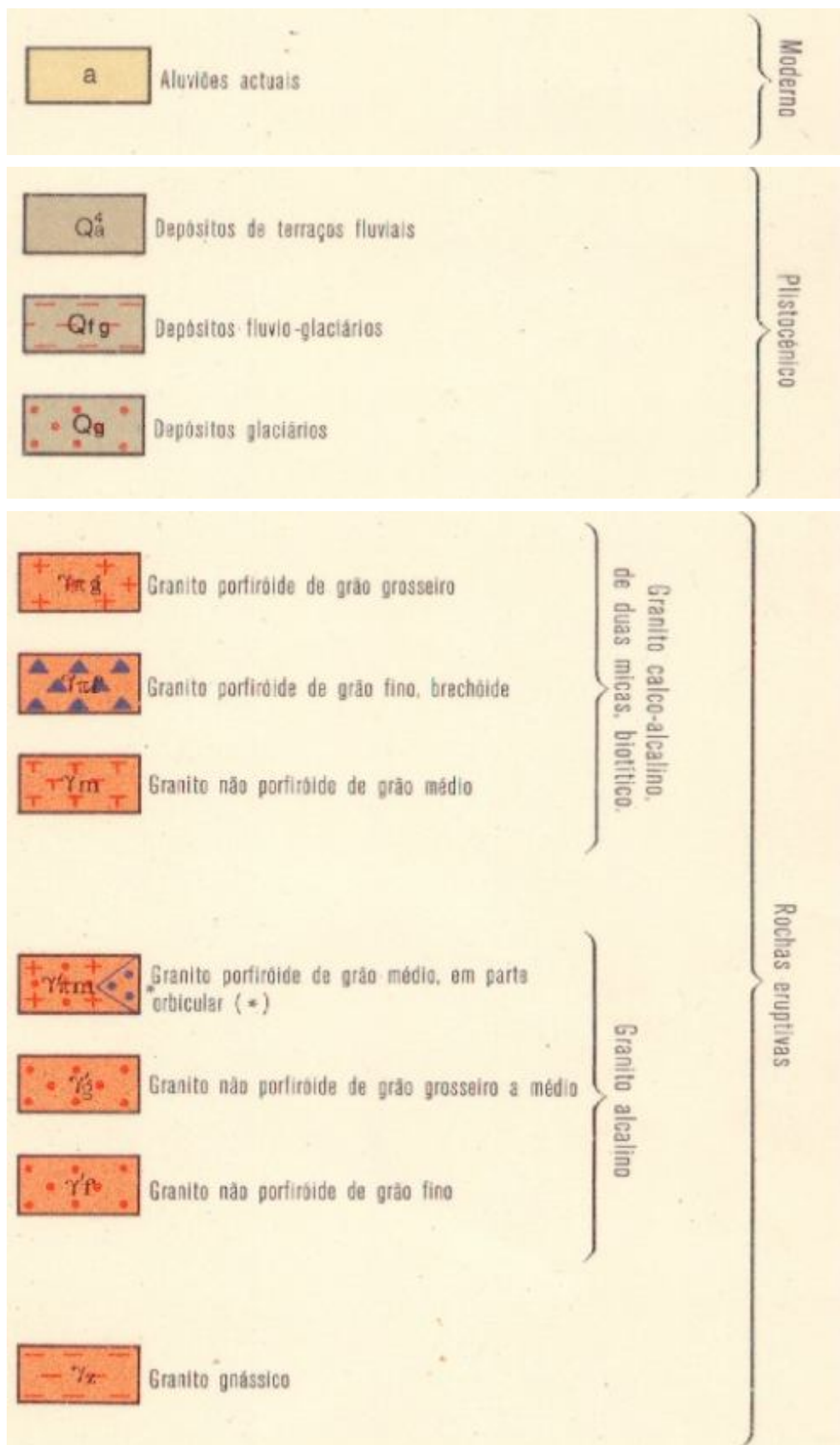


Figura 2.36 - Legenda da figura 2.35 (continuação)

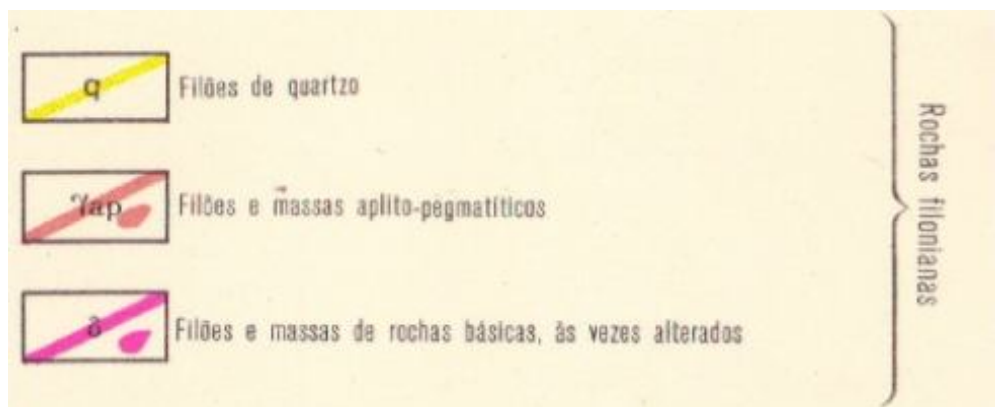


Figura 2.36 - Legenda da figura 2.35 (continuação)

## 2.5.2 Tipo de Solo

A superfície terrestre encontra-se exposta, desde o início dos tempos, à influência de diversos fatores destrutivos, tais como grandes mudanças de temperatura, ventos, águas entre outros fatores que produzem a decomposição física ou química das rochas.

Quando o solo se encontra num processo de decomposição permanece no local onde se deu o fenómeno denominando-se de solo residual. Após a sua decomposição é transportado pelos rios, ventos, gravidade entre outros agentes. Àqueles solos juntam-se também os de decomposição orgânica.

Em Engenharia Civil, a esmagadora maioria das obras apoiam-se sobre a crosta terrestre. Esta, por sua vez, pode ser utilizada nas próprias obras como material de empréstimo.

Em suma, o solo é um material de construção natural produzido pela natureza ao longo dos tempos apresentando-se de diversas formas.

Do ponto de vista técnico, os solos de suporte são misturados, escavados ou perfurados e utilizados nas obras de Engenharia Civil. Oportunamente, estes materiais reagem sob as fundações. Atuam sobre as misturas e coberturas deformando-se e resistindo a esforços nos aterros e taludes.

Os solos podem ser divididos em:

- Solo não coesivo - composto de pedras, pedregulhos, cascalhos e areias, ou seja, de partículas grossas.
- Solo coesivo - com grãos muito finos, quase farináceos e que tem uma boa aderência entre eles.
- Solo misto - compostos por uma mistura de partículas de diferentes tamanhos, isto é, solos muito finos com solos de maior granulometria. O comportamento deste está diretamente relacionado com a percentagem de partículas finas e partículas grossas.

Em Portugal Continental, o solo tem características muito diferentes variando consideravelmente de região para região, como ilustra a Carta do Tipo de Solos facultada pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente), na figura 2.37.

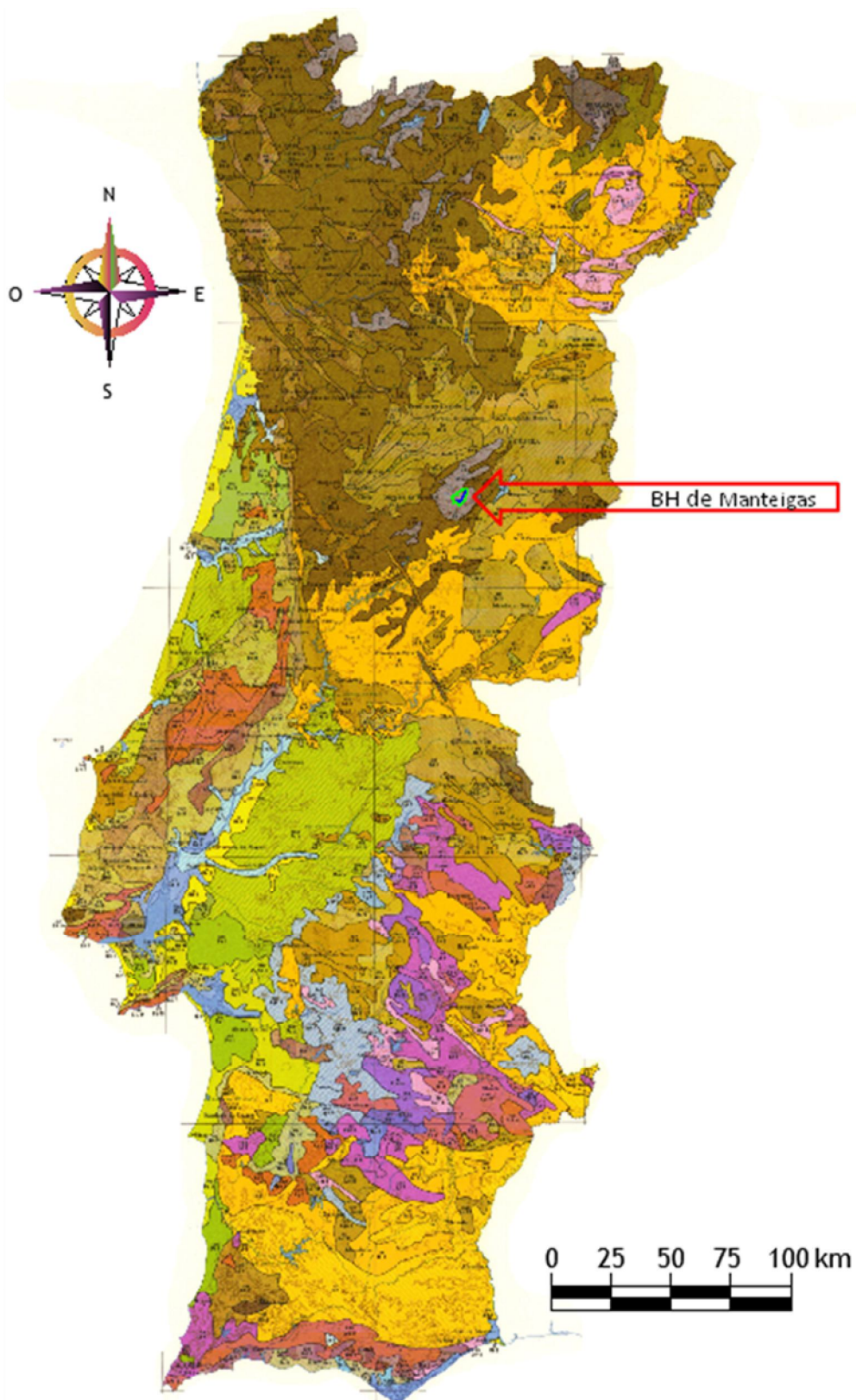


Figura 2.37 - Carta do Tipo de Solos de Portugal Continental com a localização BH de Manteigas

**UNIDADES PEDOLÓGICAS**  
(Segundo o esquema da FAO para a Carta dos Solos da Europa)

<b>J – FLUVISSOLOS</b>	
Je 1	<i>Fluvissoles éutricos</i>
Je 2	<i>Idem (associados a Fluvissoles calcários)</i>
Jc 1	<i>Fluvissoles calcários</i>
Jd 1	<i>Fluvissoles dístricos</i>
<b>REGOSSOLOS</b>	
Re 1-5	<i>Regossoles éutricos</i>
Rd 1	<i>Regossoles dístricos</i>
<b>I – LITOSSOLOS</b>	
Ie 1	<i>Litossolos éutricos</i>
Ie 2	<i>Idem (rochas ultrabásicas)</i>
Ie 3-10	<i>Idem (associados a Luvissoles)</i>
<b>U – RANKERS</b>	
U 1,2	<i>Rankers</i>
<b>V – VERTISSOLOS</b>	
Vp 1	<i>Vertissolos pélicos</i>
Vpc 1	<i>Vertissolos pélicos calcários</i>
Vc 1-7	<i>Vertissolos crómicos</i>
Vec 1-3	<i>Vertissolos crómicos calcários</i>
<b>Z – SOLONCHAKS</b>	
Zg 1-3	<i>Solonchaks gleizados</i>
<b>B – CAMBISSOLOS</b>	
Bd 1,2	<i>Cambissolos dístricos</i>
Bd 4,6	<i>Idem (xistos e quartzitos do Ordovícico)</i>
Bd 3,5	<i>Idem (rochas sedimentares post-Paleozóicas)</i>
Bh 1,2	<i>Cambissolos húmicos (rochas eruptivas)</i>
Bh 5,6	<i>Idem (associados a Cambissolos dístricos) (rochas eruptivas)</i>
Bh 3,8	<i>Idem (xistos)</i>
Bh 4	<i>Idem (xistos) (associados a Luvissoles, forte influência atlântica)</i>
Bh 10,11	<i>Idem (xistos) (associados a Luvissoles, fraca influência atlântica)</i>

Figura 2.38 - Legenda da figura 2.37

Bh 7	<i>Idem (xistos e quartzitos do Ordovícico) (forte influência atlântica)</i>
Bh 9,14	<i>Idem (xistos e quartzitos do Ordovícico) (moderada influência atlântica)</i>
Bh 12,13,15	<i>Idem (rochas sedimentares post-Paleozóicas)</i>
Bhc 1	<i>Cambissolos húmicos crómicos</i>
Be 1-3,11	<i>Cambissolos éutricos (rochas eruptivas)</i>
Be 4	<i>Idem (xistos e quartzitos do Ordovícico)</i>
Be 5-10,12-14	<i>Idem (rochas sedimentares post-Paleozóicas)</i>
Bk 1-5	<i>Cambissolos cálcicos</i>
Bc 1,2	<i>Cambissolos crómicos</i>
Bcc 1-3	<i>Cambissolos crómicos calcários</i>
Bcv 1	<i>Cambissolos crómicos calcários vérticos</i>
<b>L – LUVISSOLOS</b>	
Lo 1-14	<i>Luvissolos órticos</i>
Lcr 1-11	<i>Luvissolos rodocrómicos</i>
Lrk 1-5	<i>Luvissolos rodocrómicos cálcicos</i>
Lrv 1-3	<i>Luvissolos rodocrómicos cálcicos vérticos</i>
Lkv 1	<i>Luvissolos cálcicos vérticos</i>
Lv 1-3	<i>Luvissolos vérticos</i>
Lf 1-9	<i>Luvissolos férricos</i>
Lp 1	<i>Luvissolos plintíticos</i>
Lg 1	<i>Luvissolos gleizados</i>
Lga 1-9	<i>Luvissolos gleizados álbicos</i>
<b>P – PODZÓIS</b>	
Pe 1	<i>Podzóis órticos</i>
Pe 2,7	<i>Idem (associados a Regossolos éutricos)</i>
Pe 3	<i>Idem (associados a Cambissolos dístricos)</i>
Pe 4	<i>Idem (associados a Cambissolos éutricos)</i>
Pe 5	<i>Idem (associados a Luvissolos gleizados)</i>
Pe 6	<i>Idem (associados a Cambissolos calcários)</i>
<b>W – PLANOSSOLOS</b>	
We 1,2	<i>Planossolos éutricos</i>

Figura 2.38 - Legenda da figura 2.37 (continuação)

Um excerto da Carta do Tipo de Solos, na zona da BH de Manteigas evidencia claramente as diferentes características do solo, através da figura 2.39.

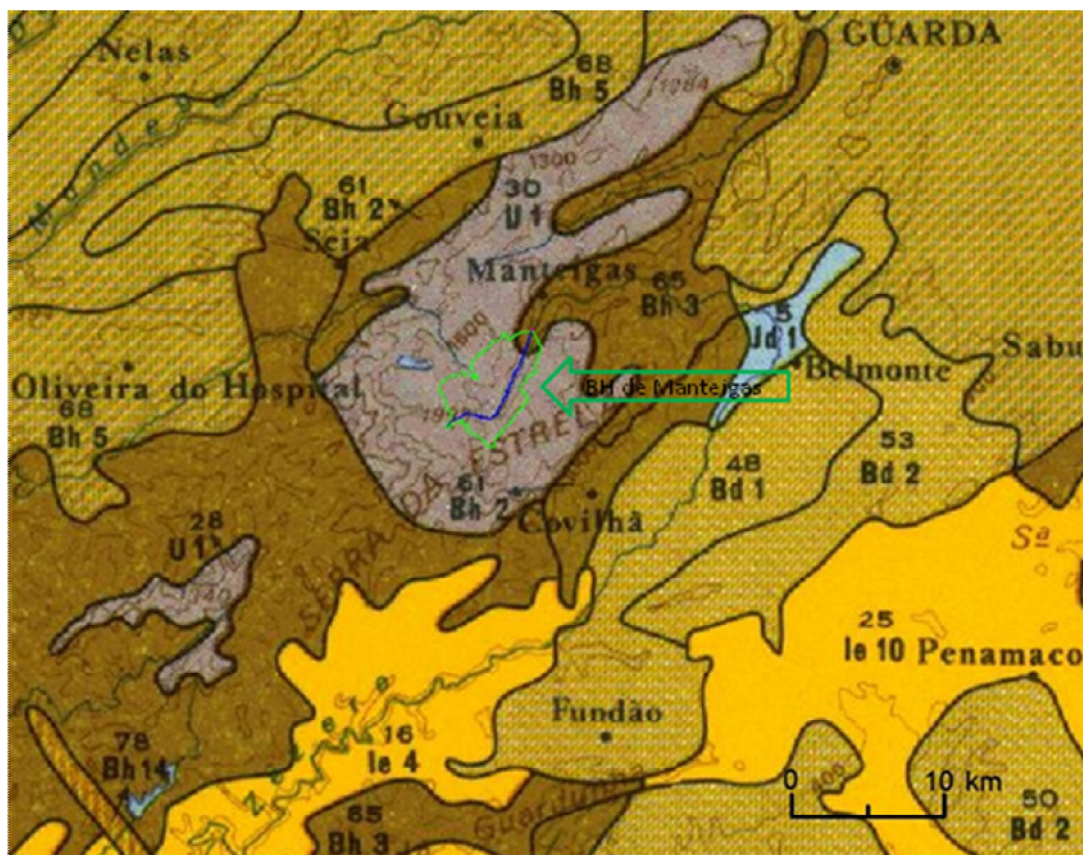


Figura 2.39 - Estrato da Carta Tipo de Solos com a localização esquemática da BH de Manteigas

### 2.5.3 Unidades Hidrogeomorfológicas

A BH de Manteigas, foi dividida em sete plataformas. Cada plataforma situa-se a uma altitude de um dado intervalo de cotas, em ambas as margens do percurso da linha de água principal.

As zonas mais planas são denominadas de planaltos, ainda que com altitudes muito diferentes entre elas, ou seja, os planaltos ocidentais (inferior e superior) correspondentes aos pontos 4 e 9 da figura 2.44 e o planalto oriental, correspondente ao ponto 5 da figura 2.44.

Porém, o colo da Nave de Santo António também é composto por uma topografia muito pouco acidentada.

O centro geométrico da BH de Manteigas foi calculado através do software AutoCad, uma vez que se trata de uma figura geométrica bastante complexa.

Apesar de se tratar de uma bacia com uma configuração geométrica oblonga a tender para alongada, o percurso da linha de água principal (Rio Zêzere) rompeu caminho afastando-se para o lado direito do CG da bacia, cerca de 1/4 da sua largura.

Com efeito, este fenómeno revela claramente que a água em quantidade, apesar da sua força imponente, cria os seus próprios meandros rompendo os solos mais vulneráveis através dos declives mais acentuados.

Todos os pontos supra mencionados, bem como outros podem ser observados em pormenor na figura 2.40.

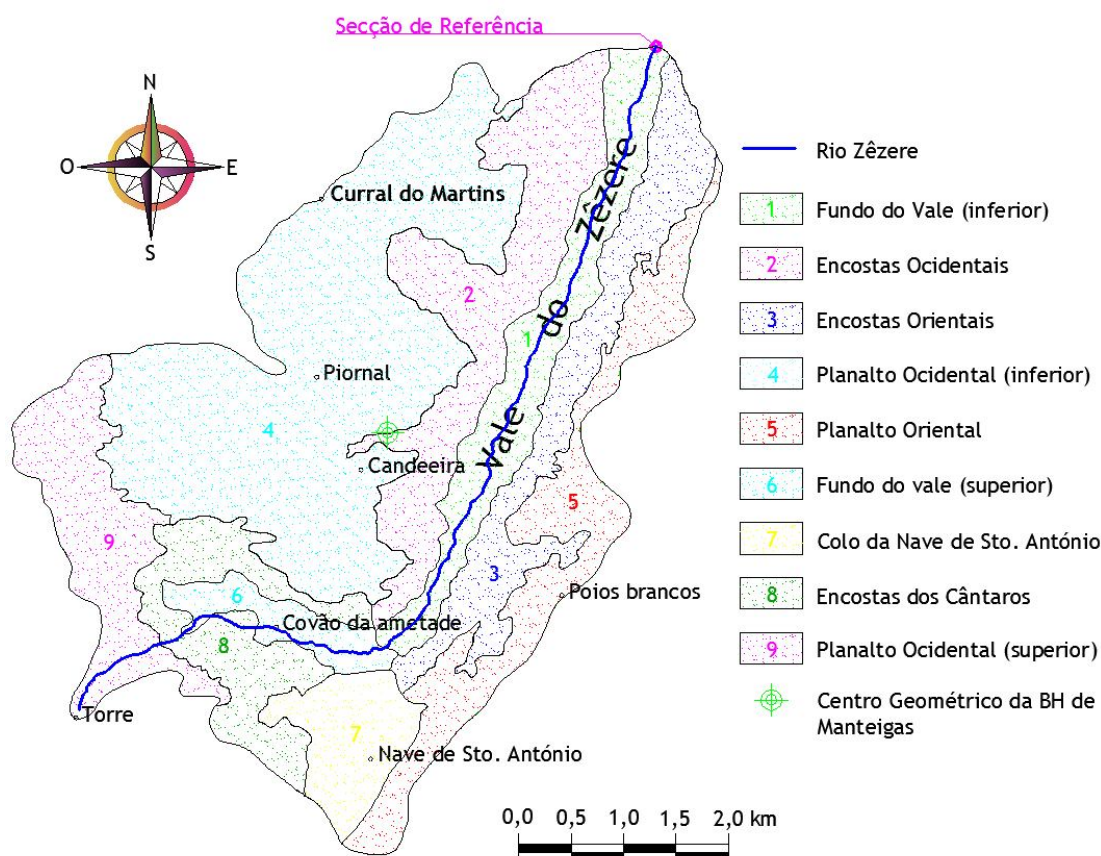


Figura 2.40 - Unidades hidrogeomorfológicas da Bacia Hidrográfica de Manteigas

Os valores dos dois tipos de coordenadas (geográficas e retangulares) do centro geométrico da BH de Manteigas são apresentados no quadro 2.19.

Quadro 2.19 - Coordenadas do Centro Geométrico da BH de Manteigas

Referência do Centro Geométrico da BH de Manteigas			
Coordenadas Geográficas Datum Lisboa		Coordenadas Retangulares Datum Lisboa	
Latitude °(N)	Longitude °(W)	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
40,344658	7,576668	247176,99	375430,72

Os valores das altitudes médias, áreas, litologia dominante e perfil do solo, por cada unidade hidrogeomorfológica, são apresentados no quadro 2.20.

Quadro 2.20 - Características hidrogeomorfológicas

Unidade Hidrogeomorfológica	Altitude média (m)	Áreas (km <sup>2</sup> )	Fração da área (%)	Litologia dominante	Perfil do solo dominante
1 - Fundo de Vale (inferior)	1113	2,68	9,47	Depósito fluvioglaciário	AC
2 - Encostas Ocidentais	1354	3,76	13,28	Granito	AR, AC
3 - Encostas Orientais	1337	2,79	9,86	Granito	AC, AR
4 - Planalto Ocidental (inferior)	1596	9,39	33,17	Granito	AR
5 - Planalto Oriental	1514	2,92	10,31	Granito	AC, AR
6 - Fundo de Vale (superior)	1511	0,83	2,93	Granito/Depósito fluvioglaciário	AR, AC
7 - Colo da Nave de Santo António	1557	1,34	4,73	Depósito/fluvioglaciário	AC, ABC
8 - Encostas dos Cântaros	1704	2,17	7,67	Granito	AR
9 - Planalto Ocidental (superior)	1857	2,43	8,58	Granito	AR
	<b>Total</b>	<b>28,31</b>	<b>100,00</b>		

A caracterização dos solos da BH de Manteigas em termos de unidades pedológicas, grupos hidrológicos e cobertura vegetal é apresentada no quadro 2.21.

Quadro 2.20 - Características hidrogeomorfológicas (continuação à direita)

<b>Unidade Hidrogeomorfológica</b>	<b>Unidades Pedológicas</b> <b>1. Dominantes</b> <b>2. Subdominantes</b> <b>3. Eventuais</b>	<b>Grupos hidrológicos do solo</b>	<b>Cobertura vegetal</b>
1 - Fundo de Vale (inferior)	1. Umbrissolos. 2. Umbrissolos e Fluvissois.	A, B, C, D	Pastagens, zonas cerealíferas, giestal, floresta de folhosas e resinosas, urzal.
2 - Encostas Ocidentais	1. Afloramentos rochosos. 2a Letosolos (topo da vertente). 2b Umbrissolos (base da vertente).	D, B, A, C	Giestal, urzal, pastagem e floresta de resinosas.
3 - Encostas Orientais	1. Umbrissolos. 2. Afloramentos rochosos e Letosolos.	C, D	Floresta de resinosas e folhosas, giestal e urzal.
4 - Planalto Ocidental (inferior)	1. Afloramentos rochosos. 2. Letosolos. 3. Umbrissolos.	D, C	Urzal, giestal, cervunal e zimbral.
5 - Planalto Oriental	1. Umbrissolos. 2. Afloramentos rochosos e Letosolos.	C, D	Floresta de resinosas e folhosas, giestal e urzal.
6 - Fundo de Vale (superior)	1. Afloramentos rochosos. 2. Letosolos, Fluvissois. 3. Umbrissolos.	D, C	Cervunal, giestal, floresta de folhosas e resinosas, urzal, pastagens e zonas cerealíferas.
7 - Colo da Nave de Santo António	1. Umbrissolos. 2. Fluvissois.	A, B, C, D	Cervunal, urzal e giestal.
8 - Encostas dos Cântaros	1. Afloramentos rochosos. 3. Letosolos úmbricos.	D	Urzal.
9 - Planalto Ocidental (superior)	1. Afloramentos rochosos. 2. Letosolos. 3. Umbrissolos.	D	Cervunal e zimbral.

### 2.5.4 Uso e Ocupação do Solo

O Carta do Uso e Ocupação do Solo em Portugal Continental facultada pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente) é apresentada na figura 2.41.

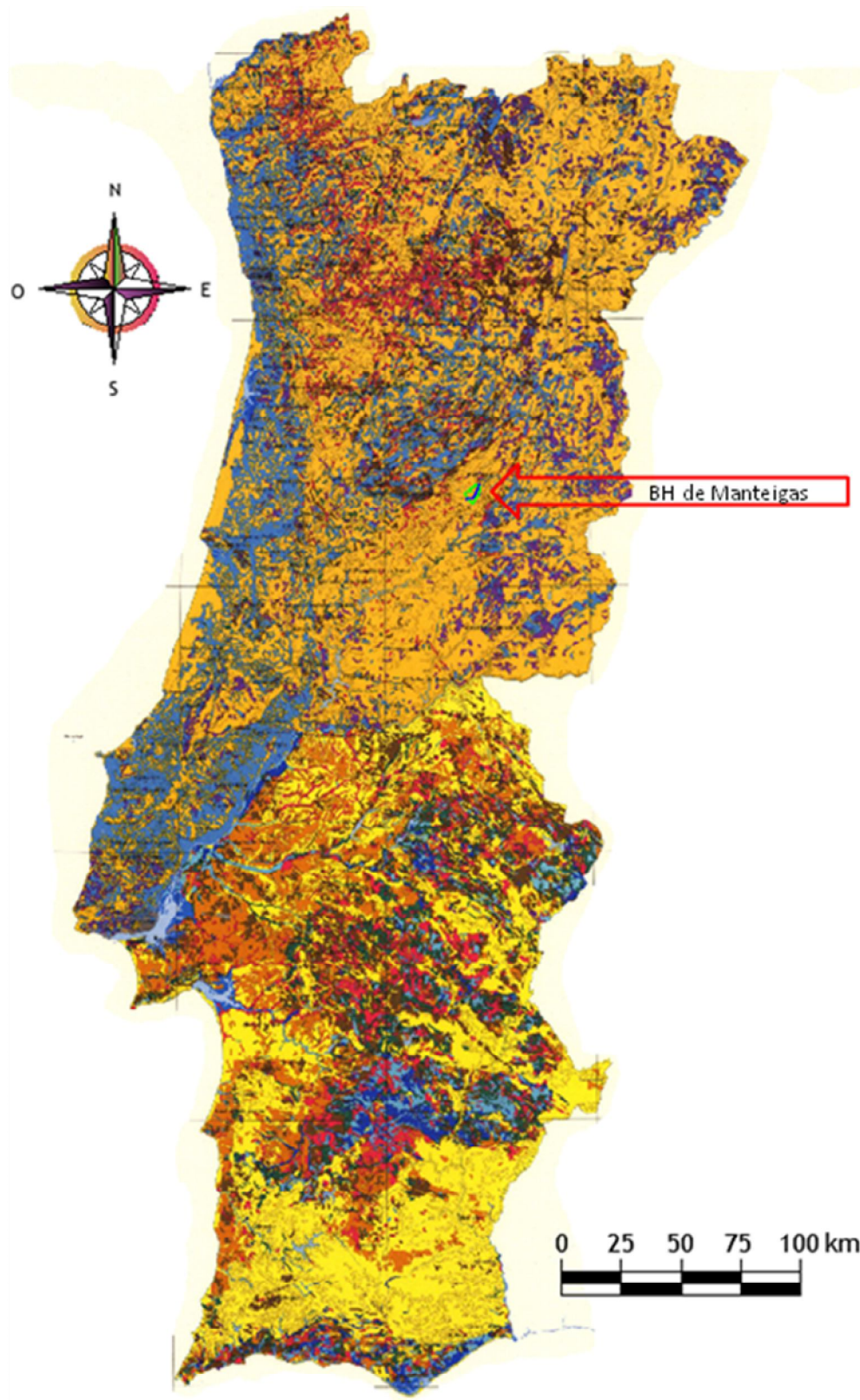


Figura 2.41 - Carta do Uso e Ocupação do Solo de Portugal com a localização da BH de Manteigas

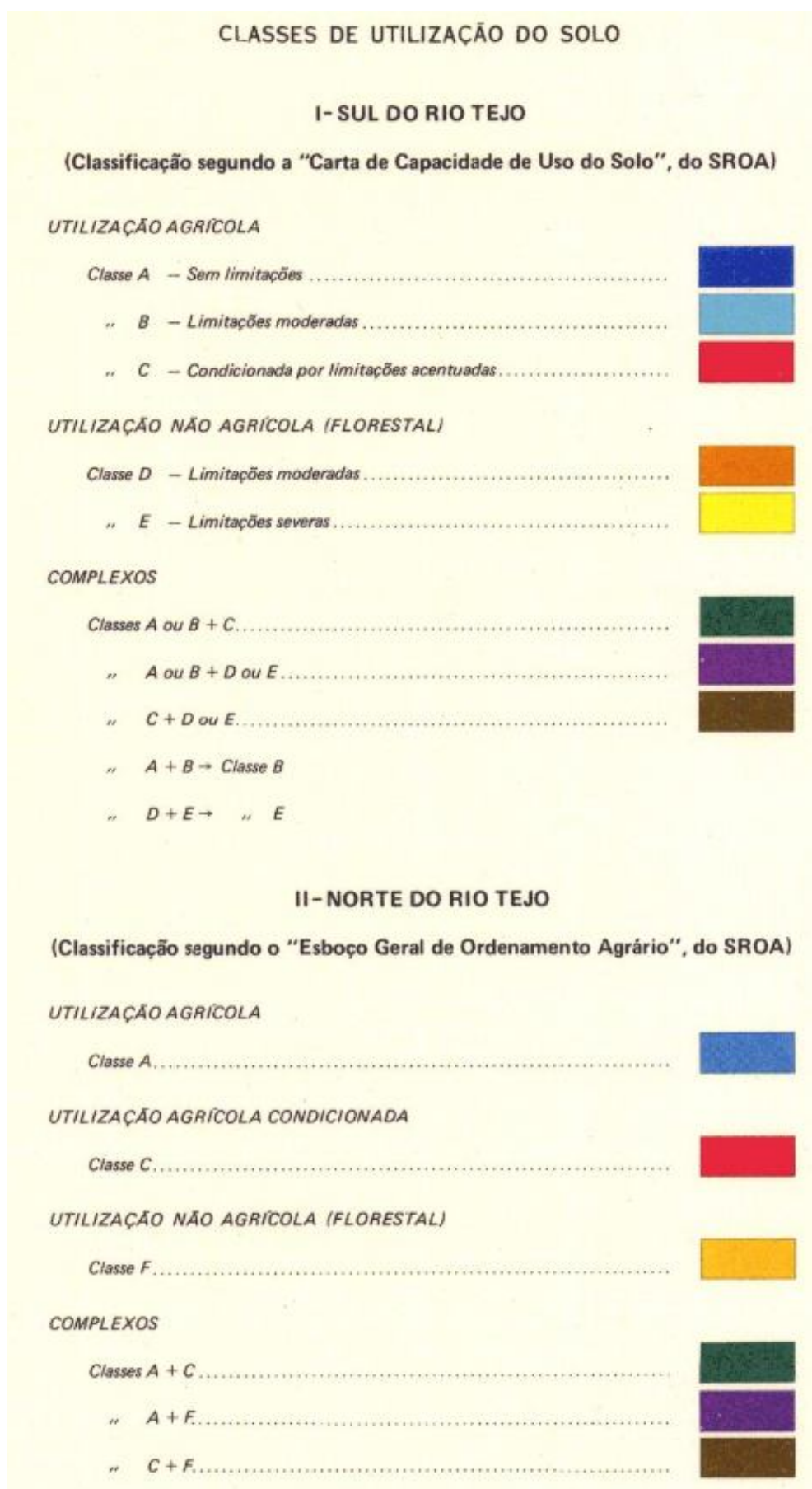


Figura 2.42 - Legenda da figura 2.41

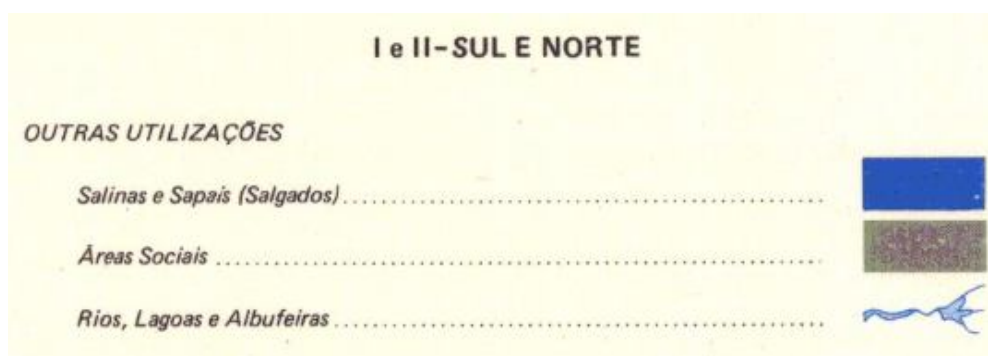


Figura 2.42 - Legenda da figura 2.41 (continuação)

A localização esquemática da BH de Manteigas pode ser observada a uma escala maior no estrato da Carta do Uso e Ocupação do Solo, através da figura 2.43.

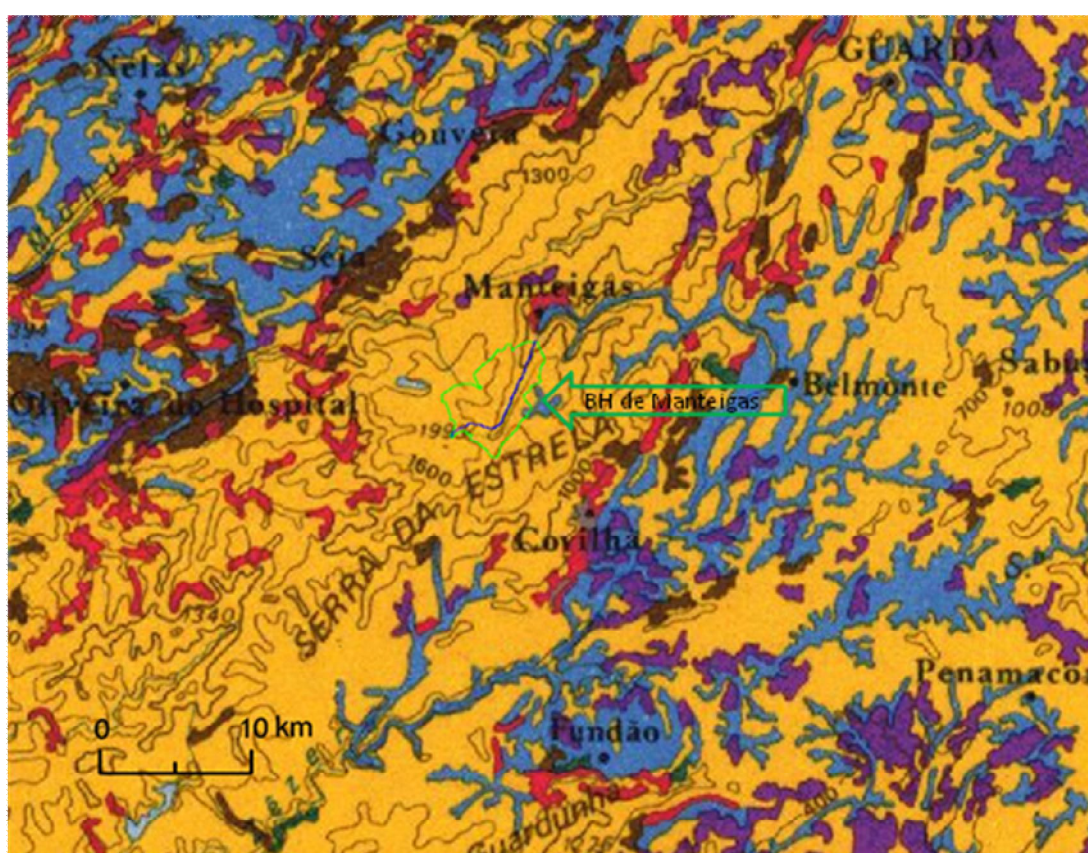


Figura 2.43 - Excerto da Carta do Uso e Ocupação do Solo com a localização da BH de Manteigas

## 2.5.5 Número de Escoamento

O número de escoamento CN (Curve Number) foi apresentado pelo Serviço de Conservação do Solo, *Soil Conservation Service* (SCS 1973). Apesar de ser um modelo empírico é muito divulgado em todo o mundo, devido ao reduzido número de parâmetros, bem como da relação entre estes e as características físicas da bacia.

Foi desenvolvido na década de 1950 e é muito utilizado em hidrologia para estimar o escoamento direto que, por sua vez, é igual à precipitação efetiva, ou seja, à precipitação total deduzida das perdas de precipitação.

Os valores de CN variam conforme as condições de uso e cobertura da terra, bem como os tipos de solos que são reagrupados de acordo com a sua textura e comportamento hidrológico.

Os principais fatores que determinam o valor de CN são o tipo de solos;

- Cobertura vegetal
- Utilização do solo
- Condições antecedentes de humidade.

Do ponto de vista hidrológico, os solos são divididos em quatro Grupos; A, B, C e D.

Cada um destes Grupos é suscetível de uma taxa de infiltração de água no interior do solo, devido à sua textura, as quais são apresentadas no quadro 2.22.

Quadro 2.21 - Classificação hidrológica de solos segundo SCS (adaptado de Lencastre e Franco, 1992)

Grupo do solo	Caraterísticas do solo	Taxa de infiltração (cm/h)
A	Solos com baixo escoamento superficial ou que apresentam permeabilidade bastante elevada. Incluem areias com elevada espessura, pouco limo ou argila e arenitos bastante espessos e muito permeáveis.	$A > 0,76$
B	Solos menos permeáveis que o do Grupo A, mas com permeabilidade superior à média. Incluem fundamentalmente solos arenosos e arenitos com menos espessura e menos agregados que no solo do Grupo A.	$0,38 < B < 0,76$
C	Solos que dão origem a escoamentos superficiais superiores à média e superiores aos Grupos anteriores. Incluem solos pouco espessos e com alguma quantidade de argilas, ainda que menos do que o do Grupo D.	$0,13 < C < 0,38$
D	Solos com argila expansiva numa relação de 2:1 e pouco espesso, com sub horizontes quase impermeáveis que dão origem a elevado escoamento superficial.	$D < 0,13$

O número de escoamento CN foi calculado tendo por base o CN da Bacia Hidrográfica do Tejo em Portugal, como ilustra a figura 2.44.

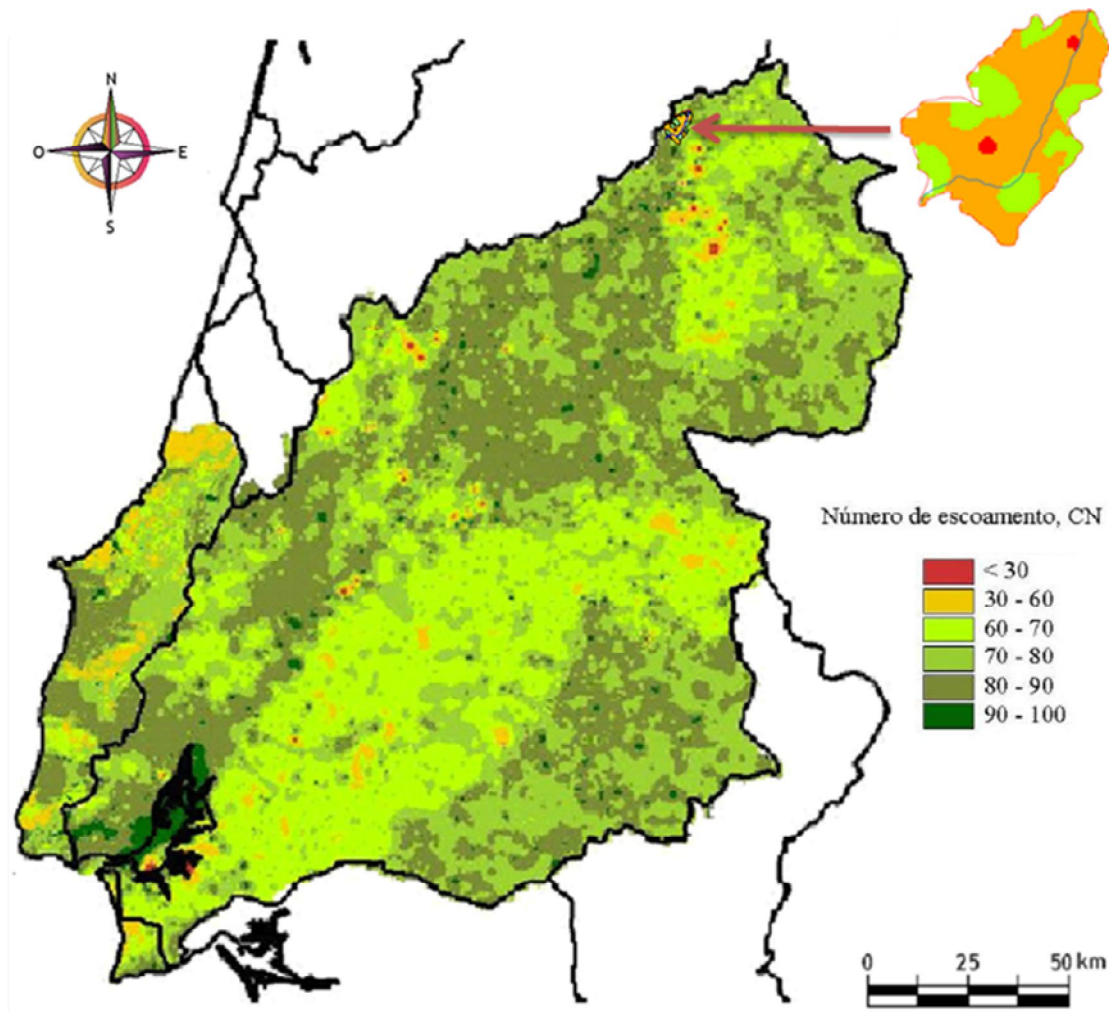


Figura 2.44 - Bacia Hidrográfica do Tejo em Portugal com a localização da BH de Manteigas

O modelo de CN tem em linha de conta as condições de humidades antecedentes do solo *antecedent moisture conditions* (AMC 1989) médias no solo.

A SCS distingue três condições de humidade antecedente do solo, sendo a condição II (AMC II) a mais usada nos diferentes tipos de tabelas.

- Condição I - AMC I, (seca:  $P_{5\text{dias}} < 13 \text{ mm}$ ), para solos secos em que as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassaram 13 mm, pela equação 2.21.

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)} \quad (2.21)$$

- Condição II - AMC II, (normal:  $13 < P_{5\text{dias}} < 53 \text{ mm}$ ), numa situação média na época das cheias em que as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 13 e 53 mm.

- Condição III - AMC III, (húmida:  $P_{5\text{dias}} > 53$  mm), para solo húmido próximo da saturação em que as chuvas nos últimos 5 dias foram superiores a 53 mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis com altas taxas de evaporação, pela equação 2.22.

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)} \quad (2.22)$$

As condições da humidade antecedente *AMC antecedent moisture conditions* (AMC 1989) são apresentadas no quadro 2.23.

Quadro 2.22 - Condições de humidade antecedente AMC

Condição de humidade antecedente	Definição
AMC I	Situação em que os solos estão secos, mas acima do ponto de emurchecimento. A consideração deste caso é pouco recomendável para o estudo de caudais de cheia.
AMC II	Situação média em que, segundo Morel-Seytoux e Verdin (1980), deve corresponder aproximadamente à capacidade do campo. Esta situação corresponde provavelmente às condições de humidade antecedentes de cheias de pequena dimensão.
AMC III	Situação em que ocorrem precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo se encontra quase saturado. Esta é a situação mais propícia à formação de maiores cheias e por conseguinte aquela que se reveste de maior importância para o projeto.

Os valores do número de escoamento CN *Curve Number* condição II (AMC II) são apresentados no quadro 2.24.

Quadro 2.23 - Valores de CN (condição II -  $13 \text{ mm} < P_{5\text{dias}} < 53 \text{ mm}$ ) AMC II

Utilização ou Cobertura do Solo	Condições de Superfície	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Segundo sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Segundo curvas de nível em terraço	70	80	87	90
Plantações regulares	Segundo maior declive	67	77	83	87
	Segundo curvas de nível	64	76	84	88
	Segundo curvas de nível em terraço	64	76	84	88
Plantações de cereais	Segundo maior declive	62	74	82	85
	Segundo curvas de nível	60	71	79	82
	Segundo curvas de nível em terraço	62	75	83	87
Plantações de legumes	Segundo curva de nível	60	72	81	84
	Segundo curvas de nível em terraço	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres em curva de nível	47	67	81	88
	Normais em curva de nível	25	59	75	83
	Boas em curva de nível	6	35	70	79
	Pobres em curva de nível	47	67	81	88
	Normais em curva de nível	25	59	75	83
	Boas em curva de nível	6	35	70	79
Prado permanente	Normais	30	58	71	78
Zonas sociais rurais	Normais	59	74	82	86
Estradas de terra	Pavimento normal	56	75	86	91
	Pavimento permeável	72	82	87	89
	Pavimento impermeável	74	84	90	92
Florestas	Muito dispersa de baixa transpiração	56	75	86	91
	Dispersa de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normal	36	60	73	79
	Densa de alta transpiração	25	55	70	77
	Muito densas de alta transpiração	15	44	54	61
Superfície impermeável		100	100	100	100

O valor de CN da BH de Manteigas foi calculado através de um software SIG, tendo por base a carta de CN do plano de bacia hidrográfica do Tejo, como ilustra a figura 2.45.

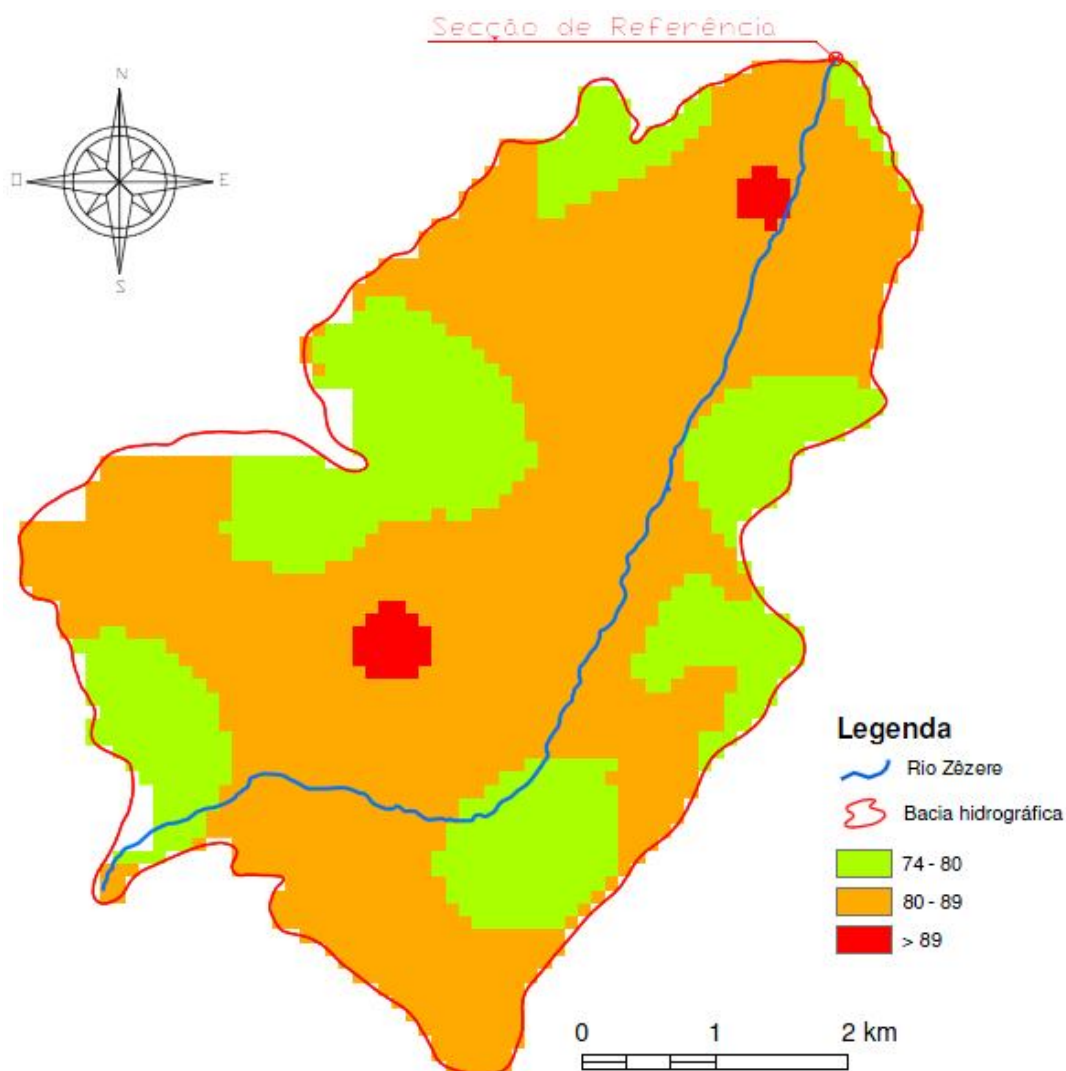


Figura 2.45 - Carta do número de escoamento CN da Bacia Hidrográfica de Manteigas

O valor do número de escoamento CN (*curve number*) ponderado para a BH de Manteigas é **81,4**.

Este valor é um parâmetro da modelação hidrográfica, diretamente relacionado com as perdas de precipitação para o escoamento, sendo que tais perdas são tanto menores quanto maior for o valor de CN.

## 2.6 Tempo De Concentração

O tempo de concentração  $t_c$  de uma bacia hidrográfica é analisado com base nos modelos de transformação da precipitação em escoamento. Este  $t_c$  é definido como o tempo que demora a gota de água precipitada cinematicamente mais afastada, até à Secção de Referência e por

sua vez, o tempo que decorre desde o início da pluviosidade até que toda a bacia hidrográfica contribua simultaneamente para o escoamento na Secção de Referência.

Indubitavelmente, o tempo de concentração também depende das características fisiográficas da bacia hidrográfica da rede de drenagem e ainda do tipo de ocupação do solo.

Dado o facto de se obterem com frequência tempos de concentração diferentes entre si, quando calculados com diferentes fórmulas empíricas, optou-se por aplicar as quatro fórmulas seguintes;

- ✚ Fórmula de Giandotti (utilizada amiúde em bacias de alguma dimensão, ( $> 100 \text{ km}^2$ )).
- ✚ Fórmula de Temez (mais indicada para bacias rurais).
- ✚ Fórmula de Kirpich (Indicada para bacias montanhosas de pequenas dimensões ou bacias urbanas).
- ✚ Fórmula do Soil Conservation Service (SCS).

A Fórmula de Giandotti é apresentada através da equação (2.23).

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A_{\text{bacia}}} + 1,5 \cdot L_{\text{rio}}}{0,80 \cdot \sqrt{h_{\text{méd}}}} \quad (2.23)$$

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{28,31} + 1,5 \cdot 10,06}{0,80 \cdot \sqrt{622,6}} \Leftrightarrow t_c = 1,82 \text{ h}$$

em que:

- $t_c$  - tempo de concentração (h).
- $A_{\text{bacia}}$  - área da bacia hidrográfica ( $\text{km}^2$ ).
- $L_{\text{rio}}$  - desenvolvimento do curso de água principal (km).
- $h_{\text{méd}}$  - altura média da bacia hidrográfica apresentada através da equação 2.8. (m).

A Fórmula de Temez é apresentada através da equação (2.24).

$$t_c = 0,3 \cdot \left( \frac{L_{\text{rio}}}{d_m^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (2.24)$$

$$t_c = 0,3 \cdot \left( \frac{10,06}{0,11^{0,25}} \right)^{0,76} \Leftrightarrow t_c = 2,64 \text{ h}$$

em que:

- $T_c$  - tempo de concentração (horas).
- $L_{rio}$  - desenvolvimento do curso de água principal (km).
- $d_m$  - declive médio do curso de água principal (-).

A Fórmula de Kirpich é apresentada através da equação (2.25).

$$t_c = 0,95 \cdot \frac{L_{rio}^{1,155}}{\Delta H^{0,385}} \quad (2.25)$$

$$t_c = 0,95 \cdot \frac{10,06^{1,155}}{1114^{0,385}} \Leftrightarrow t_c = 0,92 \text{ h}$$

em que:

- $t_c$  - tempo de concentração (h)
- $L_{rio}$  - desenvolvimento do curso de água principal (km)
- $\Delta H$  - diferença entre a maior e menor cotas do talvegue da bacia, ver figura 2.30.

A Fórmula do *Soil Conservation Service* (SCS) é apresentada na equação (2.26).

$$t_c = \frac{100}{0,3038^{0,8}} \cdot \frac{L_{rio}^{0,8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}}{1900 \cdot S_m^{0,5}} \quad (2.26)$$

$$t_c = \frac{100}{0,3038^{0,8}} \cdot \frac{10060^{0,8} \cdot \left(\frac{1000}{81,4} - 9\right)^{0,7}}{1900 \cdot 33,3^{0,5}} \Leftrightarrow t_c = 86,62 \text{ min} \Leftrightarrow t_c = 1,44 \text{ h}$$

em que:

- $t_c$  - tempo de concentração (min).
- $L$  - comprimento do curso de água principal (m).
- $S_m$  - declive médio da BH de Manteigas (%).
- $CN$  - número de escoamento da BH (-).

Os valores apurados no cálculo do tempo de concentração com a aplicação das fórmulas empíricas são apresentados no gráfico da figura 2.46.

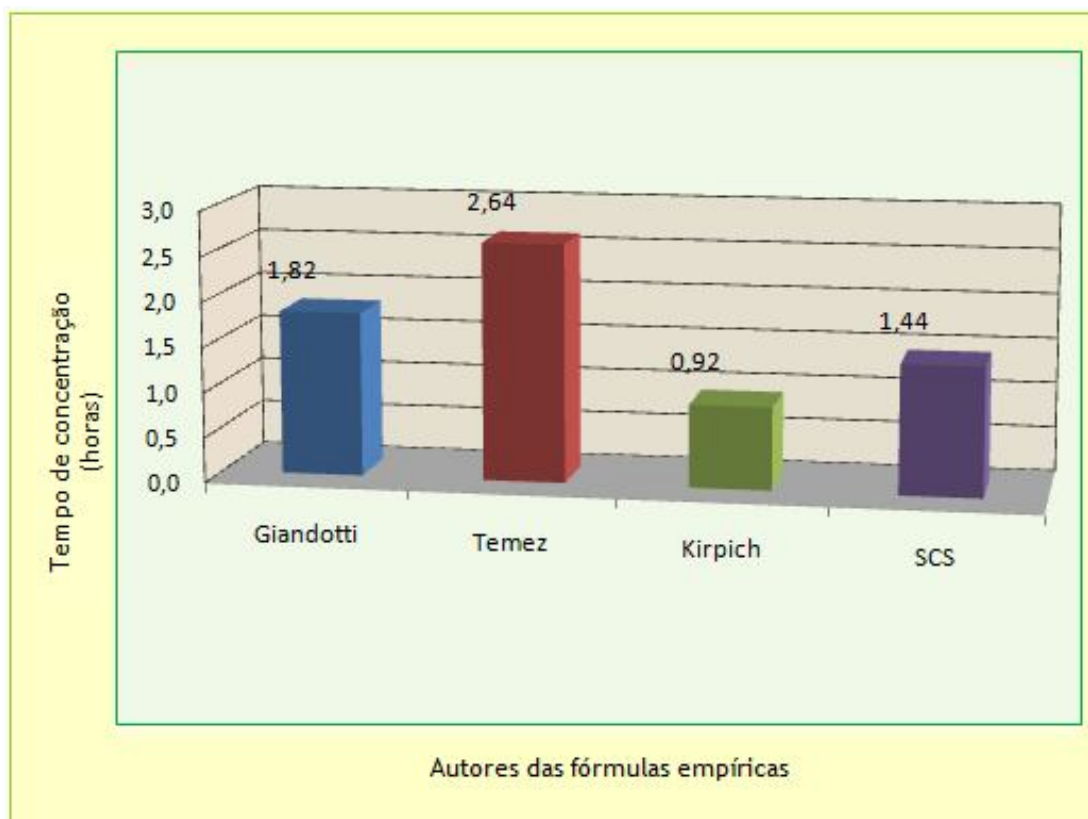


Figura 2.46 - Gráfico com os resultados do tempo de concentração  $t_c$

Dado o grau de incerteza associado à estimativa de  $t_c$  optou-se por excluir o tempo de concentração da aplicação da fórmula de Giandotti, em virtude de vários estudos efetuados no âmbito da análise de cheias indicarem que esta se aplica amiúde a bacias com uma área superior a 100 km.

Não obstante, verifica-se ainda que a média aritmética dos tempos de concentração facultados pelas fórmulas de Temez e Kirpich aproxima-se do tempo de concentração dado pela fórmula de SCS, que se adotou no desenvolvimento do estudo

Atendendo à consideração do número de escoamento CN *Curve de Number* é possível prever, ainda que com alguma margem de erro, o efeito criado por diversas ocupações do solo, bem como as alterações dessas ocupações no tempo de concentração, desde que se adote a fórmula do SCS, pois esta fórmula é muito adequada para uma situação em que se pretende o efeito do acréscimo da ocupação urbana nos caudais de ponta de cheia, por conseguinte adota-se o tempo de concentração  $t_c$  1,44 h.

## 2.7 Síntese Da Caracterização

Os parâmetros fisiográficos da Bacia Hidrográfica de Manteigas na Estação Hidrométrica, ou seja, na secção de referência, bem como do curso de água principal, são apresentados sinteticamente na figura 2.25.

Quadro 2.24 - Resumo da caracterização

Designações	Siglas	Unidades	Valores	
Área real da Bacia Hidrográfica	$A_{\text{bacia}}$	(km <sup>2</sup> )	28,31	
Área adoçada da Bacia Hidrográfica	$A_{\text{adoçada}}$	(km <sup>2</sup> )	28,31	
Perímetro da Bacia Hidrográfica	$P_{\text{bacia}}$	(km)	26,89	
Perímetro adoçado da Bacia Hidrográfica	$P_{\text{adoçado}}$	(km)	21,53	
Altitude máxima da Bacia Hidrográfica	$Z_{\text{máx}}$	(m)	1993,00	
Altitude mínima da Bacia Hidrográfica	$Z_{\text{mín}}$	(m)	876,00	
Altitude média da Bacia Hidrográfica	$Z_{\text{méd}}$	(m)	1498,60	
Altitude mediana da Bacia Hidrográfica	$Z_{\text{med}}$	(m)	1528,10	
Altura média da Bacia Hidrográfica	$h_{\text{méd}}$	(m)	622,60	
Declive médio da Bacia Hidrográfica	$S_m$	(%)	33,30	
Índice de alongamento da Bacia Hidrográfica	$K_L$	(-)	1,35	
Densidade de drenagem da Bacia Hidrográfica	$D_d$	(-)	3,43	
Índice de compacidade de Gravelius	$K_c$	(-)	1,14	
Comprimento do curso de água principal	$L_{\text{rio}}$	(km)	10,06	
Altitude máxima do curso de água principal	$Z_{\text{máx}}$	(m)	1990,00	
Altitude mínima do curso de água principal	$Z_{\text{mín}}$	(m)	876,00	
Diferença entre cota máxima e mínima do talvegue	$\Delta_H$	(m)	1114,00	
Declive médio do curso de água principal	$d_m$	(-)	0,11	
Declive 10% e 85% do comprimento do curso de água	$d_{10:85}$	(-)	0,09	
Declive equivalente do curso de água principal	$d_{\text{eq}}$	(-)	0,08	
Número de escoamento na Bacia Hidrográfica	CN	(-)	81,40	
Tempo de concentração	Fórmula de Giandoti	$t_c$	(h)	1,82
	Fórmula de Temez	$t_c$	(h)	2,64
	Fórmula de Kirpich	$t_c$	(h)	0,92
	Fórmula do SCS	$t_c$	(h)	1,44
	Adotado	$t_c$	(h)	1,44



## Capítulo 3

# Caracterização das Precipitações Intensas na Bacia

### 3.1 Considerações Prévias

A precipitação é basicamente toda a água que provém do vapor de água da atmosfera e atinge a superfície terrestre, tornando-se um elemento básico da hidrologia.

A humidade é um elemento primordial para a formação da chuva, mas necessita de outros requisitos tais como o arrefecimento do ar e a presença de núcleos higroscópicos ou partículas nucleares.

O fenómeno da chuva passa pelo aquecimento do ar húmido de baixa atmosfera, que por se tornar mais leve sofre uma ascensão. Nesta ascensão o ar aumenta de volume e arrefece na razão de 1°C para 100 m de altitude até atingir a condição de saturação, ou seja, o nível de condensação. A partir deste nível, em condições favoráveis e devido à existência de núcleos higroscópicos, o vapor de água condensa convertendo-se em minúsculas gotas de água em torno dos núcleos (in CHOW, 1964).

Todavia, estas gotas mantêm-se em suspensão até atingirem um diâmetro de 0,45 mm e uma velocidade de queda de 2,0 m/s dando origem a uma chuva fraca. Considera-se chuva forte quando a precipitação é na ordem dos 15 a 20 mm/h e as gotas de água apresentem um diâmetro médio de 3,0 mm e uma velocidade de queda de 8,0 m/s.

De uma forma mais restrita, a precipitação compreende apenas a água meteórica que cai numa dada superfície sob a forma líquida ou sólida, não abarcando por assim dizer a água provocada por nevoeiros ou condensação de vapor de água sob a forma de orvalho/geada.

Em Portugal Continental a precipitação oculta apresenta uma contribuição desprezável em termos de balanço hidrológico de bacias hidrográficas. Porém, nalgumas regiões como sejam as áridas ou semi áridas ou ainda, no caso específico de Portugal, na ilha da Madeira, pode representar uma mais valia para a vegetação.

Naturalmente que a precipitação e a evaporação são fatores climáticos indispensáveis para o estudo do regime hidrológico de uma região. No entanto, também é necessário conhecer os outros fenómenos meteorológicos relacionados com a precipitação e a evaporação tais como ventos, humidade do ar, temperaturas e radiação solar.

## 3.2 Dados De Base

### 3.2.1 Seleção das Séries de Precipitação

Para caracterizar as precipitações intensas foram selecionadas as séries de precipitação associadas aos postos de monitorização com influência na BH de Manteigas e com pelo menos 20 anos de registos de precipitação diária.

Para os estudos de simulação das afluências em tempo real à BH de Manteigas foram selecionados dois postos, um udográfico e outro udométrico, de Penhas Douradas e da Covilhã respetivamente, com influência na BH de Manteigas, que registam a precipitação há mais de 20 anos. Estes postos têm o tipo de registo contínuo mais preciso, ou seja, com resolução diária.

Uma breve caracterização da localização dos postos de monitorização que cumprem estes critérios, incluindo o período de referência da informação e a correspondente dimensão, N, é apresentada no quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Caracterização dos postos udográfico e udométrico

Dados de base dos postos udométricos (1946/1947 - 2006/2007)							
Nome	Código	Altitude (m)	Coordenadas Geográficas Datum Lisboa		Coordenadas Retangulares Datum Lisboa		Número de anos com N registos
			Latitude (°N)	Longitude (°W)	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	
Penhas Douradas	11L/10G	1375	40,411374	7,558649	248660	382850	60
Covilhã	12L/03G	802	40,282847	7,513914	252556	368602	

### 3.2.2 Imagens dos Postos de Penhas Douradas e da Covilhã

A estação meteorológica de Penhas Douradas é composta por alguns equipamentos que servem para medir diariamente alguns parâmetros tais como a pluviosidade atmosférica, a temperatura máxima e mínima do ar, a humidade relativa do ar, a temperatura no subsolo, a radioatividade, a evaporação, e a velocidade e direção do vento.

Esta estação tem o tipo de registo contínuo de resolução diária que é apresentada através de algumas imagens na figura 3.1.



Figura 3.1 - Estação meteorológica de Penhas Douradas; a) Termógrafo; b) Psicómetro, termómetros de temperatura máxima e mínima e higrómetros de vidro e metálico; c) Udómetro

Nesta estação meteorológica encontra-se num abrigo meteorológico clássico a uma altura padrão de 1,5 metros que é construído por ripas de madeira branca, que permitem simultaneamente uma ventilação e proteger os equipamentos no seu interior dos raios solares.

A porta deste abrigo encontra-se virada para o polo Norte para que, quando se abra, os raios solares não incidam diretamente sobre os seguintes instrumentos nele contidos:

- Higrotermógrafo.
- Evaporímetro de Piche.
- Psicrómetro.
- Termómetro de máxima e mínima.
- Higrómetro.

O abrigo da estação meteorológica clássica é apresentado na figura 3.2.



Figura 3.2 - Abrigo da estação meteorológica clássica de Penhas Douradas

O higrotermógrafo é constituído por uma caixa metálica e, no seu interior existe um cilindro com um dispositivo de relojoaria, sobre o qual se coloca um gráfico especial (duplo gráfico). Uma barra de metal com duas agulhas de registo, cada uma com uma extremidade livre, que se situa junto ao gráfico e a outra extremidade encontra-se presa a uma fibra sintética, que se contrai ou distende de acordo com as variações de humidade do ar e da amplitude térmica ([www.esac.pt/estacao/instrumentos.htm](http://www.esac.pt/estacao/instrumentos.htm)).

O higrotermógrafo regista graficamente a temperatura do ar em graus centígrados °C desde -10 °C até +60 °C e a humidade relativa do ar em percentagem %, desde 0% até 100%, como ilustra a figura 3.3.

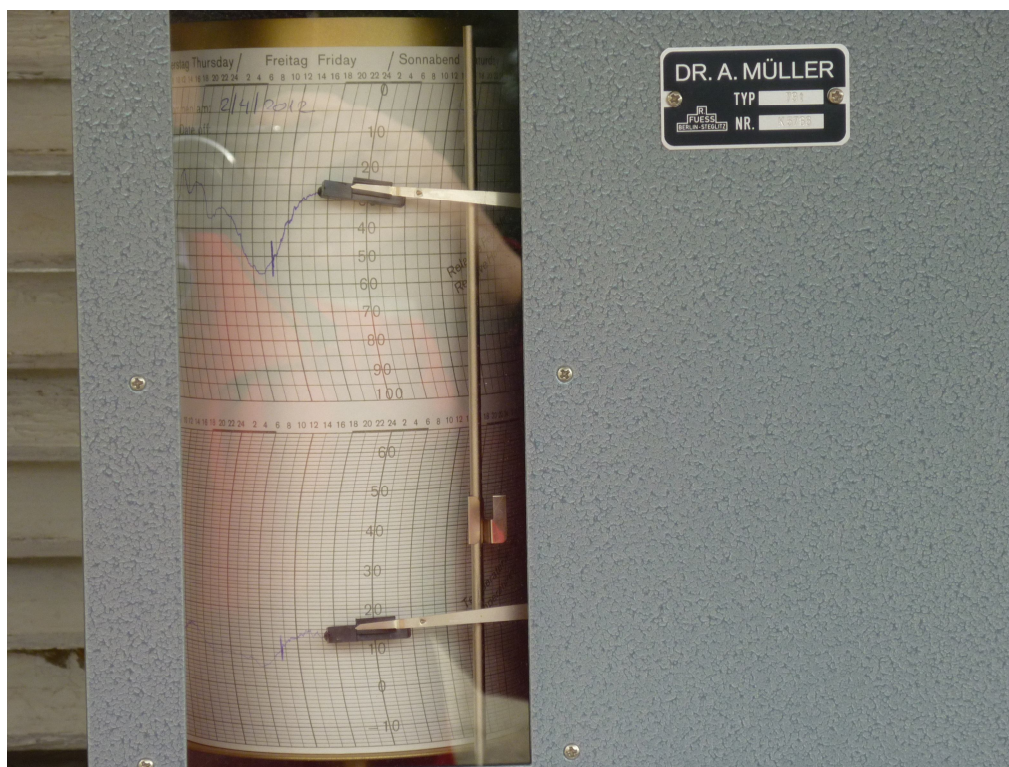


Figura 3.3 - Higrotermógrafo de Penhas Douradas

O higrómetro metálico serve para medir a humidade relativa do ar num intervalo de 10% a 100%, como ilustra a figura 3.4.



Figura 3.4 - Higrómetro metálico de Penhas Douradas

O higrómetro de vidro, também denominado por psicómetro, mede a humidade relativa do ar em %. É constituído por dois termómetros idênticos, ambos com dois capilares, um com bulbo seco e o outro com bulbo húmido. A leitura da humidade relativa é feita através da diferença de temperatura entre os dois bulbos, com o auxílio de uma tabela. A gaza deve estar sempre imersa de tal forma que a região que envolve o bulbo esteja sempre húmida. A humidade relativa ideal para o ambiente é de 60% a 70%. Dado tratar-se de uma variável relevante para o conforto do homem (humanidade) é essencial a necessidade do seu controle, como mostram as imagens b) e c) na figura 3.5.

O evaporímetro de Piche é constituído por um tubo cilíndrico de vidro de aproximadamente 30 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro, fechado na parte superior e aberto na parte inferior. A extremidade inferior é tapada depois do tubo estar cheio com água destilada, com um disco de papel de feltro de 3 cm de diâmetro, o qual deve ser previamente molhado com água. Por sua vez, este disco é fixo com uma mola e posteriormente o tubo é preso por intermédio de uma argola a um gancho situado no interior do abrigo. A evaporação é calculada pelo abaixamento do nível de água no tubo, como ilustra a imagem a) na figura 3.5.

O termómetro de máxima tem a particularidade de reter o mercúrio no tubo capilar devido a um estrangulamento. Quando a temperatura desce até ao valor máximo, o mercúrio não volta em sentido contrário, desde que o termómetro se encontre na horizontal. Para que o mercúrio regresse ao reservatório é necessário sacudi-lo energicamente. Mas esta operação só se realiza depois de efetuada a leitura. Este termómetro quando preparado deve estar numa posição quase horizontal e indicar o mesmo valor que o termómetro seco, ficando a parte que tem o depósito do mercúrio ligeiramente mais baixa, como ilustra a imagem d) na figura 3.5.

O termómetro de mínima é de álcool com um pequeno indicador móvel em forma de haltere introduzido no meio do líquido, que devido à força de tensão superficial, nunca atravessa o menisco e, portanto, acompanha o extremo da coluna quando a temperatura desce. Quando a temperatura sobe, o indicador fica retido, indicando o valor mínimo atingido. O valor da leitura é indicado pela extremidade mais afastada do depósito. Depois da leitura o termómetro deve ser preparado inclinando-se levemente com o depósito para cima para que o indicador deslize ao longo do tubo e entre em contacto com o menisco, como ilustra a imagem e) da figura 3.5.



Figura 3.5 - a) Evaporímetro de Piche; b) e c) Higrómetro de vidro ou psicómetro; d) e e) Termómetros de temperatura máxima e mínima de Penhas Douradas

O udógrafo é constituído por um funil de receção da precipitação, um reservatório que contém um flutuador, um cilindro sobre o qual é colocado o udograma (gráfico de registo da queda pluviométrica) tendo no interior um relógio de corda e um depósito na parte inferior do aparelho cuja função é recolher a água. À medida que o nível da água sobe no reservatório o movimento vertical do flutuador é transmitido por um mecanismo próprio a um apêndice metálico, que se desloca sobre o gráfico. O udograma possui uma graduação de 0 mm a 10 mm e quando atinge os 10 mm ocorre uma descarga automática da água para o depósito situado na parte inferior do aparelho, como ilustram as figuras 3.1 e 3.6.



Figura 3.6 - Udógrafo ou pluviômetro de Penhas Douradas

O anemómetro é constituído por três copos metálicos na posição horizontal que servem para medir a velocidade do vento em m/s ou km/dia, como ilustra a imagem a) da figura 3.7.

O cata-vento é constituído por uma haste horizontal pontiaguda numa extremidade e uma cauda na outra extremidade, tipo uma seta. Esta seta roda em torno de um veio ao sabor do vento e aponta sempre o seu vértice em sentido contrário ao do vento, indicando o sentido do vento em termos de pontos cardiais como ilustra a imagem b) da figura 3.7.



Figura 3.7 - Anemómetro e cata-vento de Penhas Douradas

O posto udométrico da Covilhã é composto por:

Um cata-vento que é constituído por uma haste horizontal pontiaguda numa extremidade e uma cauda na outra extremidade, tipo uma seta. Esta seta roda em torno de um veio ao sabor do vento e aponta sempre o seu vértice em sentido contrário ao do vento, indicando o sentido do vento em termos de pontos cardiais como ilustra a imagem a) da figura 3.8.

Um anemómetro que é constituído por três copos plásticos em forma hemisférica na posição horizontal. Estes copos movimentam-se com uma velocidade proporcional à do vento. A sua velocidade média pode ser calculada num curto espaço de tempo, bastando para isso registar duas leituras, sendo que a segunda deve ser efetuada 3 minutos mais tarde do que a primeira. A velocidade é calculada fazendo a diferença das duas e multiplicando por um fator vinte. O resultado é dado em m/s. No entanto, se as leituras do contador forem registadas sempre à mesma hora de cada dia, faz-se a subtração em dias consecutivos e desta forma o resultado é dado em km/dia, como ilustra a imagem b) da figura 3.8.

Um painel fotovoltaico serve para produzir a energia necessária ao seu autofuncionamento, como ilustra a imagem d) da figura 3.8.

Uma antena de emissão de valores, como ilustra a imagem e) da figura 3.8.

Um udómetro que serve para medir a pluviosidade em mm.

Os equipamentos supra referidos encontram-se circunscritos por uma vedação de rede metálica com cerca de 1,5x1,5 m e 1,5 m de altura, como ilustra a figura 3.8.

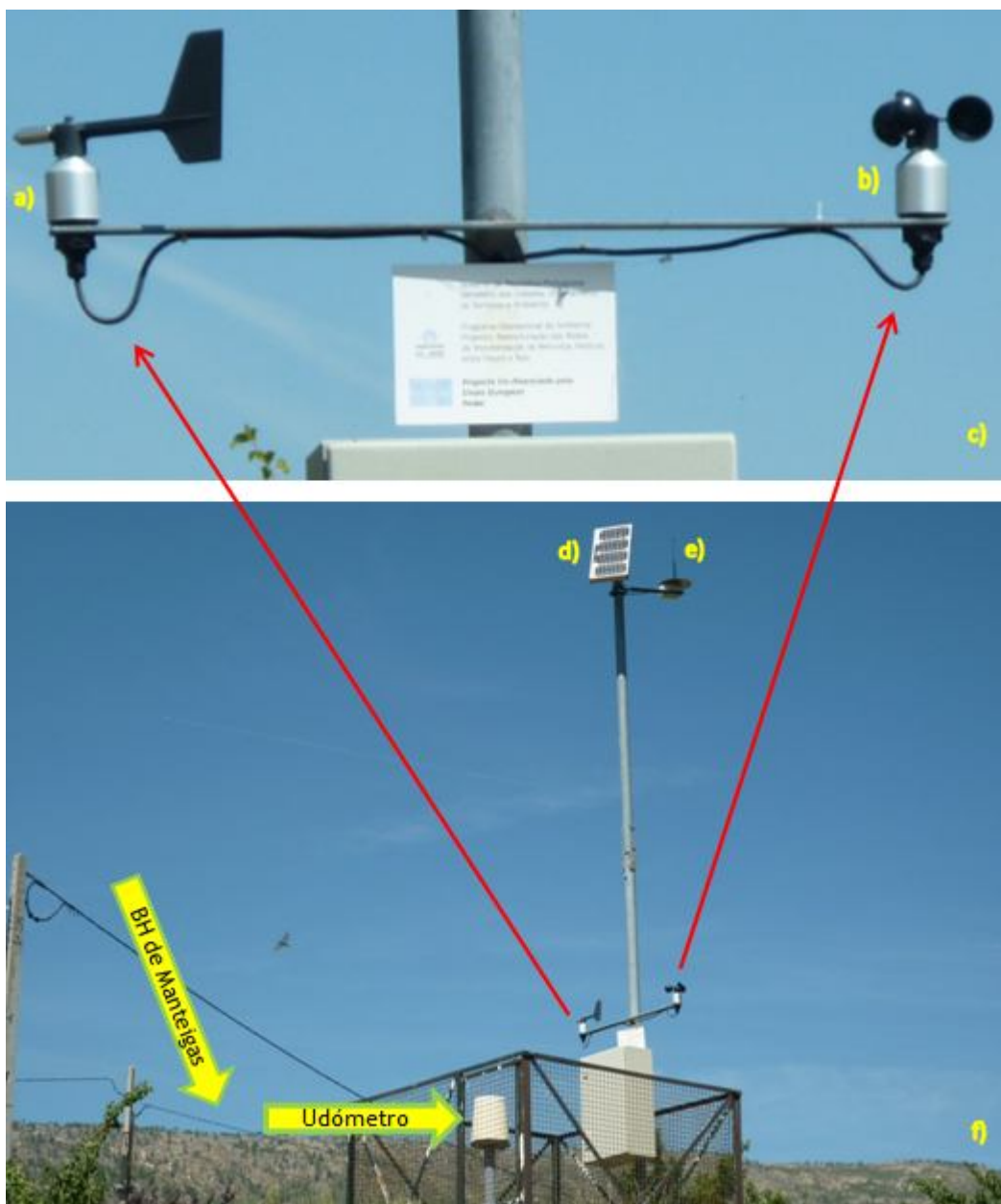


Figura 3.8 - Posto udométrico da Covilhã; a) Cata-vento; b) Anemómetro; d) Painel fotovoltaico; e) Antena de emissão de dados

### 3.2.3 Processamento dos Dados

Os dados foram disponibilizados pelo Instituto da Água e pelo Instituto de Meteorologia. Os mesmos foram organizados de acordo com os anos hidrológicos. Procedeu-se a uma análise preliminar dos dados, tendo-se detetado falhas nos registos de precipitação diária no posto udométrico da Covilhã. Constatou-se uma ausência total de dados no ano 1962/63, pelo que houve necessidade de o excluir do período de análise, como mostra o quadro 3.2.

As precipitações diárias máximas anuais no posto de Penhas Douradas, bem como no da Covilhã, foram obtidas através de registos existentes e facultados pelo SNIRH, (Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos) e pelo Instituto de Meteorologia desde o ano hidrológico 1946/1947 até ao ano hidrológico 2006/2007, ou seja, 61 anos de registos de precipitação diária. 22279 dias, ou ainda, 60 anos, 11 meses e 29 dias. Tais precipitações são apresentadas no quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Valores das precipitações diárias máximas anuais nos postos udométricos e na bacia

Nº de anos	Ano Hidrológico	Precipitações diárias máximas anuais, $P_{dmáx\text{anual}}$			
		Penhas Douradas	Covilhã	BH de Manteigas	
				Amostra 1	Amostra 2
1	1946/1947	82,2	94,4	86,6	64,0
2	1947/1948	151,0	85,6	127,5	127,5
3	1948/1949	124,4	74,0	106,3	106,3
4	1949/1950	72,9	121,7	90,4	69,4
5	1950/1951	79,0	70,2	75,8	75,8
6	1951/1952	129,6	151,0	137,3	102,4
7	1952/1953	70,4	116,9	87,1	72,3
8	1953/1954	87,2	89,8	88,1	88,1
9	1954/1955	113,8	61,0	94,8	94,0
10	1955/1956	91,9	112,0	99,1	85,3
11	1956/1957	93,4	47,3	76,8	73,9
12	1957/1958	60,2	162,5	96,9	89,7
13	1958/1959	77,0	98,3	84,7	84,7
14	1959/1960	97,7	155,0	118,3	114,6
15	1960/1961	116,2	84,8	104,9	83,1
16	1961/1962	94,4	103,5	97,7	87,9
17	1962/1963	134,0			
18	1963/1964	102,5	89,8	97,9	92,6
19	1964/1965	68,8	99,6	79,9	72,8
20	1965/1966	127,7	83,2	111,7	107,3
21	1966/1967	71,8	70,0	71,2	62,0
22	1967/1968	81,0	92,8	85,2	78,0
23	1968/1969	106,3	122,3	112,0	87,2
24	1969/1970	92,5	107,2	97,8	90,7
25	1970/1971	81,5	74,9	79,1	67,3
26	1971/1972	112,1	82,5	101,5	96,4
27	1972/1973	86,3	120,0	98,4	98,4
28	1973/1974	73,3	116,0	88,6	68,1
29	1974/1975	67,7	46,0	59,9	57,0
30	1975/1976	40,3	48,0	43,1	36,3

Quadro 3.2 - Valores das precipitações diárias máximas anuais nos postos udométricos e na bacia (continuação)

Nº de anos	Ano Hidrológico	Precipitações diárias máximas anuais, $P_{dmáx\text{anual}}$			
		Penhas Douradas	Covilhã	BH de Manteigas	
				Amostra 1	Amostra 2
31	1976/1977	109,3	132,0	117,5	117,5
32	1977/1978	93,2	103,2	96,8	82,5
33	1978/1979	97,2	83,5	92,3	89,2
34	1979/1980	69,4	64,5	67,6	57,8
35	1980/1981	67,2	58,0	63,9	56,2
36	1981/1982	79,3	103,0	87,8	87,8
37	1982/1983	58,1	71,0	62,7	62,7
38	1983/1984	130,0	103,0	120,3	120,3
39	1984/1985	121,2	106,0	115,7	99,6
40	1985/1986	69,0	89,0	76,2	51,3
41	1986/1987	45,8	70,5	54,7	46,0
42	1987/1988	85,2	106,0	92,7	83,5
43	1988/1989	88,9	133,6	105,0	105,0
44	1989/1990	77,6	108,0	88,5	86,4
45	1990/1991	70,1	104,0	82,3	66,4
46	1991/1992	53,7	48,5	51,8	50,8
47	1992/1993	66,1	69,8	67,4	67,4
48	1993/1994	108,8	88,5	101,5	86,2
49	1994/1995	61,8	55,6	59,6	48,1
50	1995/1996	123,0	110,0	118,3	118,3
51	1996/1997	124,5	102,0	116,4	103,5
52	1997/1998	77,8	111,0	89,7	71,8
53	1998/1999	55,7	61,0	57,6	35,8
54	1999/2000	110,7	76,0	98,2	84,5
55	2000/2001	117,3	135,0	123,7	114,5
56	2001/2002	52,9	65,5	57,4	57,4
57	2002/2003	90,7	67,5	82,4	67,5
58	2003/2004	100,0	106,5	102,3	100,6
59	2004/2005	70,5	96,7	79,9	68,8
60	2005/2006	109,0	80,6	98,8	97,4
61	2006/2007	122,3	103,8	115,7	115,7

O dia 1 de outubro é considerado o dia nacional da água em Portugal.

Apesar das 417 falhas verificadas no posto udométrico da Covilhã durante 61 anos, os resultados finais da análise estatística não se afastarão muito da realidade, porque se trata apenas de cerca de 1,87%, como mostra o quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Relatório das falhas nas séries de Precipitação diária

Ano Hidrológico	Nº de dias com falhas		% de falhas	
	Penhas Douradas	Covilhã	Penhas Douradas	Covilhã
1946/1947	0	13	0	0,058351
1948/1949	0	1	0	0,004489
1962/1963	0	365	0	1,638314
1976/1977	0	4	0	0,017954
1995/1996	0	6	0	0,026931
1996/1997	0	6	0	0,026931
2001/2002	0	2	0	0,008977
2002/2003	0	3	0	0,013466
2003/2004	0	2	0	0,008977
2006/2007	1	15	0,004489	0,067328
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>417</b>	<b>0,004489</b>	<b>1,871718</b>

A percentagem de falhas é calculada através da equação (3.1).

$$\%_{falhasano\text{hidrológico}} = \frac{\text{númerodiascomfalhas}}{\text{númerodiasanalizados}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Exemplo de cálculo:

$$\%_{falhasano1946/1947} = \frac{13}{22279} \cdot 100 \Leftrightarrow \%_{falhasano1946/1947} = 0,058351$$

O cálculo das precipitações diárias máximas anuais na BH de Manteigas foi efetuado por duas vias distintas:

Numa primeira via, as precipitações diárias máximas anuais foram diretamente obtidas por ponderação, ano a ano, das precipitações diárias máximas anuais registadas nos dois mencionados postos. A amostra assim obtida para a BH de Manteigas chamou-se amostra 1.

As precipitações diárias do ano hidrológico 1946/1947 registadas no posto udométrico da Covilhã são apresentadas no quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Precipitações diárias do ano hidrológico 1946/1947 no posto udométrico da Covilhã

Dias	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
1	0	Falha	0	0	1,1	4,5	34,7	1,8	0	0	0	9,0
2	0	Falha	0	0	25,4	29,5	20,4	0	0,8	0	0	29,0
3	0	Falha	0	0	49,3	36,3	9,2	0	2,8	0	0	4,1
4	0	Falha	0	0,3	50,1	94,4	0	0	8,3	0	0	0
5	0	Falha	0	17,6	11,8	11,6	9,5	13,3	0	0	0	14,9
6	0	Falha	0	36,3	14,7	1,7	0	5,0	0	0	0	0
7	0	Falha	12,7	0	35,3	30,0	0	0	0	0	0	0
8	0	Falha	0	0	53,5	10,0	0	21,3	0	0	0	0
9	0	Falha	0,2	16,6	36,7	2,6	0	39,5	0	0	0	0
10	15,0	Falha	12,1	0	24,8	0	0	1,8	0	0	0	0
11	0	Falha	16,8	0,4	1,0	3,0	0	0	0	0	0	0
12	0	Falha	14,0	5,6	1,8	0	0	0	0	0	0	0
13	9	Falha	0	2,4	37,7	1,0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0,2	31,4	2,9	1,8	0	6,9	0	2,1	0
15	0	0,4	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0
16	4,0	20,3	0	0	3,8	0	0	0	0	0	0	0
17	1,0	0	0	0	21,0	1,7	0,4	0	0	0	0	0
18	20,5	1,5	0	0	6,2	14,3	0	0	0	0	0	1,0
19	28,5	2,0	0	0	1,4	9,8	0	0	0	0	0	49,3
20	15,0	28,5	0	8,4	48,8	3,4	0	0	0	0	0	0
21	0	1,3	0	0,3	38,0	1,7	0	0	0	0	0	0
22	2,0	2,0	0	0	52,8	21,9	0	0	0	0	0	0
23	1,3	0,5	0	17,7	0,4	8,5	0	0	0	0	0	0
24	0	2,1	11,4	11,4	34,0	7,8	0	0	0	0	0	0
25	0	32,2	8,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1,3	0	0	0	7,9	0,6	0	0	0	0	0
27	1,0	0,2	0	0,3	17,3	0,9	1,1	0	0	0	0	1,9
28	0	21,1	0	0	0	31,0	0	0	0	0	0	2,7
29	0	21,2	0	0,8	-	13,9	0	0	0	0	0	0
30	4,0	0	0	0,6	-	52,2	0	0	0	0	0	0
31	0	-	0	0	-	2,0	-	0	-	0	0	-

A precipitação diária anual máxima no posto udométrico da Covilhã no ano hidrológico de 1946/1947 foi 94,4 mm.

O ano hidrológico em Portugal começa no dia 1 de outubro e termina no dia 30 de setembro.

As precipitações diárias do ano hidrológico 1946/1947 registadas no posto udométrico de Penhas Douradas são apresentadas no quadro 3.5.

Quadro 3.5 - Precipitações diárias do ano hidrológico 1946/1947 no posto udométrico de P. Douradas

Dias	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
1	0	0	0,4	3,3	1,0	5,5	10,4	0	0	0	0,1	0,8
2	0	0,2	0	0	11,2	7,4	44,2	10,1	0	0	0	1,0
3	0,5	0	1,3	0	53,5	26,5	16,5	8,3	4,2	0	0	1,0
4	0	0	5,2	0,3	51,7	32,4	16,1	2,3	10,6	3,6	0	0
5	0	0	19,7	19,1	2,5	8,4	5,6	2,2	0	0	0	6,0
6	0	0	1,5	37,7	16,7	7,2	0	1,0	0,5	0	0	0,1
7	0	0	0,2	0,1	25,1	29,9	0	0	0	0	0	0
8	0	0	41,1	0	31,3	17,5	0	8,5	0	0	0	0
9	0	0	63,4	15,4	13,5	7,3	0	30,5	0	0	0,6	0
10	15,0	0	0,5	0,5	10,4	0	0	6,5	0	0	0	0
11	0	0	4,1	12,5	8,3	3,8	0	1,4	1,9	0	0	0
12	0,1	0	6,9	15,3	2,9	0	0	0	9,3	0	0	0
13	4,7	0	21,7	21,2	51,5	0,6	0	0,6	0	0	0	0
14	0	0	0	4,5	82,2	22,1	0,1	0	8,2	0	2,9	0
15	0,1	6,6	0	0	5,9	0	0	0	2,6	0	0	0
16	2,8	23,4	0	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0
17	13,0	0,8	0	0	28,5	0	0	0	0	0	0	0
18	13,7	27,8	0	0	19,6	15,2	0,7	0	0	0	0	7,5
19	7,7	7,7	0	0	1,2	31,8	0	0	0	0	0	31,5
20	35,6	25,2	0	13,0	21,7	4,6	0	0	0	0	0	0,4
21	15,6	7,9	0	5,0	46,7	1,5	0	0	0	0	0,2	0
22	19,0	20,2	0	0	37,3	34,2	0	0	0	0	0	0
23	14,1	1,1	0,6	11,3	6,7	11,6	0	0	0	0	0	0
24	0	0,2	16,0	10,9	19,5	34,1	0	0	0	0	0	0
25	0	16,2	0,2	0	2,4	0	0	2,2	0	0	0	0
26	0	15,1	4,9	0	0,2	7,4	0	0	0	0	0	0
27	2,1	0	3,4	0,1	4,7	4,8	0,4	0	0	0	0	2,0
28	0	16,1	4,8	0,2	0,6	27,4	7,6	0	0	0	0	3,6
29	0	30,4	0,5	0,2		15,1	0	0	0	0	0	0
30	7,5	0	0	0		22,2	0	0	0	0	0	0
31	0		0,7	0,1		8,1		0		0	0,4	

A precipitação diária anual máxima no posto udométrico de Penhas Douradas no ano hidrológico de 1946/1947 foi 82,2 mm.

As precipitações diárias máximas anuais na BH de Manteigas de acordo com a primeira via foram calculadas através da equação 3.2.

$$P_{dmáxanual} = P_{dmáxanualPDour} \cdot A_{inf PDour} + P_{dmáxanualCov.} \cdot A_{inf Cov} \quad (3.2)$$

Em que PDour e Cov designam os postos de Penhas Douradas e da Covilhã, respetivamente,  $P_{dmáxanual}$ , a precipitação diária máxima anual no posto de identificação em índice e  $A_{inf}$ , a área de influência desse posto.

Numa segunda via, obteve-se primeiramente a série de precipitações diárias naquela bacia, por ponderação, dia a dia e de acordo com o método de Thiessen, das precipitações registadas nos postos udográfico de Penhas Douradas e udométrico da Covilhã. A partir das precipitações ponderadas diárias assim obtidas constituiu-se a série de precipitações diárias máximas anuais na bacia hidrográfica, para o que se reteve em cada ano hidrológico a máxima precipitação diária. Resultou, assim, para BH de Manteigas a designada amostra 2.

Quadro 3.6 - Precipitações diárias máximas no ano hidrológico 1946/1947 na BH de Manteigas

Dias	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
1	0	0	0,26	2,16	1,04	5,14	19,13	0,65	0	0	0,06	3,75
2	0	0,13	0	0	16,30	15,34	35,65	6,47	0,29	0	0	11,06
3	0,32	0	0,83	0	51,99	30,02	13,88	5,32	3,70	0	0	2,11
4	0	0	3,33	0,30	51,13	54,67	10,32	1,47	9,77	2,31	0	0
5	0	0	12,62	18,56	5,84	9,55	7,00	6,19	0	0	0	9,20
6	0	0	0,96	37,20	15,98	5,23	0	2,43	0,32	0	0	0,06
7	0	0	4,69	0,06	28,76	29,94	0	0	0	0	0	0
8	0	0	26,34	0	39,27	14,81	0	13,10	0	0	0	0
9	0	0	40,70	15,83	21,83	5,61	0	33,73	0	0	0,39	0
10	15,00	0	4,67	0,32	15,57	0	0	4,81	0	0	0	0
11	0	0	8,66	8,16	5,68	3,51	0	0,90	1,23	0	0	0
12	0,06	0	9,45	11,82	2,51	0	0	0	5,96	0	0	0
13	6,24	0	13,91	14,45	46,54	0,74	0	0,39	0	0	0	0
14	0	0	0	2,96	64,00	15,20	0,71	0	7,73	0	2,61	0
15	0,06	4,38	0	0	4,00	0	0	0	1,67	0	0	0
16	3,23	22,29	0	0	2,52	0	0	0	0	0	0	0
17	8,69	0,51	0	0	25,81	0,61	0,14	0	0	0	0	0
18	16,14	18,35	0	0	14,79	14,88	0,45	0	0	0	0	5,16
19	15,17	5,64	0	0	1,27	23,90	0	0	0	0	0	37,89
20	28,20	26,39	0	11,35	31,43	4,17	0	0	0	0	0	0,26
21	10,00	5,53	0	3,31	43,58	1,57	0	0	0	0	0,13	0
22	12,89	13,66	0	0	42,87	29,78	0	0	0	0	0	0
23	9,50	0,89	0,36	13,60	4,44	10,49	0	0	0	0	0	0
24	0	0,89	14,35	11,08	24,71	24,65	0	0	0	0	0	0
25	0	21,95	3,24	0	1,54	0	0	1,41	0	0	0	0
26	0	10,14	3,14	0	0,13	7,58	0,22	0	0	0	0	0
27	1,71	0,07	2,18	0,17	9,23	3,40	0,65	0	0	0	0	1,96
28	0	17,90	3,08	0,13	0,39	28,69	4,87	0	0	0	0	3,28
29	0	27,10	0,32	0,42		14,67	0	0	0	0	0	0
30	6,24	0	0	0,22		32,97	0	0	0	0	0	0
31	0		0,45	0,06		5,91		0		0	0,26	

A precipitação diária máxima anual na BH de Manteigas no ano hidrológico de 1946/1947 foi 64,0 mm.

Deste modo, a segunda via considera a simultaneidade da ocorrência temporal das precipitações, enquanto a primeira via pondera máximos anuais, quer eles tenham ocorrido nos mesmos dias ou não.

As precipitações diárias ponderadas na BH de Manteigas foram calculadas através da equação 3.3.

$$Precipitação_{diária} = P_{diáriaPDour} \cdot A_{inf PDour} + P_{diáriaCov} \cdot A_{inf Cov} \quad (3.3)$$

Como mencionado, o anterior cálculo foi efetuado todos os dias em cada ano hidrológico. Daqui resultam os registos ponderados na BH de Manteigas. Posteriormente retirou-se a precipitação máxima obtida em cada ano, a qual foi lançada no quadro 3.2.

As precipitações diárias máximas anuais na BH de Manteigas de acordo com a segunda via foram calculadas através da equação 3.4, na qual as variáveis têm o significado antes apresentado.

$$Precipitação_{diária máxima} = Máx(P_{diáriaPDour} \cdot A_{inf PDour}; P_{diáriaCov} \cdot A_{inf Cov}) \quad (3.4)$$

### 3.2.3.1 Método dos polígonos de Thiessen

A área de influência de cada posto na BH de Manteigas é calculada através do método dos polígonos de Thiessen, que pressupõe a execução dos passos seguintes:

- Identificar os postos existentes no interior e na periferia da BH unindo-os por segmentos de reta.
- Traçar uma normal pelo meio de cada segmento de reta, ou seja, uma mediatriz formando assim os polígonos de Thiessen.
- Assim, cada um dos polígonos de Thiessen limita a área de influência de um posto considerando-se que a precipitação nessa área é igual à do respetivo posto.
- Por fim, a precipitação sobre a área da BH obtém-se somando todas as precipitações de cada posto multiplicadas pelo peso que a respetiva área tem na área total da BH.

Na medida em que a média ponderada da precipitação na BH de Manteigas é feita apenas com o apoio dos registos de dois postos, basta unir esses postos por um segmento de reta e posteriormente traçar a mediatriz desse segmento, como ilustra a figura 3.9.

A área de influência e a dimensão de série dos registos de cada um dos dois postos udográficos com influência sobre a BH de Manteigas, bem como o tipo de aparelho e extensão de série de registo são apresentados no quadro 3.7.

Quadro 3.7 - Área de influência dos postos udométrico e udográfico na BH de Manteigas

Influência dos postos udográfico e udométrico na BH de Manteigas					
Postos	Estações	Série de registos	Tipo de registo	Área de influência (km <sup>2</sup> )	Área de Influência (-)
Udográfico	Penhas Douradas	1946/1947 2006/2007	Sifão diário	18,141	0,641
Udométrico	Covilhã	1946/1947 2006/2007	Sifão diário	10,167	0,359
			Total	28,308	1,000

A área de influência de cada posto é calculada pela equação, 3.4.

$$Área_{\text{influência}} = \frac{A_i}{A_{\text{total}}} \quad (3.4)$$

O traçado dos polígonos de Thiessen com o apoio das linhas auxiliares na determinação da área de influência dos postos, udográfico e udométrico de Penhas Douradas e da Covilhã respetivamente é apresentado na figura 3.9.

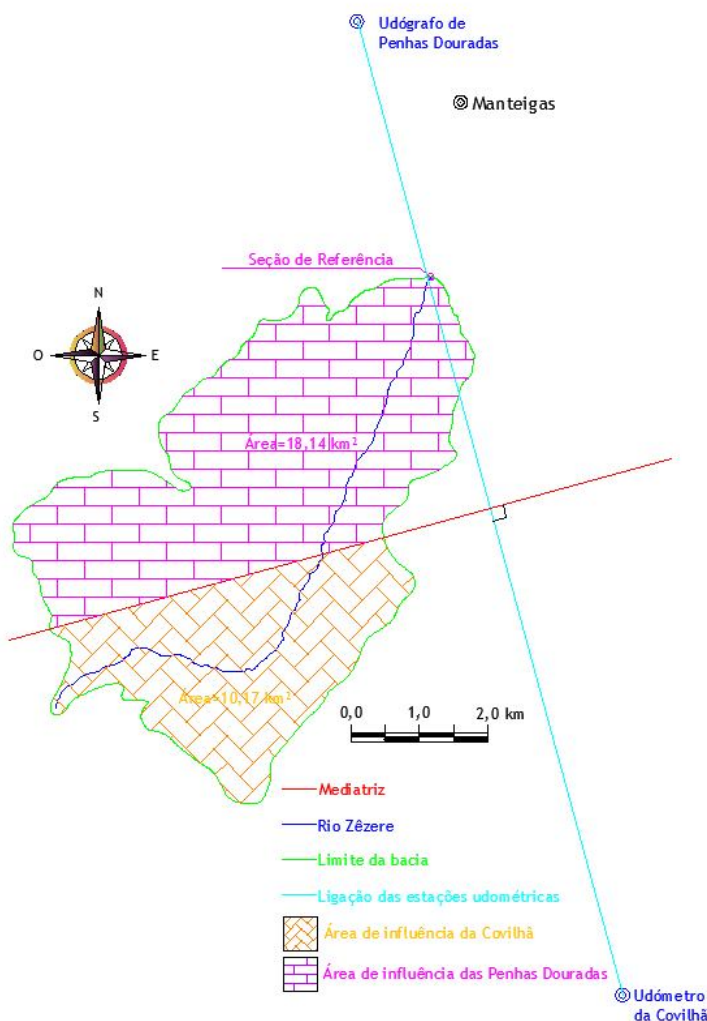


Figura 3.9 - Áreas de influência da BH de Manteigas pelo método dos polígonos de Thiessen

### 3.3 Análise Estatística Das Precipitações Diárias Máximas Anuais

#### 3.3.1 Características Estatísticas

As amostras de precipitações diárias máximas anuais obtidas por cada uma das vias descritas bem como as correspondentes características estatísticas são apresentadas no quadro 3.8.

Quadro 3.8 - Amostra 1 e amostra 2 ponderada na bacia

Nº de anos	Ano Hidrológico	Amostra 1		Amostra 2	
		Precipitação ponderada		Precipitação na bacia	
		Pi (mm)	Ln (Pi)	Pi (mm)	Ln (Pi)
1	1946/1947	86,6	4,461	64,0	4,158
2	1947/1948	127,5	4,848	127,5	4,848
3	1948/1949	106,3	4,666	106,3	4,666
4	1949/1950	90,4	4,505	69,4	4,240
5	1950/1951	75,8	4,329	75,8	4,329
6	1951/1952	137,3	4,922	102,4	4,629
7	1952/1953	87,1	4,467	72,3	4,281
8	1953/1954	88,1	4,479	88,1	4,479
9	1954/1955	94,8	4,552	94,0	4,543
10	1955/1956	99,1	4,596	85,3	4,446
11	1956/1957	76,8	4,342	73,9	4,303
12	1957/1958	96,9	4,574	89,7	4,496
13	1958/1959	84,7	4,439	84,7	4,439
14	1959/1960	118,3	4,773	114,6	4,741
15	1960/1961	104,9	4,653	83,1	4,420
16	1961/1962	97,7	4,582	87,9	4,476
17	1962/1963				
18	1963/1964	97,9	4,584	92,6	4,529
19	1964/1965	79,9	4,380	72,8	4,288
20	1965/1966	111,7	4,716	107,3	4,676
21	1966/1967	71,2	4,265	62,0	4,126
22	1967/1968	85,2	4,445	78,0	4,357
23	1968/1969	112,0	4,719	87,2	4,469
24	1969/1970	97,8	4,583	90,7	4,508
25	1970/1971	79,1	4,371	67,3	4,209
26	1971/1972	101,5	4,620	96,4	4,569
27	1972/1973	98,4	4,589	98,4	4,589
28	1973/1974	88,6	4,485	68,1	4,220
29	1974/1975	59,9	4,093	57,0	4,044
30	1975/1976	43,1	3,763	36,3	3,593

Quadro 3.8 - Amostra 1 e amostra 2 ponderada na bacia (continuação)

Nº de anos	Ano Hidrológico	Amostra 1		Amostra 2	
		Precipitação ponderada		Precipitação na bacia	
		Pi (mm)	Ln (Pi)	Pi (mm)	Ln (Pi)
31	1976/1977	117,5	4,766	117,5	4,766
32	1977/1978	96,8	4,573	82,5	4,413
33	1978/1979	92,3	4,525	89,2	4,491
34	1979/1980	67,6	4,214	57,8	4,056
35	1980/1981	63,9	4,157	56,2	4,030
36	1981/1982	87,8	4,475	87,8	4,475
37	1982/1983	62,7	4,139	62,7	4,139
38	1983/1984	120,3	4,790	120,3	4,790
39	1984/1985	115,7	4,751	99,6	4,601
40	1985/1986	76,2	4,333	51,3	3,938
41	1986/1987	54,7	4,001	46,0	3,828
42	1987/1988	92,7	4,529	83,5	4,425
43	1988/1989	105,0	4,654	105,0	4,654
44	1989/1990	88,5	4,483	86,4	4,459
45	1990/1991	82,3	4,410	66,4	4,196
46	1991/1992	51,8	3,948	50,8	3,927
47	1992/1993	67,4	4,211	67,4	4,211
48	1993/1994	101,5	4,620	86,2	4,457
49	1994/1995	59,6	4,087	48,1	3,873
50	1995/1996	118,3	4,773	118,3	4,773
51	1996/1997	116,4	4,757	103,5	4,639
52	1997/1998	89,7	4,497	71,8	4,275
53	1998/1999	57,6	4,054	35,8	3,578
54	1999/2000	98,2	4,587	84,5	4,437
55	2000/2001	123,7	4,818	114,5	4,740
56	2001/2002	57,4	4,050	57,4	4,050
57	2002/2003	82,4	4,411	67,5	4,212
58	2003/2004	102,3	4,628	100,6	4,612
59	2004/2005	79,9	4,381	68,8	4,231
60	2005/2006	98,8	4,593	97,4	4,578
61	2006/2007	115,7	4,751	115,7	4,751
Média (mm)		90,70	4,479	82,20	4,371
Desvio padrão (mm)		20,60	0,247	21,78	0,288
Coef. de variação (-)		0,227	0,055	0,265	0,066
Coef. de assimetria (-)		-0,152	-0,730	-0,043	-0,715

O cálculo da média utilizou a equação 3.5, sendo que n=60 uma vez que não existem registos no ano de 1962/63.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.5)$$

Indicam-se, seguidamente, as equações utilizadas para o cálculo do desvio padrão e dos coeficientes de variação e assimetria, ver equações (3.6), (3.7) e (3.8), respetivamente.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (3.6)$$

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (3.7)$$

$$C_a = \frac{n \cdot \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S^3} \quad (3.8)$$

### 3.3.2 Frequências Empíricas

O cálculo das frequências empíricas realiza-se da seguinte forma:

Ordenam-se por ordem crescente as precipitações da amostra 1 e da amostra 2. O cálculo das probabilidades empíricas de não excedência dá-nos a frequência com que determinada precipitação P ocorreu sem ser excedida.

Quando existem dois valores de precipitação P iguais para dois valores de frequência diferentes, como se verifica na amostra 1, pois as frequências 17 e 18 correspondem a uma precipitação P de 79,9 mm, nestas circunstâncias considera-se a frequência superior, ou seja, 18, para a precipitação P de 79,9 mm, como mostra o quadro 3.9, ou seja, na amostra 1 existem 18 ocorrências de precipitação que são menores ou iguais a 79.9 mm.

Na amostra 1 existem mais três valores de precipitação iguais para três valores de frequência diferentes, ou seja, 43;44, 51;52 e 55;56 para 101,5, 115,7 e 118,3 respetivamente. Apresentado no quadro 3.9.

Na amostra 2 não se repetem valores de precipitação P.

Deste modo obtemos a distribuição empírica para cada amostra.

As frequências empíricas da amostra 1 e amostra 2 são apresentadas no quadro 3.9.

Quadro 3.9 - Frequências empíricas da amostra 1 e amostra 2

Nº de ordem (i)	Amostra 1 por ordem crescente				Amostra 2 por ordem crescente			
	Pi (mm)	Probabilidade empírica de não excedência (Fi)	Período de retorno (Ti)	Normal reduzida (z)	Pi (mm)	Probabilidade empírica de não excedência (Fi)	Período de retorno (Ti)	Normal reduzida (z)
1	43,1	0,016	1,017	-2,135	35,8	0,016	1,017	-2,135
2	51,8	0,033	1,034	-1,841	36,3	0,033	1,034	-1,841
3	54,7	0,049	1,052	-1,653	46,0	0,049	1,052	-1,653
4	57,4	0,066	1,070	-1,510	48,1	0,066	1,070	-1,510
5	57,6	0,082	1,089	-1,392	50,8	0,082	1,089	-1,392
6	59,6	0,098	1,109	-1,291	51,3	0,098	1,109	-1,291
7	59,9	0,115	1,130	-1,202	56,2	0,115	1,130	-1,202
8	62,7	0,131	1,151	-1,121	57,0	0,131	1,151	-1,121
9	63,9	0,148	1,173	-1,047	57,4	0,148	1,173	-1,047
10	67,4	0,164	1,196	-0,978	57,8	0,164	1,196	-0,978
11	67,6	0,180	1,220	-0,914	62,0	0,180	1,220	-0,914
12	71,2	0,197	1,245	-0,853	62,7	0,197	1,245	-0,853
13	75,8	0,213	1,271	-0,796	64,0	0,213	1,271	-0,796
14	76,2	0,230	1,298	-0,740	66,4	0,230	1,298	-0,740
15	76,8	0,246	1,326	-0,687	67,3	0,246	1,326	-0,687
16	79,1	0,262	1,356	-0,636	67,4	0,262	1,356	-0,636
17					67,5	0,279	1,386	-0,587
18	79,9	0,295	1,419	-0,539	68,1	0,295	1,419	-0,539
19	82,3	0,311	1,452	-0,492	68,8	0,311	1,452	-0,492
20	82,4	0,328	1,488	-0,446	69,4	0,328	1,488	-0,446
21	84,7	0,344	1,525	-0,401	71,8	0,344	1,525	-0,401
22	85,2	0,361	1,564	-0,357	72,3	0,361	1,564	-0,357
23	86,6	0,377	1,605	-0,313	72,8	0,377	1,605	-0,313
24	87,1	0,393	1,649	-0,270	73,9	0,393	1,649	-0,270
25	87,8	0,410	1,694	-0,228	75,8	0,410	1,694	-0,228
26	88,1	0,426	1,743	-0,186	78,0	0,426	1,743	-0,186
27	88,5	0,443	1,794	-0,144	82,5	0,443	1,794	-0,144
28	88,6	0,459	1,848	-0,103	83,1	0,459	1,848	-0,103
29	89,7	0,475	1,906	-0,062	83,5	0,475	1,906	-0,062
30	90,4	0,492	1,968	-0,021	84,5	0,492	1,968	-0,021
31	92,3	0,508	2,033	0,021	84,7	0,508	2,033	0,021
32	92,7	0,525	2,103	0,062	85,3	0,525	2,103	0,062
33	94,8	0,541	2,179	0,103	86,2	0,541	2,179	0,103
34	96,8	0,557	2,259	0,144	86,4	0,557	2,259	0,144
35	96,9	0,574	2,346	0,186	87,2	0,574	2,346	0,186
36	97,7	0,590	2,440	0,228	87,8	0,590	2,440	0,228

Quadro 3.9 - Frequências empíricas da amostra 1 e amostra 2 (continuação)

Nº de ordem (i)	Amostra 1 por ordem crescente				Amostra 2 por ordem crescente			
	Pi (mm)	Probabilidade empírica de não excedência (Fi)	Período de retorno (Ti)	Normal reduzida (z)	Pi (mm)	Probabilidade empírica de não excedência (Fi)	Período de retorno (Ti)	Normal reduzida (z)
37	97,8	0,607	2,542	0,270	87,9	0,607	2,542	0,270
38	97,9	0,623	2,652	0,313	88,1	0,623	2,652	0,313
39	98,2	0,639	2,773	0,357	89,2	0,639	2,773	0,357
40	98,4	0,656	2,905	0,401	89,7	0,656	2,905	0,401
41	98,8	0,672	3,050	0,446	90,7	0,672	3,050	0,446
42	99,1	0,689	3,211	0,492	92,6	0,689	3,211	0,492
43					94,0	0,705	3,389	0,539
44	101,5	0,721	3,588	0,587	96,4	0,721	3,588	0,587
45	102,3	0,738	3,813	0,636	97,4	0,738	3,813	0,636
46	104,9	0,754	4,067	0,687	98,4	0,754	4,067	0,687
47	105,0	0,770	4,357	0,740	99,6	0,770	4,357	0,740
48	106,3	0,787	4,692	0,796	100,6	0,787	4,692	0,796
49	111,7	0,803	5,083	0,853	102,4	0,803	5,083	0,853
50	112,0	0,820	5,545	0,914	103,5	0,820	5,545	0,914
51					105,0	0,836	6,100	0,978
52	115,7	0,852	6,778	1,047	106,3	0,852	6,778	1,047
53	116,4	0,869	7,625	1,121	107,3	0,869	7,625	1,121
54	117,5	0,885	8,714	1,202	114,5	0,885	8,714	1,202
55					114,6	0,902	10,167	1,291
56	118,3	0,918	12,200	1,392	115,7	0,918	12,200	1,392
57	120,3	0,934	15,250	1,510	117,5	0,934	15,250	1,510
58	123,7	0,951	20,333	1,653	118,3	0,951	20,333	1,653
59	127,5	0,967	30,500	1,841	120,3	0,967	30,500	1,841
60	137,3	0,984	61,000	2,135	127,5	0,984	61,000	2,135

A frequência empírica,  $F_i$ , é calculada através da equação 3.9 que traduz a aplicação da fórmula de Weibull.

$$F_i = \frac{i}{n+1} \quad (3.9)$$

O período de retorno,  $T_i$ , é calculado através da equação 3.10.

$$T_i = \frac{1}{1 - F_i} \quad (3.10)$$

O valor da normal reduzida, cujo cálculo pressuporia a inversão numérica da função distribuição de densidade da Normal (0,1), foi fornecido diretamente por uma função intrínseca do Excel tendo por argumento a probabilidade empírica associada a cada ponto amostral.

### 3.3.3 Ajuste das Leis Estatísticas

Indicam-se, seguidamente, as equações aplicadas no ajuste das diferentes Leis Estatísticas de extremos à exceção da Lei Normal que não se considera uma Lei Estatística de extremos.

#### Cálculo da Lei Normal:

➤ Se  $F(x) < 0,5$

$$K_n = - \left( w - \frac{2,515517 + 0,802853w + 0,010328w^2}{1 + 1,432788w + 0,189269w^2 + 0,001308w^3} \right) \quad (3.12)$$

em que:

$$w = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{F(x)^2} \right)}$$

➤ Se  $F(x) > 0,5$

$$K_n = w - \frac{2,515517 + 0,802853w + 0,010328w^2}{1 + 1,432788w + 0,189269w^2 + 0,001308w^3} \quad (3.13)$$

em que:

$$w = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(1 - F(x))^2} \right)}$$

$$X = Pi = \bar{X} + K_N \cdot S \quad (3.14)$$

$$Pi = 90,3 + (-3,090) \cdot 21,3 \Leftrightarrow Pi = 24,4 \text{ mm}$$

#### Cálculo da Lei Gumbel:

$$K_G = - \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot (0,5772 + \ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]) \quad (3.15)$$

em que:

$$T = \text{período de retorno} \Leftrightarrow T = \frac{1}{1 - F(X)}$$

$$X = Pi = \bar{X} + K_G \cdot S \quad (3.16)$$

$$Pi = 90,3 + (-1,957) \cdot 21,30 \Leftrightarrow Pi = 48,6 \text{ mm}$$

#### Cálculo da Lei log Normal ou de Galton:

$$\ln Pi = \bar{X} + K_N \cdot S \quad (3.17)$$

$$\ln Pi = 4,472 + (-3,090) \cdot 0,254 \Leftrightarrow \ln Pi = 3,687$$

Efeito do aumento da área urbanizada nos caudais e volumes de cheia na bacia de Manteigas

$$X = Pi = e^{\ln Pi} \quad (3.18)$$

$$Pi = e^{3,687} \Leftrightarrow Pi = 39,9 \text{ mm}$$

Cálculo da Lei Pearson III:

$$K_{III} = K_N + (K_N^2 - 1) \cdot \left(\frac{C_a}{6}\right) + \frac{1}{3} \cdot (K_N^3 - 6 \cdot K_N) \cdot \left(\frac{C_a}{6}\right)^2 - (K_N^2 - 1) \cdot \left(\frac{C_a}{6}\right)^3 + K_N \cdot \left(\frac{C_a}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{C_a}{6}\right)^5 \quad (3.19)$$

em que:

$$C_a = \text{coeficiente de assimetria} \Leftrightarrow C_a = \frac{n \cdot \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S^3}$$

$$X = Pi = \bar{X} + K_{III} \cdot S \quad (3.20)$$

$$Pi = 90,3 + (-3,130) \cdot 21,3 \Leftrightarrow Pi = 23,6 \text{ mm}$$

O ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 1 decorrente da aplicação da via 1 é apresentado no quadro 3.10.

Quadro 3.10 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 1

Fi	Ti (anos)	Lei Normal		Lei de Gumbel		Lei log normal ou de Galton		Lei de Pearson III	
		KN=z	Pi (mm)	KG	Pi (mm)	KLn	Pi (mm)	KP	Pi (mm)
0,001	1,00	-3,090	27,1	-1,957	50,4	3,715	41,1	-3,309	22,6
0,010	1,01	-2,326	42,8	-1,641	56,9	3,904	49,6	-2,438	40,5
0,020	1,02	-2,054	48,4	-1,514	59,5	3,971	53,1	-2,134	46,8
0,030	1,03	-1,881	52,0	-1,428	61,3	4,014	55,4	-1,944	50,7
0,040	1,04	-1,751	54,7	-1,362	62,7	4,046	57,2	-1,802	53,6
0,050	1,05	-1,645	56,8	-1,306	63,8	4,072	58,7	-1,687	56,0
0,060	1,06	-1,555	58,7	-1,257	64,8	4,095	60,0	-1,589	58,0
0,070	1,08	-1,476	60,3	-0,213	65,7	4,114	61,2	-1,504	59,7
0,080	1,09	-1,405	61,8	-1,172	66,6	4,132	62,3	-1,429	61,3
0,090	1,10	-1,341	63,1	-1,135	67,3	4,148	63,3	-1,360	62,7
0,100	1,11	-1,282	64,3	-1,100	68,1	4,162	64,2	-1,297	64,0
0,110	1,12	-1,227	65,5	-1,067	68,7	4,176	65,1	-1,238	65,2
0,120	1,14	-1,175	66,5	-1,036	69,4	4,189	65,9	-1,183	66,3
0,130	1,15	-1,126	67,5	-1,006	70,0	4,201	66,7	-1,132	67,4
0,140	1,16	-1,080	68,5	-0,977	70,6	4,212	67,5	-1,083	68,4
0,150	1,18	-1,036	69,4	-0,949	71,2	4,223	68,2	-1,037	69,4
0,160	1,19	-0,994	70,2	-0,922	71,7	4,233	69,0	-0,993	70,3
0,170	1,20	-0,954	71,1	-0,896	72,3	4,243	69,6	-0,951	71,1
0,180	1,22	-0,915	71,9	-0,871	72,8	4,253	70,3	-0,910	72,0

Quadro 3.10 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 1 (continuação)

Fi	Ti (anos)	Lei Normal		Lei de Gumbel		Lei log normal ou de Galton		Lei de Pearson III	
		KN=z	Pi (mm)	KG	Pi (mm)	KLn	Pi (mm)	KP	Pi (mm)
0,190	1,23	-0,878	72,6	-0,846	73,3	4,262	71,0	-0,871	72,8
0,200	1,25	-0,842	73,4	-0,821	73,8	4,271	71,6	-0,833	73,6
0,210	1,27	-0,806	74,1	-0,797	74,3	4,280	72,2	-0,797	74,3
0,220	1,28	-0,772	74,8	-0,774	74,8	4,288	72,8	-0,761	75,0
0,230	1,30	-0,739	75,5	-0,750	75,3	4,297	73,5	-0,726	75,8
0,240	1,32	-0,706	76,2	-0,727	75,7	4,305	74,0	-0,693	76,5
0,250	1,33	-0,674	76,8	-0,705	76,2	4,313	74,6	-0,660	77,1
0,260	1,35	-0,643	77,5	-0,682	76,7	4,320	75,2	-0,628	77,8
0,270	1,37	-0,613	78,1	-0,660	77,1	4,328	75,8	-0,596	78,4
0,280	1,39	-0,583	78,7	-0,638	77,6	4,335	76,3	-0,565	79,1
0,290	1,41	-0,553	79,3	-0,616	78,0	4,343	76,9	-0,535	79,7
0,300	1,43	-0,524	79,9	-0,595	78,5	4,350	77,5	-0,505	80,3
0,310	1,45	-0,496	80,5	-0,573	78,9	4,357	78,0	-0,476	80,9
0,320	1,47	-0,468	81,1	-0,552	79,4	4,364	78,6	-0,447	81,5
0,330	1,49	-0,440	81,7	-0,530	79,8	4,371	79,1	-0,419	82,1
0,340	1,52	-0,412	82,2	-0,509	80,2	4,377	79,6	-0,391	82,7
0,350	1,54	-0,385	82,8	-0,488	80,7	4,384	80,2	-0,363	83,2
0,360	1,56	-0,358	83,3	-0,467	81,1	4,391	80,7	-0,336	83,8
0,370	1,59	-0,332	83,9	-0,446	81,5	4,397	81,2	-0,309	84,4
0,380	1,61	-0,305	84,4	-0,424	82,0	4,404	81,8	-0,282	84,9
0,390	1,64	-0,279	85,0	-0,403	82,4	4,410	82,3	-0,256	85,5
0,400	1,67	-0,253	85,5	-0,382	82,9	4,417	82,8	-0,229	86,0
0,410	1,69	-0,228	86,0	-0,361	83,3	4,423	83,4	-0,203	86,5
0,420	1,72	-0,202	86,6	-0,339	83,7	4,430	83,9	-0,177	87,1
0,430	1,75	-0,176	87,1	-0,318	84,2	4,436	84,4	-0,152	87,6
0,440	1,79	-0,151	87,6	-0,296	84,6	4,442	85,0	-0,126	88,1
0,450	1,82	-0,126	88,1	-0,275	85,1	4,448	85,5	-0,101	88,7
0,460	1,85	-0,100	88,7	-0,253	85,5	4,455	86,0	-0,075	89,2
0,470	1,89	-0,075	89,2	-0,231	86,0	4,461	86,6	-0,050	89,7
0,480	1,92	-0,050	89,7	-0,209	86,4	4,467	87,1	-0,025	90,2
0,490	1,96	-0,025	90,2	-0,187	86,9	4,473	87,6	0,000	90,7
0,500	2,00	0,000	90,7	-0,164	87,3	4,479	88,2	0,025	91,2
0,510	2,04	0,025	91,2	-0,142	87,8	4,486	88,7	0,050	91,8
0,520	2,08	0,050	91,8	-0,119	88,3	4,492	89,3	0,075	92,3
0,530	2,13	0,075	92,3	-0,096	88,8	4,498	89,8	0,100	92,8
0,540	2,17	0,100	92,8	-0,073	89,2	4,504	90,4	0,125	93,3
0,550	2,22	0,126	93,3	-0,049	89,7	4,511	91,0	0,150	93,8
0,560	2,27	0,151	93,8	-0,025	90,2	4,517	91,5	0,176	94,3
0,570	2,33	0,176	94,4	-0,001	90,7	4,523	92,1	0,201	94,9
0,580	2,38	0,202	94,9	0,024	91,2	4,529	92,7	0,226	95,4

Quadro 3.10 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 1 (continuação)

Fi	Ti (anos)	Lei Normal		Lei de Gumbel		Lei log normal ou de Galton		Lei de Pearson III	
		KN=z	Pi (mm)	KG	Pi (mm)	Ln p	Pi (mm)	KP	Pi (mm)
0,590	2,44	0,228	95,4	0,048	91,7	4,536	93,3	0,251	95,9
0,600	2,50	0,253	95,9	0,074	92,2	4,542	93,9	0,277	96,4
0,610	2,56	0,279	96,5	0,099	92,8	4,549	94,5	0,302	97,0
0,620	2,63	0,305	97,0	0,125	93,3	4,555	95,1	0,328	97,5
0,630	2,70	0,332	97,6	0,152	93,9	4,562	95,7	0,354	98,0
0,640	2,78	0,358	98,1	0,179	94,4	4,568	96,4	0,380	98,6
0,650	2,86	0,385	98,7	0,207	95,0	4,575	97,0	0,406	99,1
0,660	2,94	0,412	99,2	0,235	95,6	4,582	97,7	0,433	99,6
0,670	3,03	0,440	99,8	0,263	96,2	4,588	98,3	0,460	100,2
0,680	3,13	0,468	100,4	0,293	96,8	4,595	99,0	0,487	100,8
0,690	3,23	0,496	100,9	0,323	97,4	4,602	99,7	0,514	101,3
0,700	3,33	0,524	101,5	0,354	98,0	4,609	100,4	0,542	101,9
0,710	3,45	0,553	102,1	0,385	98,7	4,616	101,1	0,570	102,5
0,720	3,57	0,583	102,7	0,418	99,3	4,624	101,9	0,599	103,1
0,730	3,70	0,613	103,3	0,451	100,0	4,631	102,6	0,628	103,7
0,740	3,85	0,643	104,0	0,486	100,7	4,639	103,4	0,657	104,3
0,750	4,00	0,674	104,6	0,521	101,5	4,646	104,2	0,687	104,9
0,760	4,17	0,706	105,3	0,558	102,2	4,654	105,0	0,718	105,5
0,770	4,35	0,739	105,9	0,596	103,0	4,662	105,9	0,749	106,2
0,780	4,55	0,772	106,6	0,636	103,8	4,671	106,8	0,782	106,8
0,790	4,76	0,806	107,3	0,677	104,7	4,679	107,7	0,814	107,5
0,800	5,00	0,842	108,1	0,719	105,5	4,688	108,6	0,848	108,2
0,810	5,26	0,878	108,8	0,764	106,5	4,697	109,6	0,883	108,9
0,820	5,56	0,915	109,6	0,811	107,4	4,706	110,6	0,918	109,6
0,830	5,88	0,954	110,4	0,860	108,4	4,716	111,7	0,955	110,4
0,840	6,25	0,994	111,2	0,912	109,5	4,726	112,8	0,994	111,2
0,850	6,67	1,036	112,1	0,967	110,6	4,736	114,0	1,033	112,0
0,860	7,14	1,080	113,0	1,025	111,8	4,747	115,2	1,075	112,9
0,870	7,69	1,126	113,9	1,087	113,1	4,758	116,5	1,118	113,8
0,880	8,33	1,175	114,9	1,154	114,5	4,770	117,9	1,164	114,7
0,890	9,09	1,227	116,0	1,226	116,0	4,783	119,5	1,213	115,7
0,900	10,00	1,282	117,1	1,305	117,6	4,797	121,1	1,264	116,8
0,910	11,11	1,341	118,3	1,391	119,4	4,811	122,9	1,319	117,9
0,920	12,50	1,405	119,7	1,487	121,4	4,827	124,8	1,379	119,1
0,930	14,29	1,476	121,1	1,595	123,6	4,845	127,1	1,445	120,5
0,940	16,67	1,555	122,8	1,720	126,1	4,864	129,6	1,518	122,0
0,950	20,00	1,645	124,6	1,866	129,2	4,886	132,5	1,601	123,7
0,960	25,00	1,751	126,8	2,044	132,8	4,913	136,0	1,697	125,7
0,970	33,33	1,881	129,5	2,272	137,5	4,945	140,4	1,816	128,1
0,980	50,00	2,054	133,0	2,592	144,1	4,988	146,6	1,971	131,3

Quadro 3.10 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 1 (continuação)

Fi	Ti (anos)	Lei Normal		Lei de Gumbel		Lei log normal ou de Galton		Lei de Pearson III	
		KN=z	Pi (mm)	KG	Pi (mm)	Ln p	Pi (mm)	KP	Pi (mm)
0,990	100,00	2,326	138,6	3,137	155,3	5,055	156,8	2,214	136,3
0,991	111,11	2,366	139,5	3,219	157,0	5,065	158,3	2,249	137,1
0,992	125,00	2,409	140,4	3,311	158,9	5,075	160,0	2,287	137,8
0,993	142,86	2,457	141,3	3,416	161,1	5,087	162,0	2,330	138,7
0,994	166,67	2,512	142,5	3,537	163,6	5,101	164,2	2,378	139,7
0,995	200,00	2,576	143,8	3,679	166,5	5,117	166,8	2,434	140,9
0,996	250,00	2,652	145,4	3,853	170,1	5,136	170,0	2,500	142,2
0,997	333,33	2,748	147,3	4,078	174,7	5,159	174,0	2,583	143,9
0,998	500,00	2,878	150,0	4,395	181,3	5,192	179,8	2,695	146,2
0,999	1000,00	3,090	154,4	4,936	192,4	5,244	189,4	2,876	150,0

O ajustamento gráfico das quatro Leis Estatísticas postuladas à amostra 1 é apresentado na figura 3.10.

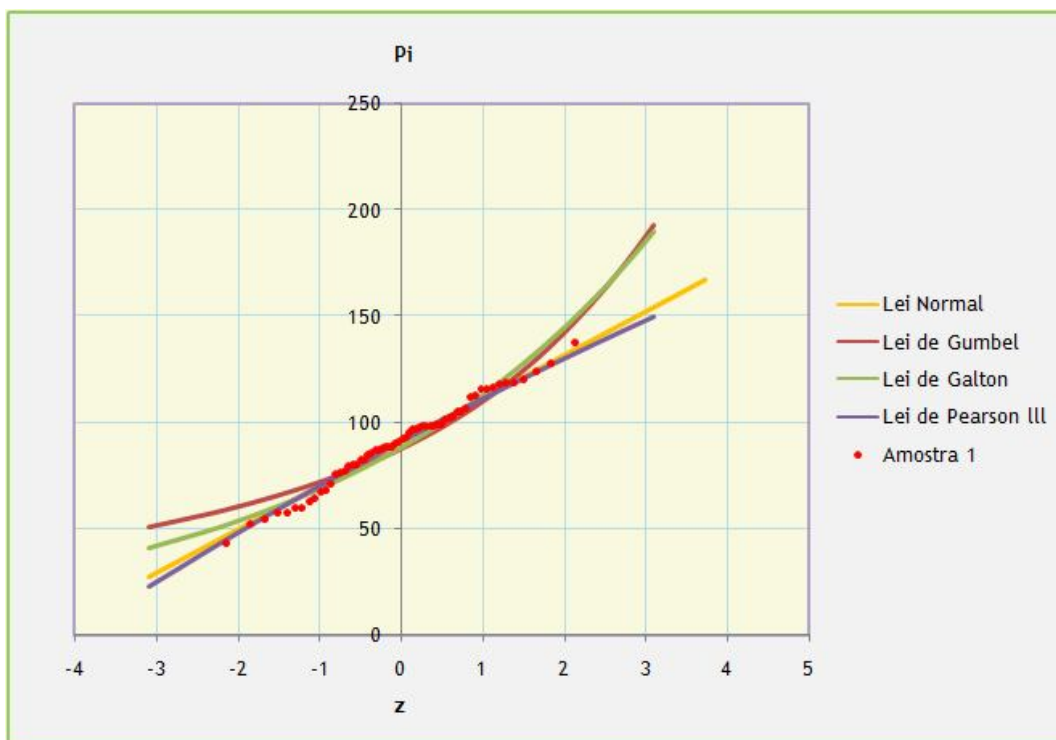


Figura 3.10 - Ajuste das distribuições teóricas à distribuição empírica correspondente à amostra 1

Este gráfico indica-nos claramente que para a amostra 1 a Lei Normal e a Lei de Pearson III são aquelas que mais se ajustam à distribuição. Contudo devemos considerar a Lei de Pearson III porque é uma Lei de extremos.

O quadro 3.11 e a figura 3.11 contêm resultados equivalentes aos precedentes mas relativos à amostra 2.

Quadro 3.11 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 2

Fi	Ti (anos)	Lei Normal		Lei de Gumbel		Lei log normal ou de Galton		Lei de Pearson III	
		KN=z	Pi (mm)	KG	Pi (mm)	Ln p	Pi (mm)	KP	Pi (mm)
0,001	1,00	-3,090	14,9	-1,957	39,6	3,480	32,5	-3,152	13,6
0,010	1,01	-2,326	31,6	-1,641	46,5	3,700	40,5	-2,358	30,9
0,020	1,02	-2,054	37,5	-1,514	49,3	3,779	43,8	-2,077	37,0
0,030	1,03	-1,881	41,3	-1,428	51,1	3,829	46,0	-1,899	40,9
0,040	1,04	-1,751	44,1	-1,362	52,6	3,866	47,8	-1,765	43,8
0,050	1,05	-1,645	46,4	-1,306	53,8	3,897	49,3	-1,657	46,1
0,060	1,06	-1,555	48,4	-1,257	54,9	3,923	50,5	-1,565	48,1
0,070	1,08	-1,476	50,1	-0,213	55,8	3,946	51,7	-1,484	49,9
0,080	1,09	-1,405	51,6	-1,172	56,7	3,966	52,8	-1,412	51,5
0,090	1,10	-1,341	53,0	-1,135	57,5	3,985	53,8	-1,346	52,9
0,100	1,11	-1,282	54,3	-1,100	58,3	4,002	54,7	-1,286	54,2
0,110	1,12	-1,227	55,5	-1,067	59,0	4,018	55,6	-1,230	55,4
0,120	1,14	-1,175	56,6	-1,036	59,7	4,032	56,4	-1,178	56,6
0,130	1,15	-1,126	57,7	-1,006	60,3	4,046	57,2	-1,128	57,7
0,140	1,16	-1,080	58,7	-0,977	60,9	4,060	58,0	-1,081	58,7
0,150	1,18	-1,036	59,7	-0,949	61,6	4,072	58,7	-1,037	59,6
0,160	1,19	-0,994	60,6	-0,922	62,1	4,085	59,4	-0,994	60,6
0,170	1,20	-0,954	61,4	-0,896	62,7	4,096	60,1	-0,953	61,5
0,180	1,22	-0,915	62,3	-0,871	63,3	4,107	60,8	-0,914	62,3
0,190	1,23	-0,878	63,1	-0,846	63,8	4,118	61,4	-0,876	63,1
0,200	1,25	-0,842	63,9	-0,821	64,3	4,129	62,1	-0,839	63,9
0,210	1,27	-0,806	64,7	-0,797	64,9	4,139	62,7	-0,804	64,7
0,220	1,28	-0,772	65,4	-0,774	65,4	4,149	63,3	-0,769	65,5
0,230	1,30	-0,739	66,1	-0,750	65,9	4,158	64,0	-0,736	66,2
0,240	1,32	-0,706	66,8	-0,727	66,4	4,168	64,6	-0,703	66,9
0,250	1,33	-0,674	67,5	-0,705	66,9	4,177	65,2	-0,671	67,6
0,260	1,35	-0,643	68,2	-0,682	67,4	4,186	65,7	-0,639	68,3
0,270	1,37	-0,613	68,9	-0,660	67,9	4,195	66,3	-0,608	69,0
0,280	1,39	-0,583	69,5	-0,638	68,3	4,203	66,9	-0,578	69,6
0,290	1,41	-0,553	70,2	-0,616	68,8	4,212	67,5	-0,548	70,3
0,300	1,43	-0,524	70,8	-0,595	69,3	4,220	68,0	-0,519	70,9
0,310	1,45	-0,496	71,4	-0,573	69,7	4,228	68,6	-0,490	71,5
0,320	1,47	-0,468	72,0	-0,552	70,2	4,236	69,2	-0,462	72,2
0,330	1,49	-0,440	72,6	-0,530	70,7	4,244	69,7	-0,434	72,8
0,340	1,52	-0,412	73,2	-0,509	71,1	4,252	70,3	-0,406	73,4
0,350	1,54	-0,385	73,8	-0,488	71,6	4,260	70,8	-0,379	-0,379

Quadro 3.11 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 2 (continuação)

Fi	Ti (anos)	Lei Normal		Lei de Gumbel		Lei log normal ou de Galton		Lei de Pearson III	
		KN=z	Pi (mm)	KG	Pi (mm)	Ln p	Pi (mm)	KP	Pi (mm)
0,360	1,56	-0,358	74,4	-0,467	72,1	4,268	71,4	-0,352	-0,352
0,370	1,59	-0,332	75,0	-0,446	72,5	4,276	71,9	-0,325	-0,325
0,380	1,61	-0,305	75,6	-0,424	73,0	4,283	72,5	-0,299	-0,299
0,390	1,64	-0,279	76,1	-0,403	73,4	4,291	73,0	-0,273	-0,273
0,400	1,67	-0,253	76,7	-0,382	73,9	4,298	73,6	-0,247	-0,247
0,410	1,69	-0,228	77,3	-0,361	74,4	4,306	74,1	-0,221	-0,221
0,420	1,72	-0,202	77,8	-0,339	74,8	4,313	74,7	-0,195	-0,195
0,430	1,75	-0,176	78,4	-0,318	75,3	4,320	75,2	-0,169	-0,169
0,440	1,79	-0,151	78,9	-0,296	75,8	4,328	75,8	-0,144	-0,144
0,450	1,82	-0,126	79,5	-0,275	76,2	4,335	76,3	-0,119	-0,119
0,460	1,85	-0,100	80,0	-0,253	76,7	4,342	76,9	-0,093	-0,093
0,470	1,89	-0,075	80,6	-0,231	77,2	4,350	77,4	-0,068	-0,068
0,480	1,92	-0,050	81,1	-0,209	77,7	4,357	78,0	-0,043	-0,043
0,490	1,96	-0,025	81,7	-0,187	78,2	4,364	78,6	-0,018	-0,018
0,500	2,00	0,000	82,2	-0,164	78,7	4,371	79,1	0,007	0,007
0,510	2,04	0,025	82,8	-0,142	79,1	4,378	79,7	0,032	0,032
0,520	2,08	0,050	83,3	-0,119	79,6	4,386	80,3	0,057	0,057
0,530	2,13	0,075	83,9	-0,096	80,1	4,393	80,9	0,082	0,082
0,540	2,17	0,100	84,4	-0,073	80,6	4,400	81,5	0,108	0,108
0,550	2,22	0,126	85,0	-0,049	81,2	4,407	82,1	0,133	0,133
0,560	2,27	0,151	85,5	-0,025	81,7	4,415	82,7	0,158	0,158
0,570	2,33	0,176	86,1	-0,001	82,2	4,422	83,3	0,183	0,183
0,580	2,38	0,202	86,6	0,024	82,7	4,429	83,9	0,209	0,209
0,590	2,44	0,228	87,2	0,048	83,3	4,437	84,5	0,234	0,234
0,600	2,50	0,253	87,7	0,074	83,8	4,444	85,1	0,260	0,260
0,610	2,56	0,279	88,3	0,099	84,4	4,452	85,8	0,286	0,286
0,620	2,63	0,305	88,9	0,125	85,0	4,459	86,4	0,312	0,312
0,630	2,70	0,332	89,5	0,152	85,5	4,467	87,1	0,338	0,338
0,640	2,78	0,358	90,0	0,179	86,1	4,475	87,8	0,365	0,365
0,650	2,86	0,385	90,6	0,207	86,7	4,482	88,4	0,391	0,391
0,660	2,94	0,412	91,2	0,235	87,3	4,490	89,1	0,418	0,418
0,670	3,03	0,440	91,8	0,263	88,0	4,498	89,8	0,446	0,446
0,680	3,13	0,468	92,4	0,293	88,6	4,506	90,6	0,473	0,473
0,690	3,23	0,496	93,0	0,323	89,3	4,514	91,3	0,501	0,501
0,700	3,33	0,524	93,6	0,354	89,9	4,522	92,1	0,530	0,530
0,710	3,45	0,553	94,3	0,385	90,6	4,531	92,8	0,558	0,558
0,720	3,57	0,583	94,9	0,418	91,3	4,539	93,6	0,588	95,0
0,730	3,70	0,613	95,6	0,451	92,1	4,548	94,4	0,617	95,7
0,740	3,85	0,643	96,2	0,486	92,8	4,557	95,3	0,647	96,3
0,750	4,00	0,674	96,9	0,521	93,6	4,566	96,1	0,678	97,0

Quadro 3.11 - Ajuste das Leis Estatísticas para a amostra 2 (continuação)

Fi	Ti (anos)	Lei Normal		Lei de Gumbel		Lei log normal ou de Galton		Lei de Pearson III	
		KN=z	Pi (mm)	KG	Pi (mm)	Ln p	Pi (mm)	KP	Pi (mm)
0,760	4,17	0,706	97,6	0,558	94,4	4,575	97,0	0,710	97,7
0,770	4,35	0,739	98,3	0,596	95,2	4,584	97,9	0,742	98,4
0,780	4,55	0,772	99,0	0,636	96,1	4,594	98,9	0,775	99,1
0,790	4,76	0,806	99,8	0,677	97,0	4,604	99,9	0,809	99,8
0,800	5,00	0,842	100,6	0,719	97,9	4,614	100,9	0,844	100,6
0,810	5,26	0,878	101,3	0,764	98,9	4,624	101,9	0,879	101,4
0,820	5,56	0,915	102,2	0,811	99,9	4,635	103,0	0,916	102,2
0,830	5,88	0,954	103,0	0,860	101,0	4,646	104,2	0,955	103,0
0,840	6,25	0,994	103,9	0,912	102,1	4,658	105,4	0,994	103,9
0,850	6,67	1,036	104,8	0,967	103,3	4,670	106,7	1,036	104,8
0,860	7,14	1,080	105,8	1,025	104,5	4,683	108,1	1,079	105,7
0,870	7,69	1,126	106,8	1,087	105,9	4,696	109,5	1,124	106,7
0,880	8,33	1,175	107,8	1,154	107,4	4,710	111,1	1,172	107,8
0,890	9,09	1,227	108,9	1,226	108,9	4,725	112,7	1,223	108,9
0,900	10,00	1,282	110,1	1,305	110,6	4,741	114,5	1,277	110,0
0,910	11,11	1,341	111,4	1,391	112,5	4,758	116,5	1,335	111,3
0,920	12,50	1,405	112,8	1,487	114,6	4,776	118,7	1,398	112,7
0,930	14,29	1,476	114,4	1,595	117,0	4,797	121,1	1,467	114,2
0,940	16,67	1,555	116,1	1,720	119,7	4,820	123,9	1,544	115,9
0,950	20,00	1,645	118,0	1,866	122,9	4,846	127,2	1,633	117,8
0,960	25,00	1,751	120,4	2,044	126,7	4,876	131,1	1,736	120,0
0,970	33,33	1,881	123,2	2,272	131,7	4,914	136,1	1,862	122,8
0,980	50,00	2,054	127,0	2,592	138,7	4,963	143,1	2,031	126,4
0,990	100,00	2,326	132,9	3,137	150,5	5,042	154,8	2,295	132,2
0,991	111,11	2,366	133,7	3,219	152,3	5,053	156,6	2,333	133,0
0,992	125,00	2,409	134,7	3,311	154,3	5,066	158,5	2,374	133,9
0,993	142,86	2,457	135,7	3,416	156,6	5,080	160,7	2,421	135,0
0,994	166,67	2,512	136,9	3,537	159,2	5,096	163,3	2,474	136,1
0,995	200,00	2,576	138,3	3,679	162,3	5,114	166,3	2,535	137,4
0,996	250,00	2,652	140,0	3,853	166,1	5,136	170,0	2,609	139,0
0,997	333,33	2,748	142,1	4,078	171,0	5,164	174,8	2,701	141,0
0,998	500,00	2,878	144,9	4,395	177,9	5,201	181,5	2,826	143,8
0,999	1000,00	3,090	149,5	4,936	189,7	5,262	192,9	3,029	148,2

O ajustamento gráfico das quatro Leis Estatísticas postuladas à amostra 2 é apresentado na figura 3.11.

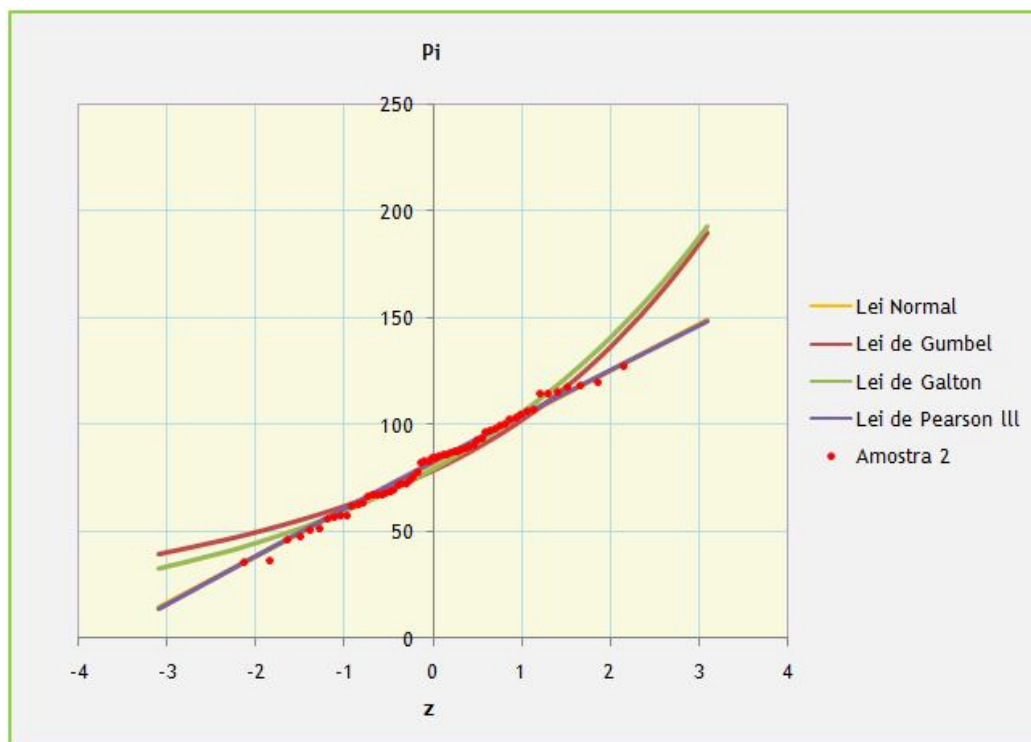


Figura 3.11 - Ajuste das distribuições teóricas à distribuição empírica correspondente à amostra 2

Para a amostra 2 o gráfico indica-nos claramente que a Lei Normal e a Lei de Pearson III são aquelas que mais se ajustam à distribuição sobrepondo-se uma à outra. Contudo devemos considerar a Lei de Pearson III porque é uma Lei de extremos.

### 3.3.4 Precipitações de Projeto

A ocorrência de uma quantidade significativa de precipitação sobre uma bacia hidrográfica, aquela que é antecedida e seguida por intervalos de tempo sem precipitação mensurável, designa-se por acontecimento pluvioso. O período de tempo que decorre do início ao fim da mesma designa-se por duração de precipitação (PONCE, 1989, p. 13).

A duração da precipitação intensa a considerar na análise de cheias numa secção da rede hidrográfica deve igualar o tempo de concentração da correspondente bacia hidrográfica (duração crítica), por fazer intervir naquela análise a mais elevada intensidade da precipitação que assegura a contribuição de toda a área da bacia hidrográfica para o escoamento naquela secção (precipitação crítica) e, conseqüentemente, originar o mais elevado caudal de ponta de cheia, para o período de retorno em consideração.

As redes udométricas da responsabilidade do Instituto da Água (INAG) fornecem registos de precipitações diárias máximas anuais atualmente de expedição muito expedita, por consulta, via Internet, do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e que permitem

a análise daquelas precipitações praticamente em qualquer bacia hidrográfica do território de Portugal Continental.

As precipitações diárias máximas anuais para diferentes períodos de retorno T são apresentadas no quadro 3.12.

Quadro 3.12 - Precipitações diárias máximas anuais para diferentes períodos de retorno

Período de retorno, T (anos)	Precipitação diária máxima anual (mm)	
	Amostra 1	Amostra 2
20	123,7	117,8
50	131,3	126,4
100	136,3	132,2
500	146,2	143,8
1000	150,0	148,2

O regulamento diz-nos que em projeto deve ser aplicada a análise da amostra 1 porque é mais conservadora. Contudo deve ser avaliado o tipo de obra que se pretende levar a cabo numa dada bacia hidrográfica, pois se se tratar da construção de uma barragem a montante de uma povoação, as medidas a adotar serão bem mais apertadas do que se se tratar de uma obra de arte composta por um tabuleiro sobre dois pilares com 10 m de altura.

As precipitações máximas anuais com duração igual a  $t_c$  para diferentes períodos de retorno são apresentadas no quadro 3.13.

Quadro 3.13 - Precipitações máximas anuais com duração igual a  $t_c$  para diferentes períodos de retorno T

Período de retorno, T (anos)	Precipitação diária máxima anual (mm)	
	Amostra 1	Amostra 2
20	37,1	35,3
50	39,4	37,9
100	40,9	39,7
500	43,9	43,1
1000	45,0	44,5

O cálculo das precipitações máximas anuais com duração igual ao  $t_c$  para diferentes períodos de retorno é efetuado através da equação 3.21.

$$\frac{P_{t_c}}{P_{diário}} = \left( \frac{t_c}{t_{24}} \right)^\beta \quad (3.21)$$

Cálculo da precipitação máxima anual com duração igual ao  $t_c$  para a amostra 1 tendo em conta um período de retorno igual a 20 anos.

$$\frac{P_{tc}}{123,7} = \left(\frac{1,44}{24}\right)^{0,428} \Leftrightarrow P_{tc} = 123,7 \cdot \left(\frac{1,44}{24}\right)^{0,428} \Leftrightarrow P_{tc} = 37,1 \text{ mm}$$

em que:

- $P_{\text{diário}}$  é o valor da precipitação diária máxima anual na bacia [mm]
- $t_c$  é o tempo de concentração da bacia [1,44 h]
- $B$  é um parâmetro de correlação tabelado (Brandão e Hipólito, 1997) [0,428 para Penhas Douradas]
- $T_{24}$  é a duração da precipitação diária [24 h]

Para garantir a total contribuição da bacia para o escoamento na secção da estação hidrométrica de Manteigas, de modo a originar o maior valor do caudal de ponta de cheia para determinado período de retorno, considerou-se uma duração da precipitação igual ao tempo de concentração da bacia. No procedimento para estimar a precipitação de projeto com duração consentânea com o tempo de concentração da bacia recorreu-se ao estudo de Brandão et al. (2001), o qual faculta expressões de cálculo da precipitação intensa na área de influência de determinados postos udométricos em Portugal Continental. No prosseguimento do presente estudo considerou-se a expressão referente ao posto de Penhas Douradas por este ter maior área de influência sobre a BH de Manteigas.

Os polígonos de Thiessen para os 27 postos udográficos analisados por Brandão et al., 2001, contemplam os postos udométricos de Penhas Douradas e da Covilhã, mas considera-se o de Penhas Douradas por ter maior influência.

### 3.4 Síntese Das Precipitações

Neste capítulo estimou-se a precipitação de projeto que intervém no estudo subsequente. Para o efeito foi necessário começar por estimar a precipitação diária máxima anual na bacia para um período de retorno de 100 anos, tendo por base duas séries de precipitação diária máxima anual na bacia e recorrendo à sua análise estatística.

As séries de precipitação diária máxima anual na bacia foram constituídas por ponderação espacial das precipitações referentes aos postos udométricos da Covilhã e de Penhas Douradas, de acordo com o Método de Thiessen, considerando duas vias distintas: numa, utilizaram-se as séries de registos da precipitação diária máxima anual nos referidos postos (designada por Amostra 1) e na outra, teve-se em conta a simultaneidade temporal da precipitação diária em cada posto (designada por Amostra 2). A análise estatística indicou que a lei de Pearson III é a que ajusta melhor as distribuições de frequências dos valores da

precipitação de ambas as séries consideradas e, de acordo com essa lei, estimaram-se as correspondentes precipitações diárias máximas anuais, reunidas no Quadro 3.14.

Quadro 3.14 - Precipitações diárias máximas anuais na bacia para um período de retorno T=100 anos

Período de retorno, T (anos)	Precipitação diária máxima anual (mm)	
	Amostra 1	Amostra 2
100	136,3	132,2

Concluiu-se que o valor mais desfavorável das estimativas da precipitação diária máxima anual na bacia é igual a 136,3 mm.

A precipitação de projecto, susceptível de originar o maior valor do caudal de ponta de cheia na secção da estação hidrométrica de Manteigas, foi calculada a partir do anterior valor da precipitação diária máxima anual na bacia, com um período de retorno de 100 anos, considerando uma duração da precipitação igual ao tempo de concentração da bacia. Assim, o valor da precipitação de projeto que intervém no estudo subsequente é de 40,9 mm.



## Capítulo 4

### Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos

#### 4.1 Introdução

A avaliação, para um dado período de retorno,  $T$ , do caudal de ponta de cheia numa bacia hidrográfica adota, com frequência, como precipitação de projeto a precipitação intensa com duração igual ao tempo de concentração,  $t_c$ , da bacia (CHOW e tal., 1988, p. 497, e VIESSMAN e LEWIS, 1996, p. 360).

De facto, a tal duração (duração de projeto) corresponde à máxima intensidade média da precipitação que assegura a contribuição simultânea de toda a bacia hidrográfica para o escoamento na secção terminal.

Admite-se que o aumento da área com ocupação urbana possa resultar numa diminuição do tempo de concentração,  $t_c$ , por promover a concentração mais rápida da água, fundamentalmente como resultado do aumento da área impermeável que oferece menor resistência ao escoamento. A diminuição do tempo de concentração traduz-se na diminuição da duração das precipitações de projeto e, conseqüentemente, no aumento da respetiva intensidade, a qual é determinante dos valores dos caudais de ponta de cheia, uma vez que lhe são proporcionais. O aumento da urbanização traduz-se ainda numa diminuição das perdas de precipitação para o escoamento, no essencial, devido à maior impermeabilização do solo e, logo, num aumento da precipitação efetiva. Da combinação dos anteriores efeitos resultam caudais de ponta de cheia progressivamente mais elevados consoante aumentam as áreas urbanizadas.

Para analisar o efeito da área urbanizada nos caudais de ponta de cheia da bacia hidrográfica de Manteigas adotaram-se dois cenários de acréscimo daquela área para 25 (cenário 1) e 50% (cenário 2) da área total da bacia.

## 4.2 Cenários Na BH De Manteigas

O tempo de concentração de  $t_c = 1,44$  h, antes estimado por aplicação da fórmula do Soil Conservation Service, SCS, no pressuposto de condições antecedentes de humidade médias, AMC II, destinou-se, no essencial, a servir de referência na comparação de caudais de ponta de cheia. Desta forma e atendendo a que as condições antecedentes de humidade a considerar na análise de cheias excepcionais devem ser “mais húmidas” (AMC III), procedeu-se ao cálculo dos valores de  $t_c$  que lhes correspondem, quer na situação actual, quer para dois cenários de aumento da área urbanizada. Os valores do número de escoamento para o efeito a considerar são apresentados no quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Cenários correspondentes ao aumento da área urbanizada. Valores do número de escoamento para condições antecedentes de humidade médias - CN(II) ou CN (AMC II) - e mais húmidas - CN(III) ou CN (AMC III)

Situação	Área urbanizada (km <sup>2</sup> )	Área urbanizada (%)	CN (AMC II) (ponderado)	CN (AMC III) (muito húmido)
Atual	0,079	0,0028	81,4	91,0
Cenário 1	7,076	25,0000	86,1	93,4
Cenário 2	14,155	50,0000	90,7	95,7

A área urbanizada/impermeabilizada de 0,079 km<sup>2</sup> na situação actual resulta dos troços das estradas nacionais EN 338 e EN 339, bem como dos telhados de habitações e estábulos inseridos na BH de Manteigas.

O CN(II) ponderado de 81,4, já apresentado no quadro 2.24 2, foi calculado através do software SIG para as condições atuais. Os valores ponderados de CN(II) para os cenários 1 e 2 atenderam às áreas urbanizadas especificadas no quadro anterior no pressuposto de CN(II)=100 em tais áreas, o que equivale a considerá-las totalmente impermeáveis.

O CN(II) ponderado é calculado através da fórmula (4.1).

$$CN(II)_{ponderado} = \frac{\sum (A_i \cdot CN_i)}{\sum A_i} \quad (4.1)$$

do que resulta para o cenário 1:

$$CN(II)_{cenário1} = \frac{21,23 \cdot 81,4 + 7,08 \cdot 100}{28,31} \Leftrightarrow CN(II)_{cenário1} = 86,1$$

em que:

- $CN(II)_{atual\ ponderado} = 81,4$  (ver quadro 2.24).
- $CN(II)_{área\ urbana} = 100$  (área totalmente impermeável).

O número de escoamento para condições antecedentes de humidade “mais húmidas” ou do tipo III, CN(III), é calculado através da fórmula (4.2).

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)} \quad (4.2)$$

do que resulta para o cenário 1:

$$CN(III)_{\text{cenário1}} = \frac{23 \cdot 86,1}{10 + 0,13 \cdot 86,1} = 93,4$$

em que:

$$\text{➤ } CN(II) = CN(II)_{\text{cenário1}}$$

O tempo de concentração  $t_c$  para condições “mais húmidas”, quer na situação atual, quer para os cenários 1 e 2 é calculado através da equação (4.3).

$$t_c = \frac{100}{0,3038^{0,8}} \cdot \frac{L_{\text{rio}}^{0,8} \cdot \left( \frac{1000}{CN(III)} - 9 \right)^{0,7}}{1900 \cdot S_m^{0,5}} \quad (4.3)$$

Para o cenário 1 resulta assim:

$$t_{c(\text{cenário1})} = \frac{100}{0,3038^{0,8}} \cdot \frac{10060^{0,8} \cdot \left( \frac{1000}{93,4} - 9 \right)^{0,7}}{1900 \cdot 33,3^{0,5}} \Leftrightarrow t_c = 54,77 \text{ min} \Leftrightarrow t_c = 0,91 \text{ h}$$

em que:

$$\text{➤ } CN(III) = AMC(III) \text{ do cenário 1 muito húmido}$$

As precipitações máximas com durações iguais aos tempos de concentração  $t_c$  na situação atual e nos cenários admitidos para o período de retorno de T=100 anos, tendo em conta as condições antecedentes de humidade mais húmida, AMC III, são apresentadas no quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Precipitação máxima para condições antecedentes de humidade mais húmidas - AMC III

Precipitação máxima anual com duração, $t_c$		
Situação	Tempo de concentração, $t_c$ (horas)	Período de retorno, T T=100 anos (mm)
Atual	1,02	42,8
Cenário 1	0,91	41,0
Cenário 2	0,81	39,3

Anota-se que, à semelhança do procedimento adotado a propósito do número de escoamento e do tempo de concentração, o texto que se segue contém a apresentação detalhada dos cálculos efectuados apenas para a situação atual, sendo que os resultados de tais cálculos,

bem como dos resultados associados aos dois cenários equacionados são sistematizados em sucessivos quadros.

O cálculo das precipitações para diferentes tempos de concentração  $t_c$  é efetuado através da equação (4.4).

$$\frac{Pd}{PD} = \left(\frac{d}{D}\right)^{0,367} \quad (4.4)$$

Tendo em conta a estimativa da precipitação diária máxima com o período de retorno de 100 anos obtida no capítulo 3, resulta, assim, na situação atual para AMC (III):

$$\frac{Pd}{136,3} = \left(\frac{1,02}{24}\right)^{0,367} \Leftrightarrow Pd = 136,3 \cdot \left(\frac{1,02}{24}\right)^{0,367} \Leftrightarrow Pd = 42,8\text{mm}$$

em que:

- Pd precipitação máxima anual com a duração de  $t_c$  e dado período de retorno (mm)
- PD precipitação diária máxima anual com o mesmo período de retorno (mm)
- D tempo de concentração  $t_c$  (horas)
- D dia (horas)

A anterior expressão foi obtida por BRANDÃO e HIPÓLITO, 1997, mediante a aplicação da lei de Gumbel às precipitações diárias máximas anuais em postos udográficos do Continente possuindo pelo menos 30 anos de registos. Não obstante tal expressão diferir da antes apresentada no capítulo 3, conduz a resultados consideravelmente próximos.

Para a precipitação diária máxima anual para o período de retorno  $T=100$  anos considerou-se  $PD=136,3$  mm, retirada do quadro 3.10 da amostra 1 (simultaneidade dos máximos de precipitação) uma vez que é superior ao valor da amostra 2 (não simultaneidade dos máximos de precipitação) com 132,2 mm, logo é mais desfavorável.

Os resultados da aplicação do modelo de perdas do SCS às precipitações de projeto para o período de retorno de  $T=100$  anos são apresentados no quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Resultados da aplicação do modelo de perdas do SCS à precipitação de projeto para o período de retorno de 100 anos.

Situação	CN	$t_c$ (horas)	P (mm)	S (mm)	la (mm)	Pe (mm)	(P-Pe) (mm)
Atual	91,0	1,02	42,8	25,1	5,0	22,7	20,1
Cenário 1	93,4	0,91	41,0	17,9	3,6	25,3	15,7
Cenário 2	95,7	0,81	39,3	11,4	2,3	28,3	11,0

A precipitação efetiva  $Pe$  é calculada através da fórmula (4.5).

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad (4.5)$$

Assim para o cenário 1 obtém-se:

$$Pe_{\text{cenário1}} = \frac{(41 - 3,6)^2}{(41 - 3,6) + 17,9} \Leftrightarrow Pe_{\text{cenário1}} = 25,3 \text{ mm}$$

A retenção potencial máxima  $S$  é calculada através da fórmula (4.6).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4.6)$$

do que resulta para aquele mesmo cenário:

$$S_{\text{cenário1}} = \frac{25400}{93,4} - 254 \Leftrightarrow S = 17,9$$

As perdas iniciais  $Ia$  são calculadas através da fórmula (4.7).

$$Ia = 0,2 \cdot S \quad (4.7)$$

em que:

- $Pe$  precipitação efetiva (mm)
- $P$  precipitação (mm)
- $Ia$  perdas iniciais (mm)
- $S$  retenção potencial máxima (mm)
- $CN$  número de escoamento ponderado para a bacia hidrográfica

## 4.3 Caudais De Ponta De Cheia

### 4.3.1 Fórmula Racional

De acordo com PORTELA, M. M., a fórmula racional é uma das fórmulas mais divulgadas e utilizadas para determinar os caudais de ponta de cheia em pequenas e médias bacias hidrográficas para os períodos de retorno adotados como critério de projeto. Não obstante, a generalidade dos autores mencionam que a aplicação da fórmula racional se restringe a pequenas a médias bacias hidrográficas, não havendo, contudo, uma indicação precisa sobre o que se entende por tais bacias. Assim, enquanto PONCE, 1989, p. 119, refere como limite da aplicabilidade da fórmula racional a área máxima de bacia hidrográfica de 1,3 a 2,5 km<sup>2</sup>, PILGRIM e CORDERY, 1993, sugerem que se considerem como pequenas e médias bacias hidrográficas as que apresentam áreas máximas de 25 e 500 km<sup>2</sup>, respetivamente. QUINTELA, 1984, p. 686, procede à comparação da fórmula de Turazza-Giandotti, também relativa à

avaliação de caudais de ponta de cheia, com a fórmula racional para áreas de bacias hidrográficas até 1000 km<sup>2</sup>.

Não obstante o conceito de pequenas a médias bacias hidrográficas estar associado a alguma arbitrariedade, poderá admitir-se que, do ponto de vista hidrológico, estão nessas condições bacias hidrográficas com áreas reduzidas em que seja aproximadamente válido admitir que:

- As precipitações determinantes em termos de génese de cheias são uniformes no tempo por se referirem a durações que, (por serem iguais aos tempos de concentração das bacias, são pequenas) e no espaço (devido às reduzidas áreas da bacia hidrográfica).
- O escoamento ocorre essencialmente sob a forma de escoamento à superfície do terreno.
- O armazenamento de água na rede de drenagem é negligenciável.

Os caudais de ponta de cheia  $Q$  calculados através da fórmula racional obedecem à equação (4.8).

$$Q = CIA \quad (4.8)$$

em que:

- $Q$  - é o caudal de ponta de cheia para o período de retorno,  $T$  (anos).
- $C$  - é um coeficiente adimensional que traduz o uso e a ocupação do solo da bacia hidrográfica e as condições antecedentes de humidade dependendo também do período de retorno  $T$ , (-).
- $I$  - é a intensidade média da precipitação total com duração igual ao tempo de concentração,  $t_c$  ( $m \cdot s^{-1}$ ).
- $A$  - é a área da bacia hidrográfica, ( $m^2$ ).

A fórmula supra apresentada caracteriza as precipitações de projeto apenas pelas intensidades médias, consideradas aproximadamente uniformes sobre as bacias hidrográficas e ao longo do tempo. A precipitação de projeto,  $P$ , é a precipitação com duração igual ao tempo de concentração  $t_c$  da bacia hidrográfica tendo em conta o respetivo período de retorno  $T$ .

Os resultados dos caudais de ponta de cheia,  $Q$ , bem como da altura  $h$  da lâmina de água correspondente ao escoamento desses caudais são apresentados no quadro 4.4. O cálculo da altura de escoamento utilizou um modelo de regime permanente gradualmente variado, apresentado um pouco mais adiante.

Quadro 4.4 - Resultados dos caudais e respetivas alturas para a situação atual e para os cenários 1 e 2

Situação	P <sub>totais</sub> (mm)	P <sub>efetiva</sub> (mm)	C	t <sub>c</sub> (horas)	I (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Altura dos caudais (m)
Atual	42,8	22,7	0,53	1,02	1,16558E-5	174,9	1,53
Cenário 1	41,0	25,3	0,62	0,91	1,25153E-5	219,7	1,74
Cenário 2	39,3	28,3	0,72	0,81	1,34774E-5	274,7	1,98

O coeficiente C é calculado através da fórmula (4.9).

$$C = \frac{P_{efetivas}}{P_{totais}} \quad (4.9)$$

do que resulta para a situação cenário 2:

$$C_{cenário2} = \frac{28,3}{39,3} \Leftrightarrow C_{cenário2} = 0,72$$

Em comparação à situação atual, as alturas dos caudais de ponta de cheia sofrem um acréscimo nos cenários 1 e 2 cerca de 14% e 29%, respetivamente.

O parâmetro C tem essencialmente em conta as perdas de precipitação, incluindo, embora com diferentes importâncias relativas, as perdas por interceção, infiltração, retenção superficial e evapotranspiração, e a difusão do escoamento, entendida como sendo uma medida da “capacidade” da bacia hidrográfica atenuar os caudais de ponta de cheia na propagação do escoamento ao longo da rede de drenagem, do que resulta o aumento dos tempos de recessão das cheias em comparação com os respetivos tempos de ascensão (PORTELA, M. M.).

A difusão da propagação de uma onda de cheia é tanto mais importante quanto menor é o declive do terreno: se este for nulo, ou seja, plano a difusão é, do ponto de vista teórico, o único efeito presente.

Aquele parâmetro também se relaciona com o período de retorno considerado na avaliação de caudais de ponta de cheia. As perdas de precipitação dependem do “défice” de humidade na bacia hidrográfica, ou seja, do estado da bacia hidrográfica, aquando da ocorrência da chuvada - condições antecedentes de humidade e de armazenamento de água na bacia, incluindo na zona permanente saturada. Deste modo, o coeficiente C aumenta à medida que aumenta o período de retorno traduzindo a diminuição das perdas de precipitação.

A intensidade média da precipitação de projeto I é o quociente entre essa precipitação P e o tempo de concentração t<sub>c</sub> como ilustra a expressão (4.10).

$$I = \frac{P_{total}}{t_c \cdot 3600} \quad (4.10)$$

Para a situação do cenário 2 obtém-se:

$$I_{\text{cenário2}} = \frac{39,3}{0,81 \cdot 3600} \Leftrightarrow I_{\text{cenário2}} = 1,34774E-5 \text{ m/s}$$

O caudal de ponta de cheia Q para a situação cenário 2 fornecido pela fórmula racional dada pela equação (4.8) é, assim, de:

$$Q_{\text{cenário2}} = 0,72 \cdot 1,34774E-5 \cdot 28,31E6 \Leftrightarrow Q_{\text{cenário2}} = 274,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 4.3.2 Síntese dos Caudais de Ponta de Cheia

O quadro 4.5 resume a generalidade dos resultados obtidos para a situação atual e para os dois cenários de urbanização equacionados.

Com base no quadro 4.5 e considerando como referência os resultados relativos à situação atual verifica-se que:

- Os tempos de concentração nos cenários 1 e 2 representam respetivamente cerca de 89% e 79% do tempo de concentração na situação atual.
- Em comparação à situação atual, as perdas de precipitação nos cenários 1 e 2 diminuem para cerca de 78% e 55%, respetivamente.

Quadro 4.5 - Caudais de ponta de cheia na secção de referência da BH de Manteigas na situação atual e nos cenários considerados de expansão da área urbana

		Situação atual	Cenário 1	Cenário 2
Ocupação urbana	Área (km <sup>2</sup> )	0,0790	7,076	14,155
	Percentagem da área (%)	0,0028	25	50
Número de escoamento (-)		91,0	93,4	95,7
Tempo de concentração (h)		1,02	0,91	0,81
Período de retorno, T=100 anos	Precipitação de projeto (mm)	42,8	41,0	39,3
	Perda de precipitação (mm)	20,1	15,7	11,0
	Precipitação efetiva (mm)	22,7	25,3	28,3
	Intensidade da precipitação efetiva (mm/h)	22,3	27,8	34,9
	Caudal de ponta de cheia (m <sup>3</sup> /s)	174,9	219,7	274,7

- Por efeito combinado das reduções dos tempos de concentração e das perdas de precipitação, as intensidades médias das precipitações efetivas e, portanto, os caudais de ponta de cheia nos cenários 1 e 2, sofrem aumentos na ordem dos 26% e 57%, respetivamente.

Com base na bacia hidrográfica de Manteigas e de acordo com a metodologia de análise aplicada, concluiu-se, assim, que o aumento do caudal de ponta de cheia devido ao aumento da área impermeabilizada resultante de uma maior ocupação urbana da bacia pode ser muito

acentuado. Não obstante apenas se ter analisado o período de retorno de 100 anos, espera-se que esse efeito seja tanto mais significativo, quanto maior for o período de retorno T.

A redução das perdas de precipitação é o fator que mais contribui para o aumento do caudal de ponta de cheia. Contudo, os aumentos deste caudal que, especialmente para o maior período de retorno analisado, advém exclusivamente da diminuição do tempo de concentração, em consequência da maior incidência da área impermeável, são também significativos.

Julga-se que a análise efetuada alerta para a importância de preceder sistematicamente as intervenções urbanas, designadamente em pequenas bacias hidrográficas, do estudo dos seus efeitos na génese das cheias naturais.

#### 4.4 Altura De escoamento Dos Caudais De Ponta De Cheia

O efeito de uma cheia é sentido, não tanto pelos caudais de ponta que transporta, mas pelas áreas que inunda as quais dependem da geometria do vale fluvial. Para, de algum modo, atender à anterior constatação no estudo efetuado, ou seja, para atribuir alturas de escoamento aos caudais de ponta de cheia antes determinados, considerou-se uma secção transversal trapezoidal no talvegue do rio Zêzere.

O declive médio para aquele talvegue foi calculado num trecho a montante da secção da estação hidrométrica, próximo desta pois é aqui que se verifica o caudal máximo, uma vez que todas as linhas de água vêm desaguar à linha principal e esta por sua vez termina na secção da estação hidrométrica de Manteigas.

A altura do escoamento do caudal Q numa secção transversal trapezoidal é calculada através da fórmula (4.11).

$$h_{i+1} = \left( \frac{Q}{\frac{B + 2 \cdot \sqrt{1 + m^2} \cdot h_i}{\left( \frac{B}{k_b^{3/2}} + \frac{2 \cdot \sqrt{1 + m^2} \cdot h_i}{k_f^{3/2}} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{i}}} \right)^{3/5} \cdot \frac{\left( B + 2 \cdot \sqrt{1 + m^2} \cdot h_i \right)^{2/5}}{B + m \cdot h_i} \quad (4.11)$$

A anterior equação pressupõe escoamento em regime permanente gradualmente variado para perda de carga unitária aproximada pelo declive do talvegue. A equação não se resolve algebricamente mas sim analiticamente podendo, para o efeito, ser utilizado o método das iterações sucessivas.

As variáveis que aparecem na equação (4.11) têm os seguintes significados:

- Q - caudal que, no caso em estudo, será de ponta da cheia centenária (m<sup>3</sup>/s).
- B - base da secção transversal trapezoidal do canal (m).
- m - declive dos taludes das margens (m).
- h<sub>i</sub> - altura da lâmina de água no caudal (m).
- k<sub>b</sub> - coeficiente da fórmula de Manning-Strickler para a base do canal fluvial, simplifadamente designado por coeficiente de rugosidade da base (m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>).
- k<sub>l</sub> - idem para as paredes laterais do canal fluvial (m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>).
- i - declive da linha de água principal (talvegue) (-).

Para o declive dos taludes das margens (m) considerou-se 1/1.5, ou seja, em cada metro na vertical avança 1,5 m na horizontal.

Os coeficientes de rugosidade da base e dos taludes laterais da secção transversal trapezoidal do rio, k<sub>b</sub> e k<sub>l</sub>, respetivamente, diminuem à medida que a rugosidade aumenta.

O declive médio i do talvegue foi calculado com base no quadro 2.18 considerando apenas uma distância de 4608 m no trecho do rio com início na secção hidrométrica.

O perfil longitudinal do rio Zêzere na figura 2.31 também nos elucida sobre a representatividade deste trecho adotado.

Os valores utilizados no cálculo do declive médio do trecho do talvegue podem ser observados no quadro 4.6.

Quadro 4.6 - Cálculo do declive médio (i) num trecho de 4608 m com início na secção hidrométrica

L (x) (m)	Cota (y) (m)	Declive médio (i)
0	876	0,000000
261	900	0,091954
803	950	0,092251
1421	1000	0,080906
2247	1050	0,060533
3767	1100	0,032895
4608	1150	0,059453

O cálculo do declive médio i do talvegue utilizou a da fórmula (4.12).

$$i = \frac{\sum \frac{\Delta y}{\Delta x}}{n} \quad (4.12)$$

conducente ao seguinte resultado, para o comprimento de cálculo de 4608 m:

$$i = \frac{\frac{900 - 876}{261 - 0} + \frac{950 - 900}{803 - 261} + \frac{1000 - 950}{1421 - 803} + \frac{1050 - 1000}{2247 - 1421} + \frac{1100 - 1050}{3767 - 2247} + \frac{1150 - 1100}{4608 - 3767}}{6}$$

$$i = 0,069665$$

Para os seguintes valores de base:

- B = 15 m
- m = 1,5 m
- $k_b = 20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$
- $k_l = 25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$
- $i = 0,069665$

as alturas de escoamento obtidas ao longo do processo iterativo de resolução da equação (4.11) para o cenário 2, correspondente ao caudal de ponta de cheia de  $274,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , são apresentadas no quadro 4.7.

Quadro 4.7 - Cálculo da altura h para o caudal de ponta igual a  $274,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , cenário 2

$h_i$ (m)	$h_{i+1}$ (m)	$ h_{i+1} - h_i $ (m)
1,0000	2,0432	1,0432
2,0432	1,9757	0,0675
1,9757	1,9800	0,0043

Optou-se por um critério de paragem nas iterações sucessivas  $|h_{i+1} - h_i| \leq 10^{-2}$ , logo a altura h para um caudal de ponta igual a  $274,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , ou seja, para o cenário 2, é de 1,98 m como ilustra a figura 4.1.

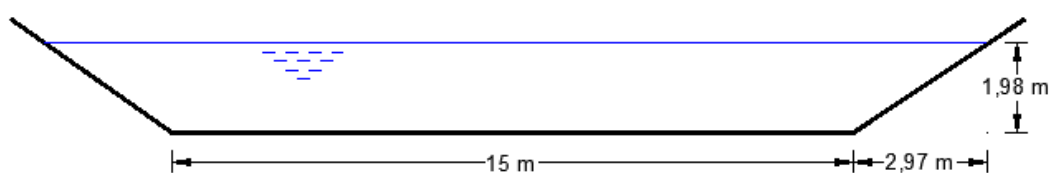


Figura 4.1 - Seção transversal trapezoidal com a altura do caudal para o cenário 2.

A rugosidade da base B do rio Zêzere para a atribuição do coeficiente de rugosidade k pode ser observada nas duas imagens da figura 4.2



Figura 4.2 - Imagens do talvegue no trecho da secção transversal trapezoidal no rio Zêzere

As duas fotografias apresentadas na figura 4.2 foram tiradas a cerca de 100 m a montante da secção hidrométrica da bacia hidrográfica de Manteigas. De salientar que no trecho considerado para calcular os caudais de ponta de cheia existem calhaus com dimensões desde 0,1 m até 1,0 m de diâmetro.

A secção hidrométrica da BH de Manteigas é construída em betão tendo a geometria e cotas que podem ser observadas à escala na figura 4.3.

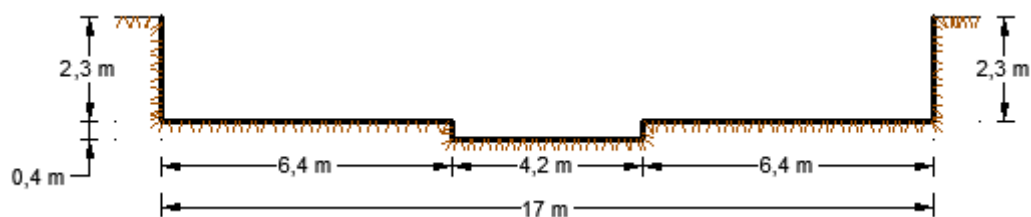


Figura 4.3 - Configuração e cotas reais da secção hidrométrica atual de Manteigas (ver figura 2.2).

## Capítulo 5

### Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Tendo por base um caso de estudo, consubstanciado pela bacia hidrográfica da estação hidrométrica de Manteigas, localizada a montante da vila com o mesmo nome apresentou-se uma metodologia simples para analisar o efeito do acréscimo da área urbanizada nos caudais de ponta de cheia e nas cotas da superfície livre em pequenas bacias hidrográficas.

Analisou-se também o efeito da consideração ou não da simultaneidade das precipitações diárias máximas anuais registadas nos diferentes postos com influência na bacia hidrográfica.

Os resultados obtidos conduzem às seguintes conclusões principais:

- A consideração de simultaneidade da precipitação diária máxima anual nos postos com influência numa bacia hidrográfica resulta necessariamente em maiores precipitações de projeto.
- Para o período de retorno  $T=100$  anos, o acréscimo percentual e o nível diário da precipitação assim alcançada para o caso do estudo comparativamente à precipitação decorrente da consideração da não simultaneidade dos máximos diários anuais é de cerca de 3%.
- O acréscimo da área urbanizada é perceptível no acréscimo dos caudais de ponta de cheia e, logo, nas alturas de escoamento e na configuração da superfície livre.
- Com efeito e relativamente à situação atual, se a área urbanizada aumentar para 25% da área da bacia hidrográfica os acréscimos percentuais relativamente à situação atual do caudal de ponta de cheia centenária e da correspondente altura do escoamento são de 26% e 14%, respetivamente. Os valores para um acréscimo da área urbanizada correspondente a 50% da área atual são de 57% e 29%, respetivamente.

Esta análise tem um carácter preliminar, visto que a bacia se apresenta ainda em estado natural, não se contemplando a eventual regularização do curso de água ou a ocupação do leito de cheia.

Anota-se o facto de se afigurar pertinente desenvolver investigação, eventualmente incluindo uma componente de campo, baseada numa bacia hidrográfica experimental para o efeito devidamente monitorizada, por forma a adequar o modelo de perdas da precipitação do Soil Conservation Service à análise de cheias em Portugal Continental e para avaliar o rigor do modelo de transformação da precipitação em escoamento em condições de cheias, ou seja, a fórmula racional.

Este aspeto é tanto mais importante, quanto os modelos em consideração constituem uma ferramenta corrente na prática de hidrologia. Para tal adequação muito poderia contribuir a observação das sucessivas cheias históricas excecionais em pequenas bacias hidrográficas sujeitas a expansão urbana que, para o efeito, teriam de ser prévia e adequadamente equipadas com dispositivos de monitorização das precipitações e dos caudais fluviais. De facto, a intensificação da ocupação urbana tem sido frequentemente apontada como causa do aumento dos caudais de ponta de cheia, especialmente após a ocorrência de cheias com prejuízos importantes, julgando-se, contudo, que não tem constituído procedimento habitual a caracterização sistemática da relação causa/efeito em presença.

As alturas de escoamento obtidas com a metodologia aplicada constituem uma estimativa preliminar, baseada em modelos expeditos. Como principal desenvolvimento futuro haverá que detalhar o cálculo da configuração da superfície livre mediante a consideração de secções transversais variáveis, mais conformes com a geometria real do leito fluvial, particularmente em pontos onde o curso de água sofre estrangulamentos.

Para o efeito será necessário dispor de levantamentos longitudinais e transversais do curso de água e recorrer a algoritmos computacionais, com seja, o HEC-RAS, ou a sistemas de informação geográfica, SIG, combinados com modelos hidráulicos.

Para assegurar a consistência dos resultados, tanto agora obtidos, como outros que assim se venham a obter, julga-se indispensável alargar a análise a outros casos de estudos.

## Referências Bibliográficas

- BELO, J. M. 1992 - Modelação Matemática de Escoamentos Variáveis com Leito Móvel, Tese de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, IST, Lisboa.
- BRANDÃO, C. ; RODRIGUES, R. 1998, Precipitações intensas em Portugal Continental para períodos de retorno até 1000 anos. DSRH, Instituto da água, INAG, Lisboa.
- BRANDÃO, C. E HIPÓLITO, J. N., 1997, "Análise da precipitação para o estudo de cheias em Portugal". 3.º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (3.º SILUSBA), Maputo, Moçambique.
- BRANDÃO, C., 1995 - Análise de Precipitações Intensas, Tese de Mestrado, IST, Lisboa.
- BRANDÃO, C.; HIPÓLITO, J. R., 1998 - Análise da Precipitação para o Estudo de Cheias em Portugal, RRH, Lisboa.
- BRANDÃO, C.; RODRIGUES, R., 2000 - Curvas de Intensidade Duração Frequência, [www.inag.pt/snirh/estudos\\_proj/main\\_nav\\_fr.html](http://www.inag.pt/snirh/estudos_proj/main_nav_fr.html), INAG/DSRH.
- BRANDÃO, C.; RODRIGUES, R.; COSTA, J. P., 2001 - Análise de Fenómenos Extremos Precipitações Intensas em Portugal Continental, DSRH, Lisboa.
- CORREIA, F. N., 1984b - "Alguns Procedimentos Adotados pelo Soil Conservation Service para o estudo do impacto da Urbanização nos Caudais de Cheia". ITH6, LNEC, Lisboa.
- CUNHA, L., et al, 1980 - A Gestão da Água, FG, Lisboa.
- DAVID, J. M. S., 1976 - " Determinação de Caudais de Ponta de Cheia em Pequenas Bacias Hidrográficas". Drenagem de Estradas, caminhos de ferro e Aeródromos. Estudos Hidrológicos, LNEC, Lisboa.
- FARIA, J. M., GODINHO, S., ALMEIDA, M. J., e MACHADO, M. S., 1980, O Clima em Portugal - Fascículo XIX, Análise estatística dos valores máximos do ano da quantidade diária de precipitação em Portugal, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- HIPÓLITO, J. R.; VAZ, A. C., 2012 - Hidrologia e Recursos Hídricos, IST, Lisboa.
- LENCASTRE, A.; FRANCO, F. M. 1984 - Lições de Hidrologia, UNL, FCT, Lisboa.
- LNEC, 1975 - Drenagem de estradas, caminhos de ferro e aeródromos. Estudo hidrológico. Determinação de caudais de ponta de cheia em pequenas bacias hidrográficas. Serviço de Hidráulica. Divisão de Hidráulica Fluvial. Proce. 62/12/5309. Lisboa.
- LOUREIRO, J. M., 1984, "Expressão para cálculo do caudal máximo de cheia em cursos de água em Portugal", Recursos Hídricos, APRH, Vol. 5 n.º1, p. 53-78.
- PORTELA, M.M., 2012 - Apontamentos da Disciplina de Hidrologia, UBI, Covilhã.

QUINTELA, A. C., 1982 - "Hidrologia de Águas Superficiais" Curso Internacional de Hidrologia Operacional, Direção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, IST, Lisboa.

QUINTELA, A. C., 1996 - Hidrologia e Recursos Hídricos, IST, Lisboa.

RAMOS, C. M., 2005 - Drenagem em Infraestruturas de Transportes e Hidráulica de Pontes, LNEC, Lisboa.